



PROVINCIA DI AGRIGENTO  
COMUNE DI NARO



SMARTENERGYIT2109 S.R.L.  
COMUNE DI NARO (AG)  
Località Testasecca



REGIONE SICILIA

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO IMPIANTO FOTOVOLTAICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE DI DISTRIBUZIONE MT, sito in Comune di Naro (AG), località Testasecca, e di potenza nominale di picco DC pari a 11,67 MWp (potenza in immissione pari a 9,50 MWac)  
DENOMINAZIONE IMPIANTO - AFV\_Cummo

## PROGETTO DEFINITIVO

PROCEDURA DI AUTORIZZAZIONE UNICA REGIONALE di cui all'art. 12 del D.lgs 387/2003 - Linee Guida Decr. MISE 10/09/2010

PROCEDURA DI VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE PRESSO IL MITE

ai sensi dell'art. 23 del D.Lgs. 152/2006 ricompreso nell'art. 31, comma 6 del D.Lgs. 77/21.

ELABORATO:  <b>Relazione Sismica</b>	codice identificativo	rev
	<b>PD-A.32</b>	<b>0</b>
denominazione elaborato		

scala

### PROGETTAZIONE DELLE OPERE

<b>Progettista incaricato</b>   <b>SUNNERG Development s.r.l.</b> <b>Ing. Massimiliano ceconi</b> <i>Amministratore Unico</i> SUNNERG DEVELOPMENT s.r.l. Via San Pietro all'Orto, 10 - 20121 (MI) P.IVA 11085630967 PEC sunnergdevelopment@legalmail.it		<b>Consulenza Geologica</b>   <b>GEOINGEGNERIA S.E.T. srls</b> Via Marconi n.127 91014 Castellammare del Golfo (TP) P.IVA 02806000812 <b>Dott. Geol. Antonino Cacioppo</b> 	
<b>Consulenza Progettazione civile e inserimento ambientale</b>  <b>Ing. Vincenzo Agosta</b> 	<b>Consulenza Agronomica</b>  <b>Dott. Agr. Mazzara Vito</b> 	<b>Consulenza Progettazione elettrica</b>  <b>A176 LAB</b> Think different project <b>A176LAB srl</b> Via Dante Alighieri n.97 91011 Alcamo (TP) P.IVA 02812750814 <b>Ing. Giovanni Gabellone</b> 	

### COMMITTENTE

	<b>SMARTENERGYIT2109 S.R.L.</b>  Piazza Cavour, 1 - 20129 Milano P.IVA: 11813950968, REA MI - 2626137 PEC: smartenergyit2109srl@legalmail.it	firma/timbro committente

Nome file/documento:						COD.DOCUMENTO FOGLIO
00	29/11/2022	PRIMA EMISSIONE	A. CACIOPPO	V. AGOSTA	G. GABELLONE	1 DI 1
REV.	DATA	DESCRIZIONE MODIFICA	REDATTO	APPROVATO	AUTORIZZATO	

**OGGETTO: RELAZIONE SISMICA A SUPPORTO DELLO STUDIO GEOLOGICO DEL PROGETTO PER LA “REALIZZAZIONE DI UN NUOVO IMPIANTO FOTOVOLTAICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE DI DISTRIBUZIONE MT, SITO IN COMUNE DI NARO (AG), LOCALITÀ TESTASECCA, E DI POTENZA NOMINALE 11,67 MWP (9,50 MWAC) DENOMINAZIONE IMPIANTO - AFV\_CUMMO”**

**DITTA: SMARTENERGYIT2109 S.R.L. Piazza Cavour, 1 – 20129 Milano - P. IVA: 11813950968; REA: MI – 2626137 - PEC: smartenergyit2109srl@legalmail.it**

## **1. PREMESSA**

Lo scopo di questa indagine è la caratterizzazione sismica del sottosuolo e, in particolare, l'individuazione delle discontinuità sismiche nonché la profondità della formazione rocciosa compatta (bedrock geofisico). Con tale metodo viene stimata la velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio o orizzontali ( $V_{s30}$ ) come esplicitamente richiesto dall'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 17 gennaio 2018 art. 3.2.2. Nello specifico sono state eseguite n°6 misure HVSR, equidistanziate per caratterizzare in maniera omogenea il sito in questione.

L'indagine geofisica proposta si avvale della metodologia basata sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto spettrale tra le componenti del moto orizzontale e le componenti del moto verticale (H/V) meglio conosciuto come HVSR.

### **1.1 CENNI TEORICI**

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale. Dovranno quindi adottarsi adeguate precauzioni nel concepire strutture che non abbiano la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- la **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;



- la **velocità media delle onde di taglio  $V_s$**  calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, correlare la stratigrafia (magari già nota) per l'individuazione della profondità del riflettore riconoscibile nella curva H/V. È comunque possibile risalire alla stratigrafia del terreno correlando le discontinuità rilevate dalla prova con le note formule che correlano la velocità sismica di taglio della roccia (definita in appositi abachi geofisici) con la frequenza rilevata dallo strumento di misura e lo spessore della roccia. È possibile inoltre calcolare la  $V_{s30}$ , o  $V_{seq}$  e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 17 gennaio 2018, a partire dalla base della fondazione.
- la **stratigrafia del sottosuolo** con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso; in pratica viene riconosciuto il passaggio di litologia o la discontinuità geologica senza però darne notizia diretta ma offrendo la possibilità dell'interpretazione.

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremiti.

La forma di un'onda registrata in un sito  $x$  da uno strumento di rilievo dipende:

- dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente  $s$ ,
- dal percorso dell'onda dalla sorgente "s" sino al sito "x" (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda),
- dalla risposta dello strumento.

Possiamo scrivere questo come:

$$\text{segnale registrazione al sito } x = \text{sorgente} * \text{effetti di percorso} * \text{funzione trasferimento strumento}$$

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre.

Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. 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.



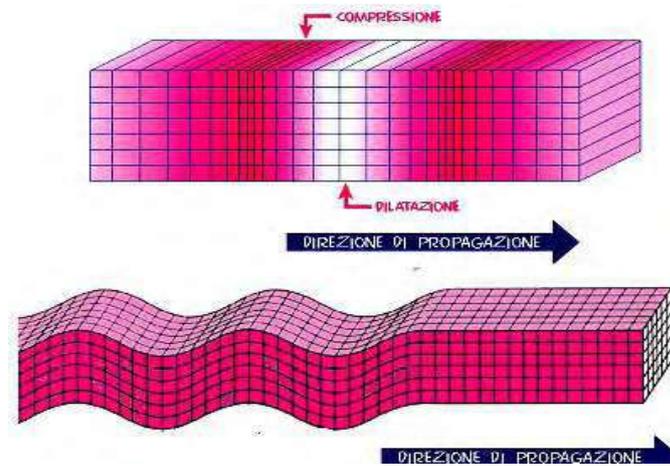
Schema propagazione onde sismiche



Nel tragitto dalla sorgente “s” al sito “x” le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore.

Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartato dalla sismologia classica, contiene informazioni.

Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali dei sottosuoli; informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.



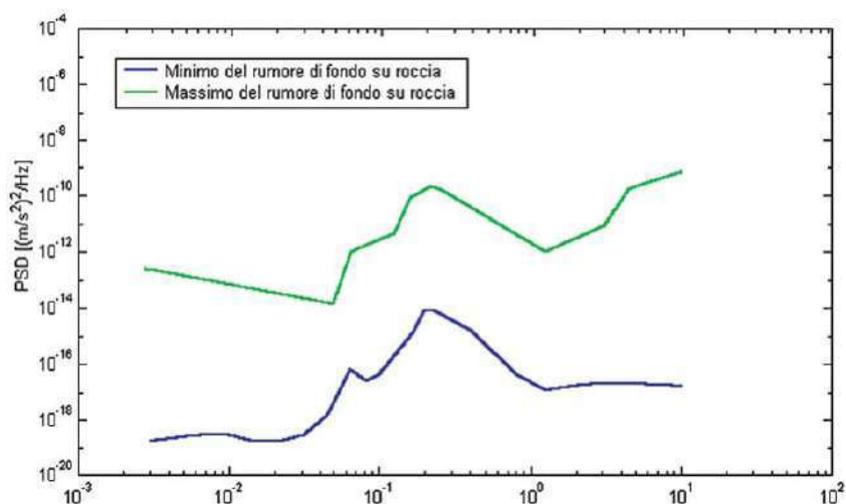
*Movimenti del terreno associati alle fasi P ed S associate alle onde di volume che si propagano in un mezzo elastico: onde P (sopra) onde S (sotto)*



## 2. STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale modello "Jeatom" prodotto dalla Dolang s.r.l. di Genova che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra-leggeri e ultra-compatti in alta risoluzione digitale adatti a tali misurazioni. Lo strumento (Jeatom, 10 x 7 x 10 cm per 1 kg di peso) racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ad alta definizione con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz orientati x, y e z, alimentato da porta USB, e direttamente collegato al PC per l'acquisizione. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 o di 512 Hz. Le misure di microtremore ambientale devono possedere una durata minima di 20 minuti (tra l'altro prevista anche nel prezzario Regione Sicilia vigente per l'anno 2009) e si spingono oltre i 30 minuti di rilievo strumentale, raggiungendo quindi anche profondità di oltre 70-80 m dal pc.

Nella figura seguente si riporta la curva di rumore di "Jeatom" a confronto con i modelli standard di rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra. Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.



**GEOINGEGNERIA S.E.T. s.r.l.s.**

Dott. Geol. Antonino Cacioppo  
Via G. Marconi 127 - Castellammare del Golfo  
Tel. 328.4911173 @ [geingegneriasrls@gmail.com](mailto:geingegneriasrls@gmail.com)

La curva blu rappresenta il rumore di fondo minimo, di riferimento, mentre la curva verde rappresenta il 'massimo' di tale rumore; i picchi relativi sono misurati a 0.14 e 0.07 Hz e sono prodotti delle onde oceaniche sulle coste.

I dati rilevati sono poi salvati in file <<.seg2>> mediante il pannello di acquisizione del Jeatrom, fornito a supporto dello strumento utilizzato, quindi elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza. Per evitare di introdurre basse frequenze spurie i dati sono corretti per offset e trend ma non filtrati così come raccomandato dalla norma DIN 4150-3.

In fase operativa si sono seguite le seguenti operazioni:

- il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo dell'ordine delle decine di minuti (almeno 20 minuti);
- la registrazione è stata suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno;
- per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti;
- per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale;
- vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Per considerare la misura ottenuta come una stima dell'ellitticità delle onde di Rayleigh è necessario invece che:

- i rapporti H/V ottenuti sperimentalmente siano "stabili" ovvero frutto di un campionamento statistico adeguato, gli effetti di sorgente siano stati effettivamente mediati ovvero non ci siano state sorgenti "dominanti";
- la misura non contenga errori sistematici (per es. dovuti ad un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno).

Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio si utilizza un codice di calcolo appositamente creato dal programma per interpretare i rapporti spettrali (HVSR) basati sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli secondo la teoria descritta in AKI (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981).

Il codice può elaborare modelli con qualsiasi numero di strati (limitati a 50 nella tabella d'input), in qualsiasi intervallo di frequenze e in un qualsiasi numero di modi (fondamentale e superiori).

Operativamente si costruisce un modello teorico HVSR avente tante discontinuità sismiche quante sono le discontinuità evidenziate dalla registrazione eseguita. Successivamente, tramite uno specifico algoritmo, si cercherà di adattare la curva teorica a quella sperimentale; in questo modo si otterranno gli spessori dei sismostrati con la relativa velocità delle onde Vs.



Il complesso delle nuove norme tecniche per le costruzioni in zona sismica è stato varato con ordinanza n. 3274 del presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 ed è stato pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale 8 maggio e successivamente ripreso dall'Aggiornamento delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni del 17 gennaio 2018.

Le nuove norme si compongono di quattro argomenti e in particolare in il secondo evidenzia le *norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici*. Come si legge nel documento esplicativo, la principale finalità del corpo delle nuove norme è quella di rinnovare profondamente le norme tecniche per le zone sismiche adottando, in modo omogeneo per tutto il paese, soluzioni coerenti con il sistema di norme già definito a livello europeo (Eurocodice 8).

Per comprendere pienamente il significato della nuova normativa è necessario rifarsi al concetto di risposta sismica locale. Dal punto di vista strettamente fisico, per effetto di sito (risposta sismica locale) si intende l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base (R), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie (S).

Nel presente lavoro si sfrutterà la teoria di Nakamura che relaziona lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale  $H/V=1$ ) con quello effettivamente misurato in superficie.

La rappresentazione di un moto sismico può essere espressa sia nel campo del tempo che delle frequenze. Per capire la procedura per il calcolo del moto sismico in superficie analizziamo un caso semplificato di un deposito di terreno omogeneo di spessore  $H$ , poggiante su un basamento roccioso soggetto ad onde di taglio con direzione di propagazione verticale. Se le onde di taglio verticali incidenti sono sinusoidali di frequenza  $f$ , l'accelerazione sull'affioramento rigido è una sinusoidale di frequenza  $f$  e ampiezza  $amaxr$  mentre la corrispondente accelerazione alla superficie del deposito, anch'essa sinusoidale di frequenza  $f$ , ha ampiezza paria ad  $amaxs$ . Il rapporto " $amaxr / amaxs$ " prende il nome di *fattore di amplificazione*,  $A$ , e dipende dalla frequenza dell'eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento del terreno e dal rapporto  $I = (\sigma b V_b) / (\sigma s V_s)$  tra l'impedenza sismica della roccia di base  $\sigma b V_b$  e quella del deposito  $\sigma s V_s$ . La variazione del fattore di amplificazione con la frequenza definisce la funzione di amplificazione  $A(f)$  del deposito. Il moto sismico è amplificato in corrispondenza di determinate frequenze, che corrispondono alle **frequenze naturali  $f_n$**  di vibrazione del deposito:

$$f_n = 1/T_n = (V_s \cdot (2n-1)) / (4 \cdot H) \quad \text{con } n: 1, 2, \dots,$$

mentre risulta ridotto di amplificazione alle frequenze elevate a causa dello smorzamento del terreno. Di particolare importanza è la prima frequenza naturale di vibrazione del deposito  $f_1$ , denominata **frequenza fondamentale di risonanza**:

$$f_1 = 1/T_1 = V_s / 4H$$



È quindi necessario porre estrema attenzione a fenomeni di "doppia risonanza", cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei manufatti ivi edificati in quanto le azioni sismiche su di essi sarebbero, a dir poco, gravose.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

$$\text{freq. Naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani}$$

E' la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{freq. fondamentale di risonanza del sito}$$

ad essere particolarmente pericolosa, poiché da luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.

Negli ultimi anni un progetto europeo denominato SESAME (Site EffectS Assessment using AMbient Excitations) si è occupato di stabilire delle linee guida per la corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale in stazione singola e array. Esso ha anche fornito dei criteri per valutare la bontà delle curve HVSR e la significatività dei picchi HN eventualmente trovati.

Per una corretta ricostruzione sismica del sottosuolo e una buona stima delle onde Vs è necessario adottare una modellizzazione numerica che può essere rappresentata dalla seguente equazione:

$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

dove:

N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore h(strato) e dalla velocità delle onde S Vs (strato).

Per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

In via puramente indicativa, al fine di correlare le velocità delle onde di taglio ad un tipo di suolo, si riportano una serie d'esempi di classificazioni fatte sulla base di semplici misure HN a stazione singola.



<b>TIPO DI SUOLO</b>	<b>Vs min [m/s]</b>	<b>Vs media [m/s]</b>	<b>Vs max [m/s]</b>
<b>Rocce molto dure</b> (es. rocce metamorfiche molto - poco fratturate)	1400	1620	
<b>Rocce dure</b> (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturate).	700	1050	1400
<b>Suoli ghiaiosi e rocce da tenere a dure</b> (es. rocce sedimentarie ignee tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia).	375	540	700
<b>Argille compatte e suoli ghiaiosi-sabbiosi</b> ghiaie e suoli con < 20% di ghiaia, sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose).	200	290	375
<b>Terreni teneri</b> terreni di riporto sotto falda, argille da tenere a molto tenere).	100	150	200



**GEOINGEGNERIA S.E.T. s.r.l.s.**

Dott. Geol. Antonino Cacioppo

Via G. Marconi 127 - Castellammare del Golfo

Tel. 328.4911173 @ [geingegneriasrls@gmail.com](mailto:geingegneriasrls@gmail.com)

### 3. INTERPRETAZIONE DELLE MISURE ESEGUITE

L'interpretazione dei rilievi eseguiti consente di correlare il valore di picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità del substrato roccioso compatto (bedrock geofisico) e di individuare una corrispondenza tra i valori di frequenza relativi alle discontinuità sismiche e i cambi litologici presenti nell'immediato sottosuolo. Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si possono ricavare il valore di frequenza caratteristica del sito. Sapendo che ad ogni picco in frequenza corrisponde una profondità [m] dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica del sottosuolo. La **frequenza caratteristica di risonanza del sito** risulta generata dalla discontinuità sismica localizzata alle medie frequenze ed è associabile a contatto copertura – roccia.

#### 3.1 NOTE SULL'INTERPRETAZIONE DELLE MISURE ESEGUITE

Con la tabella seguente, allegata ai soli fini illustrativi per migliorare la capacità di lettura dei risultati presenti in allegato, **si definisce la qualità del segnale acquisito in base al progetto SESAME** (Linee guida 2005). Per l'affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi tre parametri mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti almeno cinque dei sei criteri successivi.

##### 3.1.1 ELABORAZIONE INDAGINE HVSR 1 ESEGUITA IN SITU

###### Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	500.00 Hz
Numero campioni:	600000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

###### Grafici tracce:

#### Finestre selezionate

###### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate:	57
Numero finestre incluse nel calcolo:	57
Dimensione temporale finestre:	20.000 s
Tipo di lisciamento:	Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamento:	15.00 %



Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	40	60	Inclusa
2	60	80	Inclusa
3	80	100	Inclusa
4	100	120	Inclusa
5	120	140	Inclusa
6	140	160	Inclusa
7	160	180	Inclusa
8	180	200	Inclusa
9	200	220	Inclusa
10	220	240	Inclusa
11	240	260	Inclusa
12	260	280	Inclusa
13	280	300	Inclusa
14	300	320	Inclusa
15	320	340	Inclusa
16	340	360	Inclusa
17	360	380	Inclusa
18	380	400	Inclusa
19	400	420	Inclusa
20	420	440	Inclusa
21	440	460	Inclusa
22	460	480	Inclusa
23	480	500	Inclusa
24	500	520	Inclusa
25	520	540	Inclusa
26	540	560	Inclusa
27	560	580	Inclusa
28	580	600	Inclusa
29	600	620	Inclusa
30	620	640	Inclusa
31	640	660	Inclusa
32	660	680	Inclusa
33	680	700	Inclusa
34	700	720	Inclusa
35	720	740	Inclusa
36	740	760	Inclusa
37	760	780	Inclusa
38	780	800	Inclusa
39	800	820	Inclusa
40	820	840	Inclusa
41	840	860	Inclusa
42	860	880	Inclusa
43	880	900	Inclusa
44	900	920	Inclusa
45	920	940	Inclusa
46	940	960	Inclusa
47	960	980	Inclusa
48	980	1000	Inclusa
49	1000	1020	Inclusa
50	1020	1040	Inclusa
51	1040	1060	Inclusa
52	1060	1080	Inclusa
53	1080	1100	Inclusa
54	1100	1120	Inclusa
55	1120	1140	Inclusa
56	1140	1160	Inclusa
57	1160	1180	Inclusa



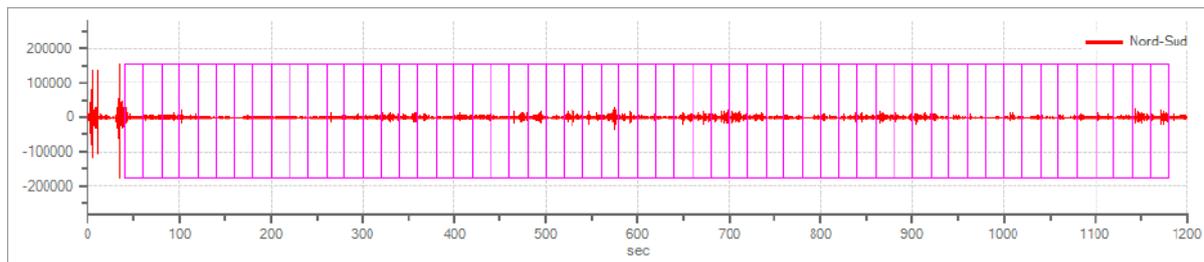
**GEOINGEGNERIA S.E.T. s.r.l.s.**

Dott. Geol. Antonino Cacioppo

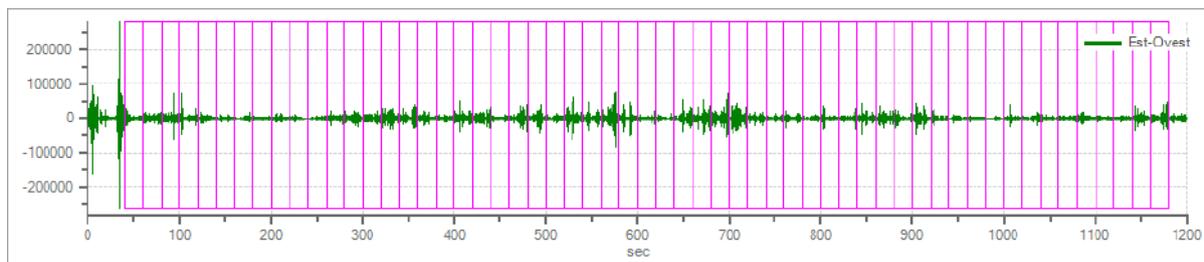
Via G. Marconi 127 - Castellammare del Golfo

