

# Comune di VALLEPIETRA

Città metropolitana di Roma Capitale



Tipo di Intervento:

## PROGETTO ESECUTIVO

Oggetto:

ODCP n. 293/2015 "Programma degli interventi di miglioramento sismico da effettuarsi su edifici strategici sulla base di verifiche sismiche già eseguite ai sensi dell'OPCM n. 3274" - Miglioramento Sismico degli Edifici Comunali e dell'ex scuola ED2 nel Comune di Vallepietra

Committente:

COMUNE DI VALLEPIETRA

OUP\_GE\_06\_E

descrizione:

- RELAZIONE GEOLOGICA

Elaborati:

Il Tecnico

Ing. Lorenzo Quaresima

Firma del committente:

il Sindaco

Data:

30/03/2020

Aggiornamento:

# ***GEO-COLNAR*** *studio associato*

---

*Indagini geologiche – geotecniche – geofisiche - idrogeologiche*

Via Fabrateria Vetus,4b – 03023 Ceccano (FR) – P i.v.a. 02966240604 – geocolnar@libero.it

**Dr. Geol. Luca Colagiaco** Tel. 3208679214

**Dr. Geol. Andrea Nardoni** Tel. 3404008268

## **COMUNE DI VALLEPIETRA** **(PROVINCIA DI RM)**

**PROGRAMMA DEGLI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO DA  
EFFETTUARSI SU EDIFICI STRATEGICI SULLA BASE DELLE VERIFICHE GIÀ  
ESEGUITE AI SENSI DELL'OPCM N. 3274/03:**

**“MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI COMUNALI E DELL'EX SCUOLA ED2”**

### **Relazione Geologica e di Modellazione Sismica**

**(D.M. 11 marzo 1988 - D.M. 17 gennaio 2018 - R.R. Lazio 14/2016)**

*Committente: Amministrazione comunale di Vallepietra*

*Ceccano, Maggio 2018*

*Dr. Geol. Luca Colagiaco*

*Dr. Geol. Andrea Nardoni*

## **1. Introduzione**

Il presente studio è stato condotto su incarico dell'amministrazione comunale di Vallepietra (RM) - Determina del servizio tecnico n.° 2 del 13/01/2018 -, al fine di ottenere una esaustiva caratterizzazione geologica, geomorfologica, geotecnica e sismica dei terreni interessati dal progetto di "Miglioramento sismico degli edifici comunali e dell'ex scuola ed2".

La presente relazione viene redatta sulla base dei dati bibliografici raccolti, dei dati acquisiti da sopralluogo diretto e dai risultati delle indagini effettuate in sito consistenti in n°2 pozzetti esplorativi, n°2 indagini sismiche attive MASW e n°1 analisi di laboratorio geotecnico certificato su campione indisturbato, così non si è proceduto alla realizzazione di sondaggio geognostico e relativa prova in foro Down Hole in considerazione della presenza di roccia compatta al piano di fondazione di difficile perforazione.

Gli argomenti vengono trattati in conformità a quanto prescritto dal decreto Ministeriale dell'11 marzo 1988 sulle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione, il collaudo delle opere di fondazione" pubblicato sulla G.U. della repubblica italiana n.127 del 01.06.1998, tenendo conto delle "Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni", relativa all'Ordinanza del PCM nr. 3274 del 20.03.2003, delle "Norme tecniche per le costruzioni" D.M. 17 Gennaio 2018 e del Regolamento regionale n.14/2016 "Regolamento regionale per lo snellimento e la semplificazione delle procedure per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di prevenzione del rischio sismico e di repressione delle violazioni della normativa sismica [...]" (approvato con D.G.R. Lazio n. 375/2016).

## **2. Livello di Vulnerabilità dell'opera** (vedi tabella in calce)

Sulla base di quanto stabilito dal R.R. Lazio 14/2016, essendo il comune di Vallepietra classificato in zona sismica 2B (D.G.R. Lazio 387/09), l'intervento rientrante nella Classe d'uso IV (Par. 2.4.2 D.M. 17 Gennaio 2018), e dall'esame delle condizioni morfologiche al contorno, il livello di vulnerabilità dell'opera risulta essere "Alto" su Roccia.

### 3. Inquadramento geomorfologico

Dal punto di vista cartografico il sito ricade all'interno della sezione 376070 "Vallepietra" della Carta Tecnica Regionale del Lazio alla scala 1:10.000 e dell'elemento 376071 della Carta Tecnica Regionale Numerica del Lazio alla scala 1:5.000.

Il terreno è posto ad una quota di circa 815 m s.l.m., su di un rilievo calcareo sviluppato in direzione NW-SE.

Nelle adiacenze del sito in esame, non si rilevano particolari tracce di dissesto e nell'area in esame si hanno deboli fenomeni erosivi, infatti l'area risulta costituita da rocce carbonatiche con eventuale sottile coltre di alterazione con spessore inferiore al metro.

Dall'analisi della cartografia "Inventario dei fenomeni franosi" e "situazioni di rischio da frana" redatta dall'Autorità di bacino del Tevere per il piano stralcio di assetto idrogeologico-PAI (Tav. 43), non si hanno evidenze di fenomeni di dissesto in atto o pregressi mentre si segnala a valle della struttura un orlo di scarpata di frana "presunto".

### 4. Attribuzione della categoria topografica

L'area, vista la conformazione morfologica, come da paragrafo 7.11.3.3. della normativa citata (Pendii con inclinazione media  $i > 15^\circ$ ) si attribuisce alla **Categoria Topografica T2**.

### 5. Assetto geologico

L'area oggetto di studio si colloca all'interno della dorsale dei Monti Simbruini, costituiti in prevalenza da calcari e dolomie Mesozoici.

Nel sito si rinvencono i seguenti litotipi:

- Dolomie e calcari dolomitici in strati sottili a giacitura sub-verticale riconducibili al Triassico superiore (Norico - Retico) depositi in ambiente di piattaforma interna protetta, in facies tipiche di laguna o mare poco profondo a bassa energia

A Nord-Ovest del sito la successione continua regolarmente in continuità stratigrafica con i termini liassici. A Nord e Nord-Est il contatto è tettonico, per mezzo di una faglia a direzione NW-SE a prevalente componente trascorrente obliterata, lungo buona parte del corso del fosso del Tartaro, dalla presenza di depositi travertinosi continentali pleistocenici.

A Sud e Sud-Est le dolomie triassiche sono in contatto tettonico con i calcari cretaci sovrascorsi con direzione appenninica mentre ad est i calcari cretaci sono in affioramento per mezzo della su citata faglia trascorrente.

Dal punto di vista tettonico l'area è caratterizzata da una serie di accavallamenti a basso angolo tipo thrust, a direzione NE, legati alla fase compressiva Mio-Pliocenica.

Si hanno sovrapposizioni di strutture distensive connesse all'apertura del Bacino tirrenico, e parziale riutilizzazione dei precedenti piani di scorrimento, a partire dal Pliocene superiore ad oggi.

In corrispondenza delle superfici di sovrascorrimento si osservano pieghe coricate e/o rovesciate e variazione delle giaciture degli strati fino alla verticale.

A tali lineamenti, con direzione principale NW-SE, si affiancano elementi trasversali con direzione NE-SW a cinematica complessa ma con chiare componenti trascorrenti.

## **6. Assetto idrogeologico**

L'area è ubicata all'interno del bacino idrografico del Fiume Aniene.

Immediatamente a Nord del sito, alla base del rilievo su cui sorge l'abitato di Vallepietra, il Fosso del Tartaro, proveniente da NNE, e il Fosso dei Muralli, proveniente da Ovest, confluiscono nel Torrente Simbrivio, che nasce a Est e prosegue con direzione prevalente N-S fino alla confluenza con il Fiume Aniene ad una distanza di circa 7,0 km a SW del sito.

In merito alla permeabilità dei terreni presenti, considerato che questa dipende dalla porosità e dallo stato di fratturazione dei litotipi, possono essere distinti corpi a comportamento differente:

COMPLESSO DEI TRAVERTINI: costituito da una coltre di depositi travertinosi dallo spessore esiguo, è caratterizzato da elevatissima permeabilità per porosità, risulta in continuità idraulica con i depositi carbonatici sottostanti.

COMPLESSO DI PIATTAFORMA CARBONATICA: costituito da una potente sequenza di calcari e calcari dolomitici, è caratterizzato da elevatissima permeabilità per fratturazione e carsificazione ed è sede del più importante acquifero regionale.

COMPLESSO DOLOMITICO BASALE: costituito dalle dolomie Triassiche basali affiorano in sito e in ulteriori pochi luoghi della regione, hanno permeabilità elevata ma inferiore ai calcari, determinando la possibilità di sostenere acquiferi fino ad alte quote, con conseguente alimentazione di sorgenti e corsi d'acqua perenni.

Da dati bibliografici la falda di base si attesta nell'area a quote comprese tra gli 800 e i 700 m s.l.m., con direzione di deflusso verso il torrente Simbrivio, che risulta costantemente alimentato.

## 7. Sismicità

Secondo i criteri stabiliti con l'O.P.C.M. n°3519 del 28/04/2006 la Regione Lazio, con D.G.R. n°387 del 22/05/2009, ha effettuato una riclassificazione del proprio territorio basata su 3 zone sismiche, suddividendo le zone 2 e 3 in sottozone A e B. Il Comune di Vallepietra risulta appartenere alla **zona 2, sottozona B** cui si riferisce il valore dell'accelerazione orizzontale ag/g atteso, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni compreso tra 0,15 e 0,20.

Dalla consultazione della “Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica” redatta per il comune di Vallepietra, l'area di intervento ricade in “Zona suscettibile di amplificazione sismica” – SA1, caratterizzata dalla presenza di substrato rigido lapideo dolomitico caratterizzato da pendenze dei versanti superiori ai 30°.

## 8. Indagini in sito

I dati di seguito riportati si riferiscono alle indagini condotte in sito consistenti in n°3 prove indagini sismiche attive MASW, n°3 indagini sismiche a rifrazione, n°5 indagini sismiche passive HVSR e n°1 analisi di laboratorio geotecnico certificato su campione in roccia.

Per i dettagli delle elaborazioni e l'ubicazione delle indagini si rimanda agli allegati.

### Indagini sismiche MASW

Le indagini effettuate permettono di stimare la velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) dei terreni a partire dalla velocità delle onde di superficie (Rayleigh nel caso del presente studio). La velocità delle onde di taglio è legata alla rigidità  $\mu$  dei terreni tramite la formula:  $\mu = \rho * V_s^2$ , dove  $\rho$  è la densità. Poiché la densità dei suoli varia relativamente poco con la profondità (almeno nelle prime decine di metri), dalla formula si evince che i valori di  $V_s$  sono i primi indicatori della rigidità di un terreno;

L'indagine è stata eseguita utilizzando un sismografo MAE 6000 SE a 24 canali. I profili MASW sono stati eseguiti utilizzando n° 12 geofoni allineati sul terreno con interdistanze geofoniche pari a 2,0 – 2,5 – 3,0 m.

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  $V_S$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse.

Alla luce delle indicazioni normative e delle condizioni locali, in cui è stata accertata l'imposta delle fondazioni sulla roccia a circa 4 m dal piano campagna attuale, dalla elaborazione delle indagini sismiche attive masw è stato individuato il substrato, caratterizzato da  $V_S > 800$  m/s alla profondità di 3 m dal piano di posa delle fondazioni, pertanto si attribuisce la **Categoria di Sottosuolo A**: *“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.”*.

### Indagini sismiche a rifrazione

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche (onde P in tal caso) generate in un punto in superficie (punto di sparo), in corrispondenza di una molteplicità di punti disposti allineati sulla superficie topografica (geofoni). Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà meccaniche e fisiche dei terreni e la compattezza dei materiali da queste attraversati.

Mediante questo tipo di indagine si può risalire alla probabile composizione litologica di massima dei terreni, al loro grado di fratturazione, alla geometria delle prime unità sottostanti la coltre superficiale, alla profondità in cui si trova la roccia di fondo ("bedrock"), alla sua forma e talora, in terreni alluvionali, alla profondità della falda freatica.

Utilizzando quindi le distanze tra il punto di scoppio e quello di ricezione e i tempi di primo arrivo dei segnali sismici, sono ricavate le dromocrone (curve tempi-distanze), dalle quali si risale, tramite opportuno programma di calcolo, alle velocità reali nei singoli strati, al loro spessore, profondità, forma ed inclinazione.

Per registrare simultaneamente gli impulsi sismici rilevati dai geofoni è necessario l'utilizzo di una strumentazione elettronica multicanale, a bassissimo rumore interno, ad alta velocità di campionamento, dotata di supporto magnetico per la registrazione dei dati ottenuti dopo opportuna amplificazione filtraggio e conversione analogico/digitale. A questo scopo è stato utilizzato il sismografo A6000SE.

Per generare le onde sismiche è stato utilizzato una apposita massa battente di 8 kg. L'impulso viene trasmesso immediatamente al sismografo per consentire una registrazione sincronizzata al tempo 0. Le sezioni sismiche sono costituite da 12 geofoni allineati a passo costante, e vengono energizzati 3 punti in linea alle stese, uno interno e due esterni. L'acquisizione di dati avviene dopo le opportune verifiche di corretto funzionamento della strumentazione e del circuito di time-break (tempo 0). La procedura elaborativa è sinteticamente descrivibile nei passi seguenti:

- Trasferimento dei sismogrammi al programma di prelevamento dei tempi di primo arrivo;
- Emissione delle sezioni interpretate riportanti le interfacce fra strati di diversa velocità sismica e i valori stessi di velocità.

L'interpretazione GRM viene quindi a fornire il modello iniziale delle velocità del terreno, necessario ad attivare le iterazioni del completo modello matematico bidimensionale (modellizzazione tomografica). Il terreno viene quindi suddiviso in celle di dimensione minima, ciascuna dotata di una diversa velocità sismica e ciascuna pronta a venir modificata dalla procedura di iterazione tomografica allo scopo di ridurre al minimo l'errore fra le dromocrone calcolate in base al modello di terreno e quelle effettivamente misurate durante la prospezione.

Dalle elaborazioni effettuate sono stati individuati tre sismostrati principali:

Stendimento 1 - 22,0 m:

- 1) profondità 0- 1,5/4,0 m,  $V_p$  2816.8 m/s;
- 2) da 1,5/4,0m,  $V_p$  3459,89 m/s.

Stendimento 2 - 33,0 m:

- 1) profondità 0 - 9,0/10 m,  $V_p$  2475.36 m/s;
- 2) da 9,0/10 m,  $V_p$  2751.26 m/s.

Stendimento 3 – 27.5 m:

- 1) profondità 0 – 2,5/4,0 m,  $V_p$  1481.33 m/s;
- 2) da 2,5/4,0 m,  $V_p$  2109,7 m/s.



## Indagini sismiche HVSR

La tecnica H/V è la tecnica dedicata quando si vogliono mettere in luce le frequenze di risonanza dei terreni.

La curva H/V, a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito, è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli e, tramite opportuna inversione, delle profondità dei substrati rocciosi sotto le coperture sedimentarie.

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un sistema bistrato del tipo sedimenti + bedrock in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D). In questi casi la profondità  $h$  della discontinuità sismica viene ricavata tramite la formula semplice della risonanza  $h = V / (4 f_r)$  o, al più, tramite la formula [1] in cui  $V_0$  è la velocità al tetto dello strato,  $x$  un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e  $f_r$  la frequenza fondamentale di risonanza (cf. ad esempio Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

$$h = \left[ \frac{V_0(1-x)}{4f_r} + 1 \right]^{\frac{1}{1-x}} - 1 \quad [1]$$

Nei sistemi multistrato, teoricamente l'effetto di risonanza è sommabile, ma non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1]. L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

Le misure di microtremore ambientale sono state effettuate per mezzo di un tromografo digitale portatile sperimentale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento è dotato di tre sensori velocimetrici ortogonali (geofoni senshe con periodo proprio 4,5 Hz). I dati di microtremore ambientale, digitalizzati a 24 bit, sono stati acquisiti per 20min alla frequenza di campionamento di 250 Hz.

Nelle cinque registrazioni effettuate si osservano picchi > 18,50 Hz, al di fuori del range di interesse ingegneristico (0,5 – 10,0 Hz) da attribuirsi ai riporti antropici di riempimento.

## Caratterizzazione ammasso roccioso

Per la parametrizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso affiorante si è fatto riferimento al criterio di rottura di Hoek e Brown.

Il metodo si fonda sulla definizione di un criterio di rottura empirico e perviene alla definizione della resistenza al taglio dell'ammasso in termini di  $\phi'$  e  $c'$ , attraverso una procedura di caratterizzazione delle qualità meccaniche e strutturali dell'ammasso mediante l'assegnazione di un valore numerico (parametro) alle sue caratteristiche geologiche.

I parametri sono stati ottenuti utilizzando il software di calcolo "RocLab" della Rocscience, inserendo i parametri richiesti, ottenuti da rilievo diretto.

### Analisi di laboratorio geotecnico

È stato prelevato un campione in roccia da affioramento posto alla base delle fondazioni.

Il campione è stato inviato a laboratorio geotecnico certificato su cui è stata effettuata n°1 prova di compressione semplice e determinazione del peso di volume naturale.

### Sondaggio geognostico – prova sismica in foro

Non si è proceduto alla esecuzione di sondaggio geognostico e prova geofisica diretta in foro, sebbene previste dall'allegato C al R.R. Lazio 14/2016, per le seguenti motivazioni:

- Rocca litoide compatta affiorante alla base delle fondazioni, da cui è stato prelevato un campione sottoposto ad analisi geotecnica di laboratorio;
- La tipologia e quantità di indagini non invasive eseguite a ridosso delle strutture hanno consentito un'ideale caratterizzazione geologica, geotecnica e sismica nel volume significativo così come richiesto da normativa vigente;
- Diffusa presenza di sottoservizi in adiacenza alle strutture oggetto di intervento.

## **9. Caratterizzazione geotecnica**

Valori per i principali parametri geotecnici per i terreni di fondazione determinati dalle prove di laboratorio e dalla caratterizzazione dell'ammasso roccioso:

Spessore (m)	Litologia	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\phi^\circ$	cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	GSI	mi	D
>30,0	Dolomie cristalline	24.8	45	20	521	75	8	0

$\gamma$  = peso dell'unità di volume;  $\phi$ = angolo di attrito; cu= coesione non drenata;

## **10. Risposta sismica locale**

Sulla base dei dati ottenuti dalle indagini eseguite in sito e dalle prove di laboratorio geotecnico è stata effettuata un'analisi della risposta sismica locale, utilizzando gli Accelerogrammi di input estratti tramite software Rexel v.3.5 beta (Iervolino, I., Galasso, C., Cosenza, E.).

Per lo limite considerato SLO è stato utilizzato un set di 7 accelerogrammi estratti dal database ITACA (Working Group ITACA, 2008 - Data Base of the Italian strong motion data), mentre per SLD, SLV e SLC sono stati utilizzati set di 7 accelerogrammi estratti dal database Europeo (Ambraseys, N., Smit, P., Sigbjornsson, R., Suhadolc, P. and Margaris, B. European Commission, Research-Directorate General, Environment and Climate Programme, 2002)

Per la determinazione dei parametri di disaggregazione si è fatto riferimento alla Mappa di Pericolosità Sismica redatta dall'INGV relativamente al punto 28301, distante circa 1,1 km dal sito in esame.

Si hanno valori di magnitudo M comprese tra 4,0 e 7,5 con R tra 0,0 e 60,0 Km per SLO, SLD; M comprese tra 4,0 e 7,5 con R tra 0,0 e 40,0 Km per SLV e SLC.

In fase di elaborazione il rapporto tra deformazione a taglio effettiva e massima è stata fissato pari a 0,42 per tutti gli stati limite.

L'elaborazione dei dati è stata effettuata mediante l'uso del software RSL III, fornito dalla Geostru s.r.l..

La stratigrafia utilizzata per i calcoli è la seguente:

- 0,0 - 1,0 m dal piano fondazioni: "EPRI Rock 0 - 6 m" con Vs 700 m/s e p.v. 25.0 kN/m<sup>3</sup>;
- > 1,0 m dal piano fondazioni: "Bedrock" con Vs 1000 m/s e p.v. 25.0 kN/m<sup>3</sup>.

Mediante il processo di elaborazione, sono stati ricavati gli spettri medi e gli spettri normalizzati, per gli stati limite SLO, SLD, SLV e SLC.

Negli spettri di output si riconoscono picchi di massima accelerazione con periodi intorno a 0,12s - 0,53s.

Si riassumono di seguito i parametri degli spettri ricavati e dettagliatamente specificati in allegato:

	$Se_0 = A_g$ (g)	$Se_{Tb} = A_g \text{ Max}$ (g)	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)	F0 (s)	Tc* (s)
<b>SLO</b>	0.132	0.250	0.122	0.366	2.012	1.896	0.366
<b>SLD</b>	0.143	0.335	0.149	0.446	2.104	2.341	0.446
<b>SLV</b>	0.306	0.642	0.176	0.527	2.620	2.100	0.527
<b>SLC</b>	0.282	0.669	0.133	0.398	2.696	2.372	0.398

## 11. Analisi di stabilità del pendio

E' stata effettuata un'analisi di stabilità del pendio, in condizioni sismiche.

Al fine di evidenziare le maggiori criticità, sono stati considerati i profili coincidenti con le sezioni geologiche di dettaglio elaborate, in quanto passanti per i punti di maggiore pendenza.

Per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software SSAP2010 ver. 4.5.2, tramite questa applicazione è stato possibile determinare le 10 superfici a minor Fs per le due sezioni analizzate.

Sono stati ricavati valori di Fs minimi pari a 8,689 lungo la sezione n°1 e a 8,777 lungo la sezione n°2.

Tali risultati risultano ampiamente soddisfacenti per le condizioni di stabilità dell'opera.

Per i dettagli sulle elaborazioni si rimanda agli allegati in calce alla relazione.

## 12. Conclusioni

La presente relazione geologica ha evidenziato, sulla base dei dati geologico-geomorfologici ottenuti dal rilevamento di superficie, un quadro geologico generale della zona esaminata.

Dalle indagini di tipo diretto eseguite nell'area di intervento, emerge che in generale i terreni presentano caratteristiche geomeccaniche compatibili con le opere in progetto.

A seguito dei sopralluoghi e delle indagini effettuati è possibile evincere quanto segue:

- La morfologia del sito è caratterizzata da una pendenza media superiore ai 15° (**Categoria topografica T2**);
- Il termine litostratigrafico affiorante è rappresentato da dolomie cristalline;
- **In fase progettuale si tenga conto scrupolosamente della caratterizzazione geotecnica e della parametrizzazione sismica ottenuta da apposita analisi di risposta sismica locale;**
- Il substrato su cui è impostata la fondazione dell'opera presenta caratteristiche geotecniche accettabili ai fini della stabilità dell'opera stessa;
- Il terreno in esame può essere riferito alla **CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE tipo A**;
- Dal rilievo diretto e dall'analisi della cartografia specifica quale "Inventario dei fenomeni franosi" e "situazioni di rischio da frana" redatta dall'Autorità di bacino del Tevere per il piano stralcio di assetto idrogeologico-PAI, non si hanno evidenze di fenomeni di dissesto in atto o pregressi;
- Considerato l'assetto topografico, geologico e geomorfologico del sito è stata effettuata una verifica di stabilità dei versanti lungo le due sezioni a maggiore acclività, i cui risultati non evidenziano particolari situazioni di instabilità lungo i versanti.

#### ALLEGATI:

- Carta Topografica scala 1:5.000
- Carta Geologica scala 1:20.000
- Carta Geologica scala 1:20.000
- Carta Idrogeologica scala 1:20.000
- Carta PAI scala 1:10.000
- Carta MOPS scala 1:10.000
- Carta Geologica di dettaglio scala 1:2.000
- Carta Indagini scala 1:500
- Indagini e Prove:
  - Indagini sismiche MASW
  - Indagini sismiche a rifrazione
  - Indagini sismiche HVSR
  - Analisi di laboratorio
  - Caratterizzazione ammasso roccioso
- Sezioni geologico-sismiche scala 1:1.000
- Stratigrafia fino a 30,0 m con profili di velocità
- Analisi di risposta sismica locale

LIVELLO DI VULNERABILITÀ DELL'OPERA  
(R.R. Lazio 14/2016)

	zona sismica 1	zona sismica 2a	zona sismica 2b	zona sismica 3a	zona sismica 3b
ASSEVERAZIONI	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BASSO	BASSO
PROGETTI A SORTEGGIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BASSO	BASSO
PROGETTI A CONTROLLO OBBLIGATORIO (classe d'uso II; classe d'uso III, escluse le strutture per l'istruzione - DGRL n. 489/2012)	ALTO	MEDIO	MEDIO	BASSO	BASSO
PROGETTI A CONTROLLO OBBLIGATORIO (classe d'uso III - strutture per l'istruzione; classe d'uso IV e opere pubbliche)	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO

INDAGINI IN SITO MINIME RICHIESTE	
Livello di Vulnerabilità Alto Roccia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Almeno 1 prova geofisica indiretta (tipo MASW, SASW, ecc.) per il calcolo delle <math>V_{s,30}</math>;</li> <li>• Determinazione delle caratteristiche geomeccaniche degli ammassi rocciosi con rilevamento geostrutturale;</li> <li>• Prove di laboratorio per la caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni di fondazione;</li> <li>• Verifiche di stabilità ante e post-operam dei versanti, se necessario;</li> <li>• Solo per i progetti a controllo obbligatorio*: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Almeno 1 prova geofisica diretta in foro di sondaggio (tipo Down Hole, Cross-Hole, ecc.);</li> <li>▪ Almeno un sondaggio geognostico, attrezzato per 1 prova sismica diretta.</li> </ul> </li> <li>• Risposta sismica locale.</li> </ul>

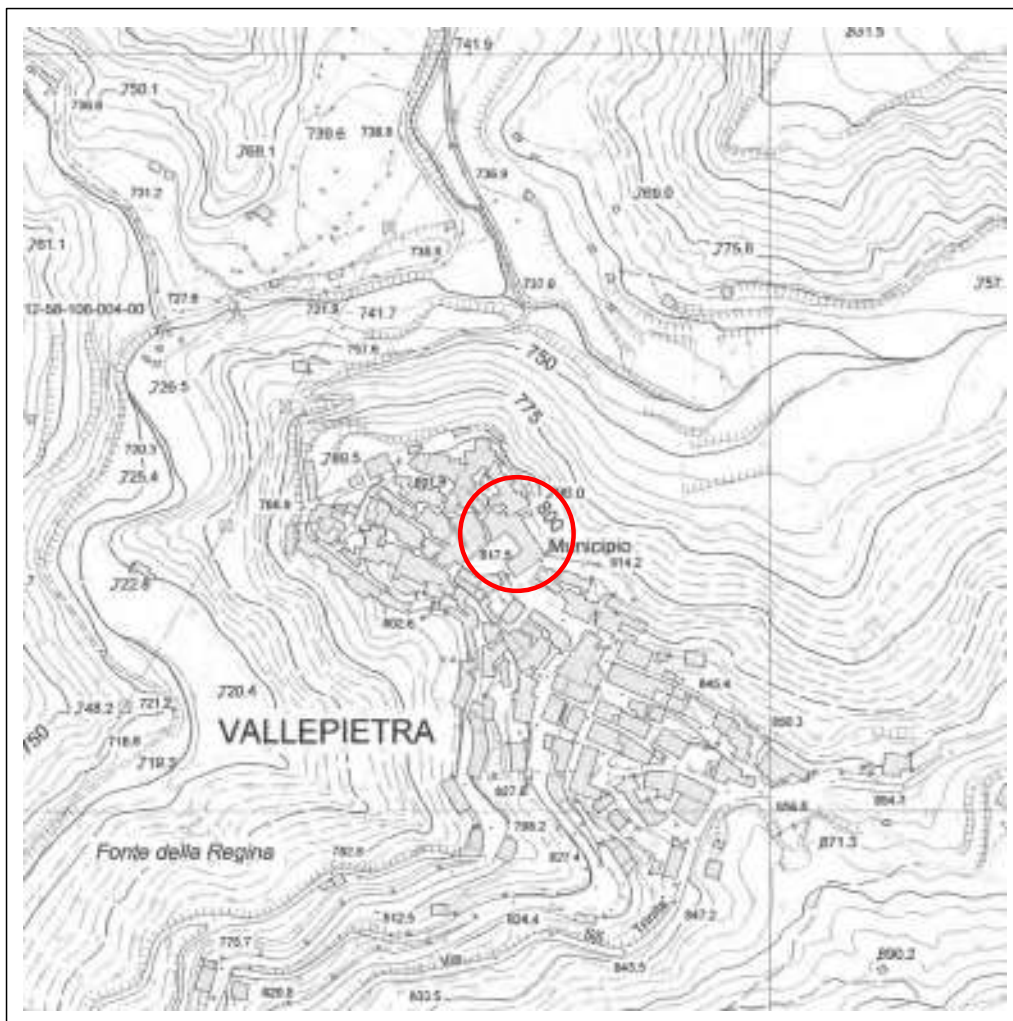
INDAGINI IN SITO SVOLTE	
Livello di Vulnerabilità Alto Roccia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>3 prove geofisiche indirette</b> tipo MASW per il calcolo delle <math>V_{s,30}</math>;</li> <li>• <b>3 prove geofisiche indirette</b> a rifrazione;</li> <li>• <b>5 prove geofisiche indirette</b> HVSR;</li> <li>• <b>1 prova di laboratorio</b> per la caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni di fondazione;</li> <li>• <b>2 Verifiche di stabilità dei versanti</b>;</li> <li>• <b>Analisi di risposta locale per gli stati limite SLO, SLD, SLV e SLC.</b></li> </ul>

\*: Sondaggio geognostico – prova sismica in foro

Non si è proceduto alla esecuzione di sondaggio geognostico e prova geofisica diretta in foro, sebbene previste dall'allegato C al R.R. Lazio 14/2016, per le seguenti motivazioni:

- Roccia litoide compatta affiorante alla base delle fondazioni, da cui è stato prelevato un campione sottoposto ad analisi geotecnica di laboratorio;
- La tipologia e quantità di indagini non invasive eseguite a ridosso delle strutture hanno consentito un'ideale caratterizzazione geologica, geotecnica e sismica nel volume significativo così come richiesto da normativa vigente;
- Diffusa presenza di sottoservizi in adiacenza alle strutture oggetto di intervento.

# CARTA TOPOGRAFICA



SCALA 1:5.000

Base cartografica C.T.R. Lazio 1:5.000  
Elemento 376071

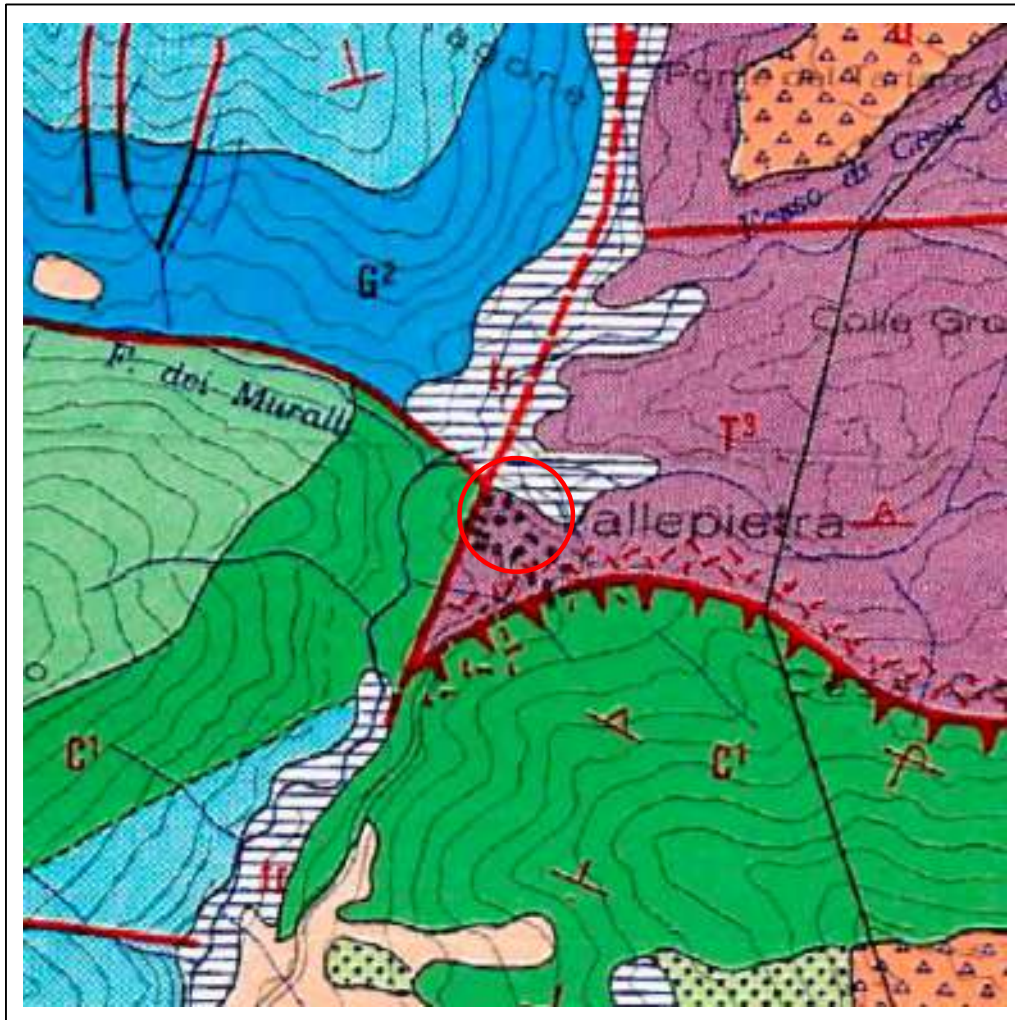
## LEGENDA







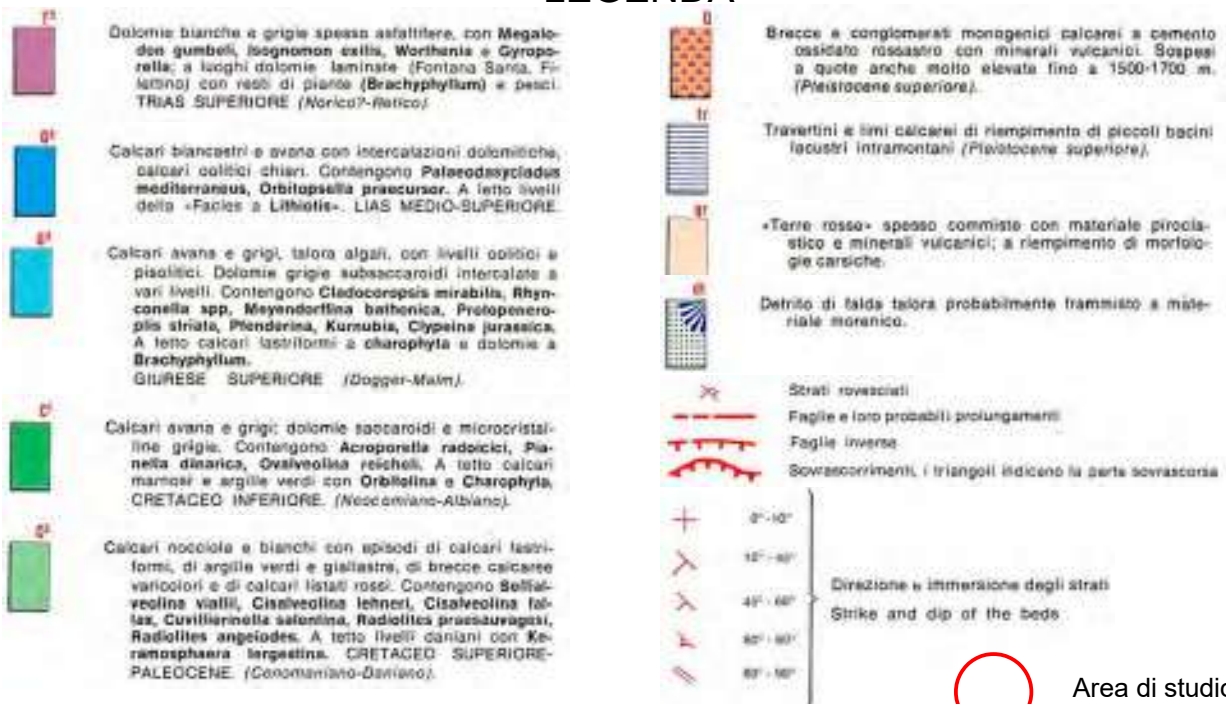
# CARTA GEOLOGICA



SCALA 1:20.000

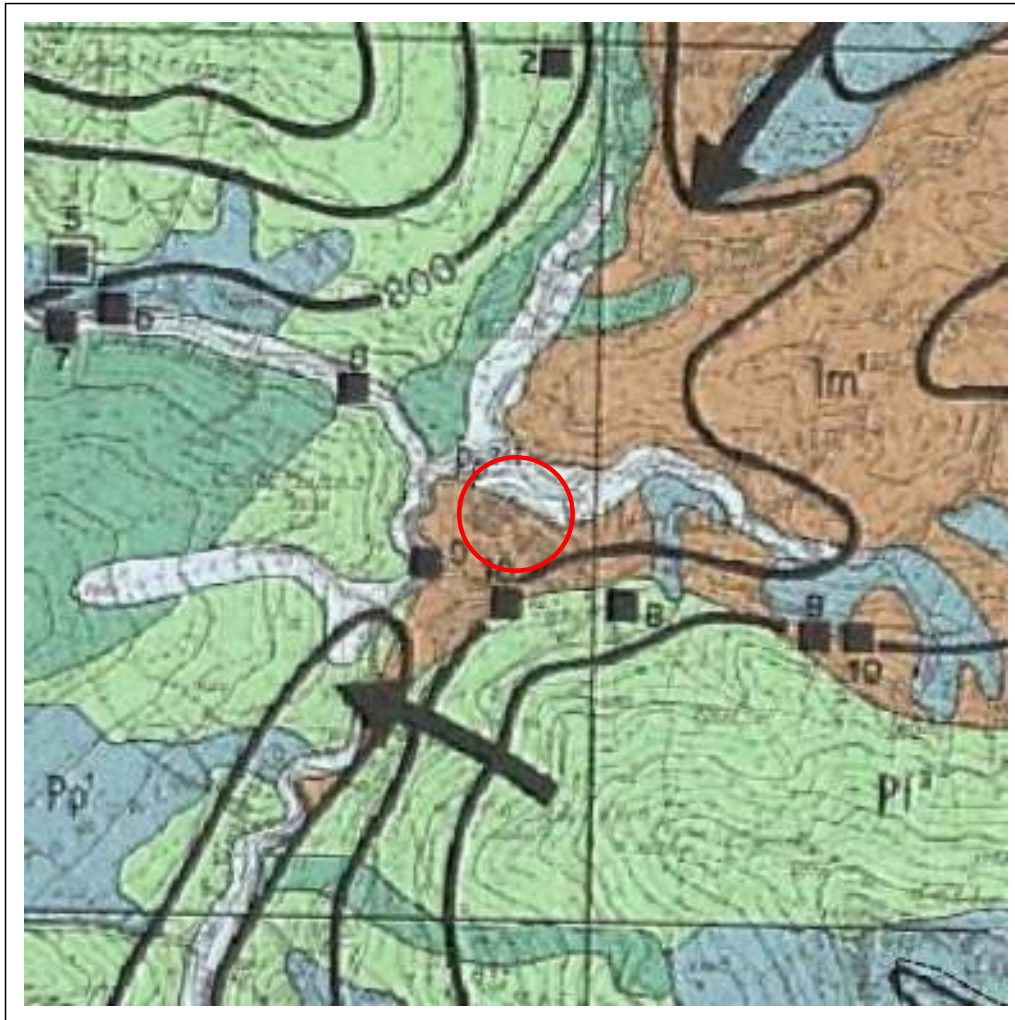
Base cartografica  
Carta Geologica dei Monti Simbruini Nord Orientali

