

Variante alla SS12 da Buttapietra
alla tangenziale SUD di Verona

PROGETTO DEFINITIVO

COD. VE29

PROGETTAZIONE: RAGGRUPPAMENTO PROGETTISTI	MANDATARIA:  Sigeco Engineering	MANDANTI:  IDRO.STRADE s.r.l.  No.Do. e Servizi s.r.l. Società di Ingegneria  Barci Engineering	 SANDRO D'AGOSTINI INGEGNERE
IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE: <i>Ing. Antonino Alvaro – SIGECO ENGINEERING srl Ordine Ingegneri Provincia di Cosenza n. A282</i>		IL PROGETTISTA: <i>Arch. Giuseppe Luciano – SIGECO Eng. srl Ordine Architetti di Reggio Cal. n. A2316 Ing. Francesco Tucci – IDROSTRADE srl Ordine Ingegneri Cosenza n. A922 Ing. Carmine Guido – NO.DO. e Serv. srl Ordine Ingegneri Cosenza n. A1379 Ing. Sandro D'Agostini – Ordine Ingegneri Belluno n. A457 Ing. Antonio Barci – BARCI Eng. srl Ordine Ingegneri Cosenza n. A1003</i>	
IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE: <i>Arch. Giuseppe Luciano – SIGECO ENGINEERING srl Ordine Architetti Provincia di Reggio Calabria n. A2316</i>		GRUPPO DI PROGETTAZIONE: <i>Ing. Giovanni Costa – Steel Project Engineering – Ordine Ingegneri Livorno n. A1632 Arch. Alessandra Alvaro – SIGECO Eng. srl Ordine Architetti Cosenza n. A1490 Ing. Gaetano Zupo – SIGECO Eng. srl Ordine Ingegneri Cosenza n. A5385 Geom. Giuseppe Crispino – SIGECO Eng. srl Collegio Geometri Potenza n. 2296 Ing. Paola Tucci – IDROSTRADE srl Ordine Ingegneri Cosenza n. A5488 Ing. Mario Perri – IDROSTRADE srl Ordine Ingegneri Cosenza n. A3784 Arch. Simona Tucci – IDROSTRADE srl Ordine Ingegneri Cosenza n. A1637 Ing. Roberto Scrivano – NO.DO. e Serv. srl Ordine Ingegneri Cosenza n. A2061 Ing. Emiliano Domestico – NO.DO. e Serv. srl Ordine Ingegneri Cosenza n. A5501 Geol. Carolina Simone – NO.DO. e Serv. srl Ordine Geologi della Calabria n. 730 Ing. Giorgio Barci – BARCI Eng. srl Ordine Ingegneri Prov. di Cosenza n. A5873 Dott.ssa Laura Casadei – Kora s.r.l. – Iscr. el. Operatori abilitati Archeologia Prev. n. 2248</i>	
I GEOLOGI: <i>Dott. Geol. Domenico Carrà – SIGECO Eng. srl Ordine Geologi della Calabria n. 641 Dott. Geol. Francesco Molinaro – SIGECO Eng. srl Ordine Geologi della Calabria n. 1063</i>			
VISTO:IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO: <i>Ing. Antonio Marsella</i>			
PROTOCOLLO:	DATA:		

DOCUMENTAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

CODICE PROGETTO		NOME FILE			REV.	SCALA:
CO ME0029 D 2001		TOOGE00GEOINO6				
CODICE ELAB.		T O O G E O G E O I N O 6			A	
D						
C						
B						
A	Emissione	Dic.2021		Geol. D. Carrà	Arch. G. Luciano	Ing. A. Alvaro
REV.	DESCRIZIONE	DATA	SOCIETA'	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

vicenzetto

EARTH WATER AND CLIFF

COMMITTENTE: ANAS S.p.A.

**OGGETTO: Contratto applicativo n. 4
Class. Amm. VE29_VE.18.03.L4.C4**

**PROGETTO: S.S. N.12 “DELL’ABETONE E DEL
BRENNERO” – VARIANTE ALLA S.S. 12 DA
BUTTAPIETRA ALLA TANGENZIALE SUD
DI VERONA**

Indagini geofisiche

VICENZETTO Srl

via Marconi n°8, 35040 Villa Estense (Padova) Italia - Telefono +39 0429 91798 - Fax +39 0429 91200
Cap. Soc.e 99.000 Euro i.v. - C.F./ P.IVA 01391790282 - Reg. Imp. di Padova n° 01391790282 REA n° 208275
info@vicenzetto.it - pec: vicenzetto@legalmail.it - www.vicenzetto.it

LABORATORIO AUTORIZZATO:

- Art.59 DPR numero 380/2001 Circolare Ministeriale 7618/STC
- Sistema qualità certificato ISO9001:2008 n° Q - 2189 - 15 - QCB
- Qualificazione SOA OS 20-B class. IV numero 502687/10/00 - CQOP

Sommario

1.	PREMESSA	3
2.	METODOLOGIE DI INDAGINI GEOFISICHE	4
3.	INDAGINE SISMICA CON METODO MASW ATTIVO	5
4.	RISULTATI PROSPEZIONI MASW	6
5.	INDAGINE SISMICA CON METODO HVSR.....	12
15.1	RISULTATI INDAGINE SISMICA PASSIVA (HVSR)	15

1. PREMESSA

Nella presente relazione si espongono, in maniera descrittiva, i risultati delle indagini geognostiche eseguite su incarico di ANAS S.p.A. nell'ambito della Variante alla S.S. 12 da Buttapietra alla Tangenziale Sud di Verona.

A seguito delle indagini geotecniche, sono state eseguite n. 1 MASW e n. 4 HVSR per caratterizzare la sismicità dell'area.

Tutte le fasi lavorative sono state svolte in accordo con la Direzione Lavori.