Tel. 328.4911173 @ [georingegneriasrls@gmail.com](mailto:georingegneriasrls@gmail.com)

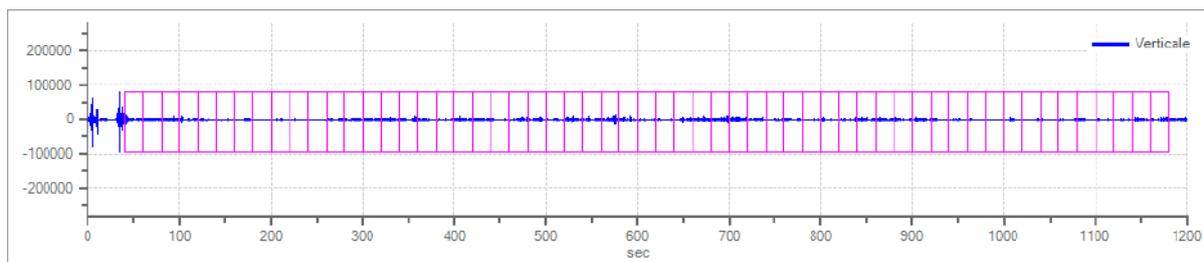
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

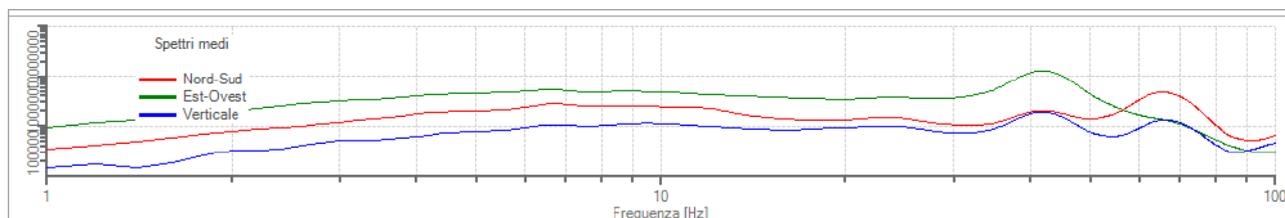


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest



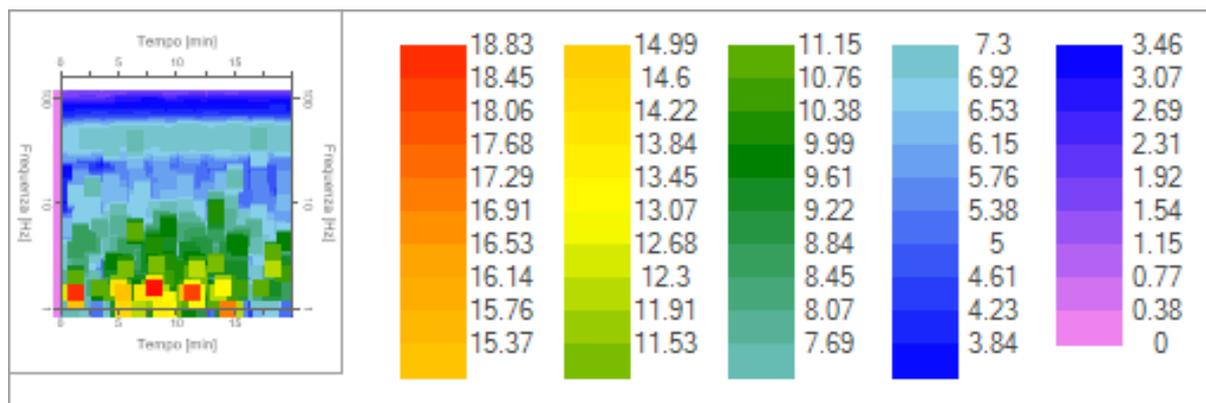
Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

Grafici degli spettri

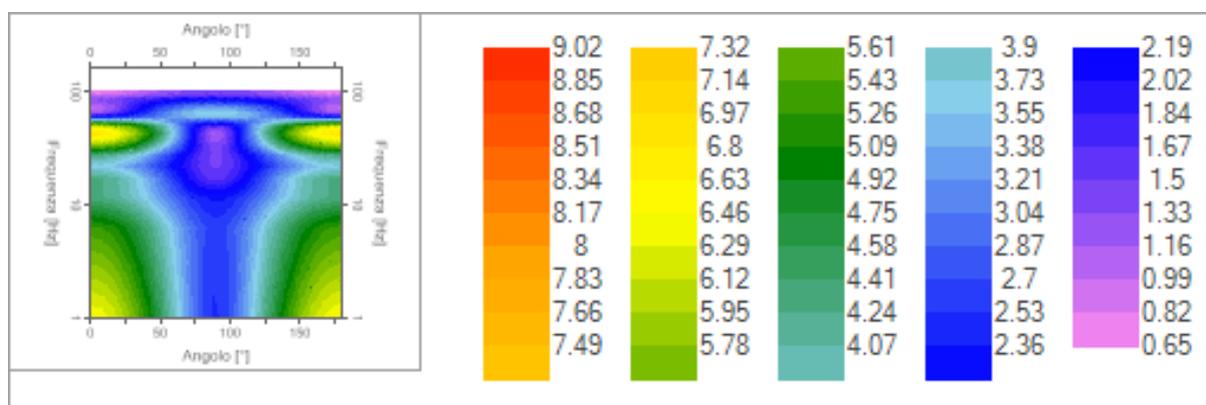


Spettri medi nelle tre direzioni





Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

### Rapporto spettrale H/V

Dati riepilogativi:

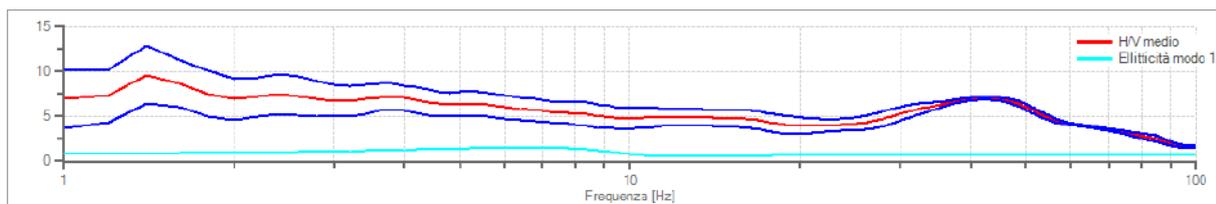
Frequenza massima: 100.00 Hz  
 Frequenza minima: 1.00 Hz  
 Passo frequenze: 0.20 Hz  
 Tipo lisciamento: Triangolare proporzionale  
 Percentuale di lisciamento: 15.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media geometrica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 1.40 Hz ±0.33 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V





Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Non superato
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Non superato
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

**Modello stratigrafico**

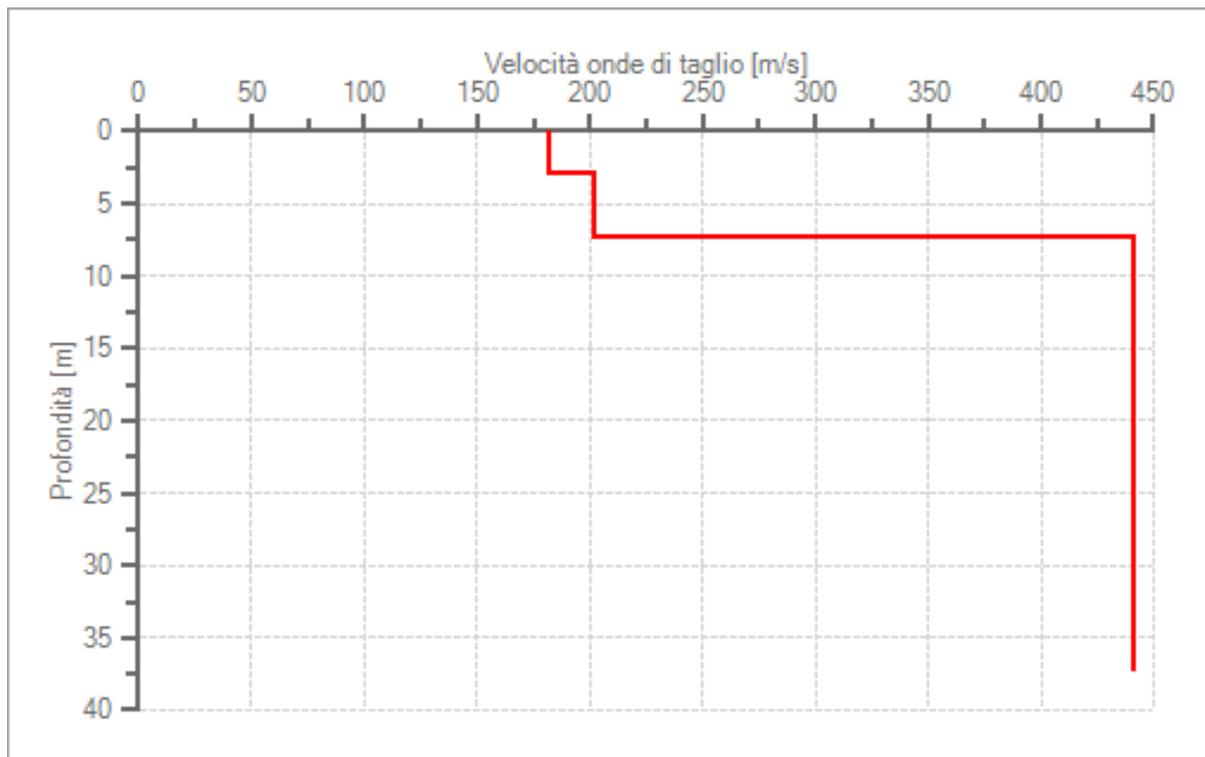
Dati riepilogativi:

Numero strati:	3
Frequenza del picco dell'ellitticità:	6.60 Hz
Valore di disadattamento:	0.58
Valore Vs30:	335.14 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	2.89	17	0.35	181
2	2.89	4.5	18	0.34	202
3	7.39	30	19	0.3	441





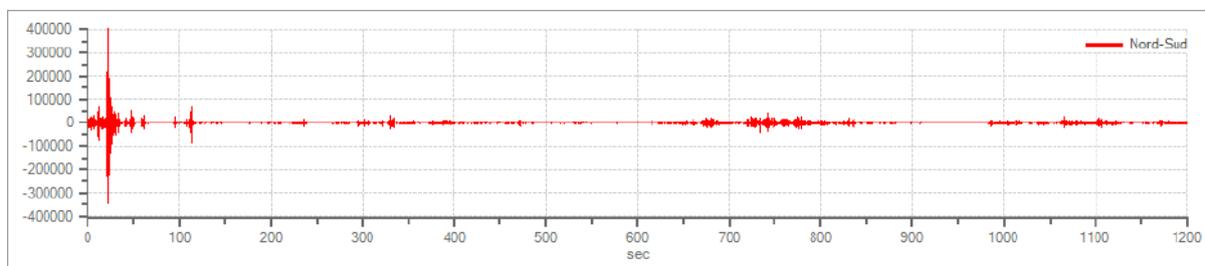
Profilo delle velocità delle onde di taglio

### 3.1.2 ELABORAZIONE INDAGINE HVSR 2 ESEGUITA IN SITU

Dati riepilogativi:

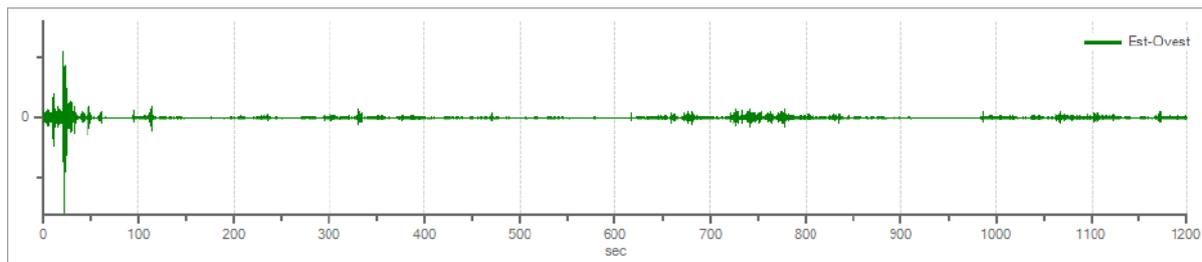
Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	500.00 Hz
Numero campioni:	600000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Grafici tracce:

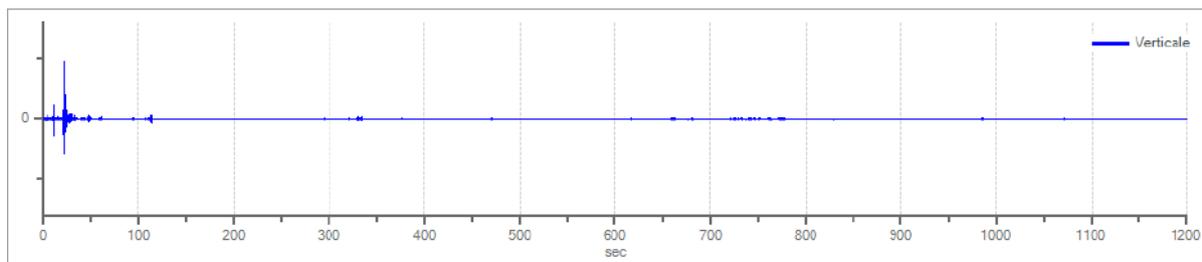


Traccia in direzione Nord-Sud





Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

**Finestre selezionate**

Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 56  
 Numero finestre incluse nel calcolo: 56  
 Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
 Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %  
 Coefficiente di banda: 40.00

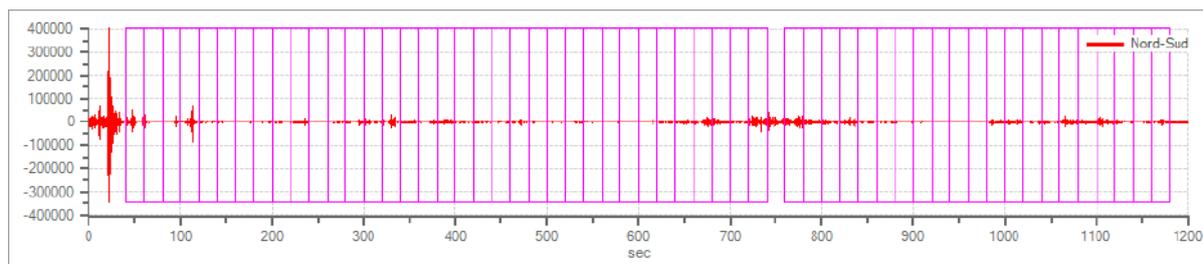
Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	40	60	Inclusa
2	60	80	Inclusa
3	80	100	Inclusa
4	100	120	Inclusa
5	120	140	Inclusa
6	140	160	Inclusa
7	160	180	Inclusa
8	180	200	Inclusa
9	200	220	Inclusa
10	220	240	Inclusa
11	240	260	Inclusa
12	260	280	Inclusa
13	280	300	Inclusa
14	300	320	Inclusa
15	320	340	Inclusa
16	340	360	Inclusa
17	360	380	Inclusa



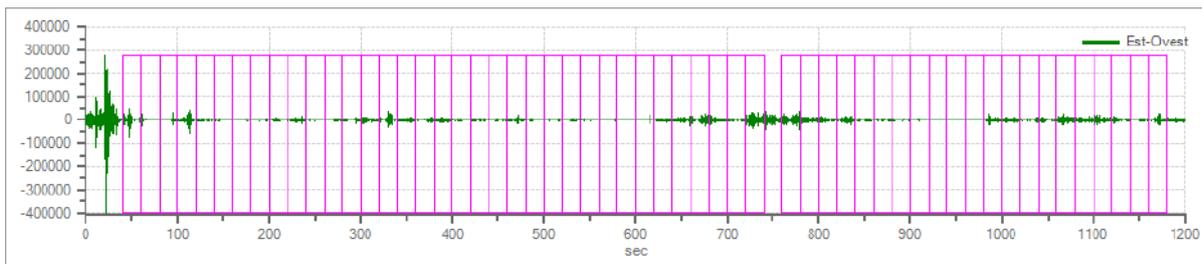
18	380	400	Inclusa
19	400	420	Inclusa
20	420	440	Inclusa
21	440	460	Inclusa
22	460	480	Inclusa
23	480	500	Inclusa
24	500	520	Inclusa
25	520	540	Inclusa
26	540	560	Inclusa
27	560	580	Inclusa
28	580	600	Inclusa
29	600	620	Inclusa
30	620	640	Inclusa
31	640	660	Inclusa
32	660	680	Inclusa
33	680	700	Inclusa
34	700	720	Inclusa
35	720	740	Inclusa
36	760	780	Inclusa
37	780	800	Inclusa
38	800	820	Inclusa
39	820	840	Inclusa
40	840	860	Inclusa
41	860	880	Inclusa
42	880	900	Inclusa
43	900	920	Inclusa
44	920	940	Inclusa
45	940	960	Inclusa
46	960	980	Inclusa
47	980	1000	Inclusa
48	1000	1020	Inclusa
49	1020	1040	Inclusa
50	1040	1060	Inclusa
51	1060	1080	Inclusa
52	1080	1100	Inclusa
53	1100	1120	Inclusa
54	1120	1140	Inclusa
55	1140	1160	Inclusa
56	1160	1180	Inclusa

Grafici tracce con finestre selezionate:

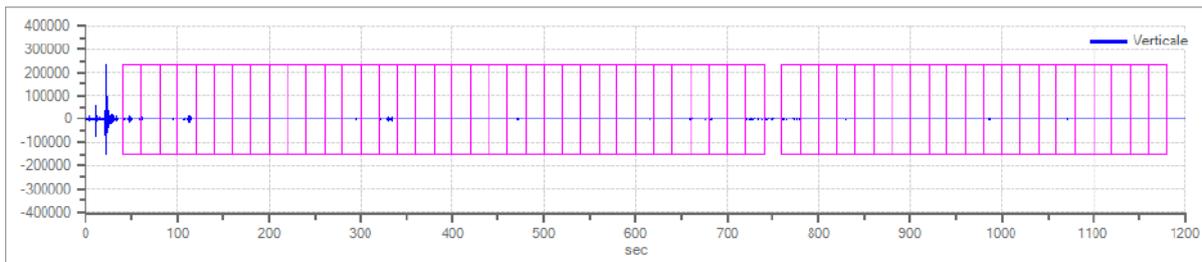


Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud



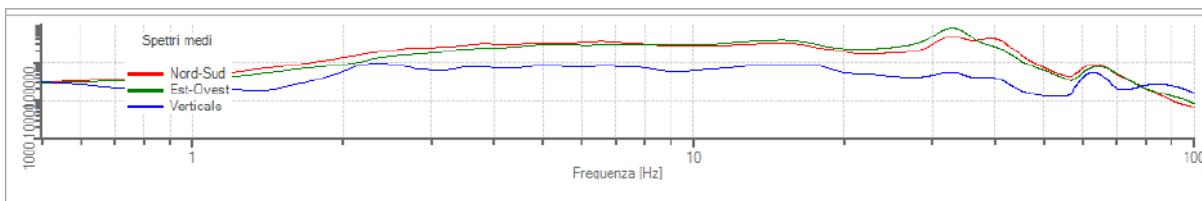


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

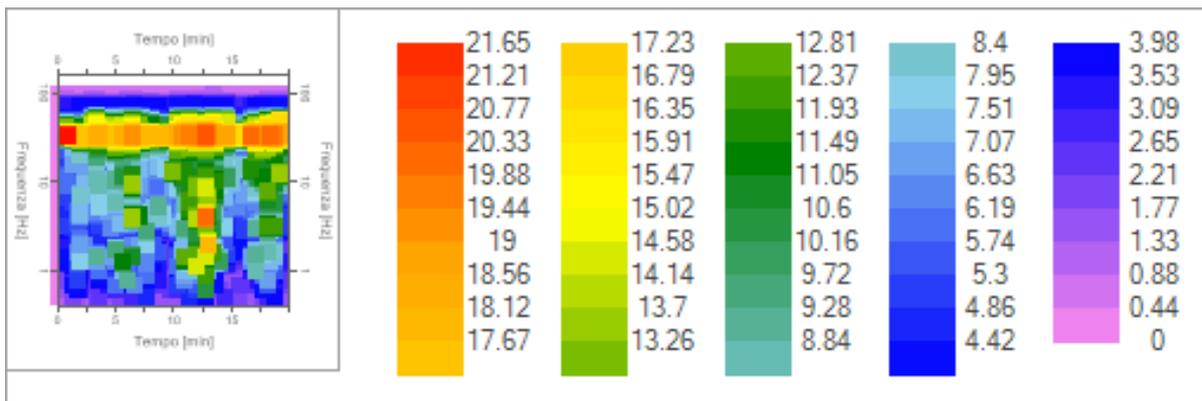


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

Grafici degli spettri

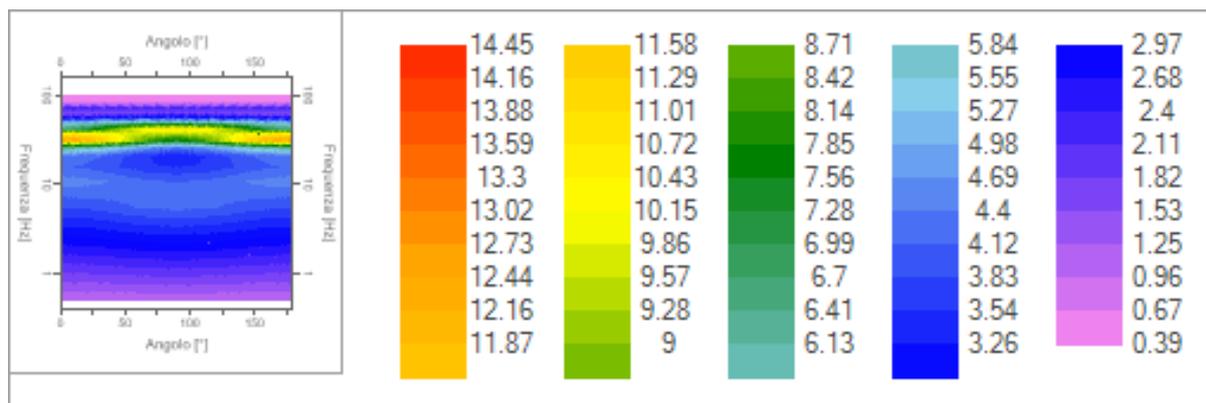


Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri





Mappa della direzionalità degli spettri

**Rapporto spettrale H/V**

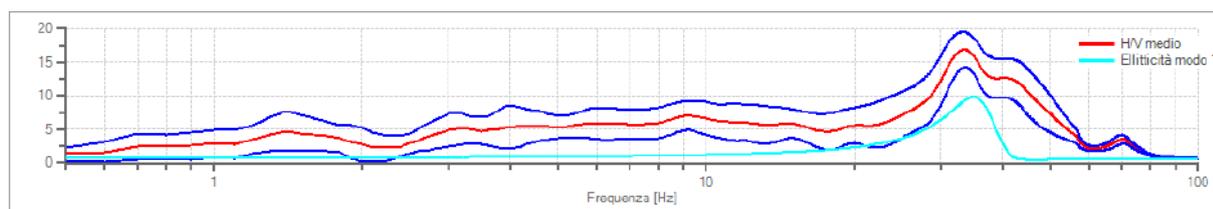
Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 100.00 Hz  
 Frequenza minima: 0.50 Hz  
 Passo frequenze: 0.10 Hz  
 Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media geometrica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 33.40 Hz ±0.16 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia



Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

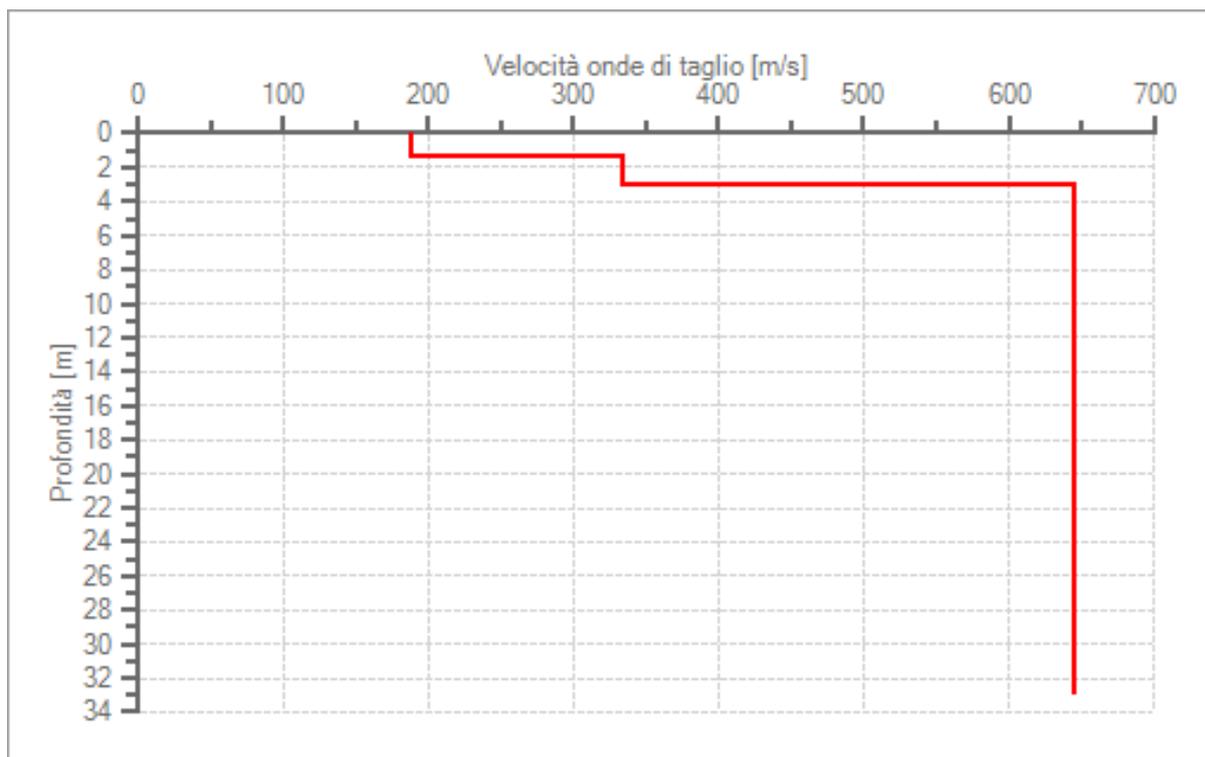
**Modello stratigrafico**Dati riepilogativi:

Numero strati:	3
Frequenza del picco dell'ellitticità:	35.00 Hz
Valore di disadattamento:	0.57
Valore Vs30:	554.83 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1.41	17	0.35	188
2	1.41	1.58	18	0.34	333
3	2.99	30	20	0.28	646





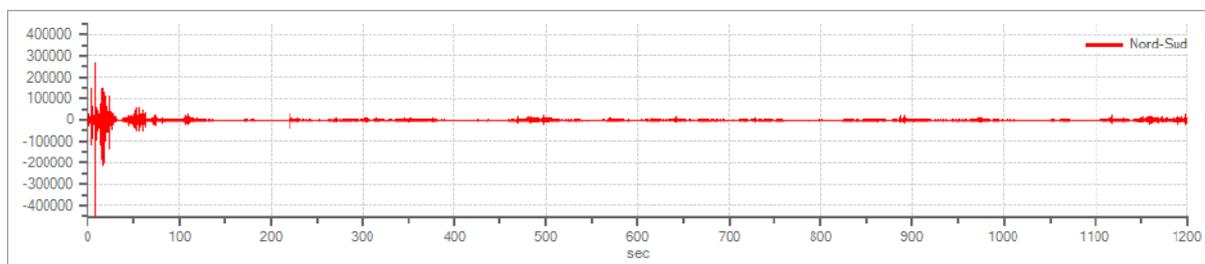
Profilo delle velocità delle onde di taglio

### 3.1.3 ELABORAZIONE INDAGINE HVSR 3 ESEGUITA IN SITU

Dati riepilogativi:

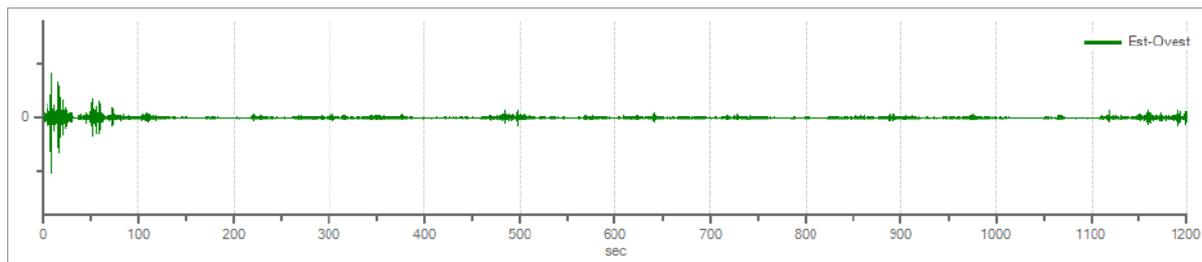
Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	500.00 Hz
Numero campioni:	600000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Grafici tracce:

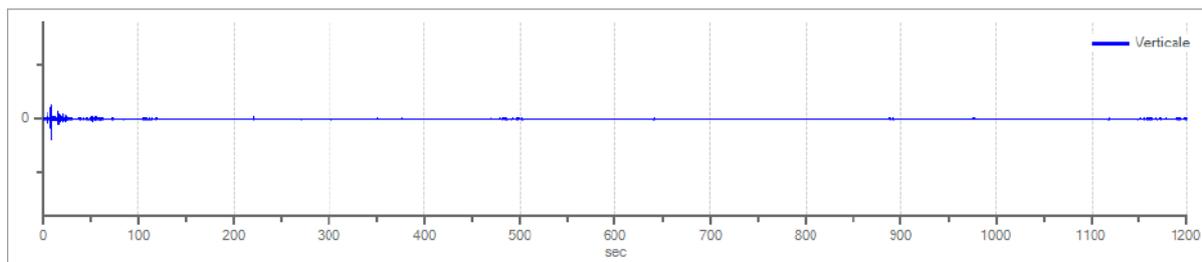


Traccia in direzione Nord-Sud





Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

**Finestre selezionate**

Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 54  
 Numero finestre incluse nel calcolo: 54  
 Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
 Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %  
 Coefficiente di banda: 40.00

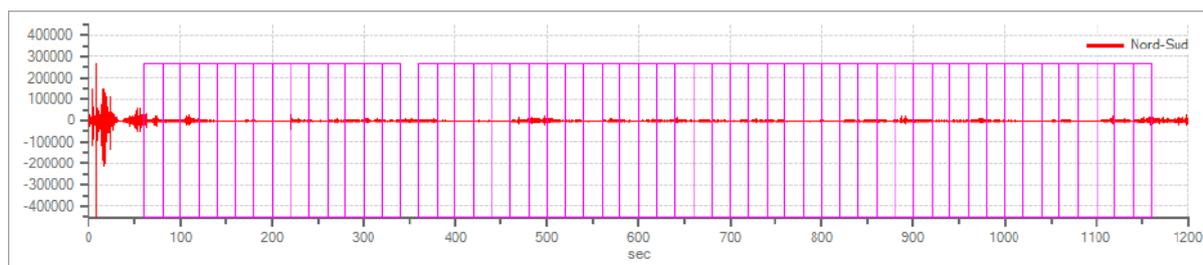
Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	60	80	Inclusa
2	80	100	Inclusa
3	100	120	Inclusa
4	120	140	Inclusa
5	140	160	Inclusa
6	160	180	Inclusa
7	180	200	Inclusa
8	200	220	Inclusa
9	220	240	Inclusa
10	240	260	Inclusa
11	260	280	Inclusa
12	280	300	Inclusa
13	300	320	Inclusa
14	320	340	Inclusa
15	360	380	Inclusa
16	380	400	Inclusa
17	400	420	Inclusa



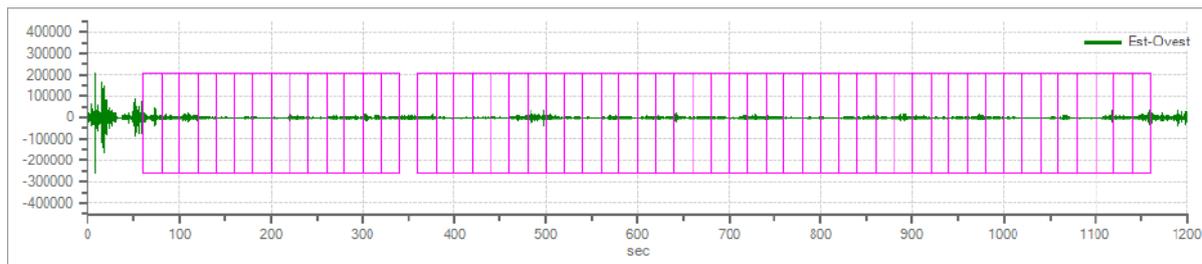
18	420	440	Inclusa
19	440	460	Inclusa
20	460	480	Inclusa
21	480	500	Inclusa
22	500	520	Inclusa
23	520	540	Inclusa
24	540	560	Inclusa
25	560	580	Inclusa
26	580	600	Inclusa
27	600	620	Inclusa
28	620	640	Inclusa
29	640	660	Inclusa
30	660	680	Inclusa
31	680	700	Inclusa
32	700	720	Inclusa
33	720	740	Inclusa
34	740	760	Inclusa
35	760	780	Inclusa
36	780	800	Inclusa
37	800	820	Inclusa
38	820	840	Inclusa
39	840	860	Inclusa
40	860	880	Inclusa
41	880	900	Inclusa
42	900	920	Inclusa
43	920	940	Inclusa
44	940	960	Inclusa
45	960	980	Inclusa
46	980	1000	Inclusa
47	1000	1020	Inclusa
48	1020	1040	Inclusa
49	1040	1060	Inclusa
50	1060	1080	Inclusa
51	1080	1100	Inclusa
52	1100	1120	Inclusa
53	1120	1140	Inclusa
54	1140	1160	Inclusa

Grafici tracce con finestre selezionate:

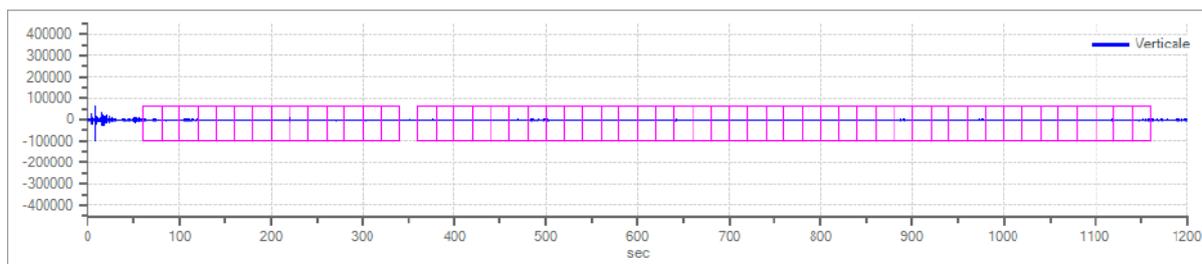


Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud



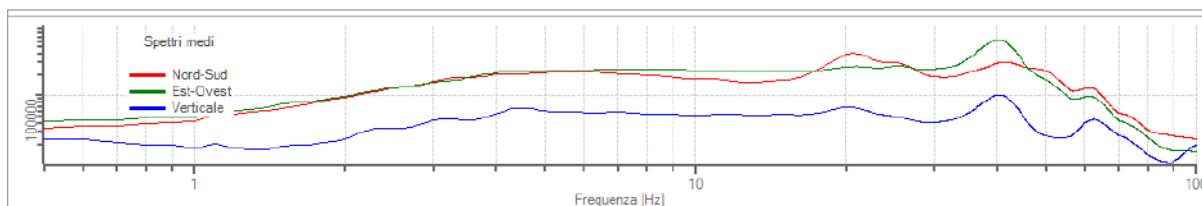


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

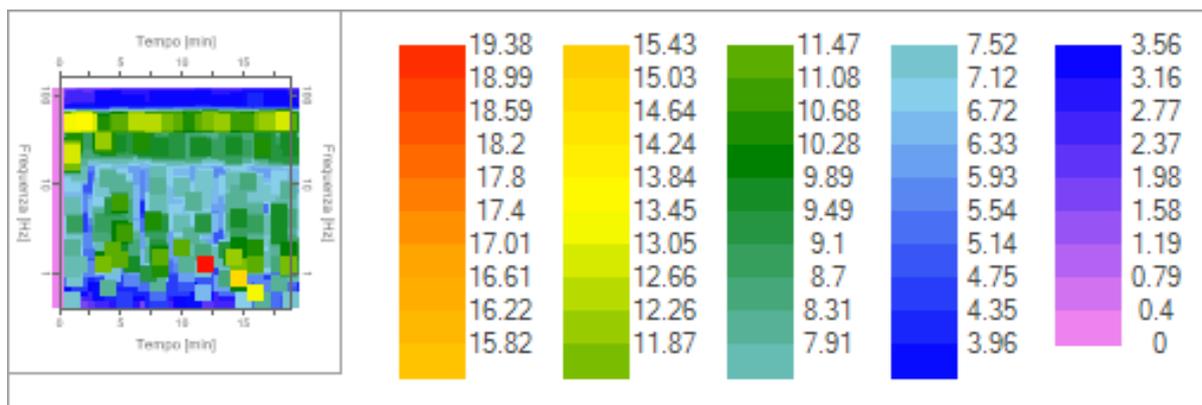


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

Grafici degli spettri

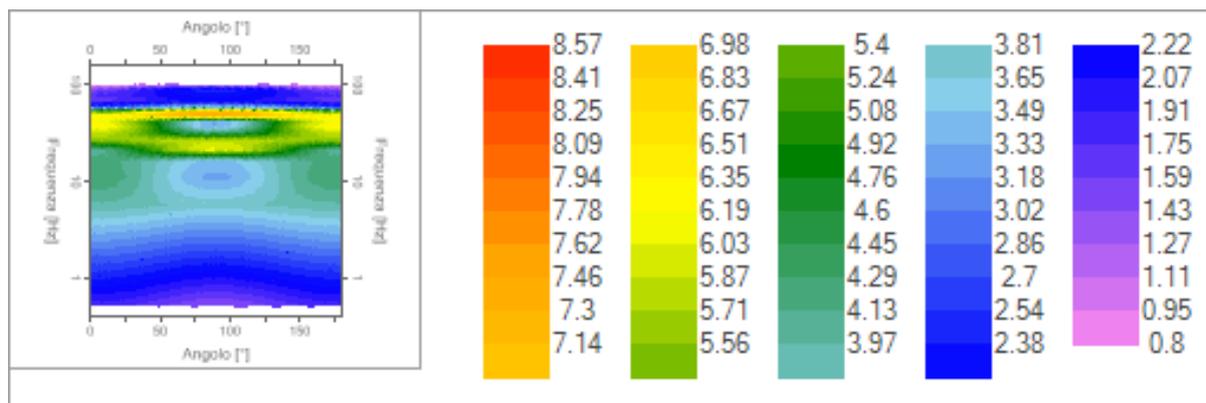


Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri





Mappa della direzionalità degli spettri

### Rapporto spettrale H/V

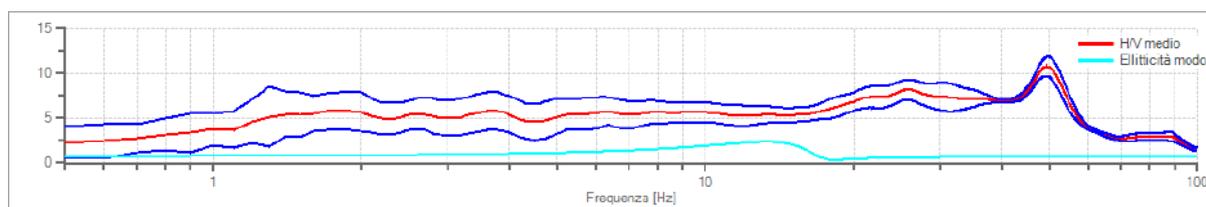
Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 100.00 Hz  
 Frequenza minima: 0.50 Hz  
 Passo frequenze: 0.10 Hz  
 Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media geometrica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 49.40 Hz ±0.10 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia



Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

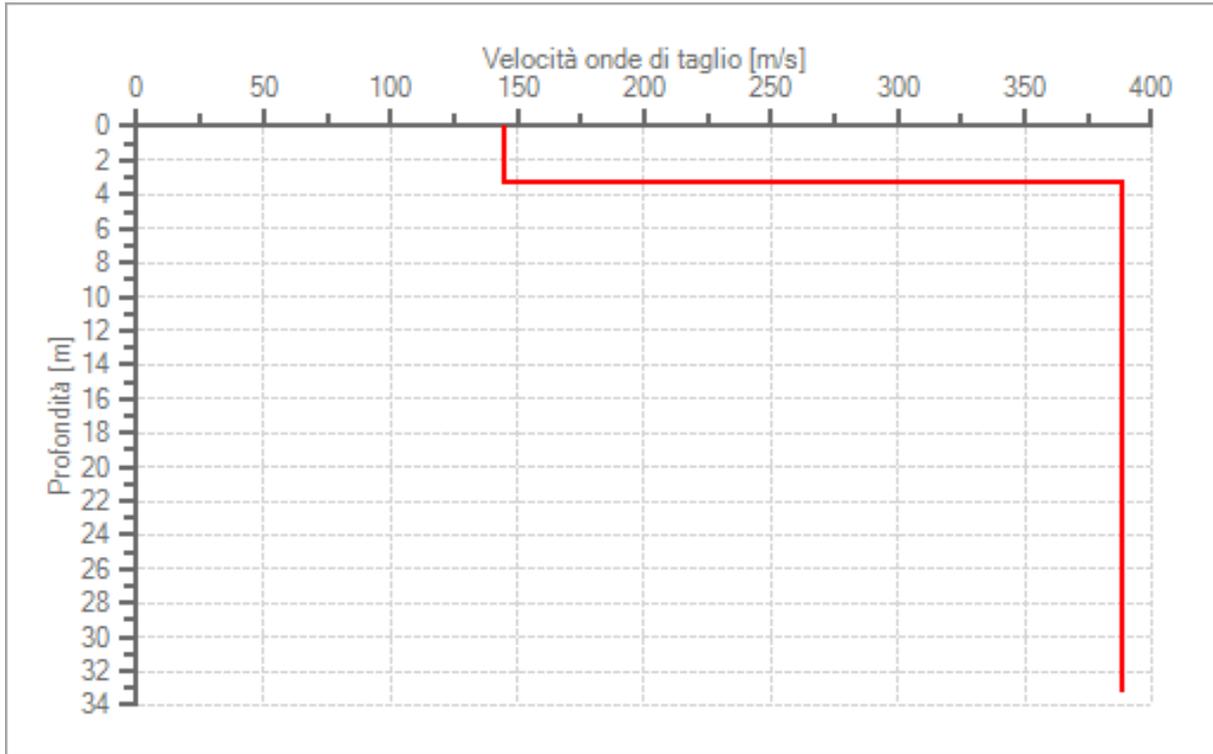
**Modello stratigrafico**Dati riepilogativi:

