

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR)

Missione 2 - Componente 4 - Sub-investimento 2.1b

ACCORDO AI SENSI DELL'ART. 15, DELLA LEGGE 241/1990 PER LA REALIZZAZIONE DEL SUB-INVESTIMENTO 2.1b «finanziato dall'Unione europea - NextGenerationEU»

“Misure per la gestione del rischio alluvione e per la riduzione del rischio idrogeologico”

ACCORDO QUADRO LAVORI FINALIZZATI ALLA MANUTENZIONE DEI CORSI D'ACQUA AFFERENTI AL TERRITORIO DI COMPETENZA DELL'UFFICIO TERRITORIALE DI PIACENZA E DELL'UFFICIO TERRITORIALE DI REGGIO EMILIA. ANNUALITÀ 2023-2025

LOTTO 1 PIACENZA (BACINI TREBBIA E ARDA) (CIG ACCORDO QUADRO 9492599481)

Codice Intervento: 17751

Titolo: PNRR M2C4 INVESTIMENTO 2.1B Interventi di ripristino, recupero ed integrazione delle opere di difesa idraulica dell'alveo del fiume Trebbia in corrispondenza del nodo idraulico di Perino, a monte e valle della briglia. Loc. Poggio Paione, comuni di Travo e Coli (PC)

Capitolo di spesa: U21301 (2023) **Importo finanziamento:** € 2,500,000.00

CUP: F18H22000530004

PROGETTO ESECUTIVO

relativo al Contratto Attuativo n° 4

Allegato n.
3.7

INDAGINI GEOFISICHE

Gruppo di progettazione:

Dott. Ing. Cristina FRANCA
(Responsabile del progetto e D.L.)

R.T.P.

 **STUDIO POLARIS** Studio POLARIS STP S.r.l.
(mandataria-capogruppo)

 **EOS** EOS – INGEGNERIA
(mandante)

 **ENGEO S.r.l.**
(mandante)

Visto di validazione
Il Responsabile Unico del Procedimento
Arch. Cristian Ferrarini



Indagini geofisiche di tipo sismico

Località Rondanera - Comune di Travo (PC)



Sommario

1	PREMESSA.....	3
2	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO	7
2.1	Riferimenti normativi (N.T.C. 2018)	7
2.2	Prova sismica M.A.S.W.	8
2.2.1	Acquisizione dei dati.....	8
2.2.2	Elaborazione dati ed analisi dei risultati.....	9
2.3	Prova sismica in foro – Down Hole.....	11
2.3.1	Acquisizione dati.....	11
2.3.2	Elaborazione dati ed analisi dei risultati.....	12
2.4	Prova sismica H.V.S.R.	16
2.4.1	Acquisizione ed elaborazione dati.....	16
2.4.2	Analisi dei risultati	16

1 PREMESSA

Il presente rapporto illustra le modalità esecutive ed i risultati ottenuti da una serie di indagini geofisiche, svolte nel mese di dicembre 2022 nei pressi della briglia “Rondanera” posta lungo il fiume Trebbia nel Comune di Travo in provincia di Piacenza.

Nello specifico sono state acquisite le seguenti tipologie di indagini:

- n. 1 prova sismica di tipo M.A.S.W. (M1), finalizzata alla determinazione del parametro V_{seq} necessario per la definizione della categoria sismica del suolo ai sensi delle N.T.C. 2018, realizzata con una stesa di n. 24 geofoni posizionati ad intervalli regolari di 3.0 m, pari ad una lunghezza complessiva di 69.0 m;



Figura 1 – Panoramica dello stendimento sismico di tipo M.A.S.W..

- n. 1 prova sismica in foro di tipo Down-Hole (DH-Ssx), eseguita nel rispettivo foro di sondaggio Ssx, finalizzata alla definizione dei profili di velocità V_p , V_s , del parametro V_{seq} ai sensi delle NTC 2018 e dei moduli dinamici dei terreni attraversati;



Figura 2 – Particolare della strumentazione Down-Hole nel foro di sondaggio Ssx.

- n.3 prove sismiche di tipo H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratios), denominate da HV1 a HV3, finalizzate all'individuazione delle eventuali frequenze caratteristiche di risonanza di sito e di supporto alla ricostruzione del modello sismostratigrafico per l'approfondimento degli scenari di pericolosità sismica locale.



Figura 3 – Ubicazione prova H.V.S.R. presso la briglia “Rondanera”.

In Figura 4 si riportano le ubicazioni delle indagini sopra elencate.



Figura 4 - Ubicazione planimetrica delle indagini geofisiche eseguite su fotografia satellitare (Bing): in viola stendimento sismico prova M.A.S.W. con geofoni iniziale/finale e punto centrale di misura del parametro V_{se} , in arancione prova sismica in foro di tipo Down-Hole e in rosso le prove H.V.S.R.. In blu sono riportate le ubicazioni dei punti di sondaggio geognostico eseguiti dalla committenza.

2 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

2.1 Riferimenti normativi (N.T.C. 2018)

La normativa D.M. 14.01.08 “Norme tecniche per le costruzioni”, aggiornata con D.M. del 17 gennaio 2018, indica che ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto (punto 3.2.2), qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II di tali norme, è possibile può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s), ottenuti mediante specifiche prove geofisiche.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche sismiche del sottosuolo
A	Annessi 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 fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
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.

Tabella 1 - Estratto delle categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato (da Tab.3.2.II - N.T.C. 2018).

