



PROGRAMMA REGIONALE DEGLI STUDI E INDAGINI DI MICROZONAZIONE SISMICA – REALIZZAZIONE STUDI DI APPROFONDIMENTO DI LIVELLO 3 SULLE AREE DI ATTENZIONE PER INSTABILITÀ DI VERSANTE - ANNUALITÀ 2021. (O.C.D.P.C. n. 780 del 20/05/2021)

MICROZONAZIONE SISMICA

ALL. 3 - Indagini eseguite

Regione Marche
Comune di Ancona



<p>Regione</p> 	<p>Soggetto realizzatore</p> <p>Dott.Geol. Maurizio Mainiero Dott.Geol. Marco Gaggiotti Dott.Geol. Vincenzo Francesco Pedicini</p>	<p>Data</p> <p>Gennaio 2023</p>
--	--	---------------------------------



**INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE ESEGUITE PER STUDI DI
MICROZONAZIONE SISMICA, LIVELLO DI APPROFONDIMENTO 3, SULLE
AREE DI ATTENZIONE PER INSTABILITA' DI VERSANTE – COMUNE DI
ANCONA**

Oggetto: Indagine Geognostica e Geofisica

Committente: Comune di Ancona (AN)

Commessa: 288-22

Falconara M.ma, lì Settembre 2022

Il Responsabile GECO srl
Dott. Marco Gaggiotti


328-2040857

INDICE

1. PREMESSA.....	3
1.1 Geofisica.....	3
2. SISMICA A RIFRAZIONE	5
2.1 Cenni teorici.....	5
2.2 Modalità di acquisizione	7
2.3 Elaborazione in tecnica tomografica.....	8
2.4 Moduli Elastici Dinamici.....	9
3. INDAGINE SISMICA PASSIVA HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).....	11
3.1 Strumentazione impiegata.....	11
4. INDAGINE SISMICA MASW	11
4.1 Strumentazione utilizzata.....	11
4.2 Indagine MASW: metodologia ed acquisizione	11
5. CONCLUSIONI.....	12
5.1 Sismica a rifrazione	12

TAVOLE:

TAV.1 - Ubicazione indagini;

TAVV.2A-2B - Sezioni sismiche tomografiche Onde P ed Onde Sh

TAV. 2C - Sezioni sismostratigrafiche interpretative

ALLEGATI INDAGINE GEOFISICA:

All.1 - Elaborazione indagini sismiche MASW e HVSR

All.2 - Elaborazione indagini sismiche HVSR

All.3 - Dromocrone linee sismiche

1. PREMESSA

Su incarico e per conto del Comune di Ancona, ai sensi delle Nuove NTC -D.M. 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche per Studi di Microzonazione sismica, approfondimento di Livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di Versante nel Comune di Ancona.

Le indagini sono state eseguite secondo il seguente programma.

1.1 Geofisica

- esecuzione di n°2 linea di sismica a rifrazione in Onde P e Sh di lunghezza di 120 m;
- esecuzione di n°2 indagine sismica MASW;
- esecuzione di n°6 indagine sismica HVSr;

n°	Indagine	Lunghezza (m) n° geofoni	n° Shot	Data	
1	Sismica a rifrazione LN3	120m 24 geofoni	9	26/08/22	
2	Sismica a rifrazione LN4	120m 24 geofoni	9	26/08/22	

3	Masw1	46 m 24 geofoni	6	26/08/22	
4	Masw2	46 m 24 geofoni	6	26/08/22	
5	HVSR5	-	-	11/08/22	
6	HVSR6	-	-	11/08/22	
7	HVSR7	-	-	11/08/22	

8	HVSR8	-	-	11/08/22	
9	HVSR9	-	-	11/08/22	
10	HVSR10	-	-	11/08/22	

Tab.1 – Elenco indagini geofisiche

2. SISMICA A RIFRAZIONE

2.1 Cenni teorici

La sismica a rifrazione è una delle indagini geofisiche più utilizzate per la conoscenza del sottosuolo. La buona precisione raggiungibile, specie se si dispone di sondaggi di taratura, consente talora di elevare la prospezione sismica a rifrazione da semplice valutazione qualitativa a valido supporto quantitativo dell'indagine geognostica.

Tale metodologia è basata sul tempo necessario affinché la perturbazione elastica, indotta nel sottosuolo da una determinata sorgente di energia, giunga agli apparecchi di ricezione (geofoni) percorrendo lo strato superficiale con onde dirette e gli strati più profondi con onde rifratte. Utilizzando quindi le distanze tra il punto di scoppio e quello di ricezione e i tempi di primo arrivo dei segnali sismici, si costruiscono le dromocrone (curve tempi-distanze), dalle quali si risale, tramite opportuno programma di calcolo, alle velocità reali nei singoli strati, al loro spessore, profondità, forma ed inclinazione.

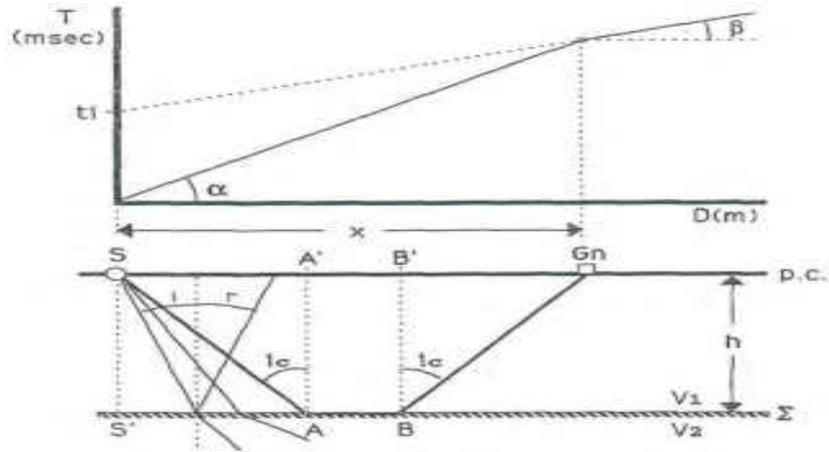


Fig. 1 - Percorsi delle onde dirette e rifratte e relative dromocrone. S sorgente energizzante; A punto di incidenza della superficie di discontinuità Σ del raggio incidente con angolo pari all'angolo limite i_c ; G_n punto di arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte; t_i tempo intercetto.

I primi tempi di arrivo sono quelli relativi ai raggi diretti attraverso il primo strato e la pendenza della linea (angolo α) che passa per tali punti è il reciproco della velocità di questo strato ($1/V_1$). A partire da una certa distanza dal punto di energizzazione (detta distanza critica e indicata in figura 1 con la lettera X) il tempo impiegato per arrivare al geofono dai raggi che percorrono il tetto dello strato sottostante (più veloce) risulta inferiore a quello degli arrivi diretti. I punti relativi a questi arrivi si allineeranno secondo una retta avente la pendenza di $1/V_2$ (angolo β). Il tempo che corrisponde all'intersezione di ciascun segmento di retta con l'asse dei tempi è detto tempo intercetto. Questo valore, come quello della distanza critica, dipendono direttamente dalla velocità dei materiali e dallo spessore degli strati, e possono quindi essere utilizzati per determinare le profondità dei tetti degli strati stessi.

Si possono ottenere dromocrone, anche nel caso di "n" strati, dove i punti di curvatura indicano il passaggio tra i singoli strati e le velocità calcolate dalle rispettive pendenze dei rami della curva.

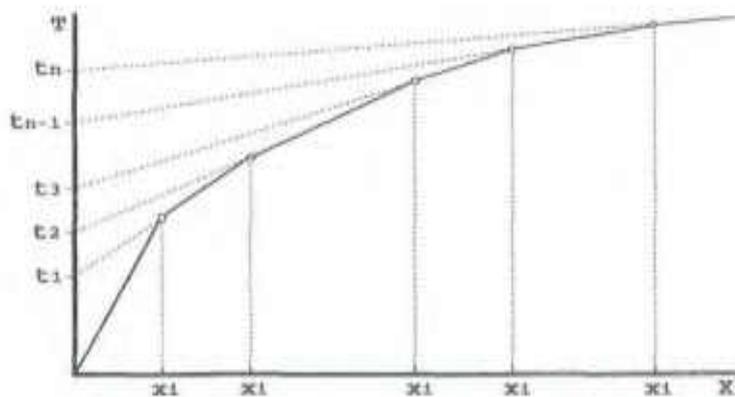


Fig. 2 - Dromocrona nel caso di stratificazione multipla

2.2 Modalità di acquisizione

Sono state realizzate n°2 stese di simica a rifrazione avente lunghezza di 120 m. I profili sono stati acquisiti in onde P e onde Sh con n° 24 geofoni spaziatati tra loro di 5,0 m ed esecuzione di n° 9 punti di energizzazione (schema visibile nella Fig.3).

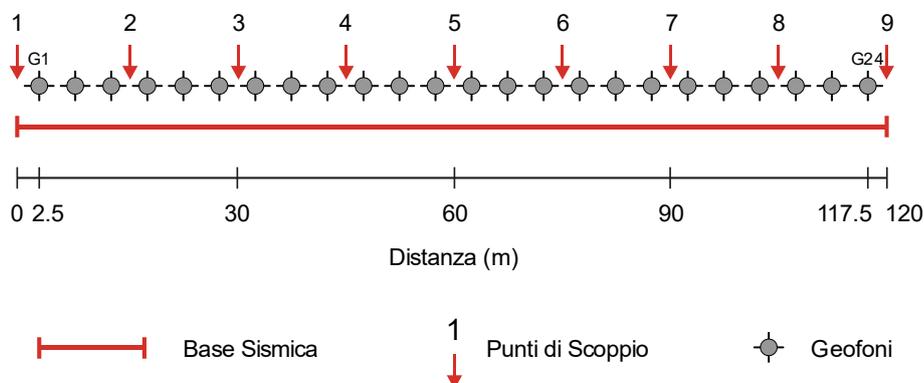


Fig.3 - Schema di acquisizione e punti di energizzazione

Per registrare gli impulsi di compressione, sono stati utilizzati geofoni con direzione di vibrazione verticale (14Hz), mentre per le onde di taglio, sono stati impiegati geofoni con direzione di vibrazione orizzontale (10Hz), posizionandoli nel terreno, in direzione ortogonale rispetto allo stendimento. Le onde P sono state generate, mediante una massa battente (martello da 8Kg), fatta cadere su di una piastra metallica posizionata nel terreno; per originare le onde Sh è stata utilizzata invece una trave (posizionata perpendicolarmente rispetto allo stendimento) in legno, percuotendola con la stessa massa battente utilizzata per le onde P (martello da 8Kg).

2.3 Elaborazione in tecnica tomografica

Per una ricostruzione bidimensionale di dettaglio delle caratteristiche meccanico-elastiche del sottosuolo e con lo scopo di evidenziare eventuali inversioni di velocità sismica dei terreni, sono stati acquisiti profili superficiali di sismica a rifrazione con elaborazione in tecnica tomografica. Al fine di procedere ad elaborazione dati di tipo tomografico è stato necessario utilizzare numerosi punti di energizzazione (n°9 scoppi) per stesa sismica costituita da 24 geofoni.

La ricerca del modello di distribuzione di velocità del terreno che ottimizza i tempi di arrivo individuati sui sismogrammi delle registrazioni di campagna viene effettuato in modo iterativo fino al raggiungimento della soluzione che minimizza l'errore fra i tempi misurati e quelli calcolati sulla soluzione ottenuta.

Viene utilizzato un modello di partenza privo di condizioni iniziali al fine di eliminare qualsiasi valutazione preliminare sull'assetto geologico che, in caso di imprecisioni, potrebbe dirottare verso una soluzione che non minimizzi l'errore oppure che lo minimizzi verso un minimo relativo della funzione di convergenza.

Il software utilizzato per la ricostruzione dei tempi di arrivo e dei percorsi d'onda si basa su una soluzione agli elementi finiti per l'Eikonal Equation (Vidale 1988) che tiene conto di tutti i possibili percorsi, onde dirette, rifratte e diffratte che generano i primi arrivi sui sismogrammi. Il modello iniziale e la soluzione finale sono costituiti da una serie di celle all'interno delle quali il valore di velocità rimane costante: tale valore viene aggiornato ad ogni iterazione del procedimento di calcolo per raggiungere il miglior risultato. Le dimensioni delle celle utilizzate e quindi il dettaglio finale ottenuto sono fortemente dipendenti dalla spaziatura dei geofoni e dal numero degli shot effettuati: aumentando la spaziatura dei geofoni si deve aumentare il numero degli shot per mantenere costante il dettaglio. Il metodo utilizzato per la soluzione della matrice dei tempi di arrivo e delle velocità è il S.I.R.T. (Simultaneous Iterative Reconstruction Technique).

Infine i valori del risultato vengono interpolati fra loro per ottenere una distribuzione continua di velocità. Per l'interpolazione è stato utilizzato il metodo della triangolazione con interpolazione lineare.

Il controllo di qualità dei modelli sismostratigrafici è eseguito dalla diretta comparazione grafica tra i tempi di percorso valutati sperimentalmente e quelli calcolati dalla soluzione del modello.

Tale sezione, associata ai litotipi presenti nell'area di indagine (sezione litostratigrafica interpretativa), risulta visibile alla TAV. 2B allegata al presente rapporto.

2.4 Moduli Elastici Dinamici

Sono parametri caratteristici di un corpo che stabiliscono una relazione tra deformazioni elastiche e sforzi a cui un corpo è assoggettato.

COEFFICIENTE DI POISSON

Il coefficiente di POISSON è definito dalla seguente equazione:

$$\nu = \frac{0.5 \left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}{\left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}$$

ed è un numero puro in senso stretto. Si può dire che è una misura della deformazione geometrica subita dal corpo. In teoria il suo campo di variabilità risulta compreso tra 0.0 e 0.5, mentre nella pratica si è visto che il range risulta più esteso arrivando anche a valori negativi.

MODULO DI TAGLIO

E' determinabile dalla sola conoscenza delle velocità delle onde SH, è una pressione che si misura in Kg/cm² e nella pratica si indica con G.

E' calcolabile mediante la seguente formula:

$$G = V_s^2 \gamma$$

dove γ = densità.

Tale parametro è fortemente dipendente dalla porosità e dalla pressione; assume valori più bassi in litotipi ad alta porosità, sottoposti a basse pressioni e saturati in acqua. Il campo di variabilità nei terreni con porosità media è molto esteso.

MODULO DI YOUNG

E' definito dalla seguente equazione:

$$E = V_s^2 \gamma [(3V_p^2 - 4V_s^2) / (V_p^2 - V_s^2)]$$

dove γ = densità

Il modulo di Young ha le dimensioni di una pressione ed in genere viene misurato in Kg/cm². Nelle rocce risulta molto variabile, fino a valori massimi dell'ordine di 10⁶. In relazione al campo di variabilità di E, le rocce sono state divise in: quasi elastiche, semielastiche e non elastiche. Sono rocce quasi elastiche quelle che presentano un E compreso tra 6*10⁵ e 11*10⁵ Kg/cm², in genere sono rocce a grana molto fine, massicce e metamorfiche(ad esempio i marmi). Sono rocce semielastiche quelle che presentano un E compreso tra 4*10⁵ e 6*10⁵ Kg/cm², sono rocce a grana fine con buona coesione e bassa elasticità (ad esempio dolomie compatte). Sono rocce non elastiche quelle che presentano un E inferiore a 4*10⁵ Kg/cm², rientrano in questa categoria quasi tutti i terreni e le rocce a grana grossolana, con valori medio alti di porosità e discreta o scarsa coesione.

La seguente tabella riporta il campo di variabilità dei principali moduli elastici, suddivisi in base alle litologie più rappresentative.

LITOTIPO	E (Kg/cm ²)	G (Kg/cm ²)	ν
ARGILLE	20 - 3*10 ⁵	1,8*10 ⁴ - 3,6*10 ⁴	0,35 - 0,50
SABBIE	3 - 2*10 ⁴	10 - 5*10 ³	0,30 - 0,35
ROCCE LITOIDI SEDIM.	5*10 ⁴ - 8*10 ⁵	100-20.000	0,20 - 0,40
ROCCE LITOIDI IGNEE	1,5*10 ⁵ - 1*10 ⁶	2,5*10 ⁴ - 1*10 ⁶	0,10 - 0,40

Tab.2 – Campi di variabilità dei principali moduli elastici in base al tipo di litologia.

N.B. Le classi di litotipi ed i relativi parametri elastici sono dati a puro titolo indicativo; ciò a causa della variabilità delle caratteristiche elastiche, anche di specifici litotipi, per piccole variazioni delle loro condizioni chimico-fisiche in natura.

3. INDAGINE SISMICA PASSIVA HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del microtremore sismico ambientale. La prova a stazione singola consiste nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito velocimetro triassiale.

3.1 Strumentazione impiegata

Le misure di microtremore ambientale sono state eseguite per mezzo di un tromografo 24 bit GEOBOX prodotto dalla ditta Sara Instruments Srl (frequenza di risonanza propria 4.5 Hz), dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati secondo le direzioni Verticale, NS, EW, ad alta definizione, alimentato a batterie, senza cavi esterni.

In allegato sono riportati i risultati della misurazione passiva HVSR.

4. INDAGINE SISMICA MASW

4.1 Strumentazione utilizzata

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata è costituita da:

- un sistema di energizzazione per le onde P: la sorgente è costituita da una mazza del peso di 8 Kg battente verticalmente su piastra circolare in acciaio del diametro di 25 cm posta direttamente sul p.c. per la generazione di onde superficiali e di volume;
- un sistema di ricezione: costituito da 24 geofoni verticali con frequenza di 4.5 Hz;
- sistema di acquisizione dati: Sismografo Ambrogeo (modello ECHO 2010) con memoria dinamica a 32 bit, dotato di hard disk, in grado di memorizzare i dati acquisiti in formato SEG2 e SEGY, n° 2 cavi sismici telemetrici di 60 m ciascuno;
- un sistema di trigger: consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la mazza colpisce la base di battuta (piastra metallica), in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e fissare l'inizio della registrazione.

4.2 Indagine MASW: metodologia ed acquisizione

L'indagine MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) non è invasiva e permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio V_s , sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del suolo.

L'acquisizione utilizzata è di tipo "attivo" **ZVF** (componente verticale delle onde di Rayleigh) e consiste nella registrazione simultanea di più ricevitori (geofoni verticali in questo caso), di una vibrazione prodotta da una sorgente sismica impulsiva, posta ad una data distanza dal primo ricevitore.

Il risultato finale del processo di elaborazione è il profilo verticale delle velocità delle onde S. L'elaborazione è stata eseguita tramite il software *winMASW® Academy 2018*.

L'acquisizione è stata eseguita posizionando i 24 geofoni da 4.5 Hz, secondo la seguente configurazione spaziale e temporale: i) lunghezza stendimento ricevitori: 46 m; ii) n. geofoni: 24; iii) distanza intergeofonica: 2m; iv) n. punti di energizzazione: 6; v) offset sorgenti: 3m, 5m e 10m; vi) durata acquisizione: 2048ms; vii) intervallo di campionamento: 0.956 ms.

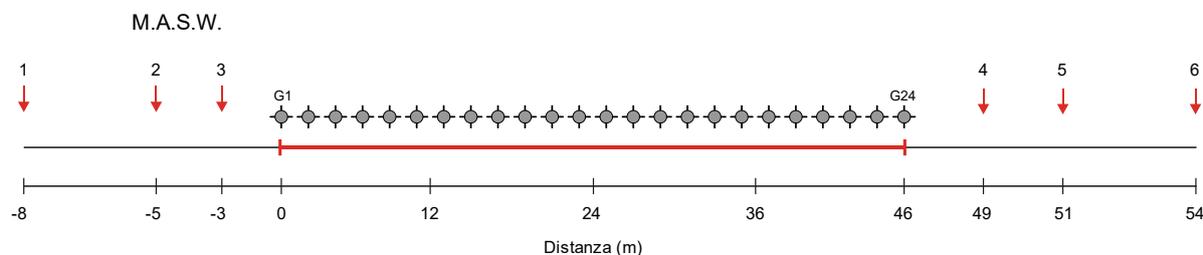


Fig.4 - Geometria di acquisizione ed ubicazione punti di energizzazione.

In allegato sono riportati i risultati relativi all'analisi congiunta MASW-HV e le sezioni sismiche tomografiche.

5. CONCLUSIONI

5.1 Sismica a rifrazione

Nelle Tavole 2A e 2B, si riportano le sezioni sismiche tomografiche, mentre la 2C mostra le sezioni sismostratigrafiche interpretative, dove sono stati evidenziati l'andamento, lo spessore e la velocità sismica media calcolata per ogni intervallo rilevato e segnalati i principali rifrattori individuati.

I materiali investigati sono stati suddivisi in 3 principali sismostrati individuati fino alla profondità massima di esplorazione ottenuta pari a circa 25-30 m e possono essere così riassunti (a partire dalla superficie):

1. il primo intervallo, caratterizzato da velocità medie delle onde P variabili tra 455 e 780 m/sec e velocità delle onde Sh di 175-300 m/sec, presenta uno spessore compreso tra 1,0-6,0 metri. Tale orizzonte è costituito da terreno di riporto e depositi di copertura superficiali di basse velocità sismiche.
2. il secondo sismostrato è caratterizzato da valori di velocità delle onde di compressione di 730-1315 m/sec e velocità delle onde di taglio intorno ai 265-480 m/sec. Lo spessore risulta compreso in un range di 4,0-10,0 m circa. La litologia risulta ascrivibile alla presenza di depositi di copertura prevalentemente argilloso limosi.
3. il terzo ed ultimo sismostrato è caratterizzato da un ulteriore incremento delle velocità, con valori delle onde di compressione di 1685-2040 m/sec e delle onde di taglio di 490-685 m/sec. L'attribuzione litologica risulta riconducibile a terreni del substrato costituito da argilla debolmente marnosa con intercalati livelli centimetrici e millimetrici di sabbia fine.

Mediante i valori di velocità (minimo e massimo) dei sismostrati, sopra individuati, è stato possibile determinare il campo di variabilità dei moduli elastici dinamici, riportati nella tabella seguente:

MODULI ELASTICI DINAMICI - STESA LN3							
Intervallo [n°]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]	γ [Kg/m ³]	E [Kg/cm ²]	G [Kg/cm ²]	ν	Vp/Vs
1	455	175	1800	15580	562	0.4132	2.60
	495	215	1800	23027	848	0.3837	2.30
2	730	265	1900	38003	1360	0.4241	2.75
	930	345	1900	64235	2305	0.4202	2.70
3	1685	490	2000	139624	4895	0.4538	3.44
	1960	665	2000	253829	9016	0.4350	2.95

MODULI ELASTICI DINAMICI - STESA LN4							
Intervallo [n°]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]	γ [Kg/m ³]	E [Kg/cm ²]	G [Kg/cm ²]	ν	Vp/Vs
1	680	275	1800	38176	1388	0.4022	2.47
	780	300	1800	45788	1651	0.4132	2.60
2	1115	425	1900	97123	3498	0.4150	2.62
	1315	480	1900	124599	4462	0.4231	2.74
3	1755	630	2000	226398	8092	0.4260	2.79
	2040	685	2000	269609	9566	0.4365	2.98

Falconara M.ma, lì Settembre 2022

GECO s.r.l.
Il Responsabile
GECO s.r.l.
Via Gruppo 36 - 10127 Torino (TO)
Via Falconara Marina - 10127 Torino (TO)
Tel. 011-414141
Fax 011-414142



Geco Srl Servizi Geologici & Indagini Sismiche

Via Osoppo, 38 / 60015 Falconara Marittima (AN)

P. IVA 02541280422 tel e fax 071 9156126

CECO

Servizi Geologici & Indagini Sismiche



www.gecogeologia.com



info@gecogeologia.com



328.02.82.743 / 328.20.40.857

Tavole



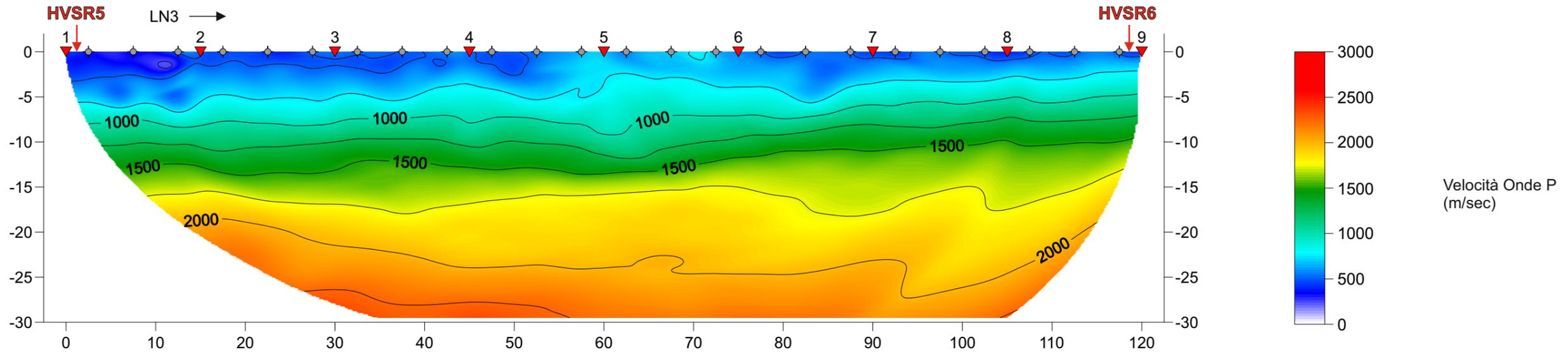
Legenda:

MASWn Indagine sismica MASW

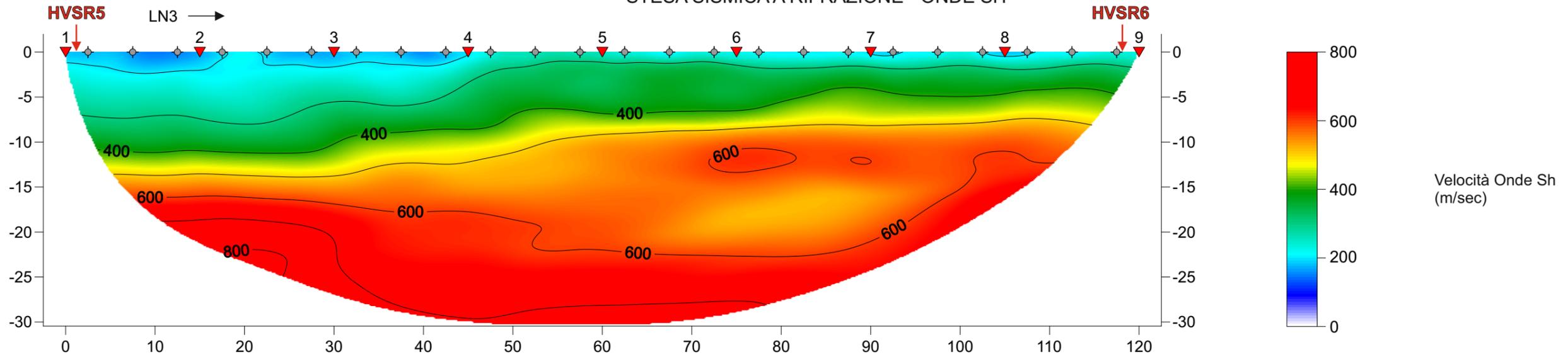
Ln-n Indagine sismica a rifrazione RIFRA

HVSrn ■ Indagine sismica HVSr

STESA SISMICA A RIFRAZIONE - ONDE P



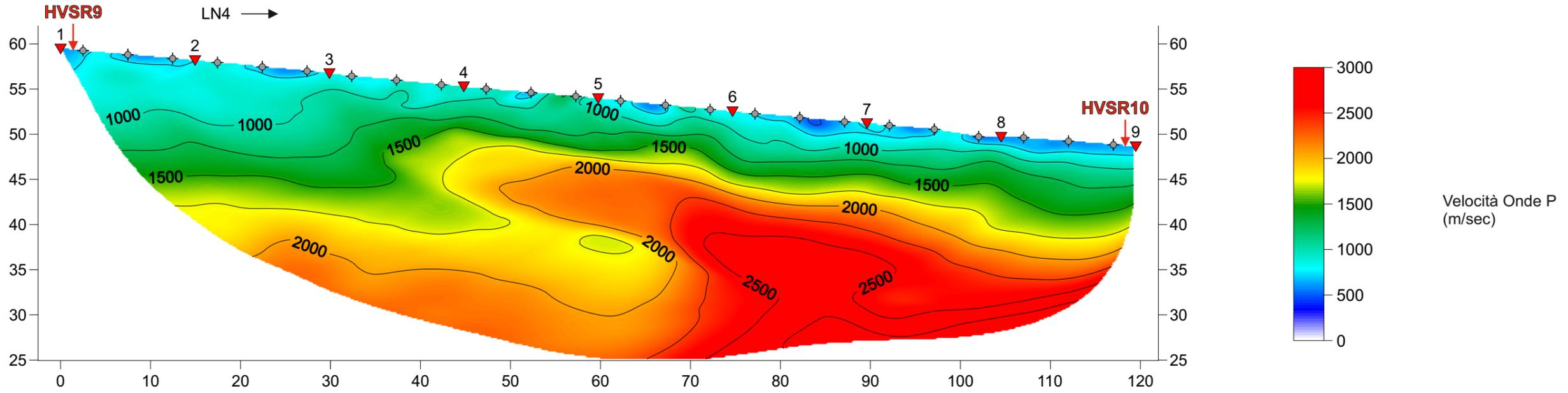
STESA SISMICA A RIFRAZIONE - ONDE SH



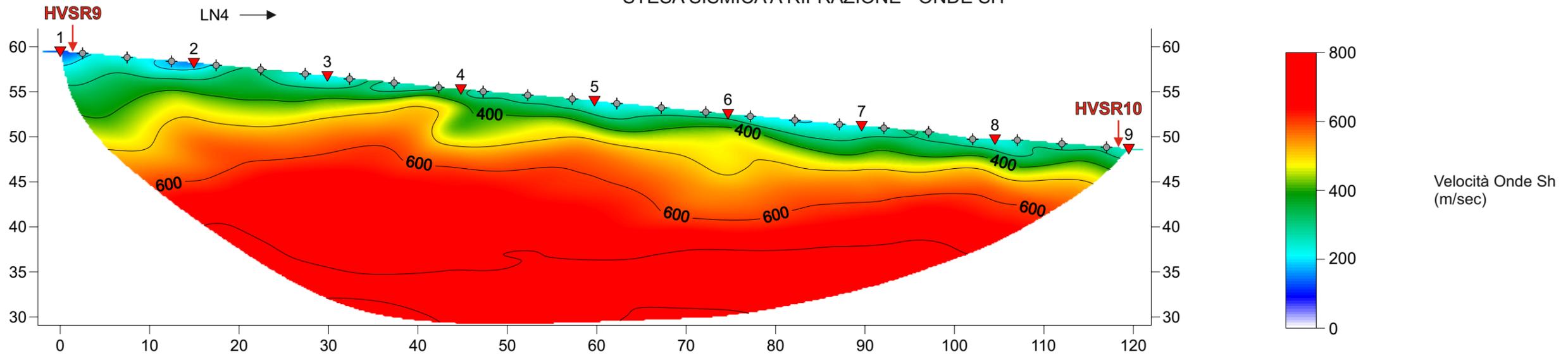
Legenda:

- 1 punti di scoppio
- ◆ ricevitori
- 500 velocità onde P e Sh
- HVSRS1** indagine sismica passiva HVSRS

STESA SISMICA A RIFRAZIONE - ONDE P



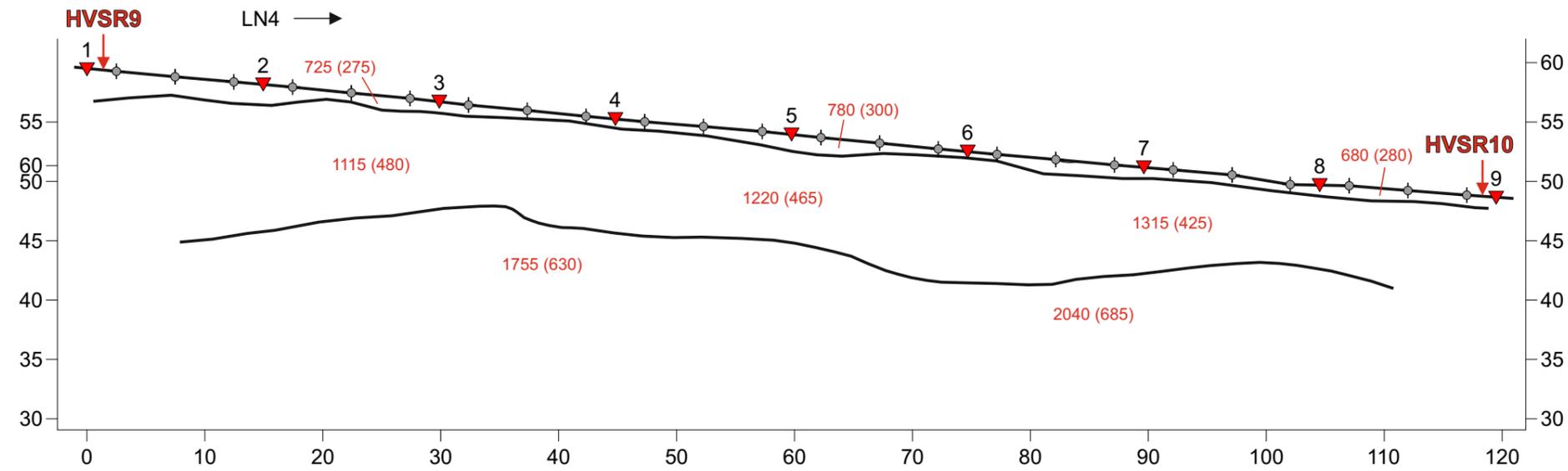
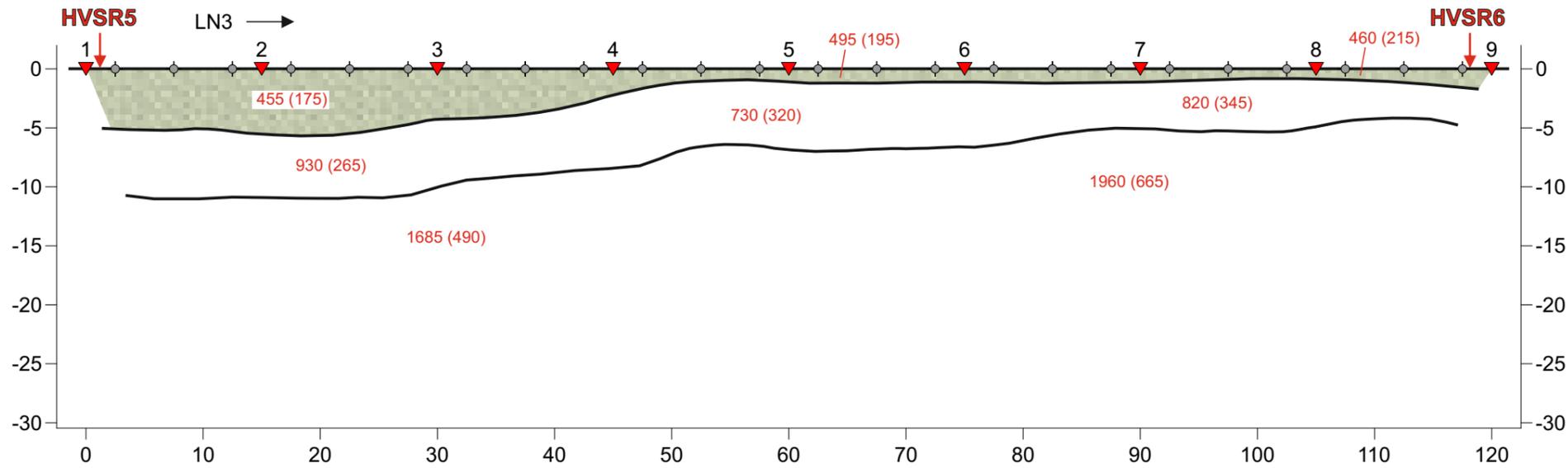
STESA SISMICA A RIFRAZIONE - ONDE SH



Legenda:

- 1 ▼ punti di scoppio
- ◆ ricevitori
- 500 velocità onde P e Sh
- HVSRS1 ▼ indagine sismica passiva HVSRS

SEZIONI SISMOSTRATIGRAFICHE INTERPRETATIVE



Legenda:

- | | | | |
|--------------------|----------------------------------|--|--|
| 300 | velocità medie calcolate onde P | | terreno di riporto e depositi superficiali |
| (125) | velocità medie calcolate onde SH | | depositi di copertura fini prevalentemente argilloso-limosi |
| HVSRS1
↓ | indagine sismica passiva HVSRS | | depositi del substrato costituiti da argilla marnosa con intercalazioni sabbiose |

Geco Srl Servizi Geologici & Indagini Sismiche

Via Osoppo, 38 / 60015 Falconara Marittima (AN)

P. IVA 02541280422 tel e fax 071 9156126



www.gecogeologia.com



info@gecogeologia.com



328.02.82.743 / 328.20.40.857

Servizi Geologici & Indagini Sismiche

allegati indagine geofisica

Inversione congiunta MASW+HVSr

INDICE

1. PREMESSA	2
2. INDAGINE SISMICA HVSr	2
2.1 Descrizione dei risultati	6
3. INDAGINE SISMICA MASW-ZVF	7
4. ANALISI CONGIUNTA RAYLEIGH/HVSr	9
5. CONCLUSIONI	10

Inversione congiunta HV+MASW

1. PREMESSA

Su incarico e per conto del Dott. Geol. Maurizio Mainiero, è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche eseguite nel Comune di Ancona ad integrazione degli studi di MS2.

2. INDAGINE SISMICA HVSR

Le misure di microtremore ambientale sono state eseguite per mezzo di un tromografo 24 bit GEOBOX prodotto dalla ditta Sara Instruments Srl (frequenza di risonanza propria 4.5 Hz), dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati secondo le direzioni Verticale, NS, EW, ad alta definizione, alimentato a batterie, senza cavi esterni.

Campagna	Ancona	Data:	11/08/2022
Sito	Frana	Operatore	
Strumento Acquisitore	Tromografo	Sismometro Tipo	SARA geobox
Frequenza Sismometro	-	Fondo scala	4,5 Hz
Freq. Campionamento	100 Hz	GPS LOC	No
Inizio Registrazione		Durata (sec)	1200
NOME FILE	MT_20220811_112012	FORMATO FILE	SAF
Coordinate			
	WGS84	UTM	ALTRO
Latitudine	43.607694°		
Longitudine	13.521914°		
Quota (m)			

Indicazioni sul Sito:



Inversione congiunta HV+MASW

INSTALLAZIONE SISMOMETRO: ACCOPPIAMENTO

- | | | | |
|--|---|--|---|
| <input type="checkbox"/> Roccia | <input type="checkbox"/> Asfalto | <input type="checkbox"/> Sabbia | <input type="checkbox"/> Erba |
| <input type="checkbox"/> Terreno Riporto | <input type="checkbox"/> Terreno_compatto | <input type="checkbox"/> Terreno_bagnato | <input checked="" type="checkbox"/> Terreno_secco |
| <input type="checkbox"/> Cemento | <input type="checkbox"/> Sterrato | <input type="checkbox"/> Pavimentazione | <input type="checkbox"/> Marciapiede |

Modalità Accoppiamento Sismometro Terreno:

appoggiato

INSTALLAZIONE SISMOMETRO : GEOLOGIA

- | | | | |
|---------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Roccia | <input checked="" type="checkbox"/> Terreno | <input type="checkbox"/> Detrito | <input type="checkbox"/> Riporto |
|---------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|

altro/commento:

INSTALLAZIONE SISMOMETRO : POSIZIONAMENTO in

- | | | | |
|---|---|--|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Città_via_principale | <input type="checkbox"/> Città_via_secondaria | <input type="checkbox"/> Città_cortile | <input type="checkbox"/> Città_parco |
| <input type="checkbox"/> Strada_principale | <input checked="" type="checkbox"/> Strada_secondaria | <input type="checkbox"/> Mura | <input type="checkbox"/> Mura_antiche |
| <input checked="" type="checkbox"/> Aperta_campagna | <input type="checkbox"/> Galleria | <input type="checkbox"/> Cunicolo | |

altro/commento:... ..