Numero strati:	2
Frequenza del picco dell'ellitticità:	13.30 Hz
Valore di disadattamento:	0.51
Valore Vs30:	327.76 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	3.29	18	0.35	145
2	3.29	30	21	0.28	388





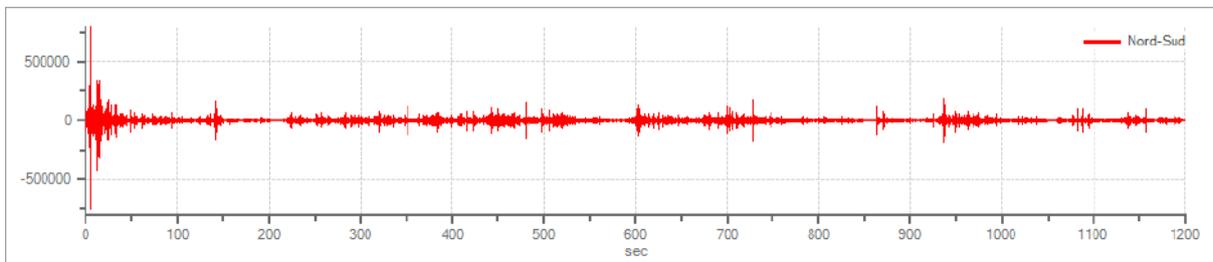
Profilo delle velocità delle onde di taglio

### 3.1.4 ELABORAZIONE INDAGINE HVSR 4 ESEGUITA IN SITU

Dati riepilogativi:

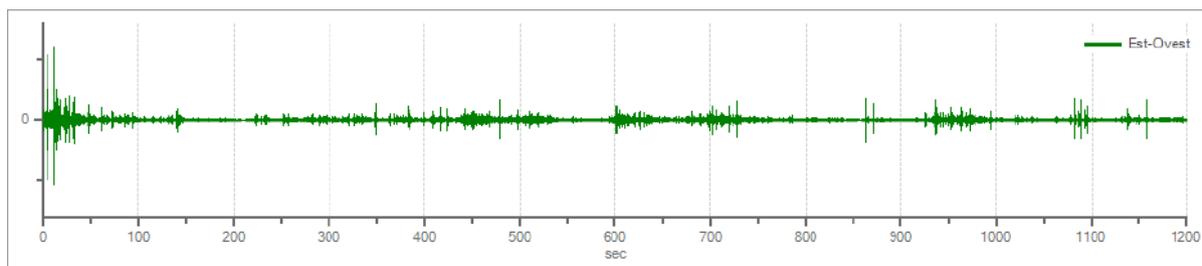
Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	500.00 Hz
Numero campioni:	600000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Grafici tracce:

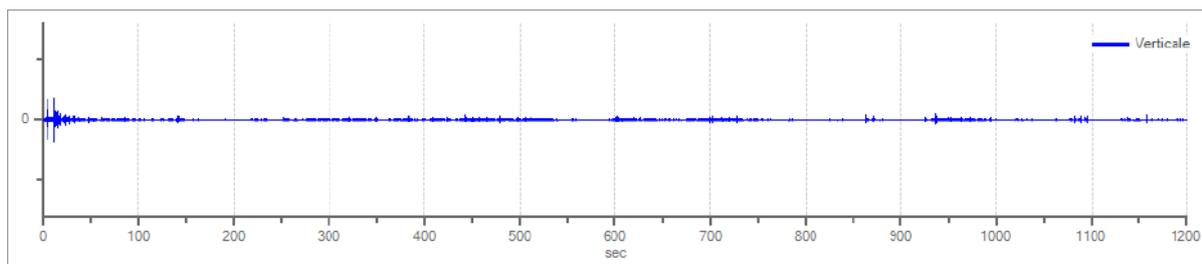


Traccia in direzione Nord-Sud





Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

### Finestre selezionate

#### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 55  
 Numero finestre incluse nel calcolo: 55  
 Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
 Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %  
 Coefficiente di banda: 40.00

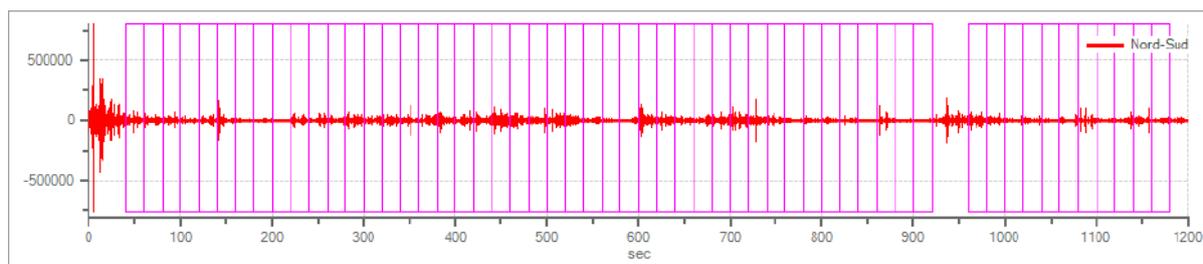
#### Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	40	60	Inclusa
2	60	80	Inclusa
3	80	100	Inclusa
4	100	120	Inclusa
5	120	140	Inclusa
6	140	160	Inclusa
7	160	180	Inclusa
8	180	200	Inclusa
9	200	220	Inclusa
10	220	240	Inclusa
11	240	260	Inclusa
12	260	280	Inclusa
13	280	300	Inclusa
14	300	320	Inclusa
15	320	340	Inclusa
16	340	360	Inclusa



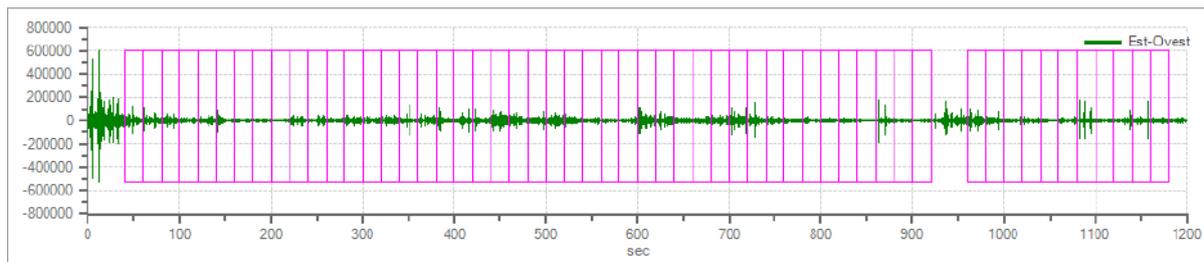
17	360	380	Inclusa
18	380	400	Inclusa
19	400	420	Inclusa
20	420	440	Inclusa
21	440	460	Inclusa
22	460	480	Inclusa
23	480	500	Inclusa
24	500	520	Inclusa
25	520	540	Inclusa
26	540	560	Inclusa
27	560	580	Inclusa
28	580	600	Inclusa
29	600	620	Inclusa
30	620	640	Inclusa
31	640	660	Inclusa
32	660	680	Inclusa
33	680	700	Inclusa
34	700	720	Inclusa
35	720	740	Inclusa
36	740	760	Inclusa
37	760	780	Inclusa
38	780	800	Inclusa
39	800	820	Inclusa
40	820	840	Inclusa
41	840	860	Inclusa
42	860	880	Inclusa
43	880	900	Inclusa
44	900	920	Inclusa
45	960	980	Inclusa
46	980	1000	Inclusa
47	1000	1020	Inclusa
48	1020	1040	Inclusa
49	1040	1060	Inclusa
50	1060	1080	Inclusa
51	1080	1100	Inclusa
52	1100	1120	Inclusa
53	1120	1140	Inclusa
54	1140	1160	Inclusa
55	1160	1180	Inclusa

Grafici tracce con finestre selezionate:

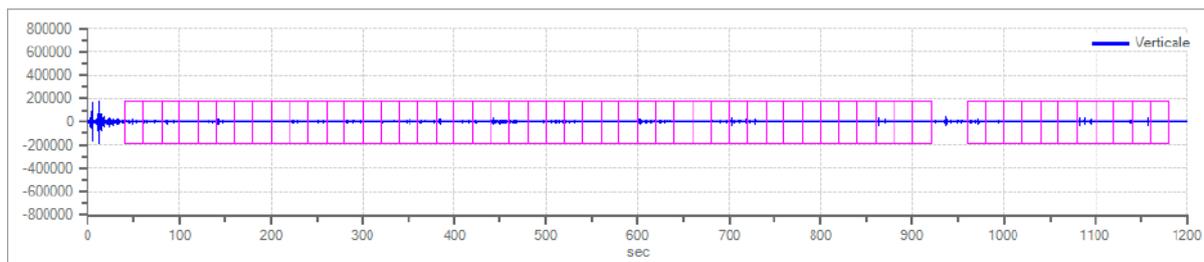


Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud



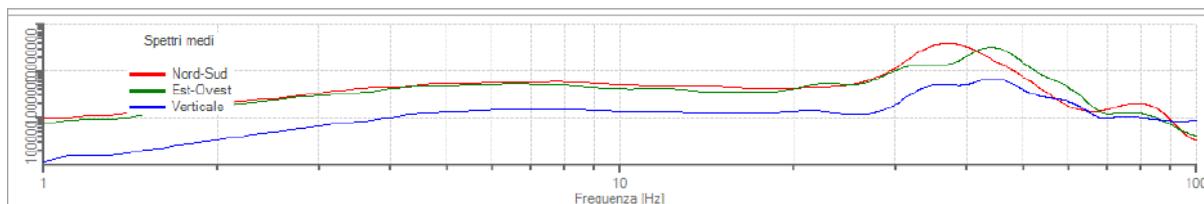


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

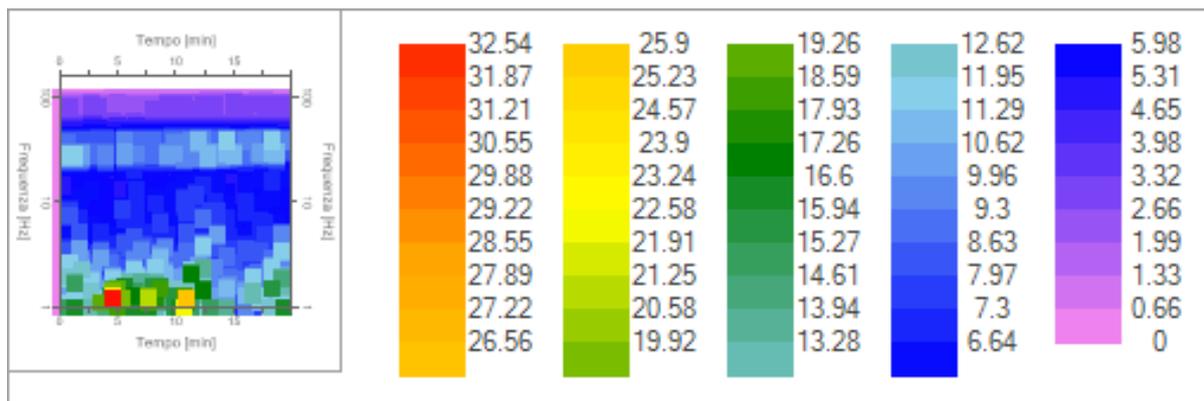


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

Grafici degli spettri

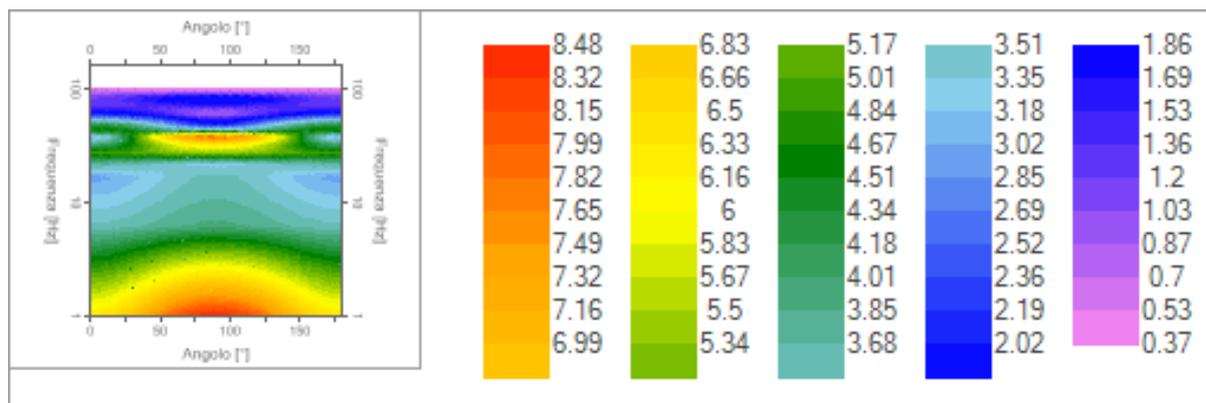


Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri





Mappa della direzionalità degli spettri

### Rapporto spettrale H/V

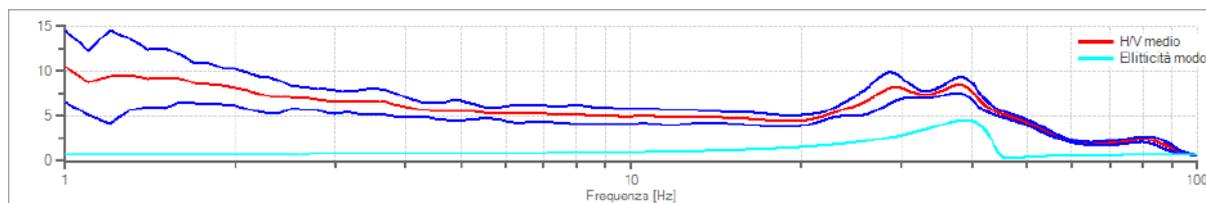
Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 100.00 Hz  
 Frequenza minima: 1.00 Hz  
 Passo frequenze: 0.10 Hz  
 Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media geometrica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 1.00 Hz ±0.38 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia



Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Non superato
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

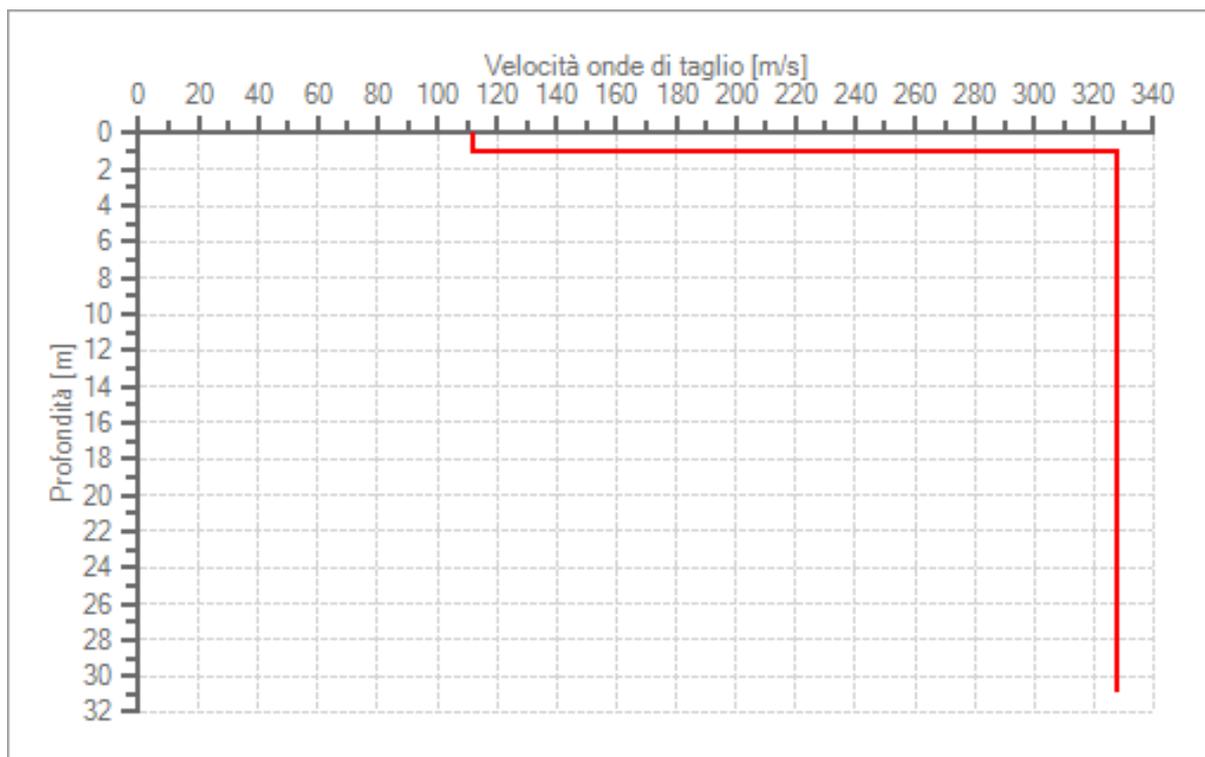
**Modello stratigrafico**Dati riepilogativi:

Numero strati:	2
Frequenza del picco dell'ellitticità:	38.90 Hz
Valore di disadattamento:	0.51
Valore Vs30:	308.00 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1.01	18	0.34	112
2	1.01	30	21	0.3	328





Profilo delle velocità delle onde di taglio

### 3.1.5 ELABORAZIONE INDAGINE HVSR 5 ESEGUITA IN SITU

Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	500.00 Hz
Numero campioni:	600000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale

**Finestre selezionate**

Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate:	57
Numero finestre incluse nel calcolo:	57
Dimensione temporale finestre:	20.000 s
Tipo di lisciamento:	Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamento:	10.00 %
Coefficiente di banda:	40.00

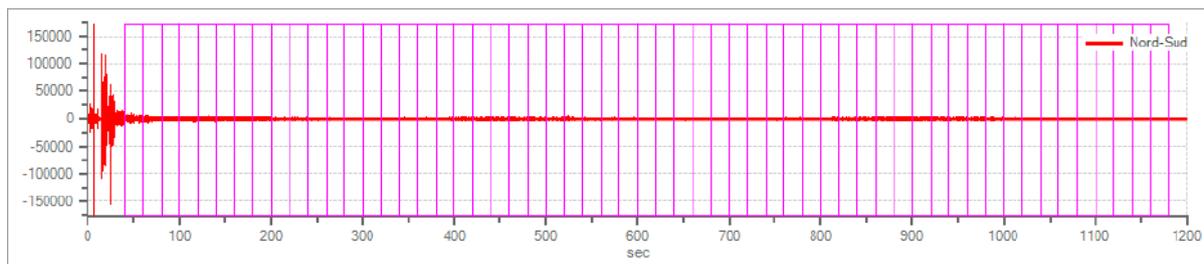


Tabella finestre:

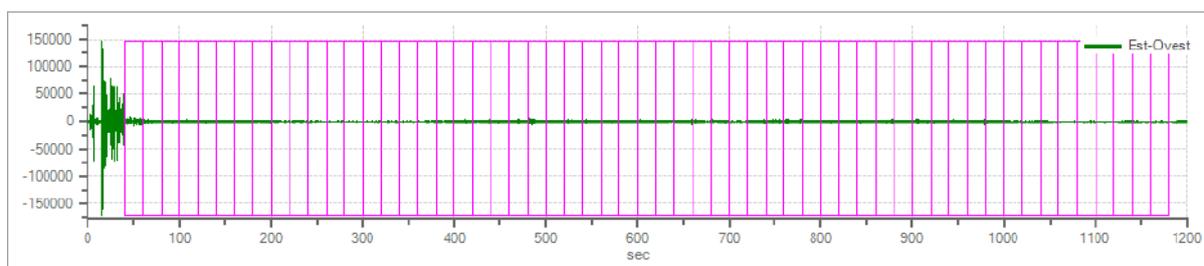
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	40	60	Inclusa
2	60	80	Inclusa
3	80	100	Inclusa
4	100	120	Inclusa
5	120	140	Inclusa
6	140	160	Inclusa
7	160	180	Inclusa
8	180	200	Inclusa
9	200	220	Inclusa
10	220	240	Inclusa
11	240	260	Inclusa
12	260	280	Inclusa
13	280	300	Inclusa
14	300	320	Inclusa
15	320	340	Inclusa
16	340	360	Inclusa
17	360	380	Inclusa
18	380	400	Inclusa
19	400	420	Inclusa
20	420	440	Inclusa
21	440	460	Inclusa
22	460	480	Inclusa
23	480	500	Inclusa
24	500	520	Inclusa
25	520	540	Inclusa
26	540	560	Inclusa
27	560	580	Inclusa
28	580	600	Inclusa
29	600	620	Inclusa
30	620	640	Inclusa
31	640	660	Inclusa
32	660	680	Inclusa
33	680	700	Inclusa
34	700	720	Inclusa
35	720	740	Inclusa
36	740	760	Inclusa
37	760	780	Inclusa
38	780	800	Inclusa
39	800	820	Inclusa
40	820	840	Inclusa
41	840	860	Inclusa
42	860	880	Inclusa
43	880	900	Inclusa
44	900	920	Inclusa
45	920	940	Inclusa
46	940	960	Inclusa
47	960	980	Inclusa
48	980	1000	Inclusa
49	1000	1020	Inclusa
50	1020	1040	Inclusa
51	1040	1060	Inclusa
52	1060	1080	Inclusa
53	1080	1100	Inclusa
54	1100	1120	Inclusa
55	1120	1140	Inclusa
56	1140	1160	Inclusa
57	1160	1180	Inclusa

Grafici tracce con finestre selezionate:

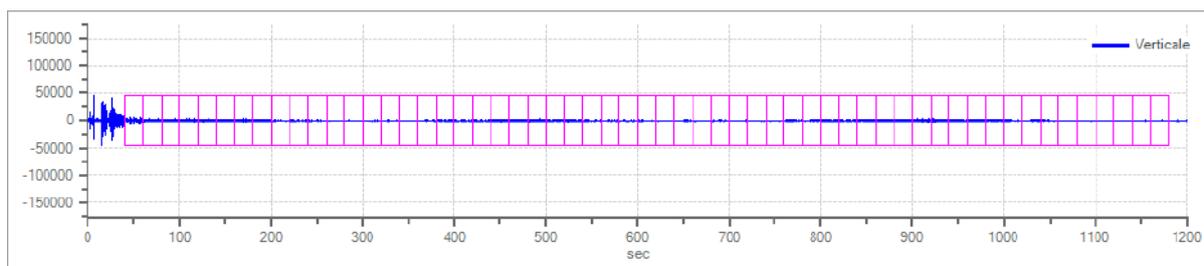
**GEOINGEGNERIA S.E.T. s.r.l.s.**  
 Dott. Geol. Antonino Cacioppo  
 Via G. Marconi 127 - Castellammare del Golfo  
 Tel. 328.4911173 @ [georingegneriasrls@gmail.com](mailto:georingegneriasrls@gmail.com)



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

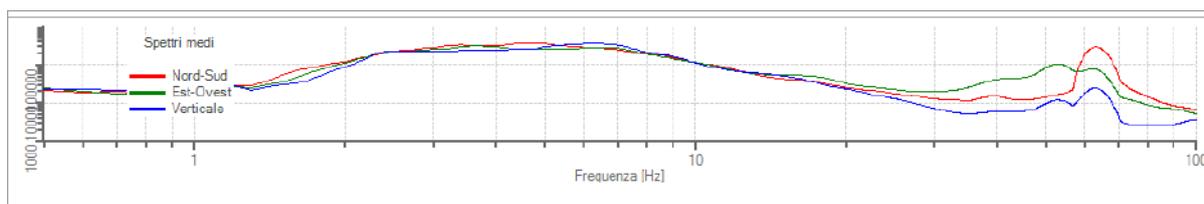


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest



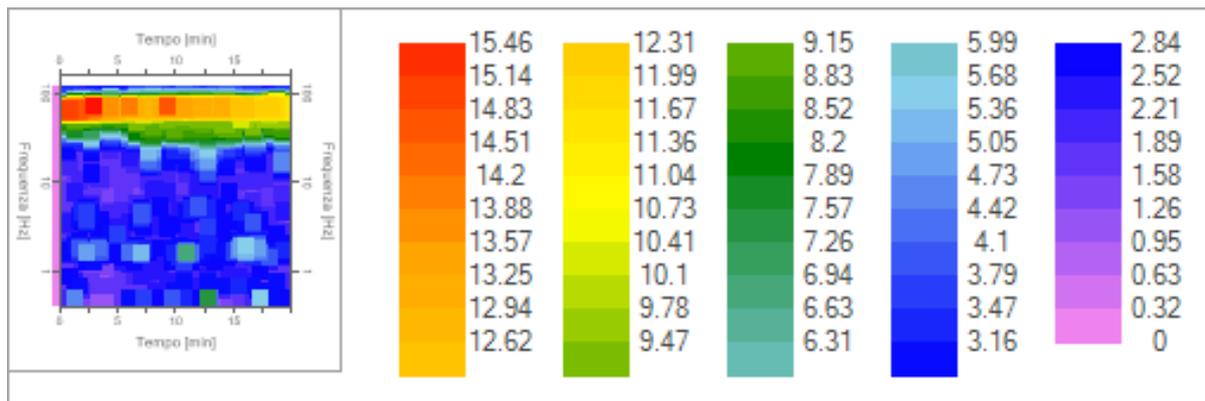
Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

Grafici degli spettri

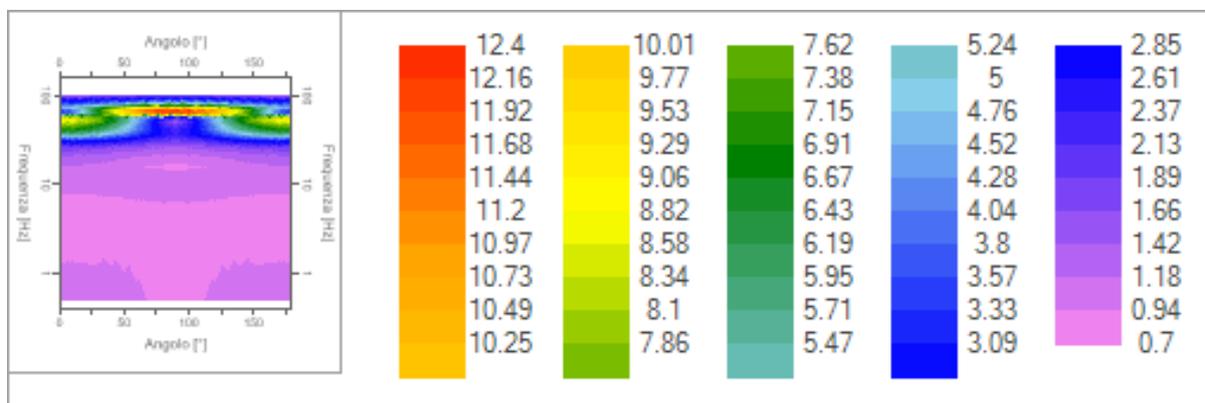


Spettri medi nelle tre direzioni





Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

### Rapporto spettrale H/V

Dati riepilogativi:

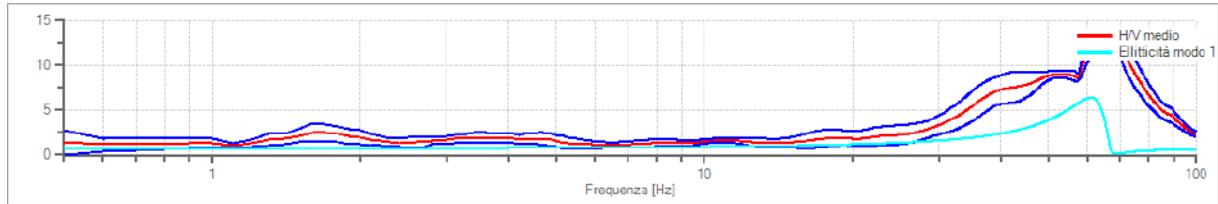
Frequenza massima: 100.00 Hz  
 Frequenza minima: 0.50 Hz  
 Passo frequenze: 0.10 Hz  
 Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media geometrica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 67.10 Hz ±0.06 Hz



Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

**Modello stratigrafico**

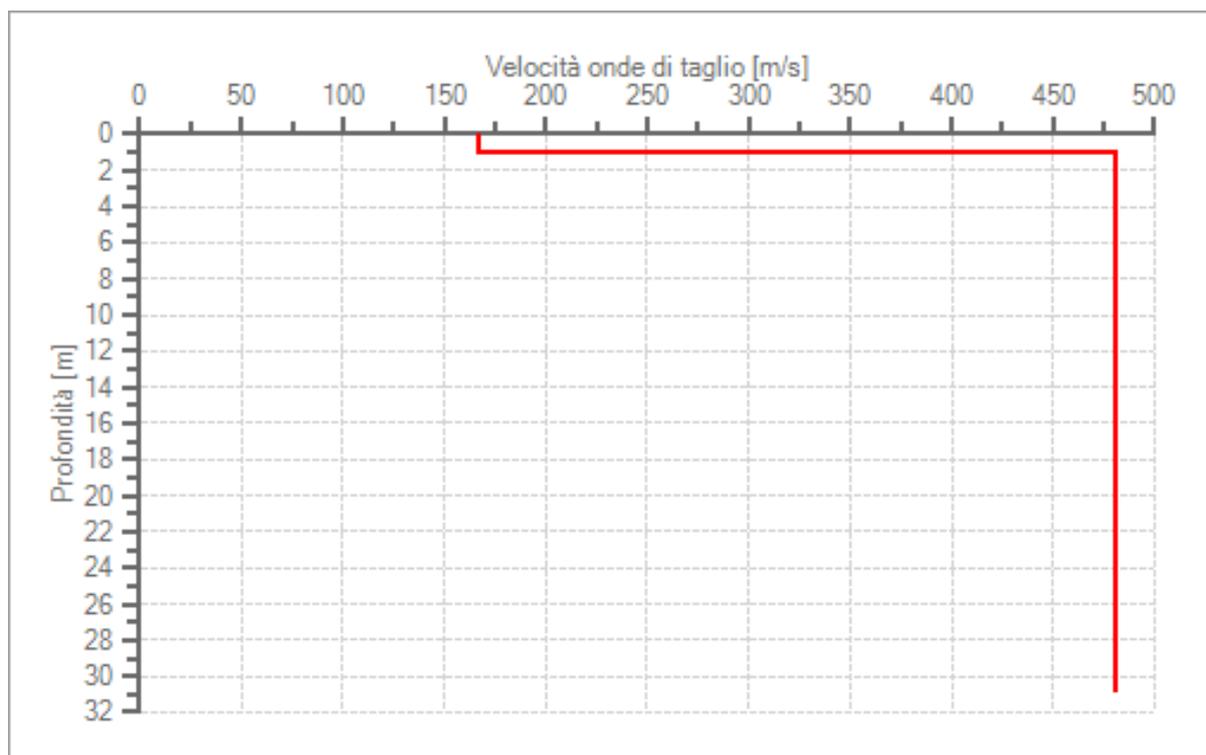
Dati riepilogativi:

Numero strati: 2  
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 61.00 Hz  
 Valore di disadattamento: 0.52  
 Valore Vs30: 452.24 m/s



Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1	17	0.35	167
2	1	30	21	0.3	481



Profilo delle velocità delle onde di taglio

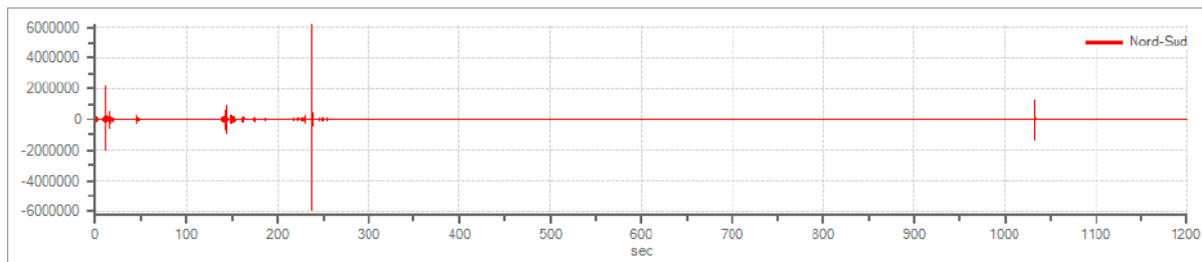
**3.1.6 ELABORAZIONE INDAGINE HVSR 6 ESEGUITA IN SITU**

Dati riepilogativi:

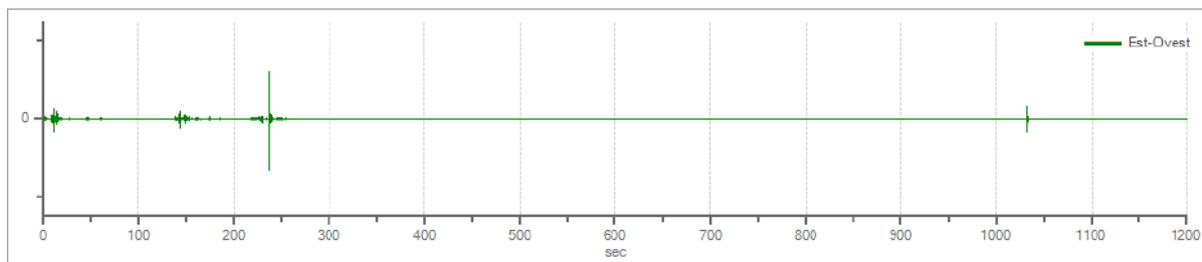
Numero tracce: 3  
 Durata registrazione: 1200 s  
 Frequenza di campionamento: 500.00 Hz  
 Numero campioni: 600000  
 Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Grafici tracce:

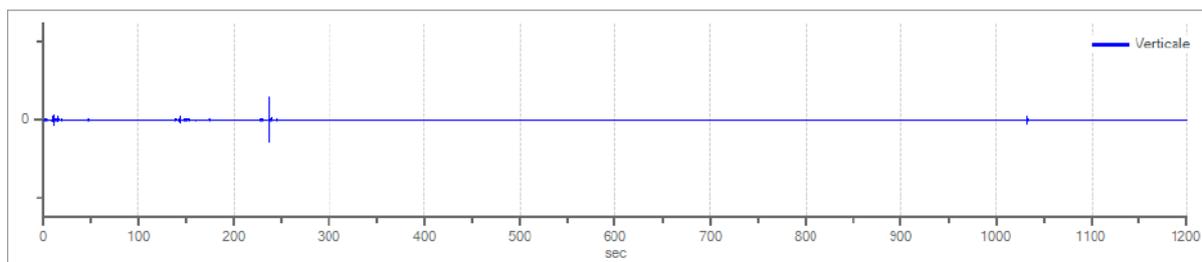




Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

### Finestre selezionate

#### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 53  
 Numero finestre incluse nel calcolo: 53  
 Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
 Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %  
 Coefficiente di banda: 40.00

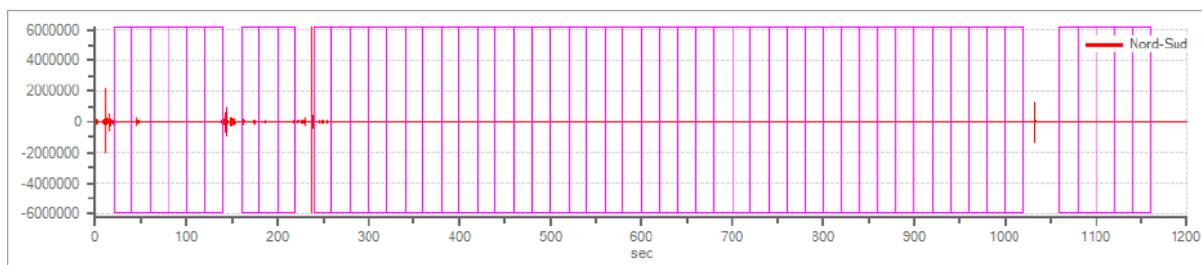
#### Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	20	40	Inclusa
2	40	60	Inclusa
3	60	80	Inclusa
4	80	100	Inclusa
5	100	120	Inclusa



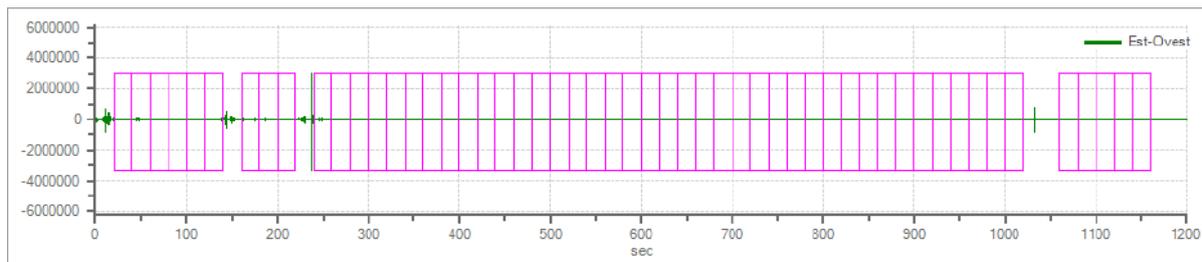
6	120	140	Inclusa
7	160	180	Inclusa
8	180	200	Inclusa
9	200	220	Inclusa
10	240	260	Inclusa
11	260	280	Inclusa
12	280	300	Inclusa
13	300	320	Inclusa
14	320	340	Inclusa
15	340	360	Inclusa
16	360	380	Inclusa
17	380	400	Inclusa
18	400	420	Inclusa
19	420	440	Inclusa
20	440	460	Inclusa
21	460	480	Inclusa
22	480	500	Inclusa
23	500	520	Inclusa
24	520	540	Inclusa
25	540	560	Inclusa
26	560	580	Inclusa
27	580	600	Inclusa
28	600	620	Inclusa
29	620	640	Inclusa
30	640	660	Inclusa
31	660	680	Inclusa
32	680	700	Inclusa
33	700	720	Inclusa
34	720	740	Inclusa
35	740	760	Inclusa
36	760	780	Inclusa
37	780	800	Inclusa
38	800	820	Inclusa
39	820	840	Inclusa
40	840	860	Inclusa
41	860	880	Inclusa
42	880	900	Inclusa
43	900	920	Inclusa
44	920	940	Inclusa
45	940	960	Inclusa
46	960	980	Inclusa
47	980	1000	Inclusa
48	1000	1020	Inclusa
49	1060	1080	Inclusa
50	1080	1100	Inclusa
51	1100	1120	Inclusa
52	1120	1140	Inclusa
53	1140	1160	Inclusa