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle N.T.C. 2018. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è, viceversa, necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche. La classificazione del sottosuolo si realizza, quindi, sulla base delle condizioni stratigrafiche e dei valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s_{eq}}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

- h_i spessore dell'i-esimo strato;
 $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
 N numero di strati;
 H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per terreni con profondità del substrato (H) 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 la sommatoria delle proprietà dei singoli strati di terreno individuati fino a tale profondità.

2.2 Prova sismica M.A.S.W.

Il metodo M.A.S.W. è una tecnica d'indagine non invasiva che si basa sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece, onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi.

2.2.1 Acquisizione dei dati

Nell'indagine M.A.S.W. le onde superficiali sono state generate in punti prestabiliti sulla superficie del suolo tramite una massa battente di 8 Kg e misurate da uno stendimento lineare di sensori, nel caso specifico n. 24 geofoni con frequenza propria di 4.5 Hz e spaziatura di 3.0 m, collegati ad un sismografo digitale Geode della Geometrics a 24 canali.

L'energizzazione è stata realizzata a diverse distanze dai geofoni iniziale e finale, precisamente a 4.0 e 7.0 m di distanza sommando n.5 battute per ogni punto di energizzazione. La lunghezza delle registrazioni è stata di 1 sec con un passo di campionamento di 1 ms.

2.2.2 Elaborazione dati ed analisi dei risultati

Considerando la buona qualità dello spettro ottenuto dalla prova, si è provveduto ad effettuare il relativo “picking”.

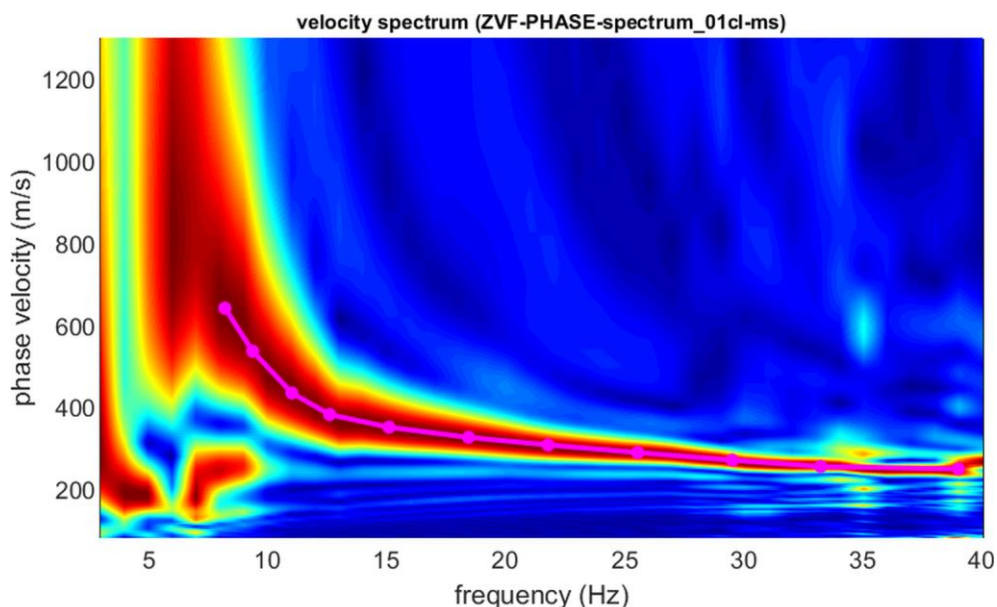


Figura 5 – Spettro medio M.A.S.W. e “picking” (in magenta).

Attraverso una procedura di “inversione” della curva di dispersione del segnale ricavata, è stato possibile ricostruire il modello sismostratigrafico, espresso in termini di velocità delle onde di taglio (V_s).