INSTALLAZIONE GEOFONO : VICINANZA

- | | | | |
|--|--|--|-----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Fiume | <input type="checkbox"/> Canale | <input type="checkbox"/> Fabbrica | <input type="checkbox"/> Cantiere |
| <input type="checkbox"/> Lavori_stradali | <input type="checkbox"/> Alberi | <input type="checkbox"/> Ponti | <input type="checkbox"/> Viadotti |
| <input type="checkbox"/> Mura | <input type="checkbox"/> Gallerie | <input type="checkbox"/> fognature | |
| <input type="checkbox"/> Edifici_nessuno | <input checked="" type="checkbox"/> Edifici_scarsi | <input type="checkbox"/> Edifici_densi | |

distanza_edificio_vicino numero_piani_edificio_vicino:

strutture_sotterranee:.....

CONDIZIONI ATMOSFERICHE :

- | | | |
|--|---|--|
| <input type="checkbox"/> vento_forte | <input type="checkbox"/> vento_debole | <input checked="" type="checkbox"/> no_vento |
| <input type="checkbox"/> pioggia_forte | <input type="checkbox"/> pioggia_debole | <input checked="" type="checkbox"/> no_pioggia |

altro/commento.....

Inversione congiunta HV+MASW

RUMORE RILEVABILE:

- | | | |
|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> Auto_nessuna | <input checked="" type="checkbox"/> Auto_poche | <input type="checkbox"/> Auto_tante |
| <input type="checkbox"/> Mezzi_pesanti_nessuno | <input type="checkbox"/> Mezzi_pesanti_pochi | <input type="checkbox"/> Mezzi_pesanti_tanti |
| <input type="checkbox"/> Pedoni_nessuno | <input type="checkbox"/> Pedoni_pochi | <input type="checkbox"/> Pedoni_tanti |

ALTRE SORGENTI DI RUMORE

.....
.....

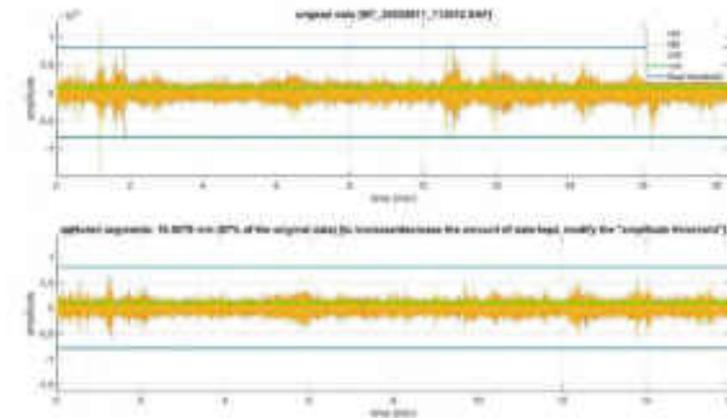


Fig.1: Visualizzazione dei dati dopo la rimozione di eventi transienti.

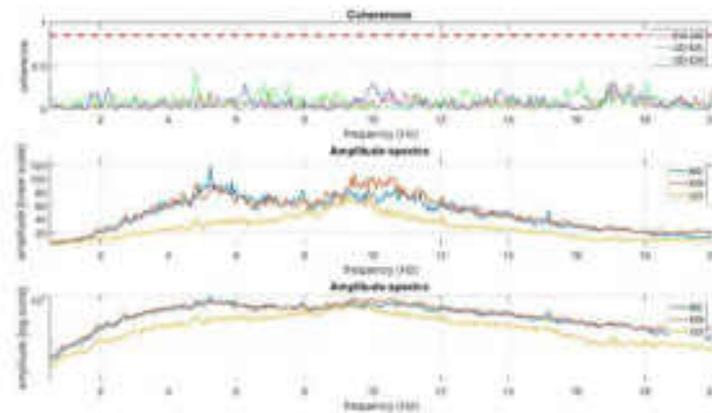


Fig.2: Spettri di ampiezza delle tre componenti con scale delle frequenze lineari (scala di ampiezza sia log che lineare) e le coerenze tra le varie coppie di sensori (EW versus NS, EW versus UD e NS versus UD).

Inversione congiunta HV+MASW

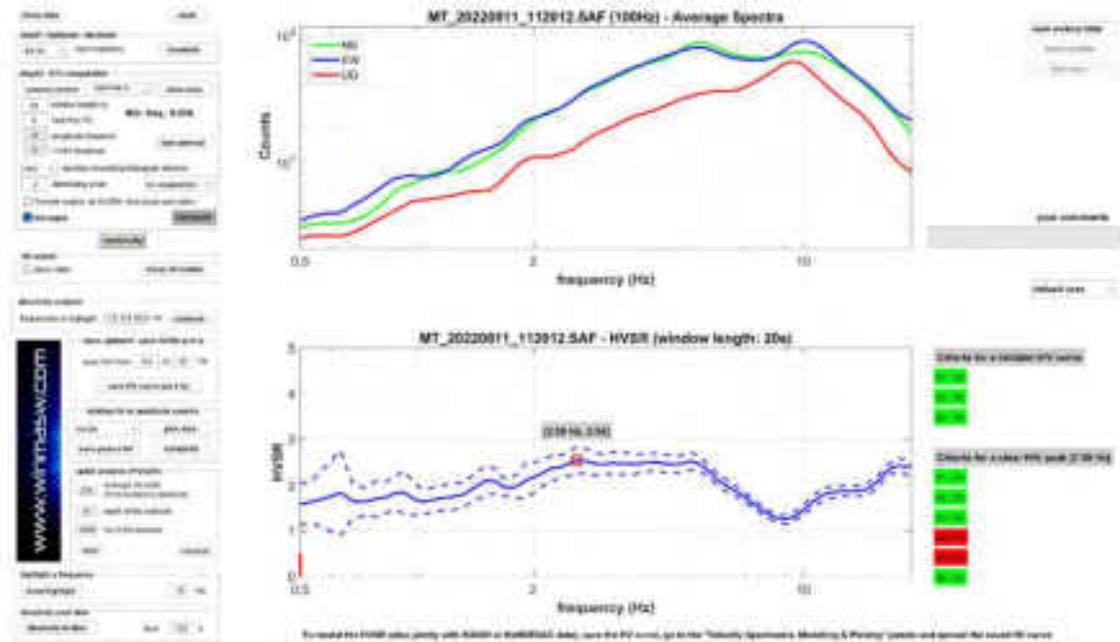


Fig.3: Spettri delle tre componenti e rapporto H/V.

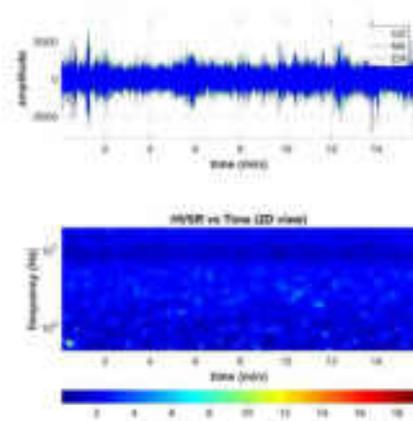


Fig.4: Persistenza del segnale.

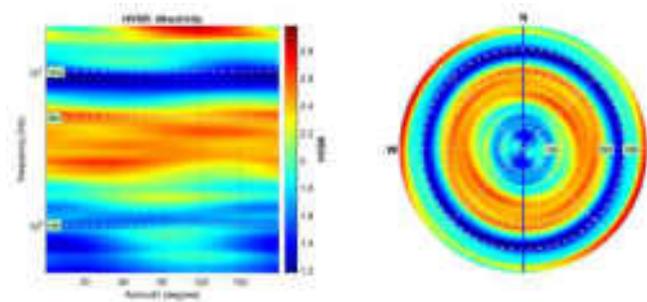


Fig.5: Direzionalità del segnale.

Dataset: MT_20220811_112012.SAF

DATA ACQUISITION Date and time: 2022/08/11

DATA PROCESSING Date: 24/08/2022

Sampling frequency (Hz): 100

Window length (sec): 20

Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz

Length of analysed dataset (min): 18.4

Tapering (%): 5 Smoothing (%): 15

Inversione congiunta HV+MASW

SESAME criteria the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range
Peak frequency (Hz): 2.6 Peak HVSR value: 2.5

Criteria for a reliable H/V curve

1. [$f_0 > 10/L_w$]: $2.590 > 0.5$ (OK)
2. [$n_c > 200$]: $4922 > 200$ (OK)
3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes (considering standard deviations), at frequency 0.7Hz (OK)
2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 8.7Hz (OK)
3. [$A_0 > 2$]: $2.5 > 2$ (OK)
4. [$f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \text{ a } \sigma_A(f)] = f_0 \text{ a } 5\%$]: (NO)
5. [$\sigma_{Af} < \epsilon(f_0)$]: $3.152 > 0.130$ (NO)
6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.587 < 1.58$ (OK)

2.1 Descrizione dei risultati

Nel caso in esame il rapporto spettrale H/V individua una frequenza di risonanza prossima a **2.6 Hz**, che risulta non verificata secondo i criteri di SESAME.

Inversione congiunta HV+MASW

3. INDAGINE SISMICA MASW-ZVF

Per la ricostruzione del modello geofisico del sito è stata eseguita un'indagine di sismica superficiale mediante il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW1.

Campagna	Ancona	Data	11/07/2022
Profilo	Masw1	Operatore	
Strumento	Ambrogeo Echo24	Condizioni Meteo	Sereno
Sorgente	mazza battente	Formato Dati	Sgy-Sg2
Frequenza Geofoni	4,5 Hz	Spaziatura Geofoni	2 m
Freq. Campionamento	0.478 ms	Lungh. registrazione	1000 ms
Coordinate			
Inizio Profilo		Fine Profilo	
Latitudine	43.607805°	Latitudine	43.607566°
Longitudine	13.521648°	Longitudine	13.522098°
Quota (m)			

Mappa



Foto



Inversione congiunta HV+MASW

Schema geometria

Energizzazioni 06 Ricevitori 24

Energiz. n°	Posizione Energiz.	Nome file	Posizioni Ricevitori	Tracce inattive	Note (Rumore, Energ. singola, stack Energ.)
1	-3.0 m	01	0-46 m	0	6
2	-5.0 m	02	0-46 m	0	6
3	-8.0 m	03	0-46 m	0	6
4	49 m	04	0-46 m	0	6
5	51 m	05	0-46 m	0	6
6	54 m	06	0-46 m	0	6

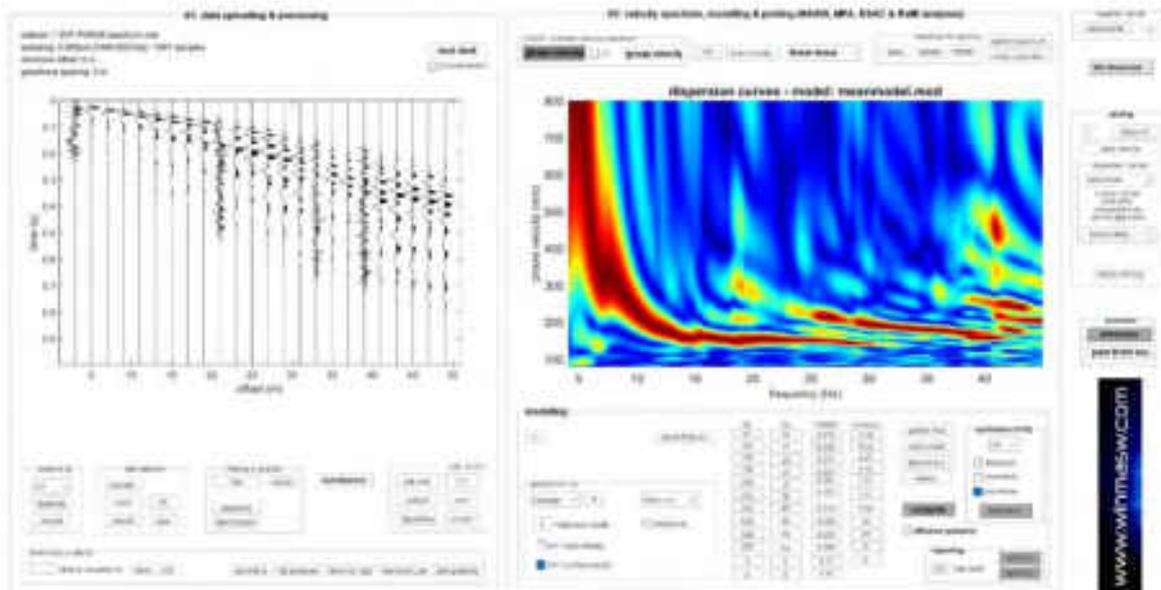


Fig.6: Sismogramma acquisito (sx) e relativo spettro di dispersione (dx) della componente verticale delle onde di Rayleigh.

4. ANALISI CONGIUNTA RAYLEIGH/HVSR

Durante l'elaborazione dei dati MASW, oltre al classico metodo legato all'identificazione delle curve modali, per l'interpretazione dello spettro di velocità nella sua parte a più bassa frequenza (<5-10 Hz) e nelle porzioni più profonde del modello geofisico, sono state considerate anche le curve HVSR, ottenute per il sito di indagine.

Considerando per l'analisi HVSR il picco precedentemente interpretato, è stata eseguita un'analisi congiunta tra lo spettro di dispersione dell'indagine MASW e la curva HV modellata, al fine di ottenere un solo modello vincolato di velocità, in corrispondenza del sito di indagine.

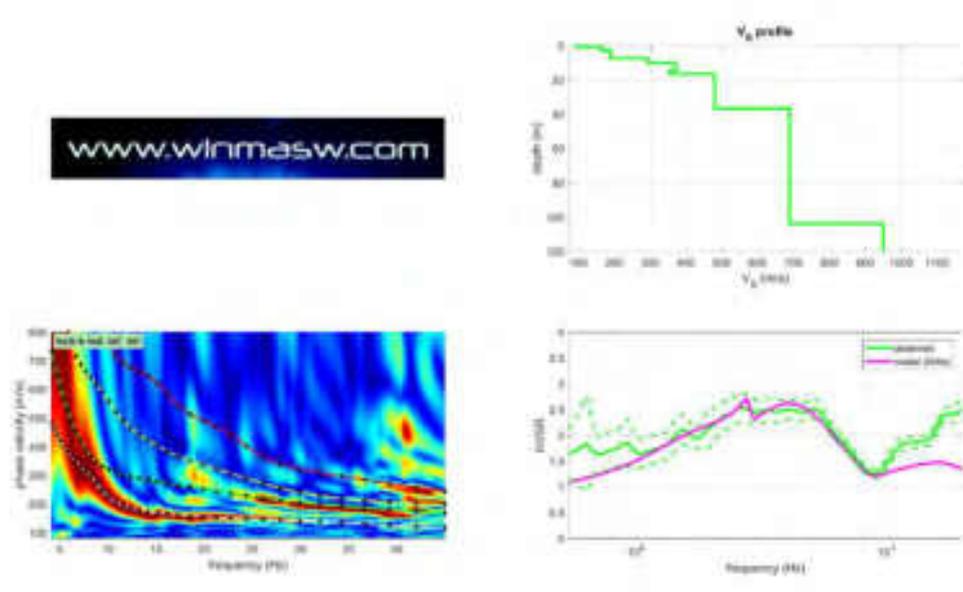


Fig.7: Analisi congiunta Rayleigh/HVSR figura riassuntiva: individuazione del modo fondamentale e dei modi superiori che compongono lo spettro di velocità delle onde di Rayleigh (sx in basso) e confronto (dx in basso) tra le curve HVSR sperimentali (verde) e teoriche (viola), ottenute per lo stesso modello di velocità considerato durante l'analisi spettrale della relativa MASW.

5. CONCLUSIONI

Nelle seguenti tabelle sono riportati i valori delle velocità medie e gli spessori di ciascun sismostrato, in modo da definire un modello geofisico più attendibile, ottenuto mediante analisi delle onde di superficie con metodologia ZVF e analisi congiunta Rayleigh/HVSR.

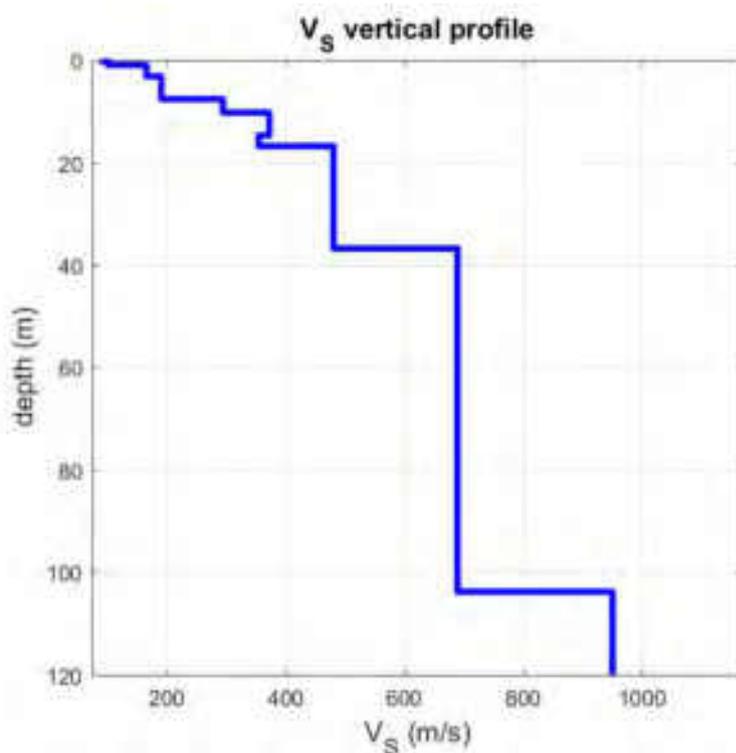


Fig.8: Andamento delle Vs con la profondità.

Sismostrato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)
1	91	0.3	0.3
2	105	0.6	0.9
3	165	2.2	3.1
4	190	4.5	7.6
5	295	2.6	10.2
6	375	4.5	14.7
7	355	2.1	16.8
8	480	20.0	36.8
9	690	67.0	103.8
10	950	-	-

Tab.2 - Modello sismostratigrafico individuato in termini di Vs - **Mean Model**.

È stato quindi possibile calcolare la V_{seq} , tramite la formula:

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

dove:

h_i = spessore dello strato i - esimo (m)

V_s = valore di velocità delle onde di taglio (m/s)

N = numero 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.

Nel caso in oggetto non avendo riscontrato il substrato sismico >800 m/sec nei primi 30 m dal p.c. il valore del V_{seq} è assimilabile al valore V_{s30} .

- **Calcolo da piano campagna**

$$V_{Seq} = 297 \text{ m/s}$$

Inversione congiunta MASW+HVSr

INDICE

1. PREMESSA	2
2. INDAGINE SISMICA HVSr	2
2.1 Descrizione dei risultati	6
3. INDAGINE SISMICA MASW-ZVF	7
4. ANALISI CONGIUNTA RAYLEIGH/HVSr	9
5. CONCLUSIONI	10

Inversione congiunta HV+MASW

1. PREMESSA

Su incarico e per conto del Dott. Geol. Maurizio Mainiero, è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche eseguite nel Comune di Ancona ad integrazione degli studi di MS2.

2. INDAGINE SISMICA HVSR

Le misure di microtremore ambientale sono state eseguite per mezzo di un tromografo 24 bit GEOBOX prodotto dalla ditta Sara Instruments Srl (frequenza di risonanza propria 4.5 Hz), dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati secondo le direzioni Verticale, NS, EW, ad alta definizione, alimentato a batterie, senza cavi esterni.

Campagna	Ancona	Data:	11/08/2022
Sito	Frana	Operatore	
Strumento Acquisitore	Tromografo	Sismometro Tipo	SARA geobox
Frequenza Sismometro	-	Fondo scala	4,5 Hz
Freq. Campionamento	100 Hz	GPS LOC	No
Inizio Registrazione		Durata (sec)	1200
NOME FILE	MT_20220811_104823	FORMATO FILE	SAF
Coordinate			
	WGS84	UTM	ALTRO
Latitudine	43.609273°		
Longitudine	13.522986°		
Quota (m)			

Indicazioni sul Sito:



Inversione congiunta HV+MASW

INSTALLAZIONE SISMOMETRO: ACCOPPIAMENTO

- | | | | |
|--|---|--|---|
| <input type="checkbox"/> Roccia | <input type="checkbox"/> Asfalto | <input type="checkbox"/> Sabbia | <input type="checkbox"/> Erba |
| <input type="checkbox"/> Terreno Riporto | <input type="checkbox"/> Terreno_compatto | <input type="checkbox"/> Terreno_bagnato | <input checked="" type="checkbox"/> Terreno_secco |
| <input type="checkbox"/> Cemento | <input type="checkbox"/> Sterrato | <input type="checkbox"/> Pavimentazione | <input type="checkbox"/> Marciapiede |

Modalità Accoppiamento Sismometro Terreno:

appoggiato

INSTALLAZIONE SISMOMETRO : GEOLOGIA

- | | | | |
|---------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Roccia | <input checked="" type="checkbox"/> Terreno | <input type="checkbox"/> Detrito | <input type="checkbox"/> Riporto |
|---------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|

altro/commento:

INSTALLAZIONE SISMOMETRO : POSIZIONAMENTO in

- | | | | |
|---|---|--|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Città_via_principale | <input type="checkbox"/> Città_via_secondaria | <input type="checkbox"/> Città_cortile | <input type="checkbox"/> Città_parco |
| <input type="checkbox"/> Strada_principale | <input checked="" type="checkbox"/> Strada_secondaria | <input type="checkbox"/> Mura | <input type="checkbox"/> Mura_antiche |
| <input checked="" type="checkbox"/> Aperta_campagna | <input type="checkbox"/> Galleria | <input type="checkbox"/> Cunicolo | |

altro/commento:... ..

INSTALLAZIONE GEOFONO : VICINANZA

- | | | | |
|--|--|--|-----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Fiume | <input type="checkbox"/> Canale | <input type="checkbox"/> Fabbrica | <input type="checkbox"/> Cantiere |
| <input type="checkbox"/> Lavori_stradali | <input type="checkbox"/> Alberi | <input type="checkbox"/> Ponti | <input type="checkbox"/> Viadotti |
| <input type="checkbox"/> Mura | <input type="checkbox"/> Gallerie | <input type="checkbox"/> fognature | |
| <input type="checkbox"/> Edifici_nessuno | <input checked="" type="checkbox"/> Edifici_scarsi | <input type="checkbox"/> Edifici_densi | |

distanza_edificio_vicino numero_piani_edificio_vicino:

strutture_sotterranee:.....

CONDIZIONI ATMOSFERICHE :

- | | | |
|--|---|--|
| <input type="checkbox"/> vento_forte | <input type="checkbox"/> vento_debole | <input checked="" type="checkbox"/> no_vento |
| <input type="checkbox"/> pioggia_forte | <input type="checkbox"/> pioggia_debole | <input checked="" type="checkbox"/> no_pioggia |

altro/commento.....

Inversione congiunta HV+MASW

RUMORE RILEVABILE:

- | | | |
|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> Auto_nessuna | <input checked="" type="checkbox"/> Auto_poche | <input type="checkbox"/> Auto_tante |
| <input type="checkbox"/> Mezzi_pesanti_nessuno | <input type="checkbox"/> Mezzi_pesanti_pochi | <input type="checkbox"/> Mezzi_pesanti_tanti |
| <input type="checkbox"/> Pedoni_nessuno | <input type="checkbox"/> Pedoni_pochi | <input type="checkbox"/> Pedoni_tanti |

ALTRE SORGENTI DI RUMORE

.....
.....

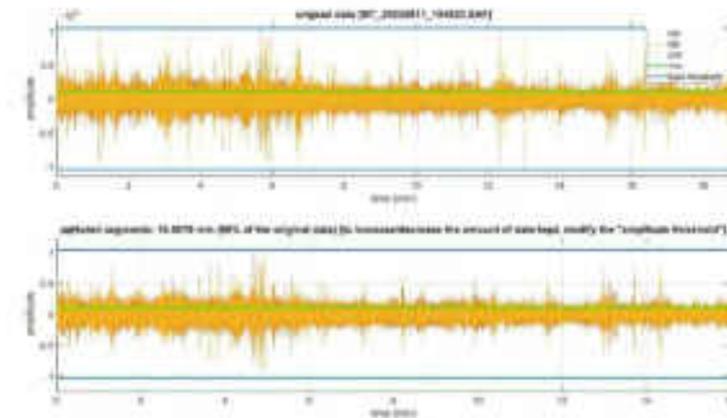


Fig.1: Visualizzazione dei dati dopo la rimozione di eventi transienti.

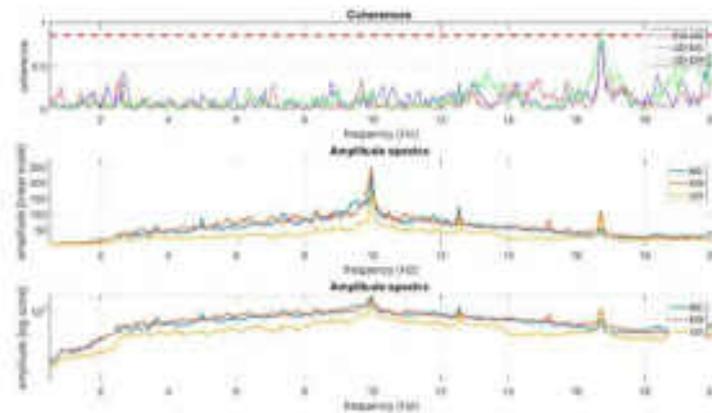


Fig.2: Spettri di ampiezza delle tre componenti con scale delle frequenze lineari (scala di ampiezza sia log che lineare) e le coerenze tra le varie coppie di sensori (EW versus NS, EW versus UD e NS versus UD).

Inversione congiunta HV+MASW

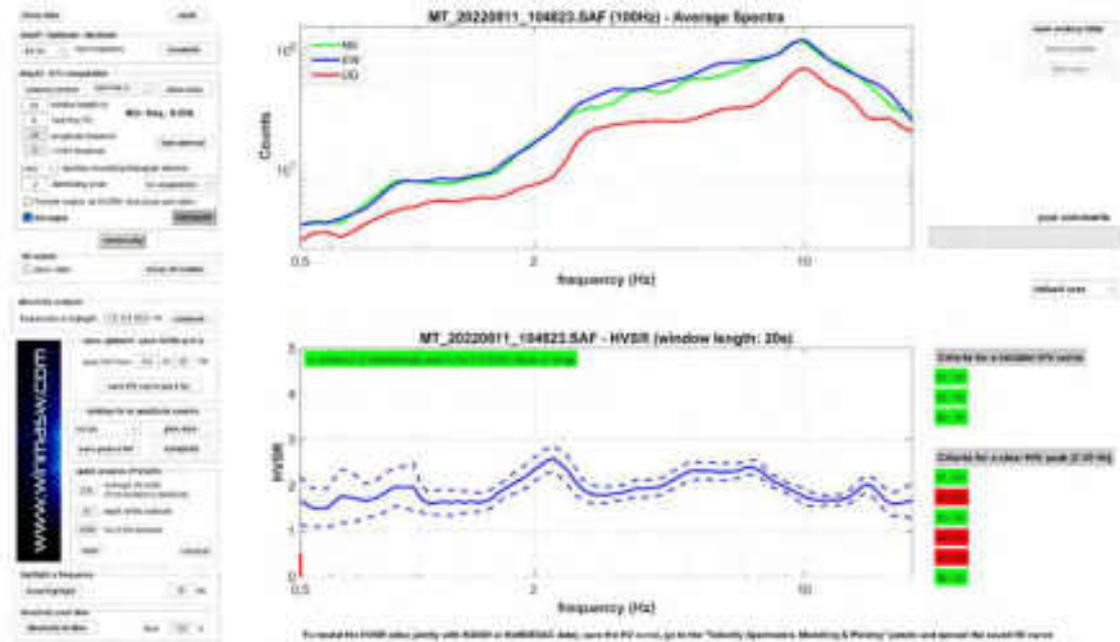


Fig.3: Spettri delle tre componenti e rapporto H/V.

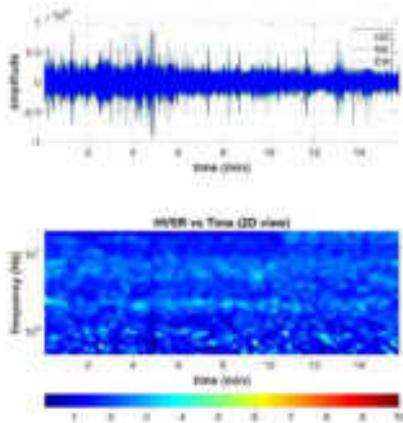


Fig.4: Persistenza del segnale.

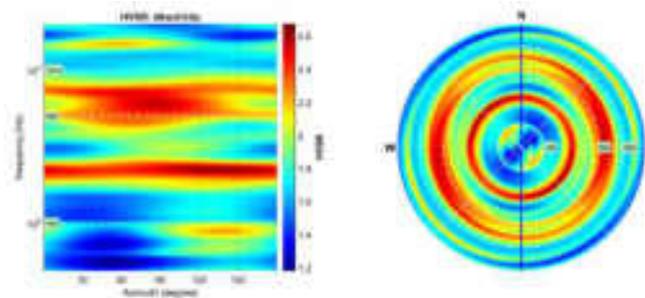


Fig.5: Direzionalità del segnale.

Dataset: MT_20220811_104823.SAF

DATA ACQUISITION Date and time: 2022/08/11

DATA PROCESSING Date: 24/08/2022

Sampling frequency (Hz): 100

Window length (sec): 20

Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz

Length of analysed dataset (min): 18.8

Tapering (%): 5 Smoothing (%): 15

Inversione congiunta HV+MASW

SESAME criteria the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range
Peak frequency (Hz): 2.2 Peak HVSR value: 2.6

Criteria for a reliable H/V curve

1. $[f_0 > 10/L_w]$: $2.248 > 0.5$ (OK)
2. $[n_c > 200]$: $4272 > 200$ (OK)
3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

1. $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f_-) < A_0/2]$: yes (considering standard deviations), at frequency 0.6Hz (OK)
2. $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f_+) < A_0/2]$: (NO)
3. $[A_0 > 2]$: $2.6 > 2$ (OK)
4. $[f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (NO)
5. $[\sigma_A < \epsilon(f_0)]$: $5.161 > 0.112$ (NO)
6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.436 < 1.58$ (OK)

2.1 Descrizione dei risultati

Nel caso in esame il rapporto spettrale H/V individua una frequenza di risonanza prossima a **2.2 Hz**, che risulta non verificata secondo i criteri di SESAME.

Inversione congiunta HV+MASW

3. INDAGINE SISMICA MASW-ZVF

Per la ricostruzione del modello geofisico del sito è stata eseguita un'indagine di sismica superficiale mediante il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW1.

Campagna	Ancona	Data	11/07/2022
Profilo	Masw2	Operatore	
Strumento	Ambrogeo Echo24	Condizioni Meteo	Sereno
Sorgente	mazza battente	Formato Dati	Sgy-Sg2
Frequenza Geofoni	4,5 Hz	Spaziatura Geofoni	2 m
Freq. Campionamento	0.478 ms	Lungh. registrazione	1000 ms
Coordinate			
Inizio Profilo		Fine Profilo	
Latitudine	43.609494°	Latitudine	43.609087°
Longitudine	13.522907°	Longitudine	13.522943°
Quota (m)			



Inversione congiunta HV+MASW

Schema geometria

Energizzazioni 06 Ricevitori 24

Energiz. n°	Posizione Energiz.	Nome file	Posizioni Ricevitori	Tracce inattive	Note (Rumore, Energ. singola, stack Energ.)
1	-3.0 m	01	0-46 m	0	6
2	-5.0 m	02	0-46 m	0	6
3	-8.0 m	03	0-46 m	0	6
4	49 m	04	0-46 m	0	6
5	51 m	05	0-46 m	0	6
6	54 m	06	0-46 m	0	6

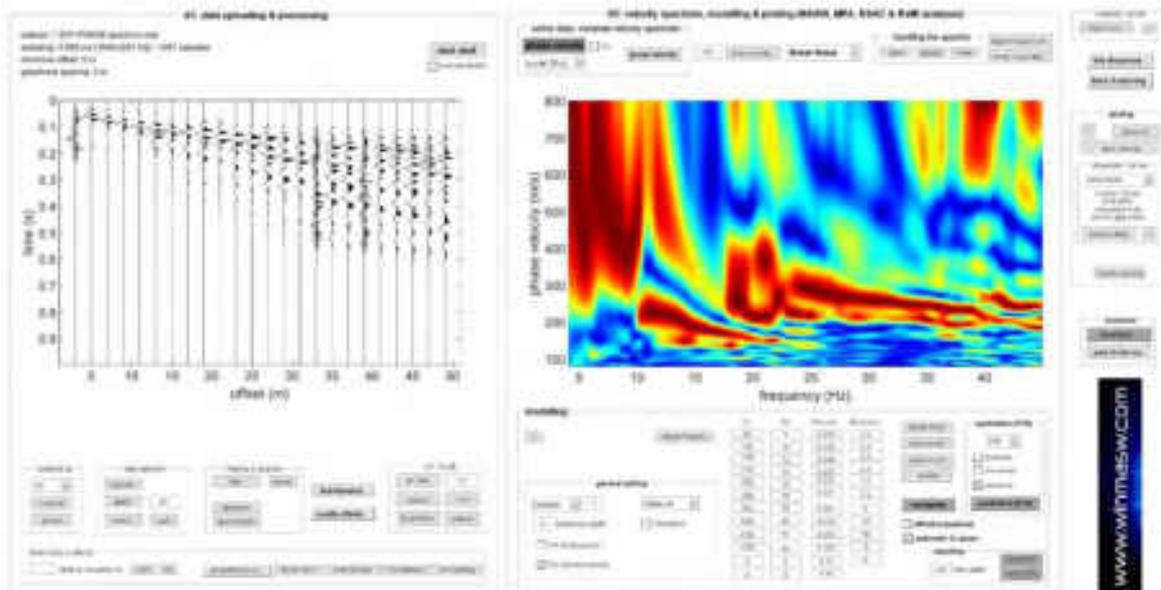


Fig.6: Sismogramma acquisito (sx) e relativo spettro di dispersione (dx) della componente verticale delle onde di Rayleigh.

4. ANALISI CONGIUNTA RAYLEIGH/HVSR

Durante l'elaborazione dei dati MASW, oltre al classico metodo legato all'identificazione delle curve modali, per l'interpretazione dello spettro di velocità nella sua parte a più bassa frequenza (<5-10 Hz) e nelle porzioni più profonde del modello geofisico, sono state considerate anche le curve HVSR, ottenute per il sito di indagine.

Considerando per l'analisi HVSR il picco precedentemente interpretato, è stata eseguita un'analisi congiunta tra lo spettro di dispersione dell'indagine MASW e la curva HV modellata, al fine di ottenere un solo modello vincolato di velocità, in corrispondenza del sito di indagine.

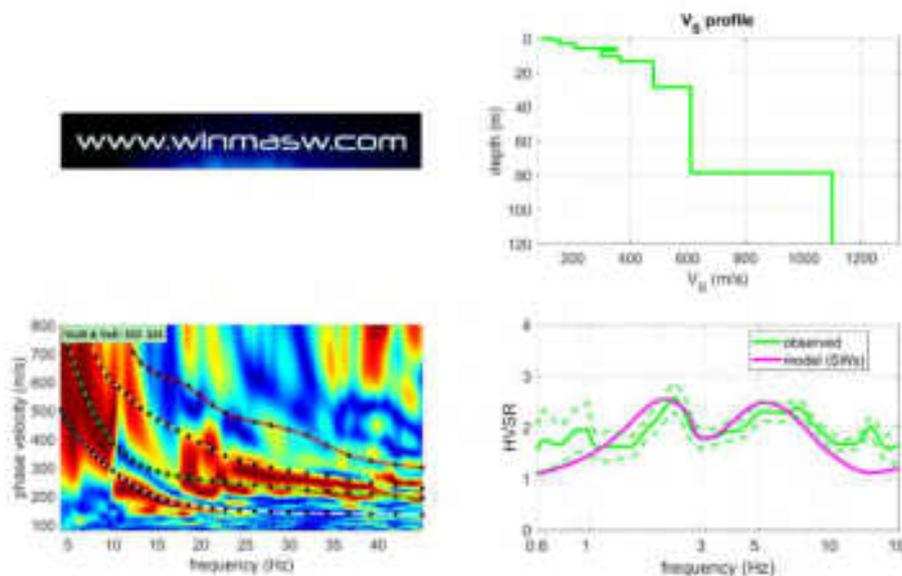


Fig.7: Analisi congiunta Rayleigh/HVSR figura riassuntiva: individuazione del modo fondamentale e dei modi superiori che compongono lo spettro di velocità delle onde di Rayleigh (sx in basso) e confronto (dx in basso) tra le curve HVSR sperimentali (verde) e teoriche (viola), ottenute per lo stesso modello di velocità considerato durante l'analisi spettrale della relativa MASW.

Inversione congiunta HV+MASW

5. CONCLUSIONI

Nelle seguenti tabelle sono riportati i valori delle velocità medie e gli spessori di ciascun sismostrato, in modo da definire un modello geofisico più attendibile, ottenuto mediante analisi delle onde di superficie con metodologia ZVF e analisi congiunta Rayleigh/HVSR.

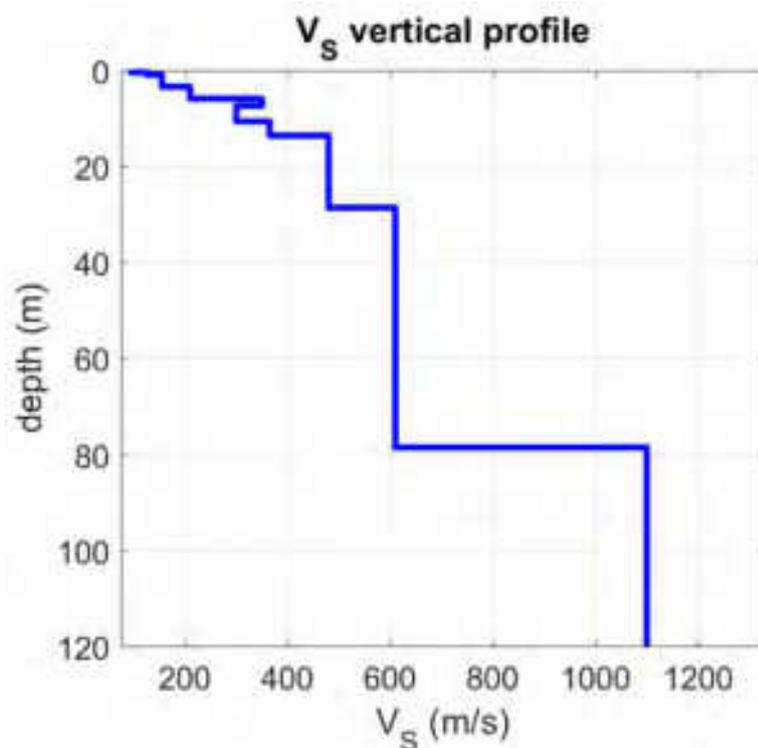


Fig.8: Andamento delle Vs con la profondità.