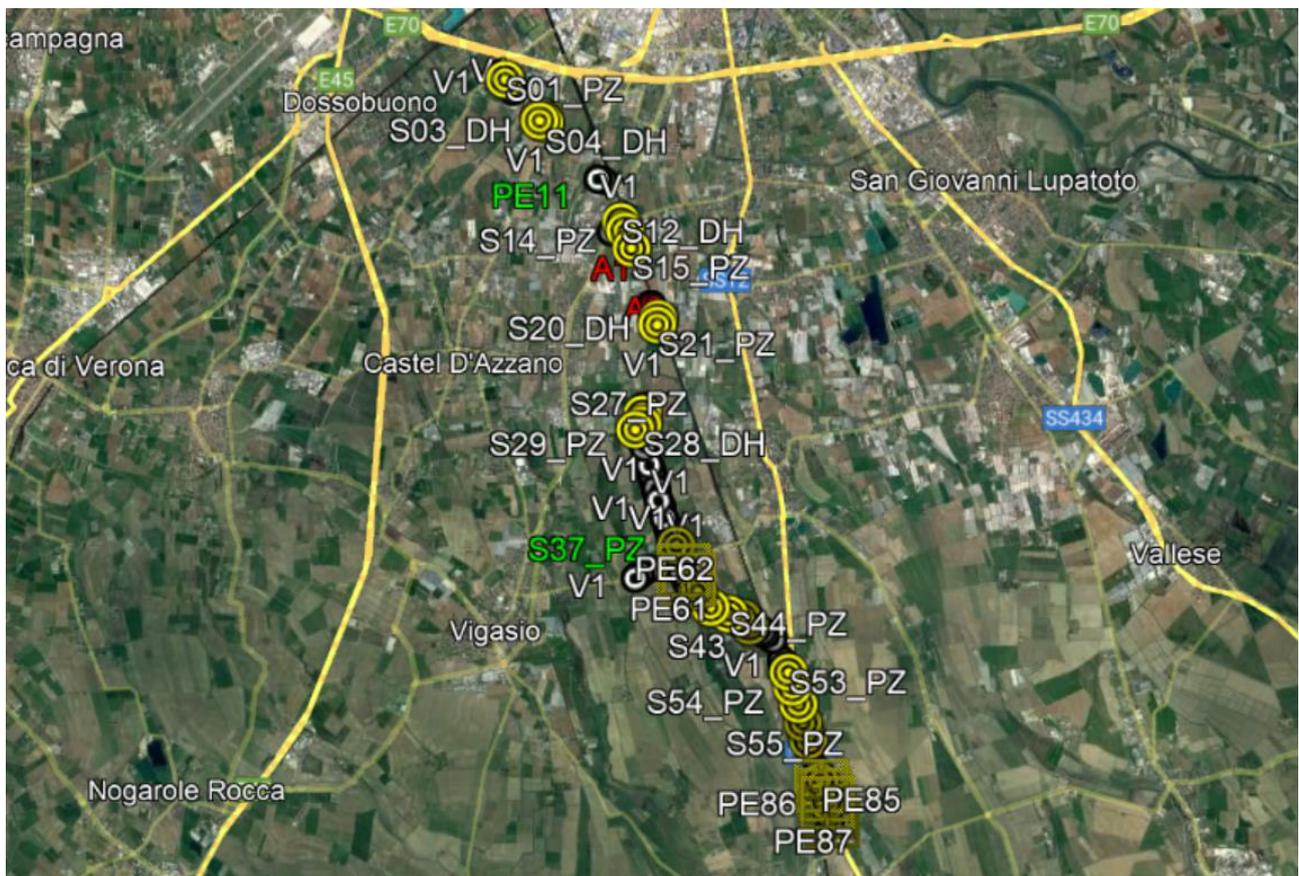


Figura 1.1: Ubicazione delle indagini eseguite

2. METODOLOGIE DI INDAGINI GEOFISICHE

La campagna di misure geofisiche condotta, è consistita in indagini sismiche di superficie con metodologia MASW e HVSR e in foro attraverso la tecnica del down-hole. Di seguito si riporta una breve descrizione dei principi base delle tecniche d'indagine e i relativi risultati.



Figura 1: Strumentazione impiegata per le prove sismiche mediante metodologia MASW (in alto a sinistra), HVSR (in alto a destra) e down-hole (in basso).

3. INDAGINE SISMICA CON METODO MASW ATTIVO

Lo scopo della prova MASW è quello di ricostruire il profilo di rigidità del sito tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di superficie di Rayleigh con un successivo processo d'inversione, attraverso il quale è fornita una stima indiretta della distribuzione delle Vs (velocità di propagazione delle onde di taglio). La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione dinamica verticale in un determinato campo di frequenze e nel registrare tramite uno stendimento lineare di sensori (geofoni) le vibrazioni prodotte, in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

Il profilo che si ricava da questo tipo di indagine è un profilo monodimensionale Vs-Profondità che generalmente, in presenza di stratigrafie costituite da orizzonti piano paralleli, può essere attribuito convenzionalmente alla stratigrafia relativa al centro dello stendimento, in quanto si assume che lungo tutto lo sviluppo dello stendimento la stratigrafia rimanga invariata.

In riferimento all'acquisizione di onde S con tecnica di sismica attiva (prova MASW), sono state adottate le seguenti caratteristiche:

- 24 geofoni verticali (frequenza di 4,5 Hz); Spaziatura dei geofoni: 2 metri;
- sorgente: massa da 8 kg; Distanza energizzazioni: 1-2-3-4-5 volte la spaziatura;
- Lunghezza registrazione del singolo evento: 2000 millisecondi;
- Campionamento del segnale: 1 millisecondi.

STRUMENTAZIONI UTILIZZATE

N°	Strumentazione per prove sismiche attive di superficie (MASW)
1	Sismografo Echo 24-48 2010 prodotto dalla Ambrogeo s.r.l. di Piacenza (PC)
1	Toughbook Panasonic CF-19
24	geofoni verticali con frequenza 4,5 Hz (Geospace)
1	cavo di collegamento per geofoni 24 take-out/2,0-5,0 metri
1	massa battente del peso di 8 kg
1	linea trigger con dispositivo hammer-switch

4. RISULTATI PROSPEZIONI MASW

MASWI

L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 m di profondità.

Di seguito si riportano le immagini relative all'analisi ω -p (trasformata τ -p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

L'inversione della curva di dispersione con il metodo *phase shift* utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

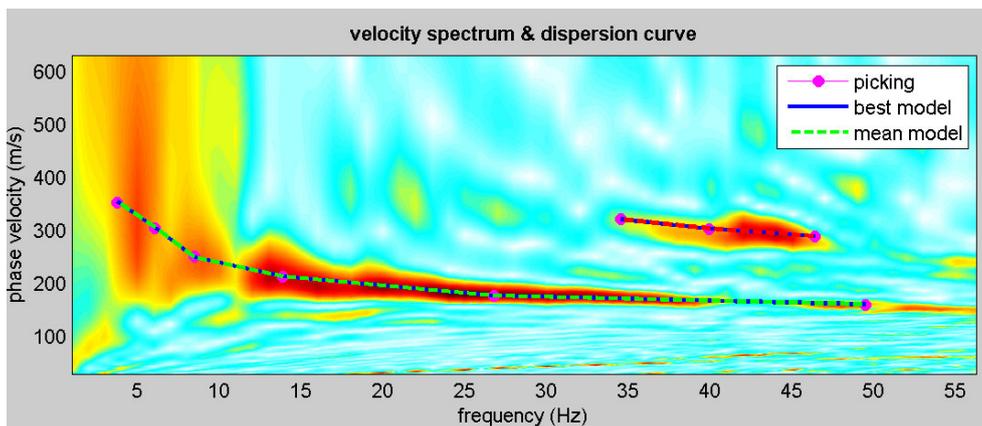


Figura 2: Modo fondamentale relativo al segnale sismico registrato in situ.