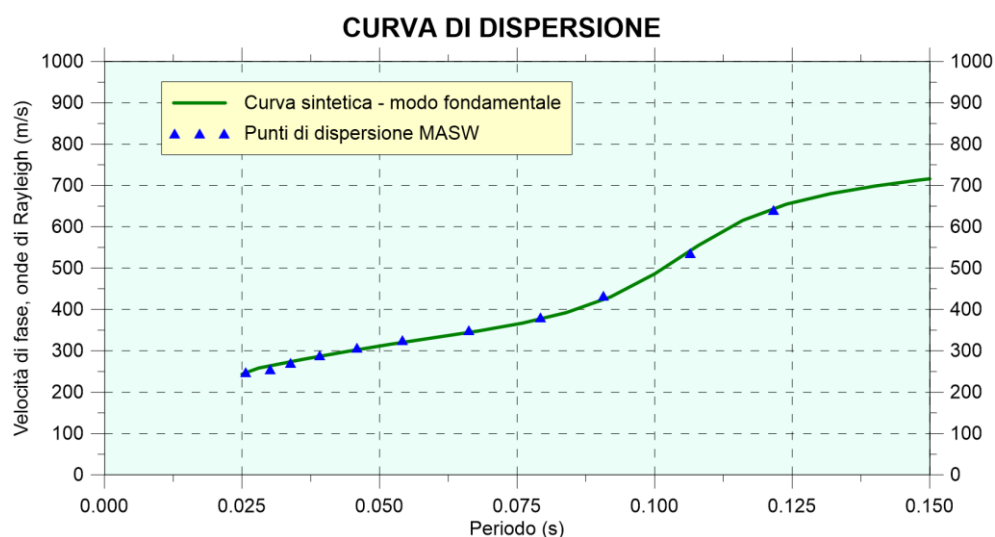


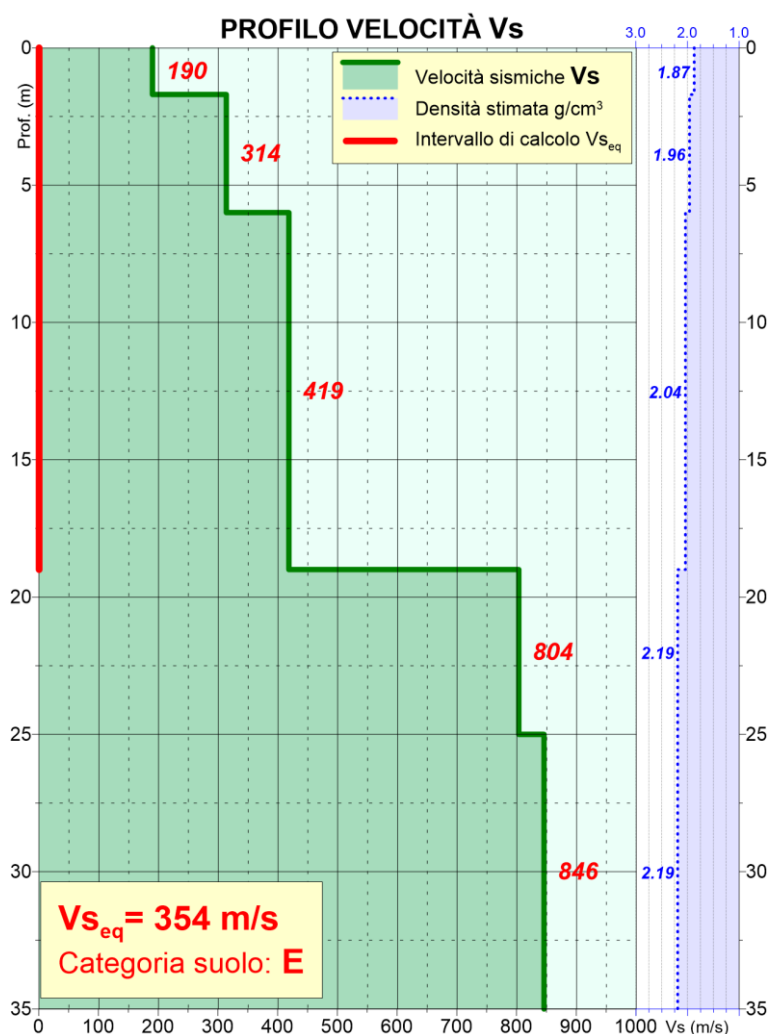
Figura 6 – Curva di dispersione del segnale ottenuta.

Nello specifico, si è ottenuto un valore di $V_{s_{eq}} = 354 \text{ m/s}$, calcolato per una profondità di riferimento compreso tra il p.c. e -19.0 m dal p.c. ($V_{s_{eq}}$).

Ai fini della caratterizzazione sismica del sito, per la definizione delle azioni sismiche di progetto (NTC 2018), la categoria del sottosuolo è risultata di tipo “E” la cui definizione nella classificazione dei suoli di riferimento normativo è la seguente:

E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>
----------	--

Tabella 2 - Estratto da Tab.3.2.II - N.T.C. 2018: caratteristiche sismiche categoria di sottosuolo di tipo E.



prof.(m)	spessore(m)	$V_s \text{ (m/s)}$
1.7	1.7	190
6.0	4.3	314
19.0	13.0	419
25.0	6.0	804
35.0	10.0	846

Figura 7 – Profilo di velocità V_s del sito con determinazione del valore $V_{s_{eq}}$ e relativa categoria di sottosuolo, nella tabella a destra sono inseriti i diversi sismostrati individuati con rispettive velocità V_s .

2.3 Prova sismica in foro – Down Hole

Per la definizione dei profili sismostratigrafici in onde P – S, del parametro V_{seq} ai sensi delle NTC 2018 e dei moduli dinamici dei terreni attraversati, in corrispondenza del sondaggio Ssx, opportunamente attrezzato, è stata eseguita una prova sismica di tipo Down-Hole denominata DH-Ssx.

2.3.1 Acquisizione dati

La tecnica del Down-Hole consiste nel misurare i tempi di arrivo delle onde sismiche P e S, generate da una specifica sorgente ad un geofono tridimensionale (costituito da tre geofoni orientati secondo le tre direzioni spaziali) posto in un foro di sondaggio a profondità crescenti.

Le onde di compressione (P) sono state create con impulsi verticali generati da una massa battente agente in prossimità del sondaggio.

Le onde di taglio (S), sono state generate con impulsi orizzontali ottenuti battendo su lati opposti di due tavole rese solidali con il terreno dal peso del veicolo d'appoggio.

In fase di elaborazione, per quanto riguarda le Vs, sono stati analizzati solamente i film sismici dei “primi arrivi” migliori dal punto di vista qualitativo, inerenti a uno solo dei due sensi di battitura.