Sismostrato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)
1	95	0.4	0.4
2	125	0.5	0.9
3	155	2.5	3.4
4	210	2.5	5.9
5	350	1.5	7.4
6	300	3.2	10.6
7	365	3.0	13.6
8	480	15.0	28.6
9	610	50.0	78.6
10	1100	-	-

Tab.2 - Modello sismostratigrafico individuato in termini di Vs - **Mean Model**.

È stato quindi possibile calcolare la V_{seq} , tramite la formula:

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

dove:

h_i = spessore dello strato i - esimo (m)

V_s = valore di velocità delle onde di taglio (m/s)

N = numero 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.

Nel caso in oggetto non avendo riscontrato il substrato sismico >800 m/sec nei primi 30 m dal p.c. il valore del V_{seq} è assimilabile al valore V_{s30} .

• **Calcolo da piano campagna**

$V_{Seq} = 323$ m/s

STATION INFORMATION

Station code: HVSR5

Model: -

Sensor: -

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: Ancona MZS

Address: -

Latitude: 43.610289

Longitude: 13.524020

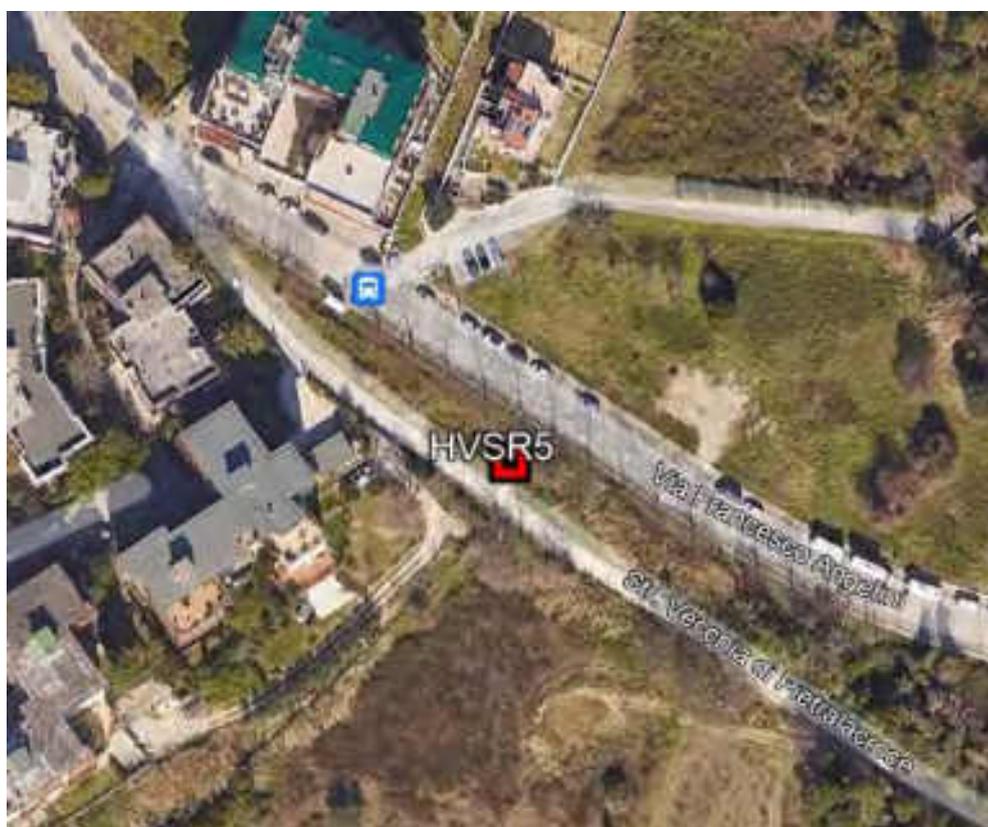
Coordinate system: WGS84

Elevation:

Weather: no pioggia e vento

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 100 Hz

Recording start time: 2022/08/11 09:35:24

Recording length: 20 min

Windows count: 31

Average windows length: 20

Signal coverage: 51.67%

61707 Counts

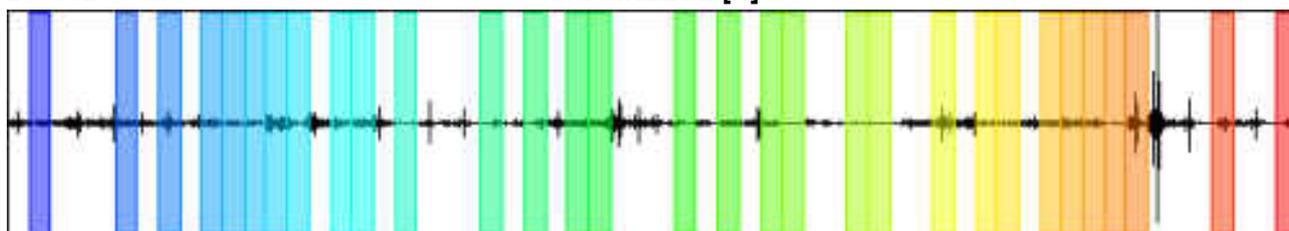
CHANNEL #1 [V]



-56148 Counts

250612 Counts

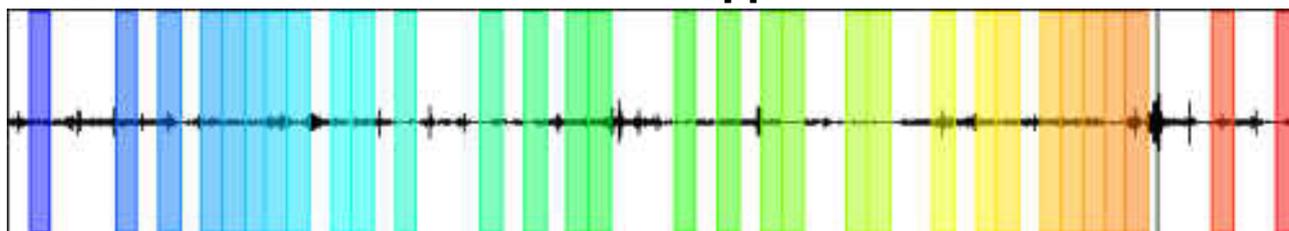
CHANNEL #2 [N]



-222039 Counts

271703 Counts

CHANNEL #3 [E]



-272660 Counts

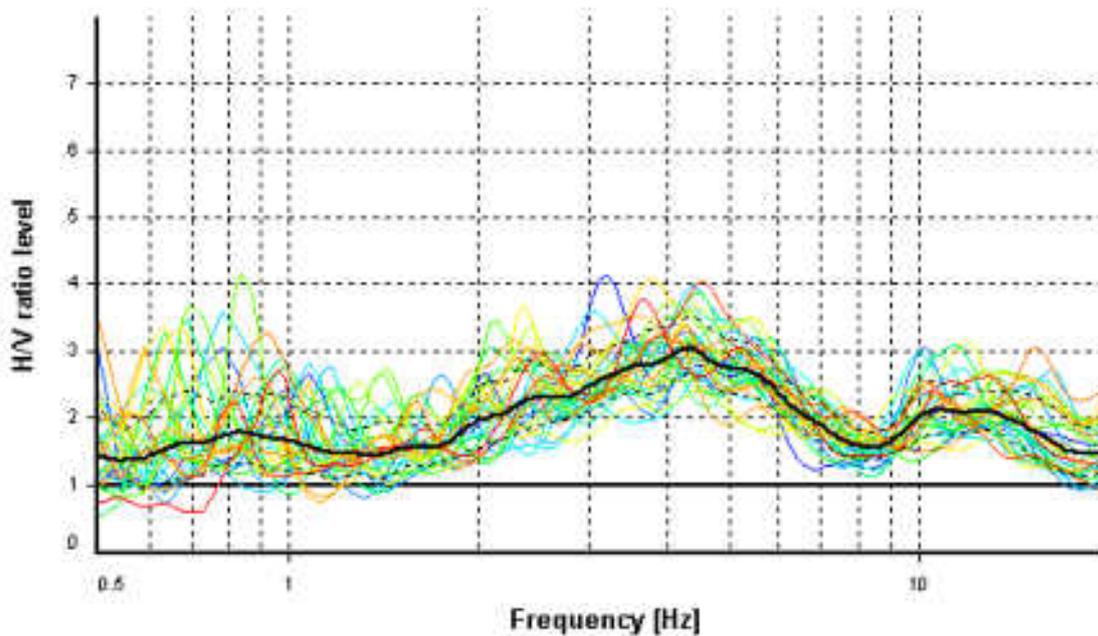
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

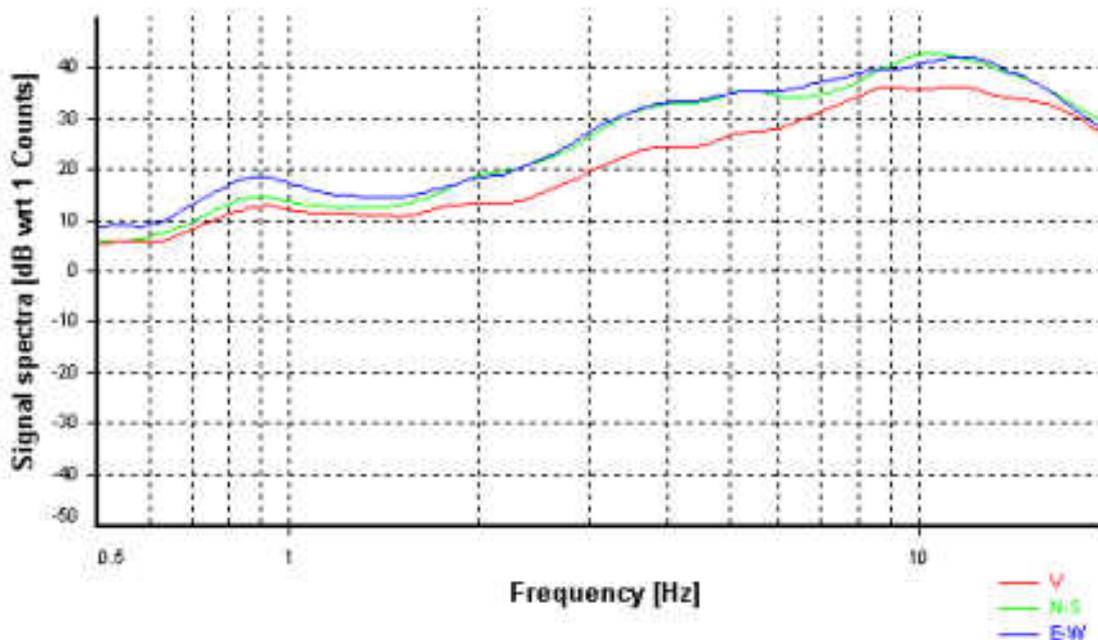
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 30)

Instrumental correction: Disabled

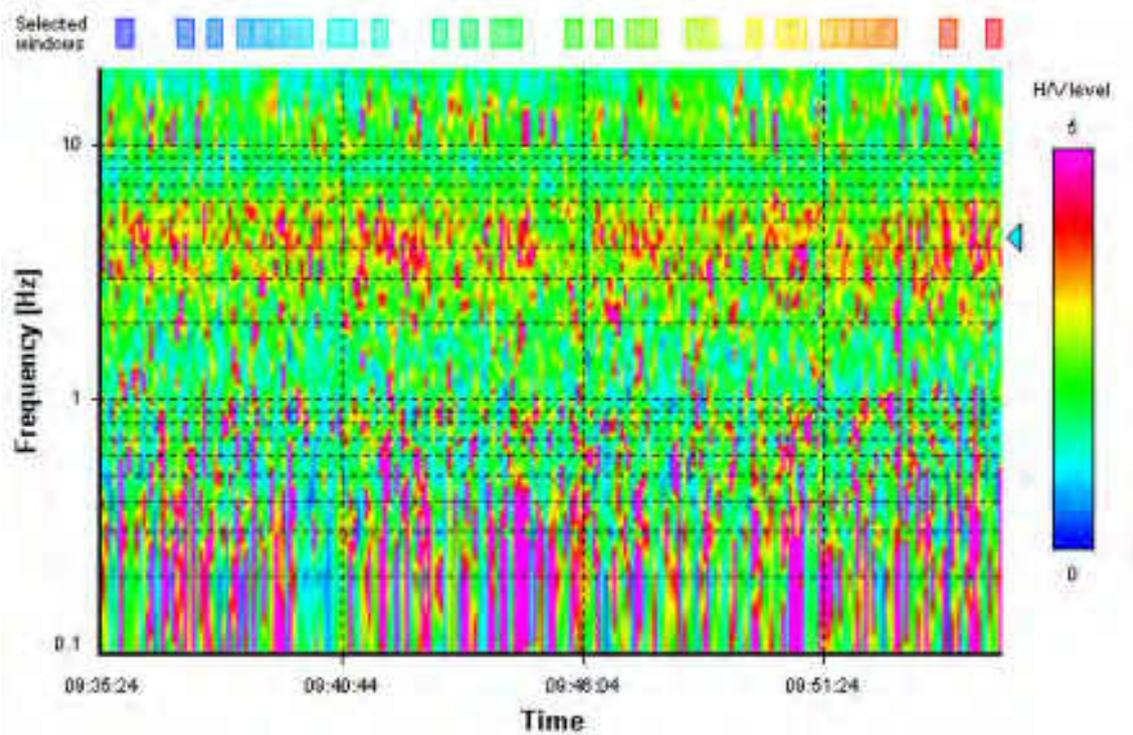
HVSR average



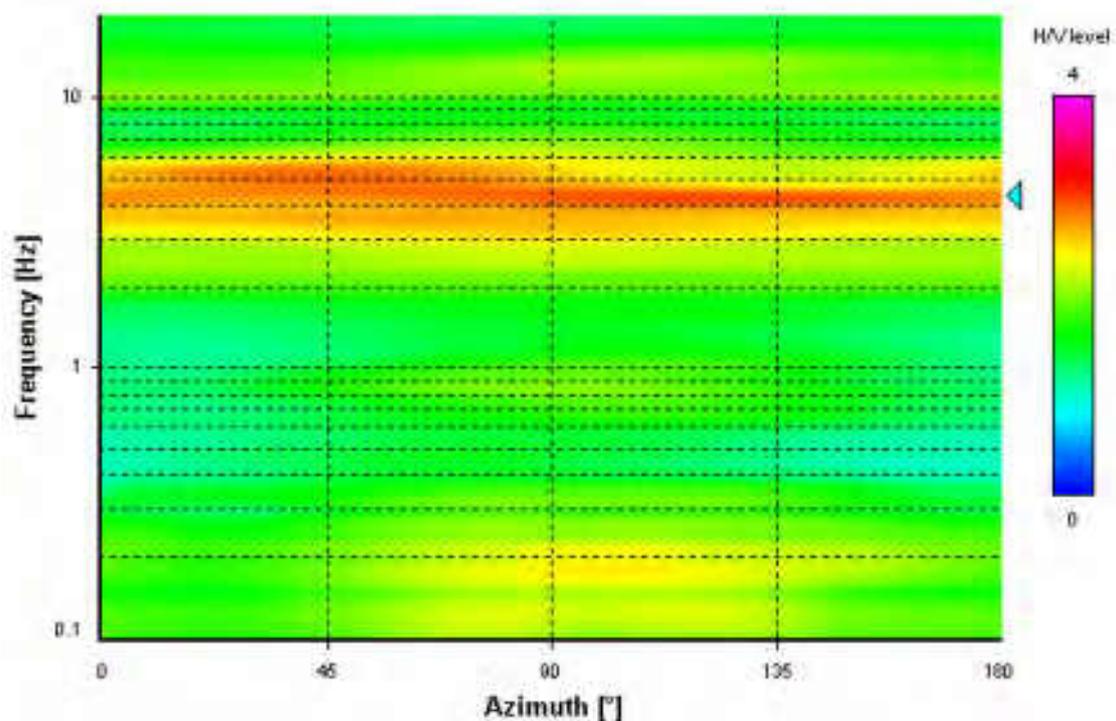
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (5 seconds windows)



HVSR directional analysis



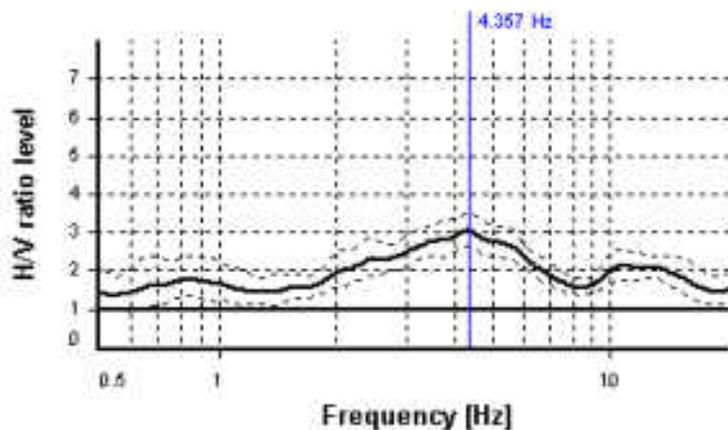
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

4.357 Hz

A_0 amplitude = 3.044

Average $f_0 = 4.095 \pm 0.602$



HVS curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	31 valid windows (length > 2.3 s) out of 31	OK
$n_c(f_0) > 200$	2701.39 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 79	OK
HVS peak clarity criteria		
$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	1.47827 Hz	OK
$\exists f' \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	17.35657 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.04 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	1.76% <= 5%	OK
$\sigma_T < \varepsilon(f_0)$	0.60183 >= 0.21785	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.15256 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

STATION INFORMATION

Station code: HVSR6

Model: -

Sensor: -

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: -

Address: Ancona MZS

Latitude: 43.609662

Longitude: 13.525308

Coordinate system: WGS84

Elevation:

Weather: no pioggia e vento

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 100 Hz

Recording start time: 2022/08/11 10:13:30

Recording length: 20 min

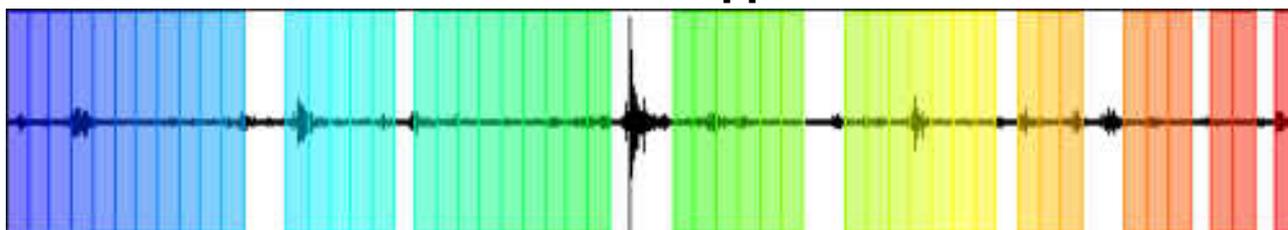
Windows count: 47

Average windows length: 20

Signal coverage: 78.33%

27443 Counts

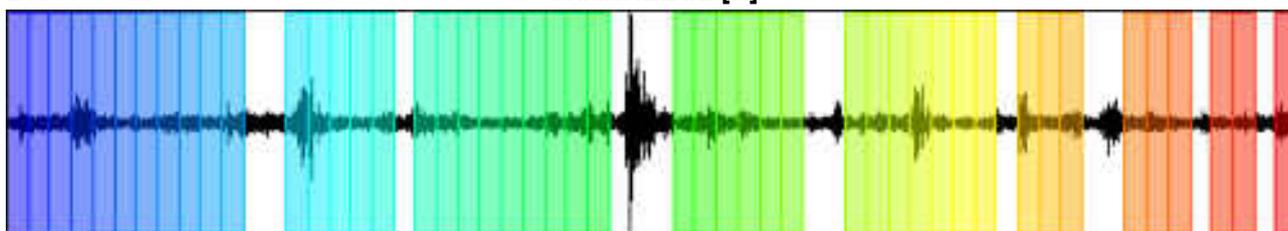
CHANNEL #1 [V]



-28851 Counts

24631 Counts

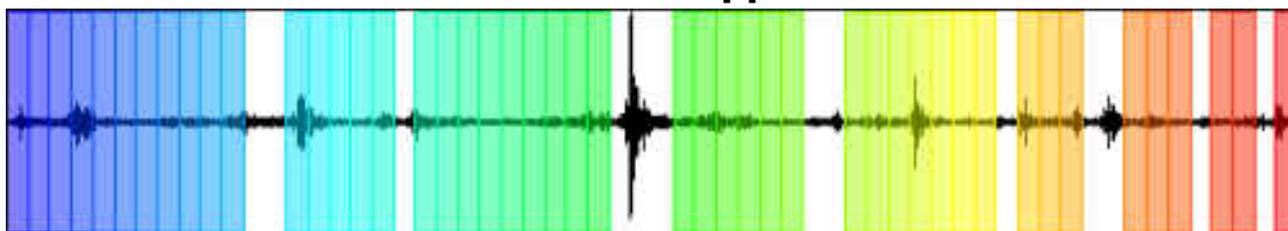
CHANNEL #2 [N]



-24221 Counts

47026 Counts

CHANNEL #3 [E]



-40788 Counts

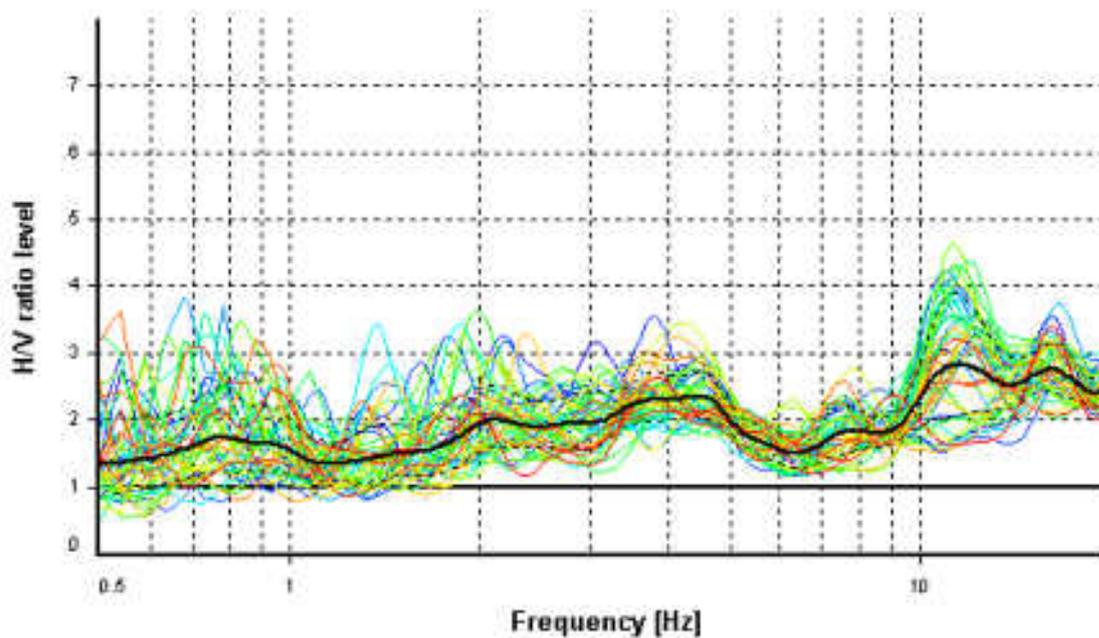
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

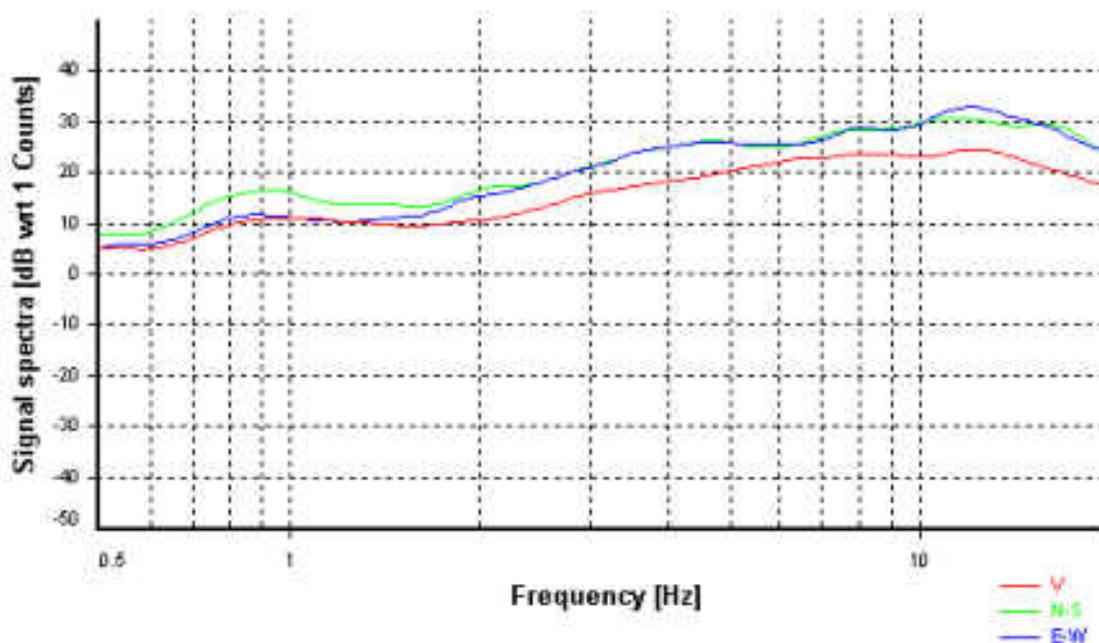
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 30)

Instrumental correction: Disabled

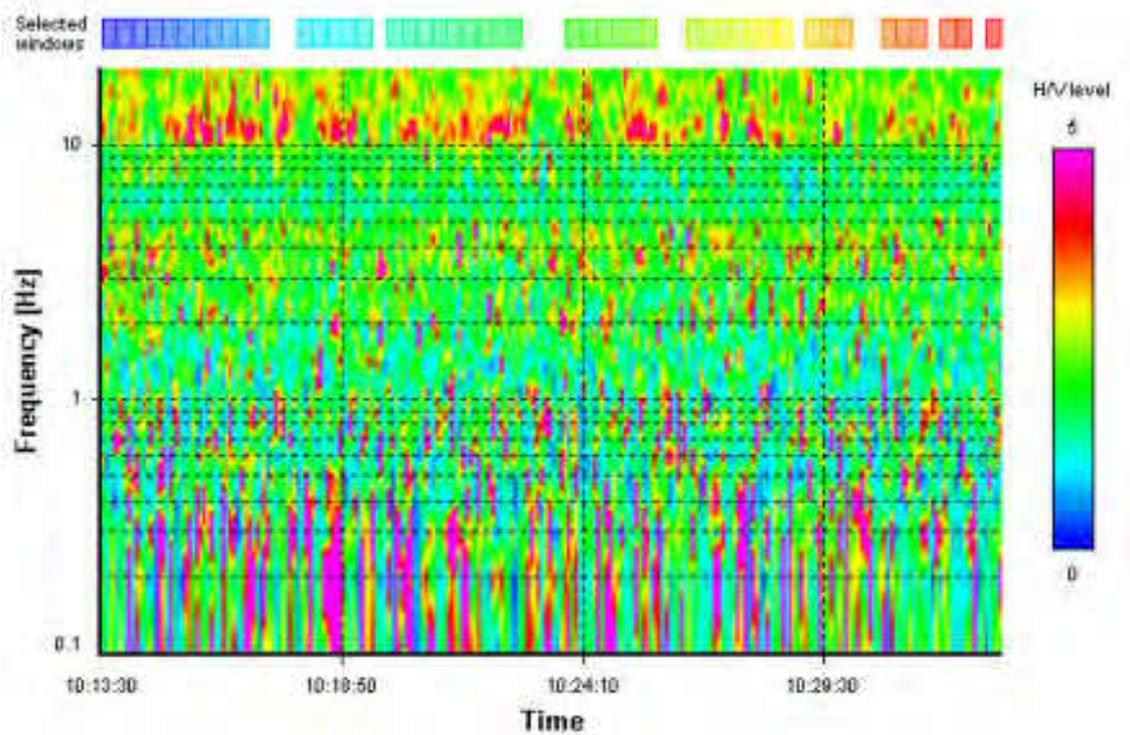
HVSR average



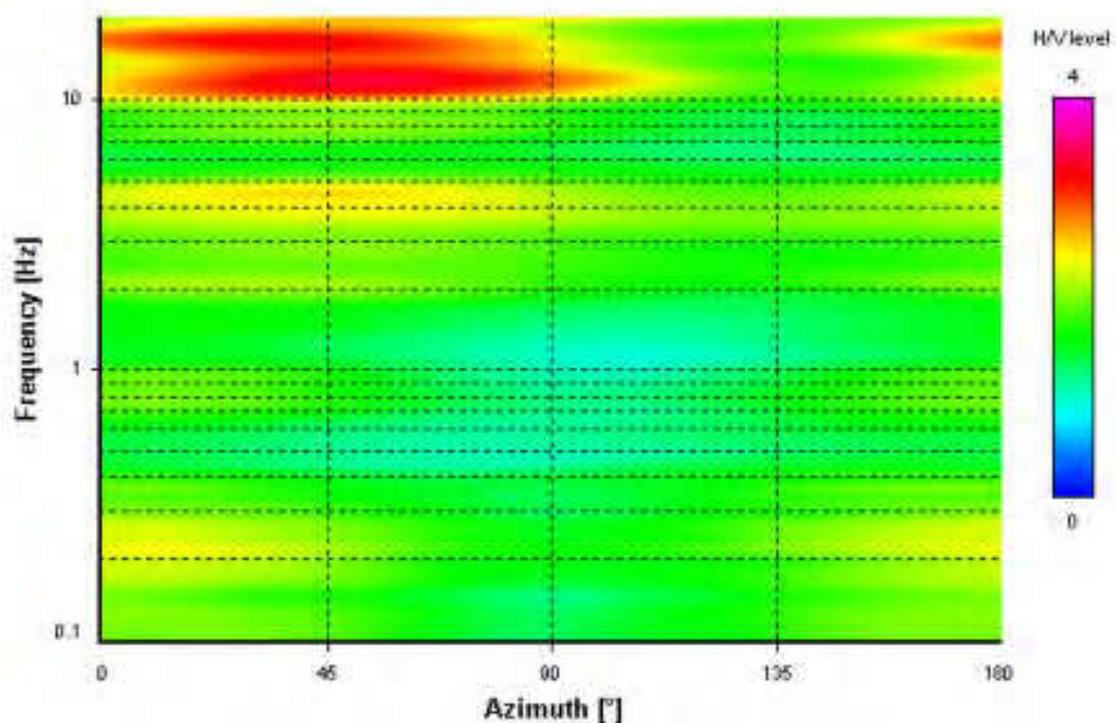
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (5 seconds windows)



HVSR directional analysis



STATION INFORMATION

Station code: HVSR9

Model: -

Sensor: -

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: -

Address: Ancona MZS

Latitude: 43.607305

Longitude: 13.521424

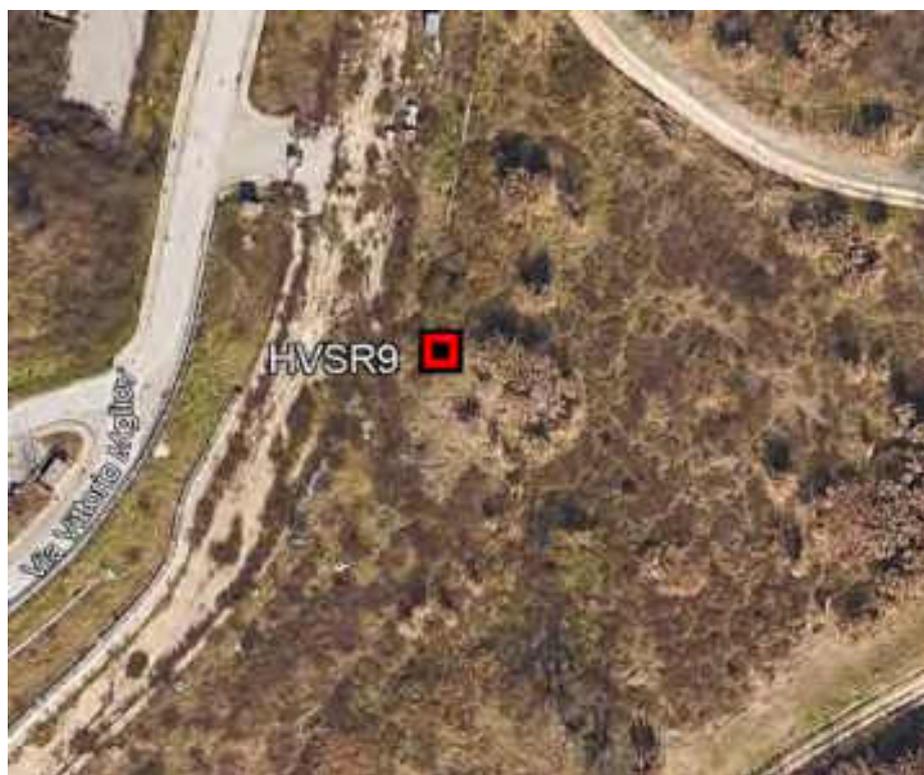
Coordinate system: WGS84

Elevation:

Weather: no pioggia e vento

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 100 Hz

Recording start time: 2022/08/11 12:05:45

Recording length: 20 min

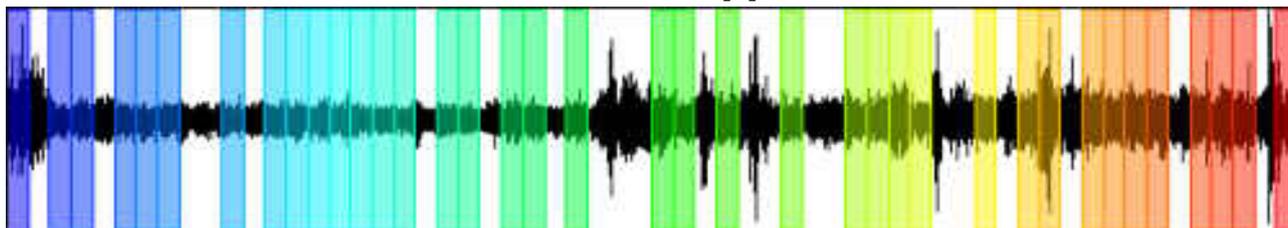
Windows count: 38

Average windows length: 20

Signal coverage: 63.33%

8728 Counts

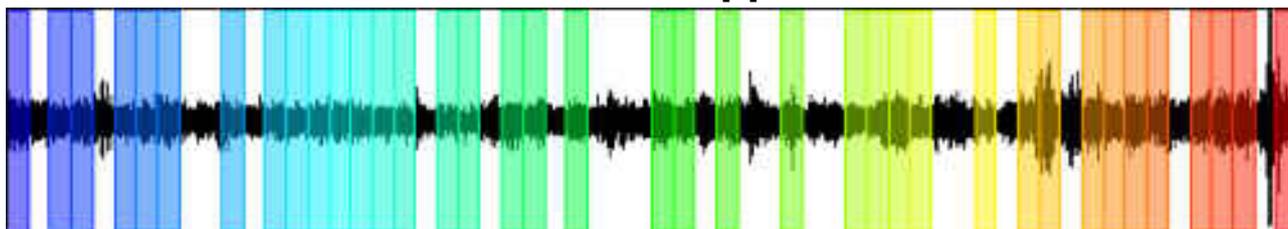
CHANNEL #1 [V]



-8152 Counts

7970 Counts

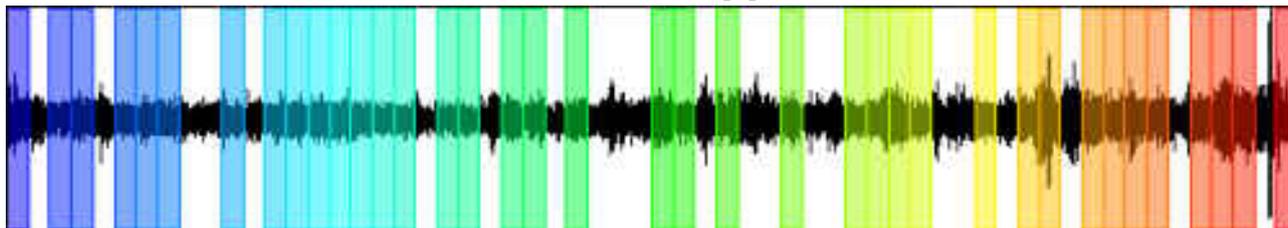
CHANNEL #2 [N]



-7559 Counts

10111 Counts

CHANNEL #3 [E]



-9069 Counts

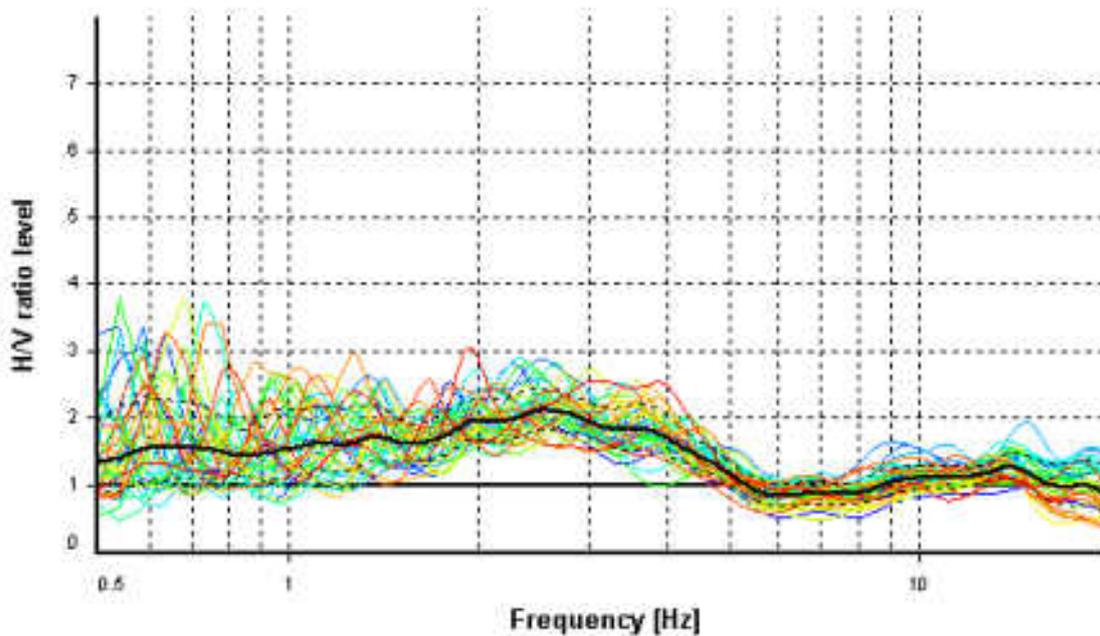
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