## LEGENDA



Area di studio

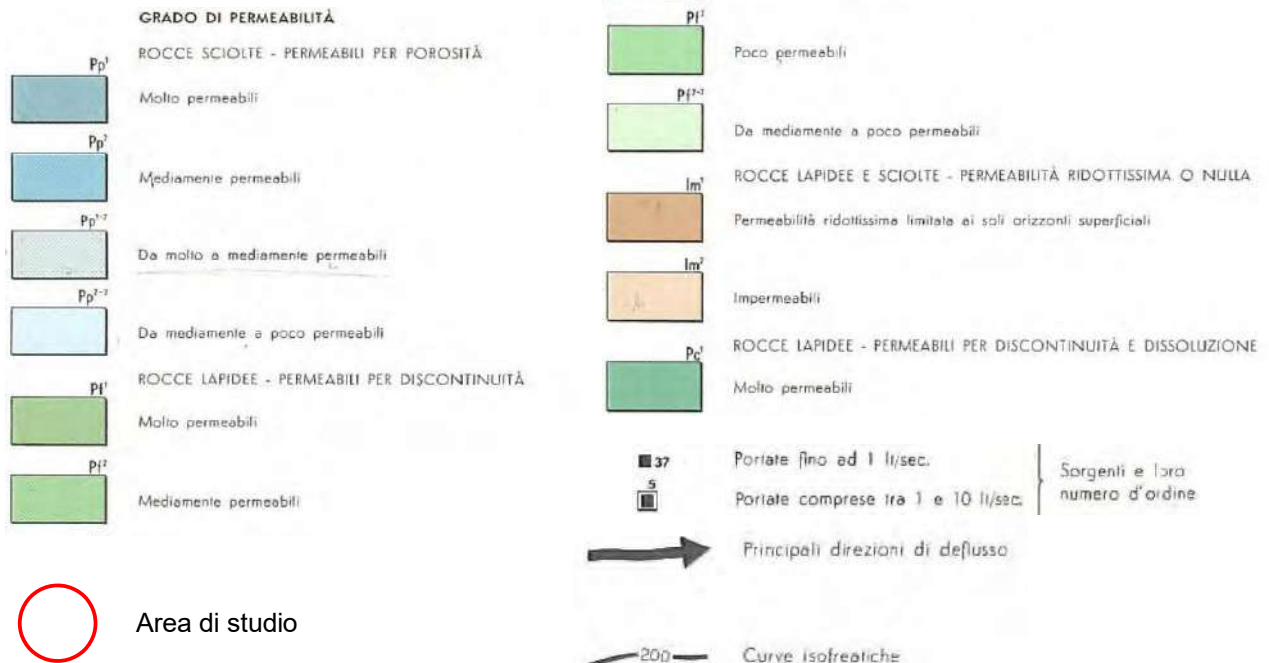
# CARTA IDROGEOLOGICA



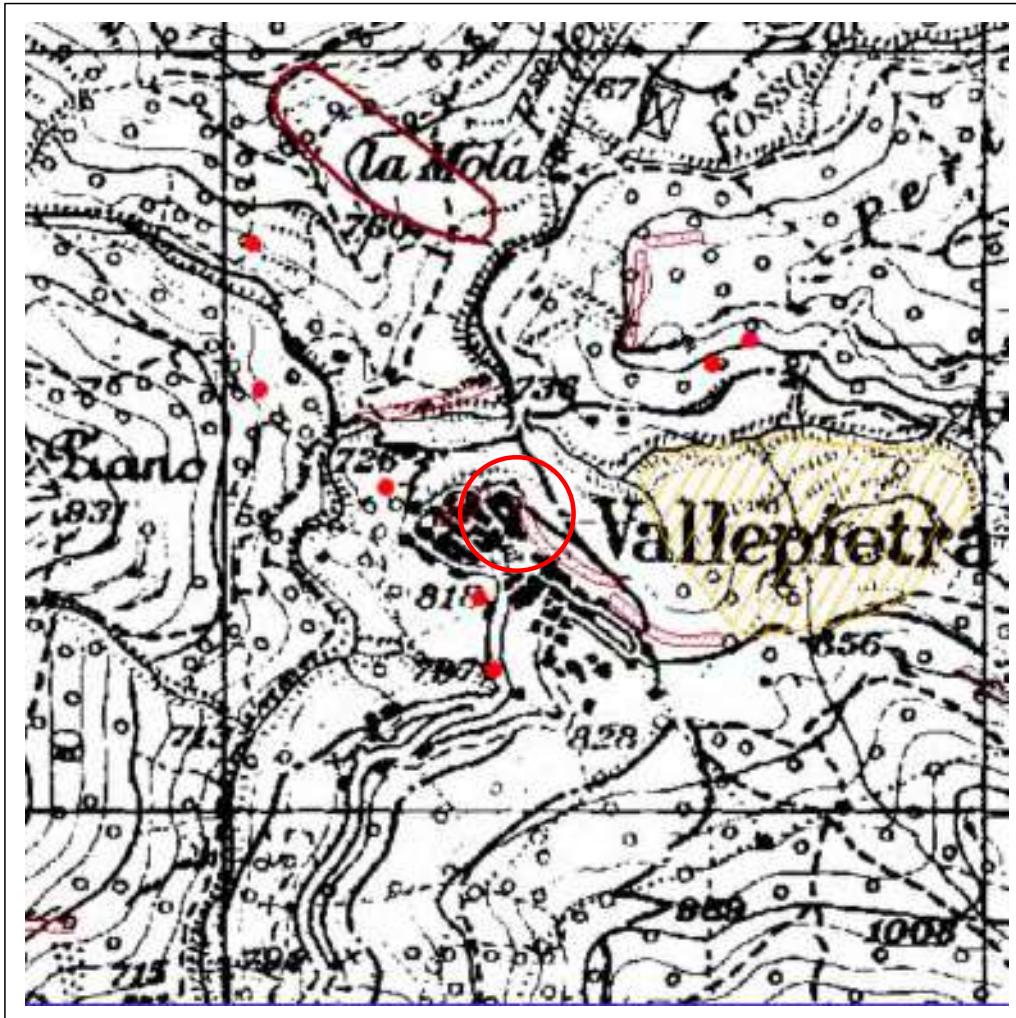
SCALA 1:20.000

Base cartografica "Idrogeologia della provincia di Roma  
- Regione Orientale, Foglio 2" scala 1:50.000

## LEGENDA



# STRALCIO PSAI-A.B.TEVERE



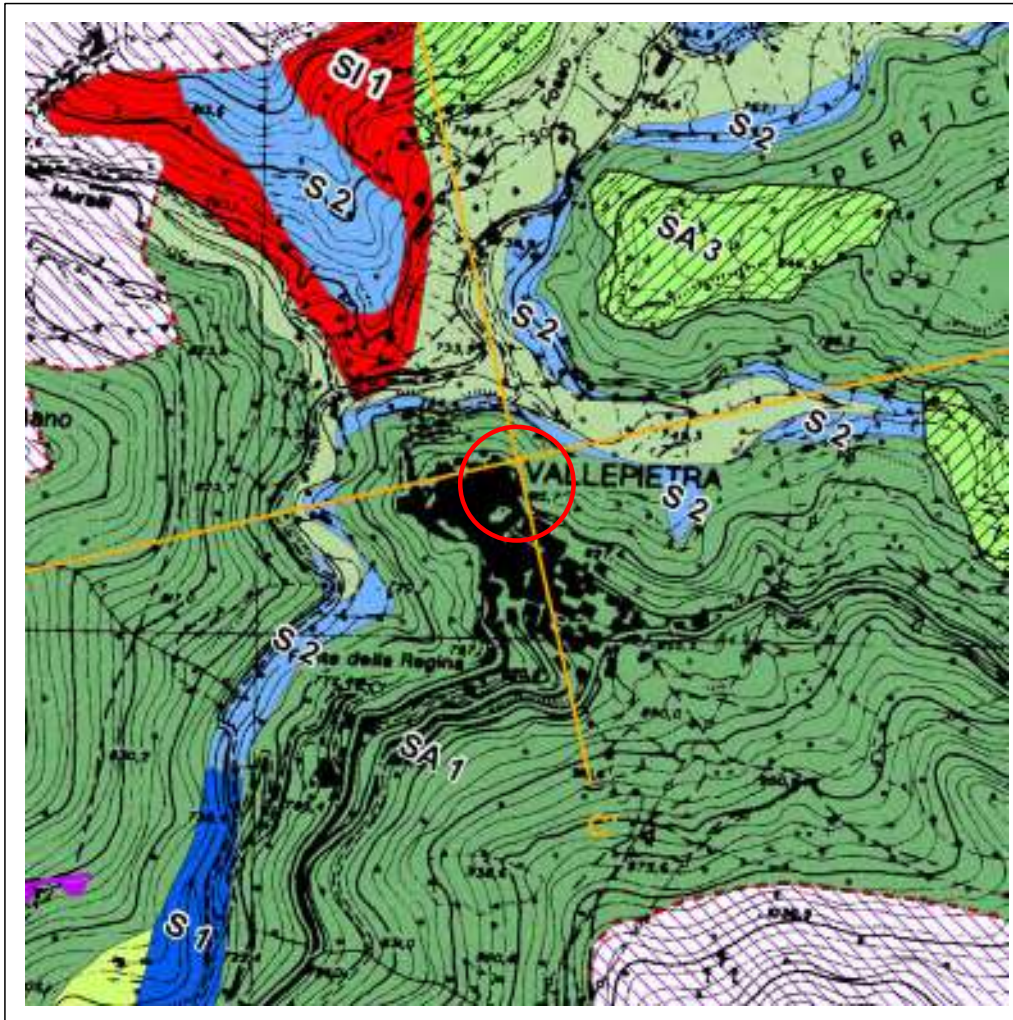
SCALA 1:10.000

Base cartografica: Autorità di bacino del Tevere  
 "Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico-Inventario dei  
 fenomeni franosi e situazioni di rischio da frana" Tav. 43

## LEGENDA

fenomeno attivo	fenomeno quiescente	fenomeno inattivo*	fenomeno presunto	
				area a calanchi o in erosione
				frana presunta
				orlo di scarpata di frana
				frana non cartografabile
				falda e/o cono di detrito
				Area di studio

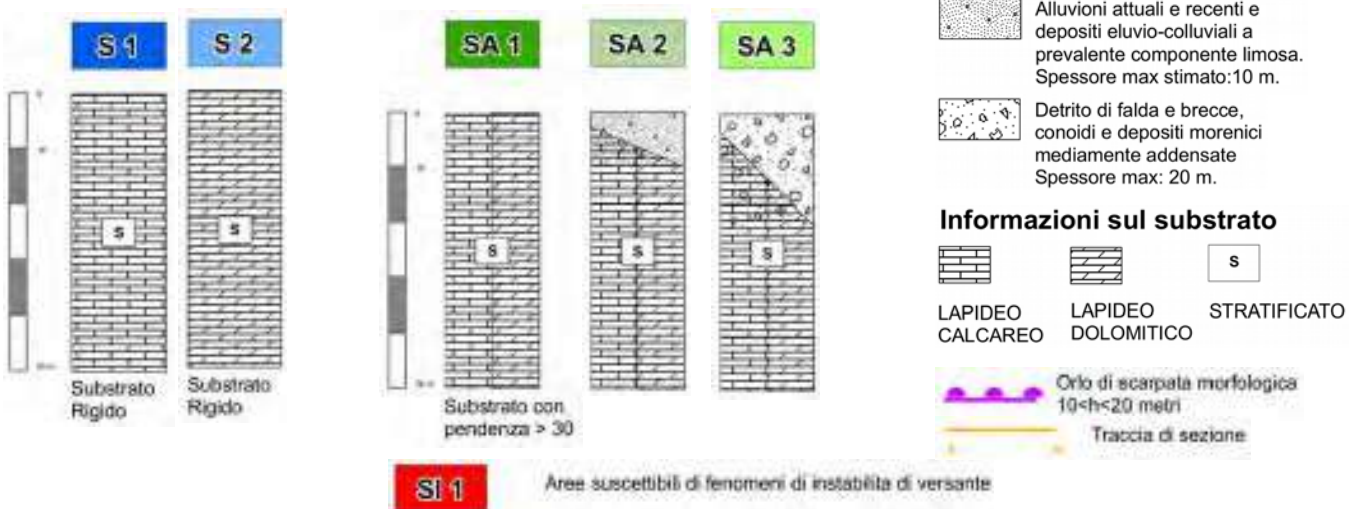
# STRALCIO MOPS



SCALA 1:10.000

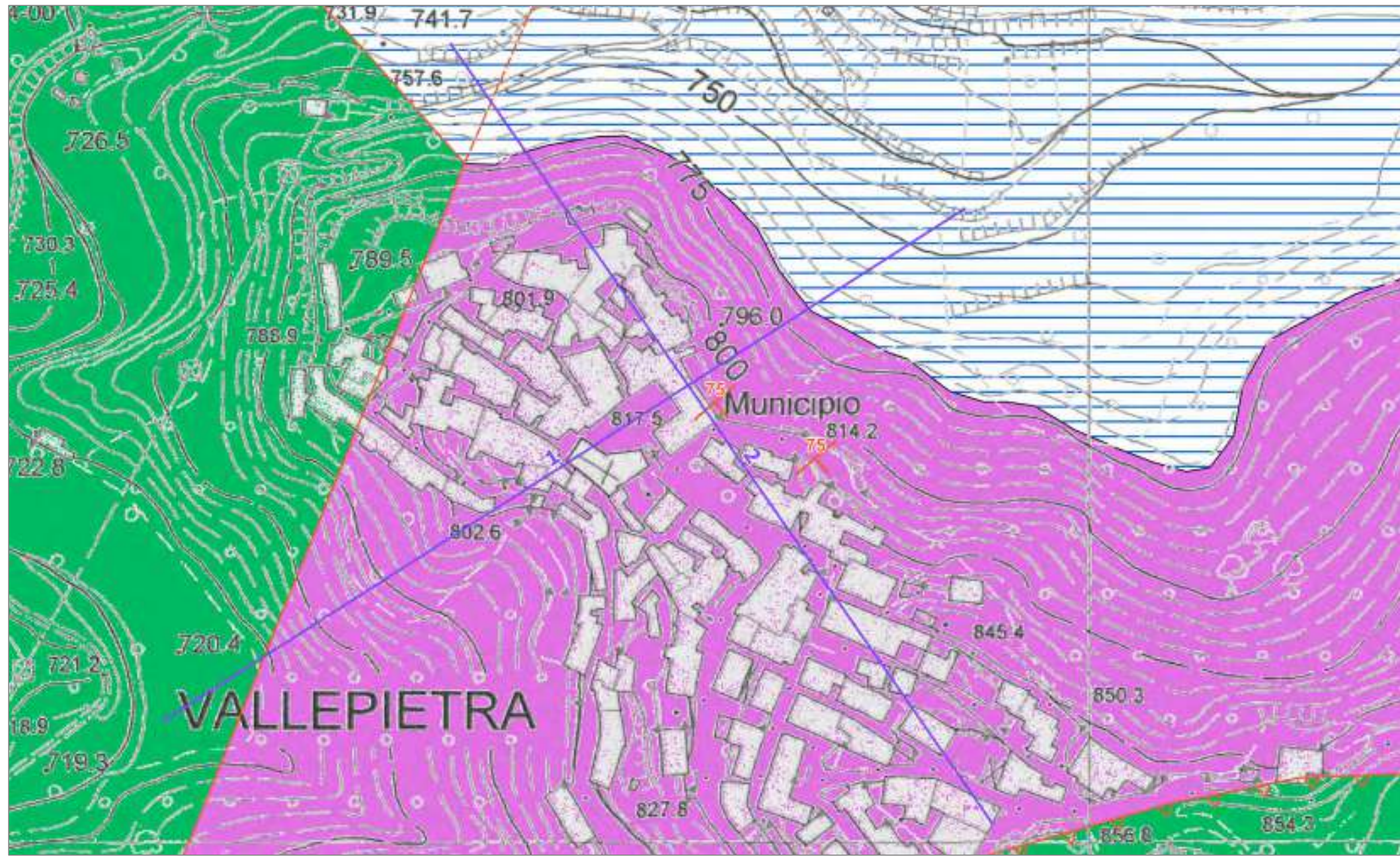
Base cartografica: Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica – Comune di Vallepietra

## LEGENDA



 Area di studio





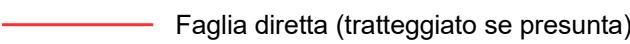


# CARTA GEOLOGICA



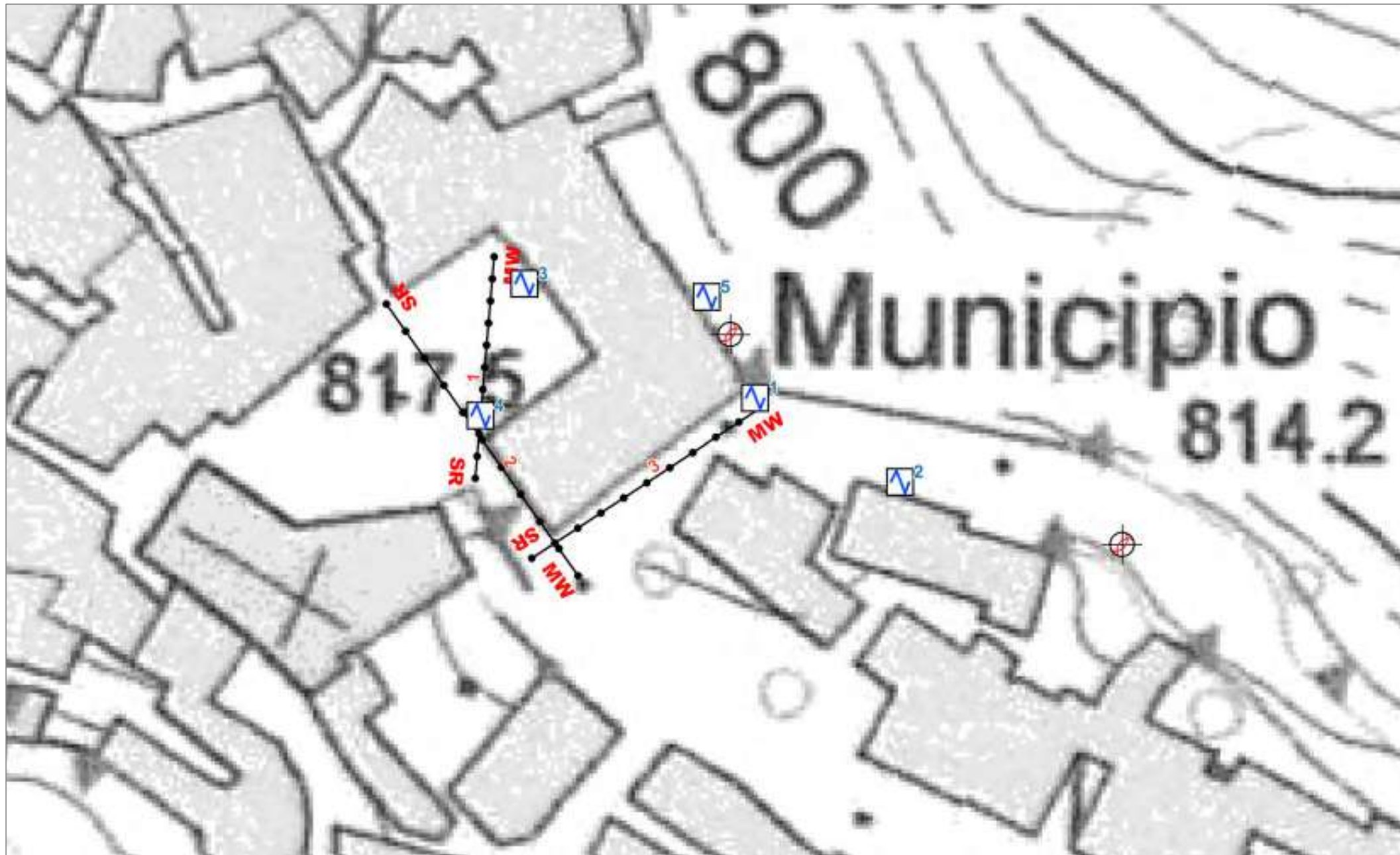
SCALA 1:2.000

Base cartografica C.T.R. Lazio 1:5.000  
Elemento 376071

## LEGENDA

- |   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  Travertini (Pleistocene sup.) |  Dolomie saccaroidi e microcristalline grigie (Neocomiano - Albiano) |  Dolomie bianche e grigie (Norico? - Retico) |   |
|  Traccia sezione geologica     |  Faglia diretta (tratteggiato se presunta)                           |  Sovrascorrimento                            |  Giacitura |

# CARTA DELLE INDAGINI



SCALA 1:500

Base cartografica C.T.R. Lazio 1:5.000  
Elemento 376071

## LEGENDA



Stazione geomeccanica



Stazione microtremore a stazione singola



Profilo sismico a rifrazione



MASW

**“Indagini e prove eseguite secondo le disposizioni dell’Allegato C  
al Regolamento Regionale n. 14 del 5/7/2016”**

--

<b>Geo-Colnar s.n.c.</b> <b>C.FISC: nd</b> <b>P.IVA: 02708800608</b>	<b>Via: Viale Lauretti Alberto, 7</b> <b>03020 Vallecorsa (FR) -</b>  <b>Tel: -</b> <b>Fax:</b> <b>Email: geocolnar@libero.it Web:</b>
--	---

	<b>Data: maggio 2018</b>
	<b>Il committente</b>
	<b>IL Tecnico</b>
	<b>Il Progettista</b>
<b>Indagine geofisica tramite tecnica MASW</b>	



# Easy MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

## Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P**-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- **S**-Trasversale: onda profonda di taglio;
- **L**-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R**-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

## Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

## Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

## Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

## Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a

contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

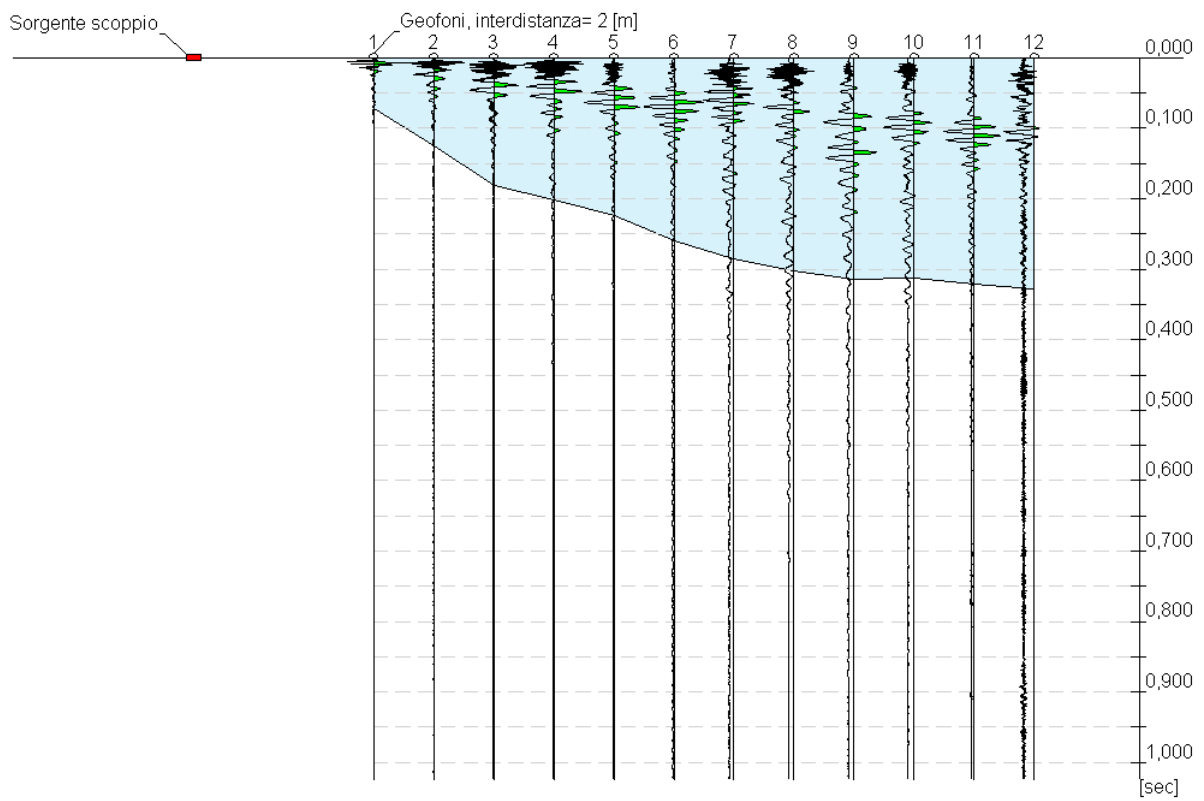
### **Profondità di indagine**

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

# MASW 1

## Tracce

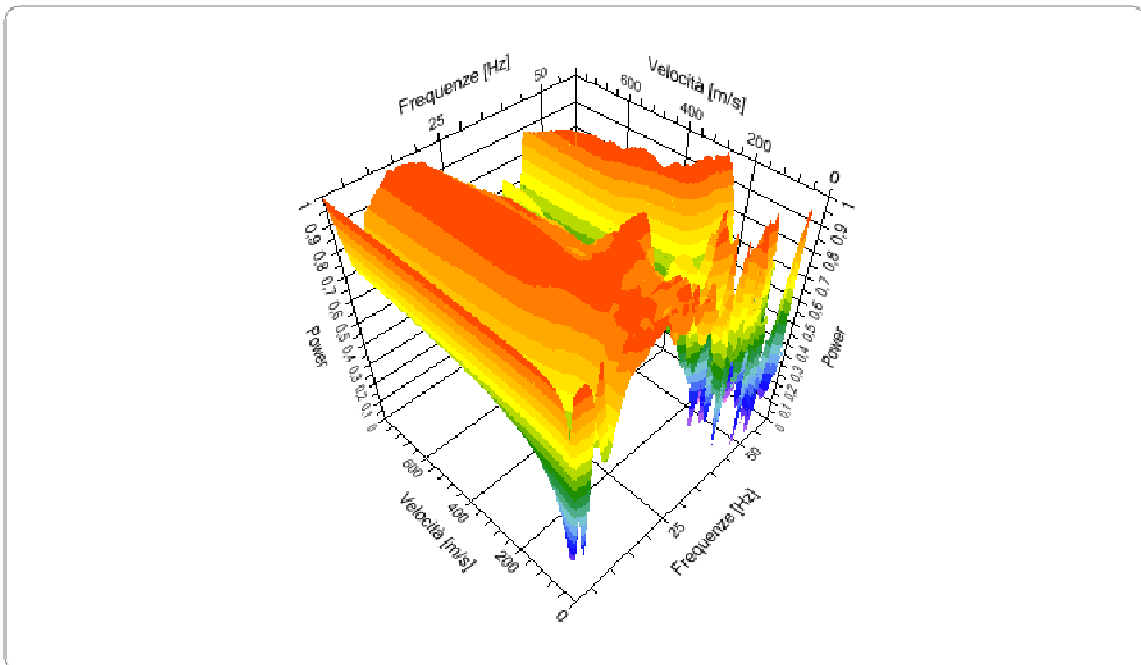
<b>N. tracce</b>	12
<b>Durata acquisizione [msec]</b>	1024,0
<b>Interdistanza geofoni [m]</b>	2,0
<b>Periodo di campionamento [msec]</b>	0,50



## Analisi spettrale

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

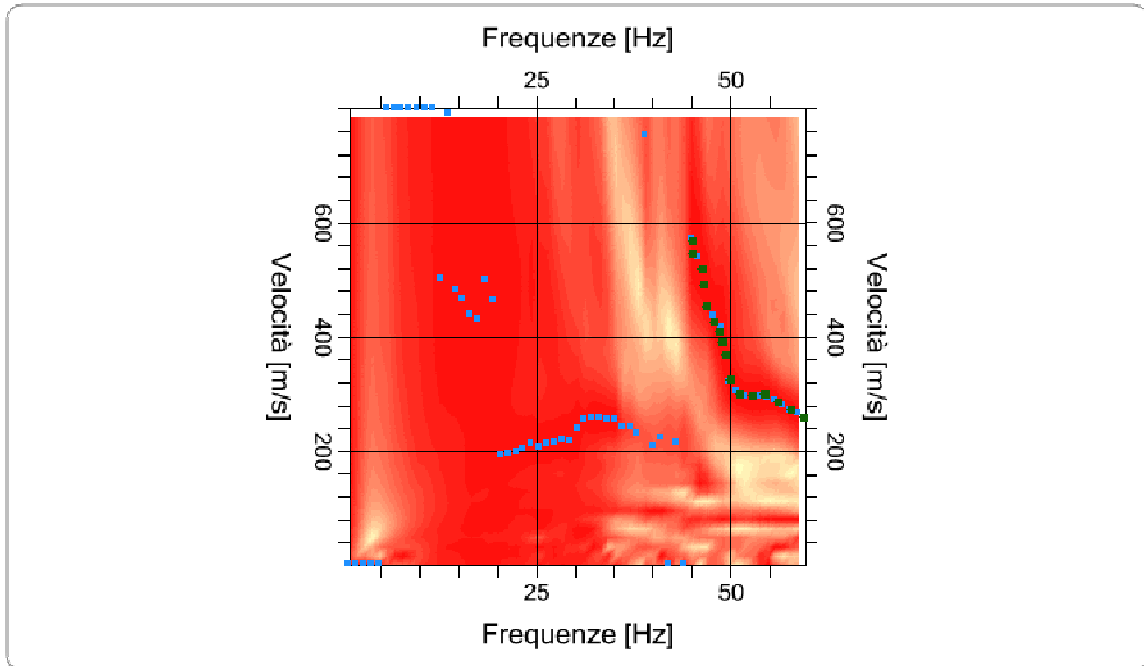
Spettro Velocità di fase - Frequenze



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	45,3	567,9	0
2	45,3	544,4	0
3	46,4	518,0	0
4	46,6	491,6	0
5	47,1	453,4	0
6	48,1	424,0	0
7	48,6	409,3	0
8	49,0	388,8	0
9	49,4	368,2	0
10	50,1	324,1	0
11	51,2	300,6	0
12	52,9	297,7	0
13	54,4	300,6	0
14	56,4	285,9	0
15	57,9	271,3	0
16	59,4	259,5	0

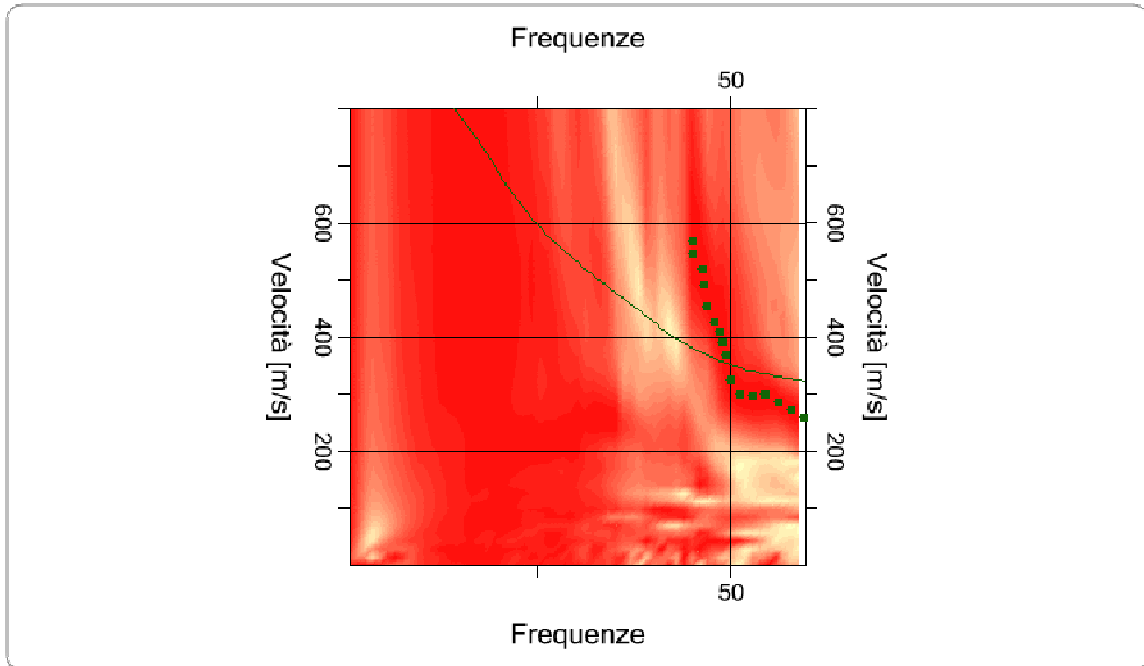
Spettro Velocità di fase - Frequenze



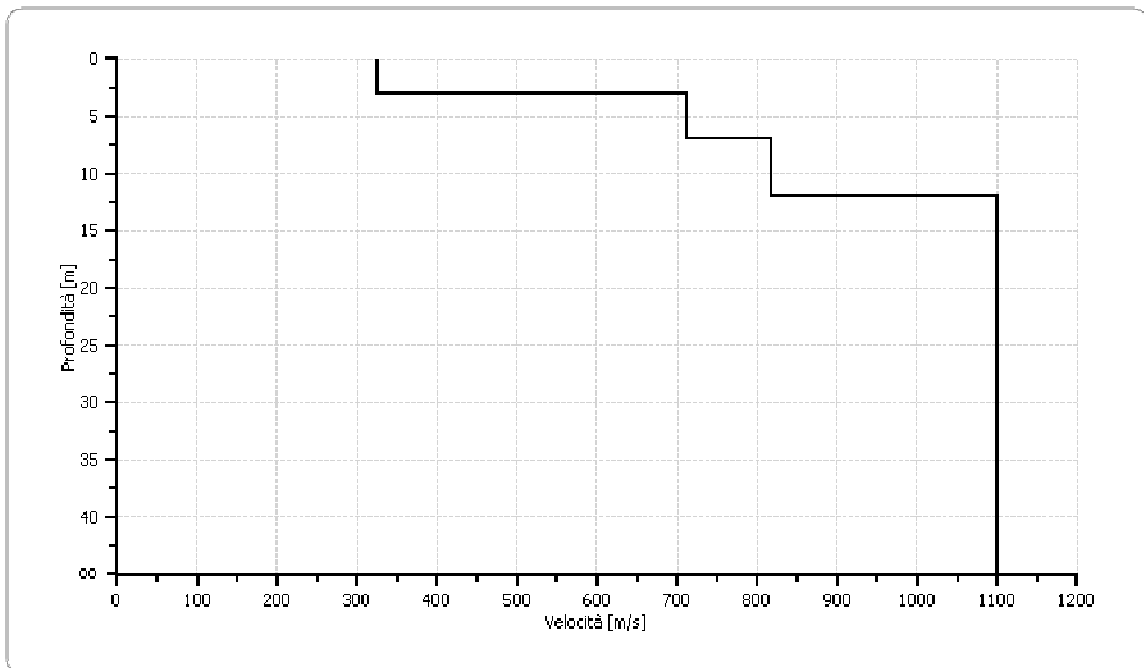
### Inversione

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		3,00	3,00	1800,0	0,2	No	530,8	325,1
2		7,00	4,00	1800,0	0,2	No	1163,0	712,2
3		12,00	5,00	1800,0	0,2	No	1332,9	816,2
4		19,37	7,37	1800,0	0,2	No	1795,3	1099,4
5		28,09	8,72	1800,0	0,2	No	1795,3	1099,4
6		∞	∞	1800,0	0,2	No	1795,3	1099,4