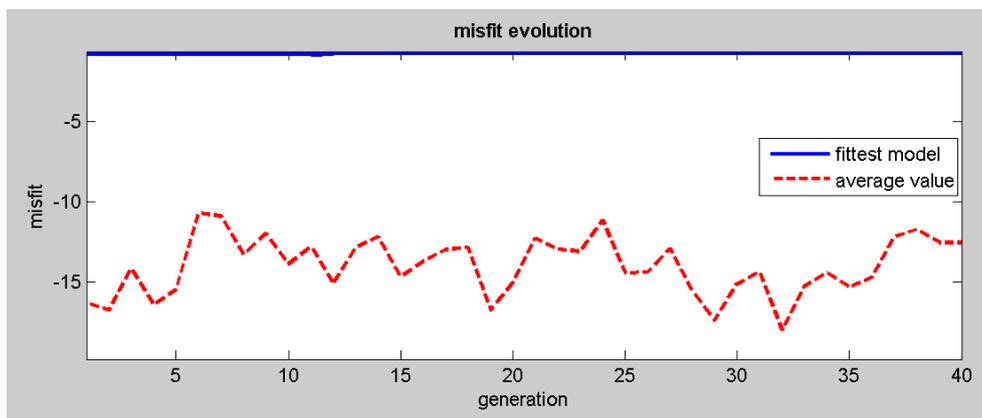


Figura 3: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

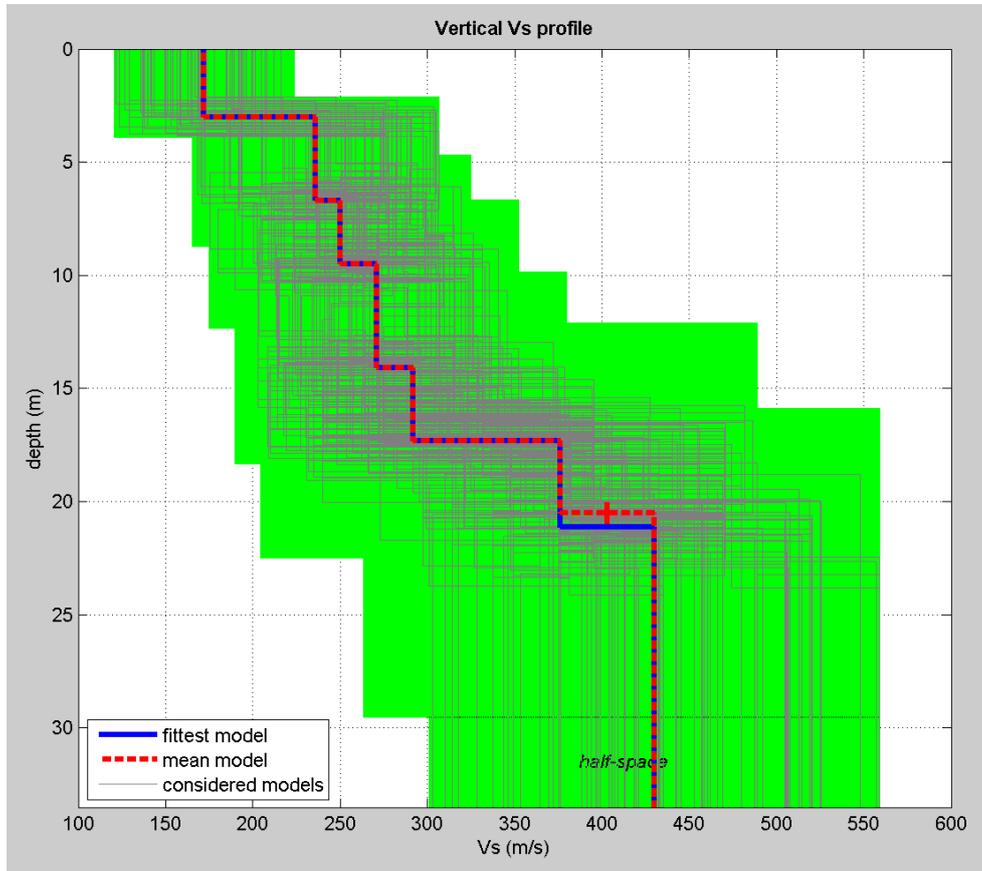


Figura 4: Modello risultante dall'inversione dei dati.

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza di 2.0 m.

La $V_{s,eq}$ è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

Nel caso specifico è risultato:

$$V_{s,eq} = 291.76 \text{ m/s}$$

Si tratta quindi di un **suolo di tipo C** ($S_s = 1.5$ secondo le NTC 2018).

In allegato, vengono inoltre fornite tabelle recanti la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico relativo, ricavato considerando una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni).

Tale condizione corrisponde allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (secondo NTC).



Figura 5: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova MASW1.



Figura 6: Foto relativa all'esecuzione della prova MASW1.

CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW1

Data: marzo 2021

Località Isola della Scala (VR)

Coordinate LAT 45.317189; LONG 10.998082 (WGS84 gradi decimali)

Metodo di indagine MASW

Strumentazione utilizzata Sismografo Echo 24-2010 a 24 Canali, 24 bits

Metodo di energizzazione Mazza da 8 kg

Geometria stendimento: 24 geofoni - interasse 2.0 m

RISPOSTA SISMICA LOCALE

±

(si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori del Coeff. Cc e del coeff di amplificazione S)

Categorie di sottosuolo di fondazione:

		Ss	Cc	S=S _s *S _r
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.			
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s			
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	1.5	1.6	1.5
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.			
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.			

I parametri a/g, F₀ e T* vengono forniti dalla normativa

Categorie topografiche

		St	
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1	
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2	valore alla sommità del pendio
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2	valore della cresta del rilievo
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4	valore della cresta del rilievo

Le sovraesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO @ 5% SMORZAMENTO – COMP. ORIZZONTALE (NTC 2018)

