

B i a n o p e r a t i v o

COMUNE DI VOLTERRA

Il Sindaco: Giacomo Santi

L'assessore al Governo del Territorio: Roberto Castiglia

Il Responsabile del Procedimento: arch. Alessandro Bonsignori

Il Garante della Comunicazione: geom. Vinicio Ceccarelli

Progettazione urbanistica:

responsabile incaricato: arch. Antonio Mugnai

arch. Roberta Ciccarelli

Aspetti geologici :

geol. Emilio Pistilli

Aspetti idraulici:

ing. Jacopo Taccini

INDAGINI GEOLOGICHE DI SUPPORTO ALLA PIANIFICAZIONE DEL TERRITORIO

Allegato 7	CAMPAGNA GEOFISICA EFFETTUATA NELL'AMBITO DELLA REDAZIONE DEL PRESENTE PIANO OPERATIVO
----------------------	--



ANTONIO MUGNAI ARCHITETTO

GEOPROGETTI
Studio Associato

OGGETTO:		INDAGINI GEOFISICHE DI SUPPORTO ALLO STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI PRIMO LIVELLO
TIPOLOGIA:	MFA/HOLISURFACE, HVSR	DATA ESECUZIONE INDAGINI:
		Agosto - Ottobre 2018
LOCALITA':		COMUNE DI VOLTERRA (PI)
COMMITTENTE:		AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI VOLTERRA

codice documento:	j18.076.08.03_vltr.doc
versione /revisione:	01
stato documento:	definitivo
autore:	a.benvenuti
revisione:	v.carnicelli
approvazione:	v.carnicelli
data:	Marzo 2020

SOMMARIO

1	PREMESSA	2
2	TIPO D'INDAGINE.....	2
2.1	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	3
2.2	INDAGINE HOLISURFACE: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE	3
3	INDAGINE HVSR: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE.....	5
4	RISULTATI.....	8
4.1	INDAGINI MFA/HOLISURFACE.....	8
4.2	INDAGINI IN SISMICA PASSIVA HVSR	21

1 PREMESSA

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Volterra sono state eseguite una serie di indagini geofisiche nel territorio comunale di Volterra (PI) finalizzate alla caratterizzazione dell'assetto sismostratigrafico dei livelli più superficiali del sottosuolo, alla determinazione del profilo verticale di velocità delle onde di taglio (Onde Sh) e alla determinazione della frequenza fondamentale di sito.

Le indagini, svolte nei mesi di Agosto e Ottobre 2018, coordinate e dirette da Geoprogetti Studio Associato, sono state condotte conformemente alla vigente normativa sismica e in particolare: ai contenuti dell'O.P.C.M. n. 3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e s.m.i.; ai contenuti del Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche, emanato con Decreto del Presidente della Giunta Regionale 25 ottobre 2011, n. 53/R; ai contenuti della Delibera di Giunta Regionale Toscana n. 741 del 06.08.2012 con cui sono state approvate le nuove specifiche tecniche per gli studi di Microzonazione Sismica; alle specifiche del Programma Regionale VEL dettate nelle "Istruzioni Tecniche Regionali relative alla realizzazione delle indagini geologico-tecniche, geofisiche, geotecniche finalizzate alla valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana" VEL della Regione Toscana; agli "Indirizzi e Criteri Generali per la Microzonazione Sismica" approvati dalla Conferenza delle Regioni in data 13 novembre 2008.

L'ubicazione delle indagini è riportata nelle tavole allegate; le indagini sono state posizionate sulla base CTR - Fonte dei dati Regione Toscana:

dataset "sezione di Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000" Sezione 285150 Titolo: Volterra- Sezione 295020 Titolo: Saline di Volterra - Sezione 295030 Titolo: Mazzolla

dataset "sezione di Carta Tecnica Regionale scala 1:2.000" Fogli 15I58, 15I59, 14I09, 14I17, 14I18, 14H47, 14H48, 14H55.