*Grafici tracce con finestre selezionate:*

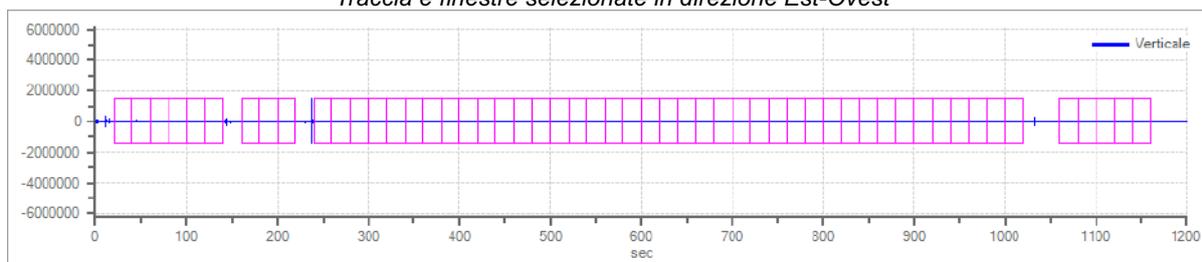


*Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud*



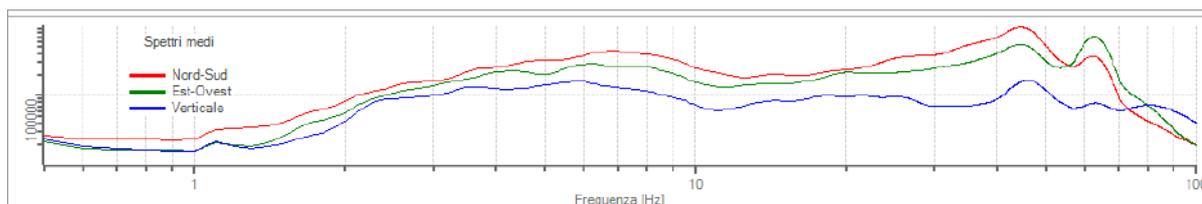


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

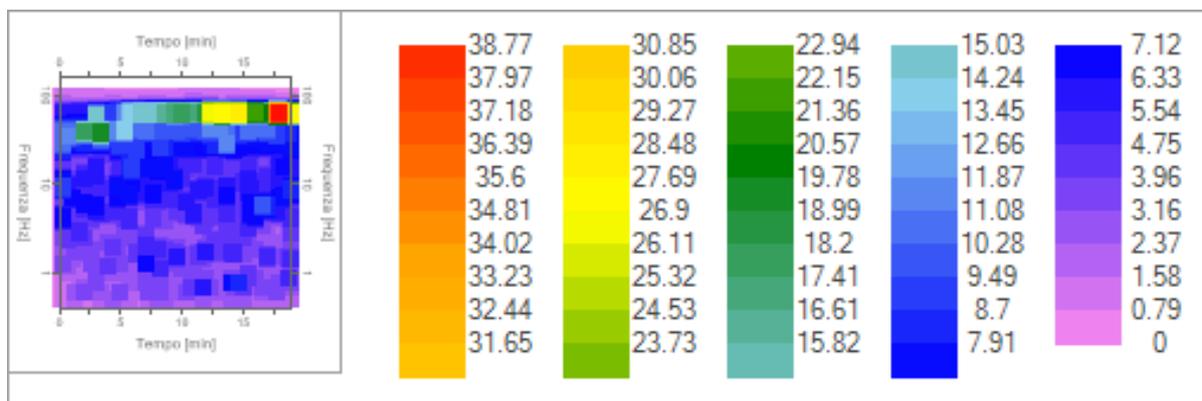


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

Grafici degli spettri

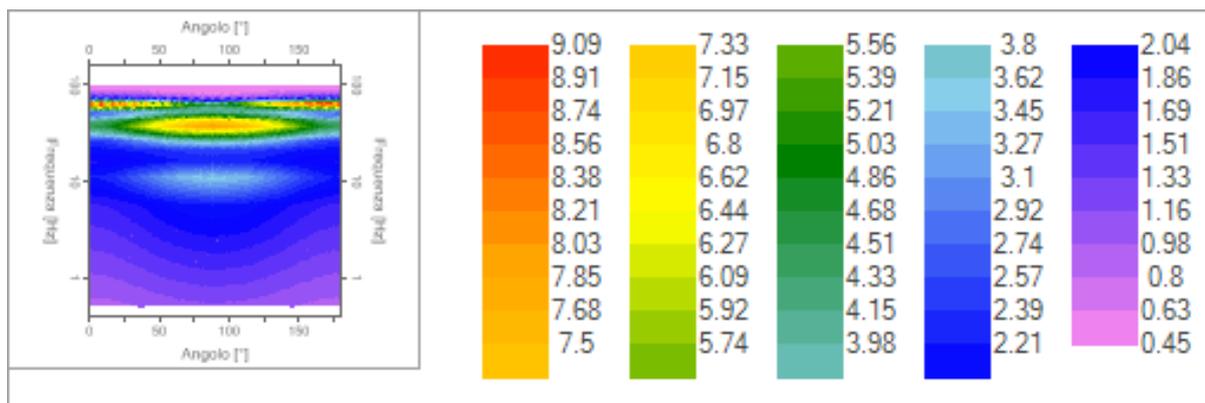


Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri





Mappa della direzionalità degli spettri

### Rapporto spettrale H/V

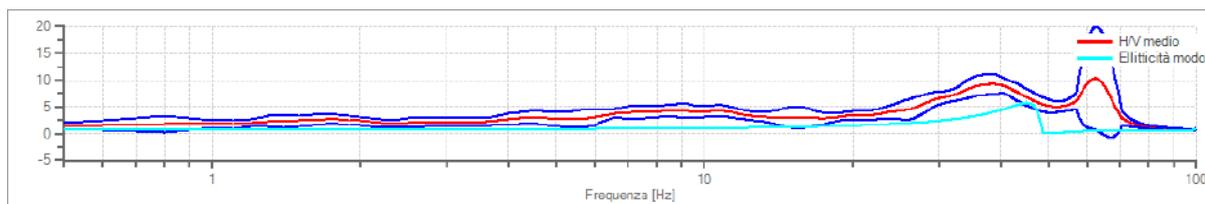
Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 100.00 Hz  
 Frequenza minima: 0.50 Hz  
 Passo frequenze: 0.10 Hz  
 Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media geometrica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 67.10 Hz ±0.06 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok



$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

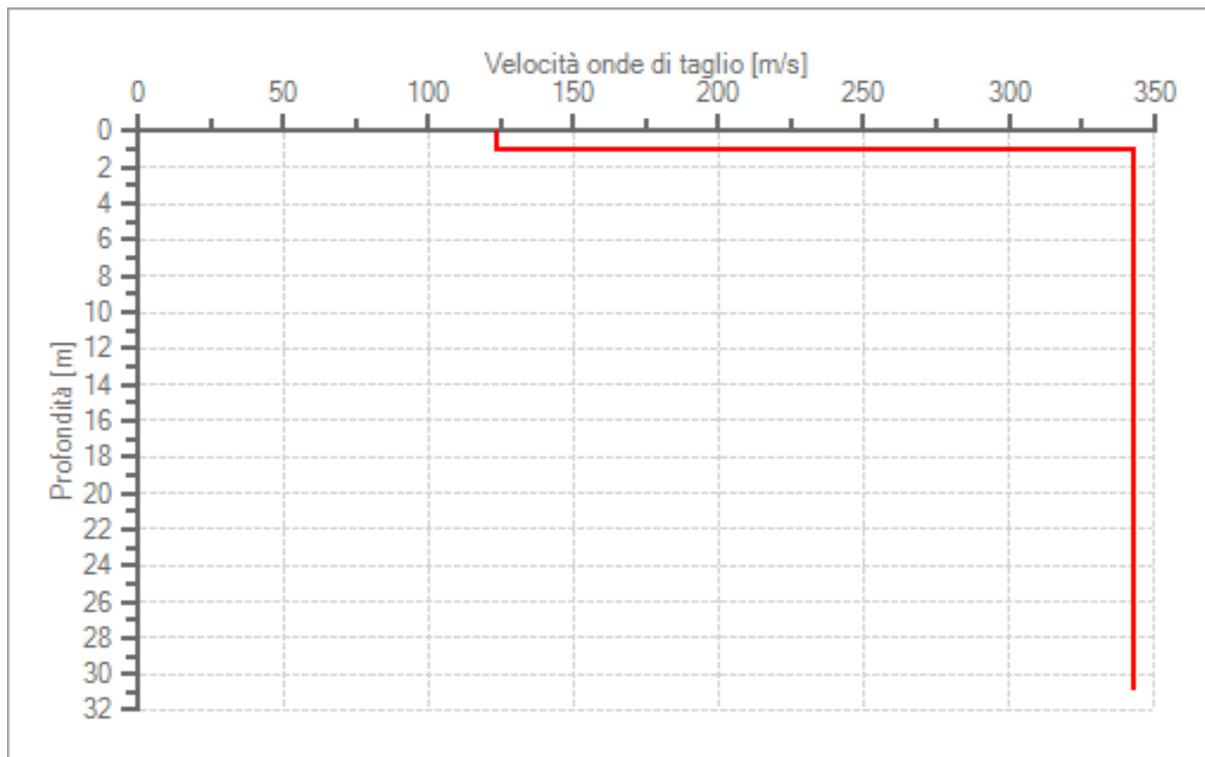
**Modello stratigrafico**Dati riepilogativi:

Numero strati:	2
Frequenza del picco dell'ellitticità:	45.20 Hz
Valore di disadattamento:	0.55
Valore Vs30:	323.79 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1	18	0.38	123
2	1	30	21	0.3	343





*Profilo delle velocità delle onde di taglio*



## 4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

### 4.1 CLASSIFICAZIONE DEL SUOLO DI FONDAZIONE

La nuova normativa sismica italiana (Ordinanza n 3274 del 20/03/03 della Presidenza del Consiglio dei Ministri), così come il nuovo Decreto Ministeriale 15/09/2005 "Testo Unico sulle Costruzioni", sostituito con DM 17 Gennaio 2018 (G. U. n 42 del 20 02 2018) definiscono l'azione sismica di progetto, in assenza di analisi specifiche, sulla base della zona sismica di appartenenza del sito e la categoria sismica di suolo su cui sarà realizzata l'opera.

La normativa divide il territorio in 4 zone sismiche caratterizzate da valori di accelerazione di picco al suolo  $a_g$ , normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità. I valori convenzionali di  $a_g$  assegnati nelle 4 zone sismiche fanno riferimento all'accelerazione di picco in superficie per suolo di tipo A, cioè roccia affiorante o suolo omogeneo molto rigido, per il quale il moto sismico il bedrock non subisce variazioni sostanziali.

In presenza di suoli di tipo B, C, D ed E, il moto sismico in superficie in genere risulta modificato rispetto al moto sismico del bedrock, in funzione dell'intensità e del contenuto in frequenza dell'input sismico e delle caratteristiche geotecniche sismiche, nonché dello spessore del terreno attraversato dalle onde sismiche fino in superficie.

In assenza di una specifica analisi di amplificazione sismica locale per il suolo in esame, per valutare l'accelerazione sismica spettrale in presenza di suoli di tipo B, C, D, E la normativa introduce un fattore di amplificazione  $S$  ed i periodi  $T$  che definiscono lo spettro di risposta di un oscillatore semplice con smorzamento pari al 5%.

La classificazione del suolo è convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 metri di profondità dal piano di fondazioni ed è calcolato mediante la seguente formula:

$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

Dove  $N$  è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore  $h$  (strato) e dalla velocità delle onde  $S$   $V_s$ (strato).

Per  $H$  si intende la 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 depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.



Nel sito in questione, sulla base dei profili delle onde di taglio ottenuti dalle prove eseguite in situ ed elaborate nei paragrafi precedenti, si ottengono i seguenti valori espressi in m/s:

- **HVSR 1 = 335.14 m/s;**
- **HVSR 2 = 554.83 m/s;**
- **HVSR 3 = 327.76 m/s;**
- **HVSR 4 = 308.00 m/s;**
- **HVSR 5 = 452.24 m/s;**
- **HVSR 6 = 323.79 m/s.**

Per la definizione delle Vs30, ricavate attraverso indagini geofisiche con metodologia sismica passiva di tipo H.V.S.R., è stato deciso di utilizzare il Valore Più basso tra quelli precedentemente riportati, in quanto ritenuto maggiormente cautelativo; i risultati delle elaborazioni risultano comunque abbastanza concordanti, riferibili alle categorie di sottosuolo comprese tra B e C quali terreni di fondazione ai sensi delle NTC 18.

<b>Bearing surface depth [m]</b>	<b>0.00</b>
<b>Vs30 [m/s]</b>	<b>308.00</b>
<b>Soil category</b>	<b>C</b>

Pertanto, come precedentemente evidenziato, considerando il valore più basso del range, è possibile ascrivere il suolo di fondazione entro la **categoria C**, la cui descrizione è specificata nella tabella seguente.

<b>Categorie di sottosuolo</b>	
Decreto del 17 gennaio 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni	
<b>Categoria A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da <b>valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s</b> , eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
<b>Categoria B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da <b>valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s</b> .
<b>Categoria C</b>	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da <b>valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s</b> .
<b>Categoria D</b>	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da <b>valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s</b> .
<b>Categoria E</b>	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30m.

Le conoscenze geologiche e stratigrafiche locali confermano questa classificazione.



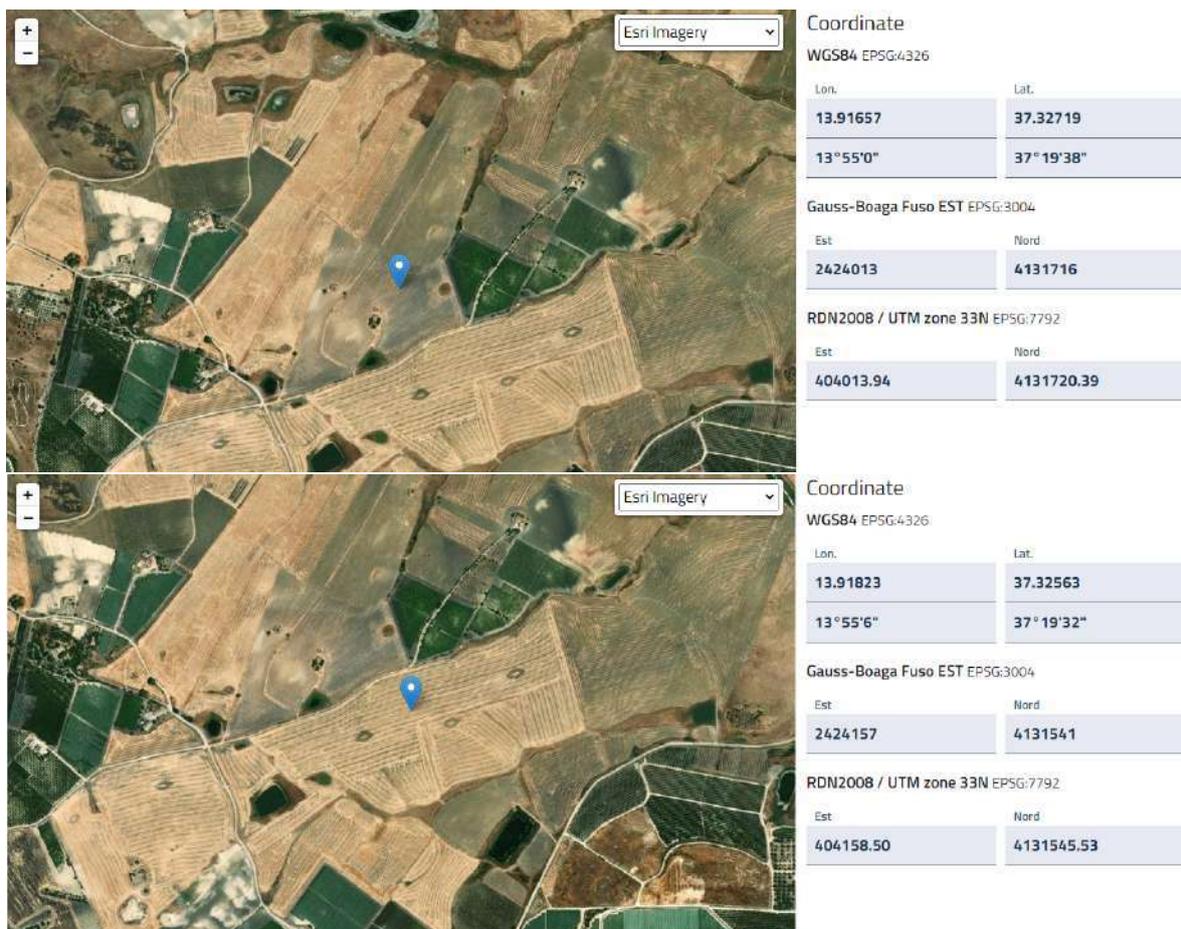
## 4.2 PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE E INDICAZIONI PER LA VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche di progetto, come previsto dalle N.T.C., in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A quale definita al § 3.2.2 delle N.T.C.), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{vr}$ , come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento  $V_R$ , come definito nel § 2.4.

La determinazione della pericolosità sismica di un sito va effettuata sia in termini geografici, sia in termini temporali.

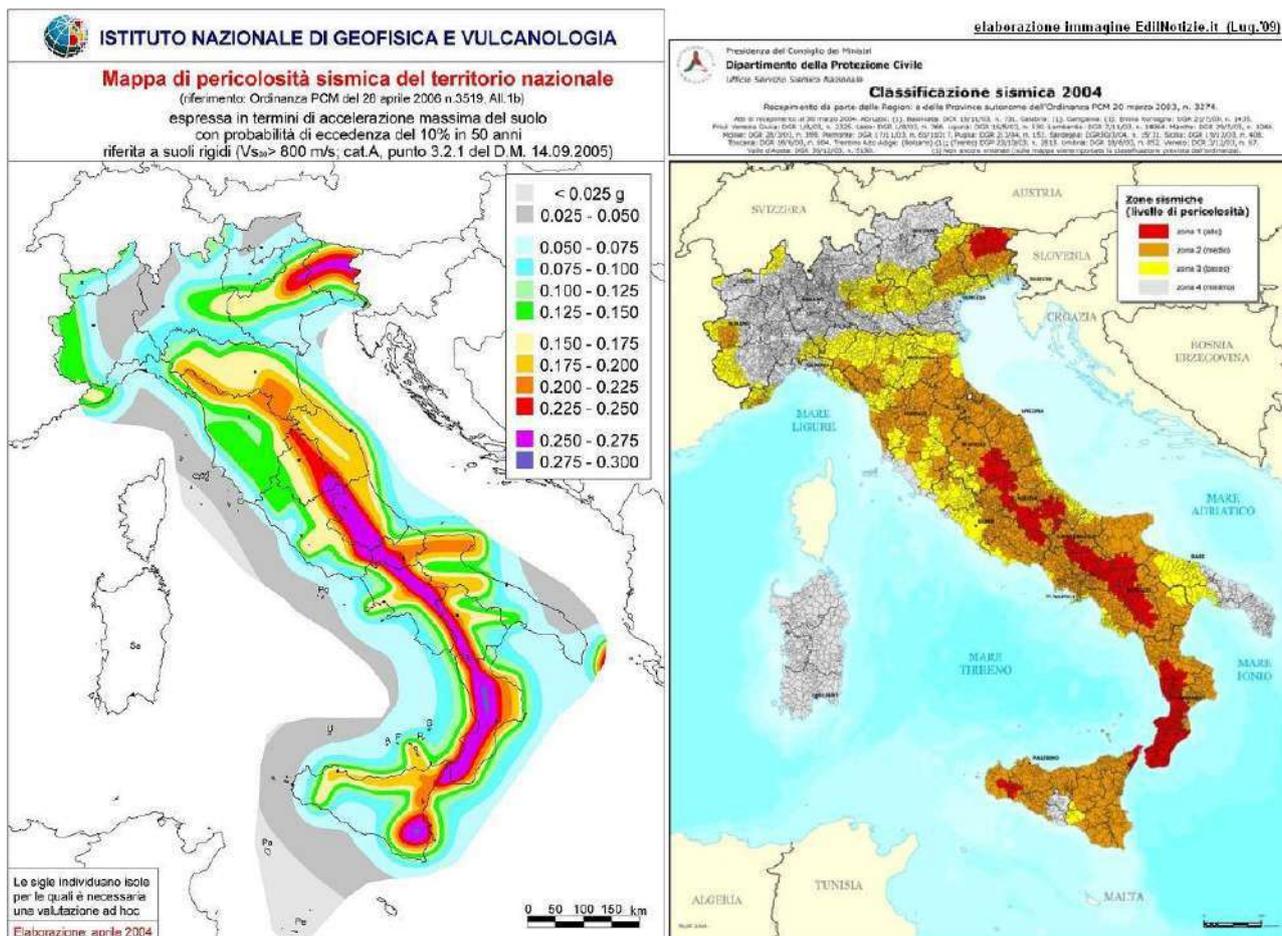
### 4.2.1 INQUADRAMENTO SUL RETICOLATO GEOGRAFICO

Il sito di progetto è ubicato sul reticolato geografico con le seguenti coordinate riferite ad un punto considerato baricentrico per ogni area previsto in progetto:



Coordinate baricentriche riferite rispettivamente al sottocampo 1 (in alto) e al sottocampo 2 (in basso)

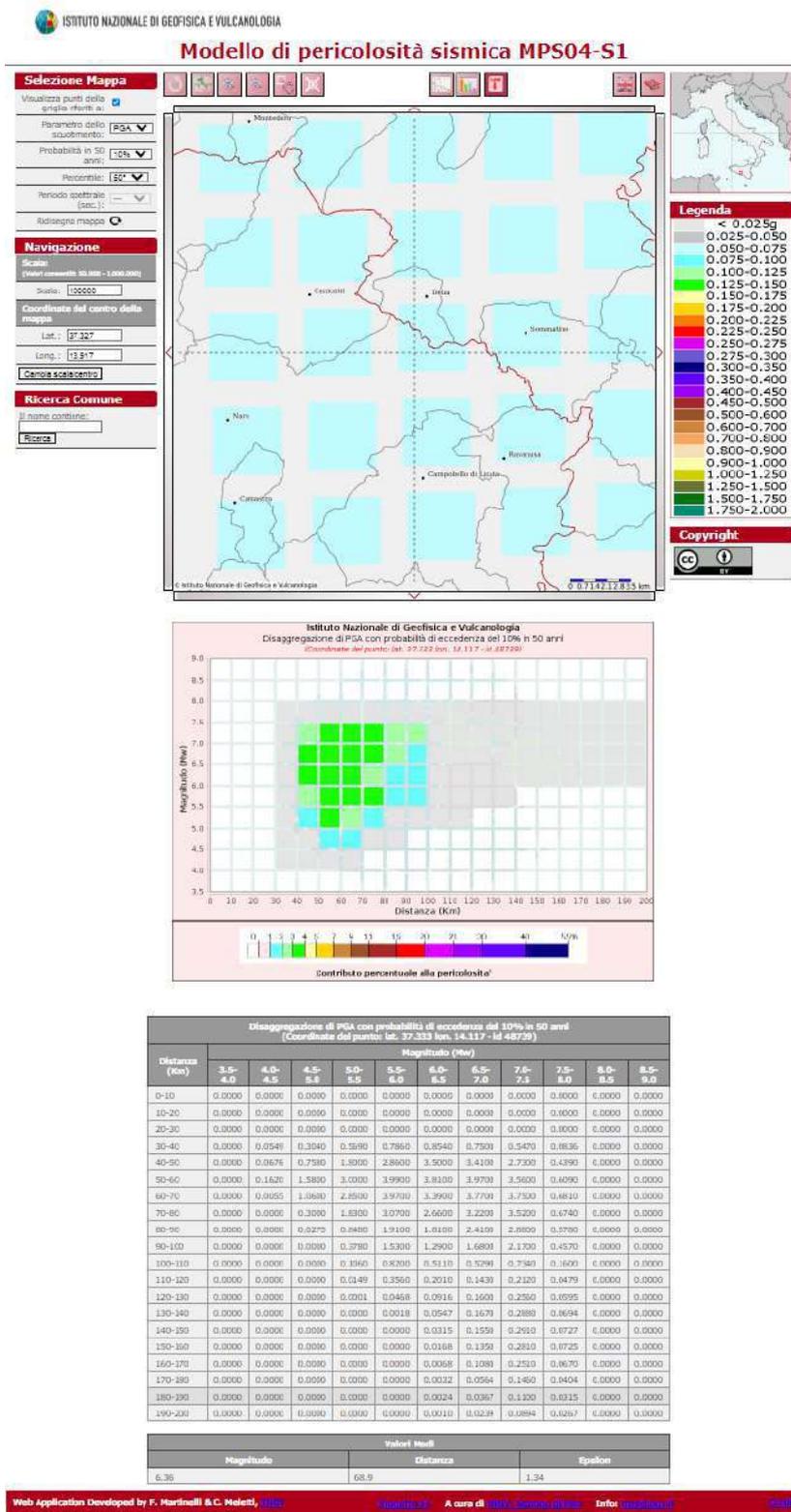
La nuova classificazione sismica del territorio nazionale, la quale si basa su uno studio probabilistico, che tiene conto di tutti gli eventi sismici verificatisi in Italia dall'anno 1000 fino ad oggi. Da tale studio condotto dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, sono state realizzate delle carte di pericolosità sismica. L'INGV ha contribuito a questo importante provvedimento per il proprio campo di competenza, visto che l'azione sismica di riferimento per la progettazione (riportata nell'allegato A di tale decreto) è stata definita sulla base delle stime di pericolosità sismica per il territorio nazionale realizzate dal Progetto S1 (<http://esse1.mi.ingv.it>) nell'ambito della Convenzione 2004-2006 tra l'INGV stesso e il Dipartimento della Protezione Civile.