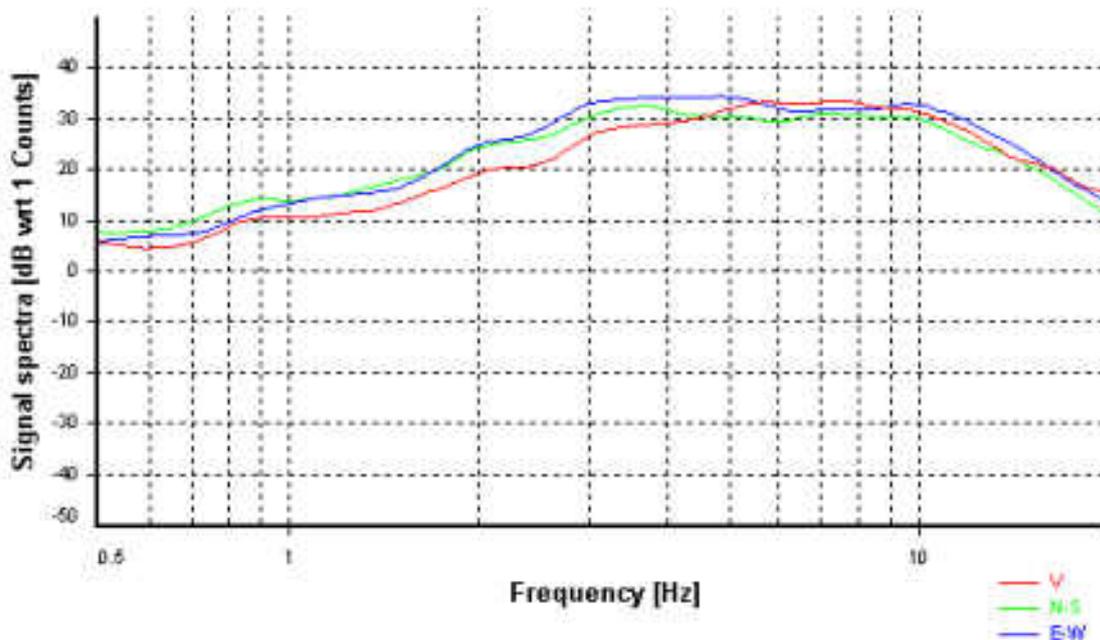
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 30)

Instrumental correction: Disabled

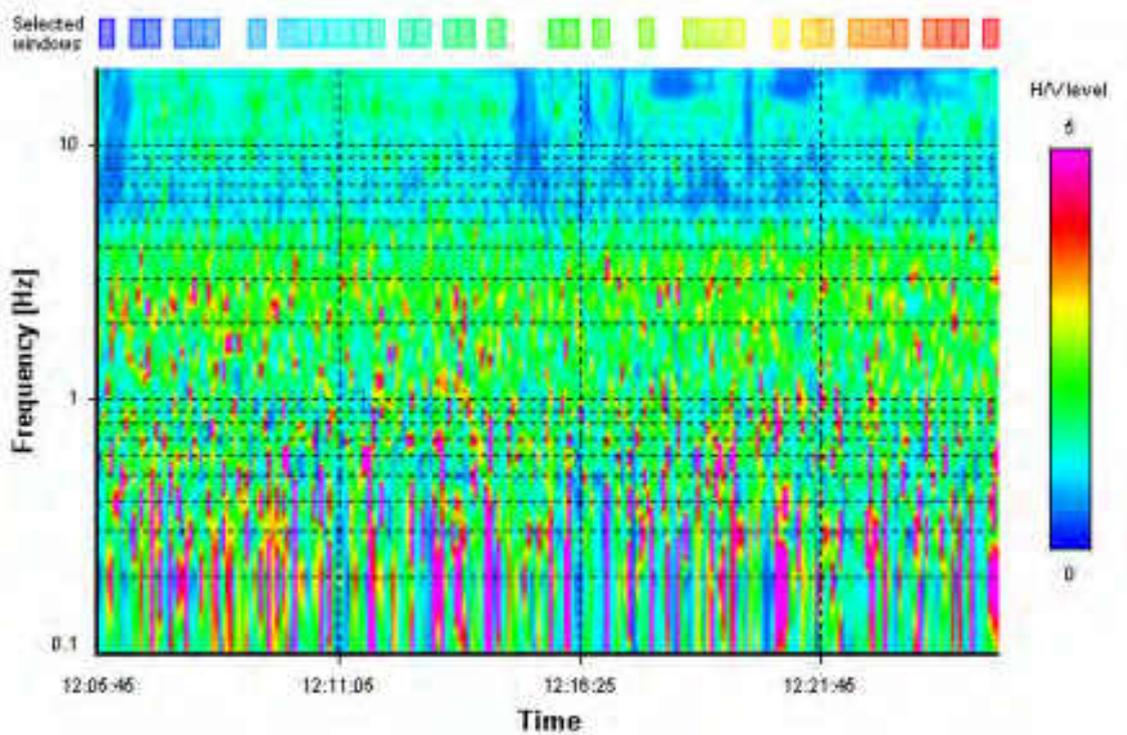
HVSR average



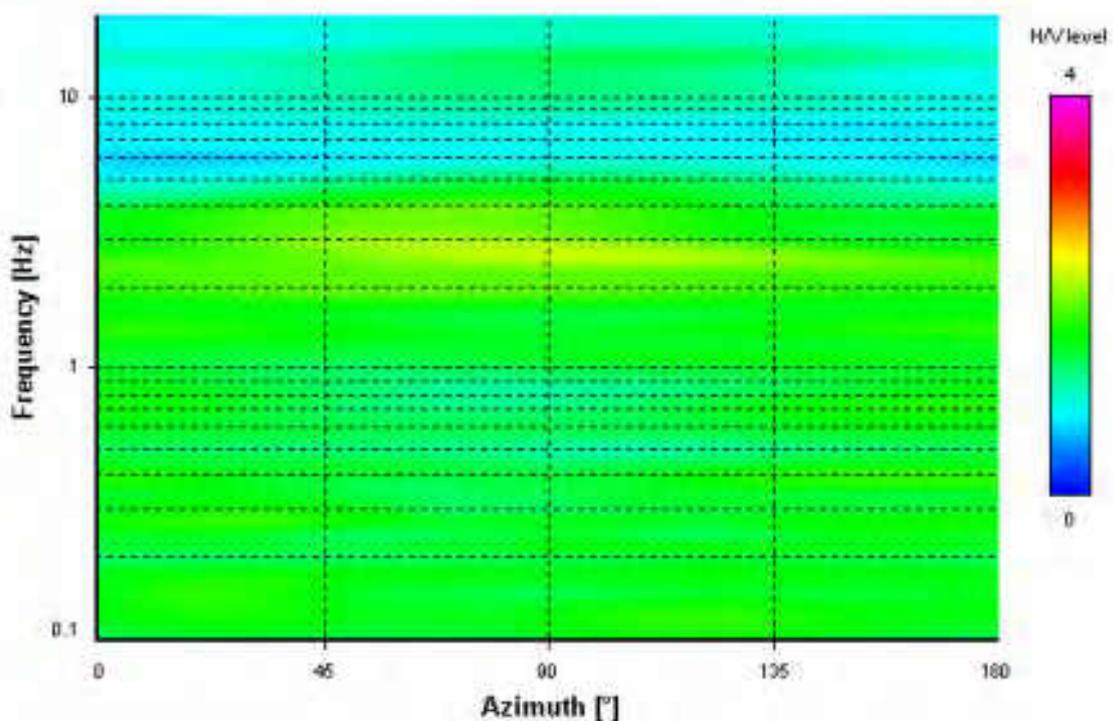
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (5 seconds windows)



HVSR directional analysis



STATION INFORMATION

Station code: HVSR10

Model: -

Sensor: -

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: -

Address: Ancona MZS

Latitude: 43.606475

Longitude: 13.520313

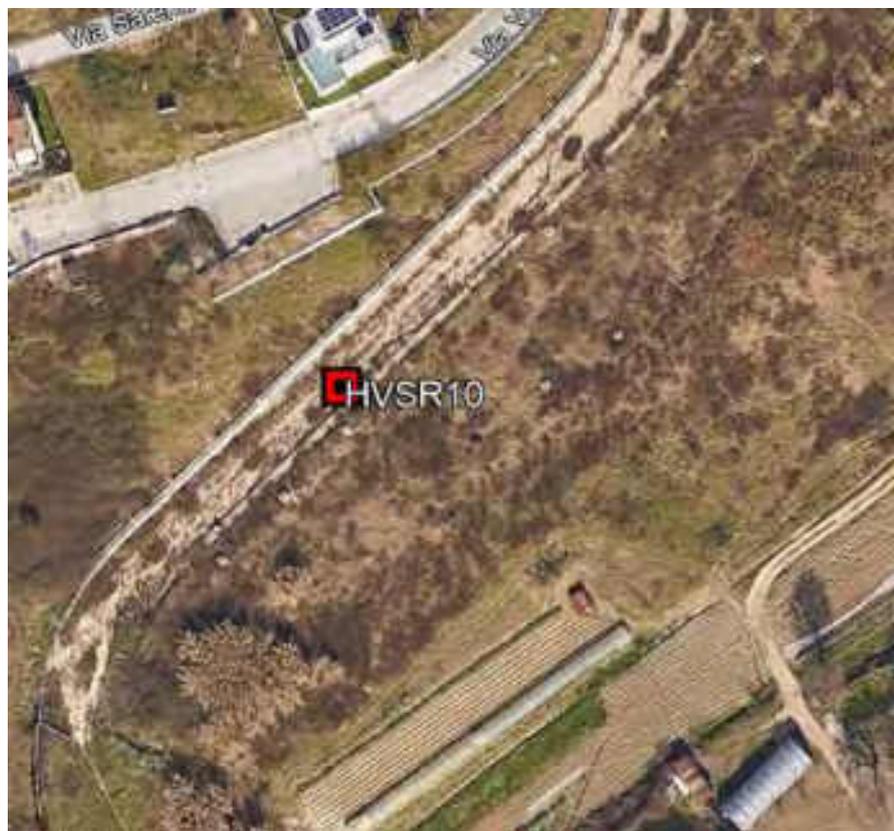
Coordinate system: WGS84

Elevation:

Weather: no pioggia e vento

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 100 Hz

Recording start time: 2022/08/11 12:34:43

Recording length: 20 min

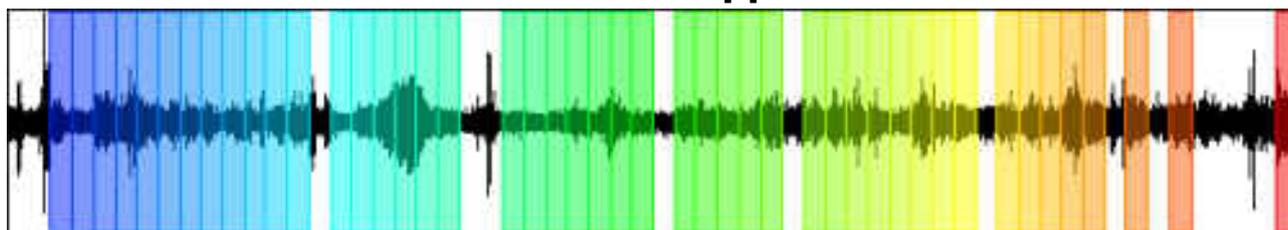
Windows count: 46

Average windows length: 20

Signal coverage: 76.67%

4469 Counts

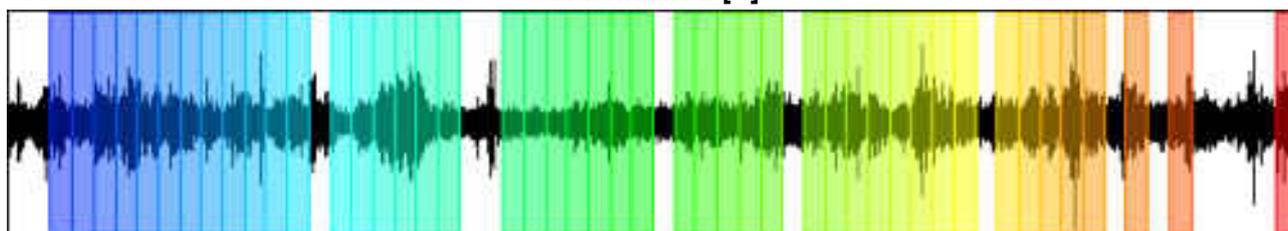
CHANNEL #1 [V]



-3659 Counts

4189 Counts

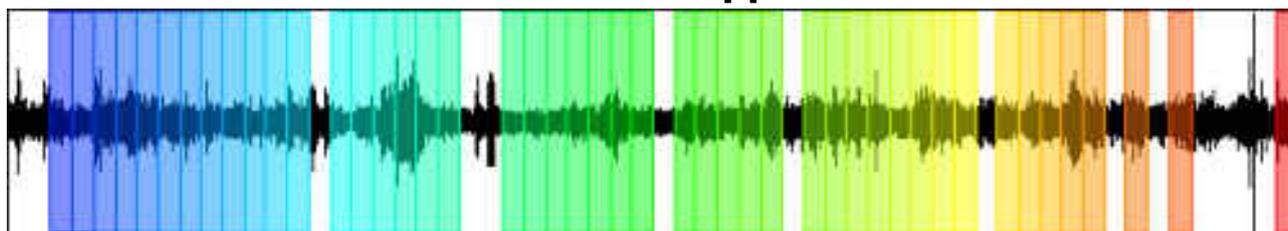
CHANNEL #2 [N]



-4039 Counts

4957 Counts

CHANNEL #3 [E]



-5052 Counts

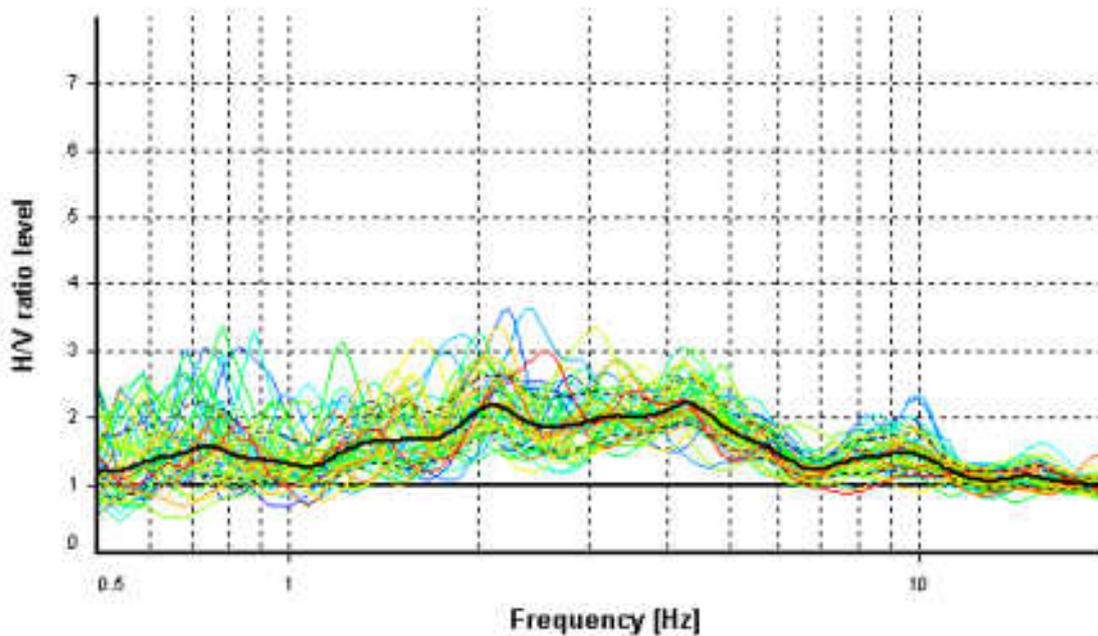
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

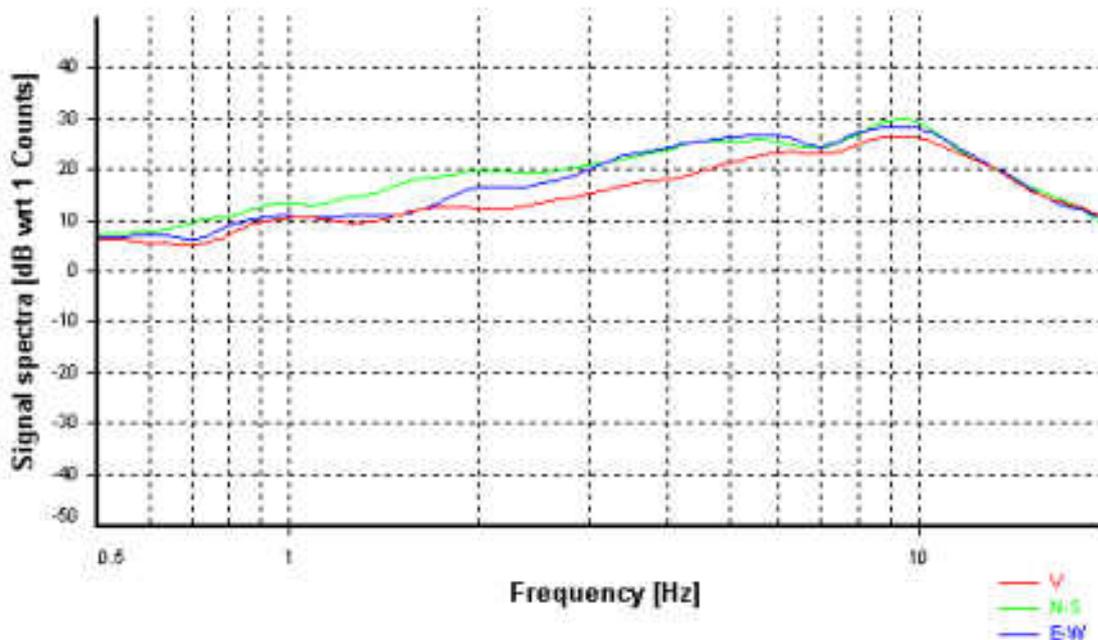
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 30)

Instrumental correction: Disabled

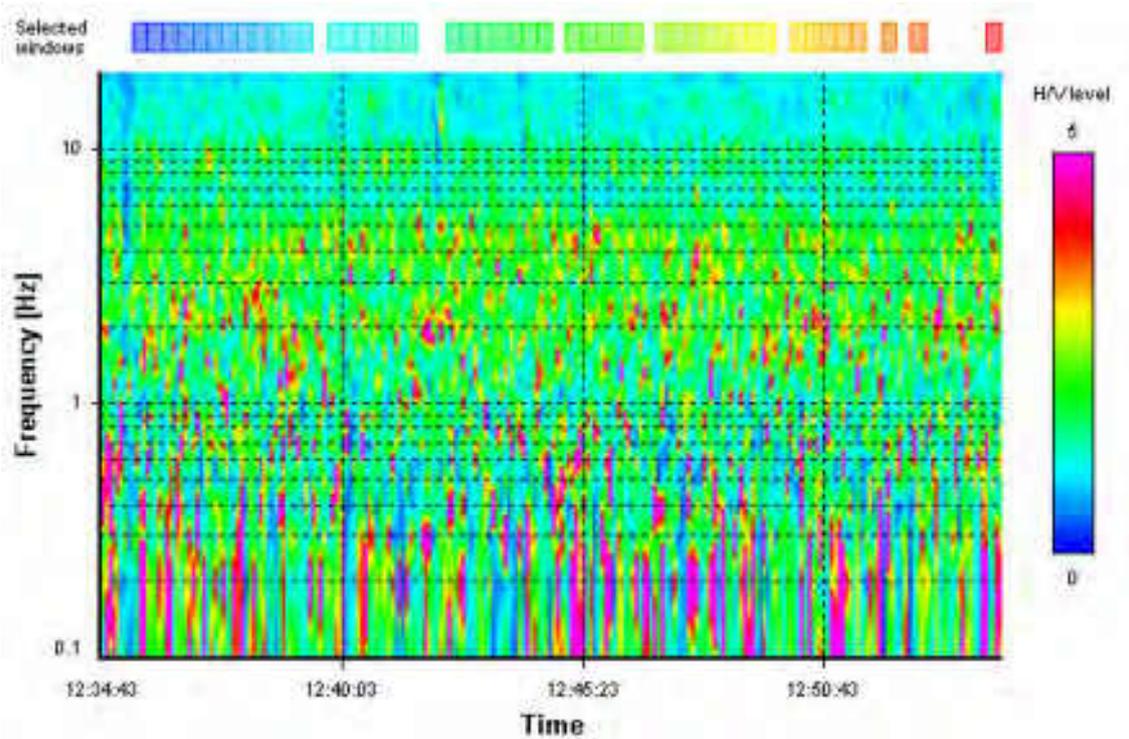
HVSR average



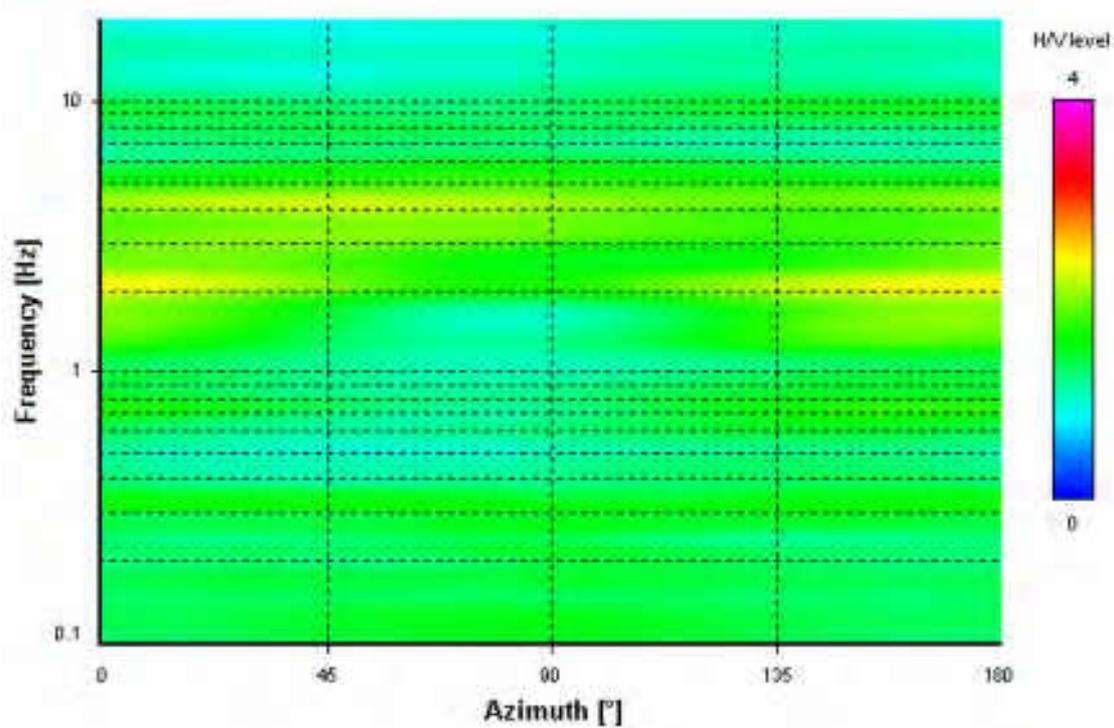
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (5 seconds windows)



HVSR directional analysis





COMMITTENTE: Comune di Ancona

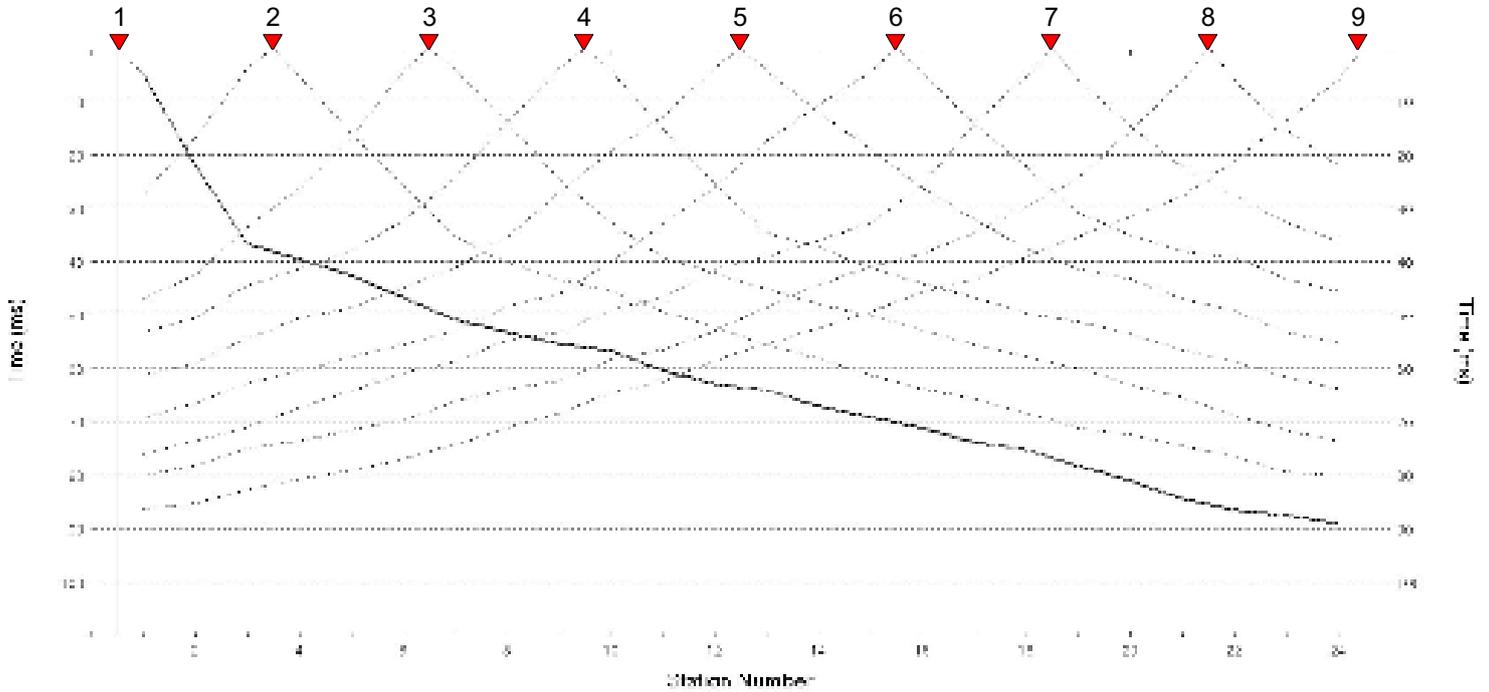
COMMESSA: 288-2022

OGGETTO: Indagini geognostiche e geofisiche eseguite per studi di Microzonazione Sismica - approfondimento di Livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante - Comune di Ancona.

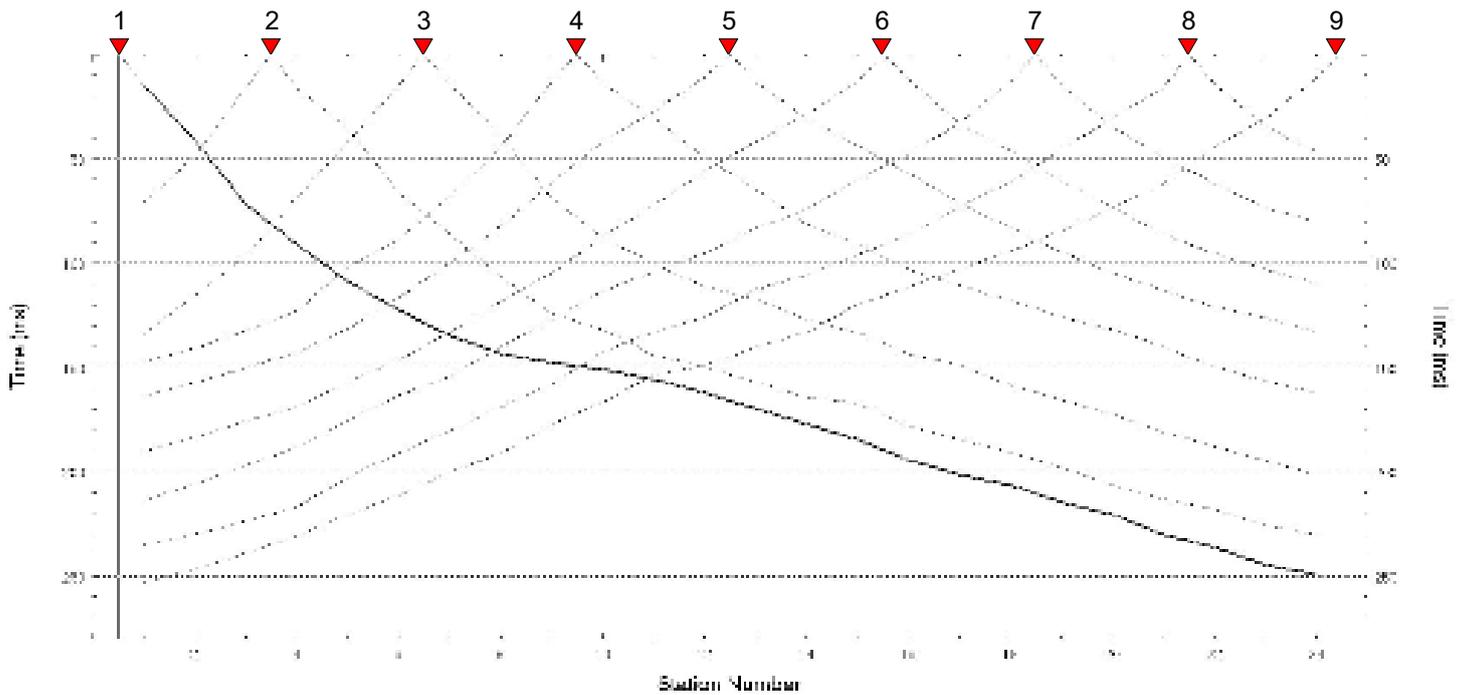
Allegato - DROMOCRONE

Linea sismica LN3

ONDE P



ONDE SH





COMMITTENTE: Comune di Ancona

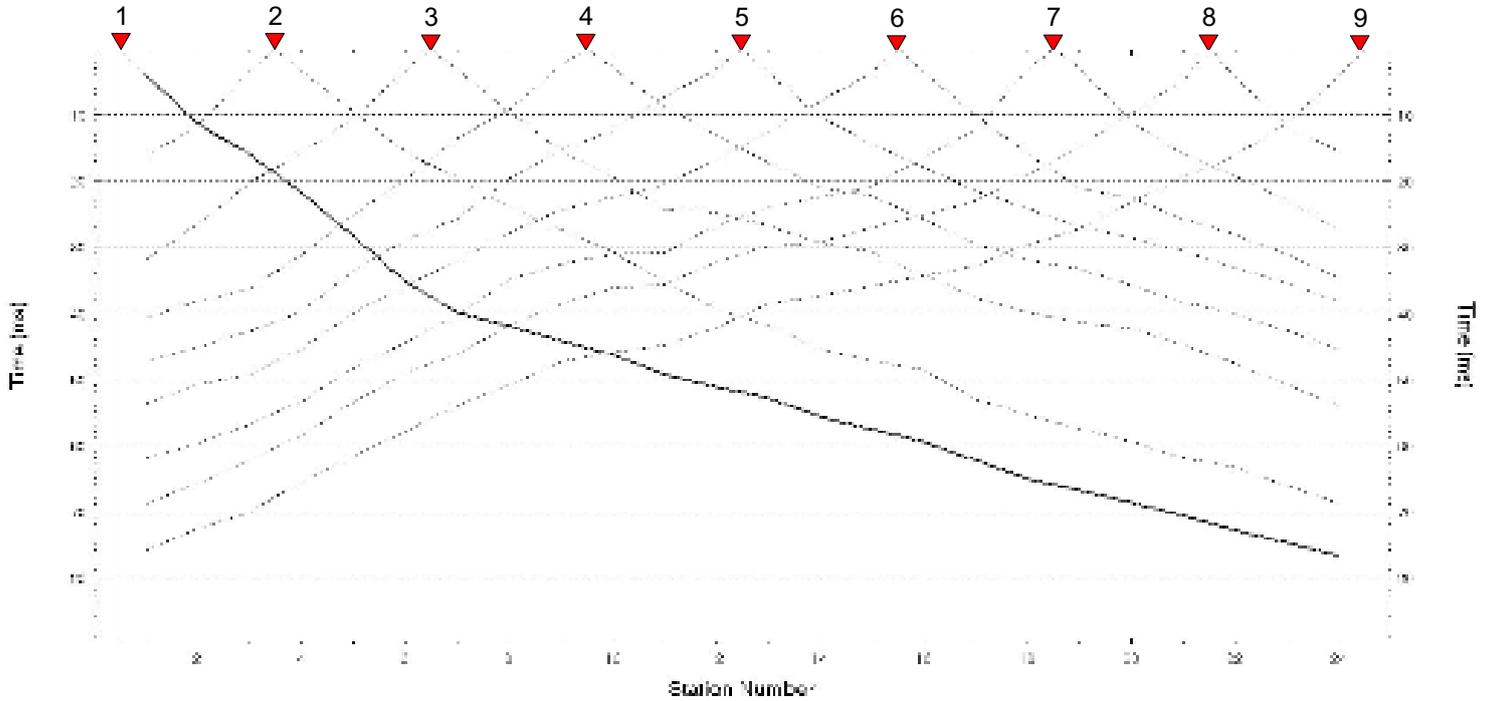
COMMESSA: 288-2022

OGGETTO: Indagini geognostiche e geofisiche eseguite per studi di Microzonazione Sismica - approfondimento di Livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante - Comune di Ancona.

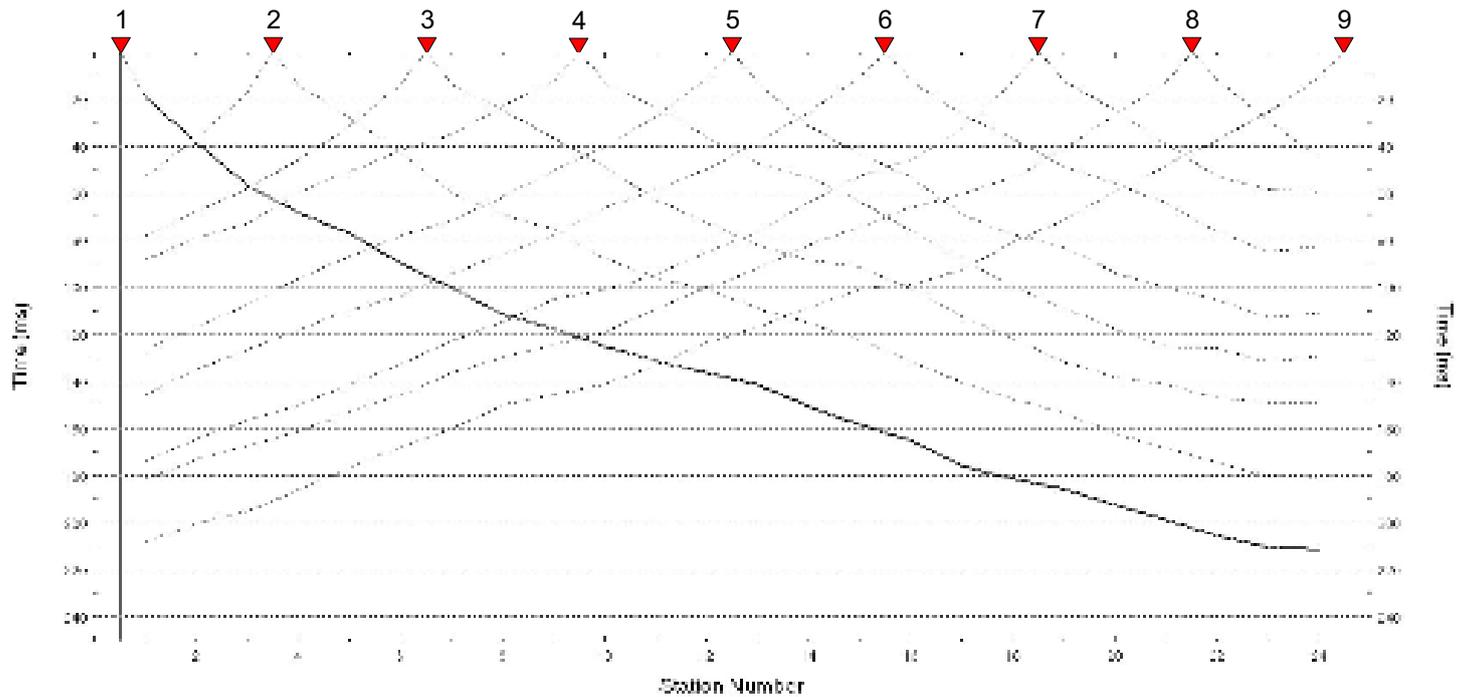
Allegato - DROMOCRONE

Linea sismica LN4

ONDE P



ONDE SH





**INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE ESEGUITE PER STUDI DI
MICROZONAZIONE SISMICA, LIVELLO DI APPROFONDIMENTO 3, SULLE
AREE DI ATTENZIONE PER INSTABILITA' DI VERSANTE – COMUNE DI
ANCONA**

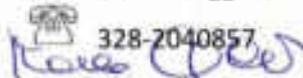
Oggetto: Indagine Geognostica e Geofisica

Committente: Comune di Ancona (AN)

Commessa: 288-22

Falconara M.ma, lì Settembre 2022

Il Responsabile GECO srl
Dott. Marco Gaggiotti


328-2040857

INDICE

1. PREMESSA.....	3
1.1 Geognostica	3
1.2 Geofisica.....	3
2. PROVE PENETROMETRICHE STATICHE "CPT"	5
3. SISMICA A RIFRAZIONE	6
3.1 Cenni teorici.....	6
3.2 Modalità di acquisizione	8
3.3 Elaborazione in tecnica tomografica.....	9
3.4 Moduli Elastici Dinamici.....	10
4. INDAGINE SISMICA PASSIVA HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).....	12
4.1 Strumentazione impiegata.....	12
5. INDAGINE SISMICA MASW	12
5.1 Strumentazione utilizzata.....	12
5.2 Indagine MASW: metodologia ed acquisizione	12
6. CONCLUSIONI.....	13
6.1 Sismica a rifrazione	13

TAVOLE:

TAV.1 - Ubicazione indagini;

TAVV.2A-2B - Sezioni sismiche tomografiche Onde P ed Onde Sh

TAV. 2C - Sezioni sismostratigrafiche interpretative

ALLEGATI INDAGINE GEOFISICA:

All.1 - Elaborazione indagini sismiche MASW e HVSR

All.2 - Elaborazione indagini sismiche HVSR

All.3 - Dromocrone linee sismiche

1. PREMESSA

Su incarico e per conto del Comune di Ancona, ai sensi delle Nuove NTC -D.M. 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche e geofisiche per studi di microzonazione sismica livello di approfondimento 3, sulle aree di attenzione per instabilità di versante nel Comune di Ancona (AN).

Le indagini sono state eseguite secondo il seguente programma.

1.1 Geognostica

- esecuzione di n°2 prove penetrometriche statiche (CPT), spinte fino alle seguenti profondità dal p.c.:

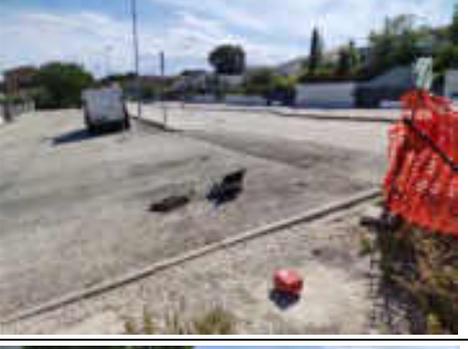
n°	Prova	Profondità		Data
		da	a	
P1	CPT 1	0,00	13,60	12/09/2022
P2	CPT 2	0,00	16,00	12/09/2022

Tab.3 – Elenco prove penetrometriche "CPT".