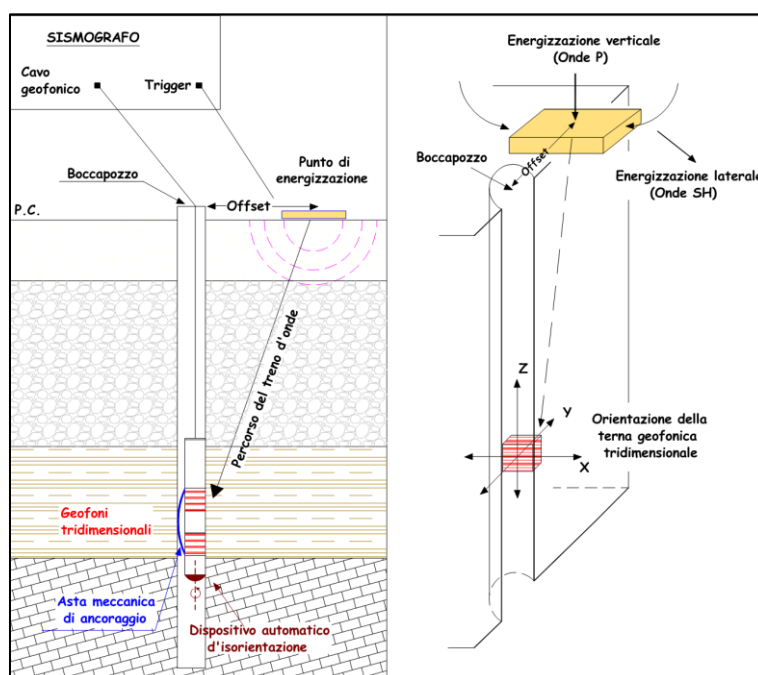


Figura 8 – Schema esemplificativo prova Down Hole.

2.3.2 Elaborazione dati ed analisi dei risultati

Dai sismogrammi registrati sono stati “letti” i tempi di arrivo (picking) delle onde sismiche P ed S, ad ogni intervallo di profondità raggiunto dal geofono. Il calcolo delle velocità sismiche, infatti, è stato eseguito attraverso la misura della differenza di tempi fra posizioni differenti del geofono ed il punto di energizzazione.

Nei grafici seguenti sono visualizzati i sismogrammi acquisiti con il relativo “picking”, l’andamento delle velocità sismiche V_p e V_s calcolate per ciascun intervallo di profondità e le tabelle di sintesi dei dati elaborati, unitamente ai moduli dinamici calcolati sulla base dei parametri sismici e dei specifici valori di peso di volume (γ) delle litologie presenti.

In dettaglio sono riportati:

- Velocità Onde P= V_p ;
- Velocità Onde S= V_s ;
- Rapporto V_p/V_s ;
- Rapporto di Poisson σ ;
- Modulo di taglio G din;
- Modulo di Young E din;
- Modulo di compressione E_v .

L’analisi dei dati relativi alla velocità delle onde di taglio (V_s) ha consentito, inoltre, di definire la categoria sismica del suolo fornita dal parametro $V_{s_{eq}}$ risultato pari a **266 m/s** calcolato tra il p.c. e -18.0 m dal p.c., il quale definisce un suolo di **Categoria E** (Tabella 2).

Per quanto concerne la caratterizzazione sismostratigrafica, dall’analisi dei profili di velocità (Figura 10) ottenuti si desume quanto segue:

- relativamente alle velocità sismiche **V_p** i primi 2.0 m di spessore sono caratterizzati da velocità non superiori a 500 m/s, indicative di depositi poco addensati e/o poco consistenti. Al di sotto si registra dapprima un incremento di velocità, le quali superano i 750 m/s, segue un’alternanza di valori sino a -13.0 m dal p.c., ove le V_p si mantengono complessivamente comprese tra 800 e 1000 m/s, a cui si associano materiali dotati di un moderato grado di addensamento/consistenza.
Da -13.0 m dal p.c. le velocità oltrepassano abbondantemente i 1400 m/s fino a -18.0 m dal p.c., ove si registra un netto incremento di V_p con valori che raggiungono circa i 2300 m/s in prossimità del fondo foro e a cui si associa il passaggio alla porzione sommitale del substrato roccioso dotato di un buon grado di consistenza.
- Per quanto riguarda il profilo V_s , a partire dal p.c. si registra un graduale incremento dei valori fino a 300 m/s ad una profondità di -6.0 m dal p.c., al di sotto le velocità si stabilizzano su valori prossimi a 250 m/s sino a -10.0 m dal p.c..
Da -11.0 m dal p.c. le V_s ricominciano ad incrementare gradualmente, superando i 500 m/s alla profondità di -16.0 m dal p.c., fino ad oltrepassare gli 800 m/s a partire da -18.0 m dal p.c..