Mappa della pericolosità sismica dell'I.N.G.V. territorio nazionale (a sinistra) e classificazione sismica 2004 del Dipartimento della Protezione Civile (a destra).

Tra le novità più importanti di queste norme vi è il fatto che per la prima volta tale azione sismica non viene definita sulla base di quattro zone sismiche (a ognuna delle quali era associato uno spettro di progetto standard), ma è determinata per ogni sito in Italia secondo una griglia regolare di nodi (con passo di 5 km, per un totale di oltre 10000 nodi) per ognuno dei quali il Progetto S1 ha calcolato oltre 2200 parametri che descrivono in maniera esaustiva la pericolosità sismica (picchi di accelerazione, accelerazioni spettrali, disaggregazione, ecc., tutti calcolati per diverse probabilità di accadimento in 50 anni; tutti i dati sono accessibili e visualizzabili in mappa nel sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it>.





**Stralcio della mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (riferimento O.P.C.M. Del 28 aprile 2006 n°3519, allegato 2.1.b) espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Vs30>800 m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14/09/2005). Fonte: <http://esse1-gis.mi.ingv.it>.**



**GEINGEGNERIA S.E.T. s.r.l.s.**  
 Dott. Geol. Antonino Cacioppo  
 Via G. Marconi 127 - Castellammare del Golfo  
 Tel. 328.4911173 @ [geingegneriasrls@gmail.com](mailto:geingegneriasrls@gmail.com)

**Pericolosità sismica**

Tipo costruzione (Art. 2.4.1)  Classe d'uso (Art. 2.4.2)  Cu:

Vita Nominale di progetto Vn (anni):

Periodo di rif. calcolato:  $VR = \max(Vn \cdot Cu, VrMin) = \max(50.00, 50.00) = 50.00$  anni Vr:

Livello di sicurezza %:

Pvr % (Art. 3.2.1)

SLO	81.00
SLD	63.00
SLV	10.00
SLC	5.00

Periodo di ritorno Tr (anni)

SLO	30
SLD	50
SLV	475
SLC	975

Posizione del sito

Comune:

Longitudine

Latitudine

Isola:

Nodi intorno al sito

ID	Longitudine	Latitudine	Dist. sito (Km)
48736	13.9290	37.3340	1.0747
48735	13.8670	37.3340	4.8579
48957	13.8670	37.2840	6.7447
48958	13.9290	37.2840	4.7991

Parametri di pericolosità sismica

	ag (g/10)	F0 (adim)	TC*(sec)
SLO	0.21785334	2.53713245	0.19623248
SLD	0.27947659	2.49860433	0.23801385
SLV	0.61653700	2.63751815	0.43000000
SLC	0.77524583	2.66902381	0.51762815

N.B. Dal valore tabellato, per ottenere ag in (g), dividerlo per 10; per ottenerlo in m/sec<sup>2</sup>, moltiplicarlo per 0.9806

Fonte: [www.ingegneriasoft.com](http://www.ingegneriasoft.com)



### 4.3 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale.

Lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

$$\begin{aligned}
 0 < T < T_B & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} (\eta \cdot 2,5 - 1) \right] \\
 T_B = T < T_C & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \\
 T_C = T < T_D & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left( \frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D = T & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

dove:

S fattore che tiene conto del profilo stratigrafico dei suoli di fondazione;

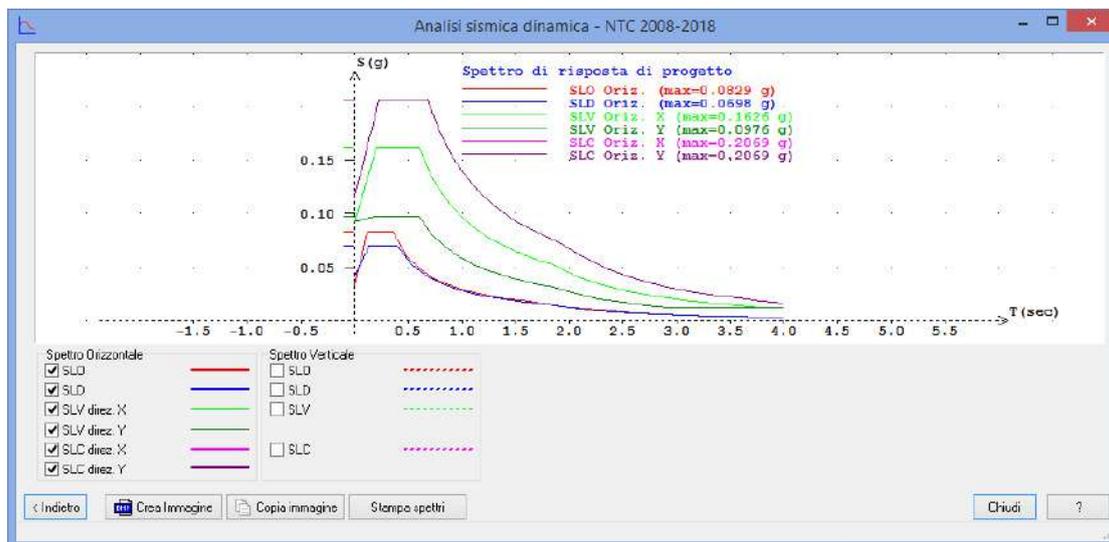
$\eta$  fattore che tiene conto di un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente;

$\xi$  espresso in punti percentuali, diverso da 5 ( $\eta = 1$  per  $\xi = 5\%$ ).

T periodo di vibrazione dell'oscillatore semplice;

$T_B, T_C, T_D$  periodi che separano i diversi rami dello spettro, dipendenti dal profilo stratigrafico del suolo di fondazione.

I valori dei parametri dello spettro di risposta da utilizzare nelle verifiche dell'azione sismica di progetto sono i seguenti:



Fonte: [www.ingegneriasoft.com](http://www.ingegneriasoft.com)



Coefficiente di smorzamento:  $\xi = 5\%$ .

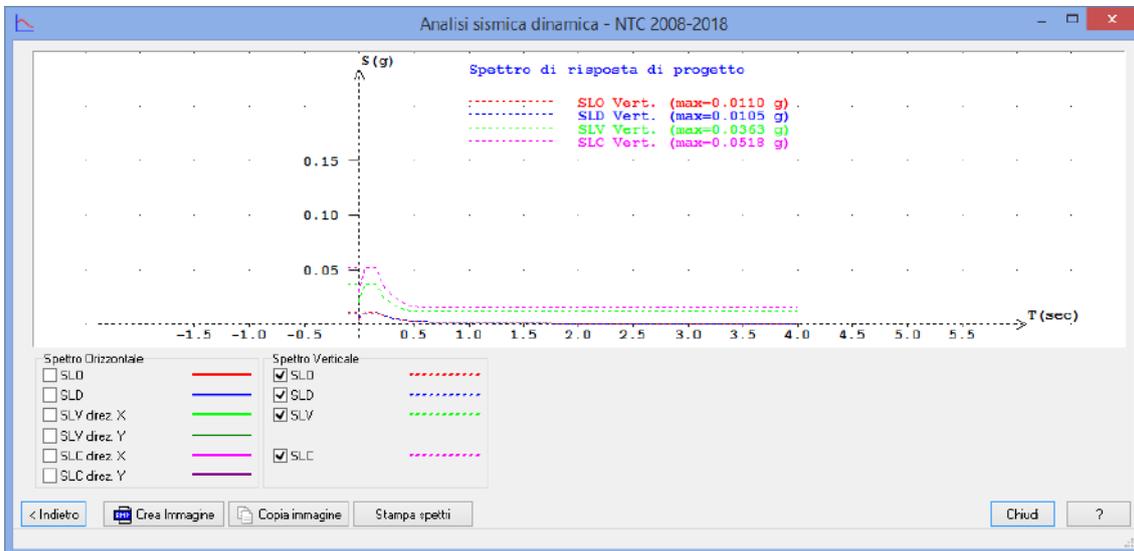
Fattore che tiene conto del coefficiente di smorzamento:  $\mu = 1.00$ .

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0,55$$

Lo spettro di risposta elastico della componente verticale è definito dalle espressioni seguenti:

$$\begin{aligned} 0 < T < T_B & S_{ve}(T) = 0,9a_g \cdot S \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} (\eta \cdot 3,0 - 1) \right] \\ T_B = T < T_C & S_{ve}(T) = 0,9a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 3,0 \\ T_C = T < T_D & S_{ve}(T) = 0,9a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 3,0 \left( \frac{T_C}{T} \right) \\ T_D = T & S_{ve}(T) = 0,9a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 3,0 \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right) \end{aligned}$$

con i valori dei parametri che definiscono la forma spettrale riportati di seguito:



Fonte: [www.ingegneriasoft.com](http://www.ingegneriasoft.com)



Lo spettro di risposta elastico dello spostamento si può ottenere per trasformazione diretta dello spettro di risposta elastico delle accelerazioni:

$$S_{De}(T) = S_e(T) \left( \frac{T}{2\pi} \right)^2$$

**Parametri sismici**

Categoria di sottosuolo (Art. 3.2.2)  Categoria topografica (Art. 3.2.2)   
 Rapporto h/H altezza pendio:  Coeff. amplif. topografica St:   
 Coeff. smorzamento (%)  $\xi$ :  =>  $\eta = 1.000$

Parametri spettri orizzontali e Fv

	S	TB	TC	TD	Fv	Cc	Ss
SLD	1.500	0.118	0.353	1.687	0.506	1.797	1.500
SLD	1.500	0.134	0.401	1.712	0.564	1.686	1.500
SLV	1.500	0.199	0.596	1.847	0.884	1.387	1.500
SLC	1.500	0.225	0.676	1.910	1.003	1.305	1.500

Parametri spettri verticali

Ss	TB	TC	TD
1.000	0.050	0.150	1.000

Tipo comportamento  
 Non dissipativo  
 Dissipativo

Classe di duttilità  
 Alta (CD'A)  
 Media (CD'B')

Fattori di comportamento q (par. 7.3 NTC)

	SLD	SLD	SLV	SLC
Direz. X1	1.000	1.500	1.500	1.500
Direz. Y1	1.000	1.500	2.500	1.500
Direz. Z	1.000	1.500	1.500	1.500

Regolarità edificio  
 In pianta  
 In altezza

Fonte: [www.ingegneriasoft.com](http://www.ingegneriasoft.com)

Per gli stati limite di esercizio lo spettro di progetto  $S_d(T)$  da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  considerata (v. 2.4 e 3.2.1 N.T.C.).

Per le verifiche agli stati limite ultimi, non effettuate tramite l'uso di opportuni accelerogrammi ed analisi dinamiche al passo, ai fini del progetto o della verifica delle strutture, lo spettro di progetto  $S_d(T)$  da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  considerata (v. §§ 2.4 e 3.2.1, NTC), con le ordinate ridotte sostituendo nelle formule 3.2.4  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura definito nelle N.T.C.



#### 4.4 CENNI DI MICROZONAZIONE SISMICA LOCALE E STIMA DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE

Esistono in letteratura diversi metodi per la stima dell'amplificazione sismica in superficie a carattere locale, alcune si basano sull'uso di modelli numerici complessi, che portano allo sviluppo di programmi di calcolo utilizzati per valutare gli effetti di sito sia in condizioni monodimensionali (SHAKE) sia bidimensionali (FLUSH e QUAD 4).

Per una stima più semplificata esistono alcune metodologie basate sulle caratteristiche litostratigrafiche e sulla velocità di propagazione delle onde S nei livelli "superficiali" dei terreni (30 m sono ritenuti essere significativi). Il metodo di Midorikawa (1987) è consigliato nella letteratura per microzonazione sismica di 2° livello; il fattore di amplificazione di picco è calcolato nel seguente modo:

$$Fa = 68 \cdot V_s^{-0.6} \rightarrow \text{per } V_s < 1100 \text{ m/s}$$

$$Fa = 1 \rightarrow \text{per } V_s \geq 1100 \text{ m/s}$$

$$a_{\max}(g) = a_{\text{bedrock}} \cdot Fa$$

Dove:

$V_s$  è la velocità media calcolata nei livelli superficiali fino ad una profondità massima di 30 m o di quella equivalente.

$a_{\max}$  rappresenta l'accelerazione massima di picco sul suolo.

Nel nostro caso, considerando il valore di  $V_{s30}$  ottenuto ed il valore del fattore di amplificazione, applicando lo stesso ai valori di accelerazione massima attesa al sito, con tempo di ritorno massimo si ottengono i seguenti risultati:

$$V_{s30} = 308,00 \text{ m/s}$$

$$Fa = 2,1846$$

SLD:  $a_{\text{bedrock}} = 0,2794 \text{ g/10}$  (fonte <http://www.ingegneriasoft.com>) per un  $Tr = 50$  anni.

$$\text{LSD: } a_{\max}(g) = a_{\text{bedrock}} \times Fa = 0,5985 \text{ m/s}^2$$

SLV:  $a_{\text{bedrock}} = 0,6165 \text{ g/10}$  (fonte <http://www.ingegneriasoft.com>) per un  $Tr = 476$  anni.

$$\text{LSV: } a_{\max}(g) = a_{\text{bedrock}} \times Fa = 1,3206 \text{ m/s}^2$$

Nella scelta dell' $a_{\text{bedrock}}$ , si è preso in considerazione il valore relativo al nodo ricadente nel quadrante in oggetto, che presenta i valori più alti di  $a_{\text{bedrock}}$ , relativi prima ad un  $Tr$  di 50 anni con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800 \text{ m/s}$ ; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14/09/2005), e poi anche ad un  $Tr$  di 476 anni, valore quest'ultimo più cautelativo, che è suggerito per edifici di rilevanza maggiore.



**GEOINGEGNERIA S.E.T. s.r.l.s.**

Dott. Geol. Antonino Cacioppo

Via G. Marconi 127 - Castellammare del Golfo

Tel. 328.4911173 @ [georingegneriasrls@gmail.com](mailto:georingegneriasrls@gmail.com)

## 5. PROFILO SISMICO E CONCLUSIONI

La campagna di indagini sismiche passive effettuata mediante metodologia HVSR eseguita all'interno del sito in oggetto, ha reso possibile analizzare la frequenza di risonanza del terreno in oggetto. Le tracce misurate sono state elaborate mediante il software EasyHVSR.

Sulla base dei dati ottenuti dalla prova e eseguendo delle correlazioni con le conoscenze litostratigrafiche dei luoghi esaminati, è stato possibile ricostruire il seguente profilo sismico in cui sono riportati i valori delle velocità delle onde di taglio ( $V_s$  verticali), ed i parametri elastici ottenuti mediante le espressioni più diffuse in bibliografia. Di seguito riportiamo il profilo sismico più rappresentativo dell'intera area.

### Dati della stratigrafia HVSR 1:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	2.89	17	0.35	181
2	2.89	4.5	18	0.34	202
3	7.39	30	19	0.3	441

### Dati della stratigrafia HVSR 2:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1.41	17	0.35	188
2	1.41	1.58	18	0.34	333
3	2.99	30	20	0.28	646

### Dati della stratigrafia HVSR 3:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	3.29	18	0.35	145
2	3.29	30	21	0.28	388



Dati della stratigrafia HVSR 4:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1.01	18	0.34	112
2	1.01	30	21	0.3	328

Dati della stratigrafia HVSR 5:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1	17	0.35	167
2	1	30	21	0.3	481

Dati della stratigrafia HVSR 6:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1	18	0.38	123
2	1	30	21	0.3	343

Per quanto riguarda l'accelerazione massima attesa al sito, considerando la possibilità di fenomeni di amplificazione sismica locale, in fase di analisi progettuale agli stati limite si consiglia di utilizzare il seguente valore (v. cenni di microzonazione sismica).

$$V_{s30} = 308,00 \text{ m/s}$$

$$F_a = 2,1846 \text{ m/s}^2$$

SLD:  $a_{\text{bedrock}} = 0,2794 \text{ g}/10$  (fonte <http://www.ingegneriasoft.com>) per un  $T_r = 50$  anni.

$$\text{LSD: } a_{\text{max}}(\text{g}) = a_{\text{bedrock}} \times F_a = 0,5985 \text{ m/s}^2$$

SLV:  $a_{\text{bedrock}} = 0,6165 \text{ g}/10$  (fonte <http://www.ingegneriasoft.com>) per un  $T_r = 476$  anni.

$$\text{LSV: } a_{\text{max}}(\text{g}) = a_{\text{bedrock}} \times F_a = 1,3206 \text{ m/s}^2$$

Nella scelta dell' $a^{\text{bedrock}}$ , si è preso in considerazione il valore relativo al nodo ricadente nel quadrante in oggetto, che presenta i valori più alti di  $a$  dell' $a^{\text{bedrock}}$ , relativi prima ad un  $T_r$  di 50 anni con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800 \text{ m/s}$ ; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14/09/2005), e poi anche ad un  $T_r$  di 476 anni, valore quest'ultimo più cautelativo, che è suggerito per edifici di rilevanza maggiore.



La presente relazione non costituisce né relazione geologica né relazione geotecnica, pertanto per la definizione del modello geologico e di quello geotecnico si rimanda ai rispettivi studi specialistici.

Il tecnico responsabile dei calcoli, sulla base della vita nominale dell'opera utilizzata, considererà i valori di accelerazione attesa al sito riferiti ai **tempi di ritorno** per gli stati limite: operatività (SLO), danno (SLD), salvaguardia della vita (SLV), prevenzione del collasso (SLC). I valori dell'accelerazione considerati dovranno essere moltiplicati per il fattore di amplificazione sismica locale ottenuto in precedenza.