1.2 Geofisica

- esecuzione di n°2 linea di sismica a rifrazione in Onde P e Sh di lunghezza di 120 m;
- esecuzione di n°2 indagine sismica MASW;
- esecuzione di n°4 indagine sismica tipo HVSR;

n°	Indagine	Lunghezza (m) n° geofoni	n° Shot	Data	
1	Sismica a rifrazione LN1	120m 24 geofoni	9	06/07/22	

2	Sismica a rifrazione LN2	120m 24 geofoni	9	10/08/22	
3	Masw3	46 m 24 geofoni	6	15/09/22	
4	Masw4	46 m 24 geofoni	6	15/09/22	
5	HVSR1	-	-	11/08/22	
6	HVSR2	-	-	11/08/22	

7	HVSR3	-	-	11/08/22	
8	HVSR4	-	-	19/07/22	

Tab.1 – Elenco indagini geofisiche

2. PROVE PENETROMETRICHE STATICHE “CPT”

Per l’esecuzione delle prove penetrometriche è stato utilizzato un penetrometro Pagani modello TG 63-100 avente le seguenti caratteristiche:

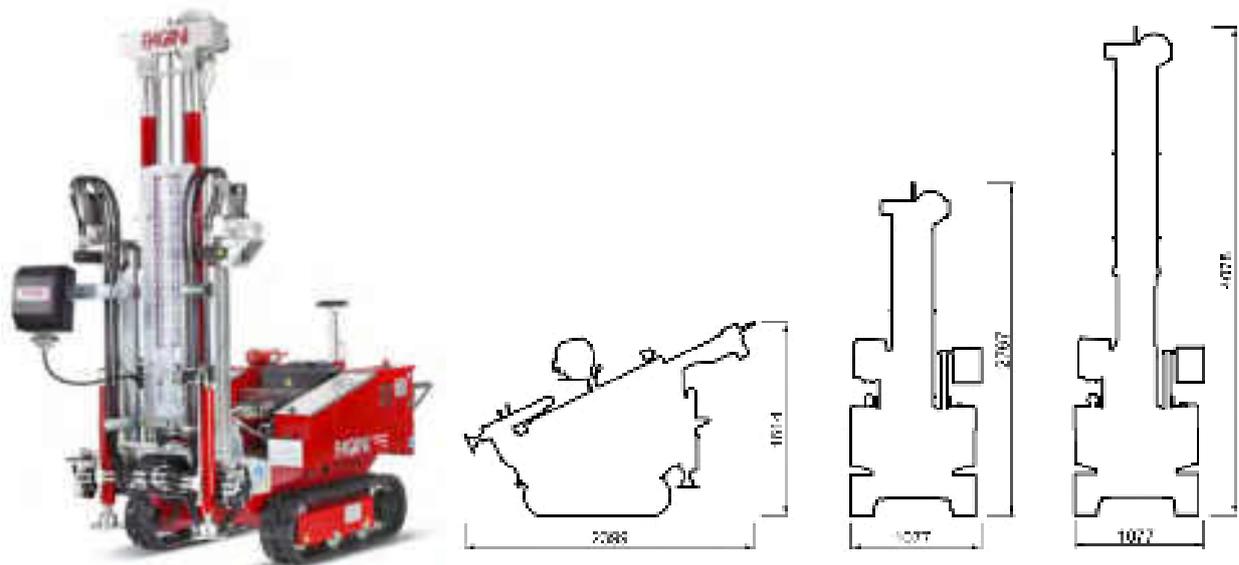


Fig.1 - Scheda tecnica Penetrometro Pagani TG 63-100.

Le prove penetrometriche dinamiche consentono una buona caratterizzazione geotecnica del sottosuolo, in supporto all’attività di progettazione.

La prova statica meccanica consiste nella misura, mediante cella di carico, delle variazioni di resistenza che il terreno presenta all'avanzamento di una punta conica standard (Begemann) infissa a velocità costante nel terreno ($2 \text{ cm/s} \pm 0,5 \text{ cm/s}$).

La penetrazione viene effettuata tramite un dispositivo di spinta (martinetto idraulico), opportunamente ancorato al suolo, che agisce su una batteria doppia di aste (aste coassiali esterne cave e interne piene), alla cui estremità è collegata la punta.

I valori acquisiti dalla cella di carico sono visualizzati sul display di una Sistema Acquisizione Automatico, annotando su di un apposito modulo di campagna i seguenti dati:

- Lettura alla punta = prima lettura di campagna durante l'infissione relativa all'infissione della sola punta
- Lettura laterale = seconda lettura di campagna relativa all'infissione della punta e manicotto

Vengono infine riportate le caratteristiche standardizzate della punta meccanica "Begemman" utilizzata:

- | | |
|---|---------------------|
| • diametro Punta Conica meccanica (ϕ) | 35,7 mm |
| • area di punta (A_p) | 10 cm ² |
| • angolo di apertura del cono (α) | 60° |
| • superficie laterale del manicotto (A_m) | 150 cm ² |

3. SISMICA A RIFRAZIONE

3.1 Cenni teorici

La sismica a rifrazione è una delle indagini geofisiche più utilizzate per la conoscenza del sottosuolo. La buona precisione raggiungibile, specie se si dispone di sondaggi di taratura, consente talora di elevare la prospezione sismica a rifrazione da semplice valutazione qualitativa a valido supporto quantitativo dell'indagine geognostica.

Tale metodologia è basata sul tempo necessario affinché la perturbazione elastica, indotta nel sottosuolo da una determinata sorgente di energia, giunga agli apparecchi di ricezione (geofoni) percorrendo lo strato superficiale con onde dirette e gli strati più profondi con onde rifratte. Utilizzando quindi le distanze tra il punto di scoppio e quello di ricezione e i tempi di primo arrivo dei segnali sismici, si costruiscono le dromocrone (curve tempi-distanze), dalle quali si risale, tramite opportuno programma di calcolo, alle velocità reali nei singoli strati, al loro spessore, profondità, forma ed inclinazione.

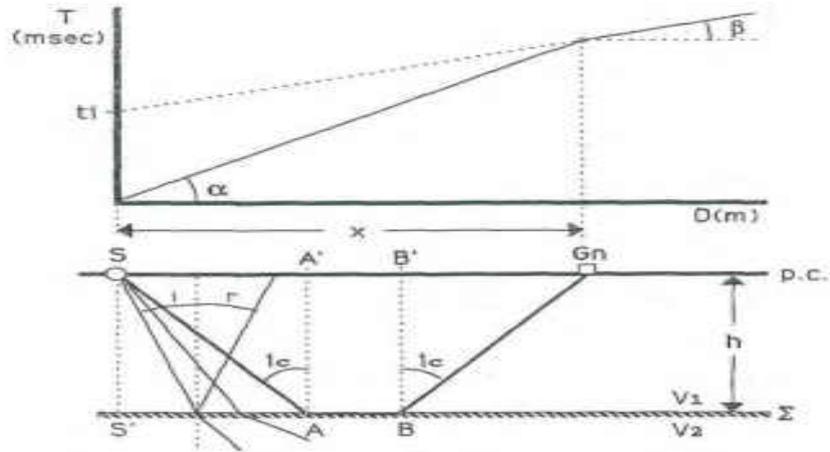


Fig. 2 - Percorsi delle onde dirette e rifratte e relative dromocrone. S sorgente energizzante; A punto di incidenza della superficie di discontinuità Σ del raggio incidente con angolo pari all'angolo limite i_c ; G_n punto di arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte; t_i tempo intercetto.

I primi tempi di arrivo sono quelli relativi ai raggi diretti attraverso il primo strato e la pendenza della linea (angolo α) che passa per tali punti è il reciproco della velocità di questo strato ($1/V_1$). A partire da una certa distanza dal punto di energizzazione (detta distanza critica e indicata in figura 1 con la lettera X) il tempo impiegato per arrivare al geofono dai raggi che percorrono il tetto dello strato sottostante (più veloce) risulta inferiore a quello degli arrivi diretti. I punti relativi a questi arrivi si allineeranno secondo una retta avente la pendenza di $1/V_2$ (angolo β). Il tempo che corrisponde all'intersezione di ciascun segmento di retta con l'asse dei tempi è detto tempo intercetto. Questo valore, come quello della distanza critica, dipendono direttamente dalla velocità dei materiali e dallo spessore degli strati, e possono quindi essere utilizzati per determinare le profondità dei tetti degli strati stessi.

Si possono ottenere dromocrone, anche nel caso di "n" strati, dove i punti di curvatura indicano il passaggio tra i singoli strati e le velocità calcolate dalle rispettive pendenze dei rami della curva.

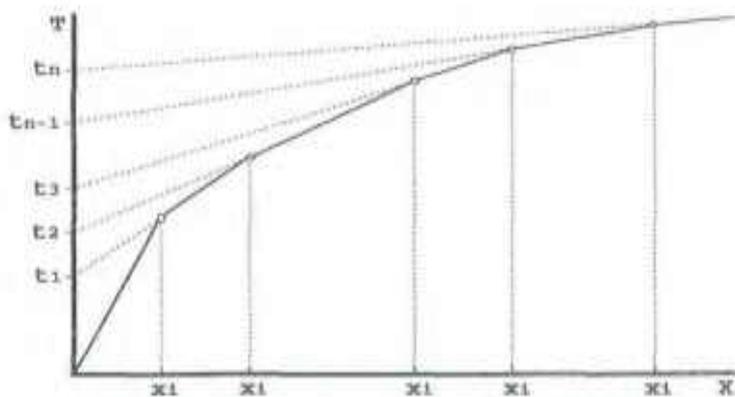


Fig. 3 - Dromocrone nel caso di stratificazione multipla

3.2 Modalità di acquisizione

Sono state realizzate n°2 stese di simica a rifrazione avente lunghezza di 120 m. I profili sono stati acquisiti in onde P e onde Sh con n° 24 geofoni spaziatati tra loro di 5,0 m ed esecuzione di n° 9 punti di energizzazione (schema visibile nella Fig.4).

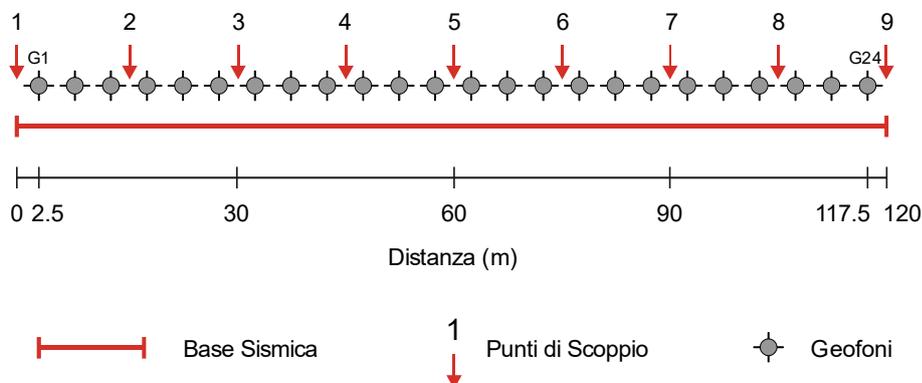


Fig.4 - Schema di acquisizione e punti di energizzazione

Per registrare gli impulsi di compressione, sono stati utilizzati geofoni con direzione di vibrazione verticale (14Hz), mentre per le onde di taglio, sono stati impiegati geofoni con direzione di vibrazione orizzontale (10Hz), posizionandoli nel terreno, in direzione ortogonale rispetto allo stendimento. Le onde P sono state generate, mediante una massa battente (martello da 8Kg), fatta cadere su di una piastra metallica posizionata nel terreno; per originare le onde Sh è stata utilizzata invece una trave (posizionata perpendicolarmente rispetto allo stendimento) in legno, percuotendola con la stessa massa battente utilizzata per le onde P (martello da 8Kg).

3.3 Elaborazione in tecnica tomografica

Per una ricostruzione bidimensionale di dettaglio delle caratteristiche meccanico-elastiche del sottosuolo e con lo scopo di evidenziare eventuali inversioni di velocità sismica dei terreni, sono stati acquisiti profili superficiali di sismica a rifrazione con elaborazione in tecnica tomografica. Al fine di procedere ad elaborazione dati di tipo tomografico è stato necessario utilizzare numerosi punti di energizzazione (n°9 scoppi) per stesa sismica costituita da 24 geofoni.

La ricerca del modello di distribuzione di velocità del terreno che ottimizza i tempi di arrivo individuati sui sismogrammi delle registrazioni di campagna viene effettuato in modo iterativo fino al raggiungimento della soluzione che minimizza l'errore fra i tempi misurati e quelli calcolati sulla soluzione ottenuta.

Viene utilizzato un modello di partenza privo di condizioni iniziali al fine di eliminare qualsiasi valutazione preliminare sull'assetto geologico che, in caso di imprecisioni, potrebbe dirottare verso una soluzione che non minimizzi l'errore oppure che lo minimizzi verso un minimo relativo della funzione di convergenza.

Il software utilizzato per la ricostruzione dei tempi di arrivo e dei percorsi d'onda si basa su una soluzione agli elementi finiti per l'Eikonal Equation (Vidale 1988) che tiene conto di tutti i possibili percorsi, onde dirette, rifratte e diffratte che generano i primi arrivi sui sismogrammi. Il modello iniziale e la soluzione finale sono costituiti da una serie di celle all'interno delle quali il valore di velocità rimane costante: tale valore viene aggiornato ad ogni iterazione del procedimento di calcolo per raggiungere il miglior risultato. Le dimensioni delle celle utilizzate e quindi il dettaglio finale ottenuto sono fortemente dipendenti dalla spaziatura dei geofoni e dal numero degli shot effettuati: aumentando la spaziatura dei geofoni si deve aumentare il numero degli shot per mantenere costante il dettaglio. Il metodo utilizzato per la soluzione della matrice dei tempi di arrivo e delle velocità è il S.I.R.T. (Simultaneous Iterative Reconstruction Technique).

Infine i valori del risultato vengono interpolati fra loro per ottenere una distribuzione continua di velocità. Per l'interpolazione è stato utilizzato il metodo della triangolazione con interpolazione lineare.

Il controllo di qualità dei modelli sismostratigrafici è eseguito dalla diretta comparazione grafica tra i tempi di percorso valutati sperimentalmente e quelli calcolati dalla soluzione del modello.

Tale sezione, associata ai litotipi presenti nell'area di indagine (sezione litostratigrafica interpretativa), risulta visibile alla TAV. 2C allegata al presente rapporto.

3.4 Moduli Elastici Dinamici

Sono parametri caratteristici di un corpo che stabiliscono una relazione tra deformazioni elastiche e sforzi a cui un corpo è assoggettato.

COEFFICIENTE DI POISSON

Il coefficiente di POISSON è definito dalla seguente equazione:

$$\nu = \frac{0.5 \left[\frac{V_p}{V_s} \right]^2 - 1}{\left[\frac{V_p}{V_s} \right]^2 - 1}$$

ed è un numero puro in senso stretto. Si può dire che è una misura della deformazione geometrica subita dal corpo. In teoria il suo campo di variabilità risulta compreso tra 0.0 e 0.5, mentre nella pratica si è visto che il range risulta più esteso arrivando anche a valori negativi.

MODULO DI TAGLIO

E' determinabile dalla sola conoscenza delle velocità delle onde SH, è una pressione che si misura in Kg/cm² e nella pratica si indica con G.

E' calcolabile mediante la seguente formula:

$$G = V_s^2 \gamma$$

dove γ = densità.

Tale parametro è fortemente dipendente dalla porosità e dalla pressione; assume valori più bassi in litotipi ad alta porosità, sottoposti a basse pressioni e saturati in acqua. Il campo di variabilità nei terreni con porosità media è molto esteso.

MODULO DI YOUNG

E' definito dalla seguente equazione:

$$E = V_s^2 \gamma [(3V_p^2 - 4V_s^2) / (V_p^2 - V_s^2)]$$

dove γ = densità

Il modulo di Young ha le dimensioni di una pressione ed in genere viene misurato in Kg/cm². Nelle rocce risulta molto variabile, fino a valori massimi dell'ordine di 10⁶. In relazione al campo di variabilità di E, le rocce sono state divise in: quasi elastiche, semielastiche e non elastiche. Sono rocce quasi elastiche quelle che presentano un E compreso tra 6*10⁵ e 11*10⁵ Kg/cm², in genere sono rocce a grana molto fine, massicce e metamorfiche(ad esempio i marmi). Sono rocce semielastiche quelle che presentano un E compreso tra 4*10⁵ e 6*10⁵ Kg/cm², sono rocce a grana fine con buona coesione e bassa elasticità (ad esempio dolomie compatte). Sono rocce non elastiche quelle che presentano un E inferiore a 4*10⁵ Kg/cm², rientrano in questa categoria quasi tutti i terreni e le rocce a grana grossolana, con valori medio alti di porosità e discreta o scarsa coesione.

La seguente tabella riporta il campo di variabilità dei principali moduli elastici, suddivisi in base alle litologie più rappresentative.

LITOTIPO	E (Kg/cm ²)	G (Kg/cm ²)	ν
ARGILLE	20 - 3*10 ⁵	1,8*10 ⁴ - 3,6*10 ⁴	0,35 - 0,50
SABBIE	3 - 2*10 ⁴	10 - 5*10 ³	0,30 - 0,35
ROCCE LITOIDI SEDIM.	5*10 ⁴ - 8*10 ⁵	100-20.000	0,20 - 0,40
ROCCE LITOIDI IGNEE	1,5*10 ⁵ - 1*10 ⁶	2,5*10 ⁴ - 1*10 ⁶	0,10 - 0,40

Tab.2 – Campi di variabilità dei principali moduli elastici in base al tipo di litologia.

N.B. Le classi di litotipi ed i relativi parametri elastici sono dati a puro titolo indicativo; ciò a causa della variabilità delle caratteristiche elastiche, anche di specifici litotipi, per piccole variazioni delle loro condizioni chimico-fisiche in natura.

4. INDAGINE SISMICA PASSIVA HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del microtremore sismico ambientale. La prova a stazione singola consiste nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito velocimetro triassiale.

4.1 Strumentazione impiegata

Le misure di microtremore ambientale sono state eseguite per mezzo di un tromografo 24 bit GEOBOX prodotto dalla ditta Sara Instruments Srl (frequenza di risonanza propria 4.5 Hz), dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati secondo le direzioni Verticale, NS, EW, ad alta definizione, alimentato a batterie, senza cavi esterni.

In allegato sono riportati i risultati della misurazione passiva HVSR.

5. INDAGINE SISMICA MASW

5.1 Strumentazione utilizzata

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata è costituita da:

- un sistema di energizzazione per le onde P: la sorgente è costituita da una mazza del peso di 8 Kg battente verticalmente su piastra circolare in acciaio del diametro di 25 cm posta direttamente sul p.c. per la generazione di onde superficiali e di volume;
- un sistema di ricezione: costituito da 24 geofoni verticali con frequenza di 4.5 Hz;
- sistema di acquisizione dati: Sismografo Ambrogeo (modello ECHO 2010) con memoria dinamica a 32 bit, dotato di hard disk, in grado di memorizzare i dati acquisiti in formato SEG2 e SEGY, n° 2 cavi sismici telemetrici di 60 m ciascuno;
- un sistema di trigger: consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la mazza colpisce la base di battuta (piastra metallica), in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e fissare l'inizio della registrazione.

5.2 Indagine MASW: metodologia ed acquisizione

L'indagine MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) non è invasiva e permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio V_s , sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del suolo.

L'acquisizione utilizzata è di tipo "attivo" **ZVF** (componente verticale delle onde di Rayleigh) e consiste nella registrazione simultanea di più ricevitori (geofoni verticali in questo caso), di una vibrazione prodotta da una sorgente sismica impulsiva, posta ad una data distanza dal primo ricevitore.

Il risultato finale del processo di elaborazione è il profilo verticale delle velocità delle onde S. L'elaborazione è stata eseguita tramite il software *winMASW® Academy 2018*.

L'acquisizione è stata eseguita posizionando i 24 geofoni da 4.5 Hz, secondo la seguente configurazione spaziale e temporale: i) lunghezza stendimento ricevitori: 46 m; ii) n. geofoni: 24; iii) distanza intergeofonica: 2m; iv) n. punti di energizzazione: 6; v) offset sorgenti: 3m, 5m e 10m; vi) durata acquisizione: 2048ms; vii) intervallo di campionamento: 0.956 ms.

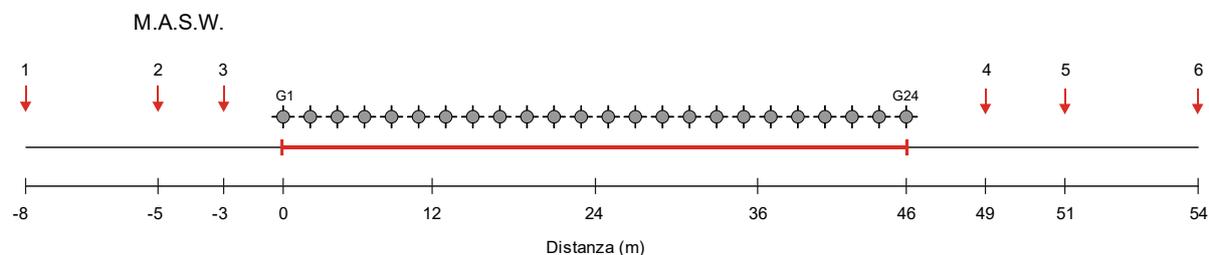


Fig.5 - Geometria di acquisizione ed ubicazione punti di energizzazione.

In allegato sono riportati i risultati relativi alle indagini sismiche MASW.

6. CONCLUSIONI

6.1 Sismica a rifrazione

Nelle Tavole 2A e 2B, si riportano le sezioni sismiche tomografiche, mentre la 2C mostra le sezioni sismostratigrafiche interpretative, dove sono stati evidenziati l'andamento, lo spessore e la velocità sismica media calcolata per ogni intervallo rilevato e segnalati i principali rifrattori individuati.

I materiali investigati sono stati suddivisi in 3 principali sismostrati individuati fino alla profondità massima di esplorazione ottenuta pari a circa 25-30 m e possono essere così riassunti (a partire dalla superficie):

1. il primo intervallo, caratterizzato da velocità medie delle onde P variabili tra 335 e 635 m/sec e velocità delle onde Sh di 145-225 m/sec, presenta uno spessore compreso tra 1,0 m e 4,0 m. Tale orizzonte è costituito da terreno di riporto e depositi di copertura superficiali di basse velocità sismiche.
2. il secondo sismostrato è caratterizzato da valori di velocità delle onde di compressione di 950-1270 m/sec e velocità delle onde di taglio intorno ai 250-325 m/sec. Lo spessore risulta compreso in un range di 10,0 m e 15,0 m circa. La litologia risulta ascrivibile alla presenza di depositi di copertura prevalentemente argilloso limosi.
3. il terzo ed ultimo sismostrato, è caratterizzato da un ulteriore incremento delle velocità, con valori delle onde di compressione di 1510-1890 m/sec e delle onde di taglio di 450-530 m/sec. L'attribuzione litologica, risulta riconducibile a terreni del substrato costituito

da argilla debolmente marnosa con intercalati livelli centimetrici e millimetrici di sabbia fine.

Mediante i valori di velocità (minimo e massimo) dei sismostrati, sopra individuati, è stato possibile determinare il campo di variabilità dei moduli elastici dinamici, riportati nella tabella seguente:

MODULI ELASTICI DINAMICI - STESA LN1							
Intervallo [n°]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]	γ [Kg/m ³]	E [Kg/cm ²]	G [Kg/cm ²]	ν	Vp/Vs
1	335	170	1800	13802	530	0.3266	1.97
	460	195	1800	19034	698	0.3905	2.36
2	950	315	1900	54229	1922	0.4382	3.02
	1190	325	1900	58589	2046	0.4597	3.66
3	1610	465	2000	125799	4408	0.4545	3.46
	1890	530	2000	163745	5727	0.4573	3.57

MODULI ELASTICI DINAMICI - STESA LN2							
Intervallo [n°]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]	γ [Kg/m ³]	E [Kg/cm ²]	G [Kg/cm ²]	ν	Vp/Vs
1	610	145	1800	11127	386	0.4701	4.21
	635	225	1800	26029	929	0.4282	2.82
2	1040	250	1900	34897	1210	0.4693	4.16
	1270	305	1900	51942	1802	0.4694	4.16
3	1510	450	2000	117553	4128	0.4513	3.36
	1820	515	2000	154518	5407	0.4565	3.53

Falconara M.ma, lì Settembre 2022

GECO s.r.l.
Il Responsabile
GECO s.r.l.
Via Cassio 30 - 70139 FOGGIA
70139 FALCONARA MARITTIMA (FG)
Tel. 0881 424114

Geco Srl Servizi Geologici & Indagini Sismiche

Via Osoppo, 38 / 60015 Falconara Marittima (AN)

P. IVA 02541280422 tel e fax 071 9156126

CECO

Servizi Geologici & Indagini Sismiche

 www.gecogeologia.com

 info@gecogeologia.com

 328.02.82.743 / 328.20.40.857

Tavole



Legenda:

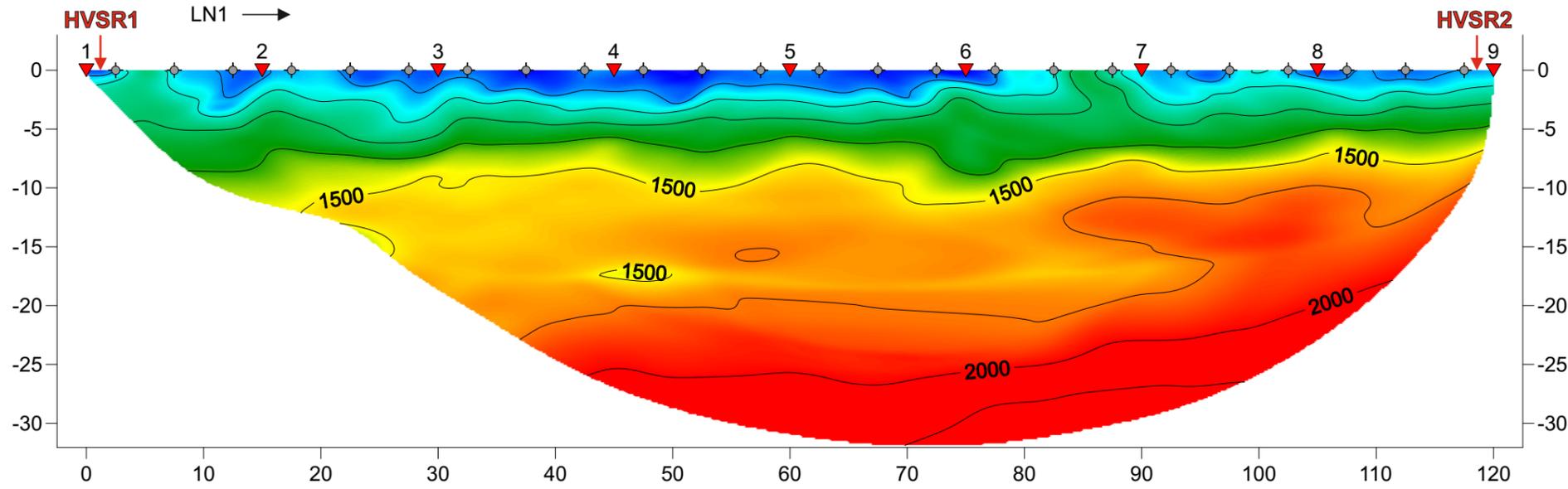
CPT
 ● Prova penetrometrica statica CPT

MASW
 — Indagine sismica MASW

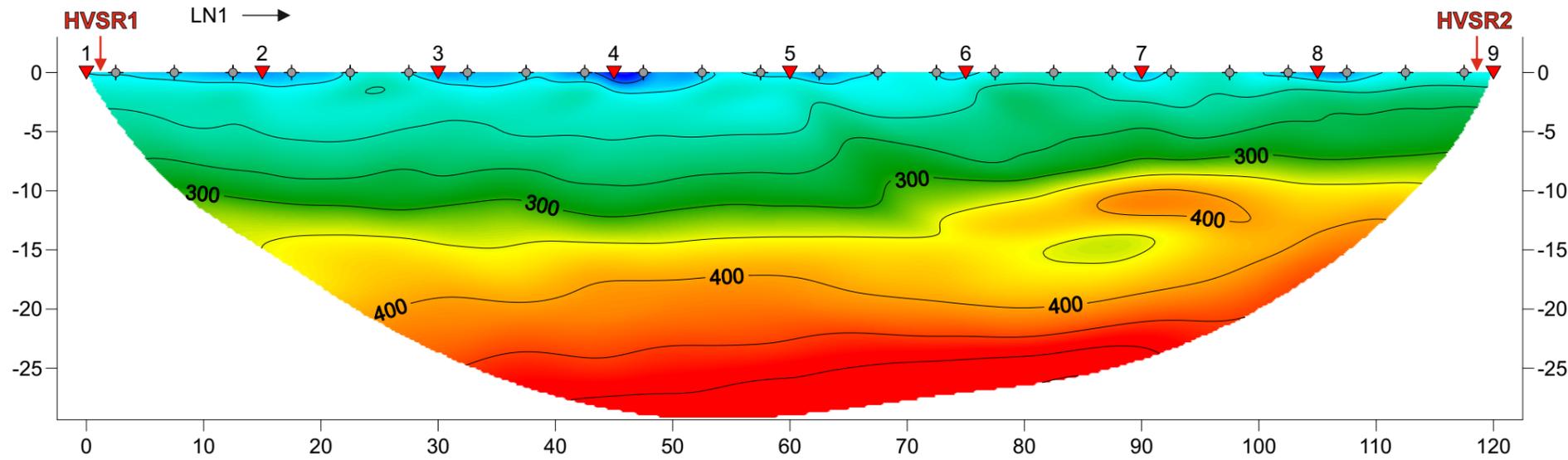
LN
 — Indagine sismica a rifrazione

HVSR1
 ■ Indagine sismica passiva HVSR

STESA SISMICA A RIFRAZIONE - ONDE P



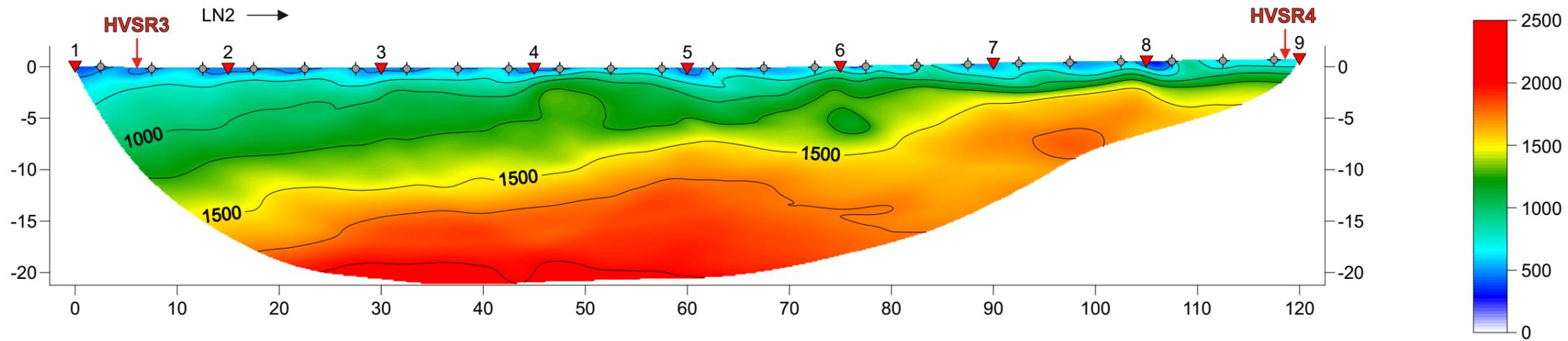
STESA SISMICA A RIFRAZIONE - ONDE SH



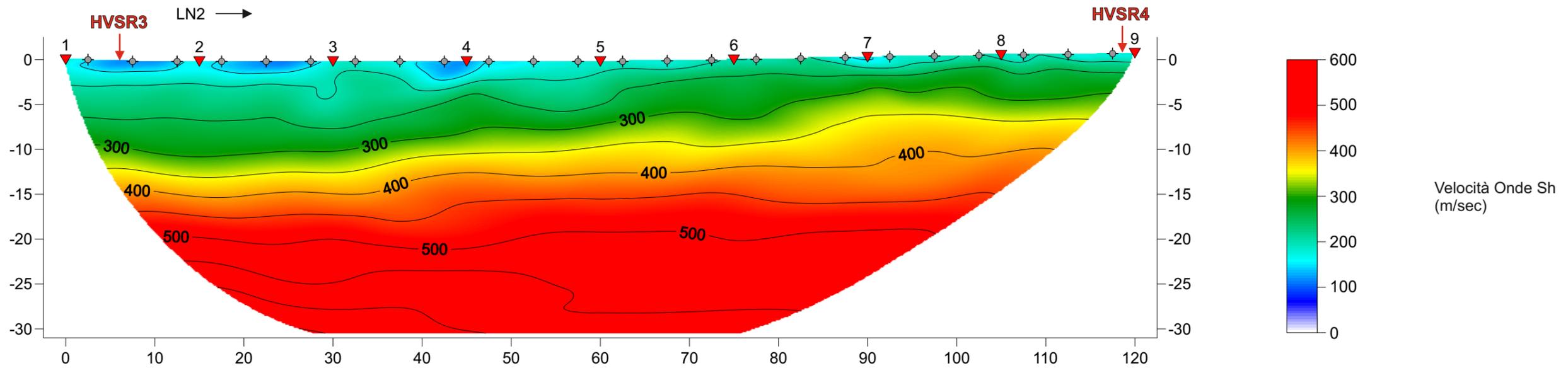
Legenda:

- 1 ▼ punti di scoppio
- ◆ ricevitori
- 500 velocità onde P e Sh
- HVSR1** indagine sismica passiva HVSR

STESA SISMICA A RIFRAZIONE - ONDE P



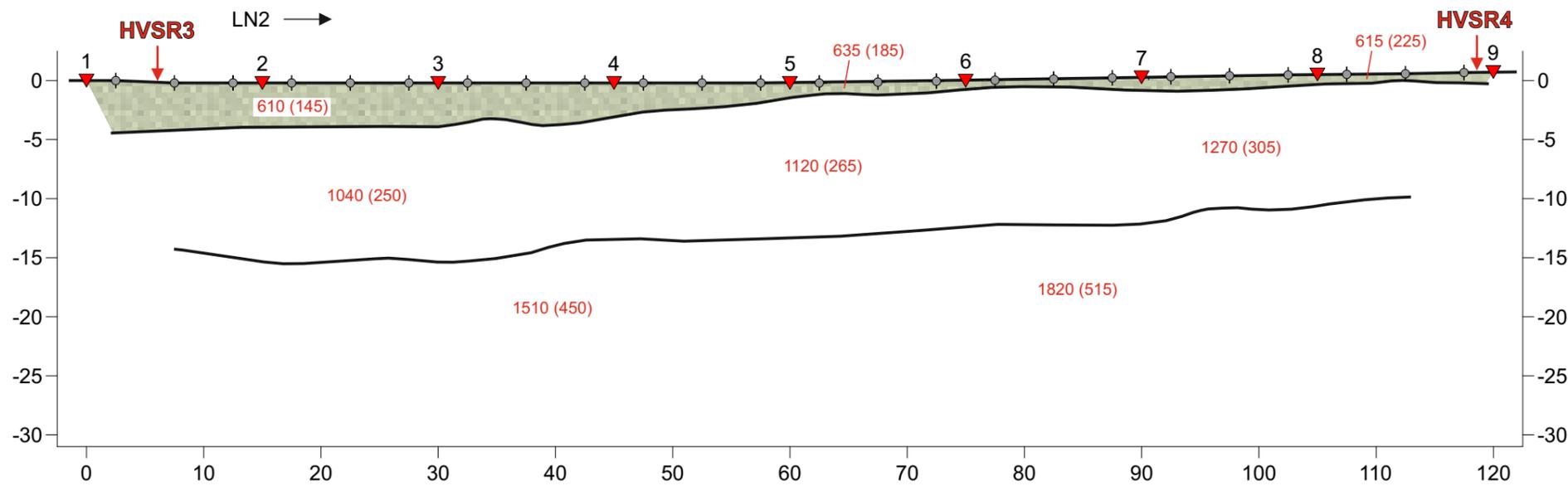
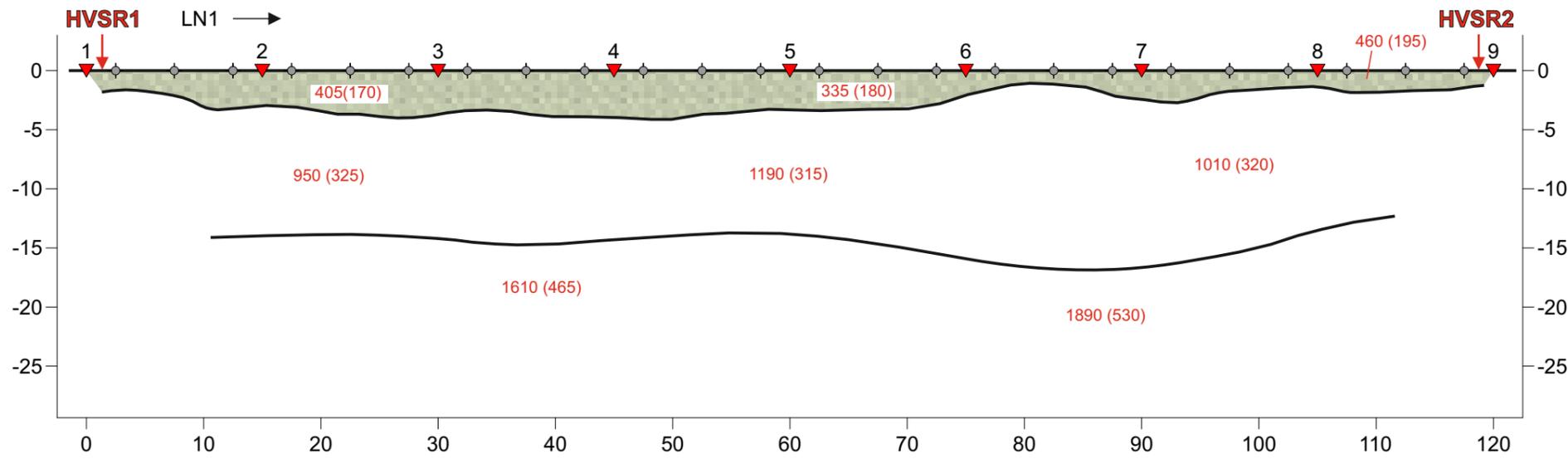
STESA SISMICA A RIFRAZIONE - ONDE SH



Legenda:

- 1 punti di scoppio
- ◆ ricevitori
- 500 velocità onde P e Sh
- HVS1** indagine sismica passiva HVS

SEZIONI SISMOSTRATIGRAFICHE INTERPRETATIVE



Legenda:

300	velocità medie calcolate onde P		terreno di riporto e depositi superficiali
(125)	velocità medie calcolate onde SH		depositi di copertura fini prevalentemente argilloso-limosi
HVSR1 ↓	indagine sismica passiva HVSR		depositi del substrato costituiti da argilla marnosa con intercalazioni sabbiose

Geco Srl Servizi Geologici & Indagini Sismiche

Via Osoppo, 38 / 60015 Falconara Marittima (AN)

P. IVA 02541280422 tel e fax 071 9156126

CECO

Servizi Geologici & Indagini Sismiche

 www.gecogeologia.com

 info@gecogeologia.com

 328.02.82.743 / 328.20.40.857

allegati indagine geofisica

Inversione congiunta MASW+HVSr

INDICE

1. PREMESSA	2
2. INDAGINE SISMICA HVSr	2
2.1 Descrizione dei risultati	6
3. INDAGINE SISMICA MASW-ZVF	7
4. ANALISI CONGIUNTA RAYLEIGH/HVSr	9
5. CONCLUSIONI	10

Inversione congiunta HV+MASW

1. PREMESSA

Su incarico e per conto del Dott. Geol. Maurizio Mainiero, è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche eseguite nel Comune di Ancona ad integrazione degli studi di MS2.