2 TIPO D'INDAGINE

Per la caratterizzazione di 2 siti distinti, sono state eseguite prospezioni sismiche superficiali attive mediante la tecnica HoliSurface MFA (Multiple Filter Analysis - Dziewonsky et al., 1969; Pedersen et al., 2003; Luo et al., 2011; Dal Moro et al., 2015a; 2015b) adattata a sfruttare in maniera olistica tanto le componenti verticale e radiale dell'onda di Rayleigh (anche considerando l'RVSR - Radial-to-Vertical Spectral Ratio e l'RPM - Rayleigh-wave Particle Motion - metodologia HoliSurface) che quella orizzontale trasversale dell'onda di Love.

Per verificare i risultati ottenuti dalle indagini HoliSurface sono inoltre stati utilizzati i dati ricavati da acquisizioni in sismica passiva singola ubicate in prossimità degli stendimenti stessi.

In particolare le elaborazioni delle registrazioni HVSR hanno consentito, unitamente ai risultati ottenuti dalle indagini HoliSurface, di incrementare ulteriormente le profondità di investigazione del sottosuolo.

L'approccio seguito per l'inversione dei dati è stato di tipo olistico (analisi congiunte dei dataset acquisiti) in modo tale da meglio vincolare il profilo di vS risultante del sottosuolo

indagato, risolvere la non-univocità delle soluzioni possibili e, non ultimo, validare l'interpretazione dei dati e verificare la coerenza del modello proposto con tutti i dataset sismici acquisiti. In quest'ottica, nelle schede seguenti, abbiamo proposto un unico modello di sottosuolo per ogni sito d'indagine (senza considerare la variabilità sismostratigrafica latero-verticale, sicuramente presente seppur di entità minima); tale modello è il più coerente possibile rispetto a tutte le varie indagini sito-specifiche effettuate.

Per l'individuazione delle frequenze fondamentali sono state eseguite, oltre alle due misure precedentemente citate, ulteriori 14 acquisizioni in sismica passiva a stazione singola e, relativamente a ogni misura, sono state valutate le classi di affidabilità per il controllo sulla qualità dei dati acquisiti.

2.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata per le indagini HoliSurface è costituita da:

- un sistema di acquisizione dati: costituito da un sismografo P.A.S.I. modello GEA24; un notebook PC Windows XP con software di acquisizione P.A.S.I.;
- un sistema di energizzazione ad impatto verticale ed orizzontale: la sorgente è costituita da una mazza del peso di 8 kg battente verticalmente su piastra quadrata in teflon[®], ovvero battente orizzontalmente su traversina in legno, posta direttamente sul piano di campagna per la generazione di onde sismiche compressionali e di taglio, in grado di produrre onde superficiali ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali;
- un sistema di trigger: consistente in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta.
- un sistema di ricezione costituito da un geofono triassiale H3C (*eliosoft*), cioè da una terna passiva calibrata con geofoni da 2Hz (frequenza propria) verticali ed orizzontali, orientata secondo le direzioni verticale e radiale delle onde di Rayleigh e trasversale orizzontale delle onde di Love.

La strumentazione utilizzata per le misure dei microtremori ambientali, elaborate attraverso la tecnica HVSR, è costituita da un tromografo digitale (Tromino[®] di MoHo s.r.l.) dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e UP-DOWN.

2.2 INDAGINE HOLISURFACE: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE

Il metodo MFA (Multiple Filter Analysis) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio Vs, sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di una terna di sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del suolo, con orientazione predefinita.

La tecnica HoliSurface è una tecnica di acquisizione multi canale e multi componente di carattere attivo (con sorgente sismica attiva) atta ad analizzare la propagazione delle onde di superficie (Rayleigh e Love) attraverso l'utilizzo di un unico geofono triassiale che semplifica notevolmente le procedure di campagna.

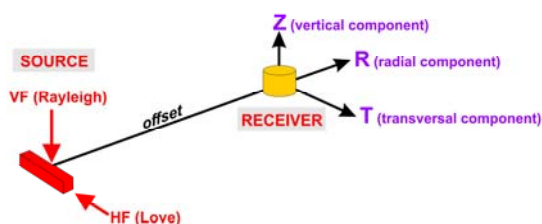
HS significa Holistic analysis of Surface waves, cioè analisi olistica, congiunta, delle onde di superficie.