Possibilità di superamento del 10% in 50 anni

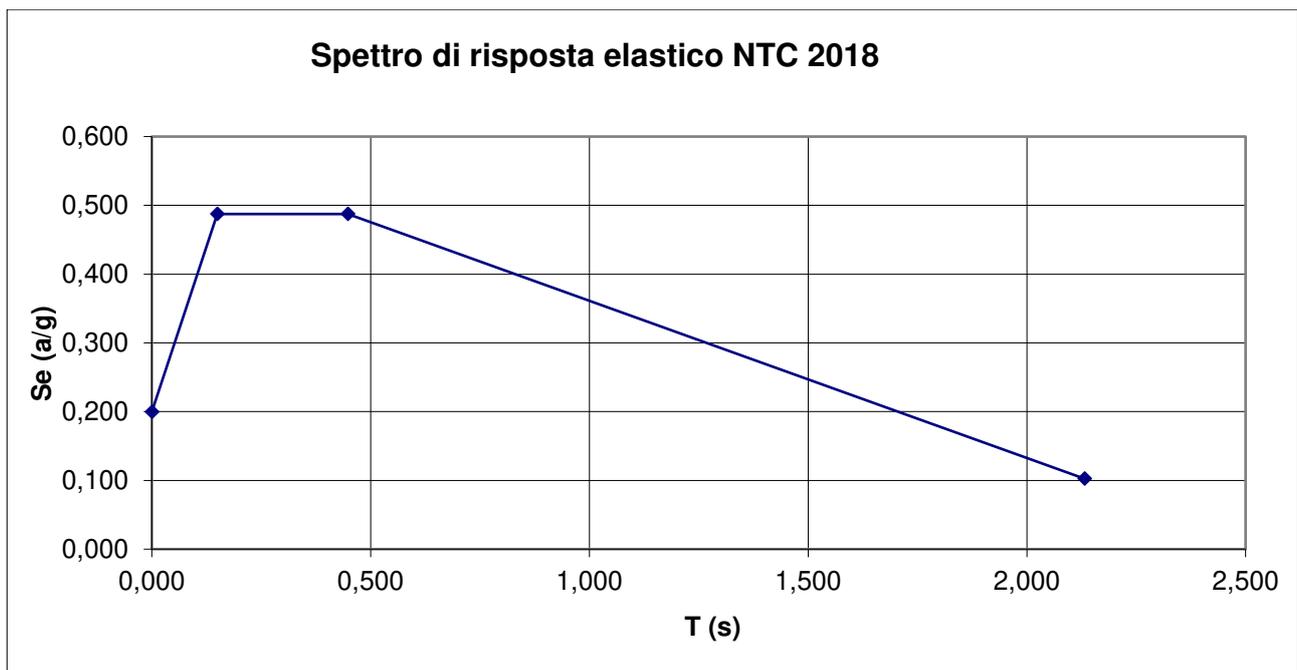
$$T_0 = a_g \cdot S$$

$$T_b = T_c / 3$$

$$T_c = C_c \cdot T_c$$

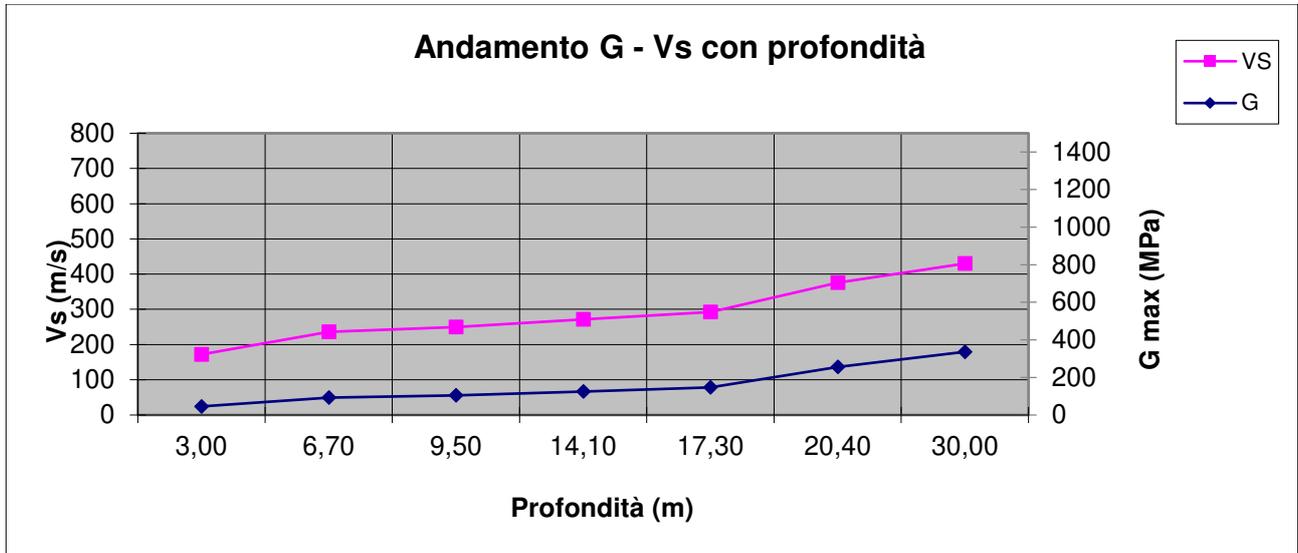
$$T_d = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$$

Ascisse (s)	Ordinate (g)
0,000	0,200
0,149	0,487
0,448	0,487
2,132	0,102



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
3,00	1,55	172	46
6,70	1,67	236	93
9,50	1,68	250	105
14,10	1,70	271	125
17,30	1,73	292	147
20,40	1,81	376	256
30,00	1,82	430	336

$V_{s,eq} = 291.76 \text{ m/s}$



5. INDAGINE SISMICA CON METODO HVSR

Come detto sopra, sono state condotte anche delle indagini geofisiche a tecnica passiva (HVSR); sono state infatti eseguite delle registrazioni al fine di evidenziare le caratteristiche di risposta sismica in termini di frequenza caratteristica del sito in base ai valori d'impedenza sismica rilevata.

I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo rivelano principalmente la frequenza caratteristica di risonanza del sito. Essa rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nel realizzare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, al fine di evitare effetti di "doppia risonanza", estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi.

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

1. dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s ,
2. dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda),
3. dalla risposta dello strumento.

Possiamo esprimere questo concetto come:

segnale registrazione al sito x = sorgente * effetti di percorso * 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.

Nel tragitto dalla sorgente s al sito per 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 scartate 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.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un Tromografo digitale "TROMINO", prodotto da Micromed S.p.a., dotato di n. 3 sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente.

L'accorgimento adottato è stato quello di verificare che i geofoni fossero posizionati in bolla e che la loro componente longitudinale fosse rivolta verso Nord. Il tempo di acquisizione è stato di 20 minuti e le finestre temporali prese in considerazione per l'acquisizione sono di 20 secondi ciascuna.

La relazione che si applica per il calcolo della profondità delle superfici con i maggiori contrasti di impedenza è la seguente:

$$T_s = 2\pi / \omega = 4H / V_s \quad (1)$$

dove:

- T_s = periodo della vibrazione (s)
- ω = frequenza misurata (rad)
- H = profondità del sismostrato (m)
- V_s = velocità delle onde di taglio (m/s)

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 è potuto ricavare il valore di frequenza caratteristica di ogni sito.