2. INDAGINE SISMICA HVSR

Le misure di microtremore ambientale sono state eseguite per mezzo di un tromografo 24 bit GEOBOX prodotto dalla ditta Sara Instruments Srl (frequenza di risonanza propria 4.5 Hz), dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati secondo le direzioni Verticale, NS, EW, ad alta definizione, alimentato a batterie, senza cavi esterni.

Campagna	Ancona	Data:	19/07/2022
Sito	Frana	Operatore	
Strumento Acquisitore	Tromografo	Sismometro Tipo	SARA geobox
Frequenza Sismometro	-	Fondo scala	4,5 Hz
Freq. Campionamento	100 Hz	GPS LOC	No
Inizio Registrazione		Durata (sec)	1200
NOME FILE	MT_20220719_150323	FORMATO FILE	SAF
Coordinate			
	WGS84	UTM	ALTRO
Latitudine	43.566018°		
Longitudine	13.501968°		
Quota (m)			

Indicazioni sul Sito:



Inversione congiunta HV+MASW

INSTALLAZIONE SISMOMETRO: ACCOPPIAMENTO

- | | | | |
|--|---|--|---|
| <input type="checkbox"/> Roccia | <input type="checkbox"/> Asfalto | <input type="checkbox"/> Sabbia | <input type="checkbox"/> Erba |
| <input type="checkbox"/> Terreno Riporto | <input type="checkbox"/> Terreno_compatto | <input type="checkbox"/> Terreno_bagnato | <input checked="" type="checkbox"/> Terreno_secco |
| <input type="checkbox"/> Cemento | <input type="checkbox"/> Sterrato | <input type="checkbox"/> Pavimentazione | <input type="checkbox"/> Marciapiede |

Modalità Accoppiamento Sismometro Terreno:

appoggiato

INSTALLAZIONE SISMOMETRO : GEOLOGIA

- | | | | |
|---------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Roccia | <input checked="" type="checkbox"/> Terreno | <input type="checkbox"/> Detrito | <input type="checkbox"/> Riporto |
|---------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|

altro/commento:

INSTALLAZIONE SISMOMETRO : POSIZIONAMENTO in

- | | | | |
|---|---|--|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Città_via_principale | <input type="checkbox"/> Città_via_secondaria | <input type="checkbox"/> Città_cortile | <input type="checkbox"/> Città_parco |
| <input type="checkbox"/> Strada_principale | <input checked="" type="checkbox"/> Strada_secondaria | <input type="checkbox"/> Mura | <input type="checkbox"/> Mura_antiche |
| <input checked="" type="checkbox"/> Aperta_campagna | <input type="checkbox"/> Galleria | <input type="checkbox"/> Cunicolo | |

altro/commento:... ..

INSTALLAZIONE GEOFONO : VICINANZA

- | | | | |
|--|--|--|-----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Fiume | <input type="checkbox"/> Canale | <input type="checkbox"/> Fabbrica | <input type="checkbox"/> Cantiere |
| <input type="checkbox"/> Lavori_stradali | <input type="checkbox"/> Alberi | <input type="checkbox"/> Ponti | <input type="checkbox"/> Viadotti |
| <input type="checkbox"/> Mura | <input type="checkbox"/> Gallerie | <input type="checkbox"/> fognature | |
| <input type="checkbox"/> Edifici_nessuno | <input checked="" type="checkbox"/> Edifici_scarsi | <input type="checkbox"/> Edifici_densi | |

distanza_edificio_vicino numero_piani_edificio_vicino:

strutture_sotterranee:.....

CONDIZIONI ATMOSFERICHE :

- | | | |
|--|---|--|
| <input type="checkbox"/> vento_forte | <input type="checkbox"/> vento_debole | <input checked="" type="checkbox"/> no_vento |
| <input type="checkbox"/> pioggia_forte | <input type="checkbox"/> pioggia_debole | <input checked="" type="checkbox"/> no_pioggia |

altro/commento.....

Inversione congiunta HV+MASW

RUMORE RILEVABILE:

- | | | |
|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> Auto_nessuna | <input checked="" type="checkbox"/> Auto_poche | <input type="checkbox"/> Auto_tante |
| <input type="checkbox"/> Mezzi_pesanti_nessuno | <input type="checkbox"/> Mezzi_pesanti_pochi | <input type="checkbox"/> Mezzi_pesanti_tanti |
| <input type="checkbox"/> Pedoni_nessuno | <input type="checkbox"/> Pedoni_pochi | <input type="checkbox"/> Pedoni_tanti |

ALTRE SORGENTI DI RUMORE

.....
.....

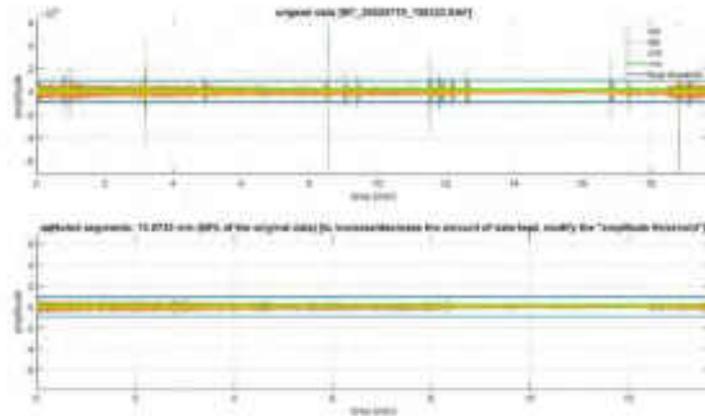


Fig.1: Visualizzazione dei dati dopo la rimozione di eventi transienti.

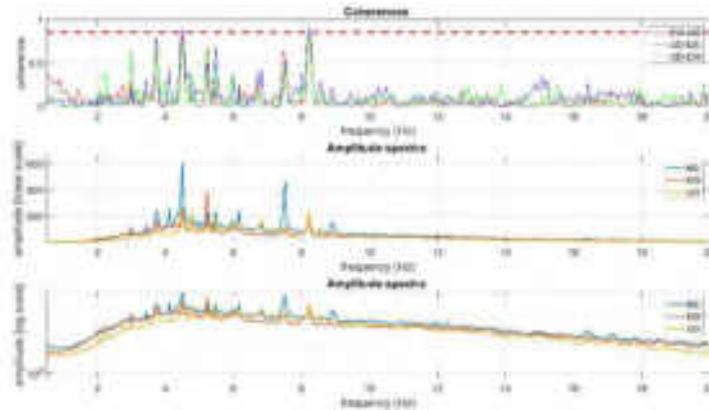


Fig.2: Spettri di ampiezza delle tre componenti con scale delle frequenze lineari (scala di ampiezza sia log che lineare) e le coerenze tra le varie coppie di sensori (EW versus NS, EW versus UD e NS versus UD).

Inversione congiunta HV+MASW

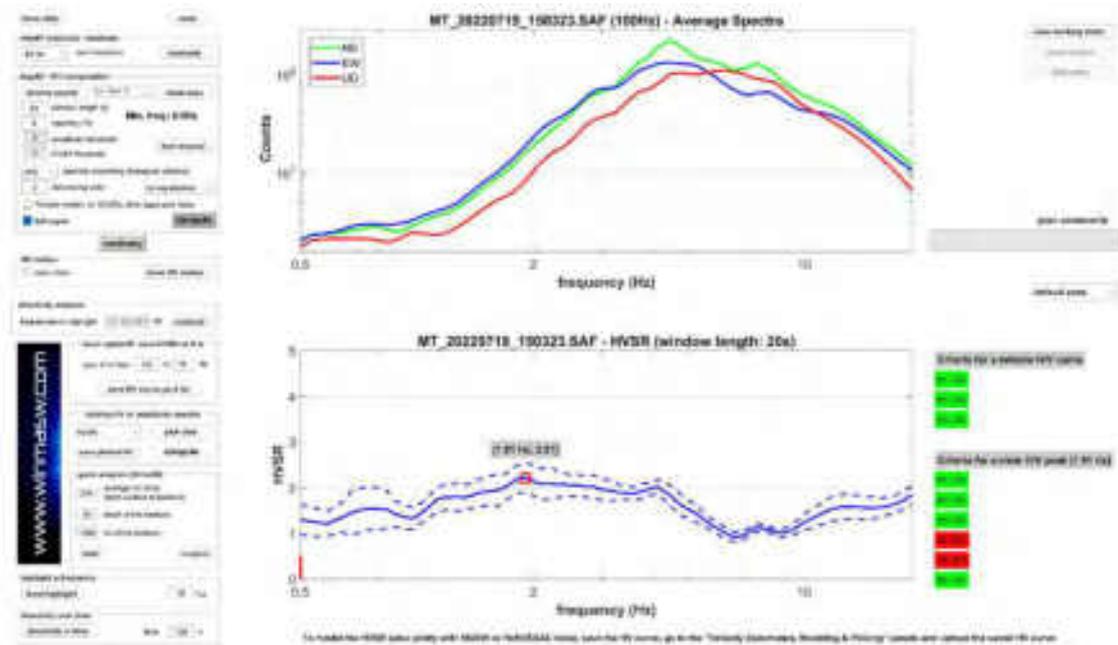


Fig.3: Spettri delle tre componenti e rapporto H/V.

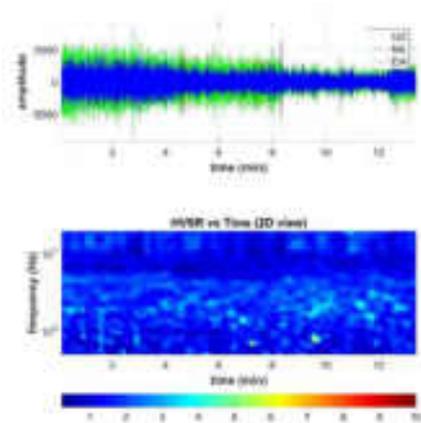


Fig.4: Persistenza del segnale.

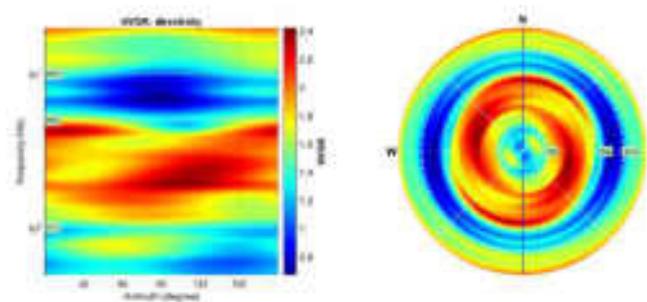


Fig.5: Direzionalità del segnale.

DATA ACQUISITION

Date and time: 2022 07 19 15 03 23.000

DATA PROCESSING

Date: 16 9 2022

Time: 9 36

Sampling frequency (Hz): 100

Window length (sec): 20

Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz

Length of analysed dataset (min): 19.8

Tapering (%): 5

Inversione congiunta HV+MASW
Smoothing (%): 15

SESAME criteria

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 1.9 (± 3.5)

Peak HVSR value: 2.2 (± 0.3)

Criteria for a reliable H/V curve

1. $[f_0 > 10/Lw]$: $1.906 > 0.5$ (OK)
2. $[n_c > 200]$: $3088 > 200$ (OK)
3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

1. $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f_-) < A_0/2]$: yes (considering standard deviations), at frequency 0.5Hz (OK)
2. $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f_+) < A_0/2]$: yes, at frequency 6.1Hz (OK)
3. $[A_0 > 2]$: $2.2 > 2$ (OK)
4. $[f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (NO)
5. $[\sigma_A(f) < \epsilon(f_0)]$: $3.510 > 0.191$ (NO)
6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.583 < 1.78$ (OK)

2.1 Descrizione dei risultati

Nel caso in esame il rapporto spettrale H/V individua una frequenza di risonanza prossima a **1.91 Hz**, che risulta non verificata secondo i criteri di SESAME.

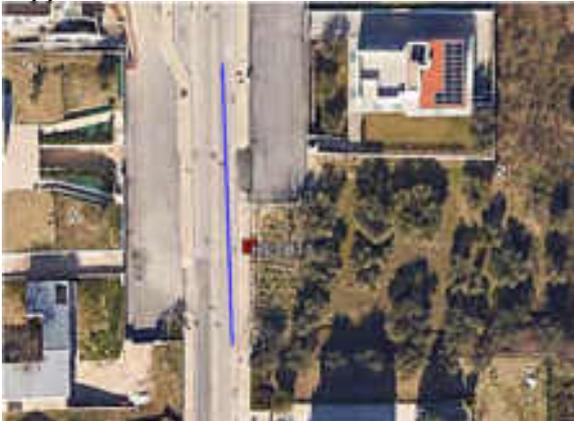
Inversione congiunta HV+MASW

3. INDAGINE SISMICA MASW-ZVF

Per la ricostruzione del modello geofisico del sito è stata eseguita un'indagine di sismica superficiale mediante il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW1.

Campagna	Ancona	Data	15/09/2022
Profilo	Masw3	Operatore	
Strumento	Ambrogeo Echo24	Condizioni Meteo	Sereno
Sorgente	mazza battente	Formato Dati	Sgy-Sg2
Frequenza Geofoni	4,5 Hz	Spaziatura Geofoni	2 m
Freq. Campionamento	0.478 ms	Lungh. registrazione	1000 ms
Coordinate			
Inizio Profilo		Fine Profilo	
Latitudine	43.566285°	Latitudine	43.565871°
Longitudine	13.501907°	Longitudine	13.501929°
Quota (m)			

Mappa



Foto



Inversione congiunta HV+MASW

Schema geometria

Energizzazioni 06 Ricevitori 24

Energiz. n°	Posizione Energiz.	Nome file	Posizioni Ricevitori	Tracce inattive	Note (Rumore, Energ. singola, stack Energ.)
1	-3.0 m	01	0-46 m	0	6
2	-5.0 m	02	0-46 m	0	6
3	-8.0 m	03	0-46 m	0	6
4	49 m	04	0-46 m	0	6
5	51 m	05	0-46 m	0	6
6	54 m	06	0-46 m	0	6

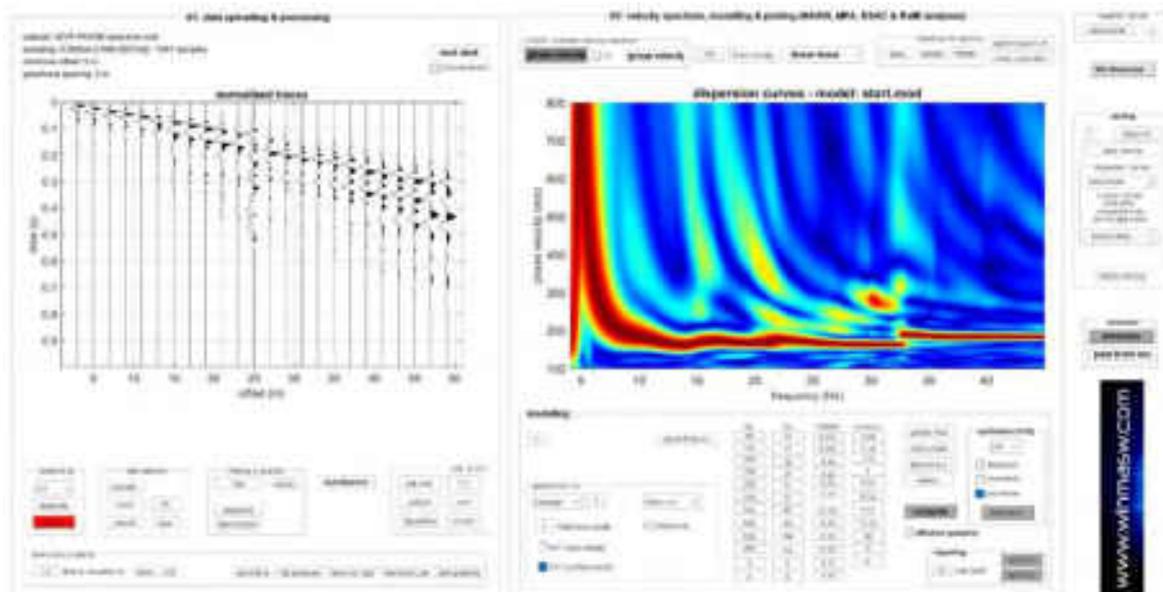


Fig.6: Sismogramma acquisito (sx) e relativo spettro di dispersione (dx) della componente verticale delle onde di Rayleigh.

4. ANALISI CONGIUNTA RAYLEIGH/HVSR

Durante l'elaborazione dei dati MASW, oltre al classico metodo legato all'identificazione delle curve modali, per l'interpretazione dello spettro di velocità nella sua parte a più bassa frequenza (<5-10 Hz) e nelle porzioni più profonde del modello geofisico, sono state considerate anche le curve HVSR, ottenute per il sito di indagine.

Considerando per l'analisi HVSR il picco precedentemente interpretato, è stata eseguita un'analisi congiunta tra lo spettro di dispersione dell'indagine MASW e la curva HV modellata, al fine di ottenere un solo modello vincolato di velocità, in corrispondenza del sito di indagine.

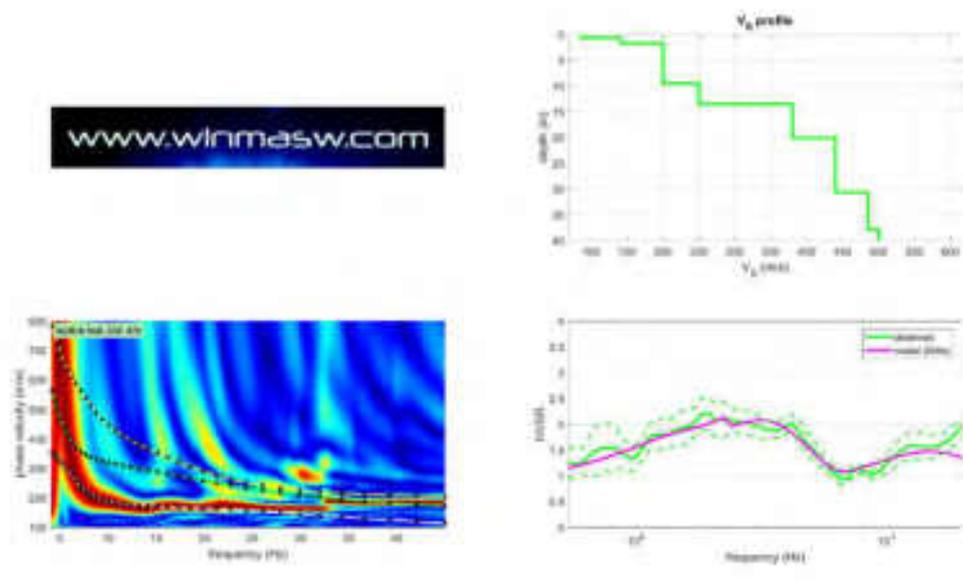


Fig.7: Analisi congiunta Rayleigh/HVSR figura riassuntiva: individuazione del modo fondamentale e dei modi superiori che compongono lo spettro di velocità delle onde di Rayleigh (sx in basso) e confronto (dx in basso) tra le curve HVSR sperimentali (verde) e teoriche (viola), ottenute per lo stesso modello di velocità considerato durante l'analisi spettrale della relativa MASW.

5. CONCLUSIONI

Nelle seguenti tabelle sono riportati i valori delle velocità medie e gli spessori di ciascun sismostrato, in modo da definire un modello geofisico più attendibile, ottenuto mediante analisi delle onde di superficie con metodologia ZVF e analisi congiunta Rayleigh/HVSR.

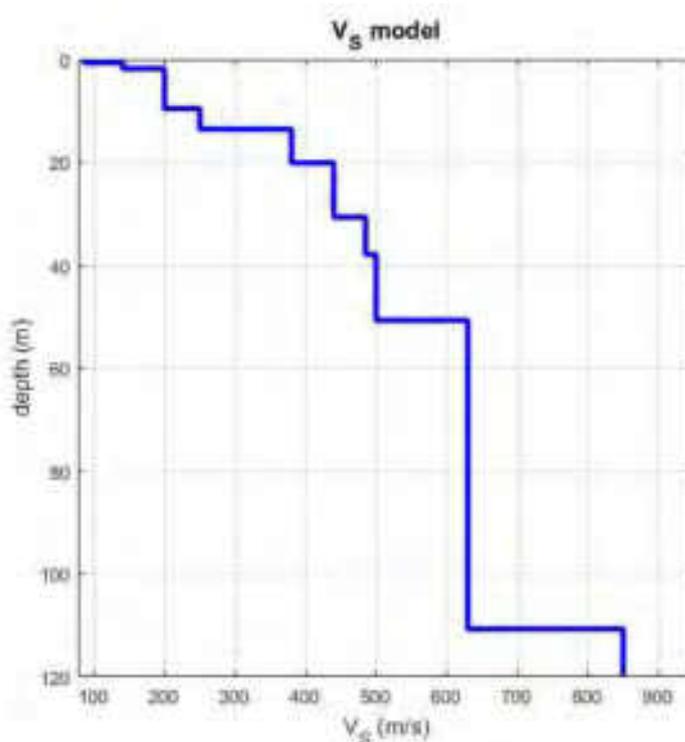


Fig.8: Andamento delle Vs con la profondità.

Sismostrato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)
1	85	0.6	0.6
2	140	1.1	1.7
3	200	7.8	9.5
4	250	4.0	13.5
5	380	6.6	20.1
6	440	10.5	30.6
7	485	7.2	37.8
8	500	12.8	50.6
9	630	60.0	110.6
10	850	-	-

Tab.2 - Modello sismostratigrafico individuato in termini di Vs - **Mean Model**.

È stato quindi possibile calcolare la V_{seq} , tramite la formula:

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

dove:

h_i = spessore dello strato i - esimo (m)

V_s = valore di velocità delle onde di taglio (m/s)

N = numero 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.

Nel caso in oggetto non avendo riscontrato il substrato sismico >800 m/sec nei primi 30 m dal p.c. il valore del V_{seq} è assimilabile al valore V_{s30} .

- **Calcolo da piano campagna**

$$V_{Seq} = 272 \text{ m/s}$$

Inversione congiunta MASW+HVSr

INDICE

1. PREMESSA	2
2. INDAGINE SISMICA HVSr	2
2.1 Descrizione dei risultati	6
3. INDAGINE SISMICA MASW-ZVF	7
4. ANALISI CONGIUNTA RAYLEIGH/HVSr	9
5. CONCLUSIONI	10

Inversione congiunta HV+MASW

1. PREMESSA

Su incarico e per conto del Dott. Geol. Maurizio Mainiero, è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche eseguite nel Comune di Ancona ad integrazione degli studi di MS2.

2. INDAGINE SISMICA HVSR

Le misure di microtremore ambientale sono state eseguite per mezzo di un tromografo 24 bit GEOBOX prodotto dalla ditta Sara Instruments Srl (frequenza di risonanza propria 4.5 Hz), dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati secondo le direzioni Verticale, NS, EW, ad alta definizione, alimentato a batterie, senza cavi esterni.

Campagna	Ancona	Data:	11/08/2022
Sito	Frana	Operatore	
Strumento Acquisitore	Tromografo	Sismometro Tipo	SARA geobox
Frequenza Sismometro	-	Fondo scala	4,5 Hz
Freq. Campionamento	100 Hz	GPS LOC	No
Inizio Registrazione		Durata (sec)	1200
NOME FILE	MT_20220811_112012	FORMATO FILE	SAF
Coordinate			
	WGS84	UTM	ALTRO
Latitudine	43.607694°		
Longitudine	13.521914°		
Quota (m)			

Indicazioni sul Sito:



Inversione congiunta HV+MASW

INSTALLAZIONE SISMOMETRO: ACCOPPIAMENTO

- | | | | |
|--|---|--|---|
| <input type="checkbox"/> Roccia | <input type="checkbox"/> Asfalto | <input type="checkbox"/> Sabbia | <input type="checkbox"/> Erba |
| <input type="checkbox"/> Terreno Riporto | <input type="checkbox"/> Terreno_compatto | <input type="checkbox"/> Terreno_bagnato | <input checked="" type="checkbox"/> Terreno_secco |
| <input type="checkbox"/> Cemento | <input type="checkbox"/> Sterrato | <input type="checkbox"/> Pavimentazione | <input type="checkbox"/> Marciapiede |

Modalità Accoppiamento Sismometro Terreno:

appoggiato

INSTALLAZIONE SISMOMETRO : GEOLOGIA

- | | | | |
|---------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Roccia | <input checked="" type="checkbox"/> Terreno | <input type="checkbox"/> Detrito | <input type="checkbox"/> Riporto |
|---------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|

altro/commento:

INSTALLAZIONE SISMOMETRO : POSIZIONAMENTO in

- | | | | |
|---|---|--|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Città_via_principale | <input type="checkbox"/> Città_via_secondaria | <input type="checkbox"/> Città_cortile | <input type="checkbox"/> Città_parco |
| <input type="checkbox"/> Strada_principale | <input checked="" type="checkbox"/> Strada_secondaria | <input type="checkbox"/> Mura | <input type="checkbox"/> Mura_antiche |
| <input checked="" type="checkbox"/> Aperta_campagna | <input type="checkbox"/> Galleria | <input type="checkbox"/> Cunicolo | |

altro/commento:... ..

INSTALLAZIONE GEOFONO : VICINANZA

- | | | | |
|--|--|--|-----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Fiume | <input type="checkbox"/> Canale | <input type="checkbox"/> Fabbrica | <input type="checkbox"/> Cantiere |
| <input type="checkbox"/> Lavori_stradali | <input type="checkbox"/> Alberi | <input type="checkbox"/> Ponti | <input type="checkbox"/> Viadotti |
| <input type="checkbox"/> Mura | <input type="checkbox"/> Gallerie | <input type="checkbox"/> fognature | |
| <input type="checkbox"/> Edifici_nessuno | <input checked="" type="checkbox"/> Edifici_scarsi | <input type="checkbox"/> Edifici_densi | |

distanza_edificio_vicino numero_piani_edificio_vicino:

strutture_sotterranee:.....

CONDIZIONI ATMOSFERICHE :

- | | | |
|--|---|--|
| <input type="checkbox"/> vento_forte | <input type="checkbox"/> vento_debole | <input checked="" type="checkbox"/> no_vento |
| <input type="checkbox"/> pioggia_forte | <input type="checkbox"/> pioggia_debole | <input checked="" type="checkbox"/> no_pioggia |

altro/commento.....

Inversione congiunta HV+MASW

RUMORE RILEVABILE:

- | | | |
|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> Auto_nessuna | <input checked="" type="checkbox"/> Auto_poche | <input type="checkbox"/> Auto_tante |
| <input type="checkbox"/> Mezzi_pesanti_nessuno | <input type="checkbox"/> Mezzi_pesanti_pochi | <input type="checkbox"/> Mezzi_pesanti_tanti |
| <input type="checkbox"/> Pedoni_nessuno | <input type="checkbox"/> Pedoni_pochi | <input type="checkbox"/> Pedoni_tanti |

ALTRE SORGENTI DI RUMORE

.....

.....

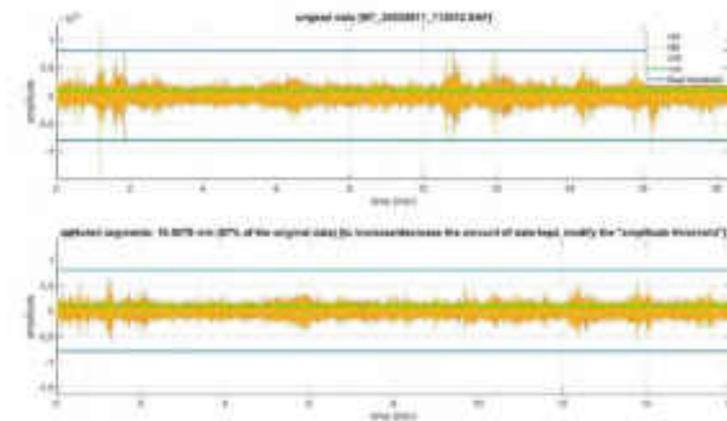


Fig.1: Visualizzazione dei dati dopo la rimozione di eventi transienti.

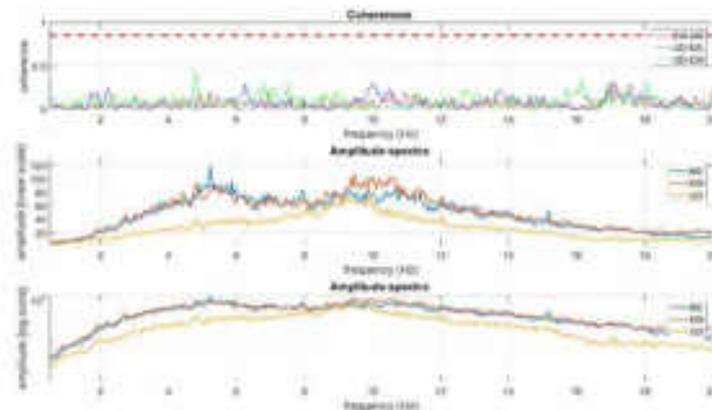


Fig.2: Spettri di ampiezza delle tre componenti con scale delle frequenze lineari (scala di ampiezza sia log che lineare) e le coerenze tra le varie coppie di sensori (EW versus NS, EW versus UD e NS versus UD).

Inversione congiunta HV+MASW

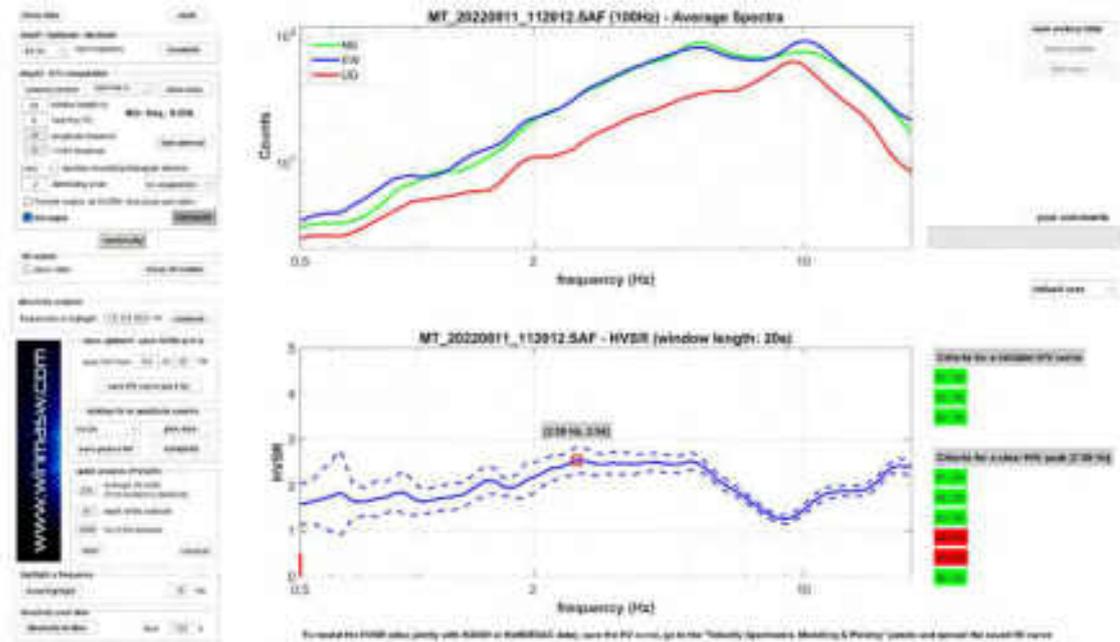


Fig.3: Spettri delle tre componenti e rapporto H/V.

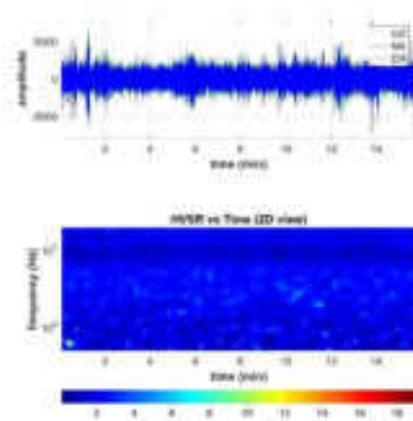


Fig.4: Persistenza del segnale.

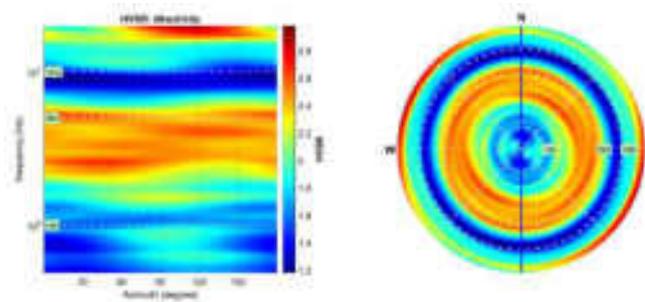


Fig.5: Direzionalità del segnale.

Dataset: MT_20220811_112012.SAF

DATA ACQUISITION Date and time: 2022/08/11

DATA PROCESSING Date: 24/08/2022

Sampling frequency (Hz): 100

Window length (sec): 20

Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz

Length of analysed dataset (min): 18.4

Tapering (%): 5 Smoothing (%): 15

Inversione congiunta HV+MASW

SESAME criteria the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range
Peak frequency (Hz): 2.6 Peak HVSR value: 2.5

Criteria for a reliable H/V curve

1. [$f_0 > 10/L_w$]: $2.590 > 0.5$ (OK)
2. [$n_c > 200$]: $4922 > 200$ (OK)
3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes (considering standard deviations), at frequency 0.7Hz (OK)
2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 8.7Hz (OK)
3. [$A_0 > 2$]: $2.5 > 2$ (OK)
4. [$f_{\text{peak}}[A_h/v(f)] \approx \sigma_A(f) = f_0 \pm 5\%$]: (NO)
5. [$\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$]: $3.152 > 0.130$ (NO)
6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.587 < 1.58$ (OK)

2.1 Descrizione dei risultati

Nel caso in esame il rapporto spettrale H/V individua una frequenza di risonanza prossima a **2.6 Hz**, che risulta non verificata secondo i criteri di SESAME.

Inversione congiunta HV+MASW

3. INDAGINE SISMICA MASW-ZVF

Per la ricostruzione del modello geofisico del sito è stata eseguita un'indagine di sismica superficiale mediante il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW1.

Campagna	Ancona	Data	11/07/2022
Profilo	Masw1	Operatore	
Strumento	Ambrogeo Echo24	Condizioni Meteo	Sereno
Sorgente	mazza battente	Formato Dati	Sgy-Sg2
Frequenza Geofoni	4,5 Hz	Spaziatura Geofoni	2 m
Freq. Campionamento	0.478 ms	Lungh. registrazione	1000 ms
Coordinate			
Inizio Profilo		Fine Profilo	
Latitudine	43.607805°	Latitudine	43.607566°
Longitudine	13.521648°	Longitudine	13.522098°
Quota (m)			

Mappa



Foto



Inversione congiunta HV+MASW

Schema geometria

Energizzazioni 06 Ricevitori 24

Energiz. n°	Posizione Energiz.	Nome file	Posizioni Ricevitori	Tracce inattive	Note (Rumore, Energ. singola, stack Energ.)
1	-3.0 m	01	0-46 m	0	6
2	-5.0 m	02	0-46 m	0	6
3	-8.0 m	03	0-46 m	0	6
4	49 m	04	0-46 m	0	6
5	51 m	05	0-46 m	0	6
6	54 m	06	0-46 m	0	6

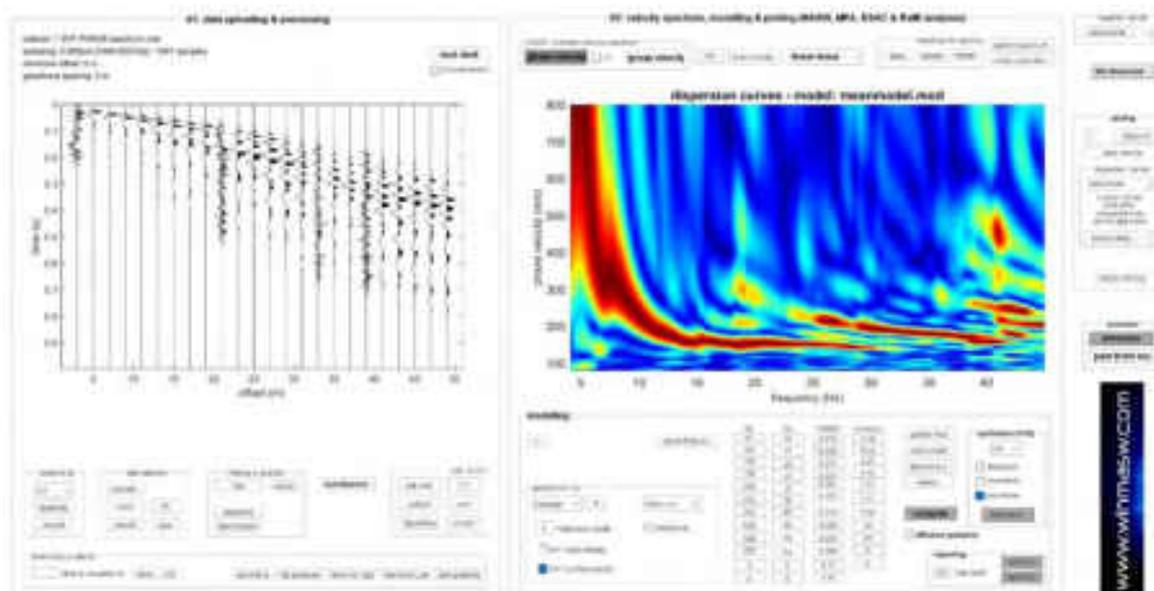


Fig.6: Sismogramma acquisito (sx) e relativo spettro di dispersione (dx) della componente verticale delle onde di Rayleigh.

4. ANALISI CONGIUNTA RAYLEIGH/HVSR

Durante l'elaborazione dei dati MASW, oltre al classico metodo legato all'identificazione delle curve modali, per l'interpretazione dello spettro di velocità nella sua parte a più bassa frequenza (<5-10 Hz) e nelle porzioni più profonde del modello geofisico, sono state considerate anche le curve HVSR, ottenute per il sito di indagine.

Considerando per l'analisi HVSR il picco precedentemente interpretato, è stata eseguita un'analisi congiunta tra lo spettro di dispersione dell'indagine MASW e la curva HV modellata, al fine di ottenere un solo modello vincolato di velocità, in corrispondenza del sito di indagine.