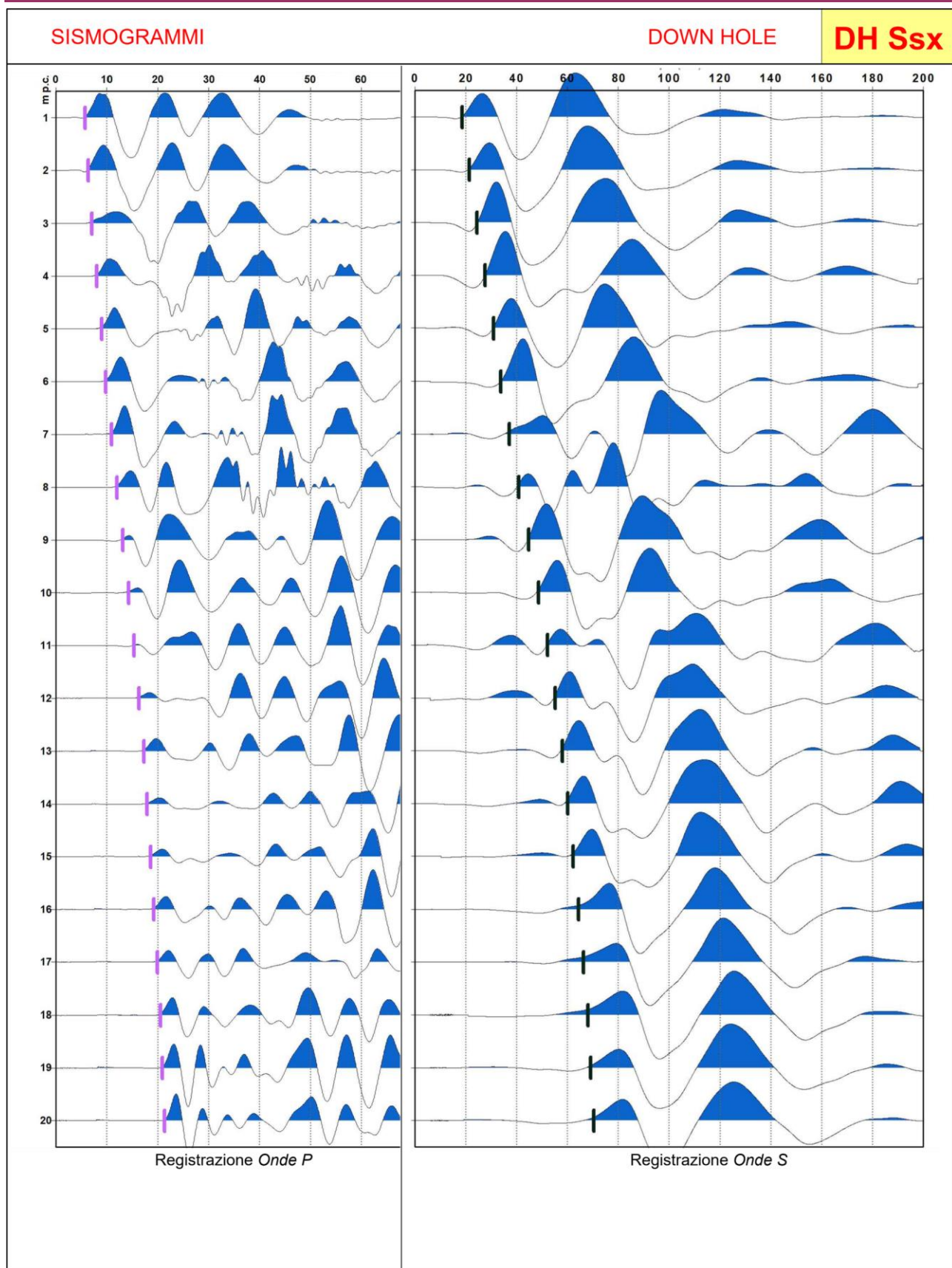


Figura 9 – Sismogrammi in onde P (a sinistra) ed in onde S (a destra), ottenuti dalla prova Down-Hole.