E' una metodologia brevettata (presentata in diversi articoli, quali Dal Moro et al., 2015, 2016; Dal Moro e Puzilli, 2017; Dal Moro, 2018) in cui vengono considerate, in un approccio

congiunto, diverse componenti del moto che, nel loro insieme, descrivono in modo completo la propagazione delle onde di superficie nel mezzo indagato.

L'acquisizione dati HoliSurface avviene attraverso un geofono triassiale triggerabile (di cui sono note le polarità) posto ad una certa distanza dalla sorgente (rif. fig. seguente).

Attraverso una doppia energizzazione utilizzata per produrre sia le onde di Rayleigh (VF, vertical force) raccolte dalle componenti Z e R, che le onde di Love (HF, horizontal force) raccolte dalla componente T, è possibile ottenere 3 componenti del moto dell'onda sismica.



Con la sola energizzazione verticale (VF) è inoltre possibile definire sia il rapporto spettrale radiale/verticale delle ampiezze in funzione della frequenza (RVSR, che può essere pensato come una sorta di HVSR da sismica attiva), sia la curva del moto delle particelle dell'onda di Rayleigh in funzione della frequenza (curva RPM) che fornisce informazioni quantitative sul movimento effettivo della curva di Rayleigh nel mezzo attraversato.

Il metodo HS si basa sull'analisi delle velocità di gruppo (ovvero il rapporto tra spazio percorso e tempo di arrivo dell'onda, frequenza per frequenza) lungo queste tre componenti del moto sismico: tale approccio rappresenta un miglioramento ed evoluzione dei classici metodi MFA (multiple filter analysis – Dziewonski et al., 1969) e FTAN (frequency-time analysis – Natale et al., 2004) utilizzati in sismologia per analizzare la dispersione delle onde di superficie.

Per calcolare le velocità di gruppo è sufficiente una sola traccia o geofono (diversamente dalla velocità di fase, che necessita di più tracce e geofoni) e gli spettri relativi a tali velocità, quando si ha a che fare con offset limitati, possono risultare notevolmente più chiari di quelli delle velocità di fase.

L'elaborazione HS consiste nel ricercare un modello di sottosuolo compatibile con i tre spettri relativi alle velocità di gruppo Z, R e T, con la curva RPM e con la curva RVSR, analizzati tutti in modo congiunto; è quindi una tecnica estremamente robusta in quanto limita notevolmente i gradi di libertà dell'inversione dei dati sismici e abbatta sensibilmente il problema della non univocità delle soluzioni delle indagini indirette.

Le elaborazioni sono state eseguite tramite il software HoliSurface 2019 (eliosoft).

Le acquisizioni HoliSurface sono state effettuate secondo le seguenti configurazioni spaziali e temporali:

PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINE SISMICA MFA / HOLISURFACE HS1 VIA DELLA FRANA	
Coordinate GB Geofono Triassiale	X= 1649704 Y= 4808129
Coordinate GB sorgente energizzazione	X= 1649714 Y= 4808151
Orientazione congiungente sorgente-geofono 3D	NE-SW (N204)
Distanza sorgente-geofono 3D	22 m, 24 m
Durata acquisizione	1 s
Intervallo di campionamento	1 ms
Componenti acquisite	Rayleigh verticale, radiale; Love trasversale

PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINE SISMICA MFA / HOLISURFACE HS2 MAZZOLLA	
Coordinate GB Geofono Triassiale	X= 1654272 Y= 4803445
Coordinate GB sorgente energizzazione	X= 1654270 Y= 4803482
Orientazione congiungente sorgente-geofono 3D	SE-NW (N357)
Distanza sorgente-geofono 3D	37 m, 50
Durata acquisizione	2 s
Intervallo di campionamento	1 ms
Componenti acquisite	Rayleigh verticale, radiale;

Durante il processo di elaborazione, al fine di minimizzare le possibili soluzioni e cercare la più sensata coerenza tra gli spettri di velocità sperimentali e le curve di dispersione teoriche che possono generare tali spettri, ci si è avvalsi dei dati acquisiti con le acquisizioni in sismica passiva eseguite in prossimità delle indagini HoliSurface (HVSR1 per HS1 e HVSR11 per HS2).