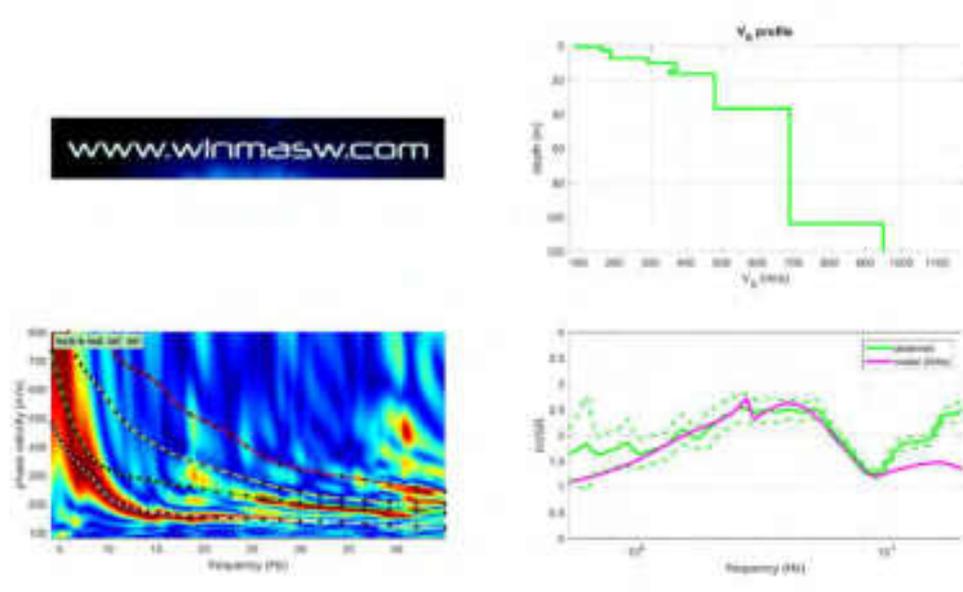


Fig.7: Analisi congiunta Rayleigh/HVSR figura riassuntiva: individuazione del modo fondamentale e dei modi superiori che compongono lo spettro di velocità delle onde di Rayleigh (sx in basso) e confronto (dx in basso) tra le curve HVSR sperimentali (verde) e teoriche (viola), ottenute per lo stesso modello di velocità considerato durante l'analisi spettrale della relativa MASW.

Inversione congiunta HV+MASW

5. CONCLUSIONI

Nelle seguenti tabelle sono riportati i valori delle velocità medie e gli spessori di ciascun sismostrato, in modo da definire un modello geofisico più attendibile, ottenuto mediante analisi delle onde di superficie con metodologia ZVF e analisi congiunta Rayleigh/HVSR.

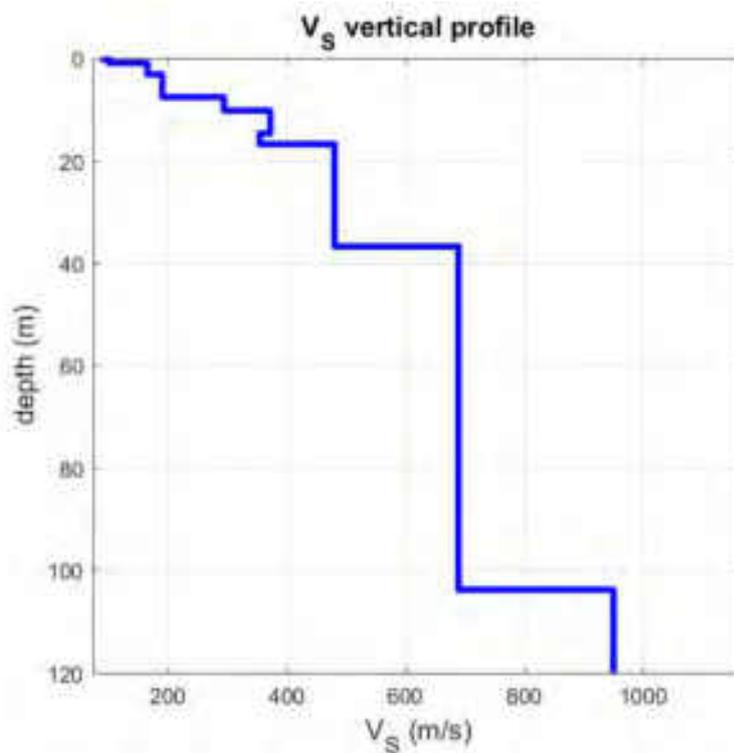


Fig.8: Andamento delle Vs con la profondità.

Sismostrato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)
1	91	0.3	0.3
2	105	0.6	0.9
3	165	2.2	3.1
4	190	4.5	7.6
5	295	2.6	10.2
6	375	4.5	14.7
7	355	2.1	16.8
8	480	20.0	36.8
9	690	67.0	103.8
10	950	-	-

Tab.2 - Modello sismostratigrafico individuato in termini di Vs - **Mean Model**.

È stato quindi possibile calcolare la V_{seq} , tramite la formula:

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

dove:

h_i = spessore dello strato i - esimo (m)

V_s = valore di velocità delle onde di taglio (m/s)

N = numero 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.

Nel caso in oggetto non avendo riscontrato il substrato sismico >800 m/sec nei primi 30 m dal p.c. il valore del V_{seq} è assimilabile al valore V_{s30} .

- **Calcolo da piano campagna**

$$V_{Seq} = 297 \text{ m/s}$$

STATION INFORMATION

Station code: -

Model: -

Sensor: -

Notes: **HVSR 1**

PLACE INFORMATION

Place ID: Ancona MZS

Address: -

Latitude: 43.566672

Longitude: 13.501990

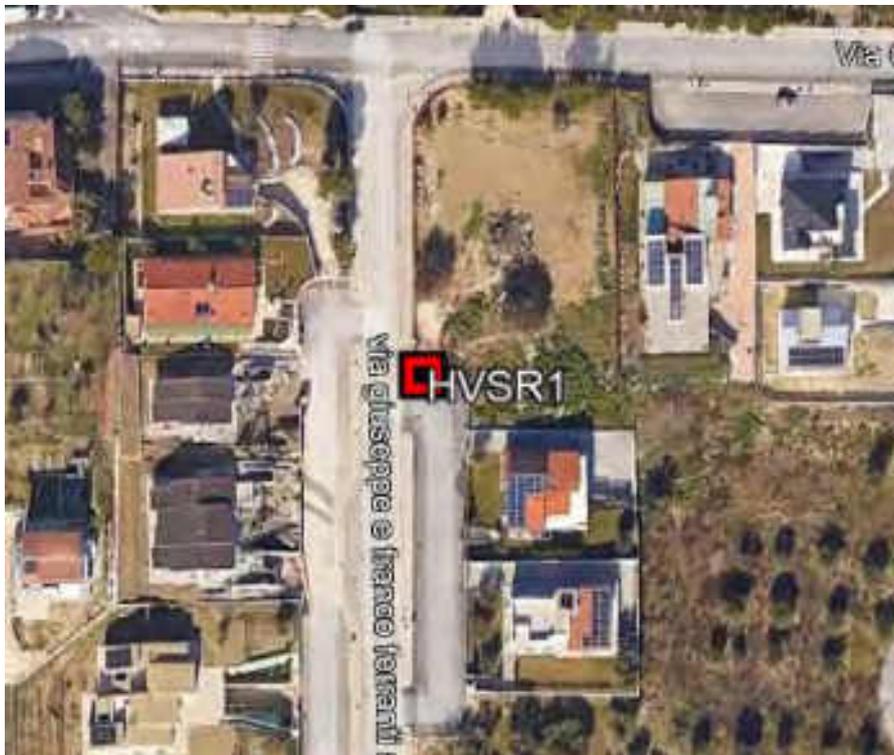
Coordinate system: WGS84

Elevation:

Weather: NO pioggia e vento

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 100 Hz

Recording start time: 2022/08/11 15:17:31

Recording length: 20 min

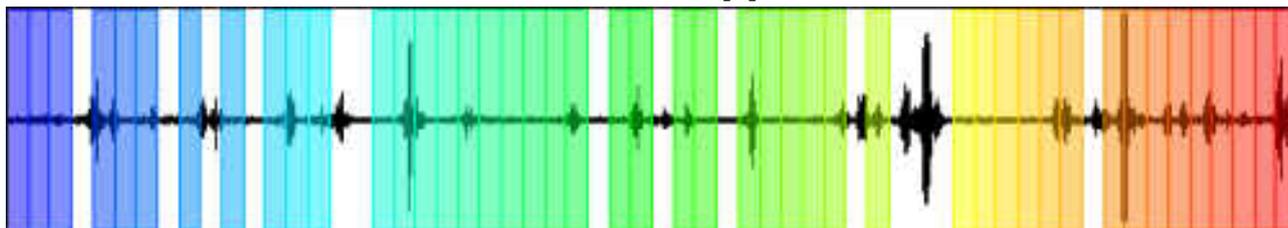
Windows count: 46

Average windows length: 20

Signal coverage: 76.67%

26228 Counts

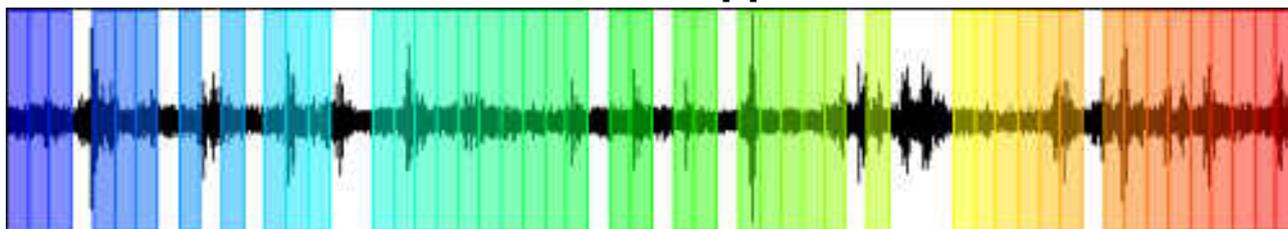
CHANNEL #1 [V]



-27357 Counts

9835 Counts

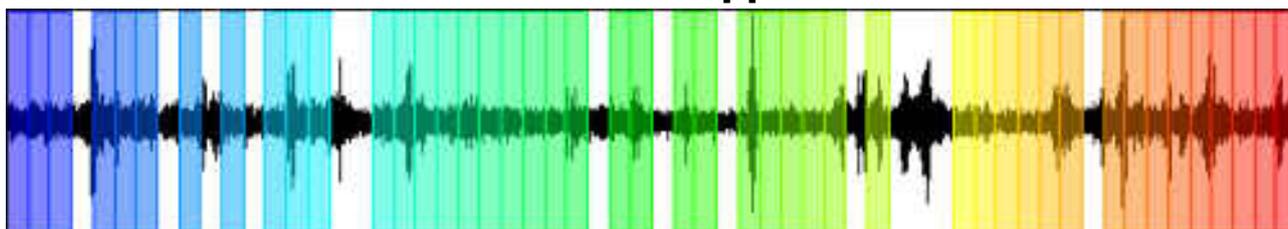
CHANNEL #2 [N]



-8979 Counts

9843 Counts

CHANNEL #3 [E]



-7905 Counts

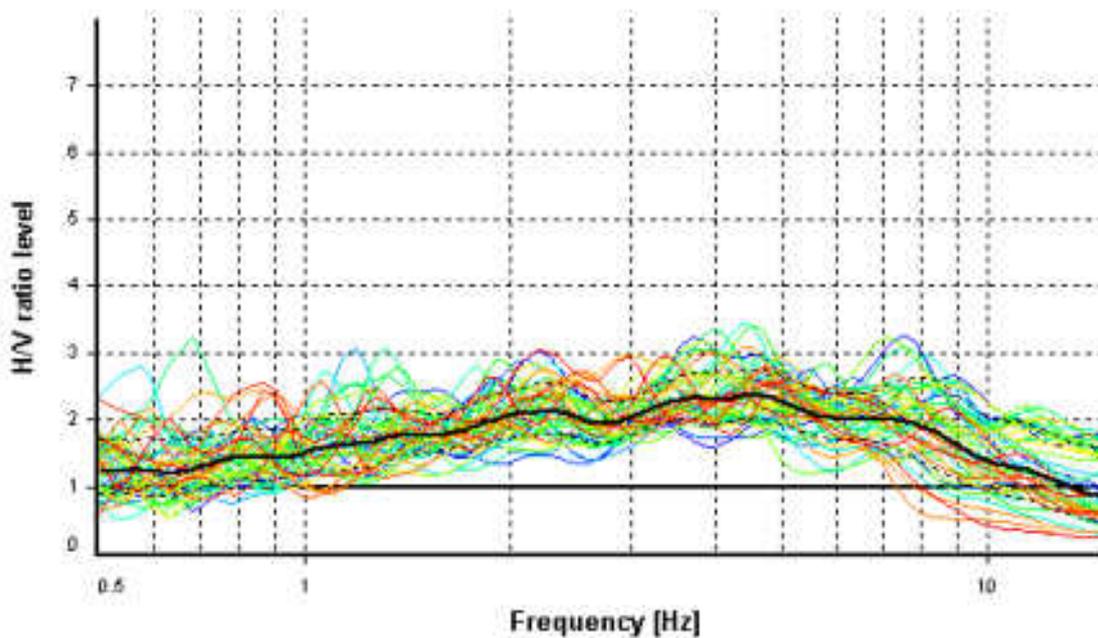
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

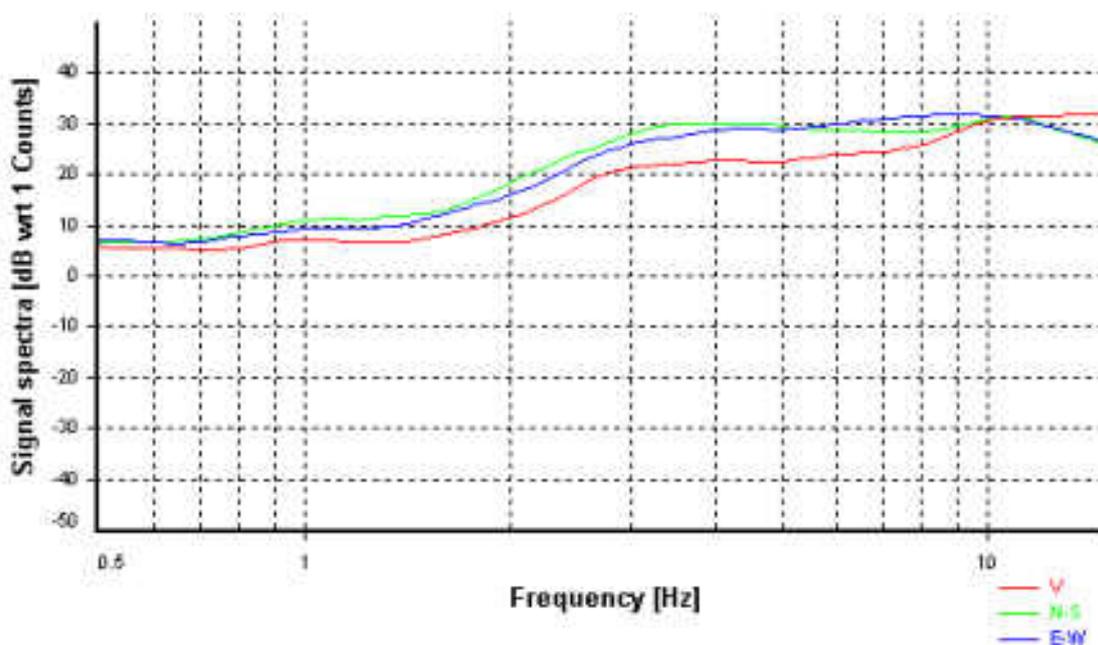
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 25)

Instrumental correction: Disabled

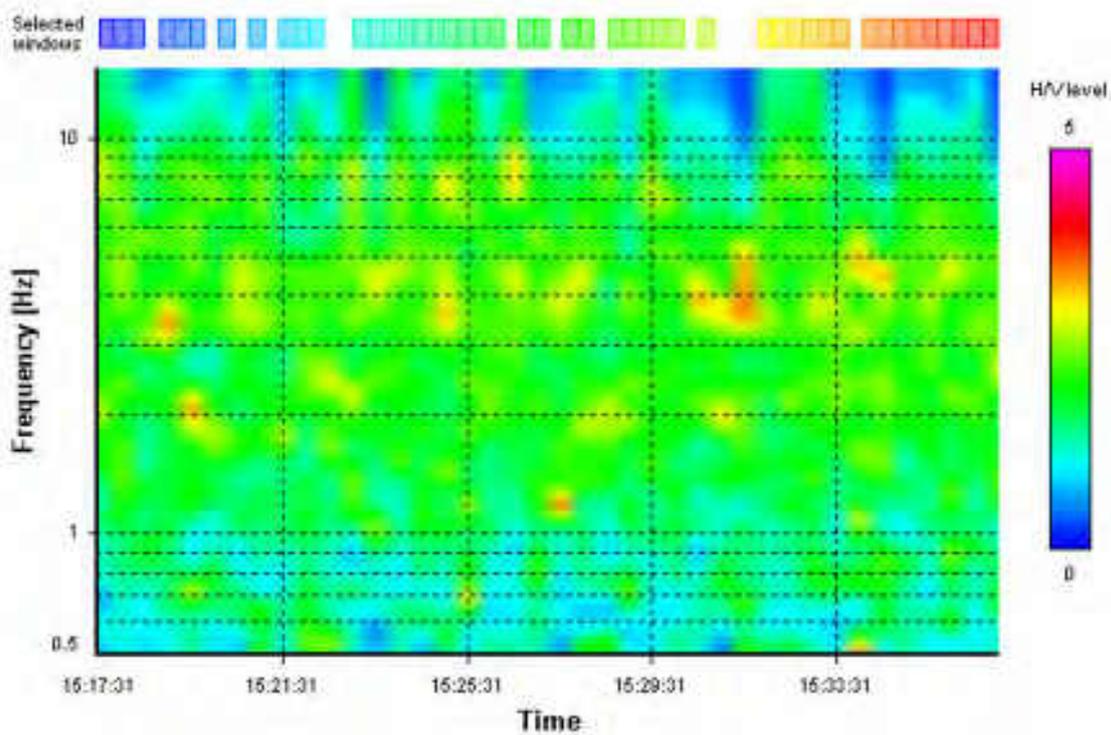
HVSR average



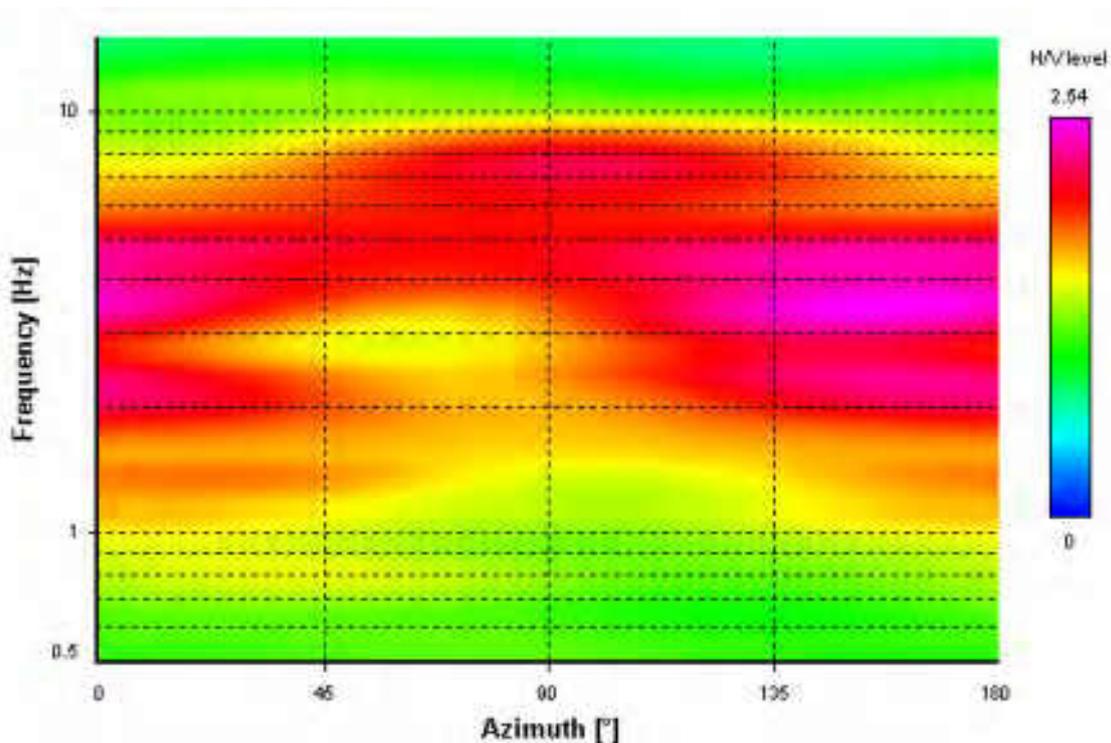
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



HVSR directional analysis



STATION INFORMATION

Station code: HVSR2

Model: -

Sensor: -

Notes:

PLACE INFORMATION

Place ID: Ancona MZS

Address: -

Latitude: 43.565565

Longitude: 13.502174

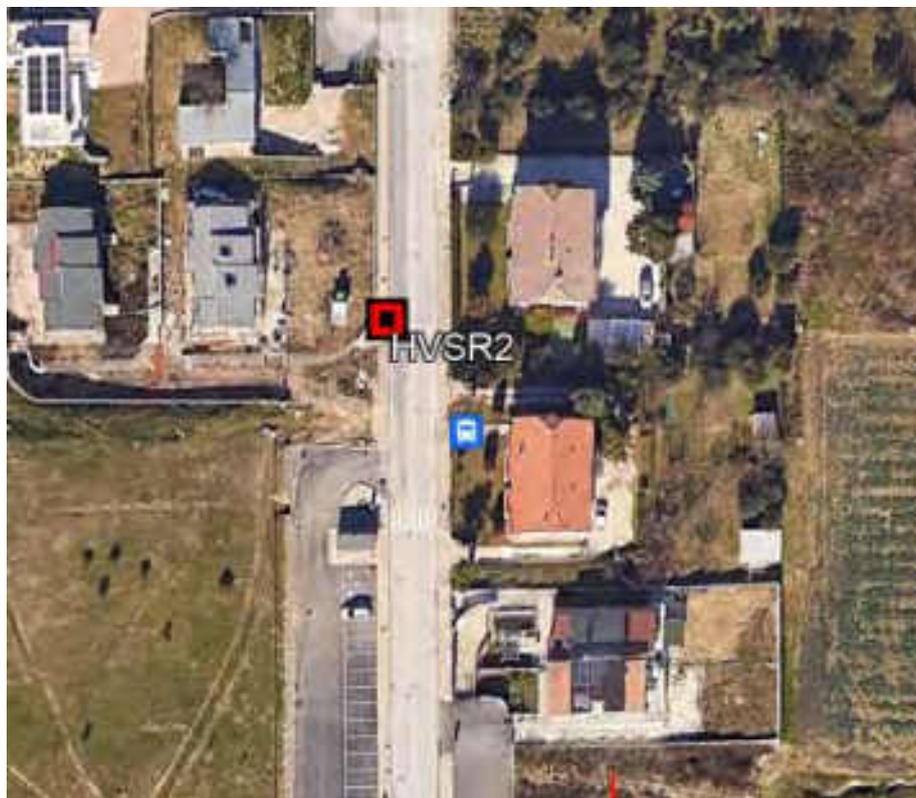
Coordinate system: WGS84

Elevation:

Weather: NO pioggia e vento

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 100 Hz

Recording start time: 2022/08/11 14:34:01

Recording length: 20 min

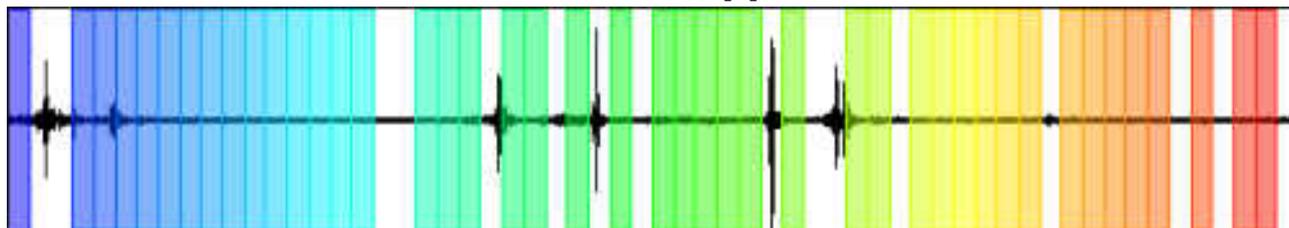
Windows count: 44

Average windows length: 20

Signal coverage: 73.33%

26207 Counts

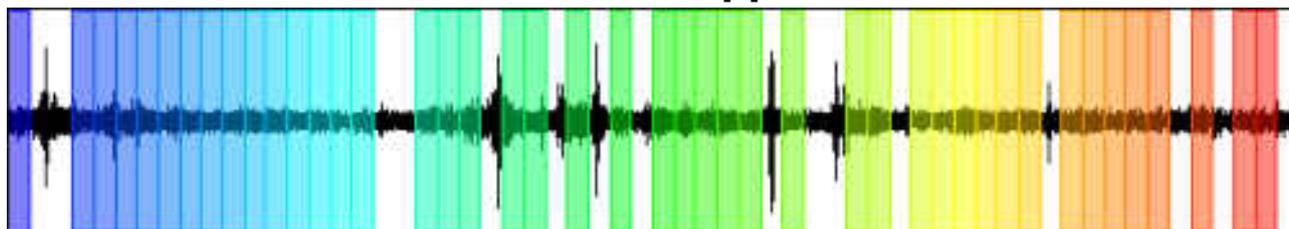
CHANNEL #1 [V]



-32195 Counts

10513 Counts

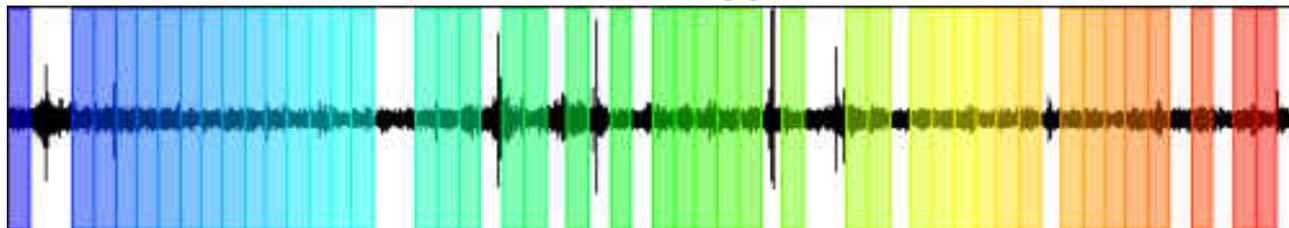
CHANNEL #2 [N]



-9140 Counts

13266 Counts

CHANNEL #3 [E]



-9962 Counts

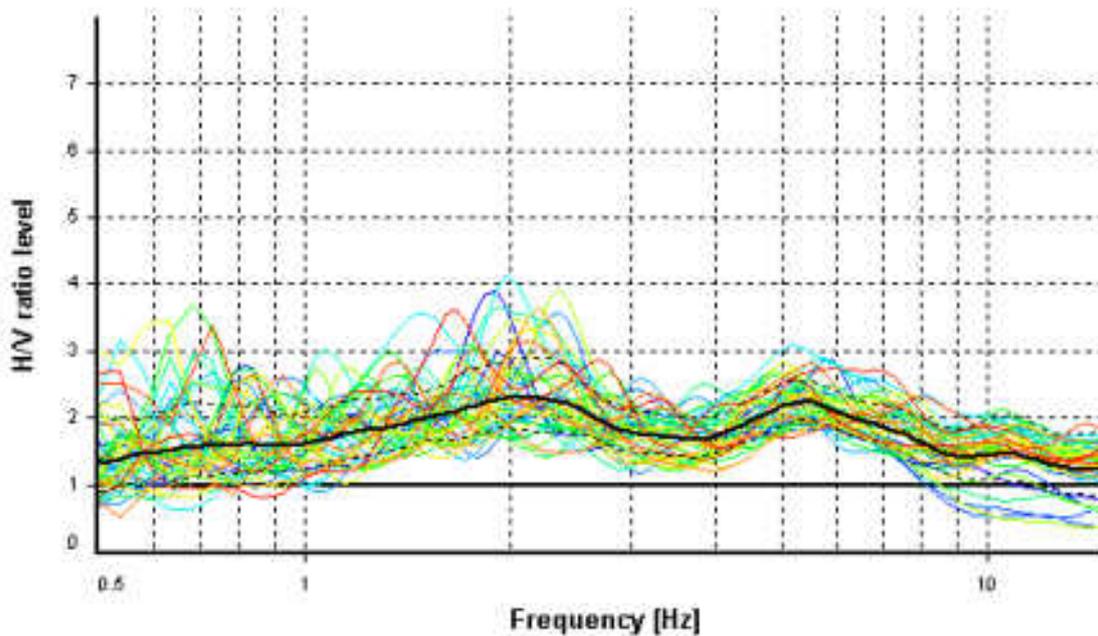
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

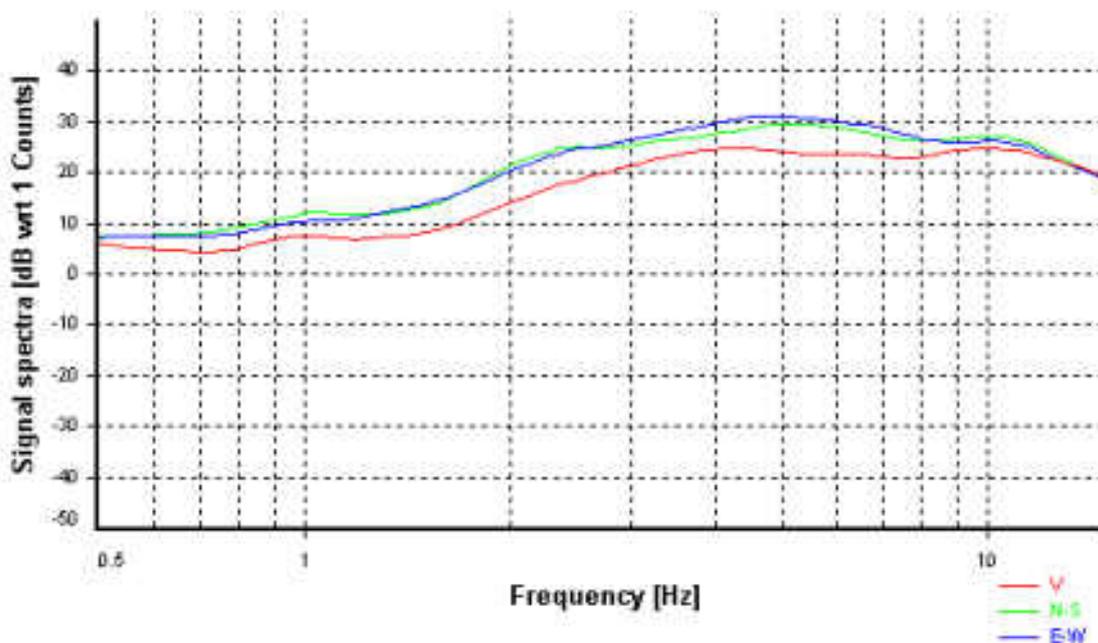
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 25)

Instrumental correction: Disabled

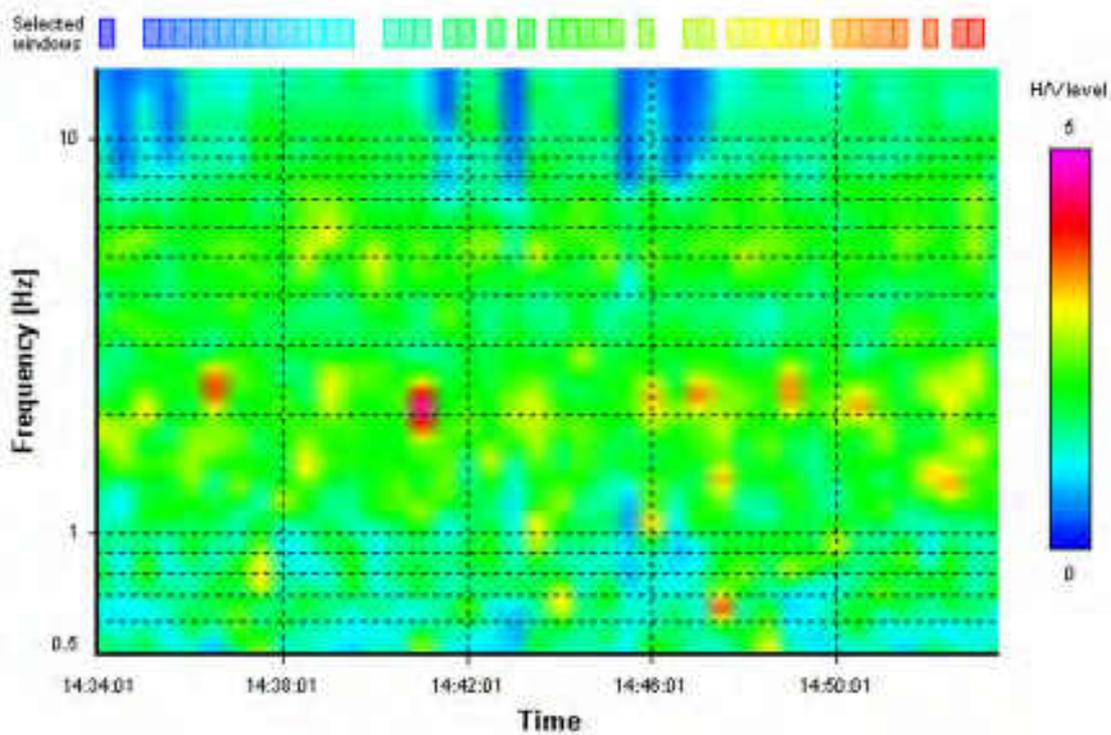
HVSR average



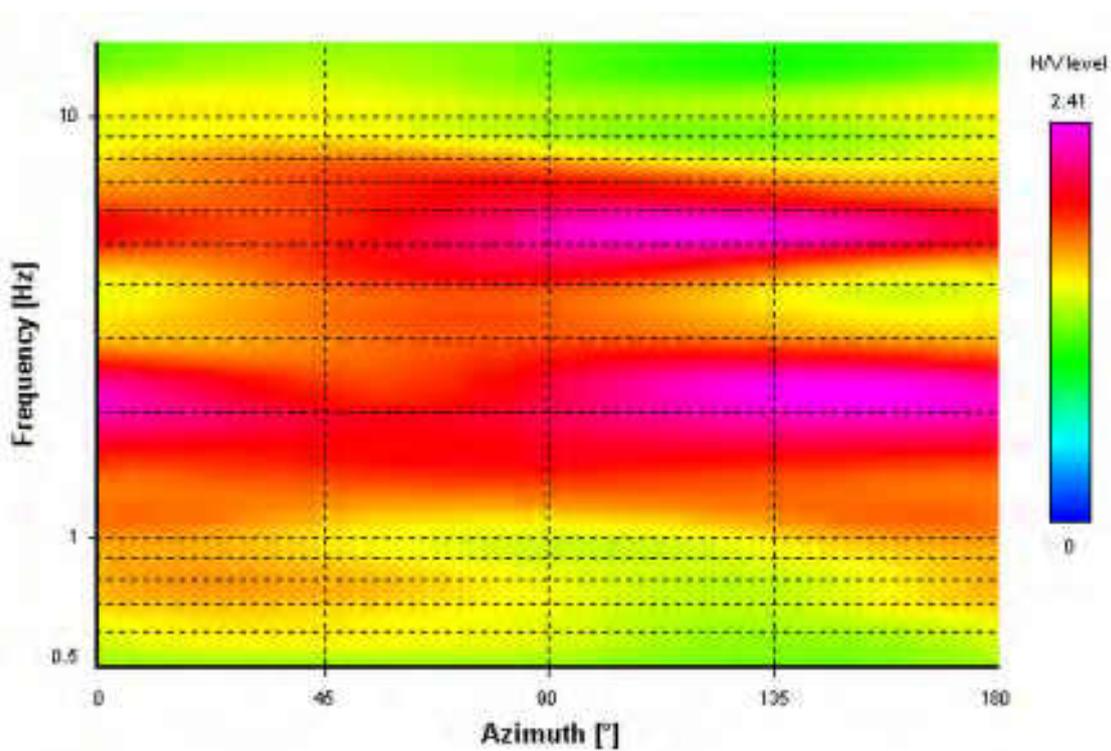
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



HVSR directional analysis



STATION INFORMATION

Station code: HVSR3

Model: -

Sensor: -

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: Ancona MZS

Address: -

Latitude: 43.564539

Longitude: 13.502174

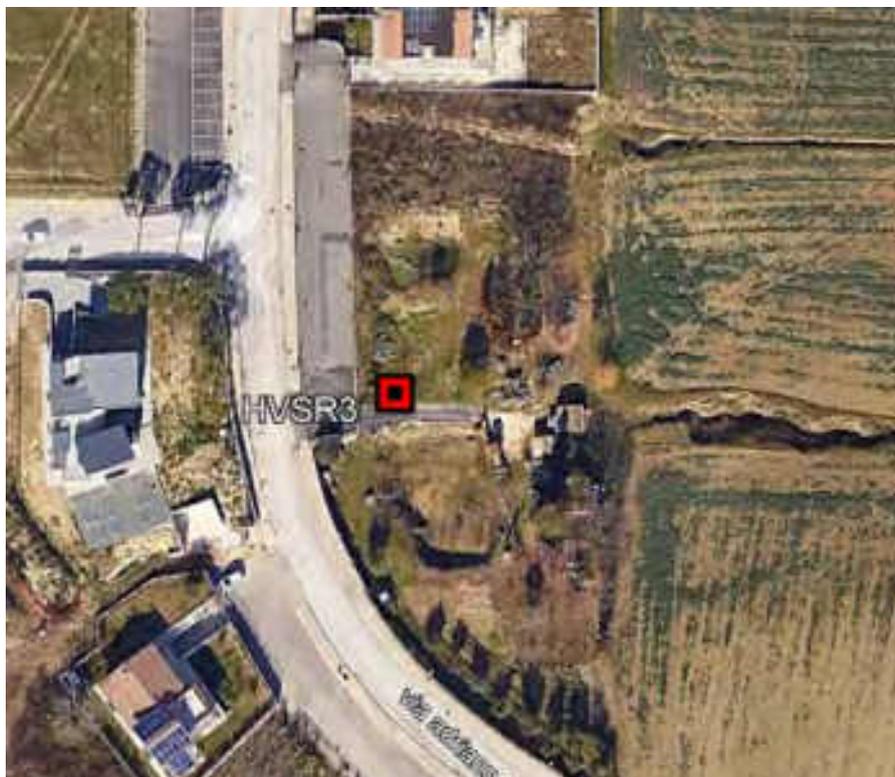
Coordinate system: WGS84

Elevation:

Weather: NO pioggia e vento

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 100 Hz

Recording start time: 2022/08/11 13:56:36

Recording length: 20 min

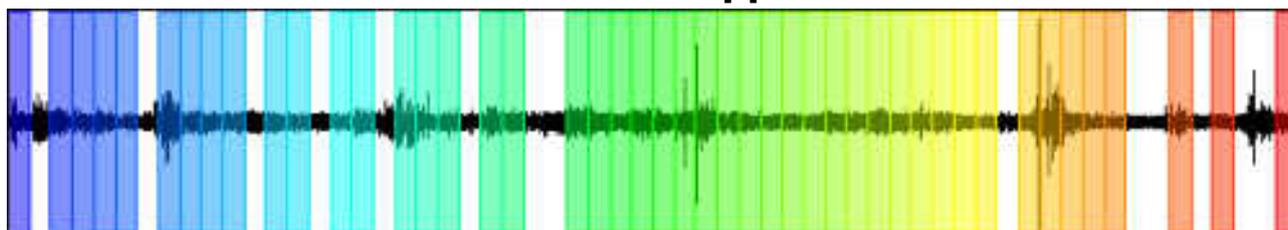
Windows count: 46

Average windows length: 20

Signal coverage: 76.67%

9110 Counts

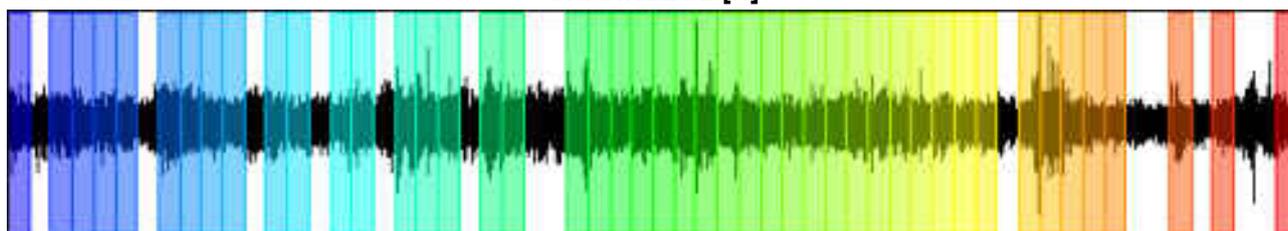
CHANNEL #1 [V]