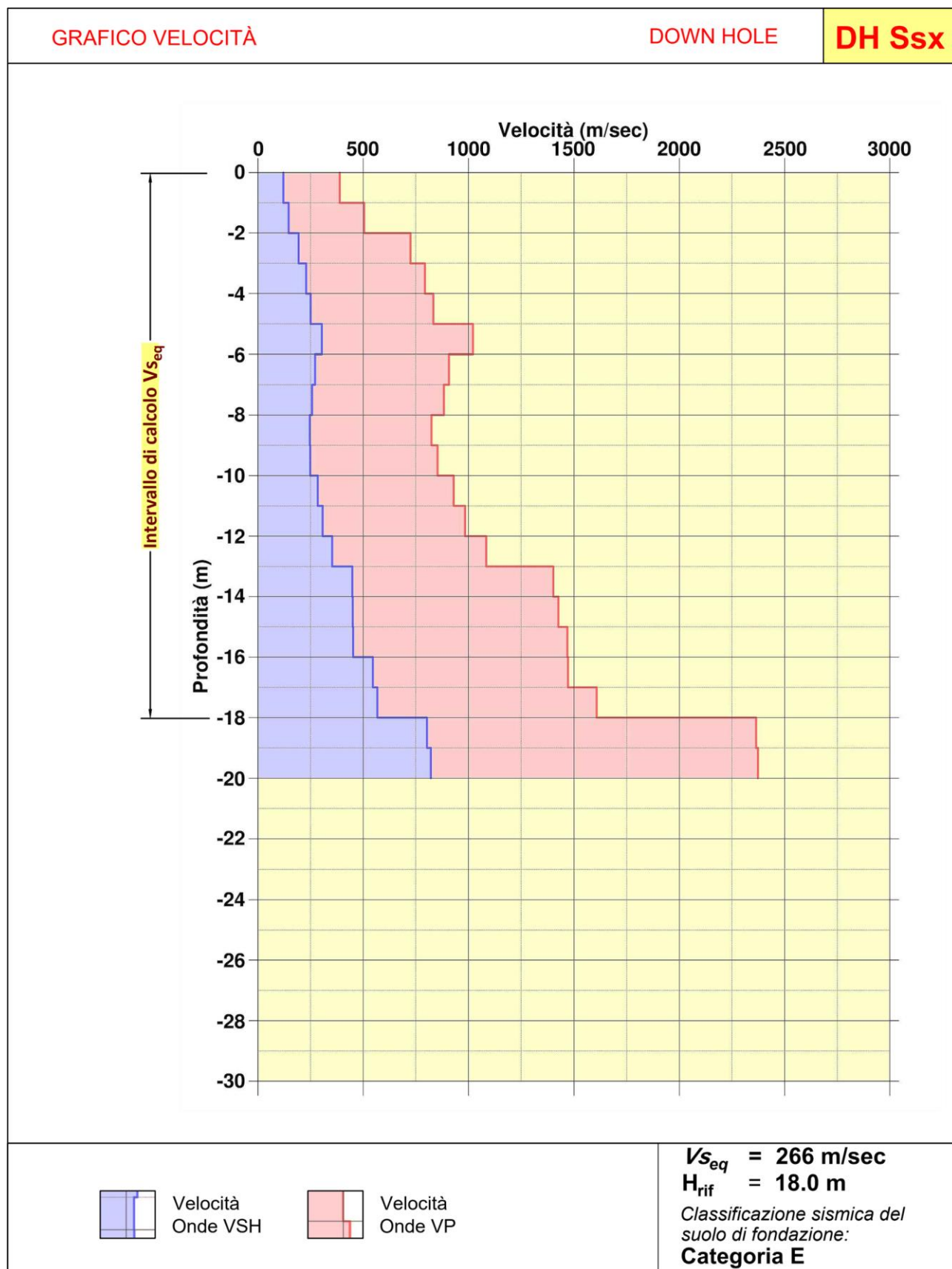


Figura 10 – Grafici di velocità in onde S (in blu) ed in onde P (in magenta) e determinazione del parametro V_{seq} con relativa categoria di sottosuolo ottenuta, relativi alla prova Down-Hole.

[illegible]

Figura 11 – Tabella parametri sismici e dei moduli dinamici ottenuti, relativi alla prova Down-Hole.

2.4 Prova sismica H.V.S.R.

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica d'indagine sismica passiva H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura) è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito.

Esse sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso. L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati ad una modellizzazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (per esempio i cambi litologici).

I dati che si possono ricavare sono spessori, profondità e velocità di propagazione delle onde di taglio all'interno del sismo-strato individuato.

Tramite l'analisi dell'andamento delle tre componenti del moto, è possibile distinguere i picchi di origine naturale dagli artefatti, al fine di garantire una corretta interpretazione dello spettro sismico registrato.

La tecnica dei rapporti spettrali (H.V.S.R.) trova la sua massima applicazione negli studi di microzonazione sismica poiché fornisce un parametro fondamentale (frequenza propria di risonanza di sito) per una corretta progettazione di edifici antisismici.

Negli ultimi anni si è affermata anche per la sua versatilità poiché si è dimostrato come lo spettro sismico può rappresentare un modello sismo – stratigrafico del sottosuolo.

Di particolare importanza è la frequenza fondamentale di vibrazione del sito f_0 , da ricercare soprattutto nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico (frequenze generalmente comprese tra 1 e 20 Hz).

La tecnica H.V.S.R. 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 energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque.

2.4.1 Acquisizione ed elaborazione dati

Nell'area di interesse sono state eseguite n. 3 registrazioni, eseguite con un tromografo "TROMINO®" per un tempo pari a 1200 secondi con una frequenza di campionamento di 256 Hz.

L'elaborazione è stata svolta con il software "Grilla", con finestre di 20 secondi e lisciamento del 10% nel campo di frequenze comprese tra 0 e 50 Hz.

2.4.2 Analisi dei risultati

Di seguito sono riportati i risultati delle prove eseguite:

HV1

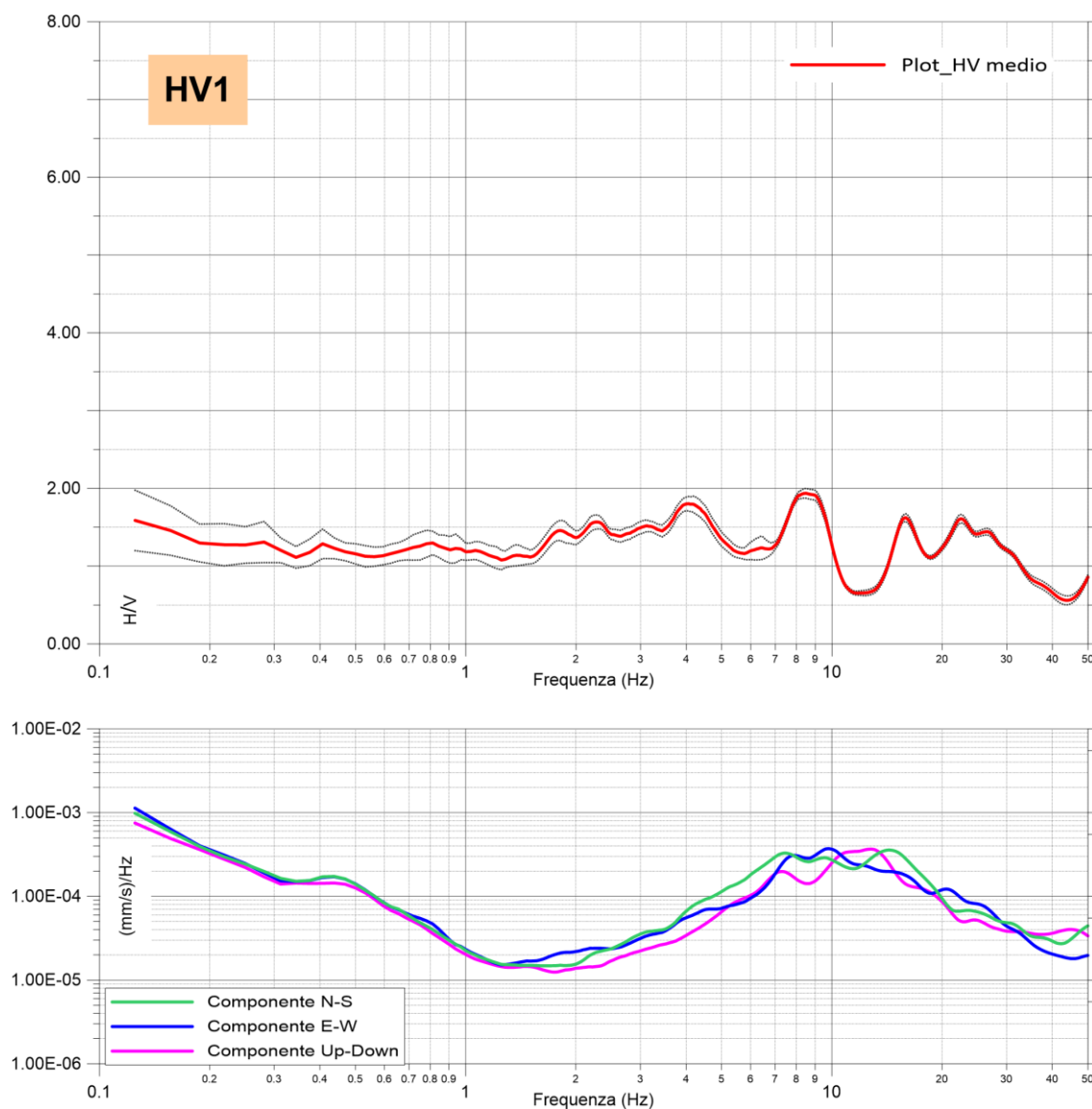


Figura 12 - Grafico H.V.S.R. medio e delle tre componenti N-S / E-W / Up-Down – Prova HV1.

La prova H.V.S.R. eseguita non ha evidenziato significativi picchi di frequenza riconducibili a contrasti d'impedenza sismica di natura stratigrafica.