3 INDAGINE HVSR: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma un ruolo fondamentale nella produzione dei microtremori è rivestito dalle onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da NogoShi e IgaraShi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo.

I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la velocità equivalente delle onde di taglio V_s ;
- la stratigrafia del sottosuolo con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri.

Per quanto concerne il fenomeno della "doppia risonanza" (cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico, così come trasmesso in superficie, e quelle dei manufatti ivi edificati) è noto che, dal punto di vista empirico, la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza.

La quantificazione della frequenza caratteristica di sito attraverso misure dirette di microtremore sismico può quindi essere di estremo aiuto nella fase di progettazione.

Le misure dei microtremori ambientali, orientate secondo il Nord e della durata di 30 minuti ciascuna, sono state effettuate con il tromografo digitale Tromino® di MoHo s.r.l.. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

I risultati ottenuti dall'esecuzione delle singole indagini tromografiche sono stati elaborati attraverso il software Grilla 8.0 di MoHo s.r.l..

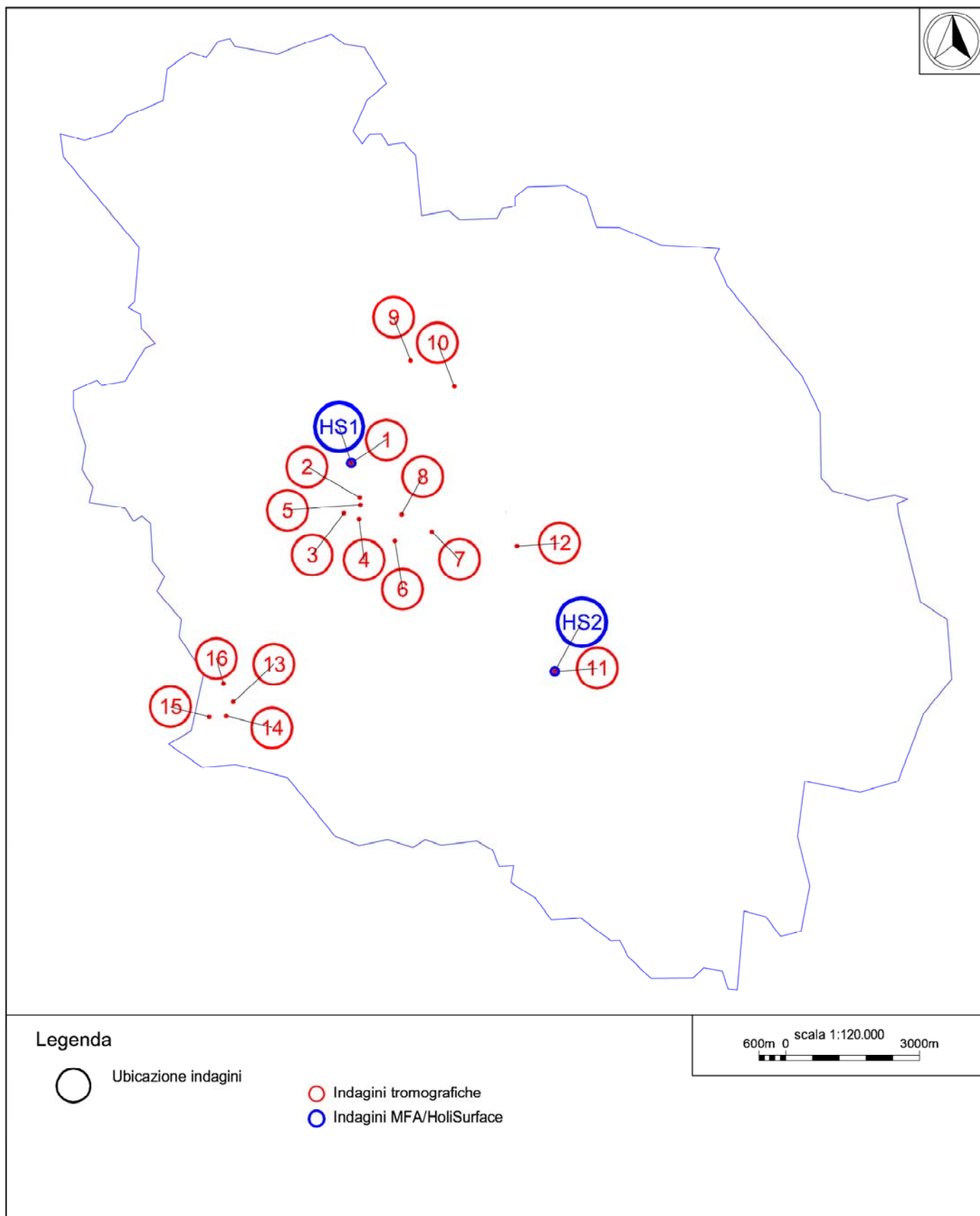


Fig.1: Ubicazione Indagini. Inquadramento generale.

4 RISULTATI

4.1 INDAGINI MFA/HOLI SURFACE

Nel complesso la prospezione geofisica eseguita, per mezzo di un'analisi congiunta tra la componente trasversale dell'onda di Love, le componenti radiale e verticale dell'onda di Rayleigh, il rapporto spettrale radiale / verticale (RVSR) dell'onda di Rayleigh, l'analisi del moto determinato dal passaggio dell'onda di Rayleigh (RPM) e le misure dei microtremitori HVSR eseguite in prossimità delle indagini HS, ha permesso di ricavare sia il modello medio di distribuzione della velocità delle onde "S" nel sottosuolo del sito indagato sia il parametro $V_{S,eq}$: il modello di sottosuolo in termini di VS è stato ottenuto dal fit congiunto tra tutte le componenti di cui sopra.