### Inversione



### Profilo di velocità



### Risultati

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	3,00
<b>Vs30 [m/sec]</b>	803,33
<b>Categoria del suolo</b>	A

Suolo di tipo A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs,30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con uno spessore massimo pari a 3m

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]
1	3,00	3,00	325,06	530,82
2	7,00	4,00	712,16	1162,95
3	12,00	5,00	816,22	1332,88
4	19,37	7,37	1099,39	1795,29
5	28,09	8,72	1099,39	1795,29
6	oo	oo	1099,39	1795,29

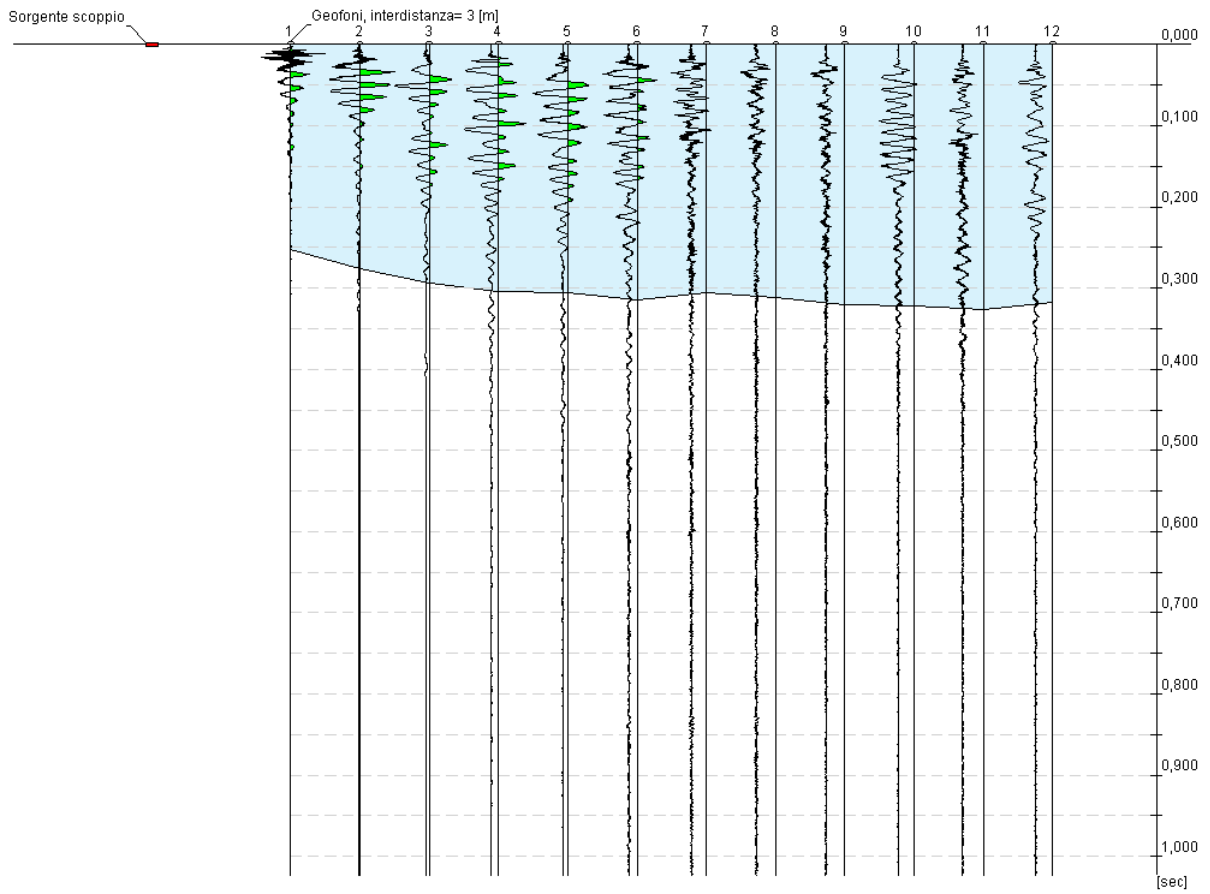




# MASW 2

## Tracce

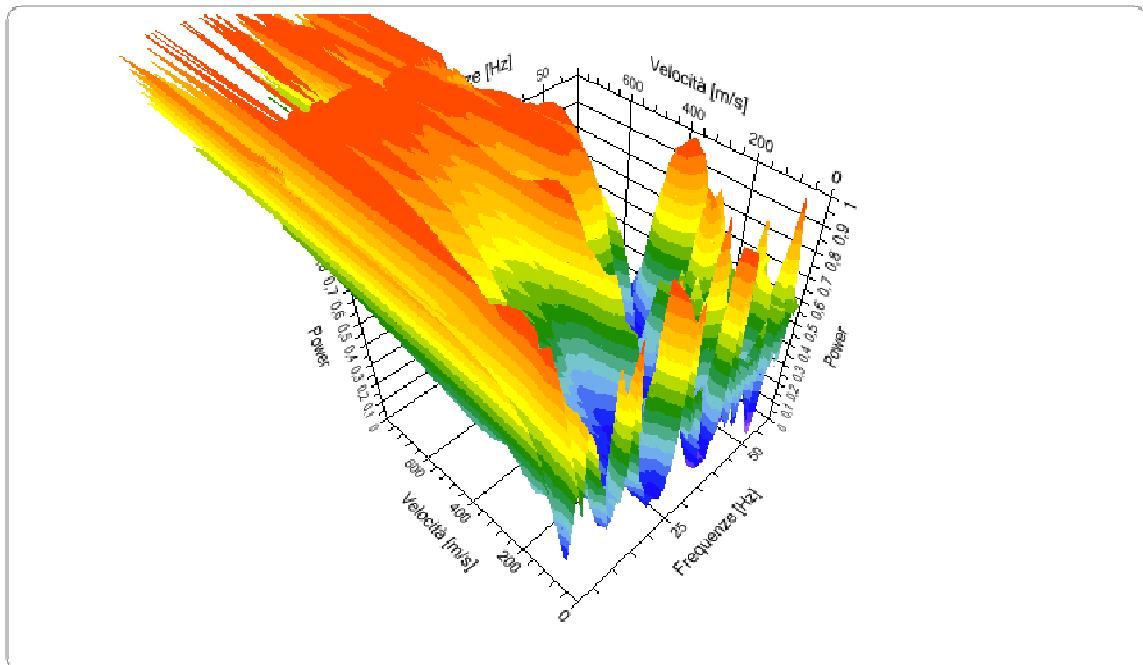
<b>N. tracce</b>	12
<b>Durata acquisizione [msec]</b>	1024,0
<b>Interdistanza geofoni [m]</b>	3,0
<b>Periodo di campionamento [msec]</b>	0,50



## Analisi spettrale

<b>Frequenza minima di elaborazione [Hz]</b>	1
<b>Frequenza massima di elaborazione [Hz]</b>	60
<b>Velocità minima di elaborazione [m/sec]</b>	1
<b>Velocità massima di elaborazione [m/sec]</b>	2000
<b>Intervallo velocità [m/sec]</b>	1

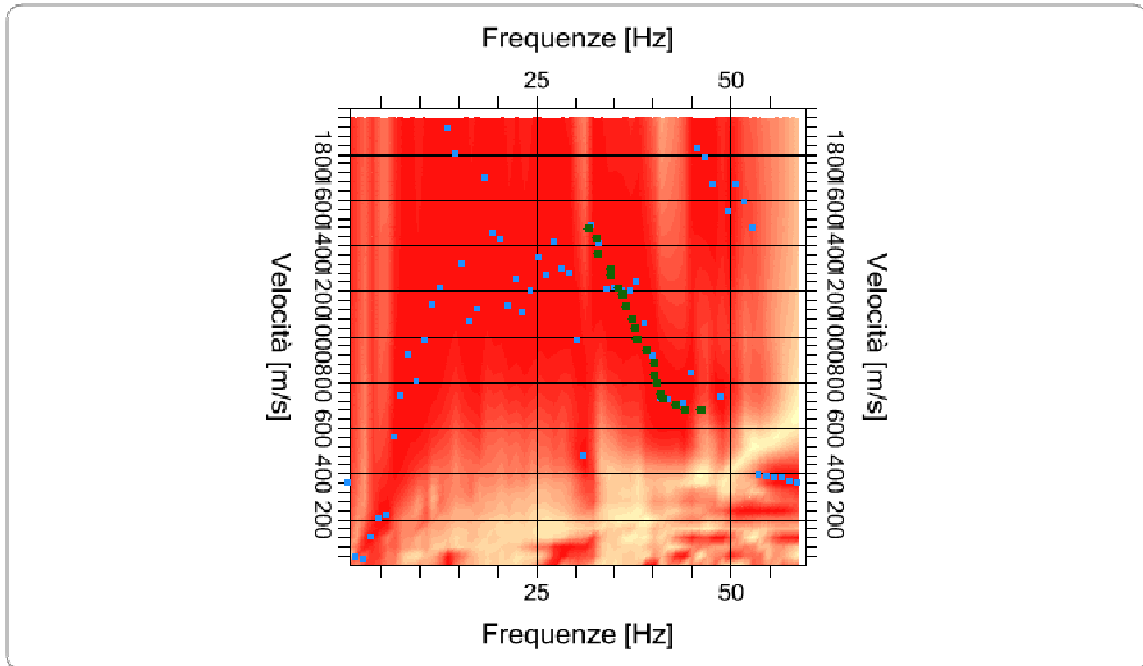
Spettro Velocità di fase - Frequenze



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	31,7	1470,9	0
2	32,8	1434,1	0
3	33,0	1360,6	0
4	34,5	1265,1	0
5	34,5	1294,5	0
6	35,6	1213,6	0
7	36,2	1184,2	0
8	36,7	1132,8	0
9	37,3	1074,0	0
10	37,8	1037,2	0
11	38,0	985,8	0
12	39,3	941,7	0
13	40,1	831,5	0
14	40,1	882,9	0
15	40,6	794,7	0
16	41,0	750,6	0
17	41,4	728,6	0
18	42,9	699,2	0
19	44,2	677,1	0
20	46,2	677,1	0

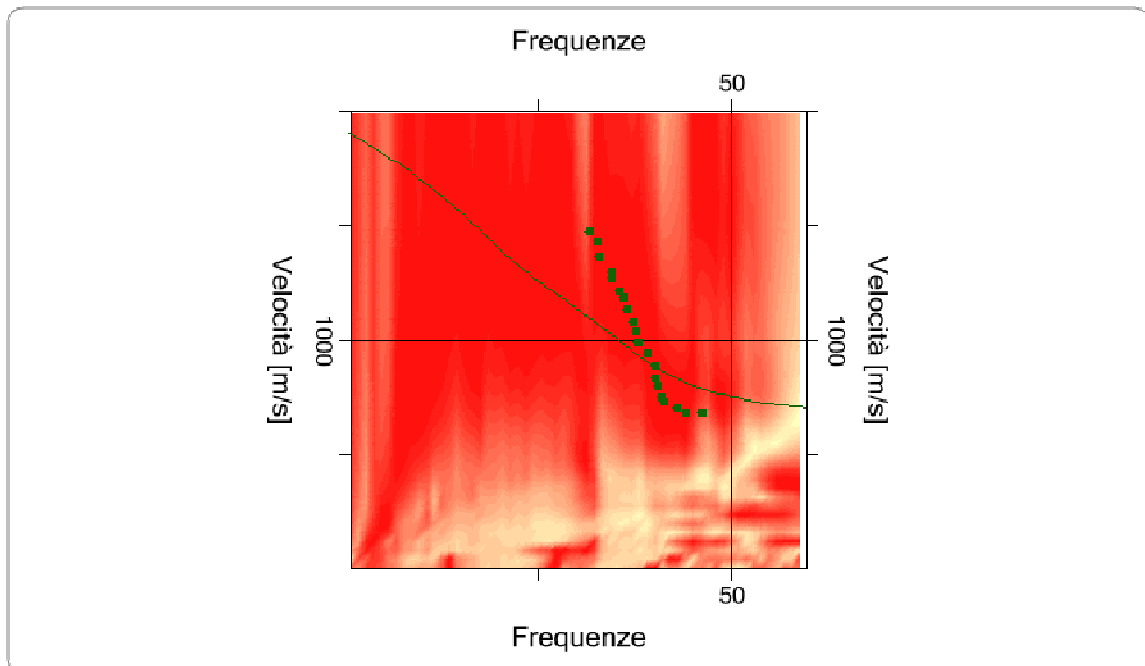
Spettro Velocità di fase - Frequenze



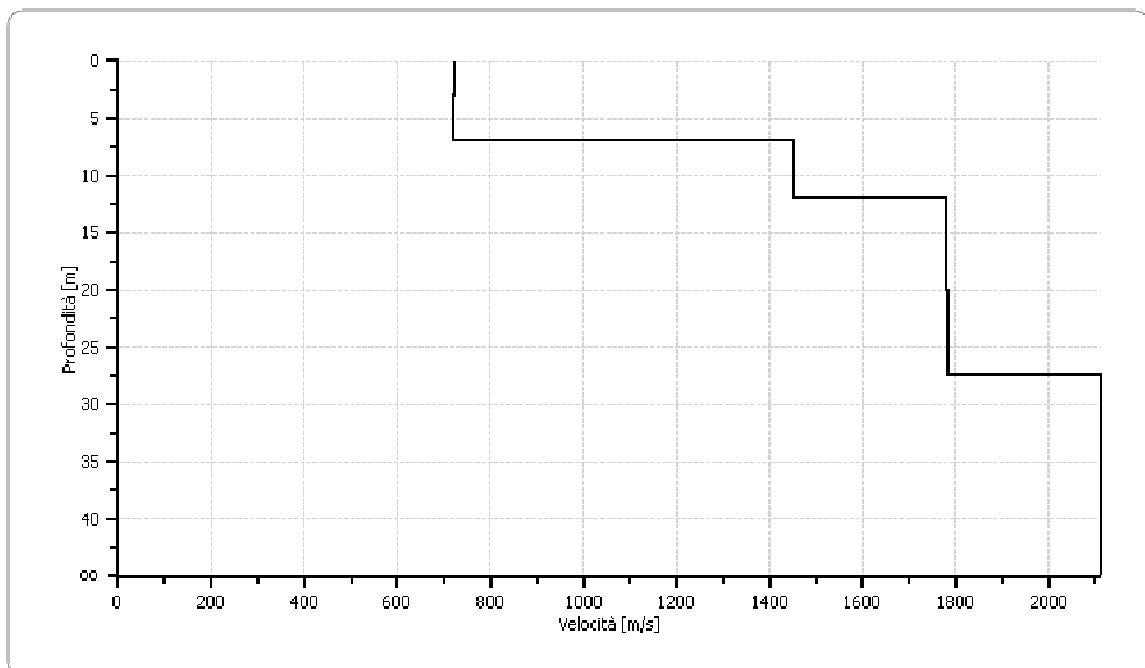
### Inversione

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		3,00	3,00	1800,0	0,2	No	1178,4	721,6
2		7,01	4,01	1800,0	0,2	No	1177,8	721,2
3		12,05	5,05	1800,0	0,2	No	2370,9	1451,9
4		20,05	8,00	1800,0	0,2	No	2904,2	1778,5
5		27,41	7,36	1800,0	0,2	No	2914,5	1784,8
6		∞	∞	1800,0	0,2	No	3452,1	2114,0

### Inversione



### Profilo di velocità



## Risultati

<b>Profondità piano di posa</b> [m]	3,00
<b>Vs30 [m/sec]</b>	1302,38
<b>Categoria del suolo</b>	A

Suolo di tipo A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs,30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con uno spessore massimo pari a 3m

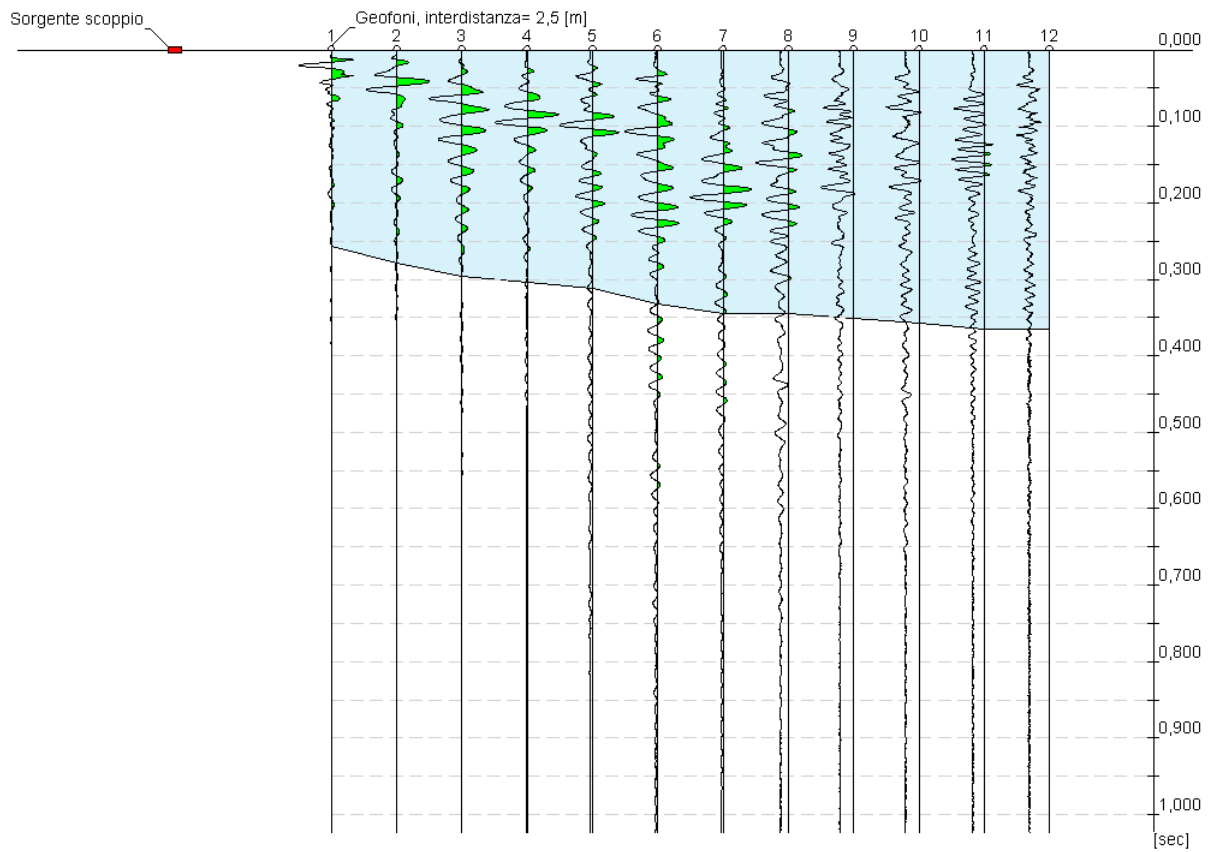
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]
1	3,00	3,00	721,59	1178,35
2	7,01	4,01	721,23	1177,76
3	12,05	5,05	1451,87	2370,89
4	20,05	8,00	1778,46	2904,22
5	27,41	7,36	1784,77	2914,52
6	oo	oo	2114,00	3452,14



# MASW 3

## Tracce

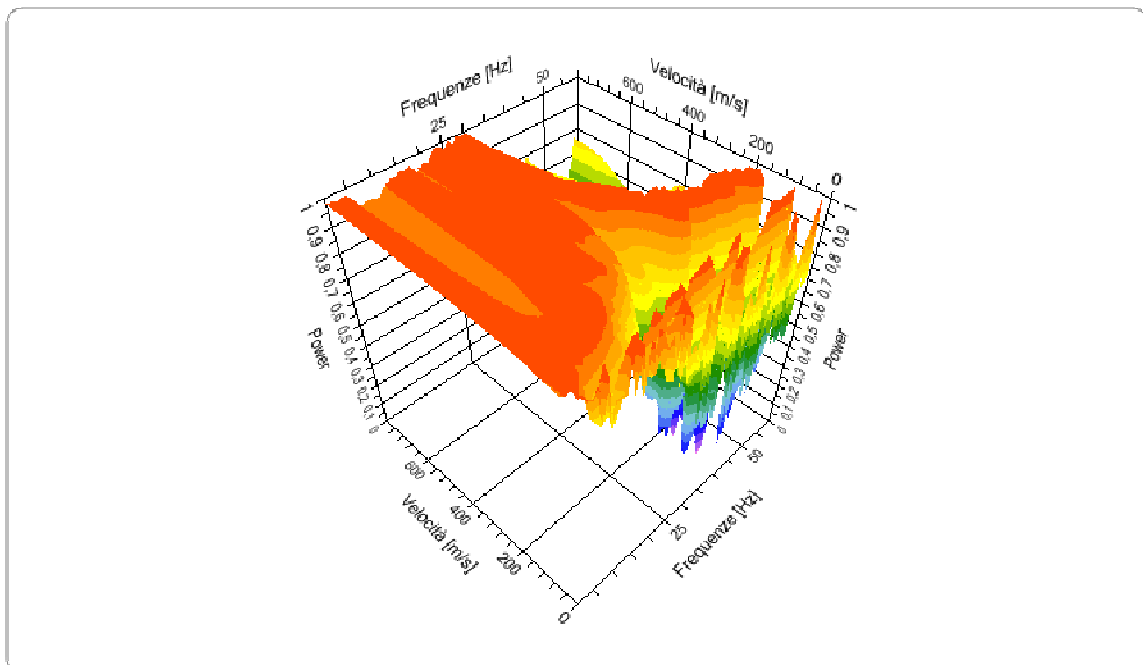
<b>N. tracce</b>	12
<b>Durata acquisizione [msec]</b>	1024,0
<b>Interdistanza geofoni [m]</b>	2,5
<b>Periodo di campionamento [msec]</b>	0,50



## Analisi spettrale

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

Spettro Velocità di fase - Frequenze

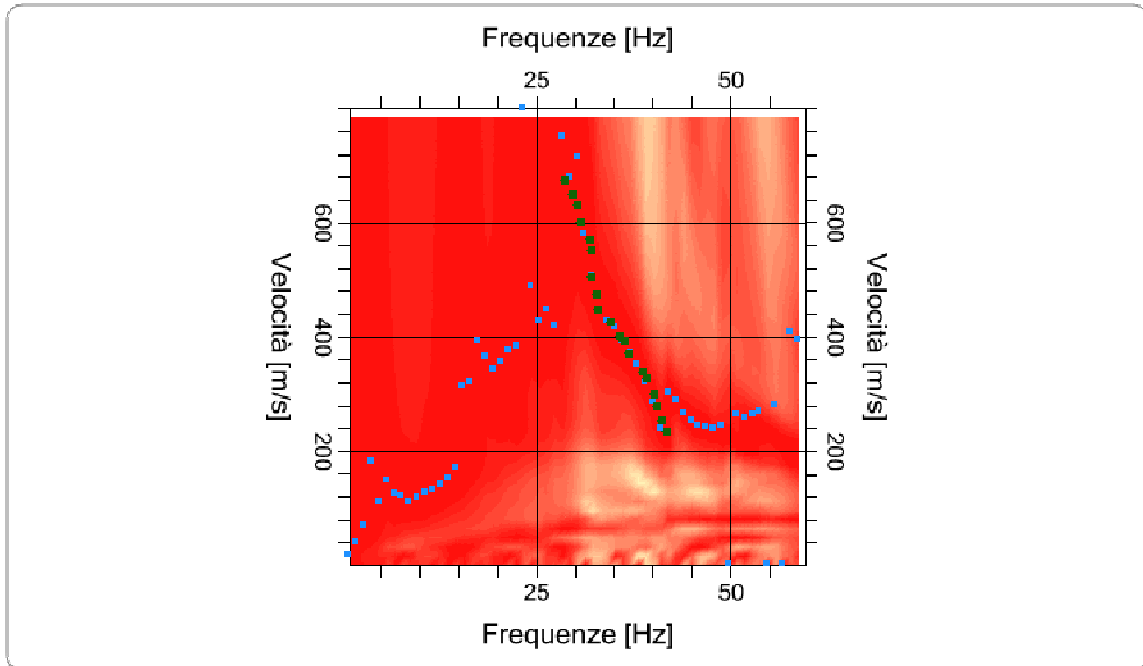




### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	28,9	673,7	0
2	29,8	650,2	0
3	30,4	629,6	0
4	30,8	600,3	0
5	31,9	570,9	0
6	32,1	503,3	0
7	32,1	550,3	0
8	32,8	473,9	0
9	33,0	447,5	0
10	34,5	424,0	0
11	35,8	400,5	0
12	36,5	391,7	0
13	37,1	371,1	0
14	38,8	338,8	0
15	39,3	327,1	0
16	40,1	300,6	0
17	40,6	277,1	0
18	41,2	253,6	0
19	41,9	233,1	0

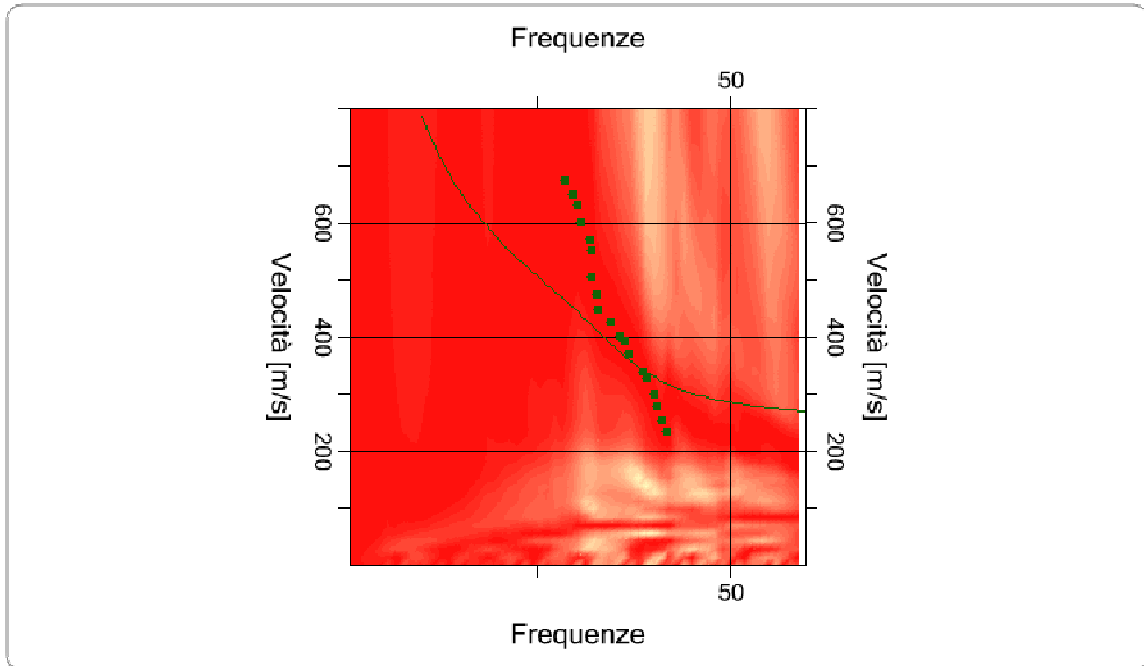
Spettro Velocità di fase - Frequenze



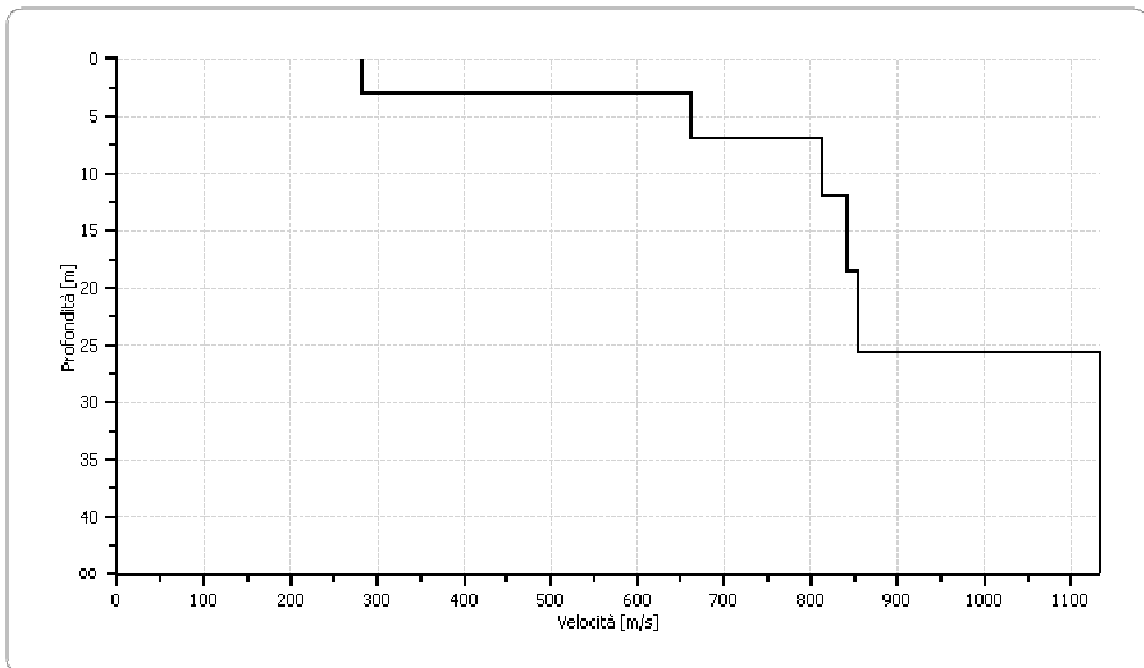
### Inversione

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		3,00	3,00	1800,0	0,2	No	461,0	282,3
2		7,00	4,00	1800,0	0,2	No	1080,7	661,8
3		12,00	5,00	1800,0	0,2	No	1328,4	813,5
4		18,59	6,59	1800,0	0,2	No	1374,4	841,7
5		25,59	7,00	1800,0	0,2	No	1395,8	854,8
6		oo	oo	1800,0	0,2	No	1852,5	1134,4

### Inversione



### Profilo di velocità



## Risultati

<b>Profondità piano di posa</b> [m]	3,00
<b>Vs30 [m/sec]</b>	863,52
<b>Categoria del suolo</b>	A

Suolo di tipo A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs,30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con uno spessore massimo pari a 3m

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]
1	3,00	3,00	282,32	461,03
2	7,00	4,00	661,81	1080,74
3	12,00	5,00	813,45	1328,36
4	18,59	6,59	841,67	1374,44
5	25,59	7,00	854,77	1395,83
6	oo	oo	1134,40	1852,47



## PROVA SISMICA TIPO RIFRAZIONE

Le indagini geosismiche vengono spesso realizzate utilizzando il metodo sismico a rifrazione, che utilizza la determinazione della velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P) e talvolta trasversali (onde S) nel sottosuolo. Tali onde sono generate, e si propagano nel terreno, ogni qualvolta quest'ultimo è sottoposto a sollecitazioni sia di tipo naturale, sia artificiale (esplosioni, mazze battenti, ecc.).

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in un punto in superficie (punto di sparo), in corrispondenza di una molteplicità di punti disposti allineati sulla superficie topografica (geofoni). Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà meccaniche e fisiche dei terreni e la compattezza dei materiali da queste attraversati.

Mediante questo tipo di indagine si può risalire alla probabile composizione litologica di massima dei terreni, al loro grado di fratturazione, alla geometria delle prime unità sottostanti la coltre superficiale, alla profondità in cui si trova la roccia di fondo ("bedrock"), alla sua forma e talora, in terreni alluvionali, alla profondità della falda freatica.

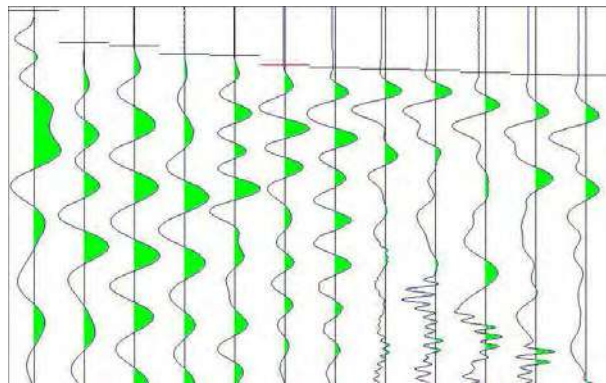
Utilizzando quindi le distanze tra il punto di scoppio e quello di ricezione e i tempi di primo arrivo dei segnali sismici, sono ricavate le dromocrone (curve tempi-distanze), dalle quali si risale, tramite opportuno programma di calcolo, alle velocità reali nei singoli strati, al loro spessore, profondità, forma ed inclinazione.

Per registrare simultaneamente gli impulsi sismici rilevati dai geofoni è necessario l'utilizzo di una strumentazione elettronica multicanale, a bassissimo rumore interno, ad alta velocità di campionamento, dotata di supporto magnetico per la registrazione dei dati ottenuti dopo opportuna amplificazione filtraggio e conversione analogico/digitale. A questo scopo è stato utilizzato il sismografo A6000SE.