HV2

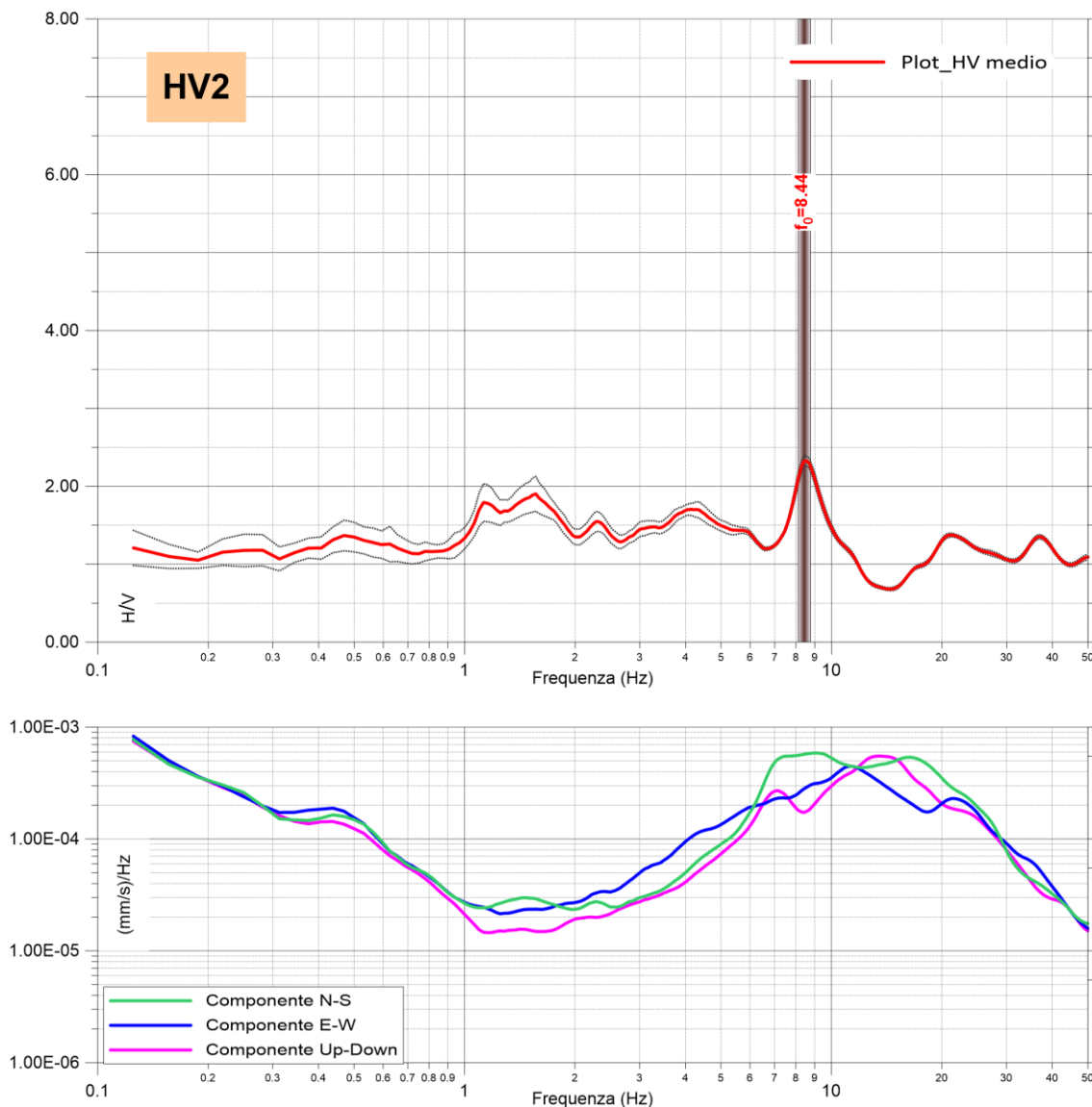


Figura 13 - Grafico H.V.S.R. medio e delle tre componenti N-S / E-W / Up-Down – Prova HV2.

La prova H.V.S.R. eseguita ha evidenziato un significativo picco alla frequenza di **8.44 Hz (f_0)**, riferibile ad un contrasto d'impedenza sismica di natura stratigrafica correlabile al netto incremento di velocità osservabile nella vicina prova Down-Hole a -12.0/-13.0 m dal p.c..

HV3

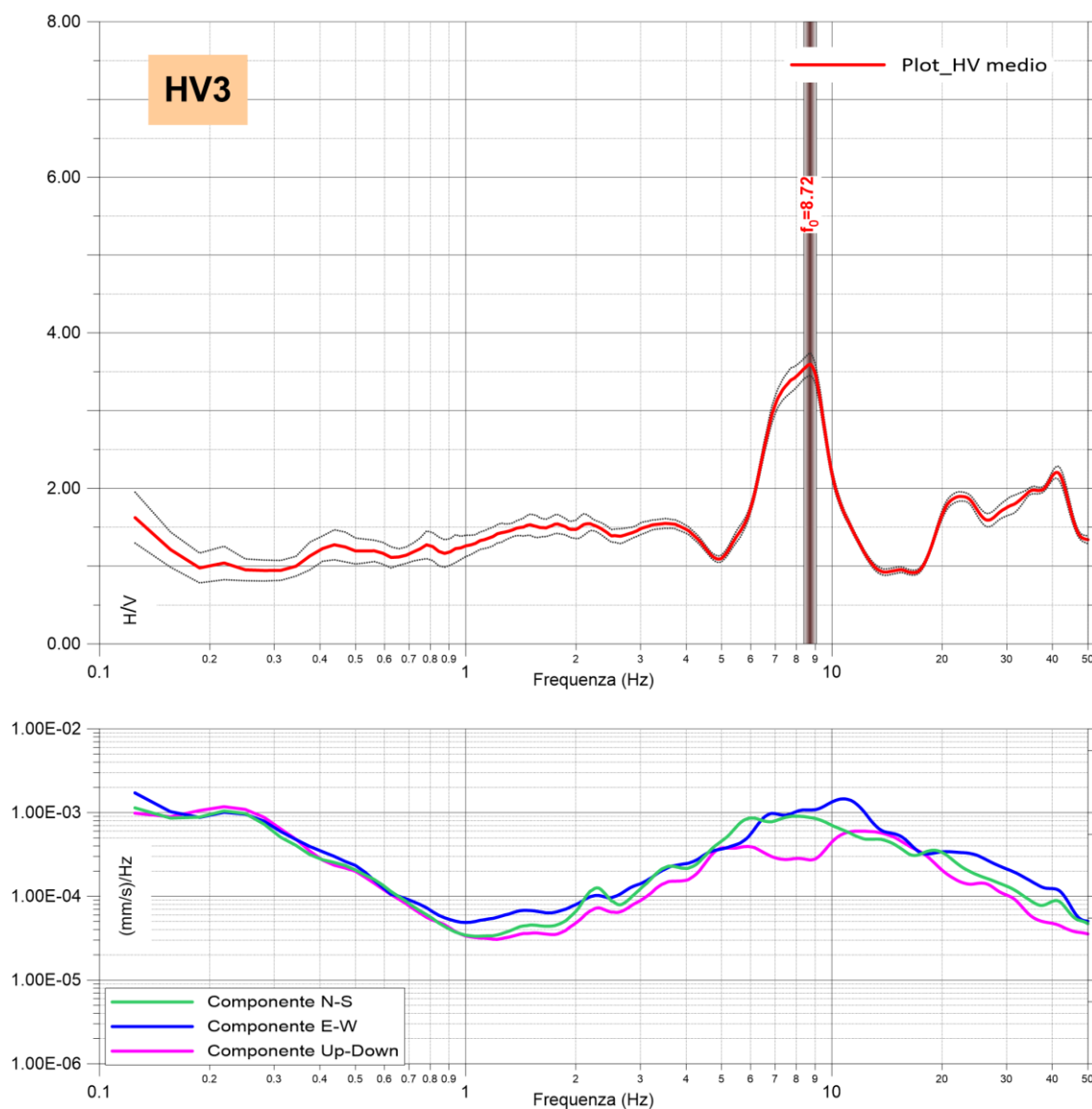


Figura 14 - Grafico H.V.S.R. medio e delle tre componenti N-S / E-W / Up-Down – Prova HV3.

La prova H.V.S.R. eseguita mostra un pronunciato picco alla frequenza di **8.72 Hz (f_0)**, correlabile a quello identificato nella prova HV2.