STRUMENTAZIONI UTILIZZATE

N°	Strumentazione per prove HVSR
1	Sismografo-Tromografo digitale "TROMINO", prodotto da Micromed S.p.a.
1	2 Batterie 1.5 V
1	Bussola per corretto orientamento della stazione sismica

CONDIZIONI DI CONGRUITA'

La prima condizione, prima di procedere all'estrazione di qualsiasi informazione e interpretazione, riguarda la verifica di "congruità" della curva H/V; in pratica bisogna verificare l'attendibilità della curva ottenuta secondo i seguenti criteri:

- 1) f_0 (freq. di picco) $> 10 / l_w$ (lunghezza finestra temporale); questa condizione è proposta in maniera tale che, alla frequenza di interesse, in ogni finestra ci siano almeno 10 cicli significativi (tab. 1). Se i dati lo permettono è possibile verificare se la condizione f_0 (freq. di picco) $> 20 / l_w$, il che renderebbe il picco eventuale ancora più significativo, ma questo non è d'obbligo.
- 2) C'è bisogno di un grande numero di cicli e di finestre: quando si usa la selezione automatica delle finestre temporali con i parametri di default, il n. totale di cicli significativi: $nc = l_w \cdot n_w \cdot f_0$ deve essere > 200 (che significa che ad esempio per un picco di 1 Hz, ci siano almeno 20 finestre da 10 secondi ciascuna, o per un picco da 0.5 Hz ci siano 10 finestre da 40 s).
- 3) È necessario che ci sia un valore di scattering basso tra tutte le finestre: deviazioni standard elevate spesso sono dovute a rumore ambientale non stazionario che può perturbare il segnale e tradursi in un risultato non significativo relativamente alla determinazione del picco di frequenza H/V. Comunque si raccomanda che $\sigma_A(f)$ sia minore di un fattore 2 (per $f_0 > 0.5$ Hz), o un fattore 3 (per $f_0 < 0.5$ Hz), in un range di frequenze di almeno $[0.5f_0, 2f_0]$.

f_0 [Hz]	Minimum value for l_w [s]	Minimum number of significant cycles (nc)	Minimum number of windows	Minimum useful signal duration [s]	Recommended minimum record duration [min]
0.2	50	200	10	1000	30'
0.5	20	200	10	400	20'
1	10	200	10	200	10'
2	5	200	10	100	5'
5	5	200	10	40	3'
10	5	200	10	20	2'

Tabella 1: Durata delle registrazioni raccomandata.

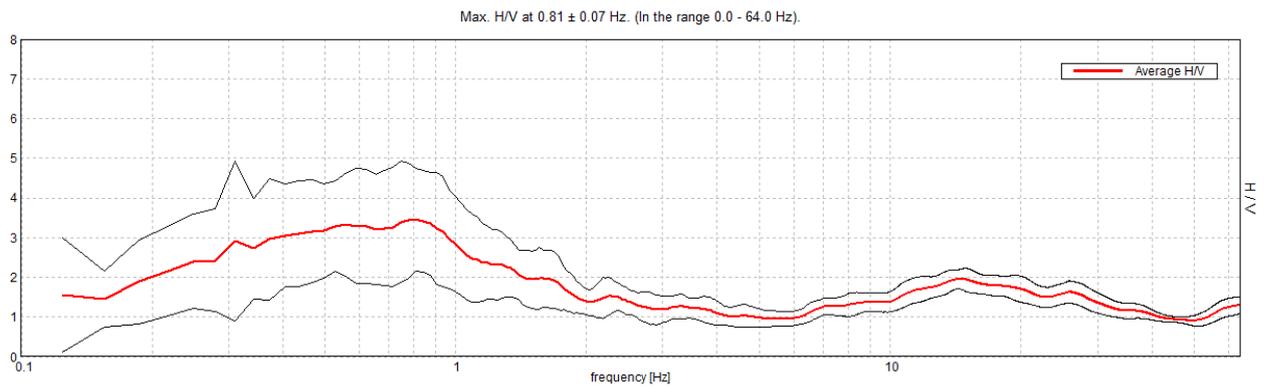
Nel nostro caso specifico è sempre stata utilizzata una durata di 20' (1200 s) e un valore delle finestre temporali di 20 s. Di seguito si riportano le curve H/V ottenute.

15.1 RISULTATI INDAGINE SISMICA PASSIVA (HVSR)

HVSR02

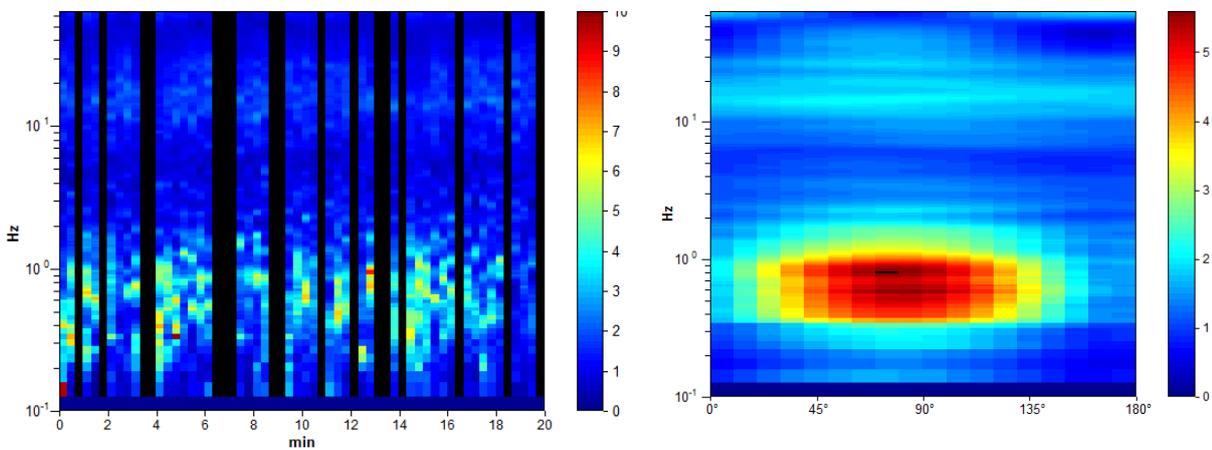
Strumento: TRZ-0153/01-11 Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51
 Inizio registrazione: 15/03/21 14:50:18 Fine registrazione: 15/03/21 15:10:18
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN Dato GPS non disponibile
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 72% tracciato (selezione manuale)
 Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

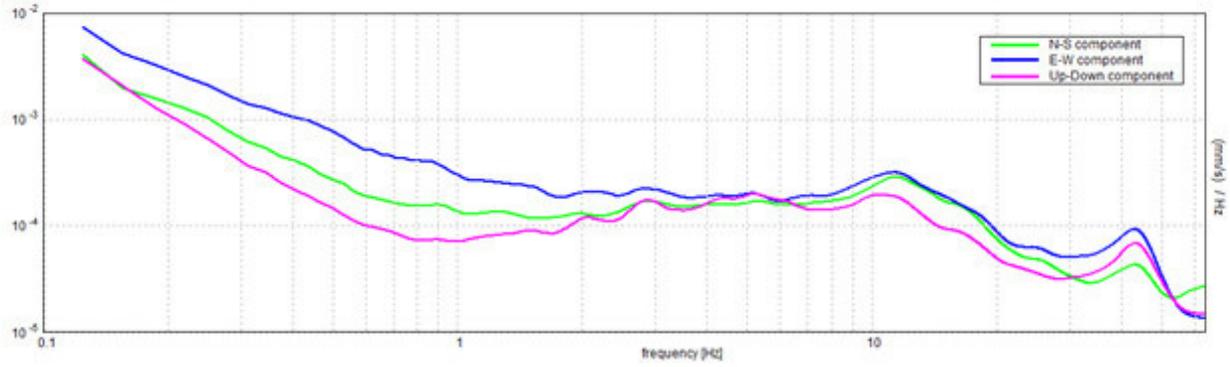


SERIE TEMPORALE H/V

DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente.**]

Picco H/V a 0.81 ± 0.07 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.81 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$698.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 40	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.781 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.45 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04208 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.03419 < 0.12188$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.6364 < 2.0$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



Figura 7: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSR02.