-9876 Counts

4808 Counts

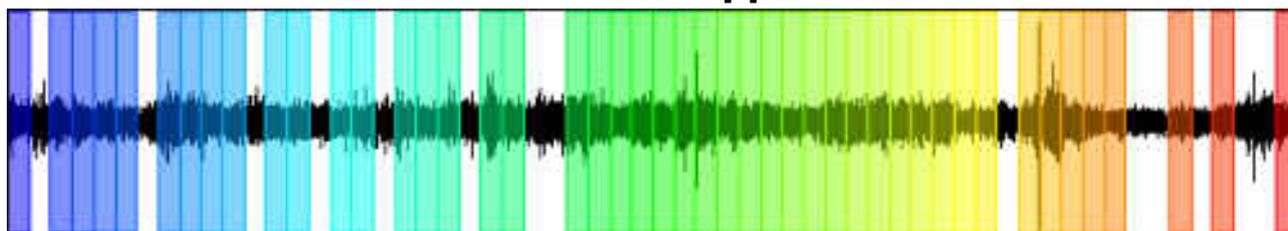
CHANNEL #2 [N]



-3951 Counts

6140 Counts

CHANNEL #3 [E]



-6942 Counts

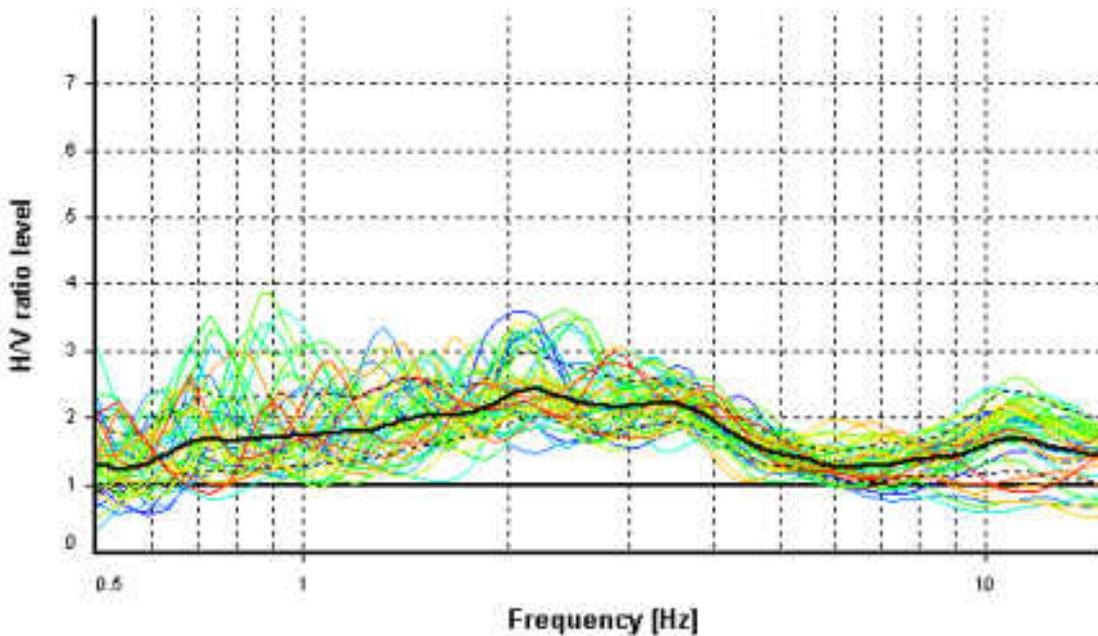
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

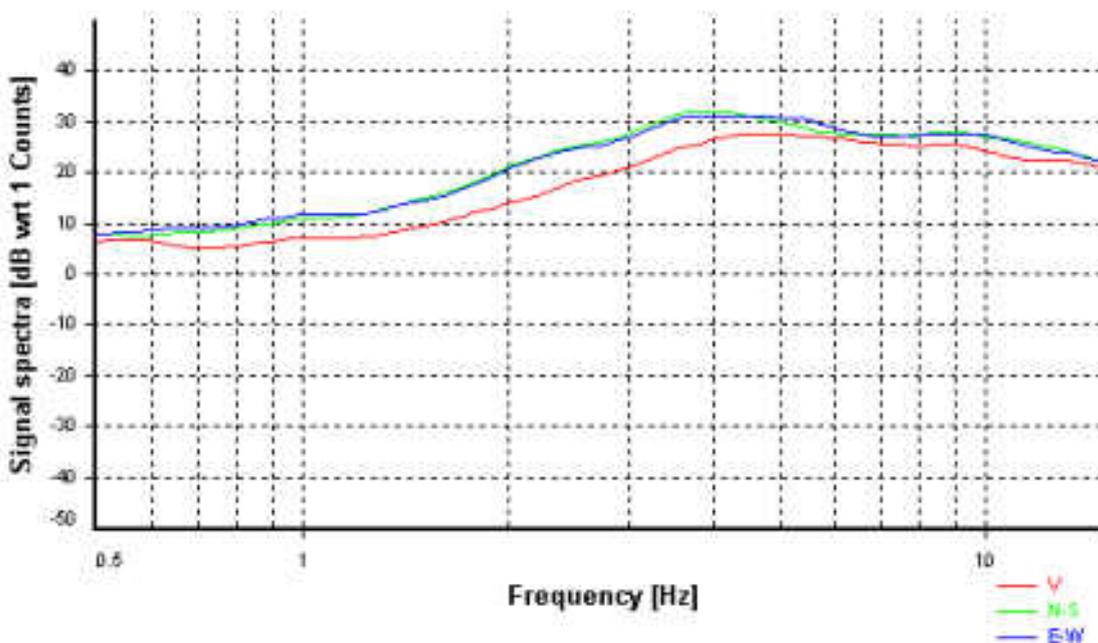
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 25)

Instrumental correction: Disabled

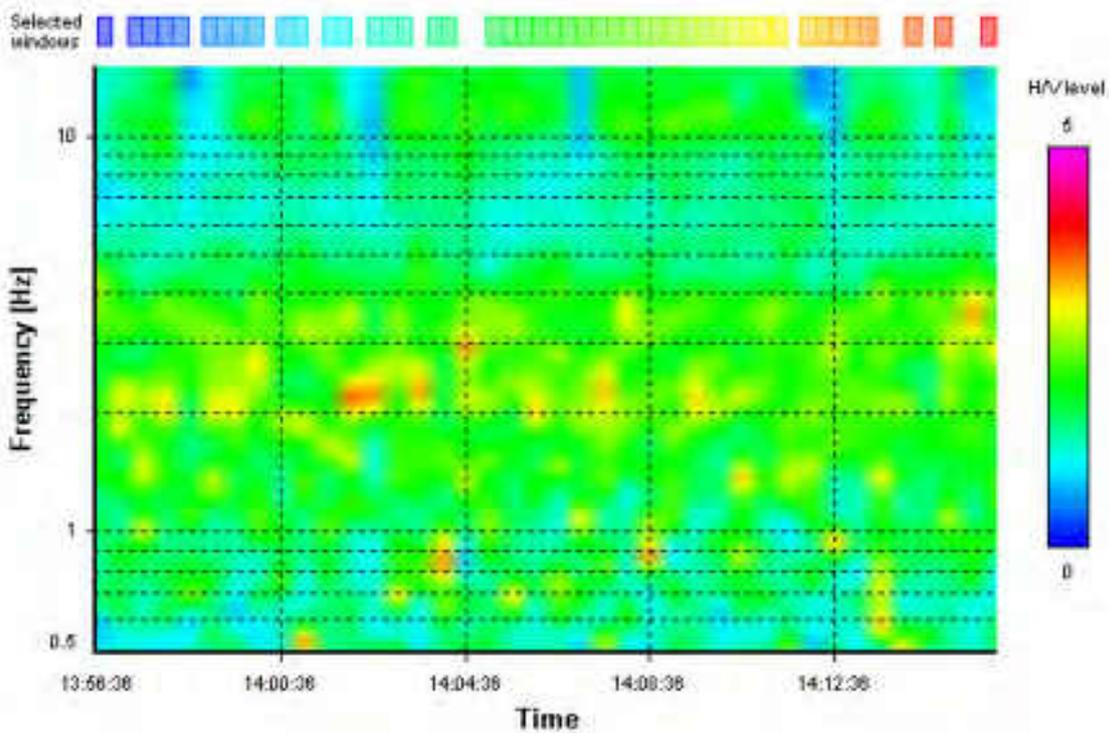
HVSR average



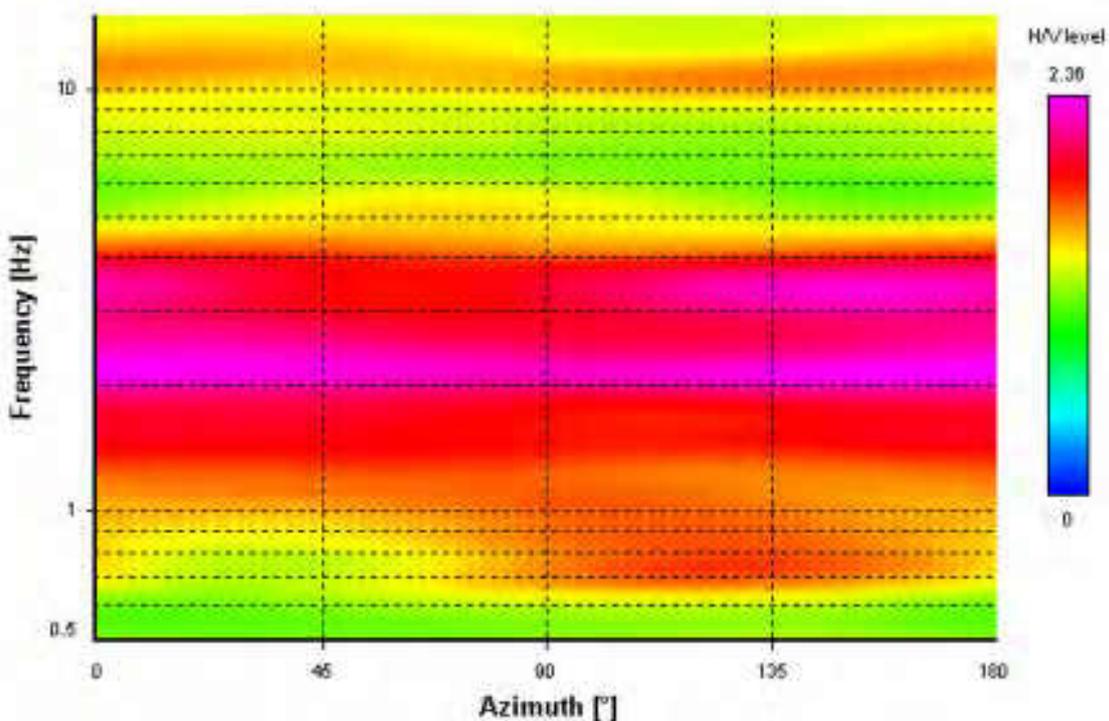
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



HVSR directional analysis



STATION INFORMATION

Station code: HVSR4

Model: -

Sensor: -

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: Ancona MZS

Address: -

Latitude: 43.563701

Longitude: 13.502648

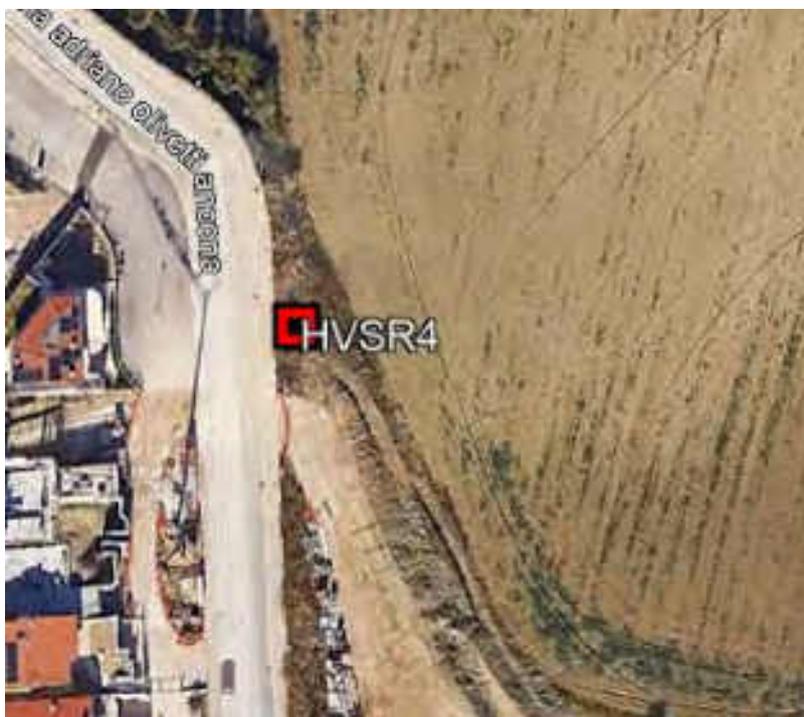
Coordinate system: WGS84

Elevation:

Weather: NO pioggia e vento

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 100 Hz

Recording start time: 2022/07/19 15:35:49

Recording length: 20 min

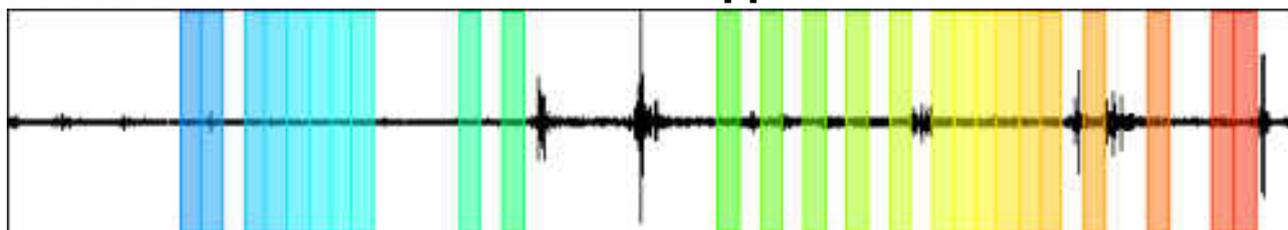
Windows count: 25

Average windows length: 20

Signal coverage: 41.67%

57819 Counts

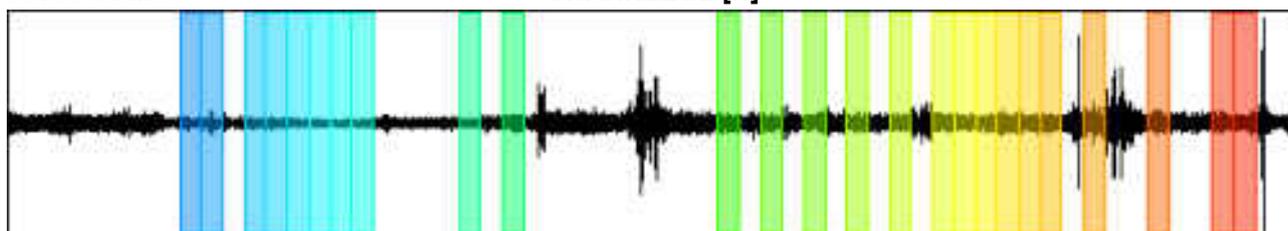
CHANNEL #1 [V]



-52300 Counts

38196 Counts

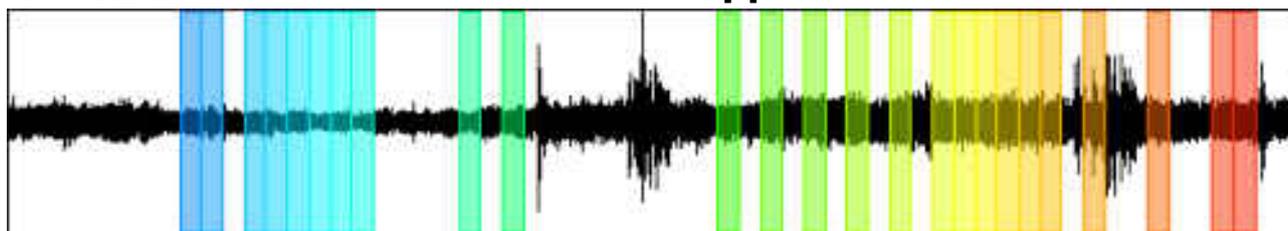
CHANNEL #2 [N]



-40346 Counts

16241 Counts

CHANNEL #3 [E]



-13055 Counts

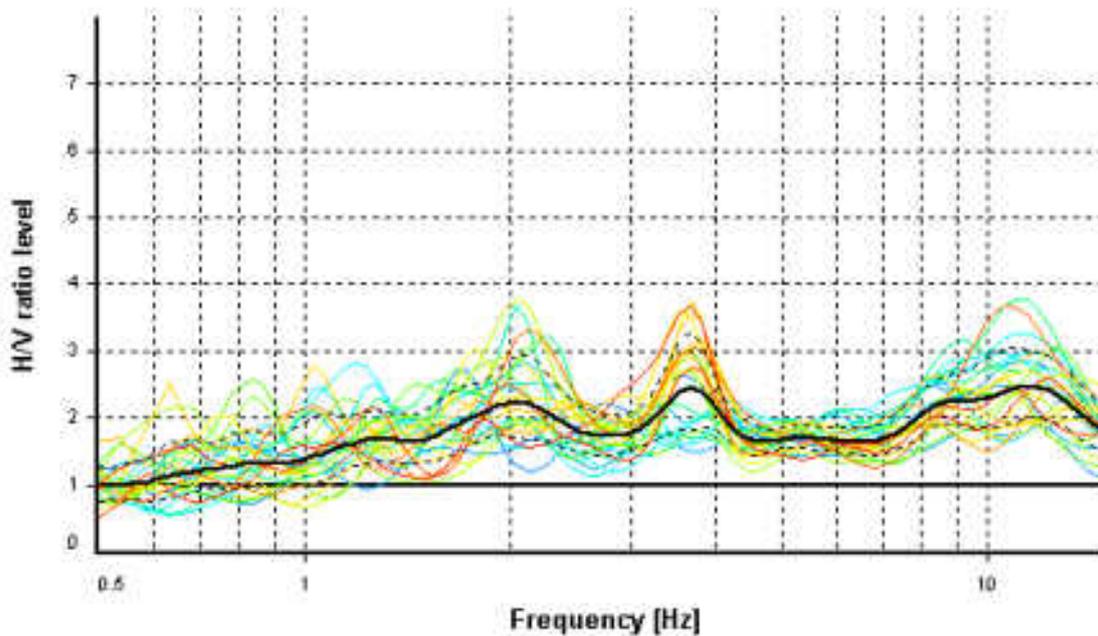
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

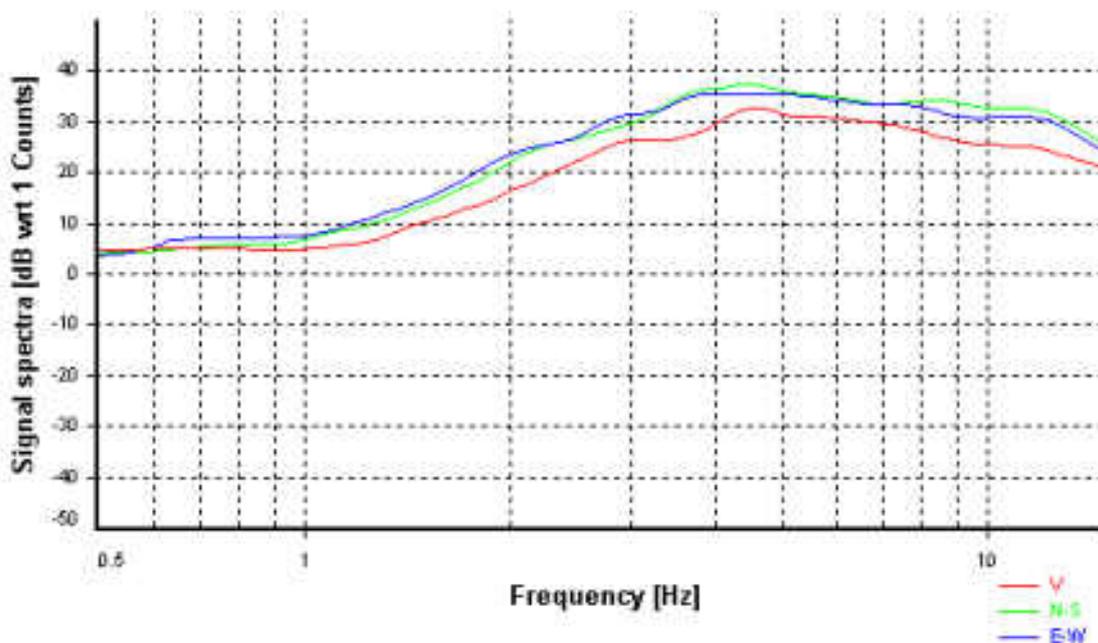
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 25)

Instrumental correction: Disabled

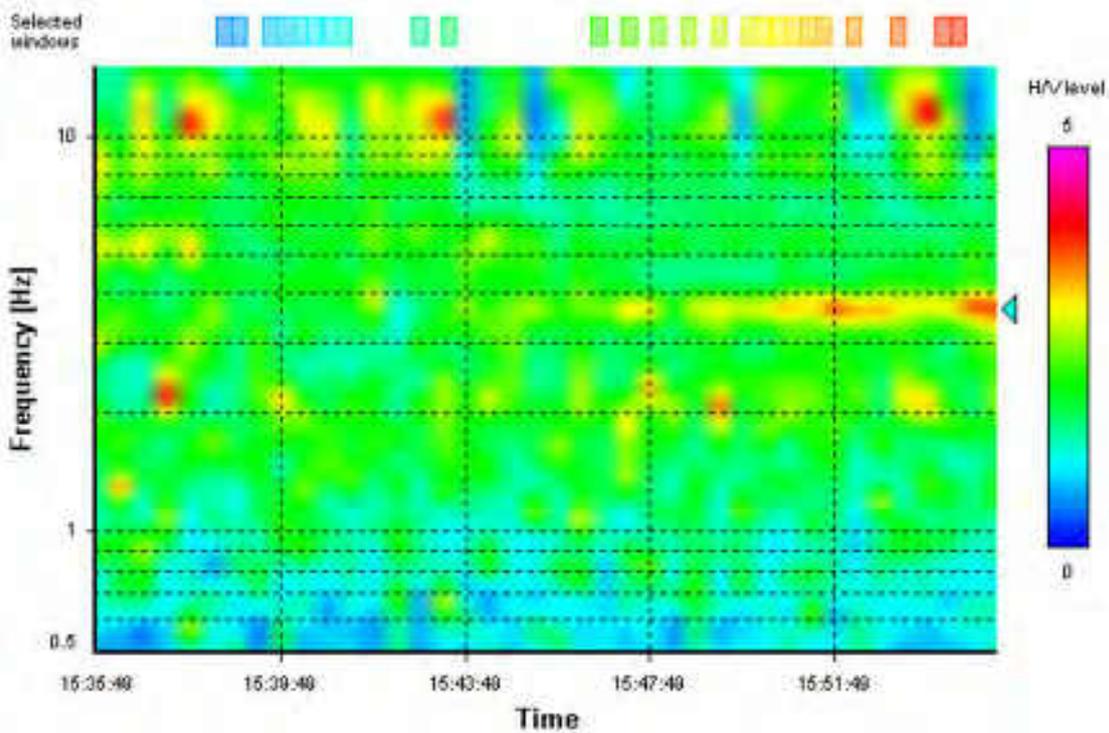
HVSR average



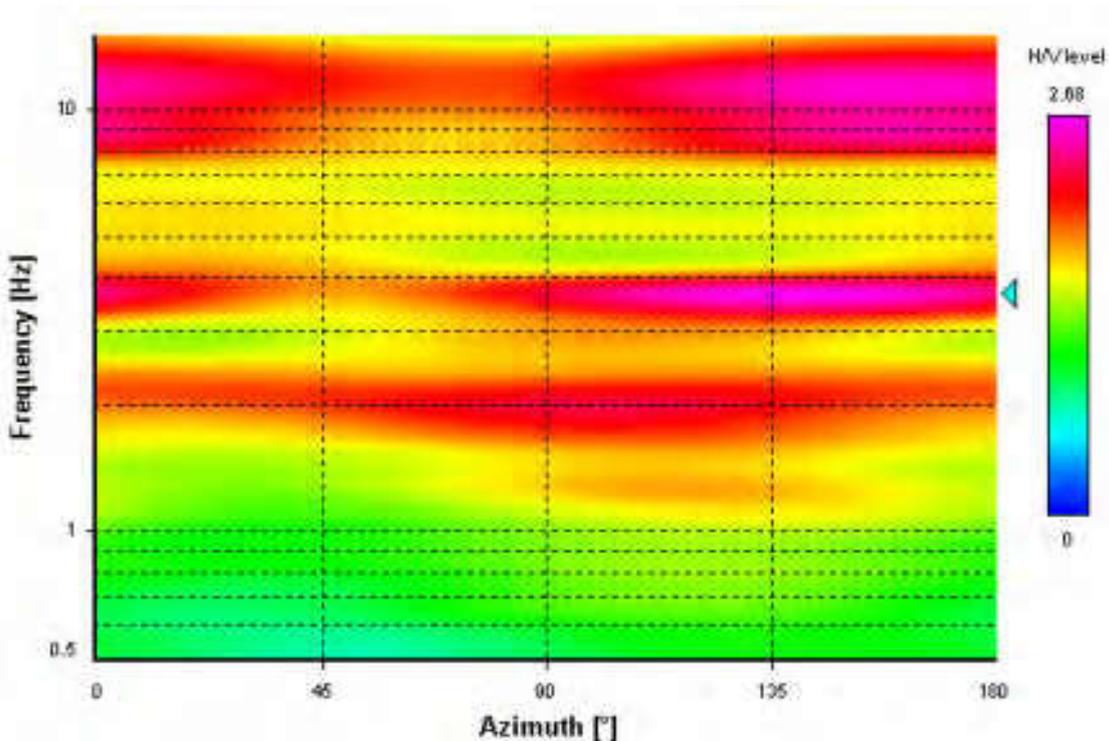
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



HVSR directional analysis



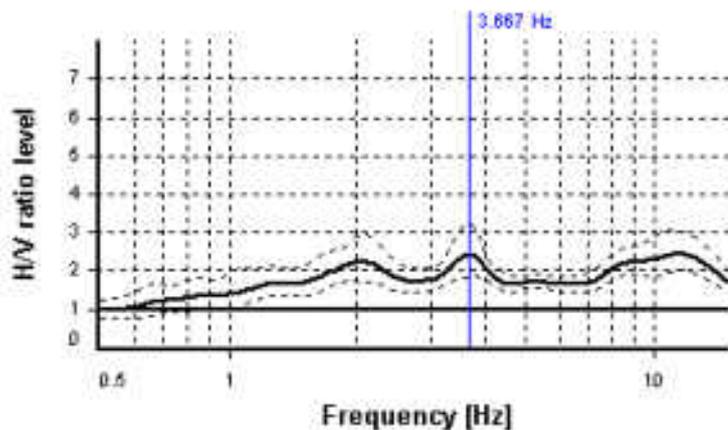
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

3.667 Hz

A_0 amplitude = 2.457

Average $f_0 = 3.578 \pm 0.410$



HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	25 valid windows (length > 2.73 s) out of 25	OK
$n_c(f_0) > 200$	1833.68 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 41	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0 Hz	NO
$\exists f' \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	0 Hz	NO
$A_0 > 2$	2.46 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	3.5% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.41002 >= 0.18337	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.33575 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		NO



COMMITTENTE: Comune di Ancona

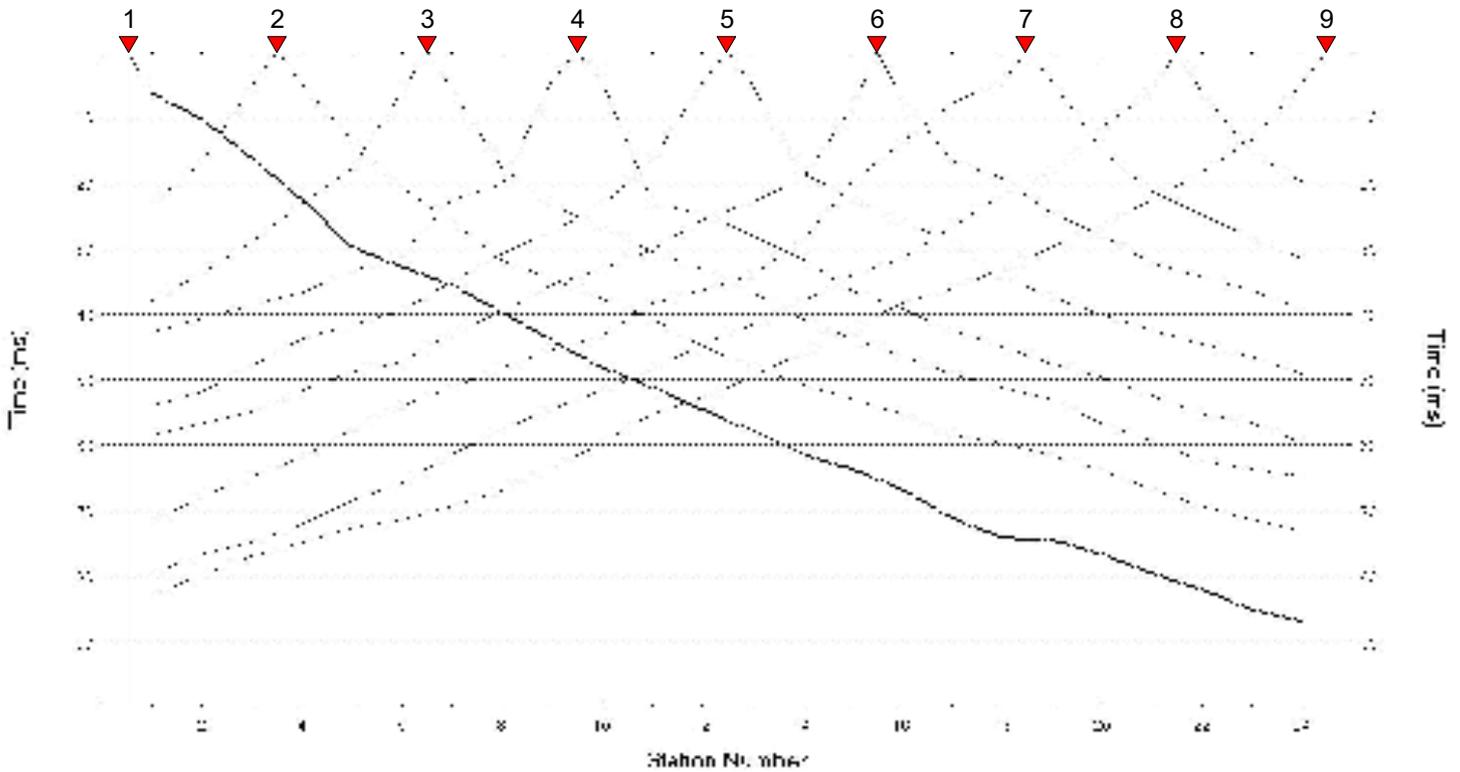
COMMESSA: 288-2022

OGGETTO: Indagini geognostiche e geofisiche eseguite per studi di Microzonazione Sismica - approfondimento di Livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante - Comune di Ancona.

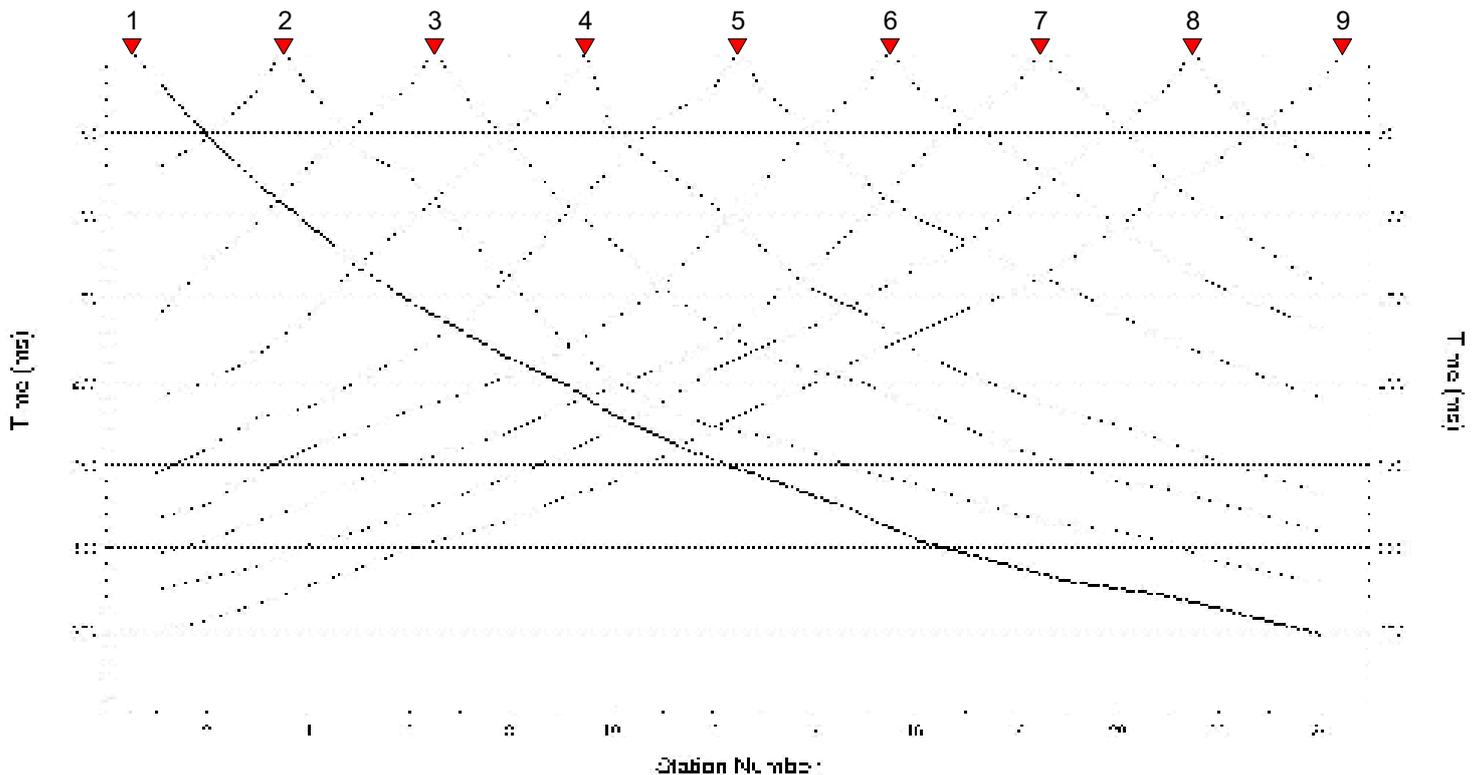
Allegato - DROMOCRONE

Linea sismica LN1

ONDE P



ONDE SH





COMMITTENTE: Comune di Ancona

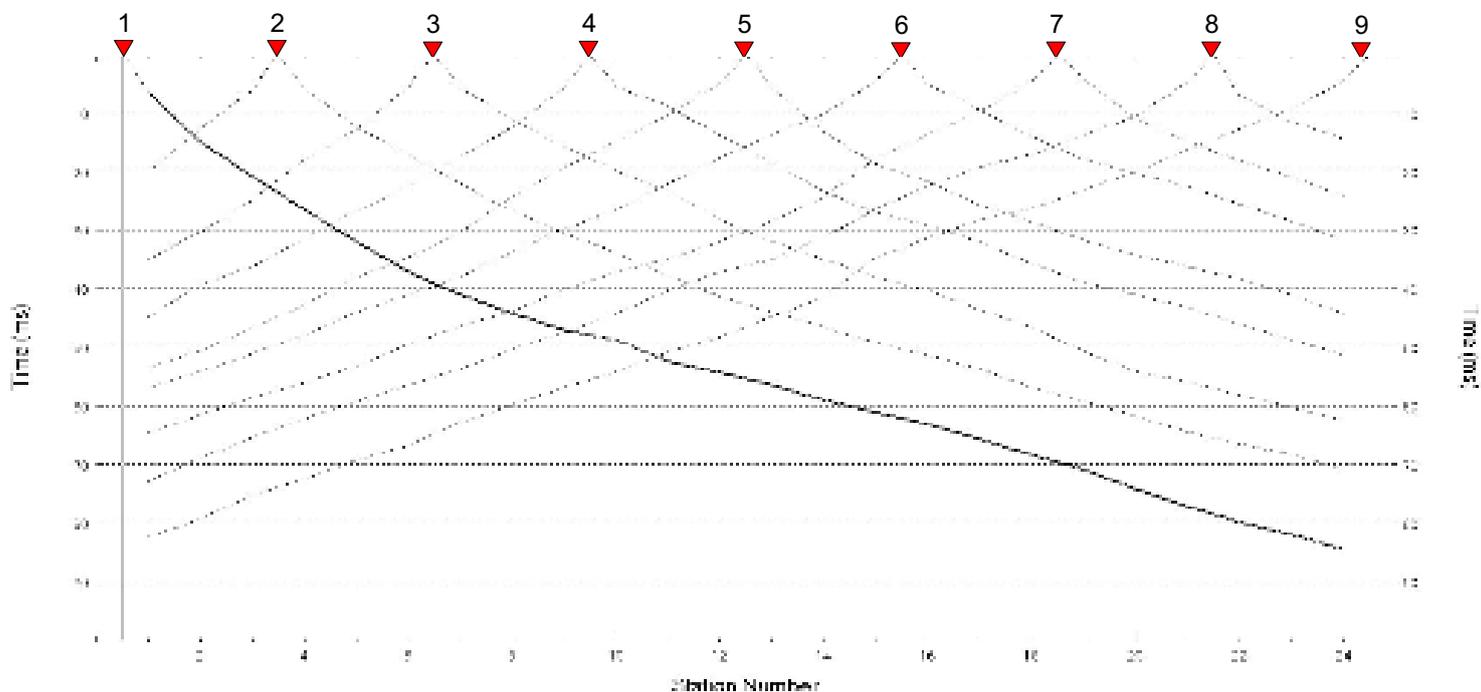
COMMESSA: 288-2022

OGGETTO: Indagini geognostiche e geofisiche eseguite per studi di Microzonazione Sismica - approfondimento di Livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante - Comune di Ancona.

Allegato - DROMOCRONE

Linea sismica LN2

ONDE P



ONDE SH