Per generare le onde sismiche è stato utilizzato una apposita massa battente di 8 kg. L'impulso

viene trasmesso immediatamente al sismografo per consentire una registrazione sincronizzata al tempo 0. Le sezioni sismiche sono costituite da 12 geofoni allineati a passo costante, e vengono energizzati 3 punti in linea alle stese, uno interno e due esterni. L'acquisizione di dati avviene dopo le opportune verifiche di corretto funzionamento della strumentazione e del circuito di time-break (tempo 0). La procedura elaborativa è sinteticamente descrivibile nei passi seguenti:

-Trasferimento dei sismogrammi al programma di prelevamento dei tempi di primo arrivo;

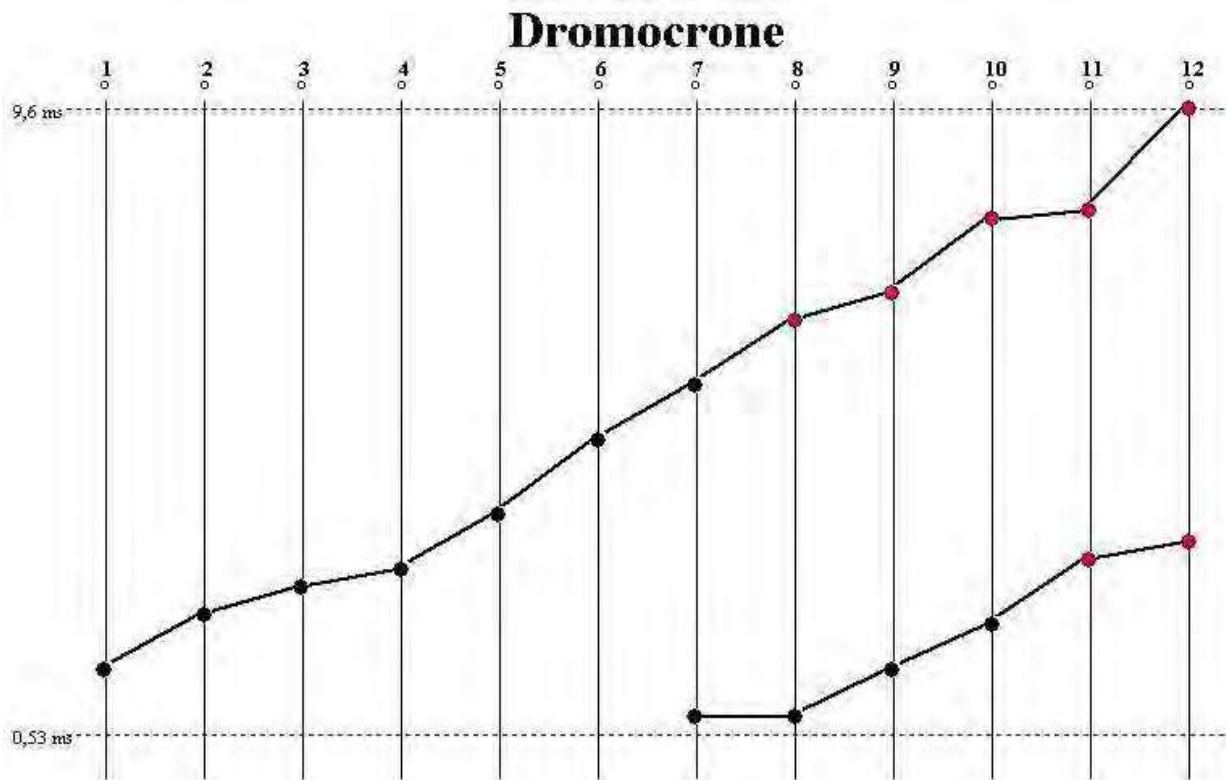
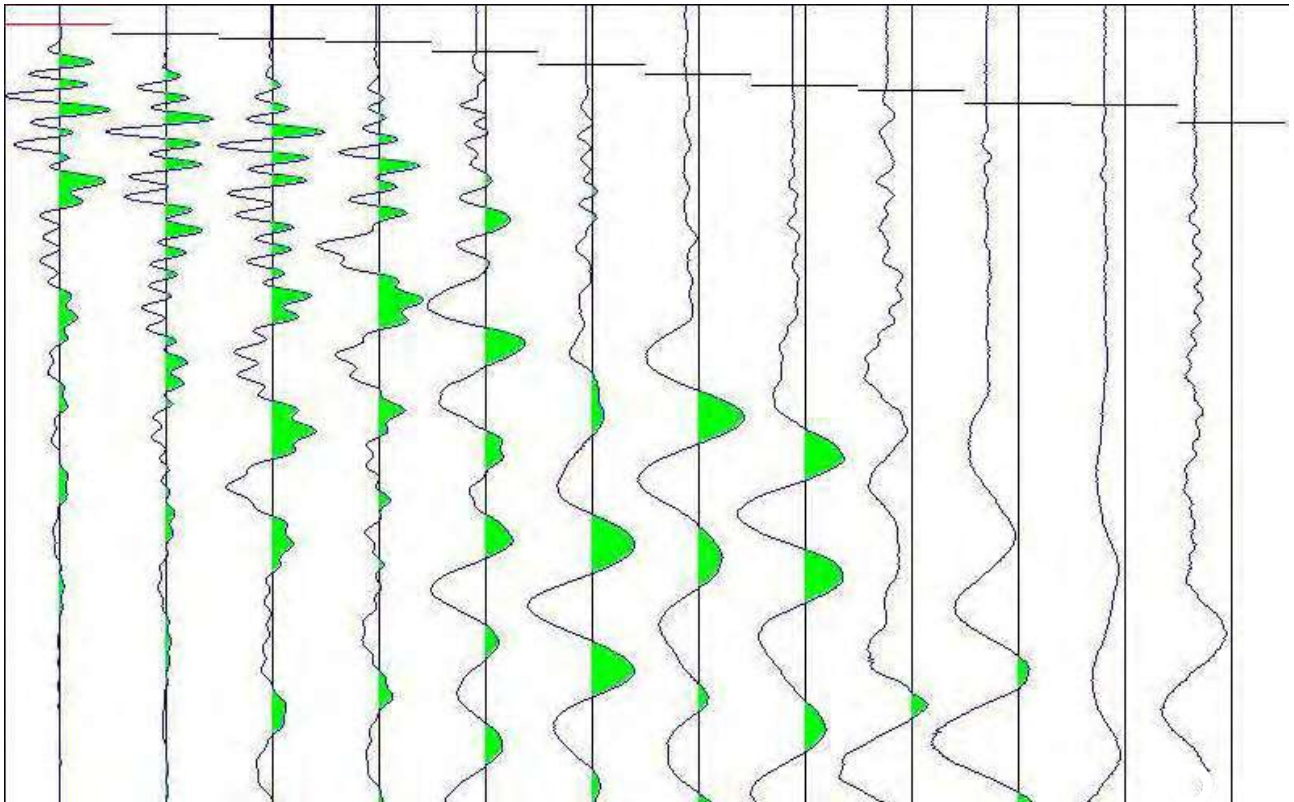


Esempio di picking

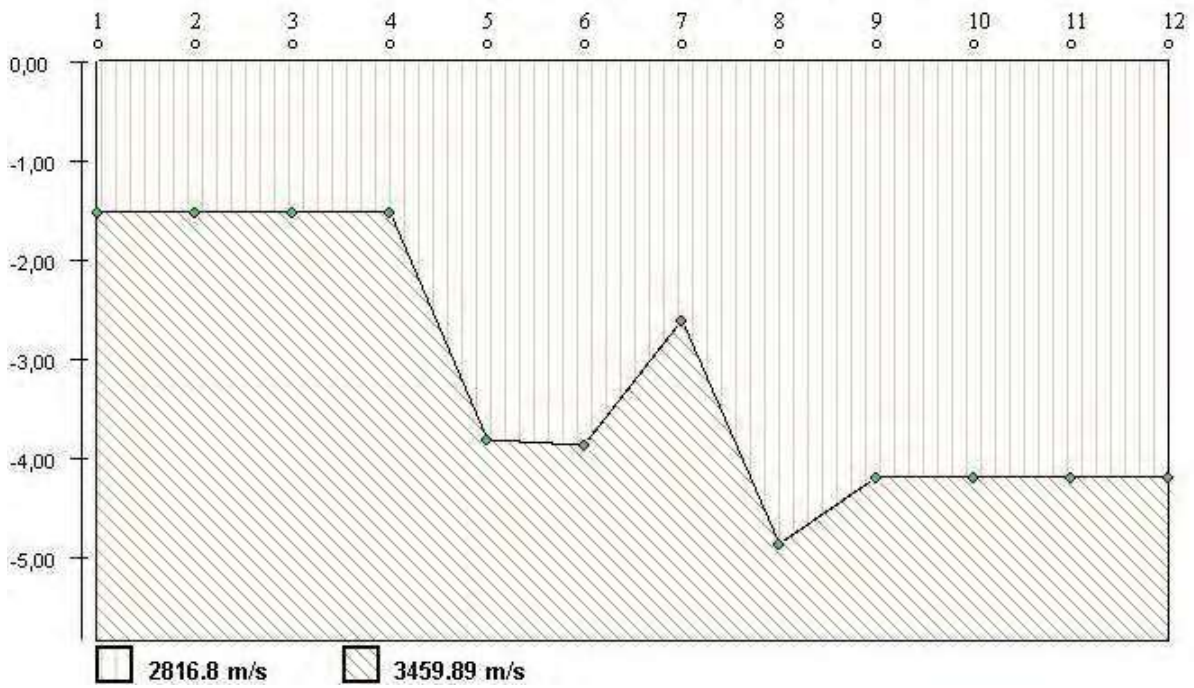
- Emissione delle sezioni interpretate riportanti le interfacce fra strati di diversa velocità sismica e i valori stessi di velocità.

L'interpretazione GRM viene quindi a fornire il modello iniziale delle velocità del terreno, necessario ad attivare le iterazioni del completo modello matematico bidimensionale (modellizzazione tomografica). Il terreno viene quindi suddiviso in celle di dimensione minima, ciascuna dotata di una diversa velocità sismica e ciascuna pronta a venir modificata dalla procedura di iterazione tomografica allo scopo di ridurre al minimo l'errore fra le dromocrone calcolate in base al modello di terreno e quelle effettivamente misurate durante la prospezione.

# SISMICA A RIFRAZIONE 1



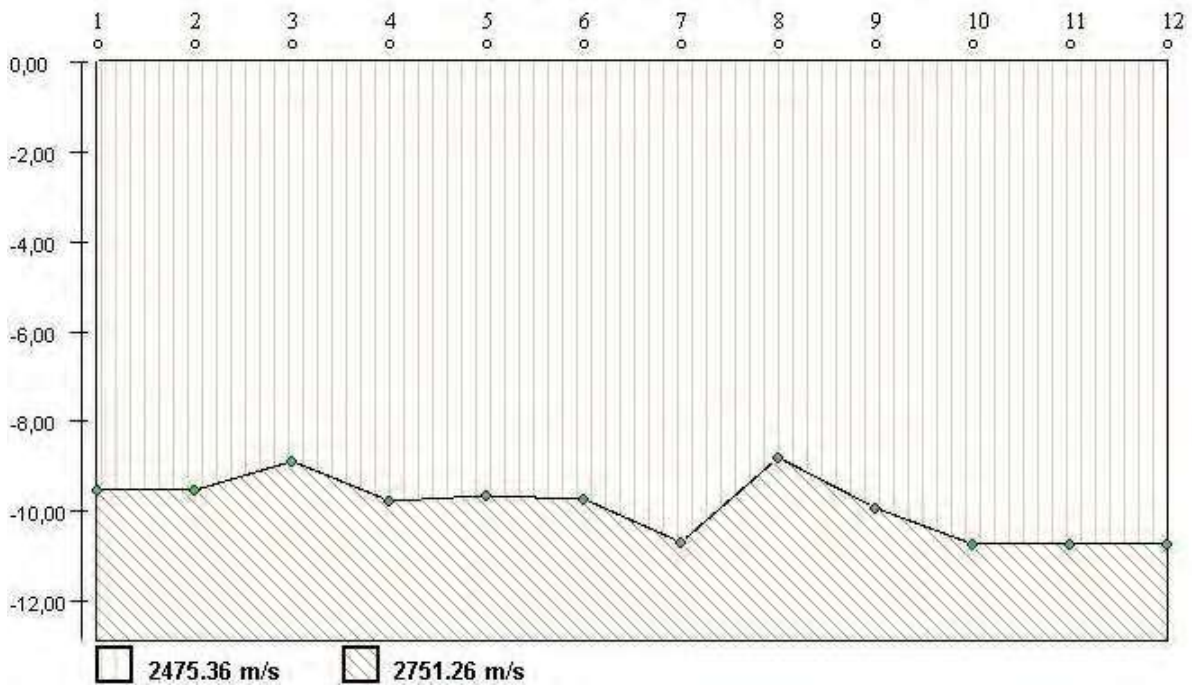
# Profondità



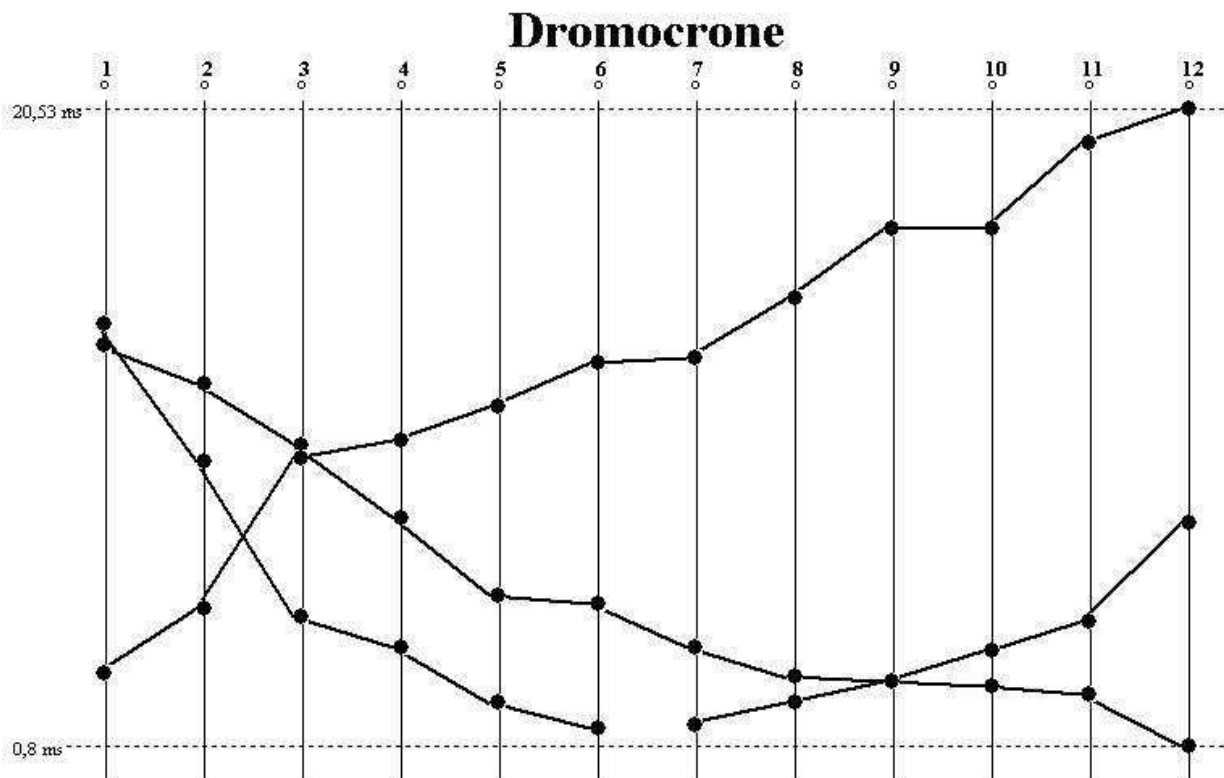
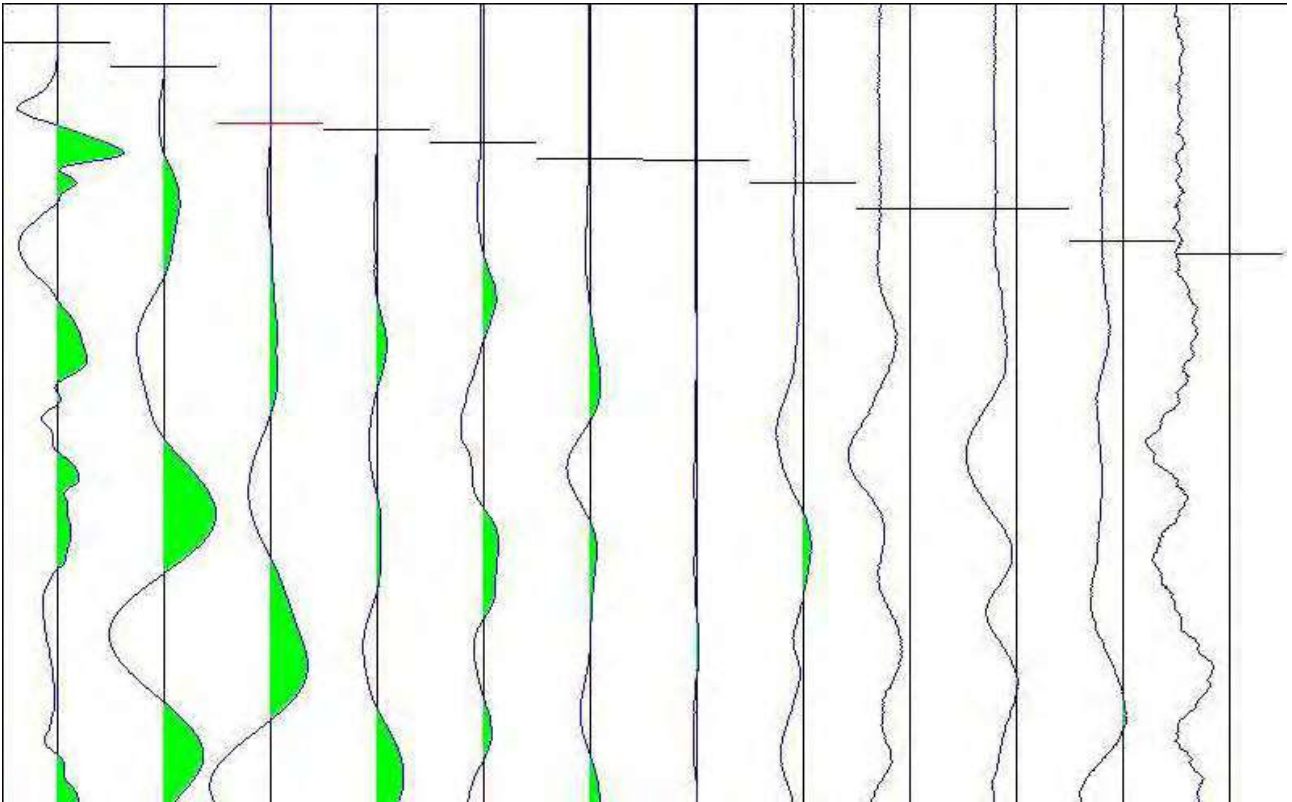




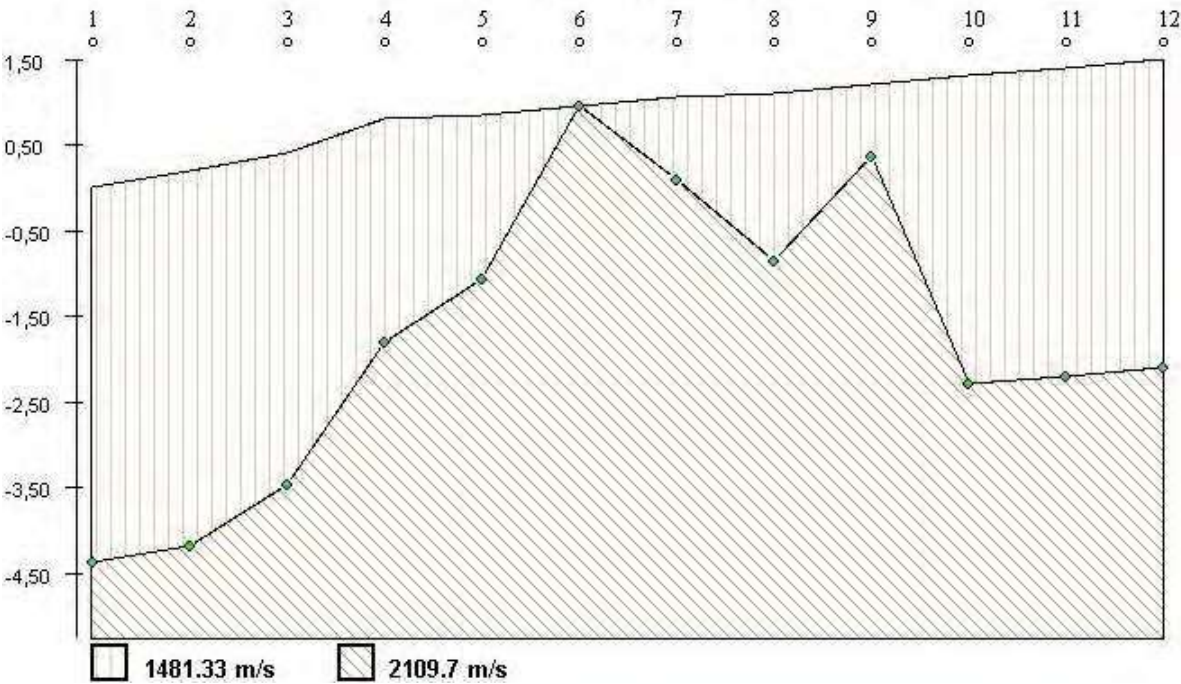
# Profondità



# SISMICA A RIFRAZIONE 3



# Profondità



## INTRODUZIONE

Sul sito oggetto di studio è stata condotta un'indagine sismica passiva a stazione singola consistente in cinque acquisizioni del microtremore ambientale in campo libero.

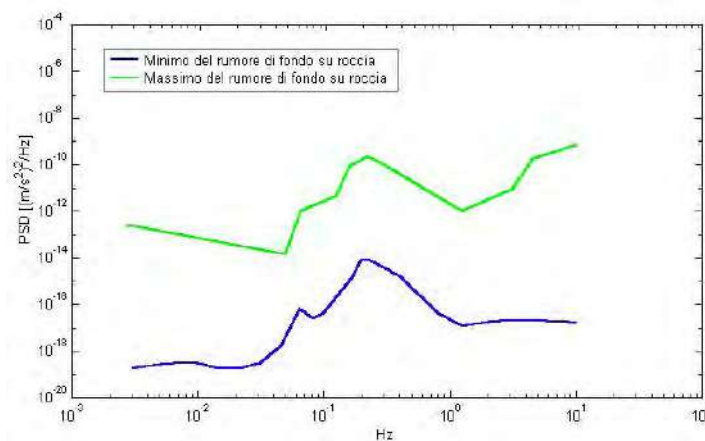
L'indagine effettuata permette di misurare le frequenze di risonanza dei terreni.

## DEFINIZIONI

Il tipo di stratigrafia che le tecniche sismiche possono restituire si basa sul concetto di *contrasto di impedenza*. Per *strato* si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

## OGGETTO DELLA MISURA: IL MICROTREMORE SISMICO AMBIENTALE

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato, oltre che dall'attività dinamica terrestre, dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso e pianeggiante presenta l'andamento illustrato in Figura 1. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie o anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.



**Figura 1.** Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra secondo il servizio geologico statunitense (USGS). Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.

## LA TECNICA IMPIEGATA. CENNI STORICI.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970). Il metodo fu in seguito reso popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Mentre su questo punto non è ancora stato raggiunto consenso, è invece ampiamente riconosciuto che la curva H/V è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli e, tramite opportuna inversione, delle profondità dei substrati rocciosi sotto le coperture sedimentarie.

Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso. Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo H/V può essere usato come strumento stratigrafico.

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un sistema bistrato del tipo sedimenti + bedrock in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D). In questi casi la profondità  $h$  della discontinuità sismica viene ricavata tramite la formula semplice della risonanza  $h = V / (4 f_r)$  o, al più, tramite la formula [1] in cui  $V_0$  è la velocità al tetto dello strato,  $x$  un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e  $f_r$  la frequenza fondamentale di risonanza (cf. ad esempio Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

$$h = \left[ \frac{V_0(1-x)}{4f_r} + 1 \right]^{1-x} - 1 \quad [1]$$

Nei sistemi multistrato, teoricamente l'effetto di risonanza è sommabile, ma non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1]. L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente ad un modello. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini. I modelli sintetici di inversione impiegati in questo lavoro partono dalla modellizzazione del campo d'onde superficiali

(onde di Rayleigh e Love) in sistemi multistrato (Aki, 1964; Ben-Menahem e Singh, 1981). L'inversione delle curve H/V per ottenere un profilo di Vs è possibile a patto di disporre di un punto di taratura (es. penetrometria o sondaggio) che fornisca la profondità di un riflettore - anche molto superficiale - riconoscibile nella curva H/V oppure a patto di conoscere la Vs del primo strato a partire da tecniche indipendenti (Castellaro e Mulargia, 2007).

### **STRUMENTAZIONE IMPIEGATA**

Le misure di microtremore ambientale sono state effettuate per mezzo di un tromografo digitale portatile sperimentale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento è dotato di tre sensori velocimetrici ortogonali (geofoni senshe con periodo proprio 4,5 Hz). I dati di microtremore ambientale, digitalizzati a 24 bit, sono stati acquisiti per 20min alla frequenza di campionamento di 250 Hz.

### **PROCEDURA DI ANALISI DATI PER STAZIONI SINGOLE H/V**

La tecnica H/V è la tecnica dedicata quando si vogliono mettere in luce le frequenze di risonanza dei terreni. Dalle registrazioni del rumore sismico ambientale sul terreno sono state ricavate le curve H/V, secondo la procedura classica, descritta per esempio in SESAME (2005), con parametri:

- ⇒ larghezza delle finestre d'analisi: 20 s,
- ⇒ costante di lisciamento: 5.0,
- ⇒ rimozione dei transienti sulla finestra di acquisizione,

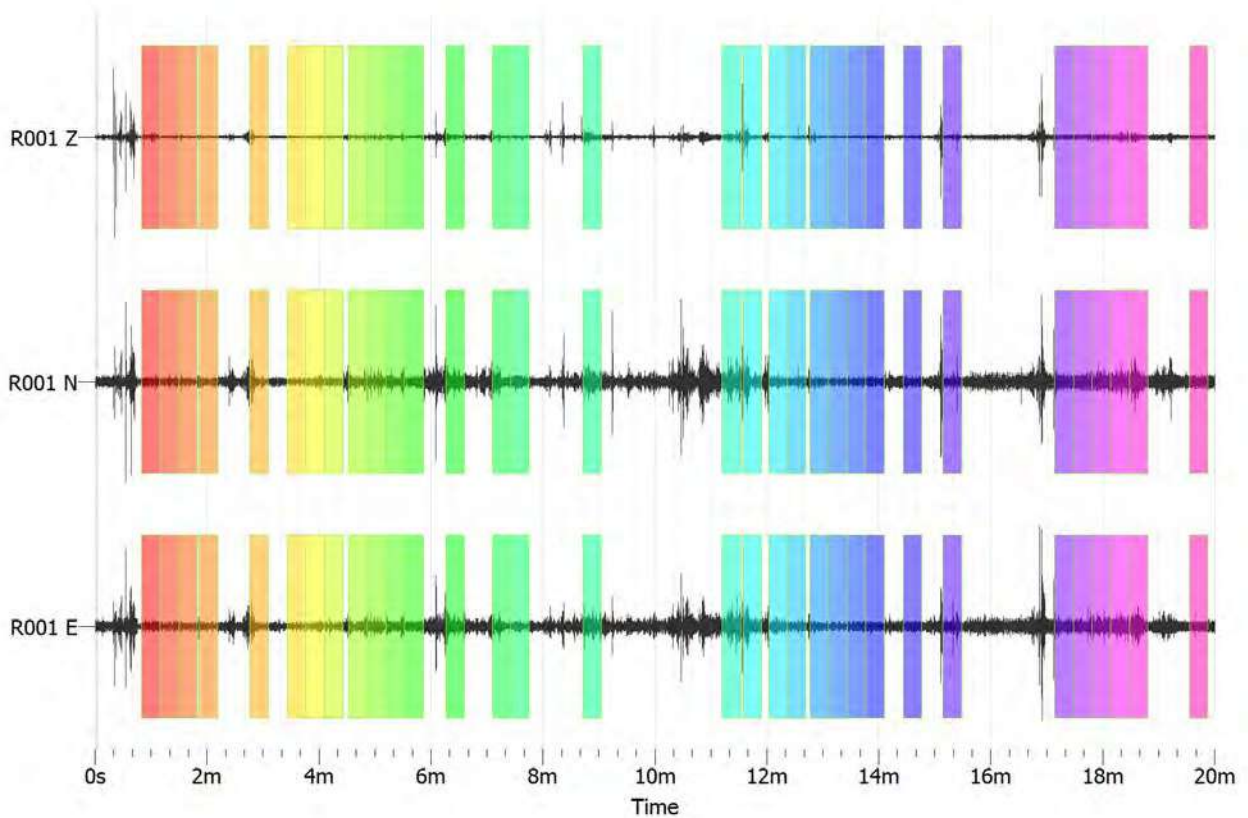
Dalla visualizzazione dei grafici relativi ai rapporti H/V e dagli spettri delle singole componenti, non è possibile osservare dei minimi locali della componente spettrale verticale netti e ben definiti.

Nelle cinque registrazioni si osservano picchi > 18,50 Hz, al di fuori del range di interesse ingegneristico (0,5 – 10,0 Hz) da attribuirsi ai riporti antropici di riempimento.

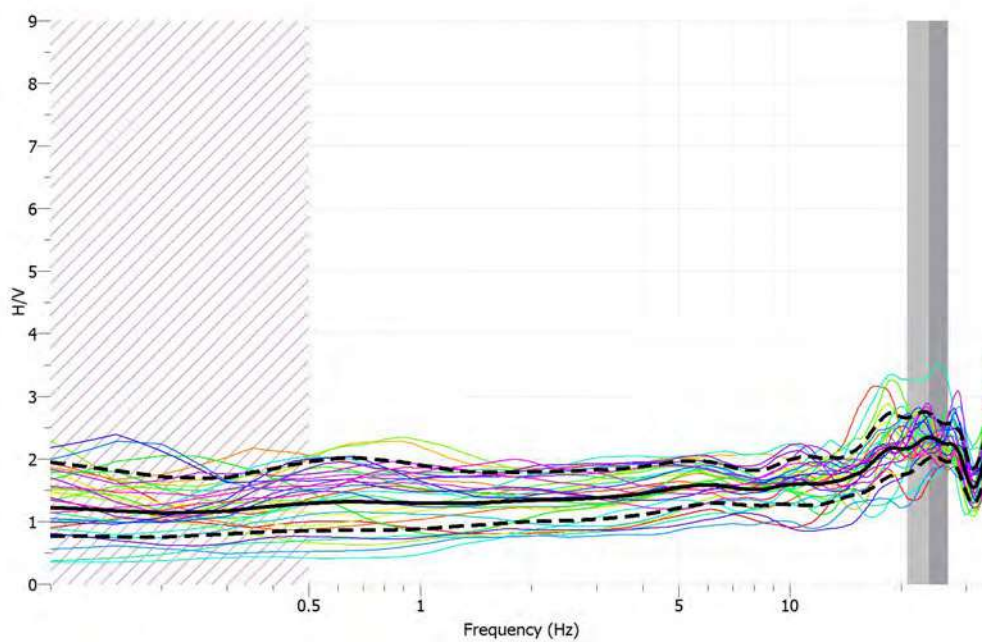
Di seguito sono riportati i dettagli di elaborazione.

SIGNAL FILE NAME = Vallepietra1 2018\_5\_10\_9\_9.saf  
WINDOW MIN LENGTH (s) = 20  
SMOOTHING TYPE = constant - SMOOTHING CONSTANT = 5.0  
DO COSINE TAPER = false  
MINIMUM FREQUENCY = 0.1  
MAXIMUM FREQUENCY = 35  
SAMPLES NUMBER FREQUENCY = 1000

### TRACCE DI ACQUISIZIONE E SELEZIONE DELLE FINESTRE



### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE







```

# GEOPSY output version 1.1
# Number of windows = 32
# f0 from average 23.7679
# Number of windows for f0 = 32
# f0 from windows 23.7526      20.7243      26.7809
# Peak amplitude 2.34816

```

Criteria for a reliable H/V curve					
i)	$f_0 > 10 / l_w$	23.753	>	0.500	OK
ii)	$n_c(f_0) > 200$	15202	>	200	OK
iii)	$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0	out of	185 times	OK

Criteria for a clear H/V peak					
(at least 5 out of 6 criteria fulfilled)					
i)	$\exists f^* \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$	$A_{H/V}(f_0/4, f_0)$ : 1.5151	<	1.17408 at 8.17537 Hz	NO
ii)	$\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$	$A_{H/V}(f_0, 4f_0)$ : 1.54753	<	1.17408 at 31.3099 Hz	NO
iii)	$A_0 > 2$	2.348	>	2	OK
iv)	$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	23.768	[	22.565 , 24.9402 ]	OK
v)	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	3.028	<	1.1876	NO
vi)	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.164	<	1.58	OK

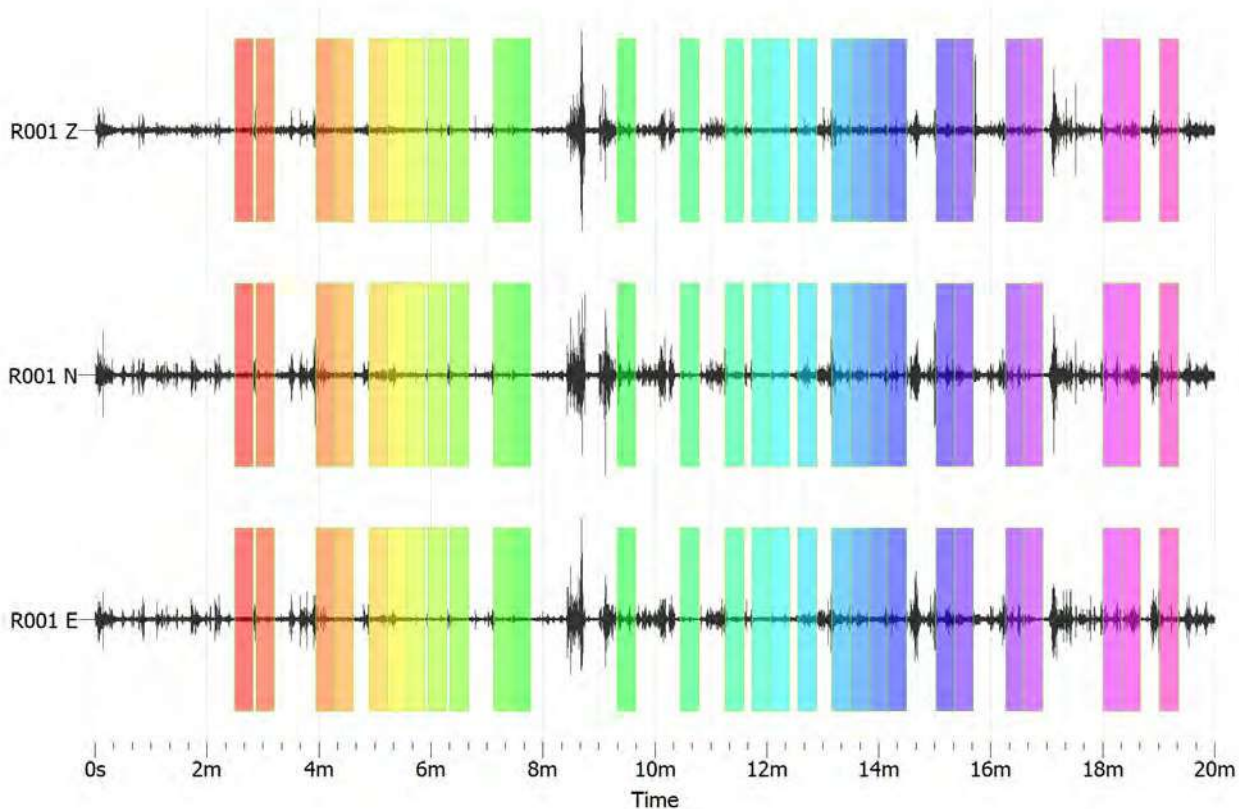
$l_w$  = window length  
 $n_w$  = number of windows selected for the average H/V curve  
 $n_c = l_w \cdot n_w$ ,  $f_0$  = number of significant cycles  
 $f$  = current frequency  
 $f_{sensor}$  = sensor cut-off frequency  
 $f_0$  = H/V peak frequency  
 $\sigma_f$  = standard deviation of H/V peak frequency ( $f_0 \pm \sigma_f$ )  
 $\varepsilon(f_0)$  = threshold value for the stability condition  $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$   
 $A_0$  = H/V peak amplitude at frequency  $f_0$   
 $A_{H/V}(f)$  = H/V curve amplitude at frequency  $f$   
 $F$  = frequency between  $f_0/4$  and  $f_0$  for which  $A_{H/V}(F) < A_0/2$   
 $f^*$  = frequency between  $f_0$  and  $4f_0$  for which  $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$   
 $\sigma_A(f)$  = "standard deviation" of  $A_{H/V}(f)$ ,  $\sigma_A(f)$  is the factor by which the mean  $A_{H/V}(f)$  curve should be multiplied or divided  
  
 $\sigma_{\log H/V}(f)$  = standard deviation of the  $\log A_{H/V}(f)$  curve,  $\sigma_{\log H/V}(f)$  is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean  $\log A_{H/V}(f)$  curve  
  
 $\theta(f_0)$  = threshold value for the stability condition  $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$   
 $V_{s,av}$  = average S-wave velocity of the total deposits  
 $V_{s,surf}$  = S-wave velocity of the surface layer  
 $h$  = depth to bedrock  
 $h_{min}$  = lower-bound estimate of  $h$

Threshold Values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.20 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3	2.5	2	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.4	0.3	0.25	0.2

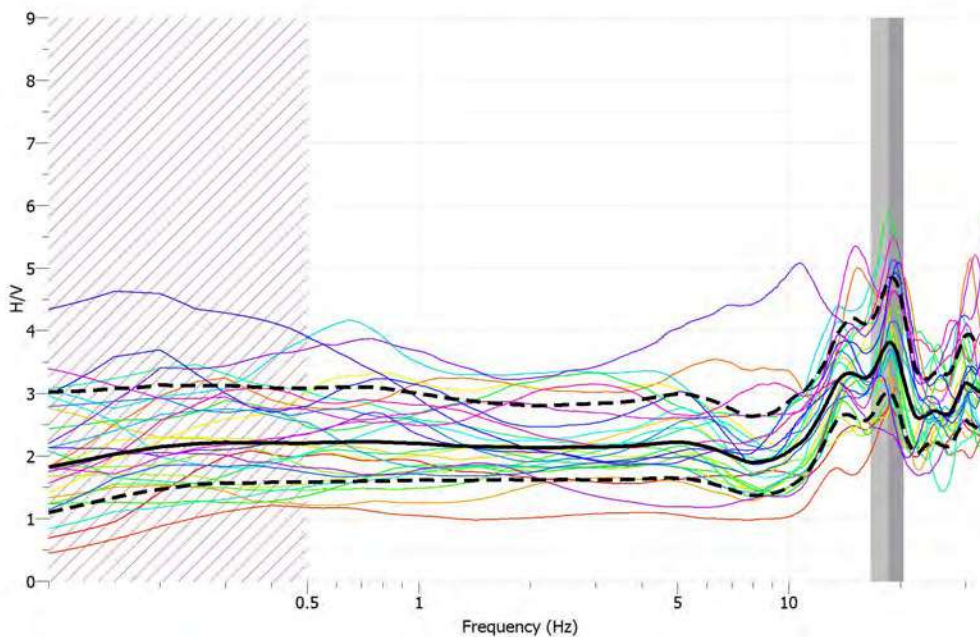


SIGNAL FILE NAME = Vallepietra2 2018\_5\_10\_9\_33.saf  
WINDOW MIN LENGTH (s) = 20  
SMOOTHING TYPE = constant - SMOOTHING CONSTANT = 5.0  
DO COSINE TAPER = false  
MINIMUM FREQUENCY = 0.1  
MAXIMUM FREQUENCY = 35  
SAMPLES NUMBER FREQUENCY = 1000