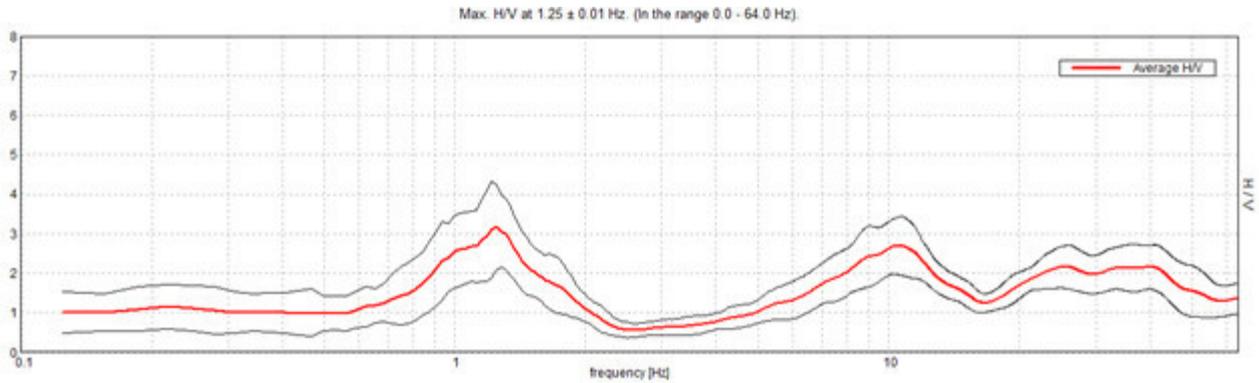


Figura 8: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR02.

HVSR04

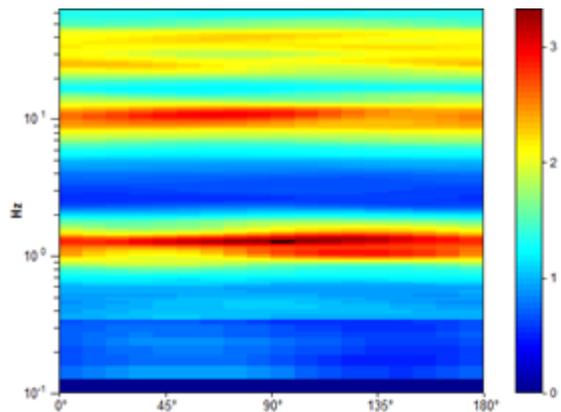
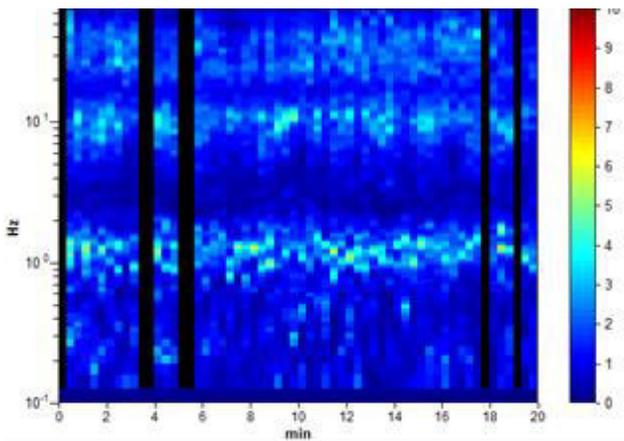
Strumento: TRZ-0153/01-11 Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51
 Inizio registrazione: 05/03/21 10:54:21 Fine registrazione: 05/03/21 11:14:22
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN Dato GPS non disponibile
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 88% tracciato (selezione manuale)
 Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

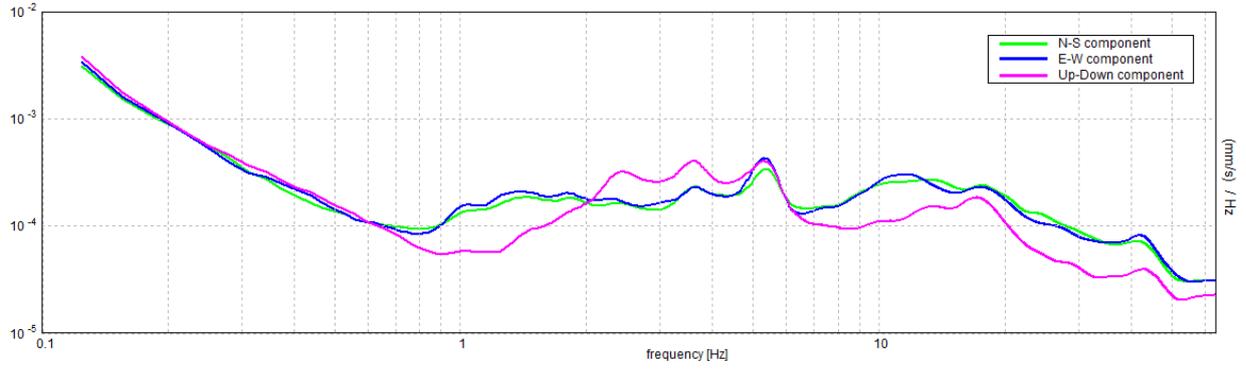


SERIE TEMPORALE H/V

DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente.**]

Picco H/V a 1.25 ± 0.01 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.25 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1325.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 61	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.781 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.813 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.16 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00316 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00396 < 0.125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5365 < 1.78$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