Castellammare del Golfo, lì Novembre 2022

GEOINGEGNERIA S.E.T. s.r.l.s.  
IL GEOLOGO

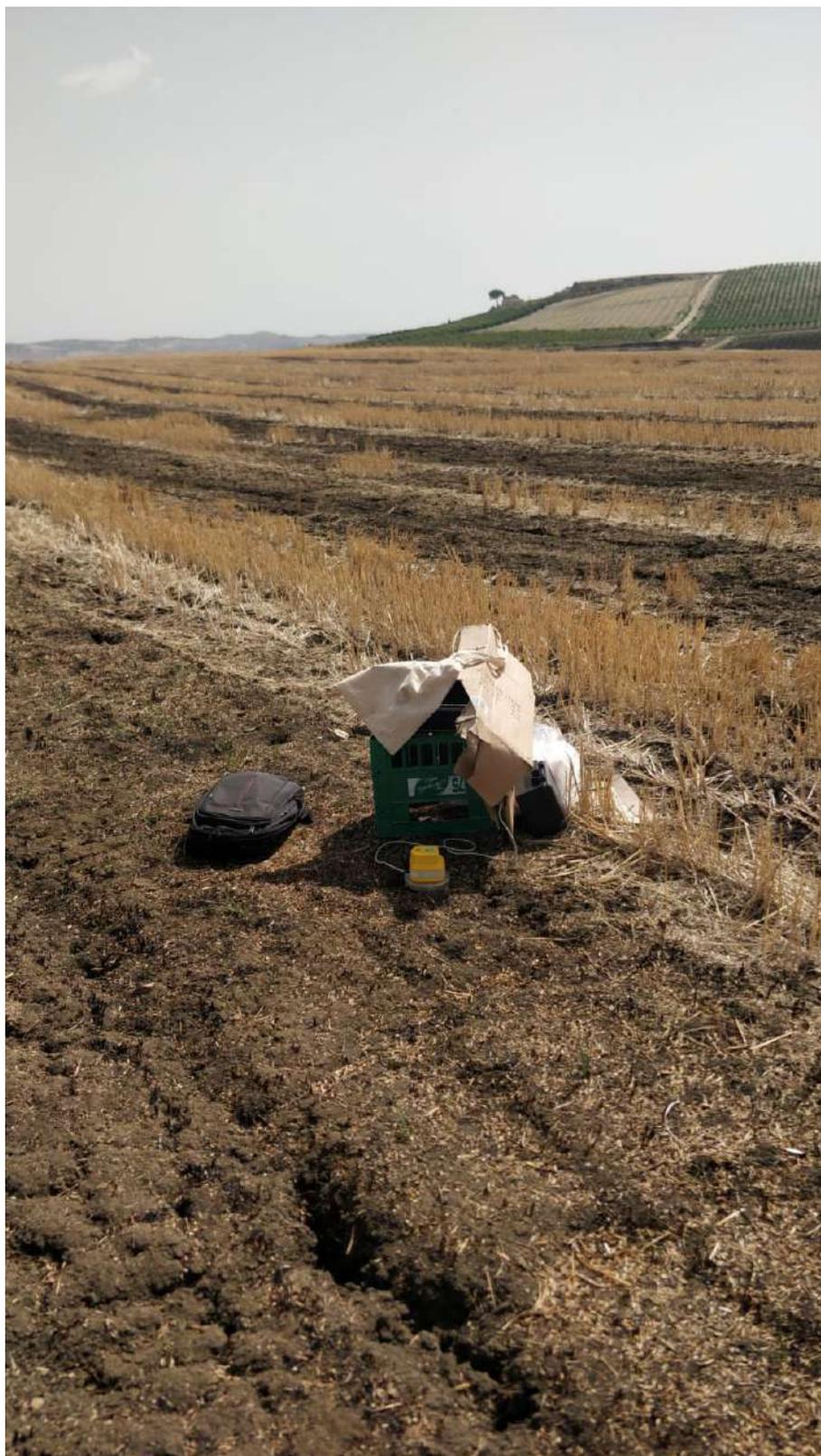


**Documentazione fotografica:**



*H.V.S.R. 1 eseguita in situ – Naro (AG)*





*H.V.S.R. 2 eseguita in situ – Naro (AG)*





*H.V.S.R. 3 eseguita in situ – Naro (AG)*





*H.V.S.R. 4 eseguita in situ – Naro (AG)*





*H.V.S.R. 5 eseguita in situ – Naro (AG)*





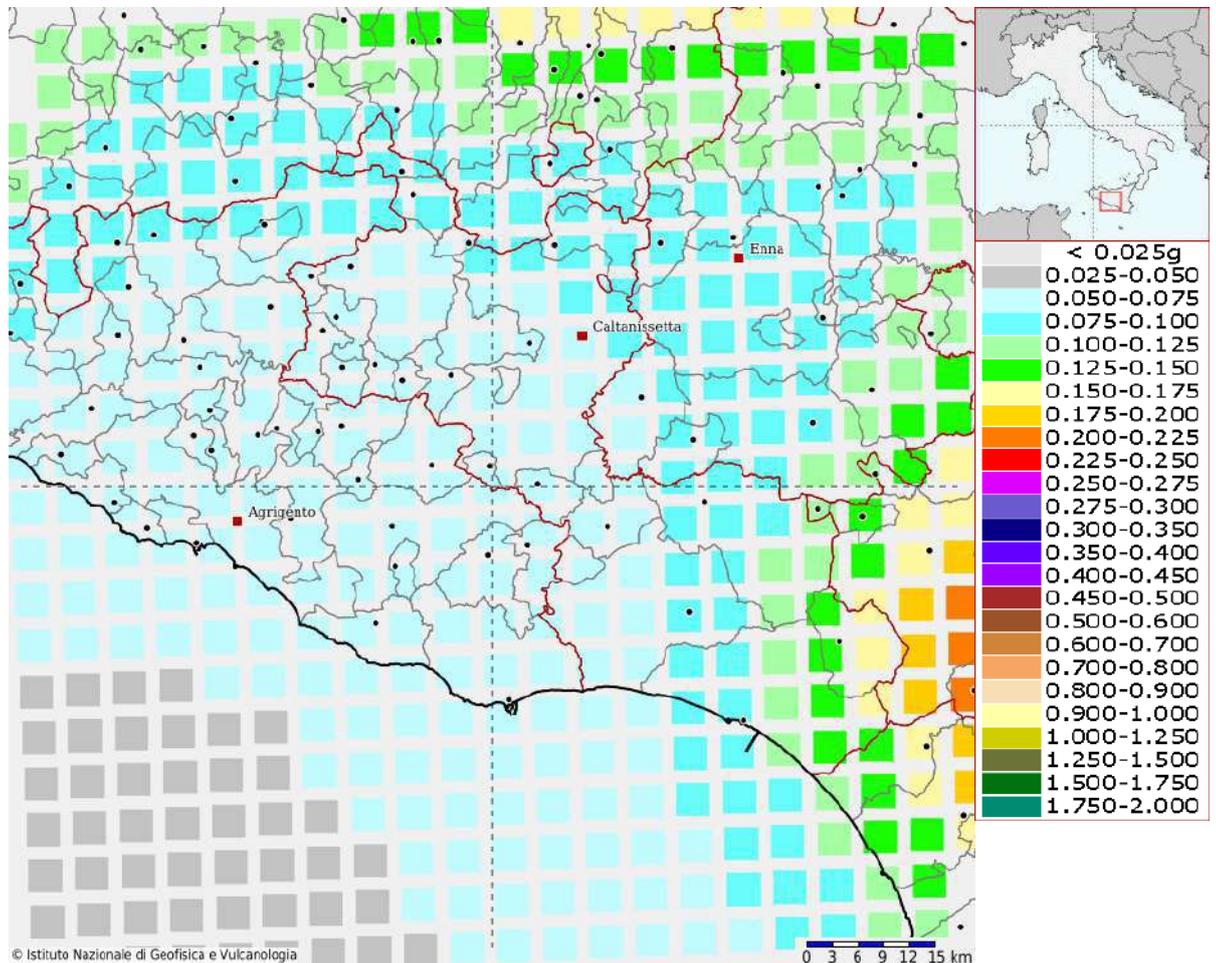
*H.V.S.R. 6 eseguita in situ – Naro (AG)*





### Modello di pericolosità sismica del territorio nazionale MPS04-S1 (2004)

Informazioni sul nodo con ID: 48736 - Latitudine: 37.334 - Longitudine: 13.929



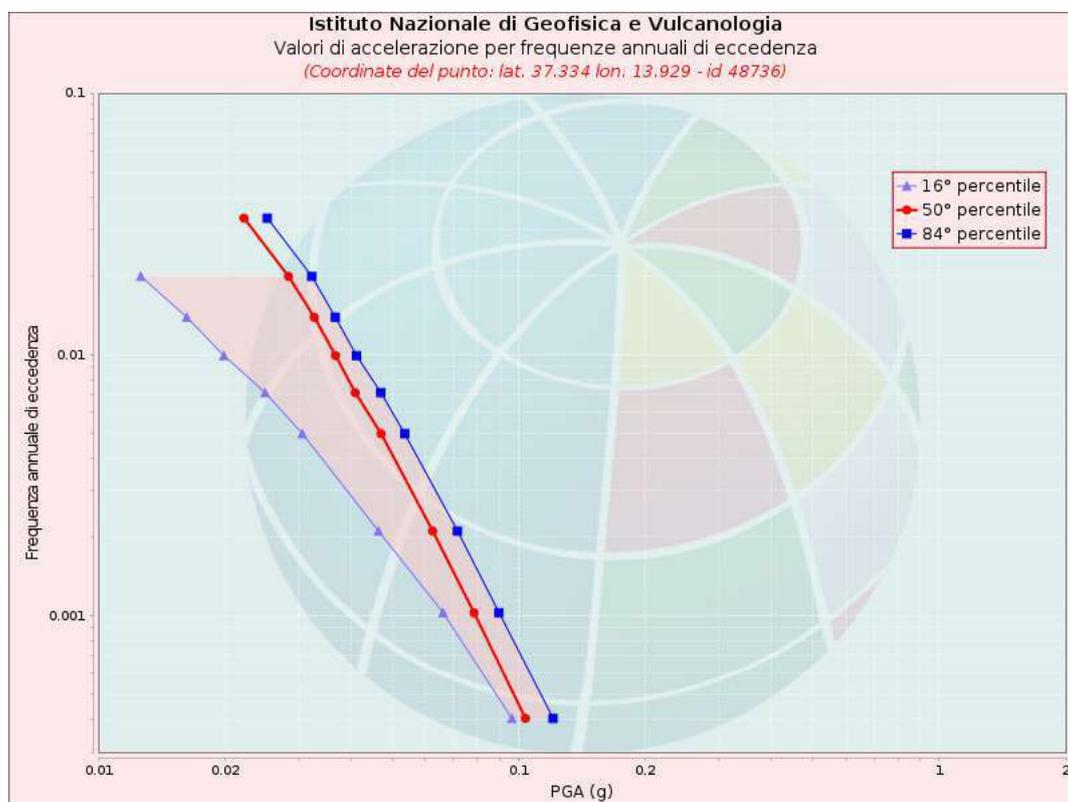
La mappa rappresenta il modello di pericolosità sismica per l'Italia e i diversi colori indicano il valore di scuotimento (PGA = Peak Ground Acceleration; accelerazione di picco del suolo, espressa in termini di g, l'accelerazione di gravità) atteso con una probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni su suolo rigido (classe A,  $V_{s30} > 800$  m/s) e pianeggiante.

Le coordinate selezionate individuano un nodo della griglia di calcolo identificato con l'ID **48736** (posto al centro della mappa). Per ogni nodo della griglia sono disponibili numerosi parametri che descrivono la pericolosità sismica, riferita a diversi periodi di ritorno e diverse accelerazioni spettrali.



## Curva di pericolosità

La pericolosità è l'insieme dei valori di scuotimento (in questo caso per la PGA) per diverse frequenze annuali di eccedenza (valore inverso del periodo di ritorno). La tabella riporta i valori mostrati nel grafico, relativi al valore mediano (50mo percentile) ed incertezza, espressa attraverso il 16° e l'84° percentile.



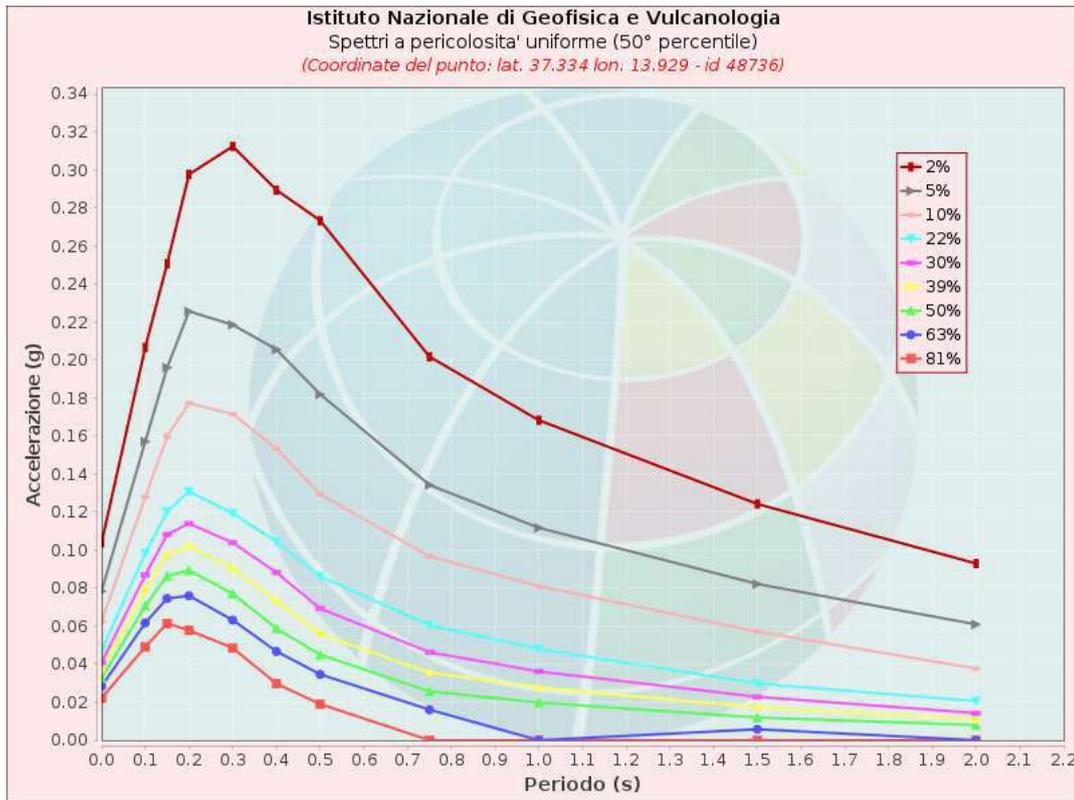
Valori di accelerazione per frequenze annuali di eccedenza			
Frequenza annuale di ecc.	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.096	0.104	0.121
0.0010	0.066	0.078	0.090
0.0021	0.046	0.062	0.072
0.0050	0.031	0.047	0.054
0.0071	0.025	0.041	0.047
0.0099	0.020	0.037	0.041
0.0139	0.016	0.033	0.037
0.0199	0.013	0.028	0.032
0.0332	0.000	0.022	0.025



## Spettri a pericolosità uniforme

Gli spettri indicano i valori di scuotimento calcolati per 11 periodi spettrali, compresi tra 0 e 2 secondi. La PGA corrisponde al periodo pari a 0 secondi. Il grafico è relativo alle stime mediane (50mo percentile) proposte dal modello di pericolosità.

I diversi spettri nel grafico sono relativi a diverse probabilità di eccedenza (PoE) in 50 anni. La tabella riporta i valori mostrati nel grafico.



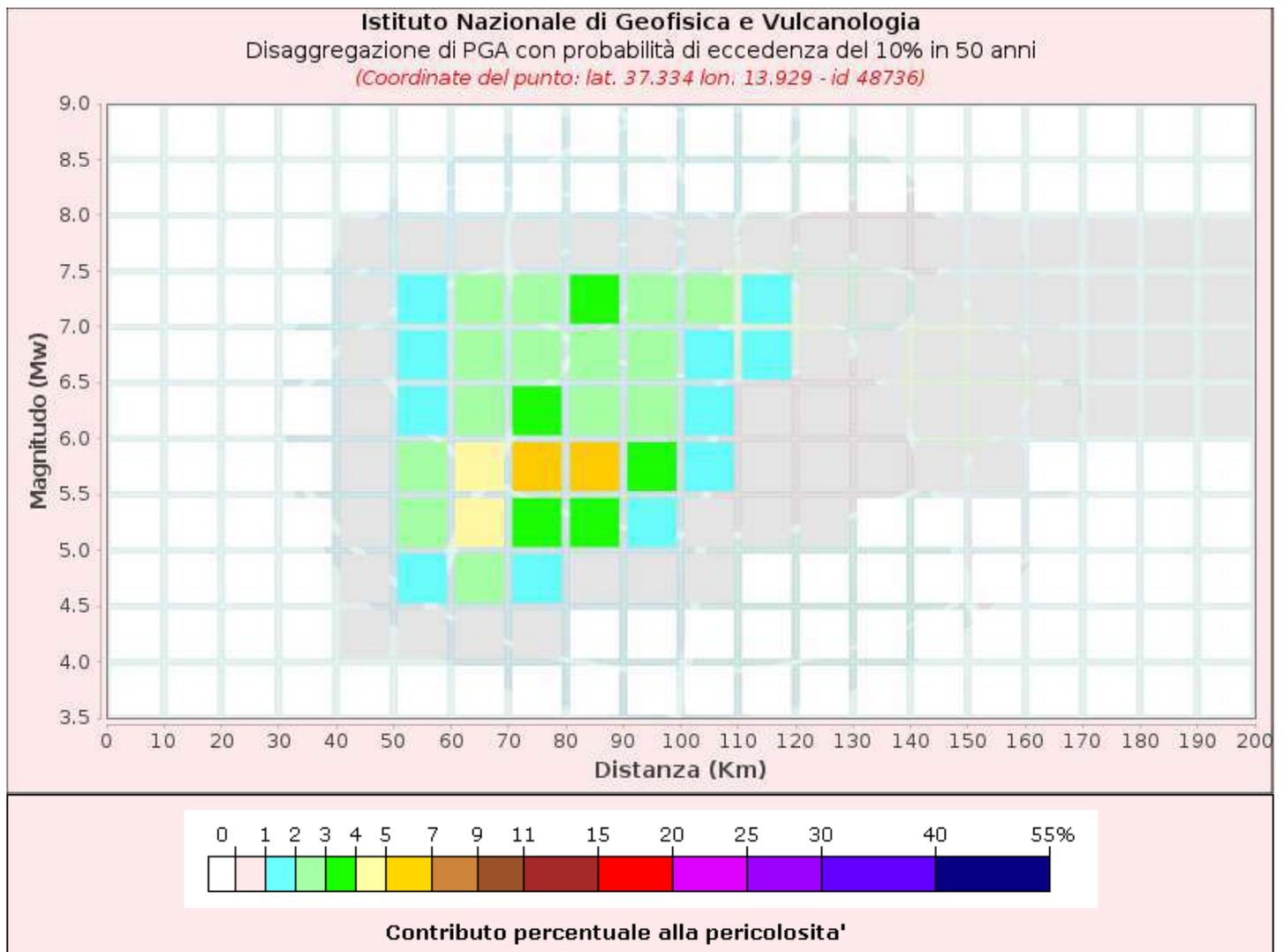
Spettri a pericolosità uniforme (50° percentile)											
PoE	Accelerazione (g)										
in 50	Periodo (s)										
anni	0.0	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
2%	0.104	0.207	0.251	0.298	0.312	0.290	0.273	0.202	0.168	0.124	0.093
5%	0.078	0.157	0.196	0.226	0.219	0.206	0.182	0.134	0.112	0.082	0.061
10%	0.062	0.128	0.160	0.177	0.172	0.153	0.129	0.097	0.081	0.057	0.038
22%	0.047	0.098	0.120	0.131	0.119	0.105	0.086	0.061	0.048	0.030	0.021
30%	0.041	0.087	0.108	0.114	0.104	0.088	0.069	0.046	0.036	0.023	0.014
39%	0.037	0.079	0.098	0.102	0.090	0.073	0.056	0.036	0.028	0.017	0.011
50%	0.033	0.071	0.086	0.089	0.077	0.059	0.045	0.026	0.020	0.012	0.008
63%	0.028	0.062	0.075	0.076	0.063	0.047	0.035	0.016	0.000	0.006	0.000
81%	0.022	0.049	0.061	0.058	0.049	0.030	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000



## Grafico di disaggregazione

Il grafico rappresenta il contributo percentuale delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza epicentrale alla pericolosità del nodo, rappresentata in questo caso dal valore della PGA mediana, per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

La tabella riporta i valori mostrati nel grafico ed i valori medi di magnitudo, distanza ed epsilon.





Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

Distanza in Km	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0009	0.0076	0.0164	0.0249	0.0292	0.0275	0.0212	0.0034	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.3980	1.7800	2.3400	2.4500	1.7200	1.5500	1.2800	0.2100	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.3410	2.8100	4.3100	4.6500	2.8600	2.6800	2.4300	0.4190	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0074	1.6000	3.9600	5.1100	3.0100	2.9000	2.8700	0.5210	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.6380	3.2300	5.2200	2.9200	2.8100	3.0200	0.5730	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0859	1.5000	3.2100	2.1200	2.3100	2.6800	0.5300	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0007	0.4480	1.4100	1.3300	1.8100	2.2500	0.4640	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0688	0.4870	0.7130	1.1300	1.5000	0.3190	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0007	0.1220	0.1990	0.2960	0.4200	0.0925	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0520	0.1020	0.1470	0.2190	0.0494	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0160	0.0902	0.1870	0.2970	0.0690	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0643	0.1920	0.3280	0.0785	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0407	0.1790	0.3290	0.0811	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0247	0.1590	0.3170	0.0805	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0120	0.1060	0.2280	0.0595	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0087	0.0669	0.1530	0.0412	0.0000	0.0000

Valori Medi: magnitudo = 6.18 ; distanza = 82.7 ; epsilon = 1.55



## Riferimenti

La descrizione della costruzione del modello di pericolosità sismica MPS04 è contenuta nel sito <http://zonesismiche.mi.ingv.it>

La descrizione della stima di tutti i parametri è contenuta nel sito <http://esse1.mi.ingv.it> , da cui si può accedere anche alle mappe interattive.

Per quanto riguarda le analisi di disaggregazione, i dettagli sono disponibili nella pagina del deliverable D14 del progetto S1 (<http://esse1.mi.ingv.it/d14.html>).

La pubblicazione scientifica di riferimento è:

Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Crowley H., Calvi G.M., Boschi E., 2011. Seismic Hazard Assessment (2003-2009) for the Italian Building Code. Bull. Seismol. Soc. Am. 101(4), 1885-1911. DOI: 10.1785/0120100130.

---