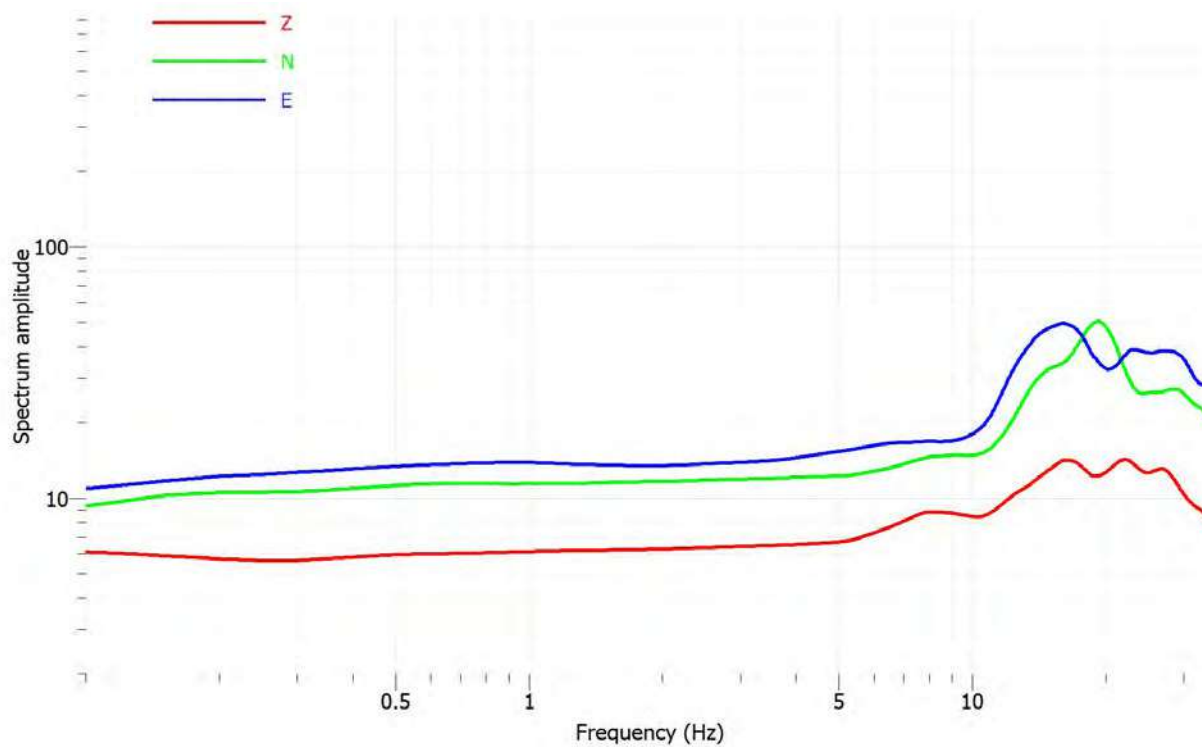
### TRACCE DI ACQUISIZIONE E SELEZIONE DELLE FINESTRE



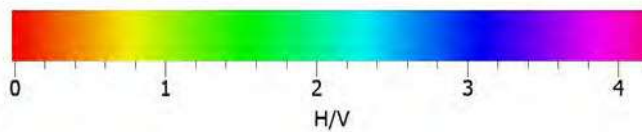
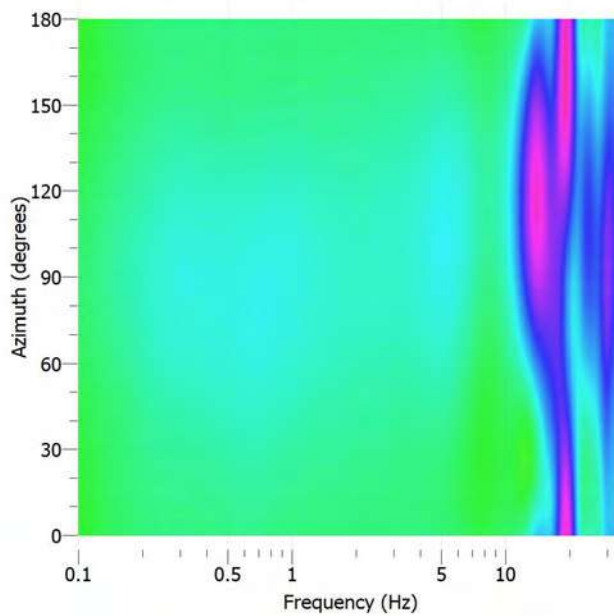
### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



### DIREZIONALITÀ



```

# GEOPSY output version 1.1
# Number of windows = 28
# f0 from average 18.6888
# Number of windows for f0 = 28
# f0 from windows 18.5142    16.6031    20.4253
# Peak amplitude 3.81068

```

Criteria for a reliable H/V curve					
i)	$f_0 > 10 / l_w$	18.514	>	0.500	OK
ii)	$n_c(f_0) > 200$	10368	>	200	OK
iii)	$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded	0	out of 227 times	OK

Criteria for a clear H/V peak						
(at least 5 out of 6 criteria fulfilled)						
i)	$\exists f^* \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$	$A_{H/V}[f_0/4, f_0]:$	1.90235	<	1.90534 at 7.93916 Hz	OK
ii)	$\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$	$A_{H/V}[f_0, 4f_0]:$	2.60514	<	1.90534 at 22.5461 Hz	NO
iii)	$A_0 > 2$	3.811	>	2		OK
iv)	$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	18.689		[ 17.5885 , 19.4399 ]		OK
v)	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.911	<	0.9257		NO
vi)	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.260	<	1.58		OK

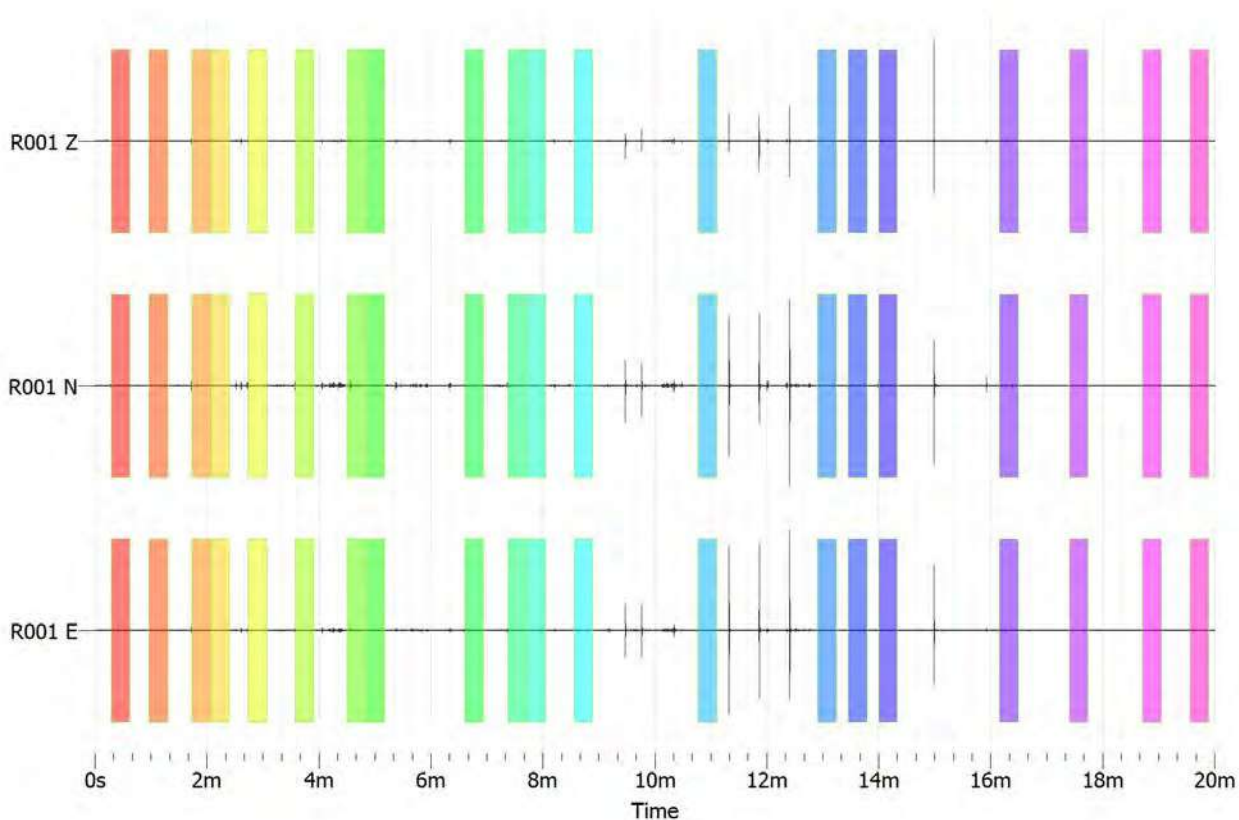
$l_w$  = window length  
 $n_w$  = number of windows selected for the average H/V curve  
 $n_c = l_w \cdot n_w$ ,  $f_0$  = number of significant cycles  
 $f$  = current frequency  
 $f_{\text{sensor}}$  = sensor cut-off frequency  
 $f_0$  = H/V peak frequency  
 $\sigma_f$  = standard deviation of H/V peak frequency ( $f_0 \pm \sigma_f$ )  
 $\varepsilon(f_0)$  = threshold value for the stability condition  $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$   
 $A_0$  = H/V peak amplitude at frequency  $f_0$   
 $A_{H/V}(f)$  = H/V curve amplitude at frequency  $f$   
 $F$  = frequency between  $f_0/4$  and  $f_0$  for which  $A_{H/V}(F) < A_0/2$   
 $f^*$  = frequency between  $f_0$  and  $4f_0$  for which  $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$   
 $\sigma_A(f)$  = "standard deviation" of  $A_{H/V}(f)$ ,  $\sigma_A(f)$  is the factor by which the mean  $A_{H/V}(f)$  curve should be multiplied or divided  
 $\sigma_{\log H/V}(f)$  = standard deviation of the  $\log A_{H/V}(f)$  curve,  $\sigma_{\log H/V}(f)$  is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean  $\log A_{H/V}(f)$  curve  
 $\theta(f_0)$  = threshold value for the stability condition  $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$   
 $V_{s,av}$  = average S-wave velocity of the total deposits  
 $V_{s,surf}$  = S-wave velocity of the surface layer  
 $h$  = depth to bedrock  
 $h_{\text{min}}$  = lower-bound estimate of  $h$

Threshold Values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.20 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3	2.5	2	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.4	0.3	0.25	0.2

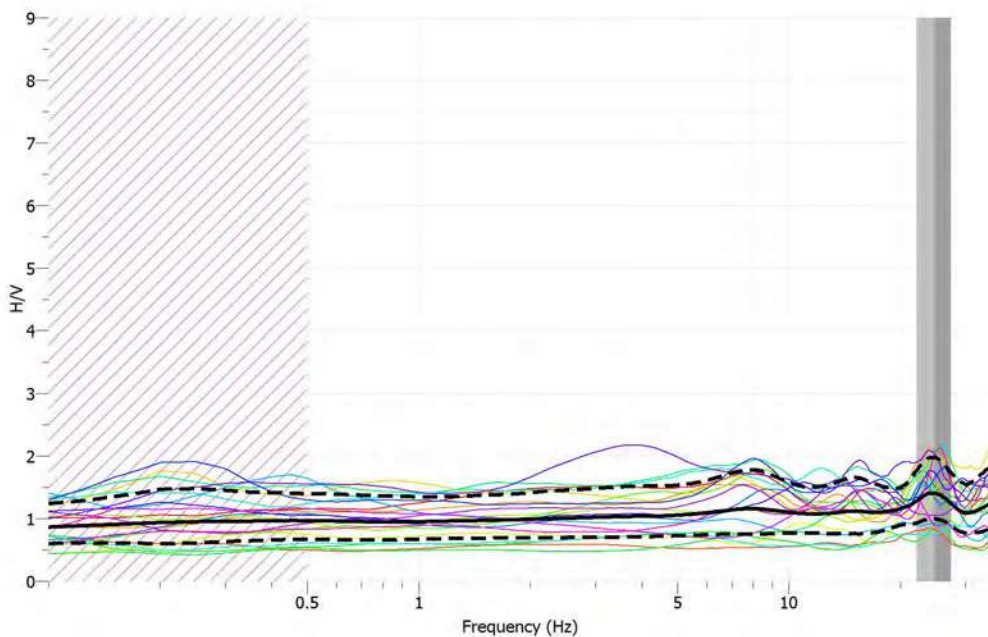


SIGNAL FILE NAME = Vallepietra3 2018\_5\_10\_10\_9.saf  
WINDOW MIN LENGTH (s) = 20  
SMOOTHING TYPE = constant - SMOOTHING CONSTANT = 5.0  
DO COSINE TAPER = false  
MINIMUM FREQUENCY = 0.1  
MAXIMUM FREQUENCY = 35  
SAMPLES NUMBER FREQUENCY = 1000

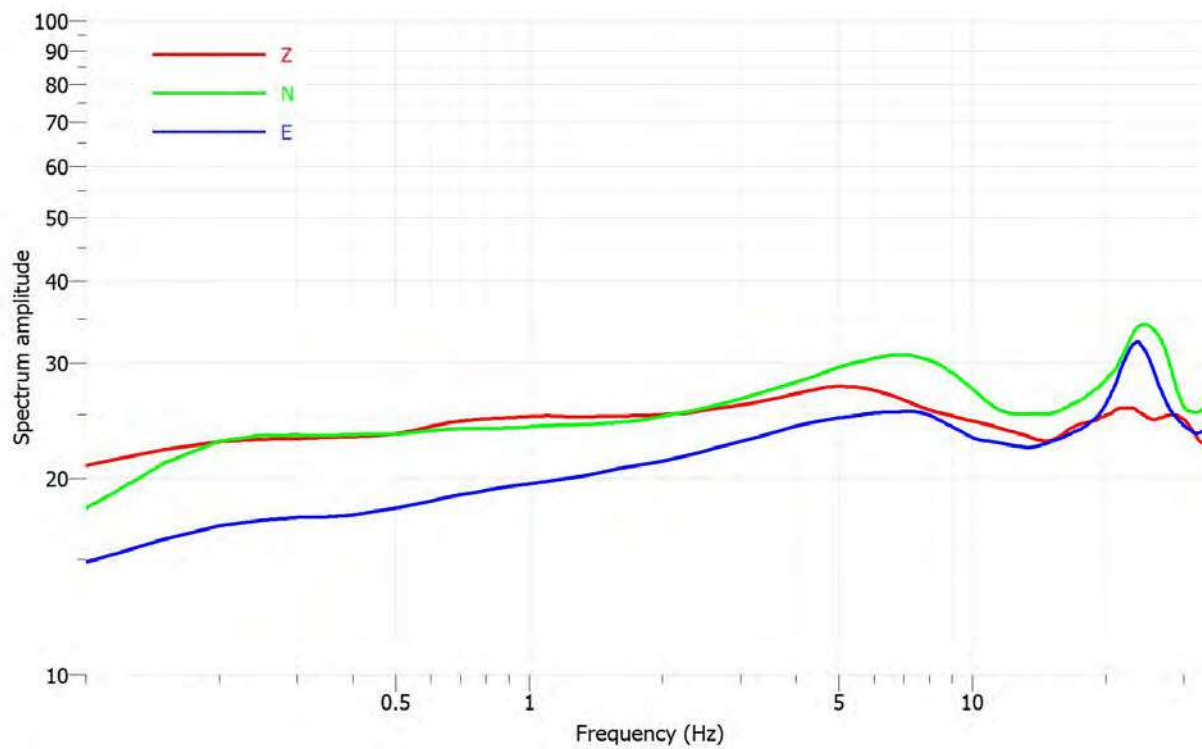
### TRACCE DI ACQUISIZIONE E SELEZIONE DELLE FINESTRE



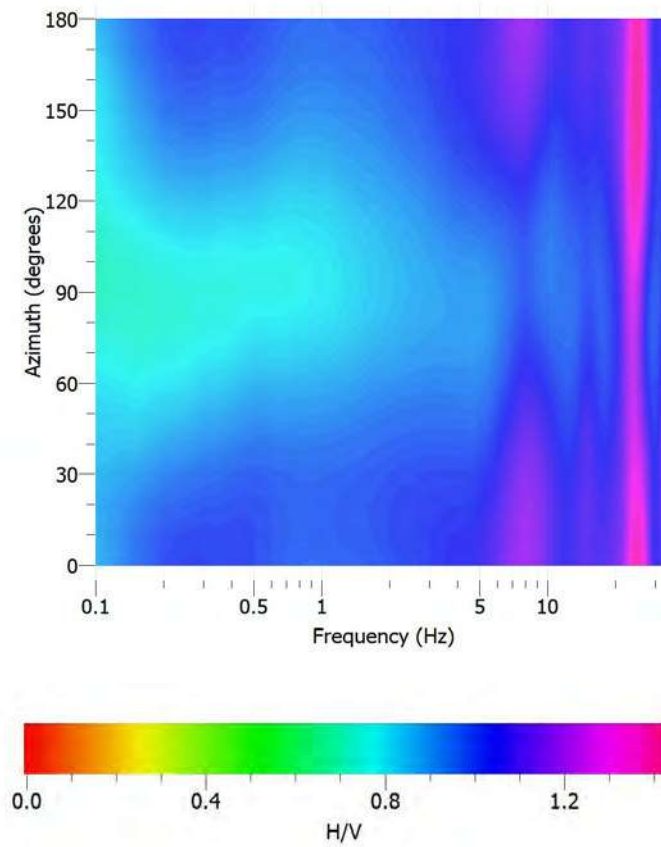
### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



### DIREZIONALITÀ



```

# GEOPSY output version 1.1
# Number of windows = 20
# f0 from average 24.619
# Number of windows for f0 = 20
# f0 from windows 24.7328      22.0635      27.4021
# Peak amplitude 1.40898

```

Criteria for a reliable H/V curve					
i)	$f_0 > 10 / l_w$	24.733	>	0.500	OK
ii)	$n_c(f_0) > 200$	9893	>	200	OK
iii)	$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded	0	out of 178 times	OK

Criteria for a clear H/V peak					
(at least 5 out of 6 criteria fulfilled)					
i)	$\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	$A_{H/V}[f_0/4, f_0]: 1.07958$	<	0.70449 at 11.6226 Hz	NO
ii)	$\exists f \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	$A_{H/V}[f_0, 4f_0]: 1.09169$	<	0.70449 at 30.2275 Hz	NO
iii)	$A_0 > 2$	1.409	>	2	NO
iv)	$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	24.619	[	23.4962 , 25.9694 ]	OK
v)	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	2.669	<	1.2366	NO
vi)	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.408	<	1.58	OK

$l_w$  = window length  
 $n_w$  = number of windows selected for the average H/V curve  
 $n_c = l_w \cdot n_w$ ,  $f_0$  = number of significant cycles  
 $f$  = current frequency  
 $f_{\text{sensor}}$  = sensor cut-off frequency  
 $f_0$  = H/V peak frequency  
 $\sigma_f$  = standard deviation of H/V peak frequency ( $f_0 \pm \sigma_f$ )  
 $\varepsilon(f_0)$  = threshold value for the stability condition  $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$   
 $A_0$  = H/V peak amplitude at frequency  $f_0$   
 $A_{H/V}(f)$  = H/V curve amplitude at frequency  $f$   
 $F$  = frequency between  $f_0/4$  and  $f_0$  for which  $A_{H/V}(f) < A_0/2$   
 $f^*$  = frequency between  $f_0$  and  $4f_0$  for which  $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$   
 $\sigma_A(f)$  = "standard deviation" of  $A_{H/V}(f)$ ,  $\sigma_A(f)$  is the factor by which the mean  $A_{H/V}(f)$  curve should be multiplied or divided  
 $\sigma_{\log H/V}(f)$  = standard deviation of the  $\log A_{H/V}(f)$  curve,  $\sigma_{\log H/V}(f)$  is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean  $\log A_{H/V}(f)$  curve  
 $\theta(f_0)$  = threshold value for the stability condition  $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$   
 $V_{s,av}$  = average S-wave velocity of the total deposits  
 $V_{s,surf}$  = S-wave velocity of the surface layer  
 $h$  = depth to bedrock  
 $h_{\text{min}}$  = lower-bound estimate of  $h$

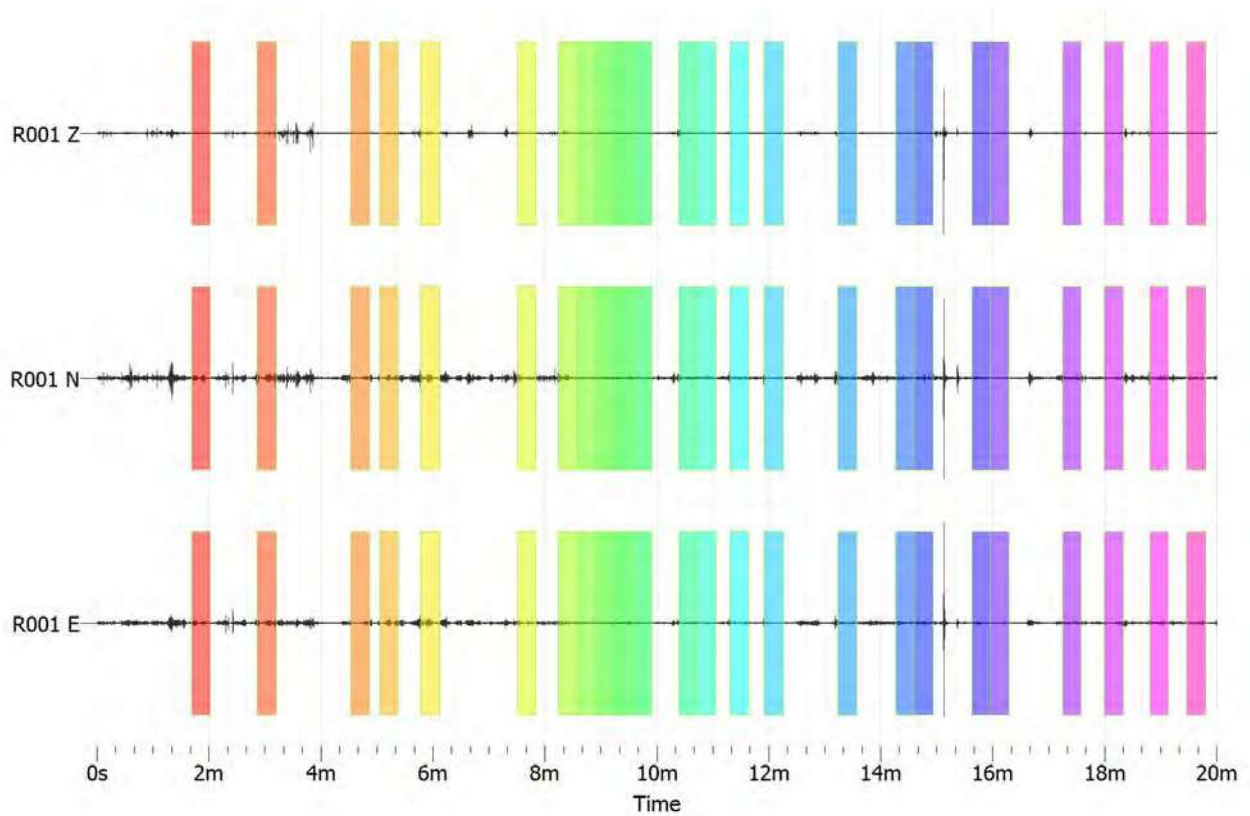
Threshold Values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.20 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3	2.5	2	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.4	0.3	0.25	0.2



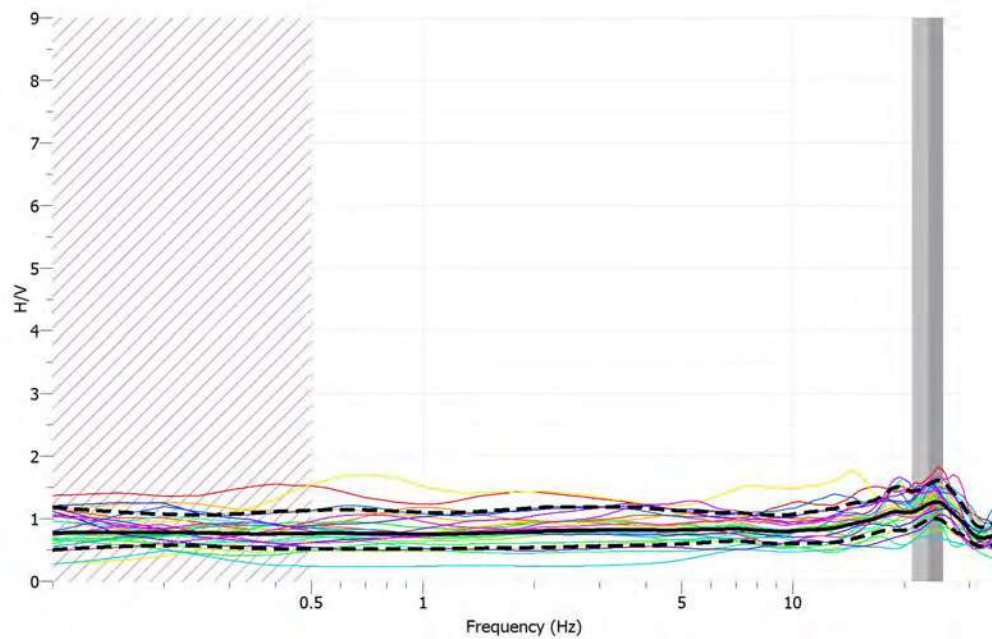


SIGNAL FILE NAME = Vallepietra4 2018\_5\_10\_10\_45.saf  
WINDOW MIN LENGTH (s) = 20  
SMOOTHING TYPE = constant - SMOOTHING CONSTANT = 5.0  
DO COSINE TAPER = false  
MINIMUM FREQUENCY = 0.1  
MAXIMUM FREQUENCY = 35  
SAMPLES NUMBER FREQUENCY = 1000

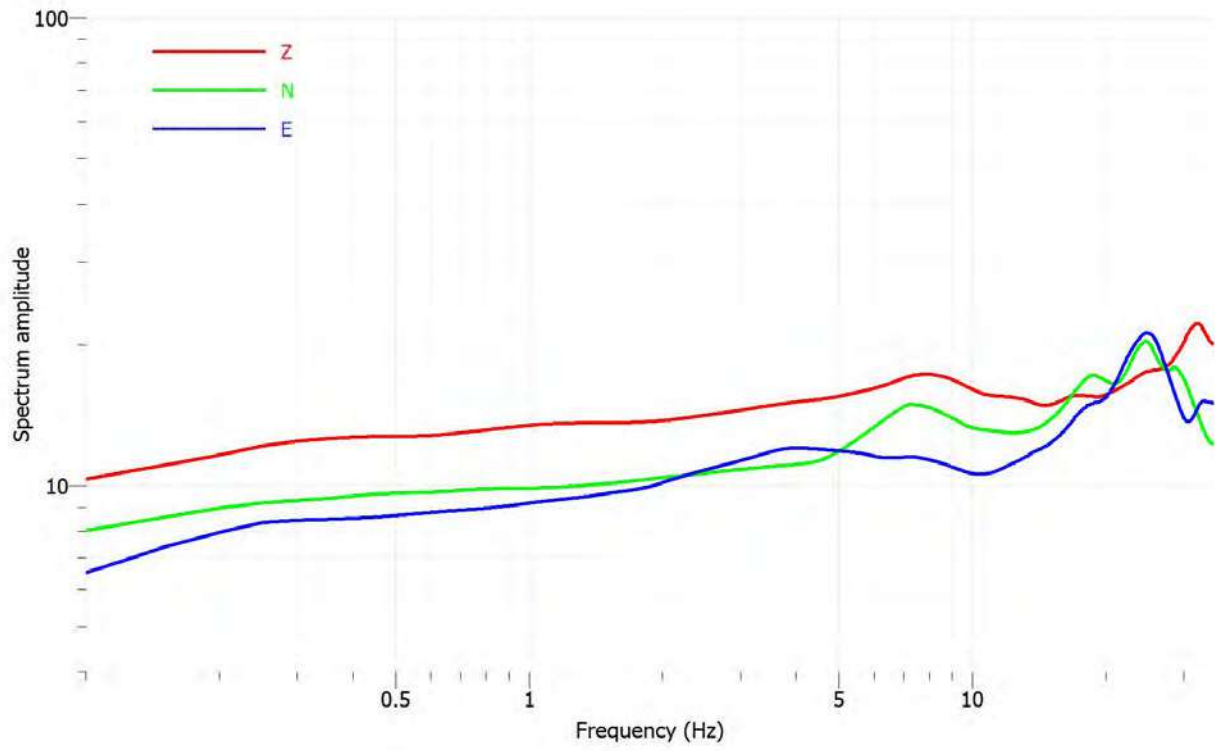
### TRACCE DI ACQUISIZIONE E SELEZIONE DELLE FINESTRE



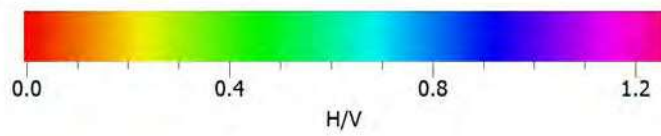
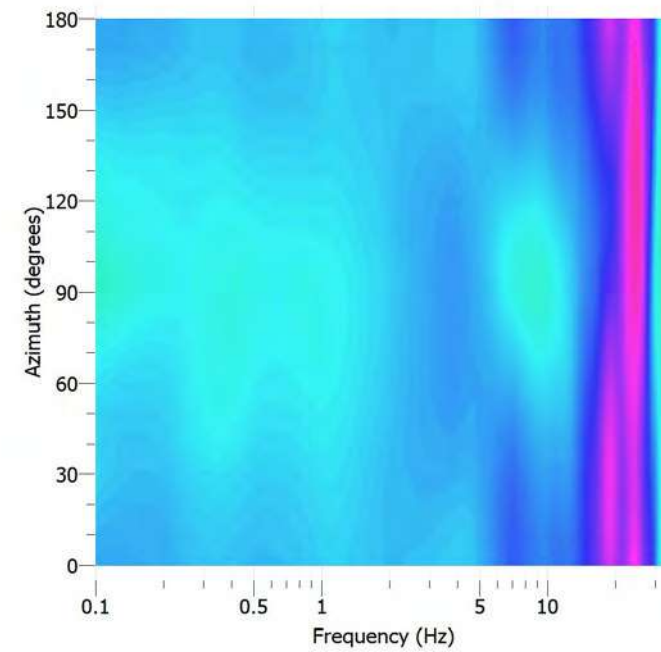
### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



### DIREZIONALITÀ



GEOPSY output version 1.1  
 # Number of windows = 24  
 # f0 from average 24.4751  
 # Number of windows for f0 = 24  
 # f0 from windows 23.2306      20.9851      25.4761  
 # Peak amplitude 1.23669

Criteria for a reliable H/V curve					
i)	$f_0 > 10 / L$	23.231	>	0.500	OK
ii)	$n_s(f_0) > 200$	11151	>	200	OK
iii)	$A_s(f) < 2$ for $0.5f < f < 2f$ if $f > 0.5\text{Hz}$ or $A_s(f) < 3$ for $0.5f < f < 2f$ if $f < 0.5\text{Hz}$	Exceeded	0	out of 189 times	OK

Criteria for a clear H/V peak					
(at least 5 out of 6 criteria fulfilled)					
i)	$f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	$A_{H/V}[f_0/4, f_0]: 0.79839$	<	0.61835 at 9.46614 Hz	NO
ii)	$0.4f \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	$A_{H/V}[f_0, 4f_0]: 0.69203$	<	0.61835 at 32.4311 Hz	NO
iii)	$A_0 > 2$	1.237	>	2	NO
iv)	$f_{min} [A_{H/V}(f) \pm 0.5(f)] = f \pm 5\%$	24.475	[	22.0691, 24.3921]	NO
v)	$h < \lambda_{H/V}$	2.246	<	1.1615	NO
vi)	$2\lambda(f_0) < \lambda(f_0)$	1.255	<	1.58	OK

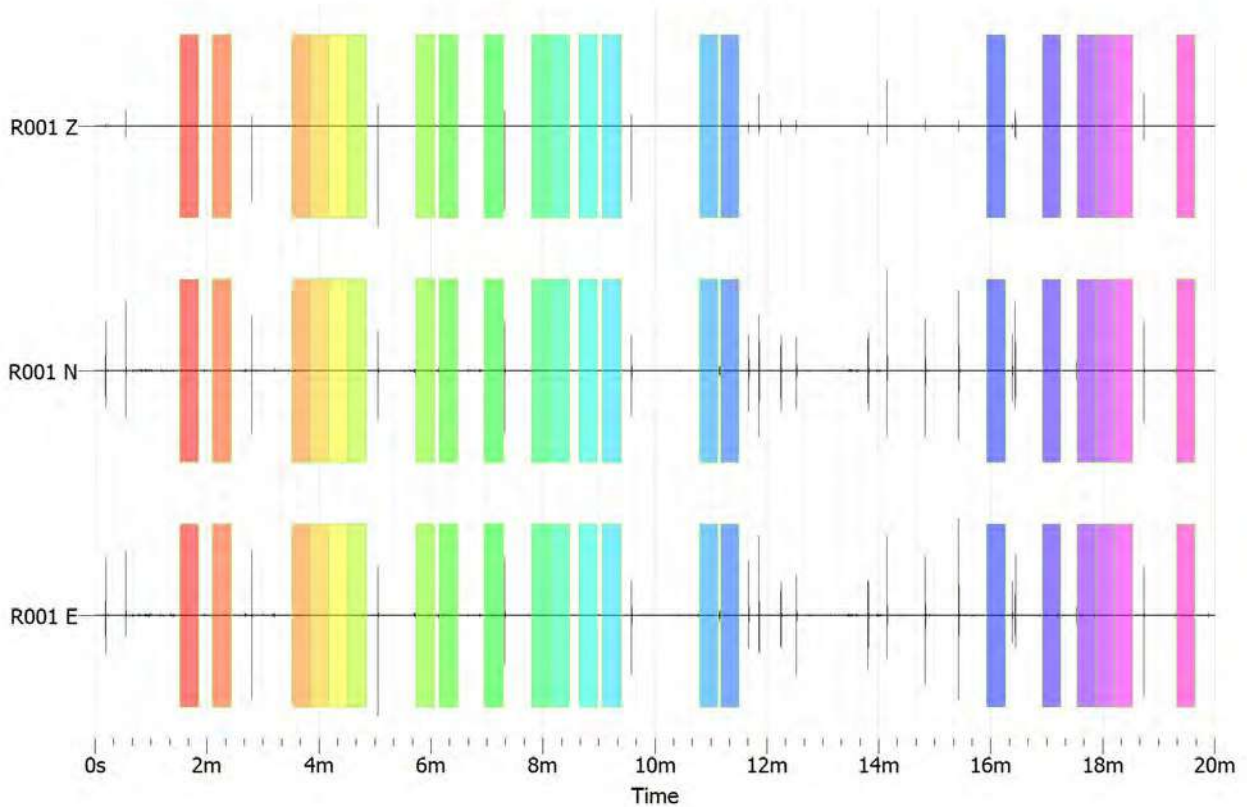
$L_w$  = window length  
 $n_s$  = number of windows selected for the average H/V curve  
 $n_s = L_w \cdot n_w$ ,  $f_0$  = number of significant cycles  
 $f$  = current frequency  
 $f_{min}$  = sensor cut-off frequency  
 $f_0$  = H/V peak frequency  
 $\sigma(f)$  = standard deviation of H/V peak frequency  
 $\sigma(f_0)$  = threshold value for the stability condition  
 $A_0$  = H/V peak amplitude at frequency  $f_0$   
 $A_{H/V}(f)$  = H/V curve amplitude at frequency  $f$   
 $f$  = frequency between  $f_0/4$  and  $f_0$  for which  $A_{H/V}(f) < A_0/2$   
 $4f$  = frequency between  $f_0$  and  $4f_0$  for which  $A_{H/V}(f) < A_0/2$   
 $\lambda(f)$  = "standard deviation" of  $A_{H/V}(f)$ ,  $\lambda(f)$  is the factor by which the mean  $A_{H/V}(f)$  curve should be multiplied or divided  
 $\lambda_{logH/V}(f)$  = standard deviation of the  $\log A_{H/V}(f)$  curve,  $\lambda_{logH/V}(f)$  is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean  $\log A_{H/V}(f)$  curve  
 $\phi(f)$  = threshold value for the stability condition  
 $V_{s,av}$  = average S-wave velocity of the total deposits  
 $V_{s,surf}$  = S-wave velocity of the surface layer  
 $h$  = depth to bedrock  
 $h_{min}$  = lower-bound estimate of  $h$

Threshold Values for $\lambda$ and $\phi(f_0)$					
Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\lambda(f_0)$ [Hz]	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05
$\phi(f_0)$ for $\lambda < \phi(f_0)$	3	2.5	2	1.78	1.58
$\log 2 \cdot \lambda(f)$ for $\lambda_{logH/V}(f)$	0.48	0.4	0.3	0.25	0.2