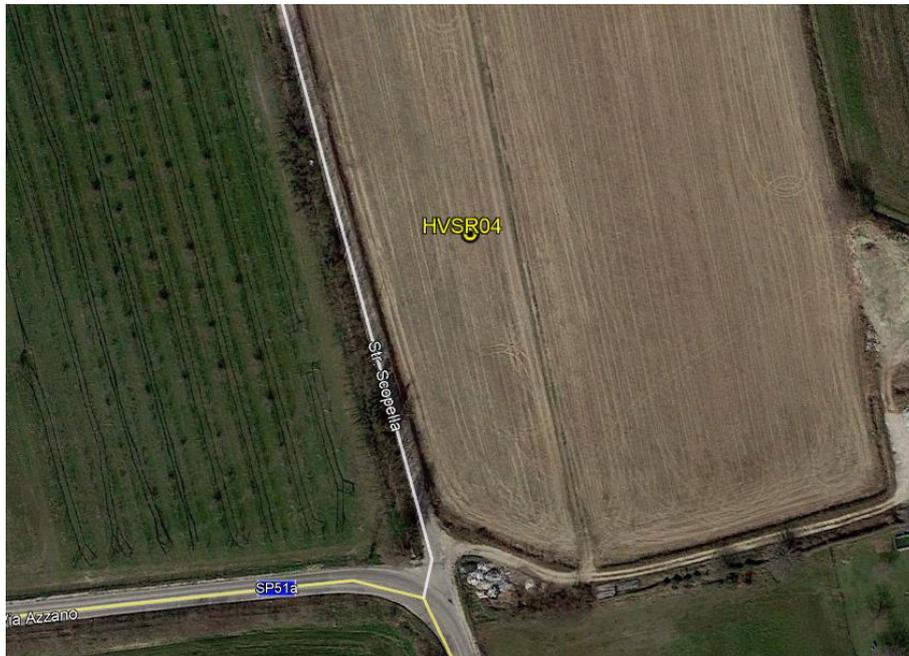


Figura 9: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSR04.

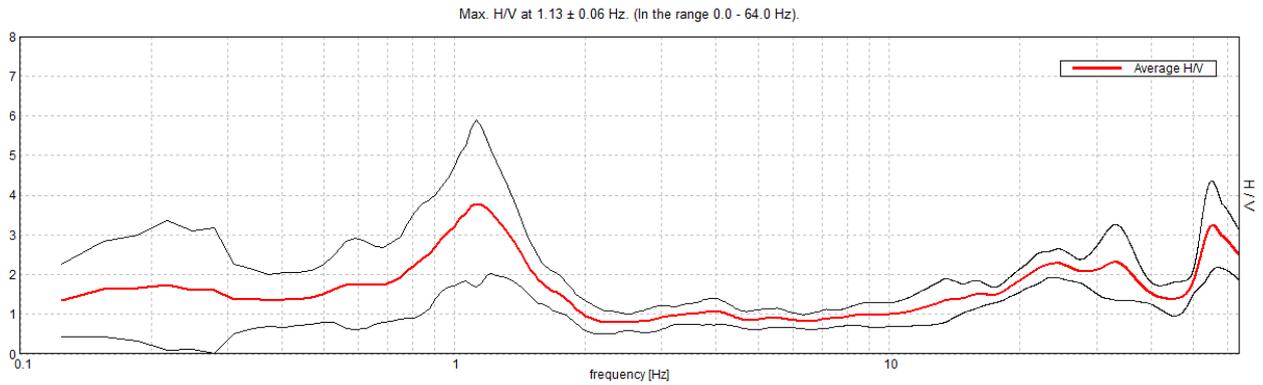


Figura 10: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR04.

HVSR05

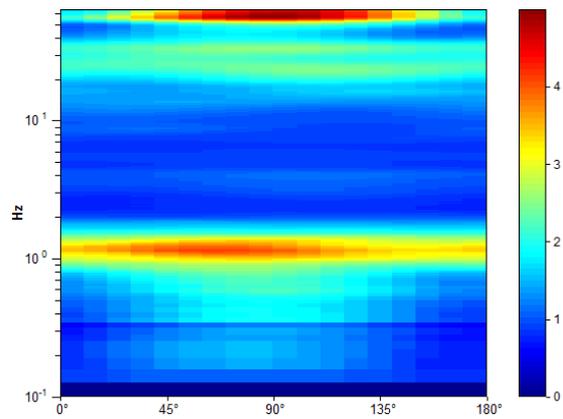
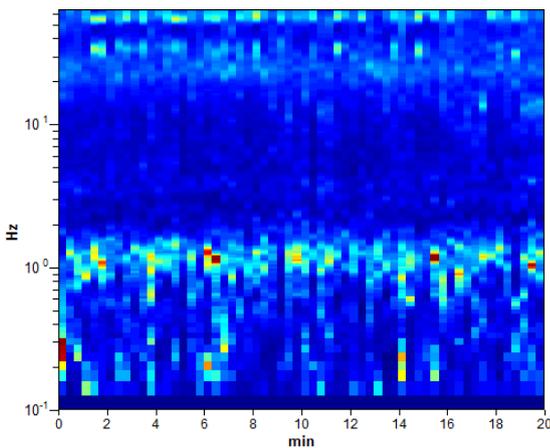
Strumento: TRZ-0153/01-11 Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51
 Inizio registrazione: 09/03/21 11:37:04 Fine registrazione: 09/03/21 11:57:04
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN Dato GPS non disponibile
 Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.
 Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

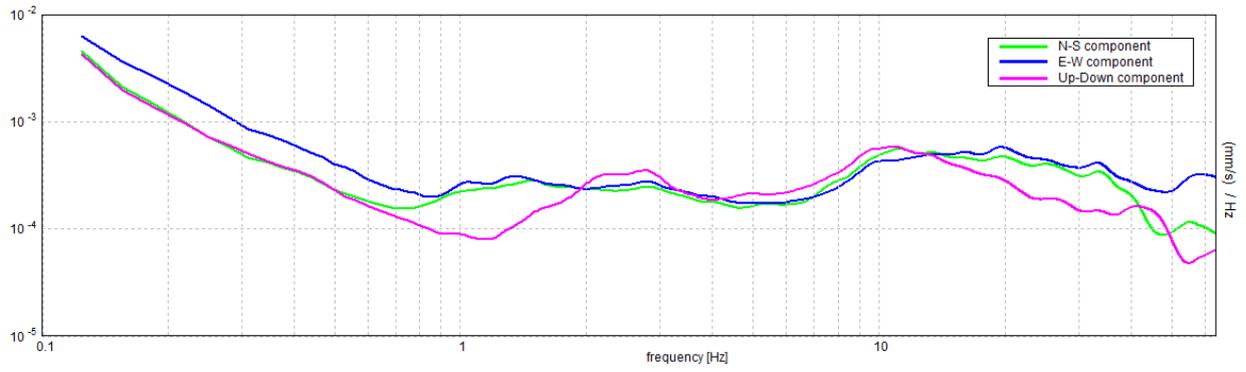


SERIE TEMPORALE H/V

DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 1.13 ± 0.06 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.13 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1350.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 1 volte su 55		

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.719 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.563 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.78 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02515 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.02829 < 0.1125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1.0435 < 1.78$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



Figura 11: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSR05.