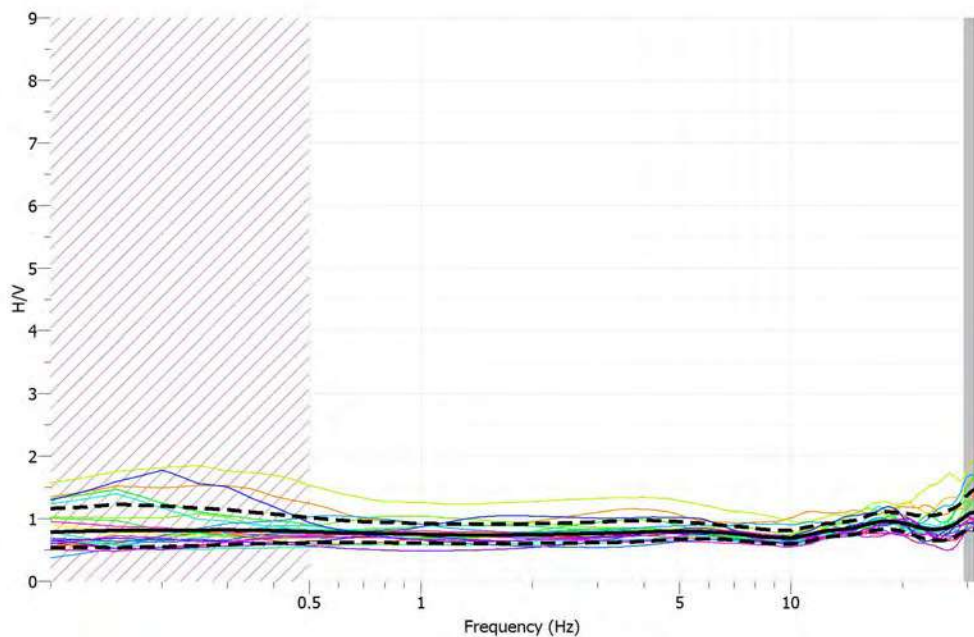


SIGNAL FILE NAME = Vallepietra5 2018\_5\_10\_11\_29.saf  
WINDOW MIN LENGTH (s) = 20  
SMOOTHING TYPE = constant - SMOOTHING CONSTANT = 5.0  
DO COSINE TAPER = false  
MINIMUM FREQUENCY = 0.1  
MAXIMUM FREQUENCY = 35  
SAMPLES NUMBER FREQUENCY = 1000

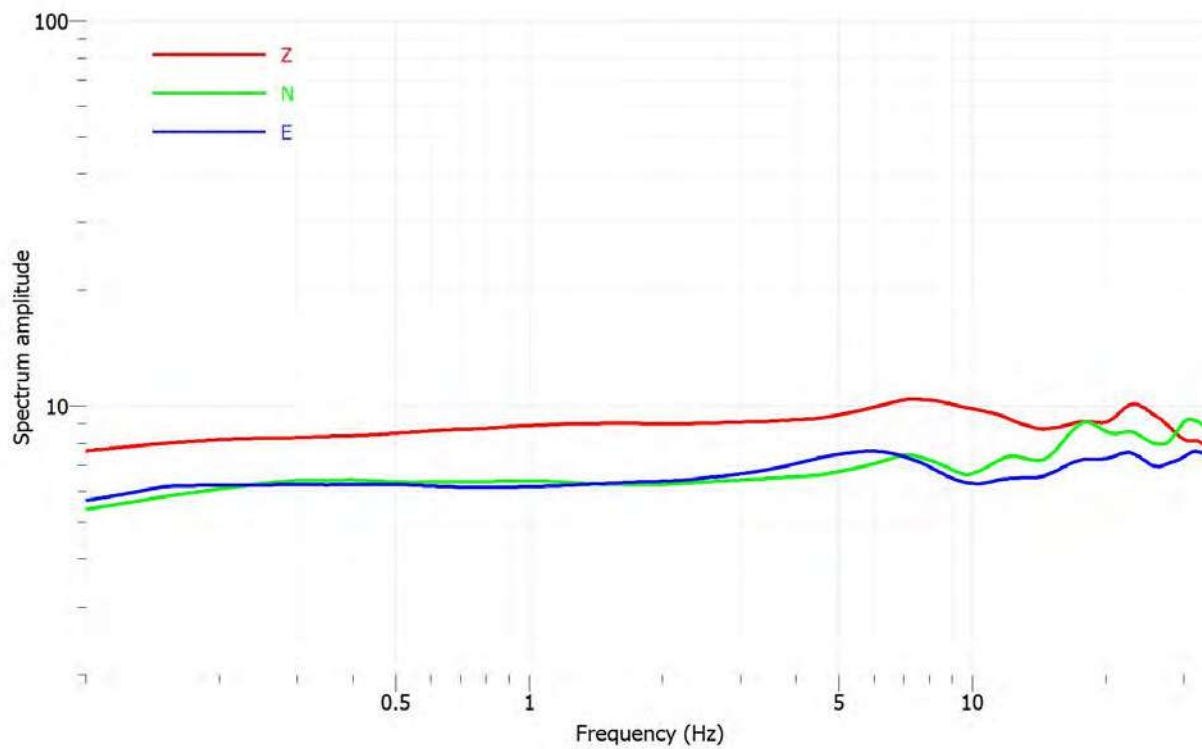
### TRACCE DI ACQUISIZIONE E SELEZIONE DELLE FINESTRE



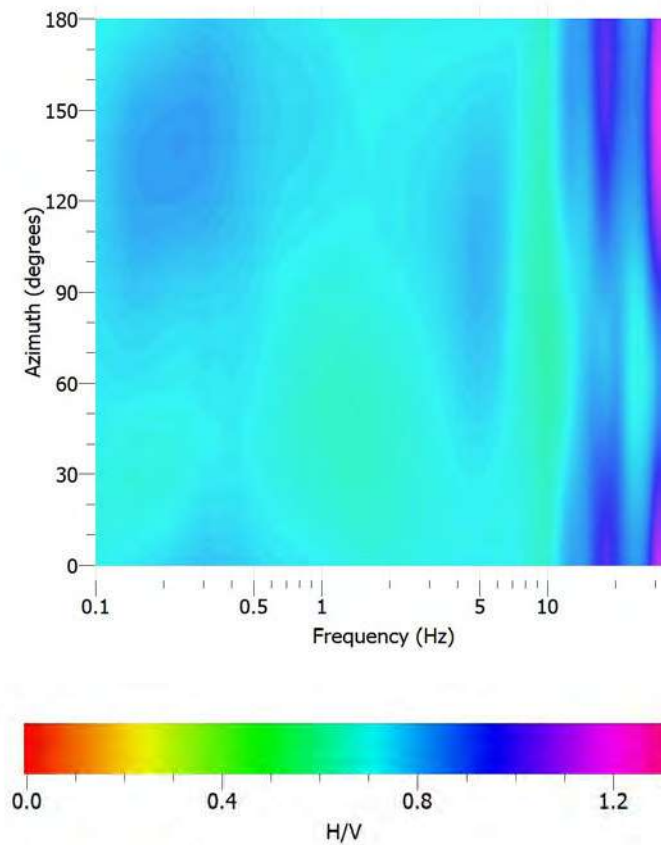
### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



### DIREZIONALITÀ



```

# GEOPSY output version 1.1
# Number of windows = 21
# f0 from average 31.3099
# Number of windows for f0 = 21
# f0 from windows 31.1947    29.2535    33.1359
# Peak amplitude 1.10034

```

Criteria for a reliable H/V curve					
i)	$f_0 > 10 / l_w$	31.195	>	0.500	OK
ii)	$n_c(f_0) > 200$	13102	>	200	OK
iii)	$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded	0	out of 138 times	OK

Criteria for a clear H/V peak					
(at least 5 out of 6 criteria fulfilled)					
i)	$\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	$A_{H/V}[f_0/4, f_0]: 0.69298$	<	0.55017 at 9.52181 Hz	NO
ii)	$\exists f \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	$A_{H/V}[f_0, 4f_0]: 1.09373$	<	0.55017 at 32.4311 Hz	NO
iii)	$A_0 > 2$	1.100	>	2	NO
iv)	$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	31.310	[	29.635 , 32.7544 ]	OK
v)	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.941	<	1.5597	OK
vi)	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.330	<	1.58	OK

$l_w$  = window length  
 $n_w$  = number of windows selected for the average H/V curve  
 $n_c = l_w \cdot n_w$ ,  $f_0$  = number of significant cycles  
 $f$  = current frequency  
 $f_{\text{sensor}}$  = sensor cut-off frequency  
 $f_0$  = H/V peak frequency  
 $\sigma_f$  = standard deviation of H/V peak frequency ( $f_0 \pm \sigma_f$ )  
 $\varepsilon(f_0)$  = threshold value for the stability condition  $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$   
 $A_0$  = H/V peak amplitude at frequency  $f_0$   
 $A_{H/V}(f)$  = H/V curve amplitude at frequency  $f$   
 $F$  = frequency between  $f_0/4$  and  $f_0$  for which  $A_{H/V}(F) < A_0/2$   
 $F'$  = frequency between  $f_0$  and  $4f_0$  for which  $A_{H/V}(F') < A_0/2$   
 $\sigma_A(f)$  = "standard deviation" of  $A_{H/V}(f)$ ,  $\sigma_A(f)$  is the factor by which the mean  $A_{H/V}(f)$  curve should be multiplied or divided  
 $\sigma_{\log H/V}(f)$  = standard deviation of the  $\log A_{H/V}(f)$  curve,  $\sigma_{\log H/V}(f)$  is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean  $\log A_{H/V}(f)$  curve  
 $\theta(f_0)$  = threshold value for the stability condition  $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$   
 $V_{s,av}$  = average S-wave velocity of the total deposits  
 $V_{s,surf}$  = S-wave velocity of the surface layer  
 $h$  = depth to bedrock  
 $h_{\text{min}}$  = lower-bound estimate of  $h$

Threshold Values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.20 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3	2.5	2	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.4	0.3	0.25	0.2



COMMITTENTE: GEOCOLNAR STUDIO ASSOCIATO

RIFERIMENTO: Comune di Vallepietra

SONDAGGIO: CAMPIONE: C1 PROFONDITA': m Affioramento

**MODULO RIASSUNTIVO**
**CARATTERISTICHE FISICHE**

Umidità naturale	%
Peso di volume	24.8 kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume secco	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume saturo	kN/m <sup>3</sup>
Peso specifico	
Indice dei vuoti	
Porosità	%
Grado di saturazione	%
Limite di liquidità	
Limite di plasticità	
Indice di plasticità	
Indice di consistenza	
Passante al set. n° 40	
Limite di ritiro	%
Classif. CNR-UNI	

**ANALISI GRANULOMETRICA**

Ghiaia	%
Sabbia	%
Limo	%
Argilla	%
D 10	mm
D 50	mm
D 60	mm
D 90	mm
Passante set. 10	%
Passante set. 40	%
Passante set. 200	%

**PERMEABILITA'**

Coefficiente k cm/sec

**COMPRESSIONE**

$\sigma$	51.14 MPa	$\sigma_{Rim}$	MPa
----------	-----------	----------------	-----

**TAGLIO DIRETTO**

Prova consolidata-lenta			
c	kPa	$\phi$	°
c Res	kPa	$\phi$ Res	°

**COMPRESSIONE TRIASSIALE**

C.D.	$C_d$	kPa	$\phi_d$	°
C.U.	$C'_{cu}$	kPa	$\phi'_{cu}$	°
	$C_{cu}$	kPa	$\phi_{cu}$	°
U.U.	$C_u$	kPa	$\phi_u$	°

**PROVA EDOMETRICA**

$\sigma$ kPa	E kPa	$C_v$ cm <sup>2</sup> /sec	k cm/sec

Calcare di colore biancastro (Campione prelevato in affioramento sotto la fondazione)

**GEORES srl**Via Marittima 406 - 03100 Frosinone  
tel. 0775 871376 - fax. 0775 200685  
laboratorio@geores.itAZIENDA CON  
SISTEMA DI GESTIONE QUALITA'  
UNI EN ISO 9001:2008  
CERTIFICATO DA TUV AUSTRIACertificazione Ufficiale - Settore « A » - Prove di laboratorio sui terreni  
AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI  
Decreto 150/15-06-2016 - DPR 246/1993 - Circolare 7618/STC/2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01054	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 15/05/18	Inizio analisi: 14/05/18
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 257 del 10/05/18		Apertura campione: 14/05/18	Fine analisi: 14/05/18

COMMITTENTE: GEOCOLNAR STUDIO ASSOCIATO
RIFERIMENTO: Comune di Vallepietra
SONDAGGIO: CAMPIONE: C1 PROFONDITA': m Affioramento

**PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE**

Modalità di prova: Norma BS 1377 T 15

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

**Peso di volume allo stato naturale (media delle due misure) = 24.8 kN/m<sup>3</sup>**

Calccare di colore biancastro (Campione prelevato in affioramento sotto la fondazione)



**GEORES srl**Via Marittima 406 - 03100 Frosinone  
tel. 0775 871376 - fax. 0775 200685  
laboratorio@geores.itAZIENDA CON  
SISTEMA DI GESTIONE QUALITA'  
UNI EN ISO 9001:2008  
CERTIFICATO DA TUV AUSTRIACertificazione Ufficiale - Settore « A » - Prove di laboratorio sui terreni  
AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI  
Decreto 150/15-06-2016 - DPR 246/1993 - Circolare 7618/STC/2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01055	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 15/05/18	Inizio analisi: 14/05/18
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 257 del 10/05/18		Apertura campione: 14/05/18	Fine analisi: 14/05/18

COMMITTENTE: GEOCOLNAR STUDIO ASSOCIATO
RIFERIMENTO: Comune di Vallepietra
SONDAGGIO: CAMPIONE: C1 PROFONDITA': m Affioramento

PROVA DI COMPRESSIONE UNIASSIALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 2938

Provino n°:	1
Condizione del provino:	Indisturbato
Velocità di deformazione (mm/min):	0.500
Altezza (cm):	8.90
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	16.62
Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> ):	24.8
Resistenza a compressione (MPa):	51.14

Calccare di colore biancastro (Campione prelevato in affioramento sotto la fondazione)

# CARATTERIZZAZIONE AMMASSO ROCCIOSO

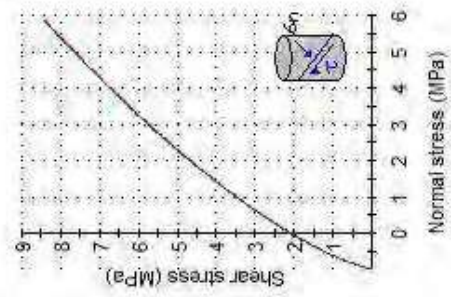
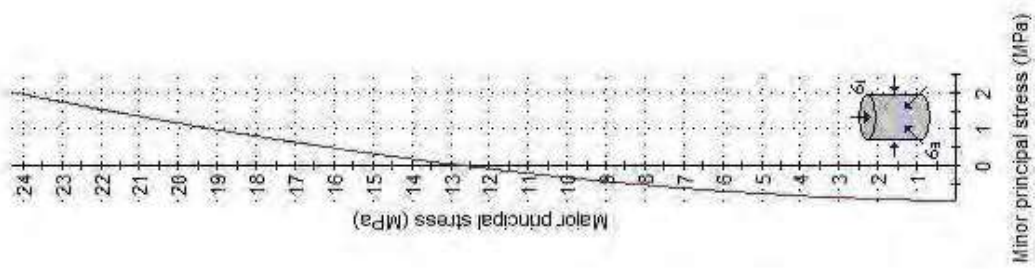
## Analysis of Rock Strength using RocLab

**Hoek-Brown Classification**  
intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 51 MPa  
GSI = 75  $m_i = 8$  Disturbance factor ( $D$ ) = 0  
intact modulus ( $E_i$ ) = 15300 MPa  
modulus ratio ( $MR$ ) = 300

**Hoek-Brown Criterion**  
 $m_b = 3.276$   $s = 0.0622$   $a = 0.501$

**Mohr-Coulomb Fit**  
cohesion = 2.216 MPa friction angle = 48.56 deg

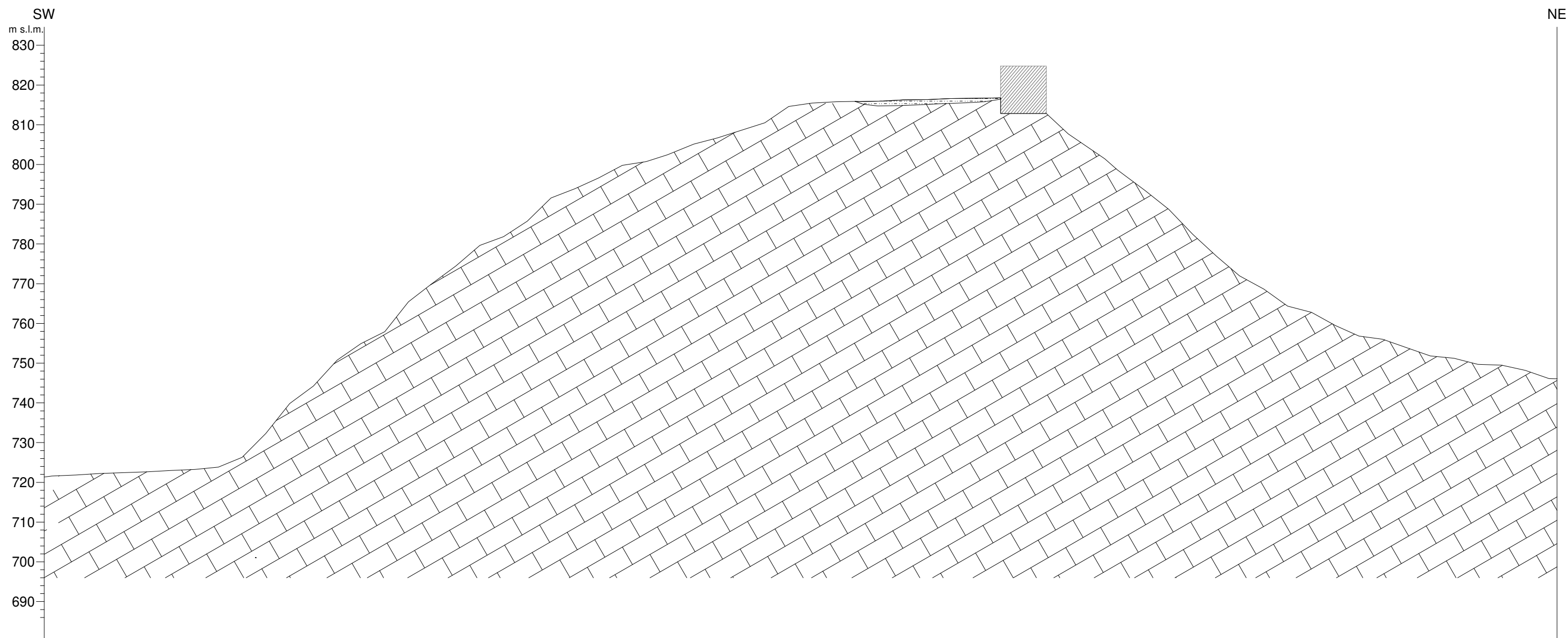
**Rock Mass Parameters**  
tensile strength = -0.968 MPa  
uniaxial compressive strength = 12.685 MPa  
global strength = 15.434 MPa  
deformation modulus = 12490.16 MPa


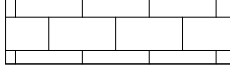




# SEZIONE GEOLOGICO-SISMICA 1

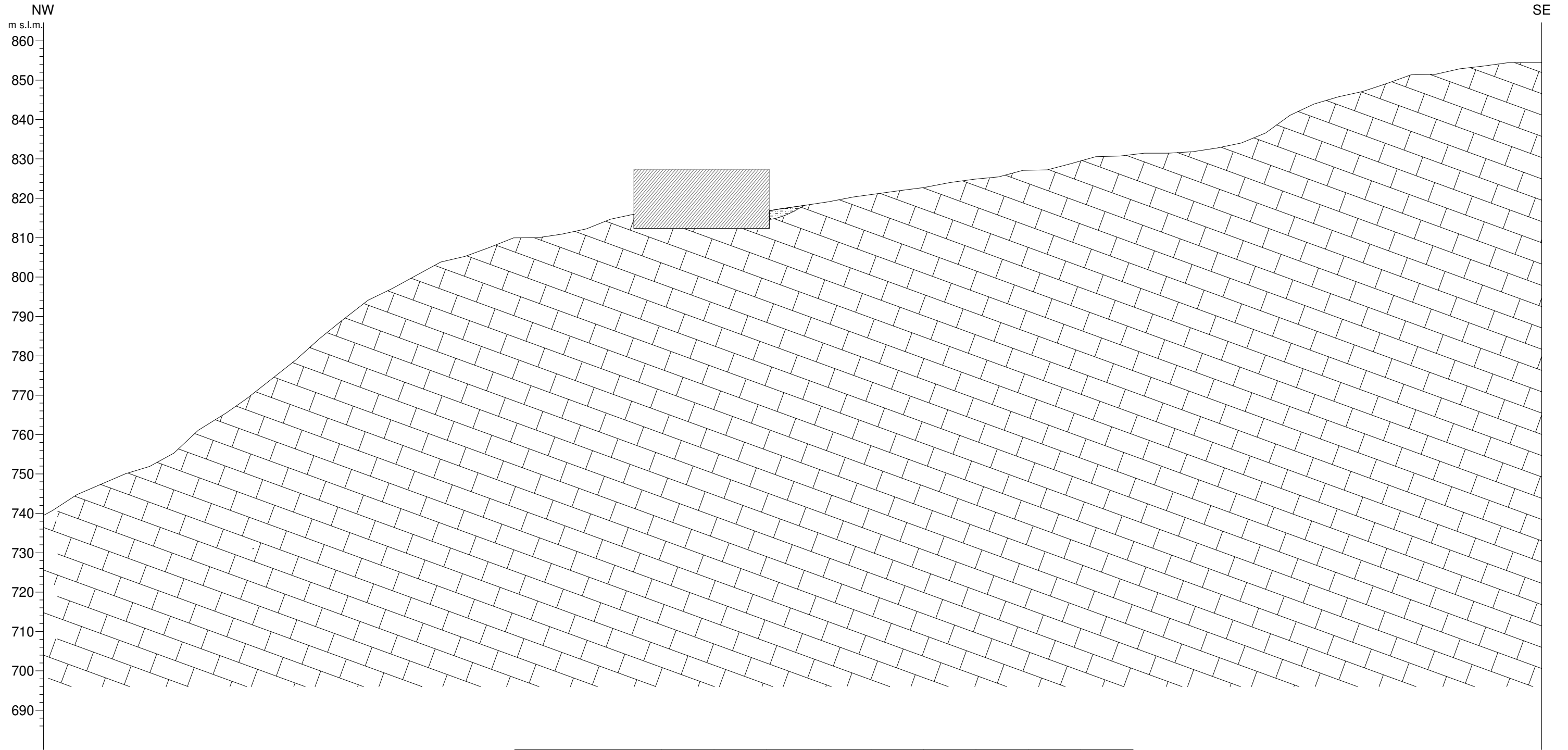
scala 1:1.000

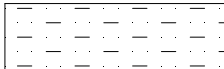
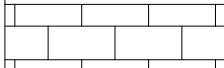


Litologia	$\gamma_n$	cu	c'	$\phi$	$\sigma$	GSI	mi	D	Vs
	(kN/m <sup>3</sup> )	(kPa)	(kPa)	(°)	(kPa)				(m/s)
 Riempimento antropico eterogeneo	16.5	---	10	23	---	---	---	---	---
 Dolomie cristalline	24.8	20	---	45	51.1	75	8	0	> 800

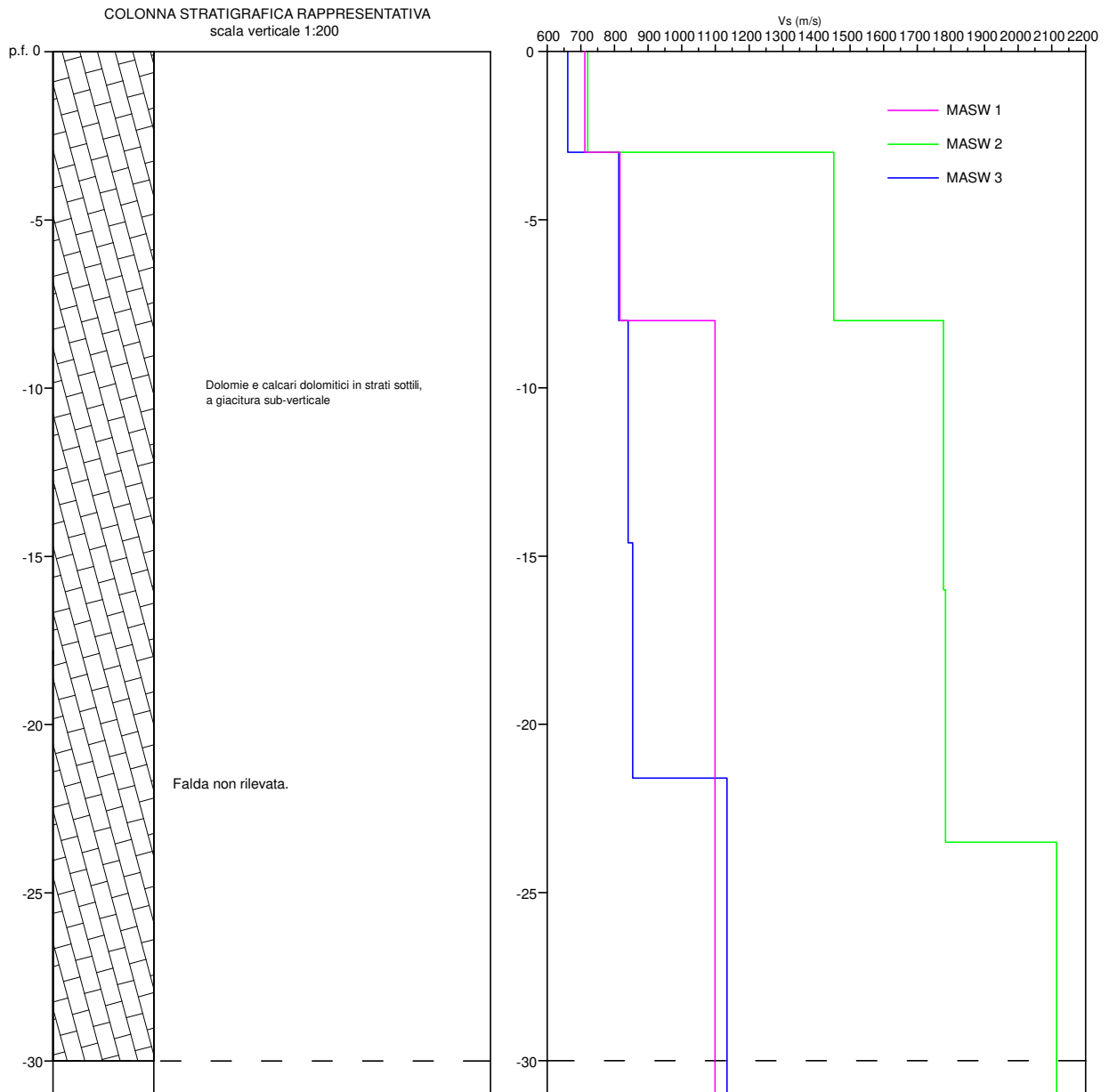
# SEZIONE GEOLOGICO-SISMICA 2

scala 1:1.000



	Litologia	$\gamma_n$	cu	c'	$\phi$	$\sigma$	GSI	mi	D	Vs
		(kN/m <sup>3</sup> )	(kPa)	(kPa)	(°)	(kPa)				(m/s)
	Riempimento antropico eterogeneo	16.5	---	10	23	---	---	---	---	---
	Dolomie cristalline	24.8	20	---	45	51.1	75	8	0	> 800

# COLONNA STRATIGRAFICA ESTESA FINO A -30m DA p.f. CON INDICAZIONE DELLE VELOCITA'



## RISPOSTA SISMICA LOCALE



**GEO - COLNAR *studio associato***  
**C.FISC:**  
**P.IVA: 02966240604**

**Via: Via Fabrateria Vetus, 4B**  
**03023 Ceccano - FR**  
**Tel: 3404008268 - 3298679214**  
**Email: [geocolnar@libero.it](mailto:geocolnar@libero.it)**  
**Web: [www.geocolnar.it](http://www.geocolnar.it)**

## RISPOSTA SISMICA LOCALE

COMUNE DI VALLEPIETRA (RM)

**Comune di Vallepietra**

**Data: Maggio 2018**

**Il committente**

Comune di Vallepietra

**IL Tecnico**

**Geol. Andrea Nardoni**

**Geol. Luca Colagiacomo**

**Pericolosità sismica di base**

## 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:

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

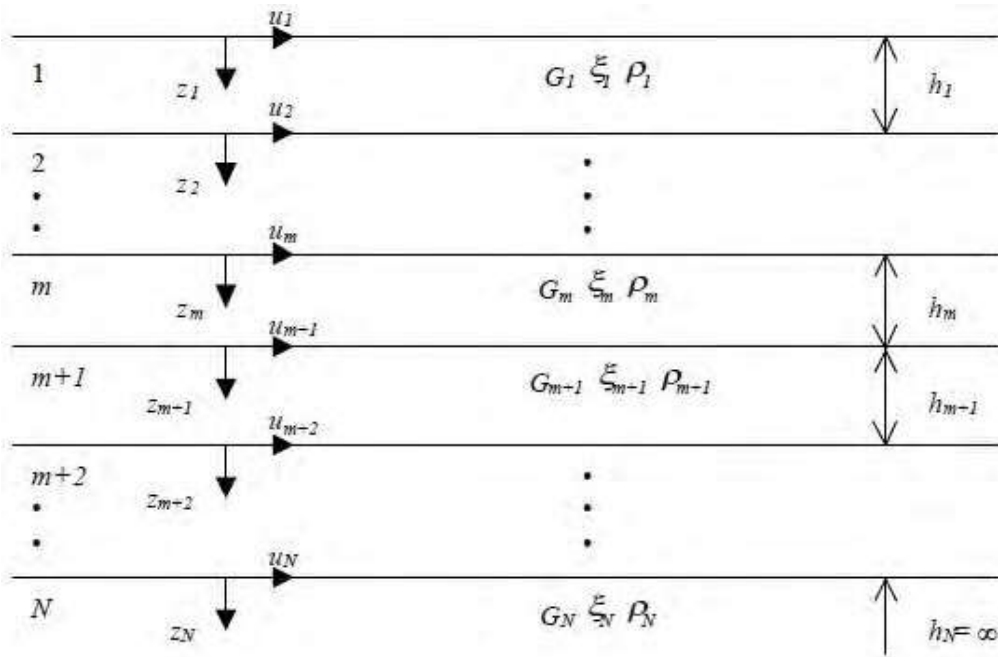


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ovvero

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

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

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

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

dove  $\alpha_m^*$  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.

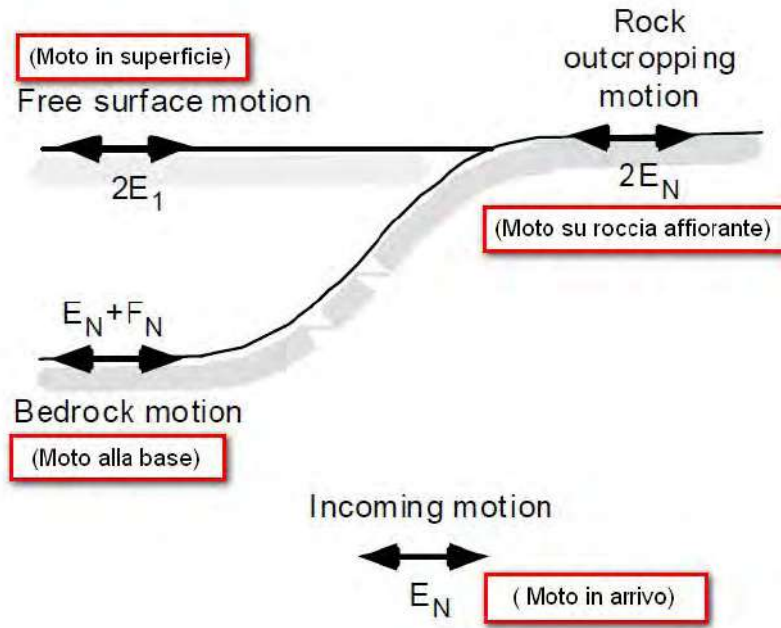


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

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:

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

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

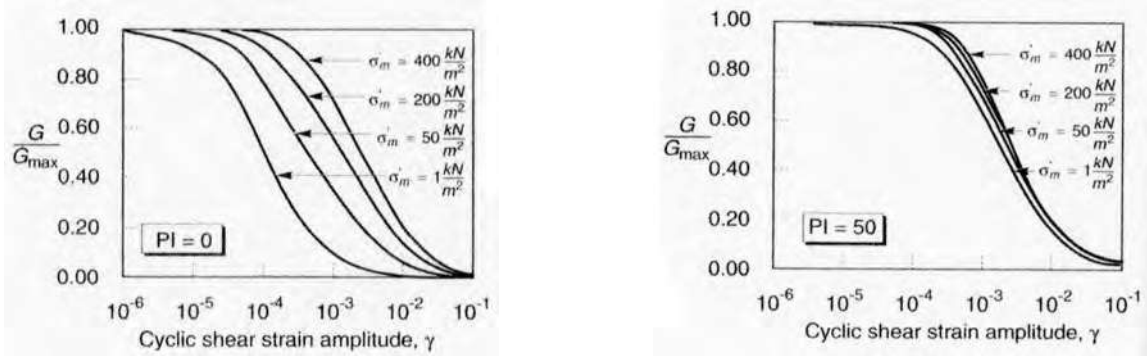
$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[ \ln \left( \frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145PI^{1.3}) \quad (26)$$

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

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.

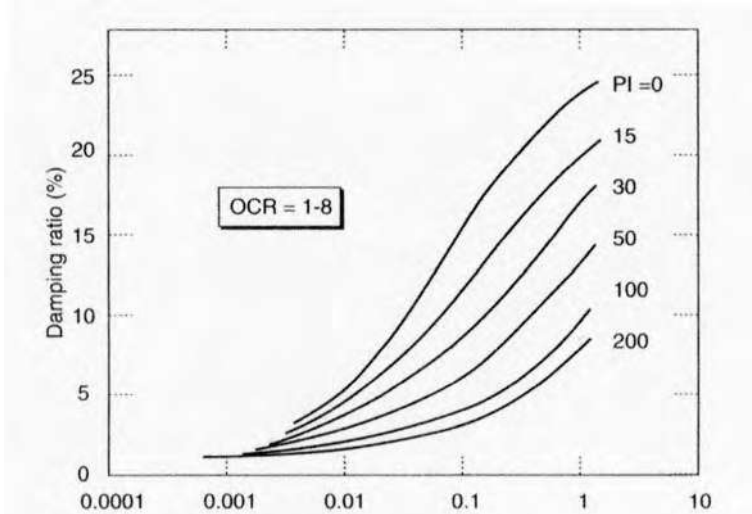


**Figura 2:** Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

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

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{2.3})}{2} \left[ 0.586 \left( \frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (29)$$

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

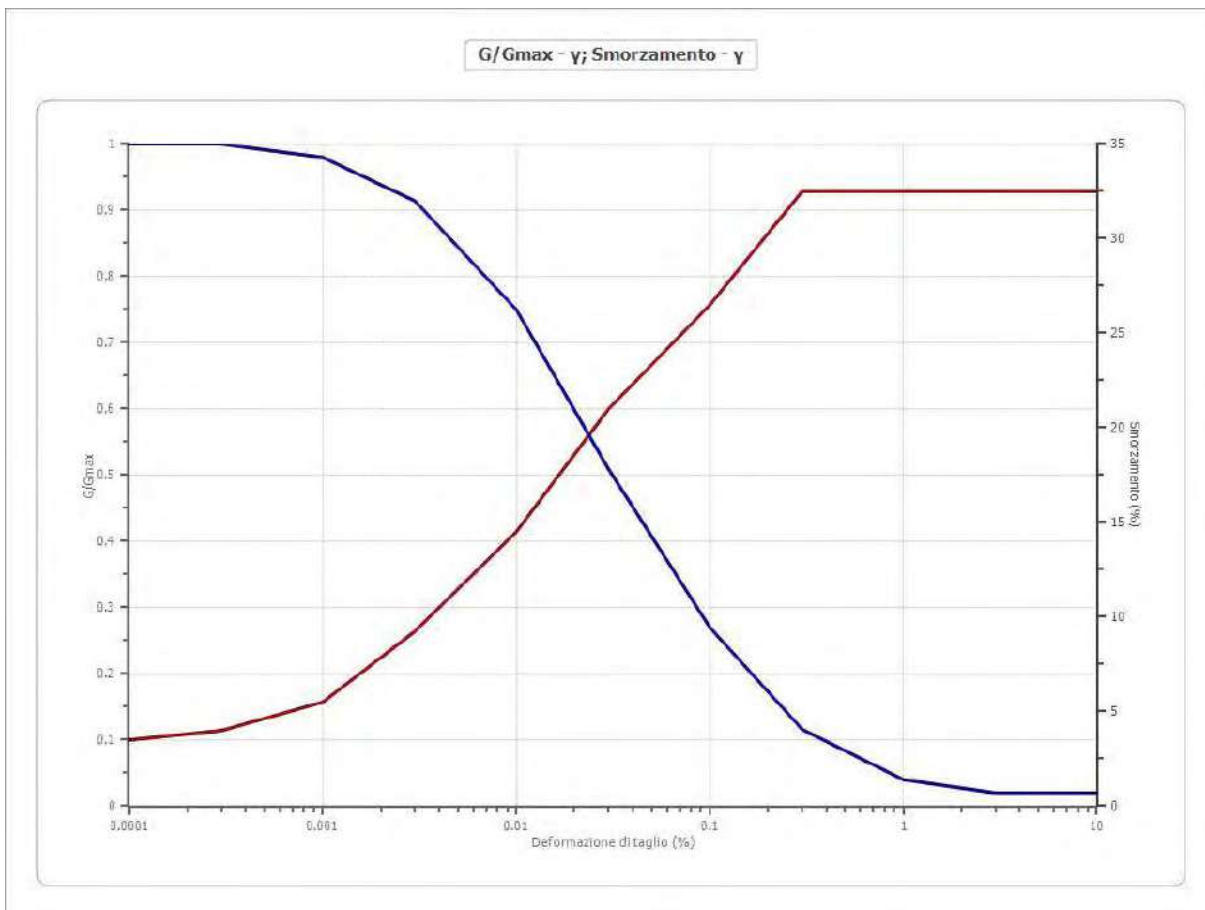


**Figura 3:** Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

## Terreni

EPRI Rock (1993) 0-6 metri

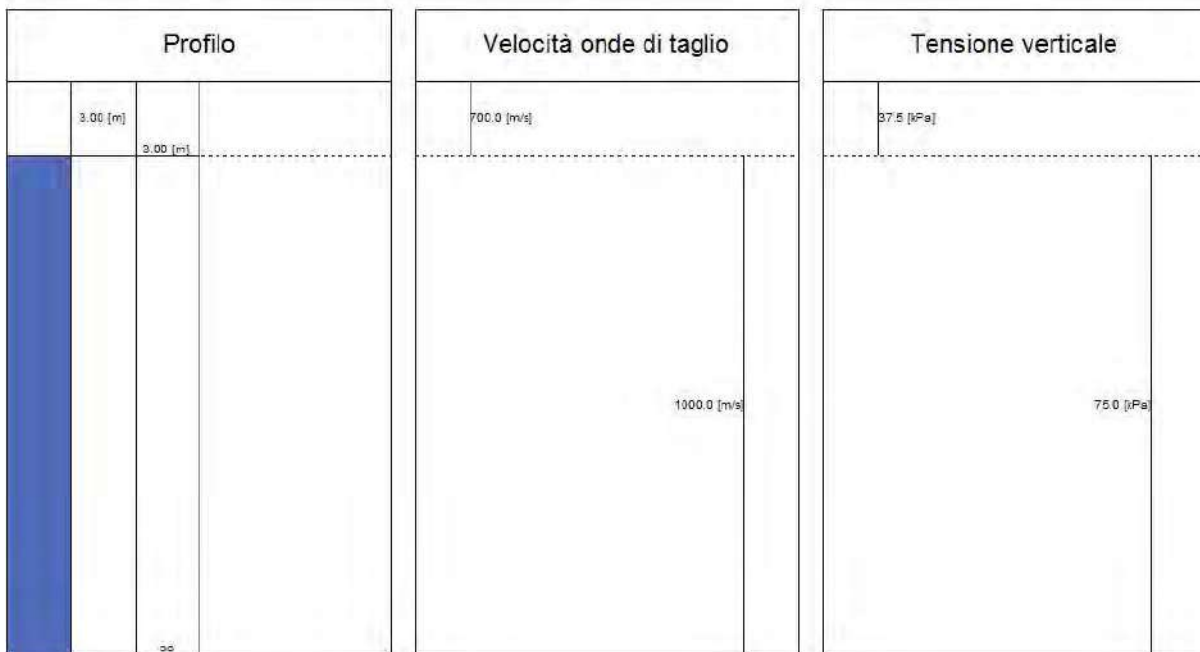
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	3.500
0.0003	1.000	0.0003	4.000
0.001	0.980	0.001	5.500
0.003	0.914	0.003	9.250
0.010	0.750	0.010	14.500
0.030	0.509	0.030	21.000
0.100	0.270	0.100	26.500
0.300	0.116	0.300	32.500
1.000	0.040	1.000	32.500
3.000	0.020	3.000	32.500
10.000	0.020	10.000	32.500



### 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	EPRI Rock (1993) 0-6 metri	0	1248.73	--	25.0	700.0	37.5
2		oo	--	Smorzamento costante	0	2548.42	--	25.0	1000.0	75.0

Strato rilevamento accelerogramma:                    2 Affiorante

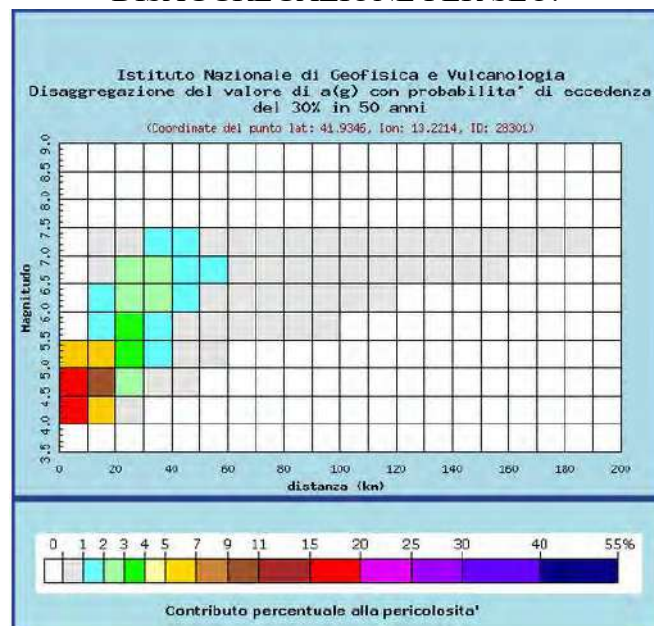


# RSL - SLO

## Dati di input:

Coordinate sito (ED50):	lat.: 41,927776
	long.: 13,232025
Parametri progettazione:	Vita nominale $V_n$ : 100 anni
	Classe d'uso: IV
	Coefficiente d'uso $c_u$ : 2
	Periodo di riferimento $V_R$ : 200
Stati limite di riferimento: SLO	
Probabilità superamento $P_{VR}$ :	30% (SLO)

## DISAGGREGAZIONE PER SLO:



## ESTRAZIONE ACCELEROGRAMMI ORIZZONTALI:

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s <sup>2</sup> ]	PGA_Y [m/s <sup>2</sup> ]
148	40	CSR	VAL NERINA	28/02/1980	5	n/a	5.8515	0.74542	1.2897
440	111	NCM	APP. UMBRO-MARCHIGIANO	06/10/1997	5.4	Normal	14.1045	1.4445	1.7175
260	70	ATN	VAL COMINO EARTHQUAKE	07/05/1984	5.9	Normal	10.2931	0.98389	1.096
103	28	SRC0	FRIULI EARTHQUAKE 4TH SHOCK	15/09/1976	5.9	Thrust	16.4207	1.2852	2.449
205	55	OPB	IRPINIA	01/12/1980	4.6	n/a	8.6748	0.56679	0.82406
169	47	BSC	IRPINIA EARTHQUAKE	23/11/1980	6.9	Normal	28.303	0.946	0.81036
582	131	NOCE	APP. UMBRO-MARCHIGIANO	03/04/1998	5.1	Normal	7.7991	5.2837	2.3507
mean:					5.54		13.0638	1.6079	1.5053

Per l'estrazione degli accelerogrammi è stato utilizzato il software Rexel 3.5 beta

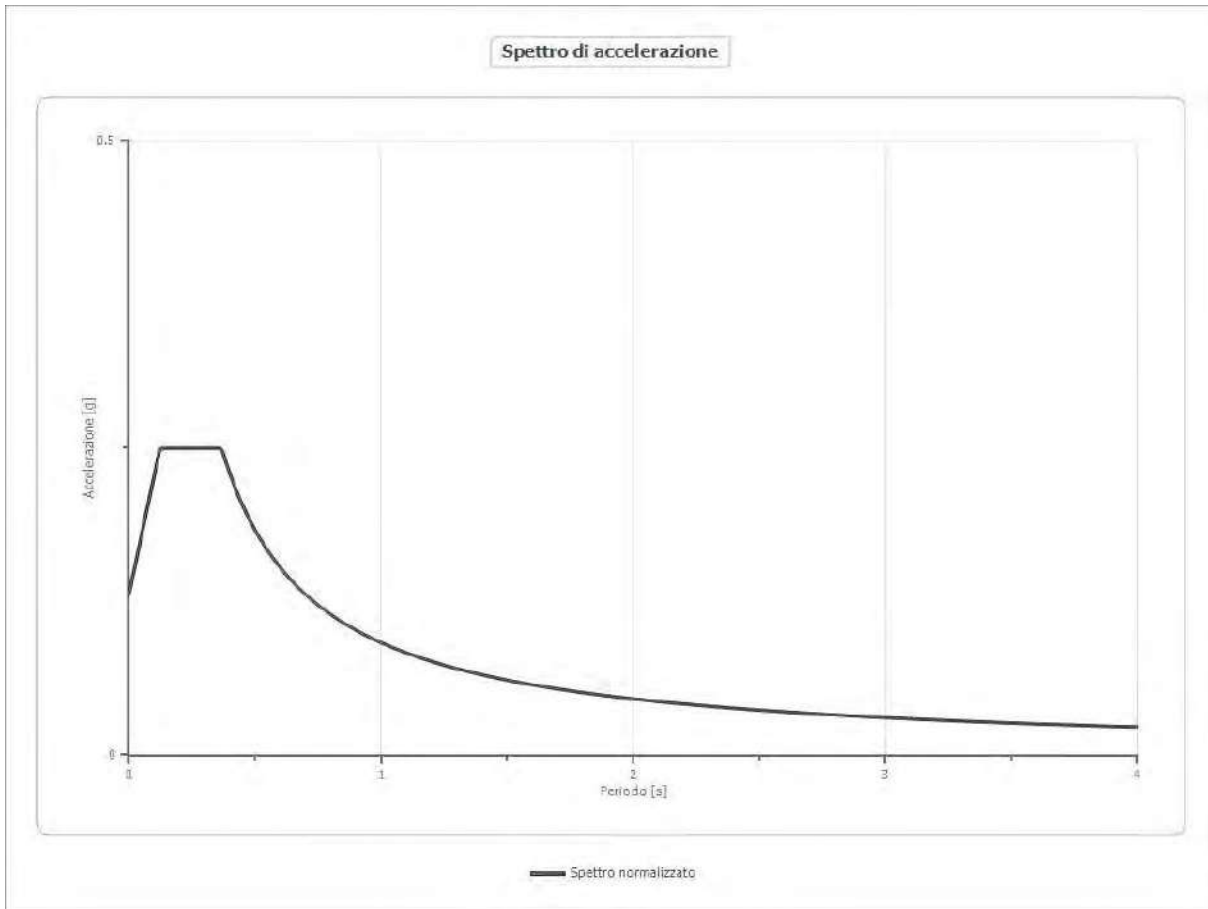
### Fattori di amplificazione

Tai	0.140 [s]
Tvi	0.960 [s]
Tao	0.140 [s]
Tvo	0.960 [s]
Sami	2.434 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmi	0.143 [m/s]
Samo	2.450 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmo	0.143 [m/s]
<b>Fa</b>	<b>1.006 [-]</b>
<b>Fv</b>	<b>1.001 [-]</b>
TB	0.122 [s]
TC	0.366 [s]
TD	2.012 [s]
SA(0)	0.132 [g]
SA(TB)	0.250 [g]

### Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.1317	0.26	0.2498	0.52	0.1760	0.98	0.0934	2.25	0.0407
0.01	0.1414	0.27	0.2498	0.53	0.1727	1.00	0.0915	2.30	0.0398
0.02	0.1511	0.28	0.2498	0.54	0.1695	1.05	0.0872	2.35	0.0389
0.03	0.1607	0.29	0.2498	0.55	0.1664	1.10	0.0832	2.40	0.0381
0.04	0.1704	0.30	0.2498	0.56	0.1634	1.15	0.0796	2.50	0.0366
0.05	0.1801	0.31	0.2498	0.57	0.1606	1.20	0.0763	2.60	0.0352
0.06	0.1897	0.32	0.2498	0.58	0.1578	1.25	0.0732	2.70	0.0339
0.07	0.1994	0.33	0.2498	0.60	0.1525	1.30	0.0704	2.80	0.0327
0.08	0.2091	0.34	0.2498	0.62	0.1476	1.35	0.0678	2.90	0.0316
0.09	0.2187	0.35	0.2498	0.64	0.1430	1.40	0.0654	3.00	0.0305
0.10	0.2284	0.36	0.2498	0.66	0.1387	1.45	0.0631	3.10	0.0295
0.11	0.2380	0.37	0.2473	0.68	0.1346	1.50	0.0610	3.20	0.0286
0.12	0.2477	0.38	0.2408	0.70	0.1307	1.55	0.0590	3.30	0.0277
0.13	0.2498	0.39	0.2347	0.72	0.1271	1.60	0.0572	3.40	0.0269
0.14	0.2498	0.40	0.2288	0.74	0.1237	1.65	0.0555	3.50	0.0261
0.15	0.2498	0.41	0.2232	0.76	0.1204	1.70	0.0538	3.60	0.0254
0.16	0.2498	0.42	0.2179	0.78	0.1173	1.75	0.0523	3.70	0.0247
0.17	0.2498	0.43	0.2128	0.80	0.1144	1.80	0.0508	3.80	0.0241
0.18	0.2498	0.44	0.2080	0.82	0.1116	1.85	0.0495	3.90	0.0235
0.19	0.2498	0.45	0.2034	0.84	0.1089	1.90	0.0482	4.00	0.0229
0.20	0.2498	0.46	0.1990	0.86	0.1064	1.95	0.0469		
0.21	0.2498	0.47	0.1947	0.88	0.1040	2.00	0.0458		
0.22	0.2498	0.48	0.1907	0.90	0.1017	2.05	0.0446		
0.23	0.2498	0.49	0.1868	0.92	0.0995	2.10	0.0436		
0.24	0.2498	0.50	0.1830	0.94	0.0974	2.15	0.0426		
0.25	0.2498	0.51	0.1794	0.96	0.0953	2.20	0.0416		

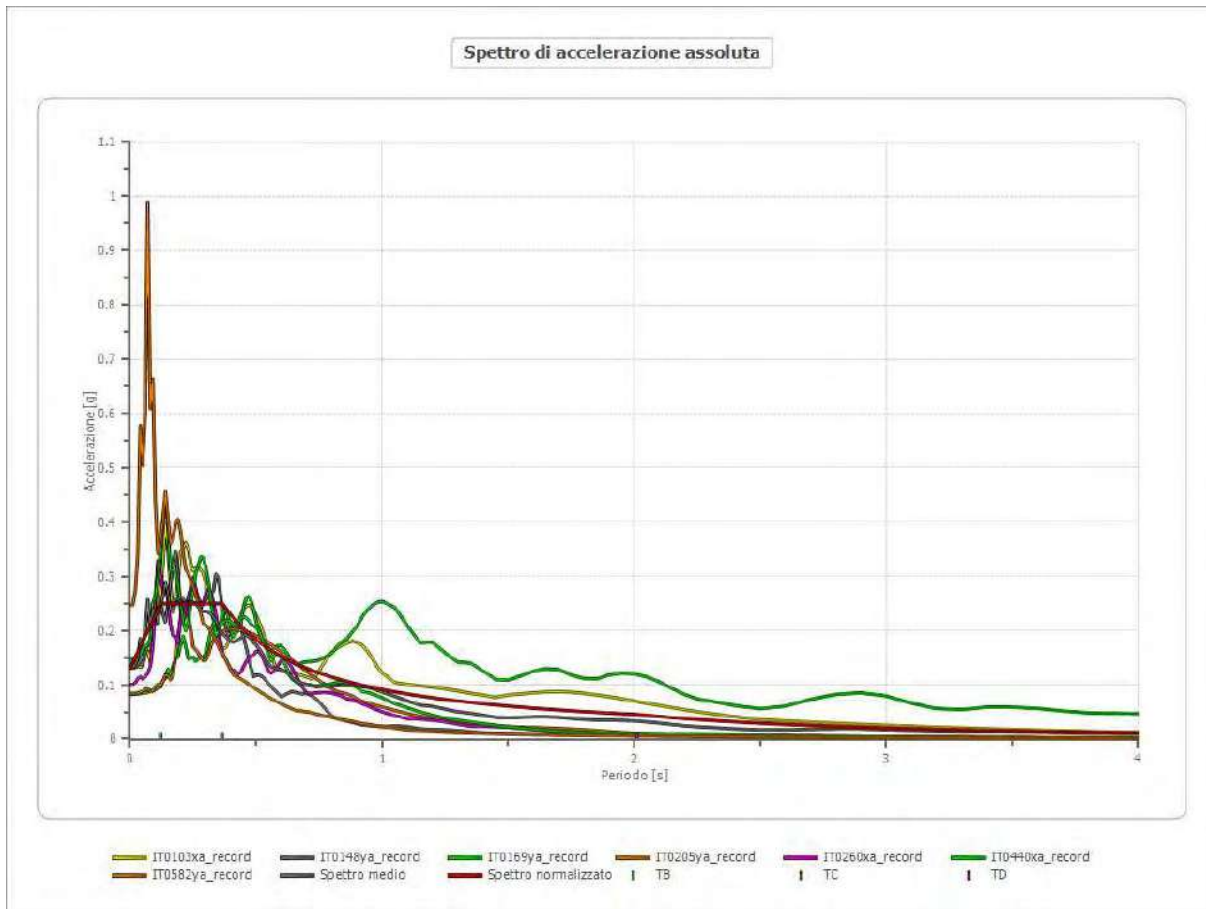




**Parametri spettro normalizzato**

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.132	1.896	0.366	0.122	0.366	2.012	0.132	0.250

## Confronto tra gli spettri

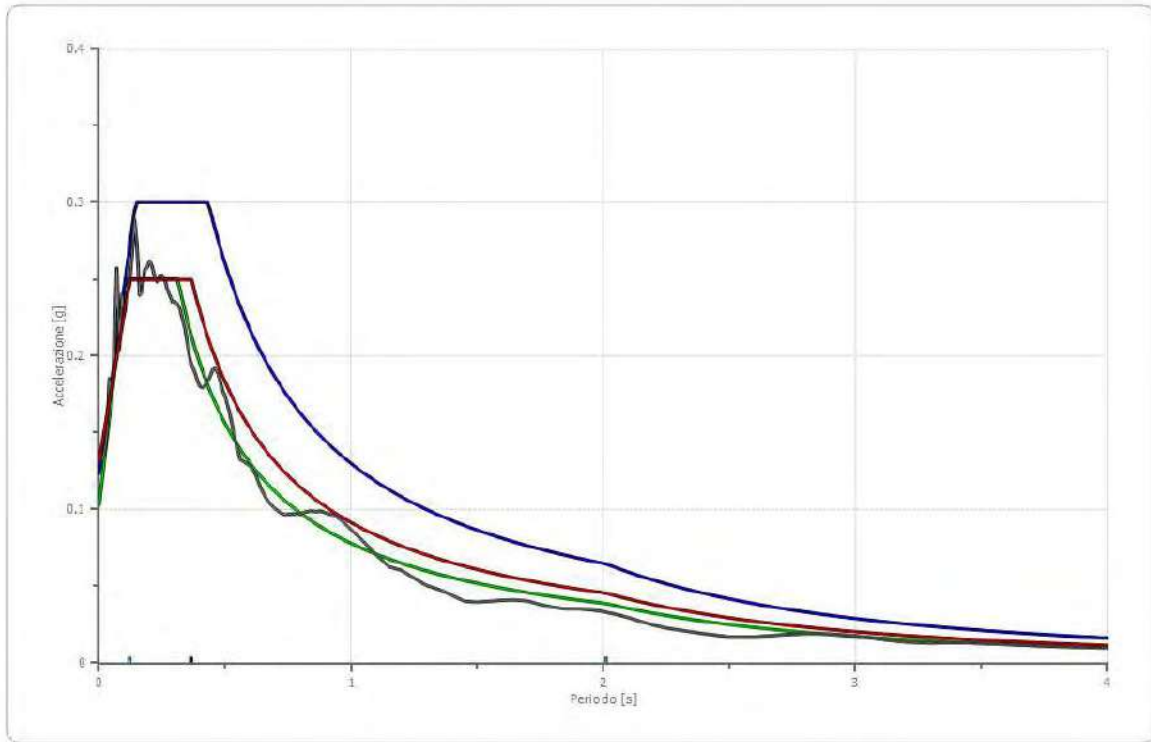


## Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività à SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguardia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B
Tr [anni]	120	201	1898	2475	120	201	1898	2475
ag [g]	0.103	0.126	0.255	0.274	0.103	0.126	0.255	0.274
Fo	2.427	2.423	2.512	2.518	2.427	2.423	2.512	2.518
Tc* [s]	0.312	0.322	0.361	0.365	0.312	0.322	0.361	0.365
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.14	1.12
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.00	1.00	1.00	1.00	1.39	1.38	1.35	1.35
TB [s]	0.104	0.107	0.120	0.122	0.144	0.148	0.162	0.164
TC [s]	0.312	0.322	0.361	0.365	0.433	0.444	0.487	0.491
TD [s]	2.012	2.104	2.620	2.696	2.012	2.104	2.620	2.696
Se(0) [g]	0.103	0.126	0.255	0.274	0.124	0.151	0.292	0.308
Se(TB) [g]	0.250	0.305	0.641	0.690	0.300	0.366	0.733	0.776

Spettro di normativa



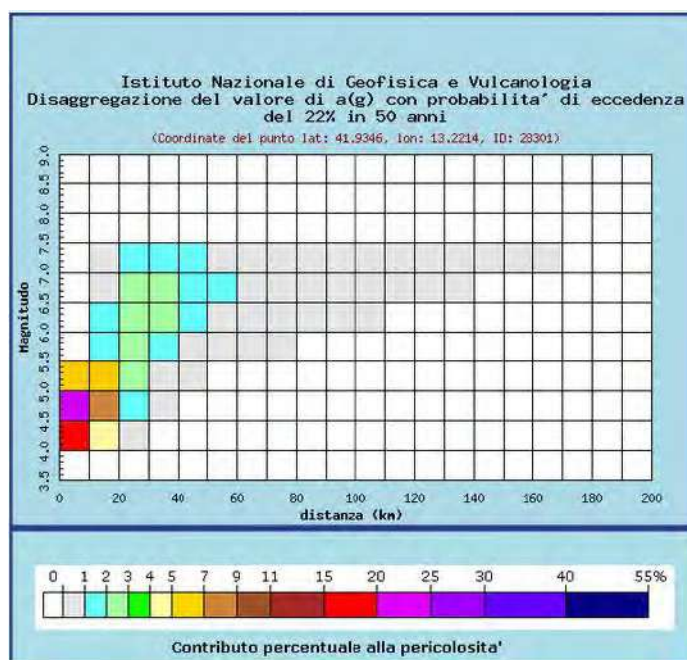
— SLO, Cat. A    — SLO, Cat. B    — Spettro medio    — Spettro normalizzato    | TB    | TC    | TD

# RSL - SLD

## Dati di input:

Coordinate sito (ED50):	lat.: 41,927776
	long.: 13,232025
Parametri progettazione:	Vita nominale $V_n$ : 100 anni
	Classe d'uso: IV
	Coefficiente d'uso $c_u$ : 2
	Periodo di riferimento $V_R$ : 200
Stati limite di riferimento: SLD	
Probabilità superamento $P_{VR}$ :	22% (SLD)

## DISAGGREGAZIONE PER SLD:



## ESTRAZIONE ACCELEROGRAMMI ORIZZONTALI:

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s <sup>2</sup> ]	PGA_Y [m/s <sup>2</sup> ]
5819	1885	ST1321	Kalamata	13/10/1997	6.4	thrust	48	1.1845	1.1459
6335	2142	ST2557	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	15	1.2481	1.1322
5819	1885	ST1321	Kalamata	13/10/1997	6.4	thrust	48	1.1845	1.1459
4675	1635	ST2487	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	13	1.2916	1.5325
395	179	ST154	Lazio Abruzzo (aftershock)	11/05/1984	4.8	normal	8	1.3138	0.9321
765	355	ST266	Umbria Marche (aftershock)	12/10/1997	5.2	oblique	11	1.5335	1.5024
198	93	ST64	Montenegro	15/04/1979	6.9	thrust	21	1.7743	2.1985
mean:					6.09		23.43	1.3615	1.3699

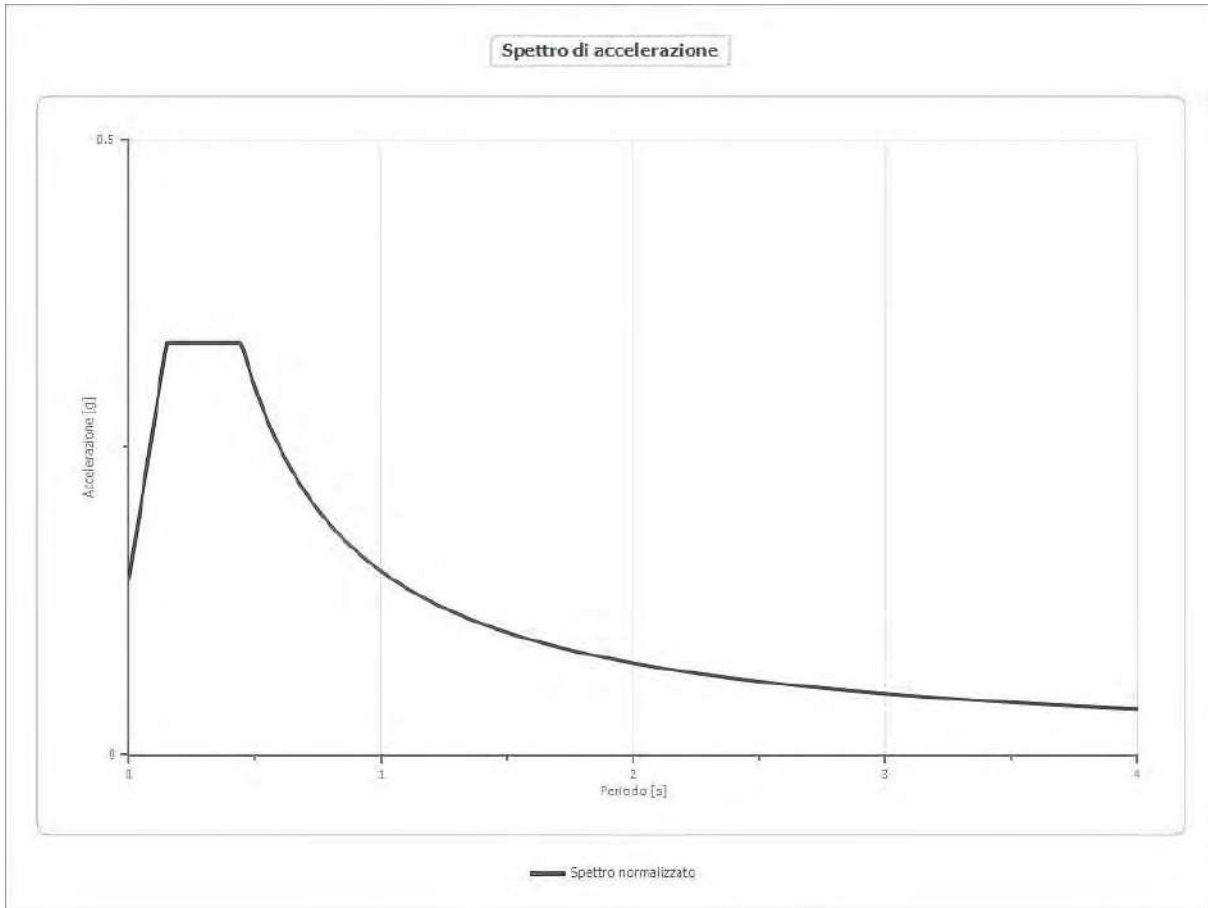
Per l'estrazione degli accelerogrammi è stato utilizzato il software Rexel 3.5 beta

### Fattori di amplificazione

Tai	0.240 [s]
Tvi	1.950 [s]
Tao	0.240 [s]
Tvo	1.950 [s]
Sami	3.277 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmi	0.233 [m/s]
Samo	3.286 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmo	0.233 [m/s]
<b>Fa</b>	<b>1.003 [-]</b>
<b>Fv</b>	<b>1.001 [-]</b>
TB	0.149 [s]
TC	0.446 [s]
TD	2.104 [s]
SA(0)	0.143 [g]
SA(TB)	0.335 [g]

### Spettro normalizzato di risposta elastico

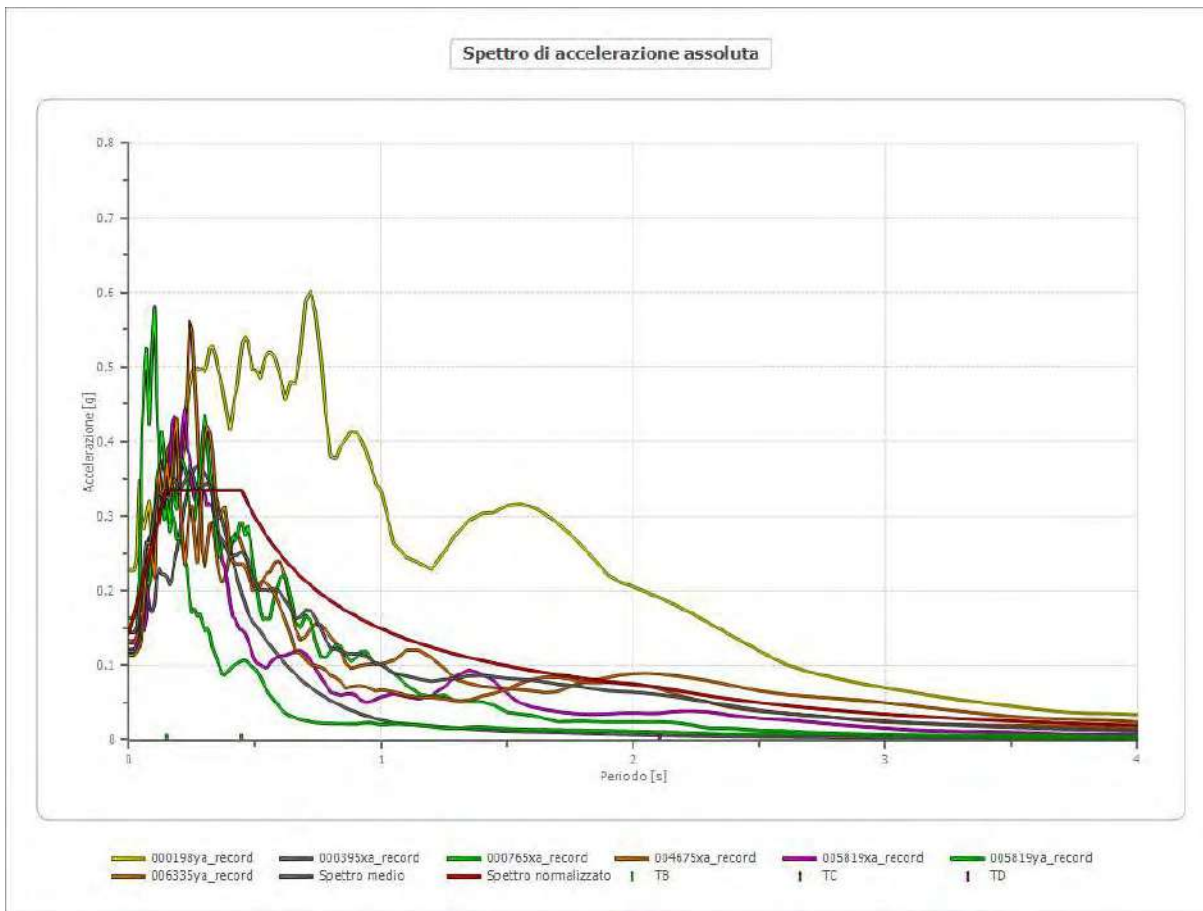
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.1431	0.26	0.3349	0.52	0.2871	0.98	0.1524	2.25	0.0664
0.01	0.1560	0.27	0.3349	0.53	0.2817	1.00	0.1493	2.30	0.0649
0.02	0.1689	0.28	0.3349	0.54	0.2765	1.05	0.1422	2.35	0.0635
0.03	0.1818	0.29	0.3349	0.55	0.2715	1.10	0.1357	2.40	0.0622
0.04	0.1947	0.30	0.3349	0.56	0.2666	1.15	0.1298	2.50	0.0597
0.05	0.2076	0.31	0.3349	0.57	0.2619	1.20	0.1244	2.60	0.0574
0.06	0.2206	0.32	0.3349	0.58	0.2574	1.25	0.1194	2.70	0.0553
0.07	0.2335	0.33	0.3349	0.60	0.2489	1.30	0.1149	2.80	0.0533
0.08	0.2464	0.34	0.3349	0.62	0.2408	1.35	0.1106	2.90	0.0515
0.09	0.2593	0.35	0.3349	0.64	0.2333	1.40	0.1067	3.00	0.0498
0.10	0.2722	0.36	0.3349	0.66	0.2262	1.45	0.1030	3.10	0.0482
0.11	0.2851	0.37	0.3349	0.68	0.2196	1.50	0.0995	3.20	0.0467
0.12	0.2980	0.38	0.3349	0.70	0.2133	1.55	0.0963	3.30	0.0452
0.13	0.3109	0.39	0.3349	0.72	0.2074	1.60	0.0933	3.40	0.0439
0.14	0.3239	0.40	0.3349	0.74	0.2018	1.65	0.0905	3.50	0.0427
0.15	0.3349	0.41	0.3349	0.76	0.1965	1.70	0.0878	3.60	0.0415
0.16	0.3349	0.42	0.3349	0.78	0.1914	1.75	0.0853	3.70	0.0404
0.17	0.3349	0.43	0.3349	0.80	0.1866	1.80	0.0830	3.80	0.0393
0.18	0.3349	0.44	0.3349	0.82	0.1821	1.85	0.0807	3.90	0.0383
0.19	0.3349	0.45	0.3318	0.84	0.1778	1.90	0.0786	4.00	0.0373
0.20	0.3349	0.46	0.3246	0.86	0.1736	1.95	0.0766		
0.21	0.3349	0.47	0.3177	0.88	0.1697	2.00	0.0747		
0.22	0.3349	0.48	0.3111	0.90	0.1659	2.05	0.0728		
0.23	0.3349	0.49	0.3047	0.92	0.1623	2.10	0.0711		
0.24	0.3349	0.50	0.2986	0.94	0.1588	2.15	0.0694		
0.25	0.3349	0.51	0.2928	0.96	0.1555	2.20	0.0679		



**Parametri spettro normalizzato**

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.143	2.341	0.446	0.149	0.446	2.104	0.143	0.335

## Confronto tra gli spettri

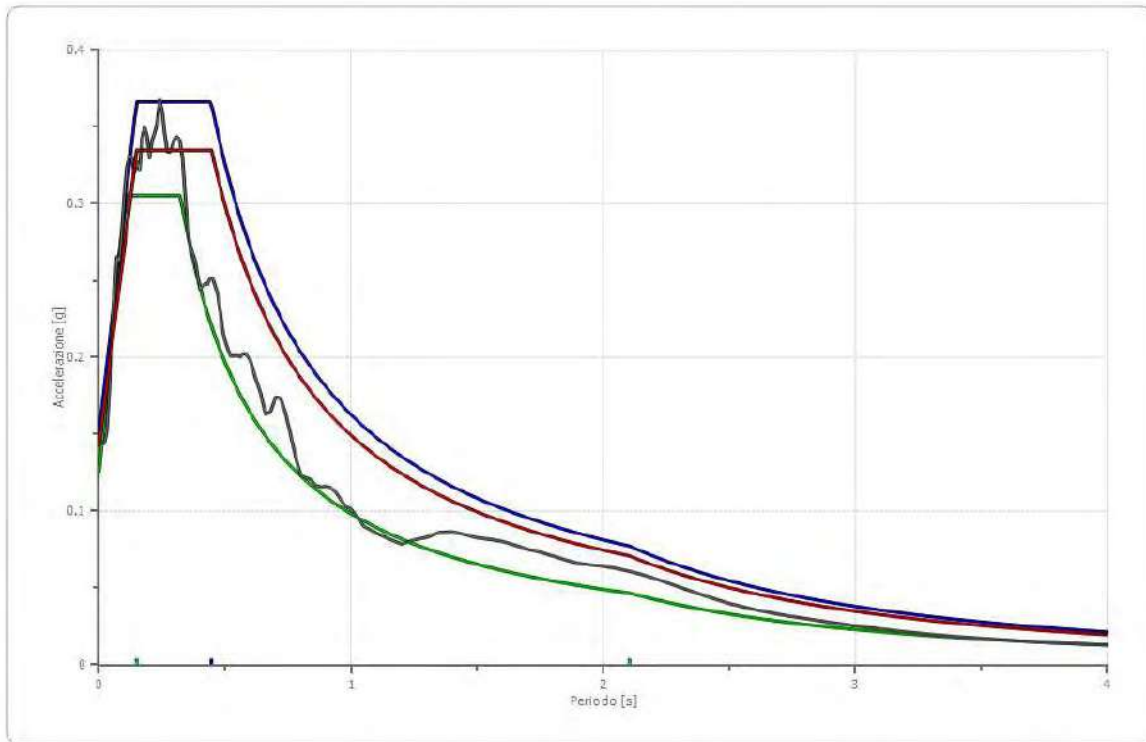


## Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia dia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività à SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguardia dia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B
Tr [anni]	120	201	1898	2475	120	201	1898	2475
ag [g]	0.103	0.126	0.255	0.274	0.103	0.126	0.255	0.274
Fo	2.427	2.423	2.512	2.518	2.427	2.423	2.512	2.518
Tc* [s]	0.312	0.322	0.361	0.365	0.312	0.322	0.361	0.365
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.14	1.12
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.00	1.00	1.00	1.00	1.39	1.38	1.35	1.35
TB [s]	0.104	0.107	0.120	0.122	0.144	0.148	0.162	0.164
TC [s]	0.312	0.322	0.361	0.365	0.433	0.444	0.487	0.491
TD [s]	2.012	2.104	2.620	2.696	2.012	2.104	2.620	2.696
Se(0) [g]	0.103	0.126	0.255	0.274	0.124	0.151	0.292	0.308
Se(TB) [g]	0.250	0.305	0.641	0.690	0.300	0.366	0.733	0.776