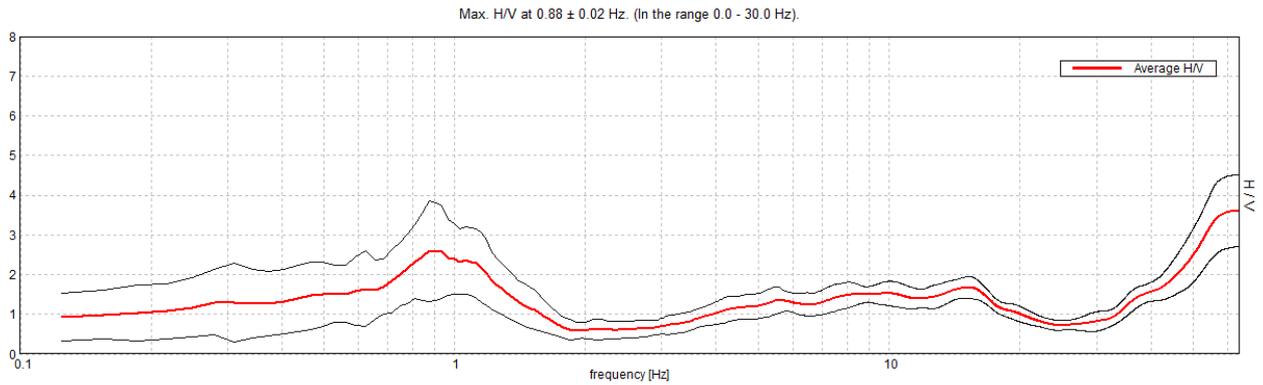


Figura 12: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR05.

HVSR06

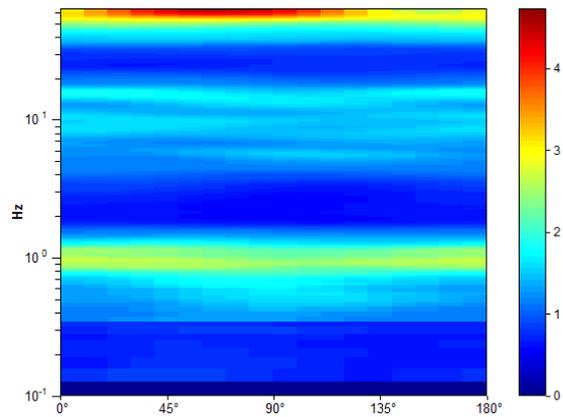
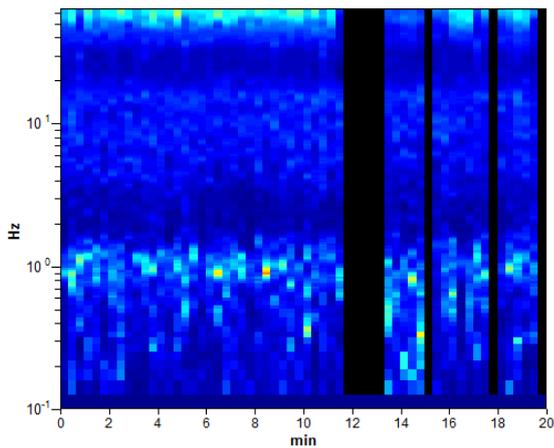
Strumento: TRZ-0153/01-11 Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51
 Inizio registrazione: 09/03/21 17:09:41 Fine registrazione: 09/03/21 17:29:41
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN Dato GPS non disponibile
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 87% tracciato (selezione manuale)
 Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

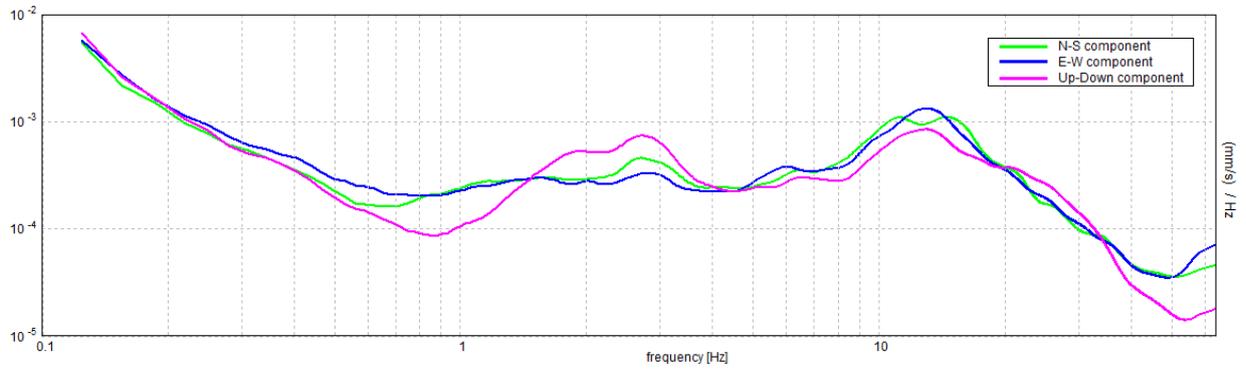


SERIE TEMPORALE H/V

DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 0.88 ± 0.02 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.88 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$910.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 43	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.375 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.59 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01335 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.01168 < 0.13125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.6268 < 2.0$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

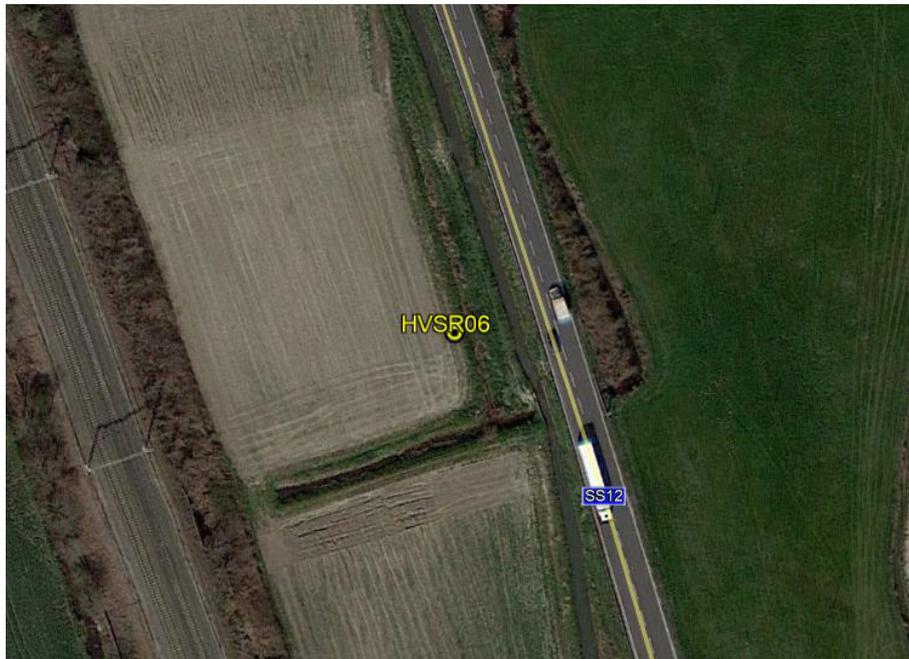


Figura 13: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSR06.



Figura 14: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR06.