### Spettro di normativa



— SLD, Cat. A    — SLD, Cat. B    — Spettro medio    — Spettro normalizzato    | TB    | TC    | TD

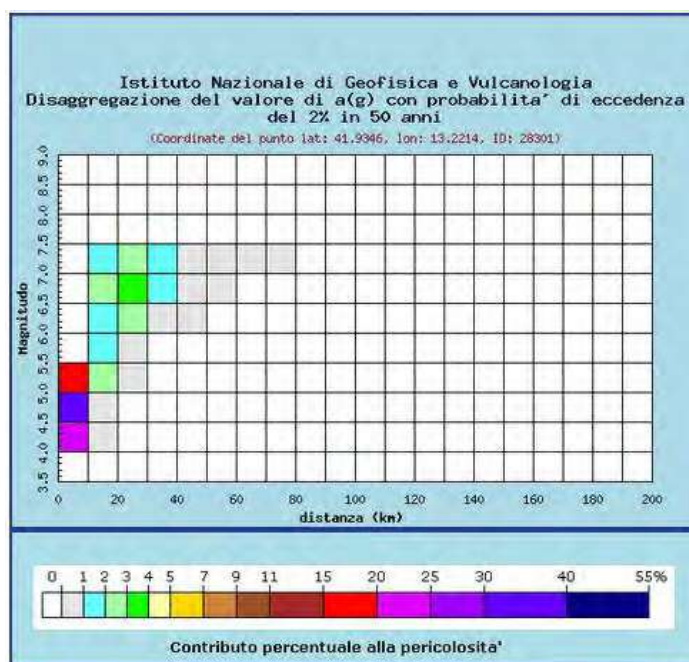


# RSL - SLV

## Dati di input:

Coordinate sito (ED50):	lat.: 41,927776
	long.: 13,232025
Parametri progettazione:	Vita nominale $V_n$ : 100 anni
	Classe d'uso: IV
	Coefficiente d'uso $c_u$ : 2
	Periodo di riferimento $V_R$ : 200
Probabilità superamento $P_{VR}$ :	2% (SLV)

## DISAGGREGAZIONE PER SLV:



## ESTRAZIONE ACCELEROGRAMMI ORIZZONTALI:

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s <sup>2</sup> ]	PGA_Y [m/s <sup>2</sup> ]
7142	2309	ST539	Bingol	01/05/2003	6.3	strike slip	14	5.0514	2.9178
55	34	ST20	Friuli	06/05/1976	6.5	thrust	23	3.4985	3.0968
651	291	ST236	Umbria Marche (aftershock)	06/10/1997	5.5	normal	5	2.2292	1.8377
198	93	ST64	Montenegro	15/04/1979	6.9	thrust	21	1.7743	2.1985
290	146	ST96	Campano Lucano	23/11/1980	6.9	normal	32	2.1206	3.1662
766	292	ST266	Umbria Marche (aftershock)	14/10/1997	5.6	normal	12	3.1863	3.3014
6332	2142	ST2483	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	6	5.1881	5.5698
mean:					6.3		16.14	3.2926	3.1555

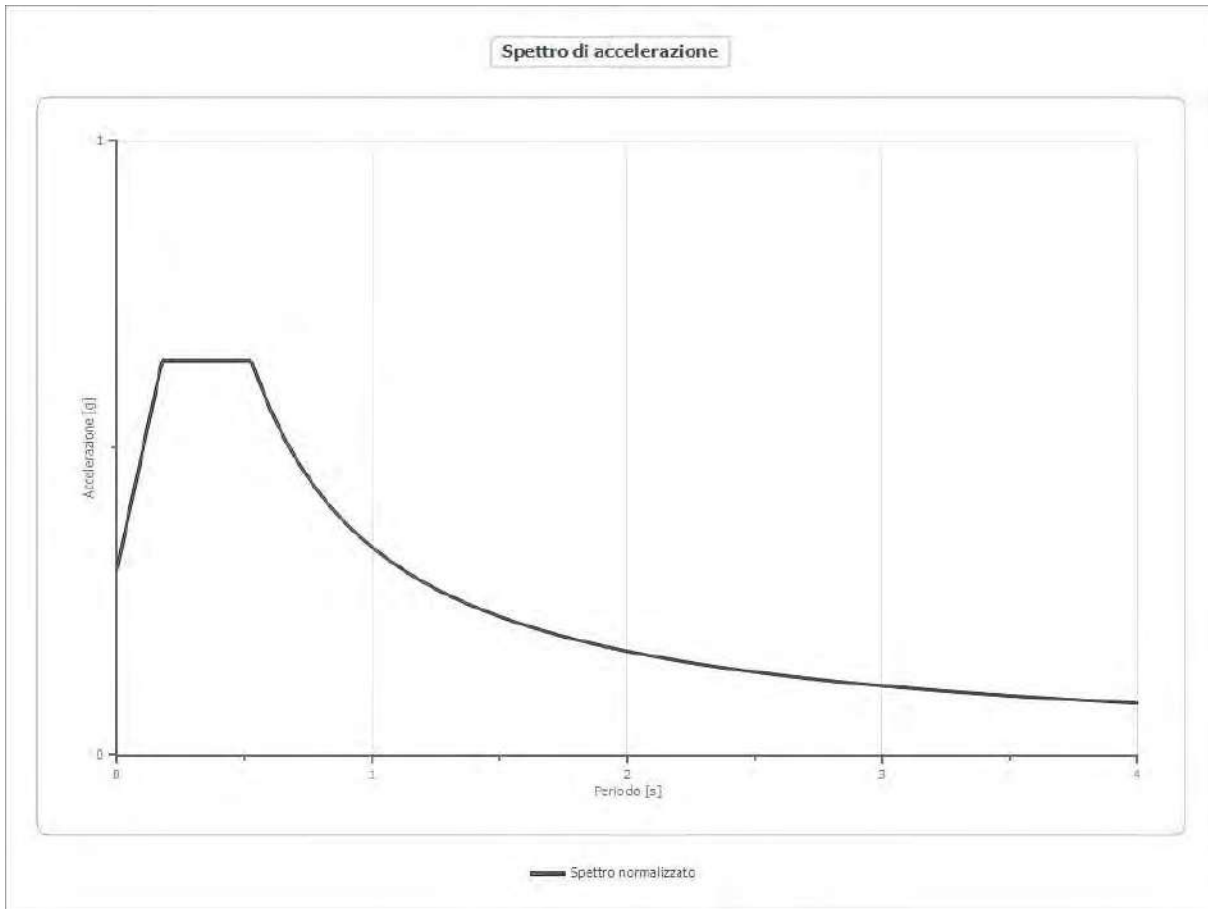
Per l'estrazione degli accelerogrammi è stato utilizzato il software Rexel 3.5 beta

### Fattori di amplificazione

Tai	0.150 [s]
Tvi	1.700 [s]
Tao	0.150 [s]
Tvo	1.700 [s]
Sami	6.272 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmi	0.528 [m/s]
Samo	6.297 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmo	0.528 [m/s]
<b>Fa</b>	<b>1.004 [-]</b>
<b>Fv</b>	<b>1.000 [-]</b>
TB	0.176 [s]
TC	0.527 [s]
TD	2.620 [s]
SA(0)	0.306 [g]
SA(TB)	0.642 [g]

### Spettro normalizzato di risposta elastico

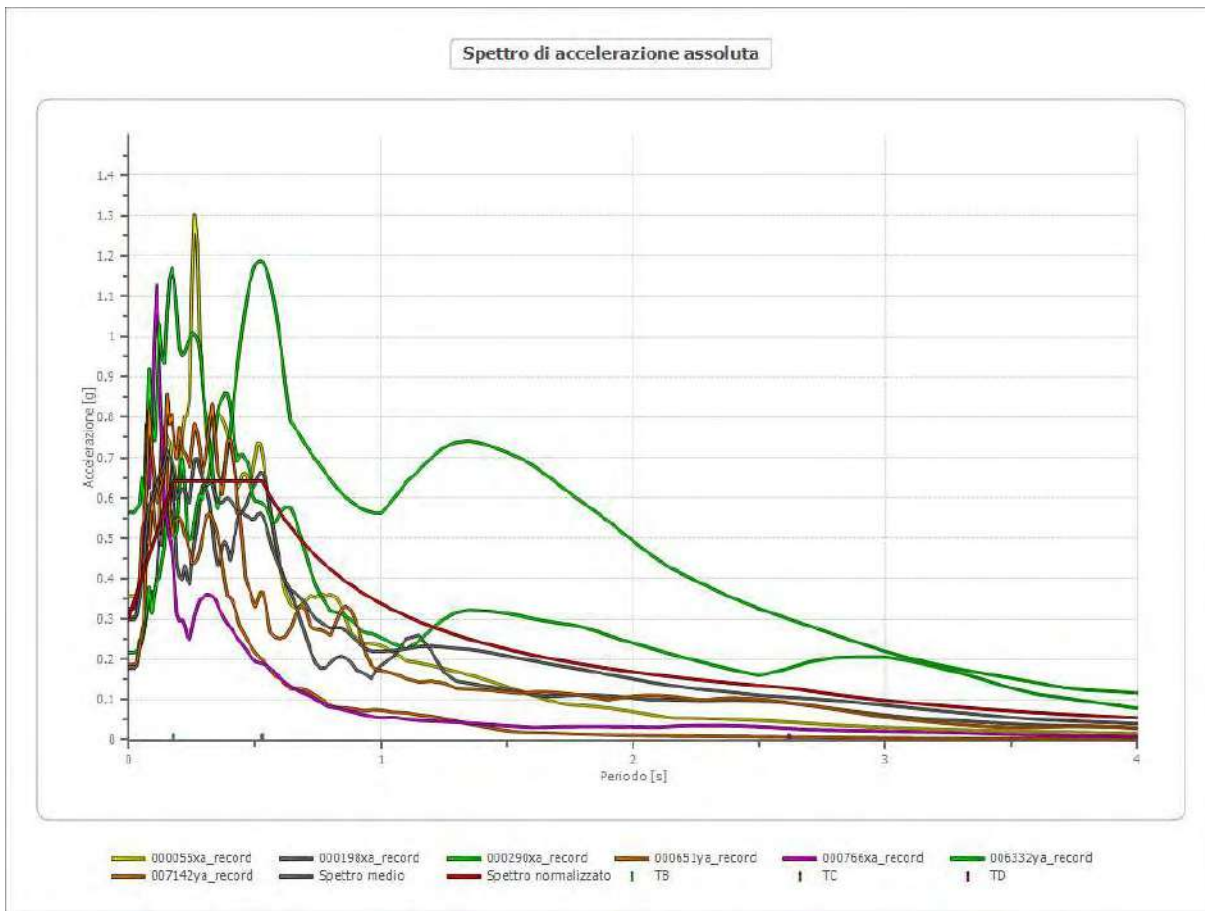
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.3057	0.26	0.6419	0.52	0.6419	0.98	0.3451	2.25	0.1503
0.01	0.3248	0.27	0.6419	0.53	0.6381	1.00	0.3382	2.30	0.1470
0.02	0.3439	0.28	0.6419	0.54	0.6263	1.05	0.3221	2.35	0.1439
0.03	0.3631	0.29	0.6419	0.55	0.6149	1.10	0.3075	2.40	0.1409
0.04	0.3822	0.30	0.6419	0.56	0.6039	1.15	0.2941	2.50	0.1353
0.05	0.4014	0.31	0.6419	0.57	0.5933	1.20	0.2818	2.60	0.1301
0.06	0.4205	0.32	0.6419	0.58	0.5831	1.25	0.2706	2.70	0.1253
0.07	0.4397	0.33	0.6419	0.60	0.5637	1.30	0.2602	2.80	0.1208
0.08	0.4588	0.34	0.6419	0.62	0.5455	1.35	0.2505	2.90	0.1166
0.09	0.4780	0.35	0.6419	0.64	0.5284	1.40	0.2416	3.00	0.1127
0.10	0.4971	0.36	0.6419	0.66	0.5124	1.45	0.2332	3.10	0.1091
0.11	0.5163	0.37	0.6419	0.68	0.4974	1.50	0.2255	3.20	0.1057
0.12	0.5354	0.38	0.6419	0.70	0.4832	1.55	0.2182	3.30	0.1025
0.13	0.5546	0.39	0.6419	0.72	0.4697	1.60	0.2114	3.40	0.0995
0.14	0.5737	0.40	0.6419	0.74	0.4570	1.65	0.2050	3.50	0.0966
0.15	0.5929	0.41	0.6419	0.76	0.4450	1.70	0.1989	3.60	0.0939
0.16	0.6120	0.42	0.6419	0.78	0.4336	1.75	0.1933	3.70	0.0914
0.17	0.6312	0.43	0.6419	0.80	0.4228	1.80	0.1879	3.80	0.0890
0.18	0.6419	0.44	0.6419	0.82	0.4124	1.85	0.1828	3.90	0.0867
0.19	0.6419	0.45	0.6419	0.84	0.4026	1.90	0.1780	4.00	0.0846
0.20	0.6419	0.46	0.6419	0.86	0.3933	1.95	0.1734		
0.21	0.6419	0.47	0.6419	0.88	0.3843	2.00	0.1691		
0.22	0.6419	0.48	0.6419	0.90	0.3758	2.05	0.1650		
0.23	0.6419	0.49	0.6419	0.92	0.3676	2.10	0.1611		
0.24	0.6419	0.50	0.6419	0.94	0.3598	2.15	0.1573		
0.25	0.6419	0.51	0.6419	0.96	0.3523	2.20	0.1537		



**Parametri spettro normalizzato**

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.306	2.100	0.527	0.176	0.527	2.620	0.306	0.642

## Confronto tra gli spettri

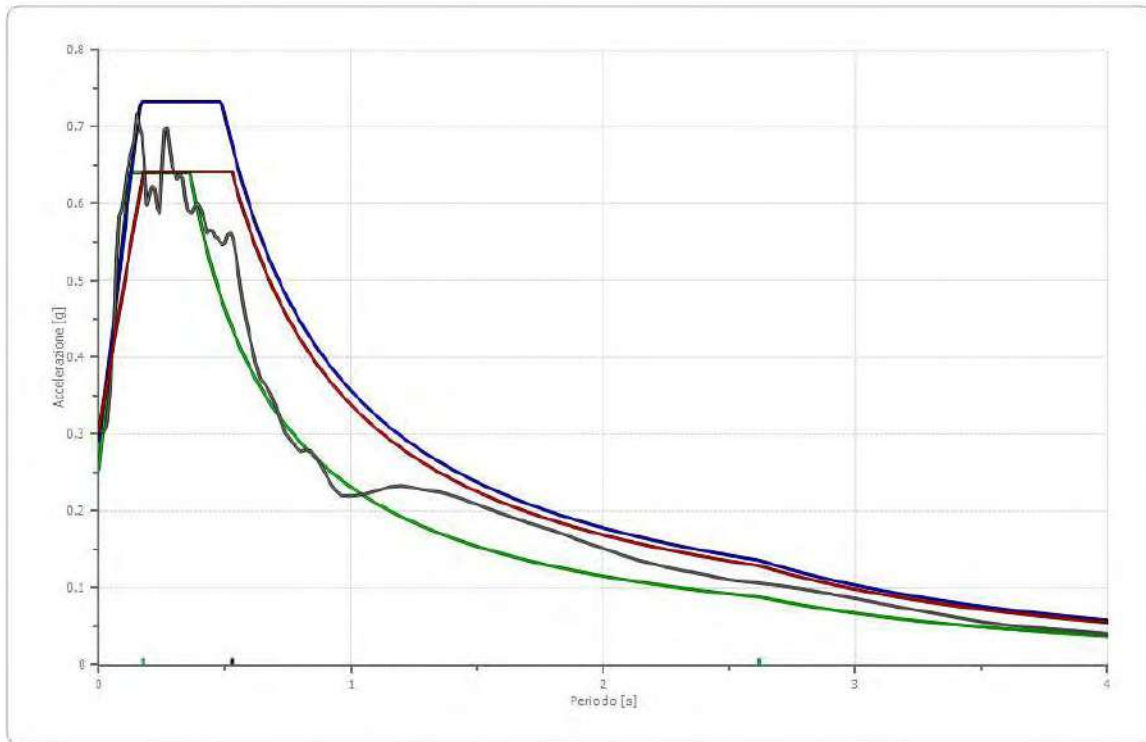


## Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia dia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività à SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguardia dia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B
Tr [anni]	120	201	1898	2475	120	201	1898	2475
ag [g]	0.103	0.126	0.255	0.274	0.103	0.126	0.255	0.274
Fo	2.427	2.423	2.512	2.518	2.427	2.423	2.512	2.518
Tc* [s]	0.312	0.322	0.361	0.365	0.312	0.322	0.361	0.365
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.14	1.12
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.00	1.00	1.00	1.00	1.39	1.38	1.35	1.35
TB [s]	0.104	0.107	0.120	0.122	0.144	0.148	0.162	0.164
TC [s]	0.312	0.322	0.361	0.365	0.433	0.444	0.487	0.491
TD [s]	2.012	2.104	2.620	2.696	2.012	2.104	2.620	2.696
Se(0) [g]	0.103	0.126	0.255	0.274	0.124	0.151	0.292	0.308
Se(TB) [g]	0.250	0.305	0.641	0.690	0.300	0.366	0.733	0.776

### Spettro di normativa



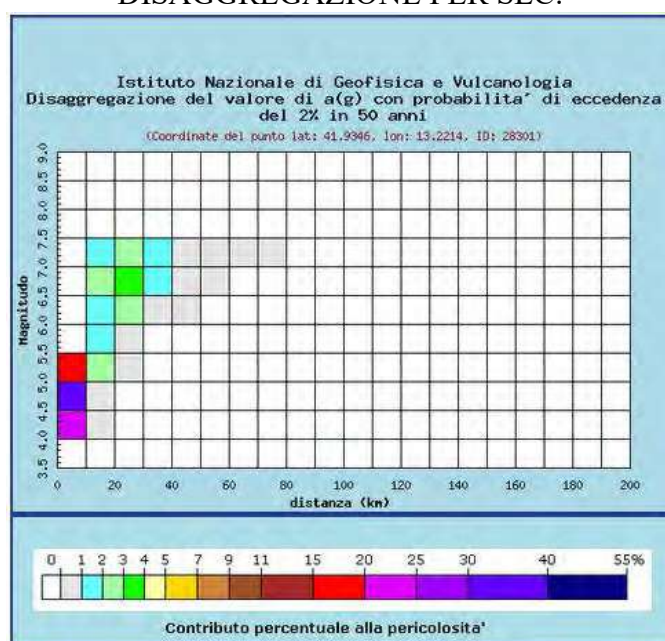
— SLV, Cat. A    — SLV, Cat. B    — Spettro medio    — Spettro normalizzato    | TB    | TC    | TD

# RSL - SLC

## Dati di input:

Coordinate sito (ED50):	lat.: 41,927776
	long.: 13,232025
Parametri progettazione:	Vita nominale $V_n$ : 100 anni
	Classe d'uso: IV
	Coefficiente d'uso $c_u$ : 2
	Periodo di riferimento $V_R$ : 200
	Stati limite di riferimento: SLC
Probabilità superamento $P_{VR}$ :	2% (SLC)

## DISAGGREGAZIONE PER SLC:



## ESTRAZIONE ACCELEROGRAMMI ORIZZONTALI:

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s <sup>2</sup> ]	PGA_Y [m/s <sup>2</sup> ]
7142	2309	ST539	Bingol	01/05/2003	6.3	strike slip	14	5.0514	2.9178
55	34	ST20	Friuli	06/05/1976	6.5	thrust	23	3.4985	3.0968
651	291	ST236	Umbria Marche (aftershock)	06/10/1997	5.5	normal	5	2.2292	1.8377
198	93	ST64	Montenegro	15/04/1979	6.9	thrust	21	1.7743	2.1985
290	146	ST96	Campano Lucano	23/11/1980	6.9	normal	32	2.1206	3.1662
182	87	ST54	Tabas	16/09/1978	7.3	oblique	12	3.316	3.7789
182	87	ST54	Tabas	16/09/1978	7.3	oblique	12	3.316	3.7789
mean:					6.67		17	3.044	2.9678

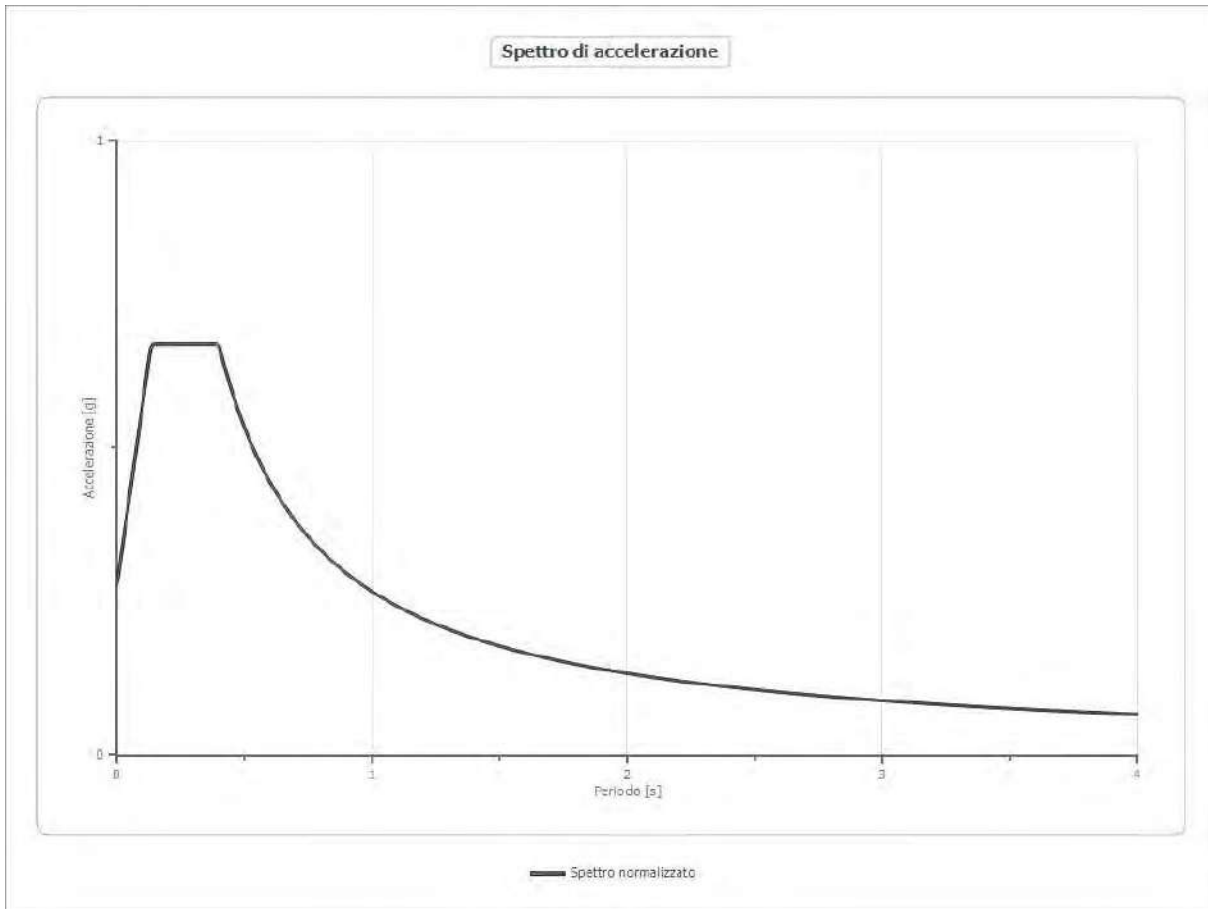
Per l'estrazione degli accelerogrammi è stato utilizzato il software Rexel 3.5 beta

### Fattori di amplificazione

Tai	0.150 [s]
Tvi	1.750 [s]
Tao	0.150 [s]
Tvo	0.530 [s]
Sami	6.522 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmi	0.413 [m/s]
Samo	6.563 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmo	0.415 [m/s]
<b>Fa</b>	<b>1.006 [-]</b>
<b>Fv</b>	<b>1.005 [-]</b>
TB	0.133 [s]
TC	0.398 [s]
TD	2.696 [s]
SA(0)	0.282 [g]
SA(TB)	0.669 [g]

### Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.2820	0.26	0.6690	0.52	0.5117	0.98	0.2715	2.25	0.1183
0.01	0.3112	0.27	0.6690	0.53	0.5020	1.00	0.2661	2.30	0.1157
0.02	0.3404	0.28	0.6690	0.54	0.4927	1.05	0.2534	2.35	0.1132
0.03	0.3696	0.29	0.6690	0.55	0.4838	1.10	0.2419	2.40	0.1109
0.04	0.3988	0.30	0.6690	0.56	0.4751	1.15	0.2314	2.50	0.1064
0.05	0.4280	0.31	0.6690	0.57	0.4668	1.20	0.2217	2.60	0.1023
0.06	0.4572	0.32	0.6690	0.58	0.4587	1.25	0.2129	2.70	0.0985
0.07	0.4863	0.33	0.6690	0.60	0.4434	1.30	0.2047	2.80	0.0950
0.08	0.5155	0.34	0.6690	0.62	0.4291	1.35	0.1971	2.90	0.0917
0.09	0.5447	0.35	0.6690	0.64	0.4157	1.40	0.1900	3.00	0.0887
0.10	0.5739	0.36	0.6690	0.66	0.4031	1.45	0.1835	3.10	0.0858
0.11	0.6031	0.37	0.6690	0.68	0.3913	1.50	0.1774	3.20	0.0831
0.12	0.6323	0.38	0.6690	0.70	0.3801	1.55	0.1717	3.30	0.0806
0.13	0.6615	0.39	0.6690	0.72	0.3695	1.60	0.1663	3.40	0.0783
0.14	0.6690	0.40	0.6652	0.74	0.3595	1.65	0.1613	3.50	0.0760
0.15	0.6690	0.41	0.6489	0.76	0.3501	1.70	0.1565	3.60	0.0739
0.16	0.6690	0.42	0.6335	0.78	0.3411	1.75	0.1520	3.70	0.0719
0.17	0.6690	0.43	0.6188	0.80	0.3326	1.80	0.1478	3.80	0.0700
0.18	0.6690	0.44	0.6047	0.82	0.3245	1.85	0.1438	3.90	0.0682
0.19	0.6690	0.45	0.5913	0.84	0.3167	1.90	0.1400	4.00	0.0665
0.20	0.6690	0.46	0.5784	0.86	0.3094	1.95	0.1364		
0.21	0.6690	0.47	0.5661	0.88	0.3023	2.00	0.1330		
0.22	0.6690	0.48	0.5543	0.90	0.2956	2.05	0.1298		
0.23	0.6690	0.49	0.5430	0.92	0.2892	2.10	0.1267		
0.24	0.6690	0.50	0.5321	0.94	0.2830	2.15	0.1238		
0.25	0.6690	0.51	0.5217	0.96	0.2771	2.20	0.1209		

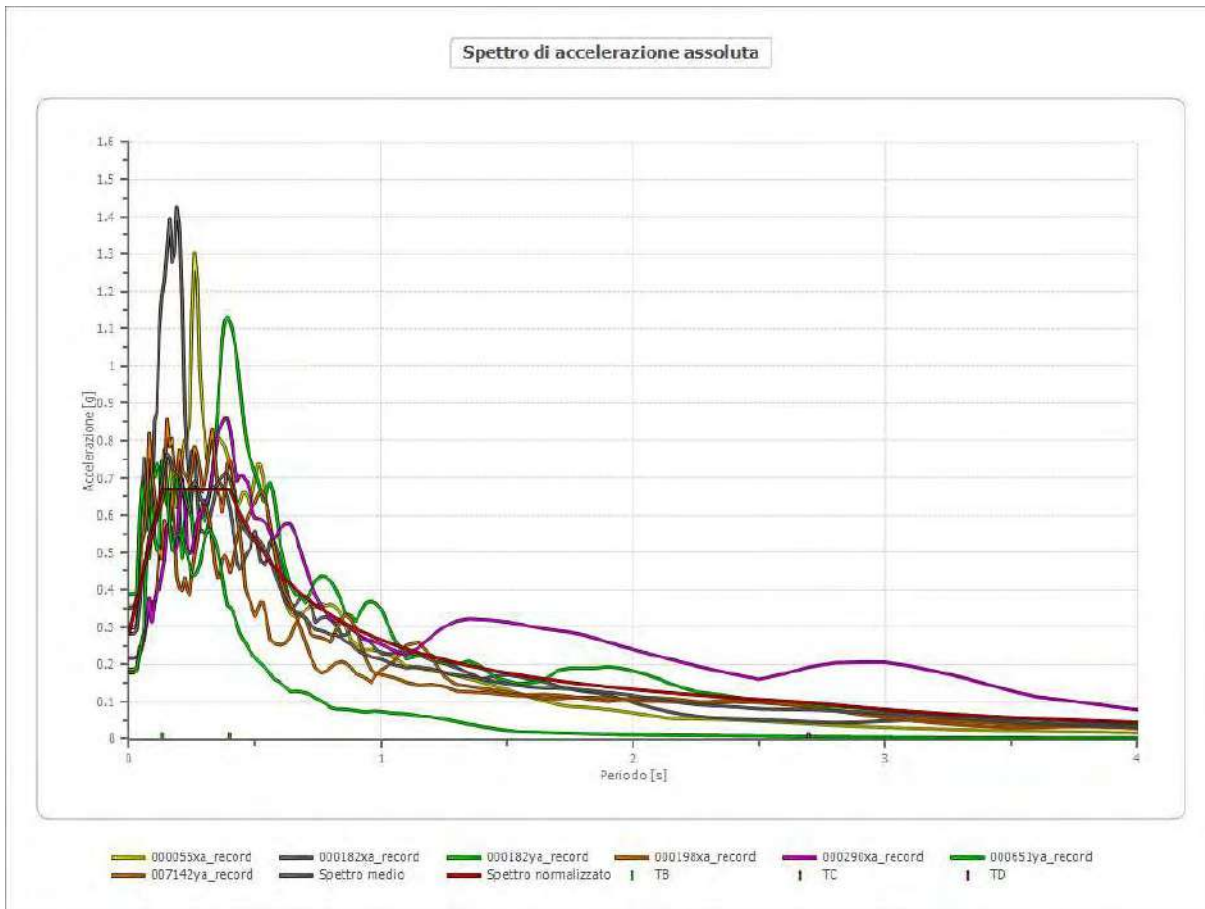


**Parametri spettro normalizzato**

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.282	2.372	0.398	0.133	0.398	2.696	0.282	0.669



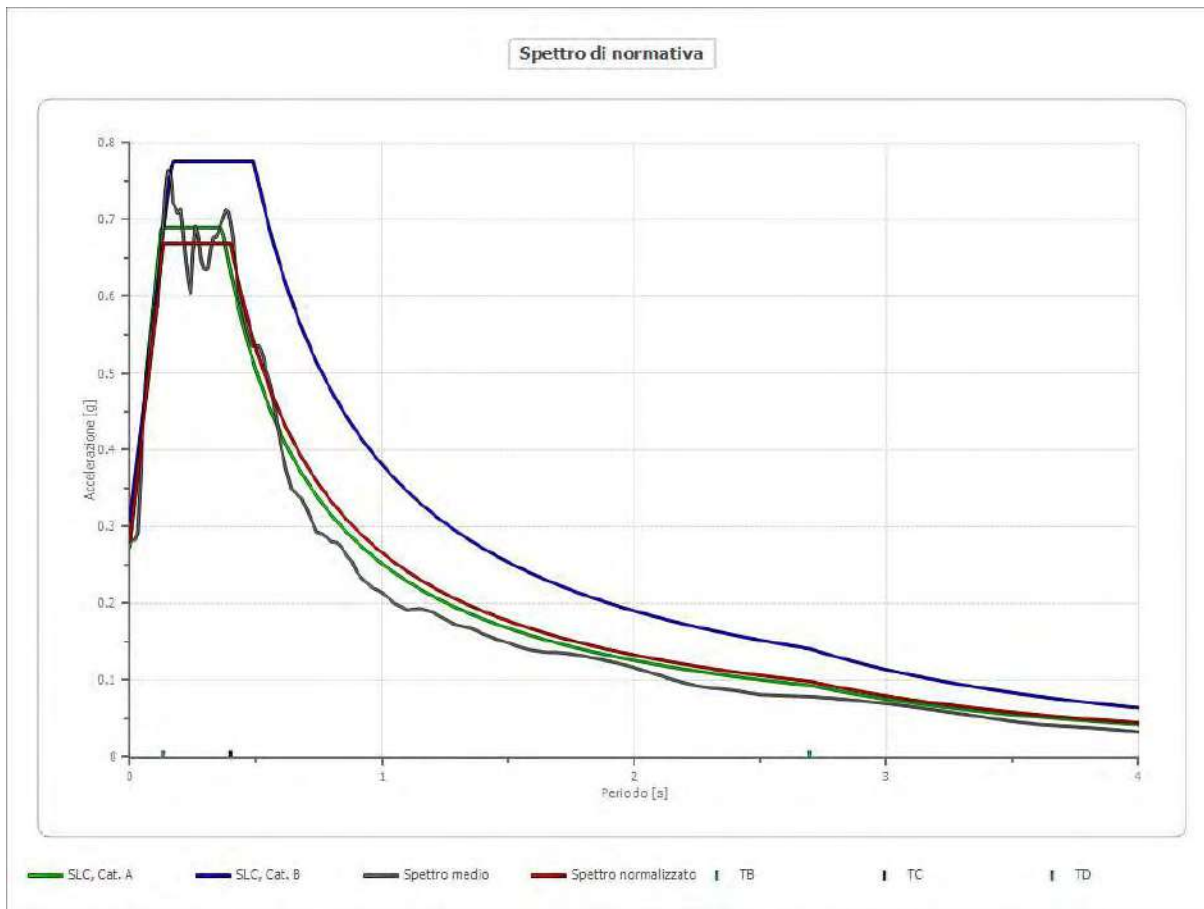
## Confronto tra gli spettri



## Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operativit à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvagnar dia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operativit à SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvagnar dia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B
Tr [anni]	120	201	1898	2475	120	201	1898	2475
ag [g]	0.103	0.126	0.255	0.274	0.103	0.126	0.255	0.274
Fo	2.427	2.423	2.512	2.518	2.427	2.423	2.512	2.518
Tc* [s]	0.312	0.322	0.361	0.365	0.312	0.322	0.361	0.365
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.14	1.12
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.00	1.00	1.00	1.00	1.39	1.38	1.35	1.35
TB [s]	0.104	0.107	0.120	0.122	0.144	0.148	0.162	0.164
TC [s]	0.312	0.322	0.361	0.365	0.433	0.444	0.487	0.491
TD [s]	2.012	2.104	2.620	2.696	2.012	2.104	2.620	2.696
Se(0) [g]	0.103	0.126	0.255	0.274	0.124	0.151	0.292	0.308
Se(TB) [g]	0.250	0.305	0.641	0.690	0.300	0.366	0.733	0.776



## TABELLA PARAMETRI RSL

<b>STATI LIMITE</b>	<b>Ag [g]</b> <i>Accelerazione orizzontale massima in superficie</i>	<b>F0</b> <i>Fattore di amplificazione spettrale massima</i>	<b>Tc*</b> <i>Periodo inizio tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale</i>	<b>TB [s]</b> <i>Periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante</i>	<b>TC [s]</b> <i>Periodo corrispondente inizio tratto a velocità costante</i>	<b>TD [s]</b> <i>Periodo inizio tratto a spostamento costante</i>	<b>Se(0) [g]</b> <i>Accelerazione Spettro orizzontale al tempo 0</i>	<b>Se(TB) [g]</b> <i>Inizio del tratto Spettro orizzontale ad accelerazione massima e costante</i>
<b>SLO</b>	0.132	1.896	0.366	0.122	0.366	2.012	0.132	0.250
<b>SLD</b>	0.143	2.341	0.446	0.149	0.446	2.104	0.143	0.335
<b>SLV</b>	0.306	2.100	0.527	0.176	0.527	2.620	0.306	0.642
<b>SLC</b>	0.282	2.372	0.398	0.133	0.398	2.696	0.282	0.669