Nelle **Figure 3** e **7** relativamente alle due indagini HS1 e HS2, sono riportati, in alto a sinistra, i dati relativi alle onde di superficie acquisite (Z=Verticale; R=Radiale; T=Trasversale); i diagrammi colorati rappresentano gli spettri delle velocità di gruppo dei dati di campagna: in basso a sinistra lo spettro della velocità di gruppo della componente verticale dell'onda di Rayleigh, in basso a destra lo spettro della velocità di gruppo della componente radiale dell'onda di Rayleigh e in alto a destra lo spettro della velocità di gruppo della componente trasversale dell'onda di Love.

Nelle **Figure 4** (HS1) e **8** (HS2) sono riportati gli spettri delle velocità di gruppo dei dati di campagna su cui sono sovrapposti, con contour lines nere, i dati del modello di sottosuolo calcolato; in alto la componente verticale dell'onda di Rayleigh, al centro la componente radiale dell'onda di Rayleigh e in basso la componente trasversale dell'onda di Love.

L'utilizzo dei dati acquisiti attraverso le indagini in sismica passiva ha consentito di vincolare ulteriormente i modelli finali; in particolare sono state elaborate congiuntamente l'indagine HS1 con i dati risultanti dalla misura HVSR1 e HS2 con i quelli risultanti dalla misura HVSR11.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

In cui

h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

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

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

I profili verticali delle Onde S, in corrispondenza delle acquisizioni HoliSurface, ricavati mediante elaborazione dei dati di campagna sono risultati i seguenti:

INDAGINE HS1		
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.40	1.40	150
3.60	2.20	255
6.30	2.70	240
8.70	2.40	275
14.70	6.00	420
23.70	9.00	360
43.20	19.50	550
inf.	inf.	650
Vs_eq(0.0-30.0)=338m/s		

INDAGINE HS2		
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.70	0.70	155
4.90	4.20	305
8.50	3.60	560
10.50	2.00	490
16.50	6.00	465
31.50	15.00	570
46.50	15.00	605
inf.	inf.	700
Vs_eq(0.0-30.0)=459m/s		

I profili di V_s (rif. Fig.5 e Fig.9) ricavati dalle indagini HoliSurface individuano $V_{S,eq}$ riferite al piano di campagna pari a 338 m/s (HS1) e 459 m/s (HS2).

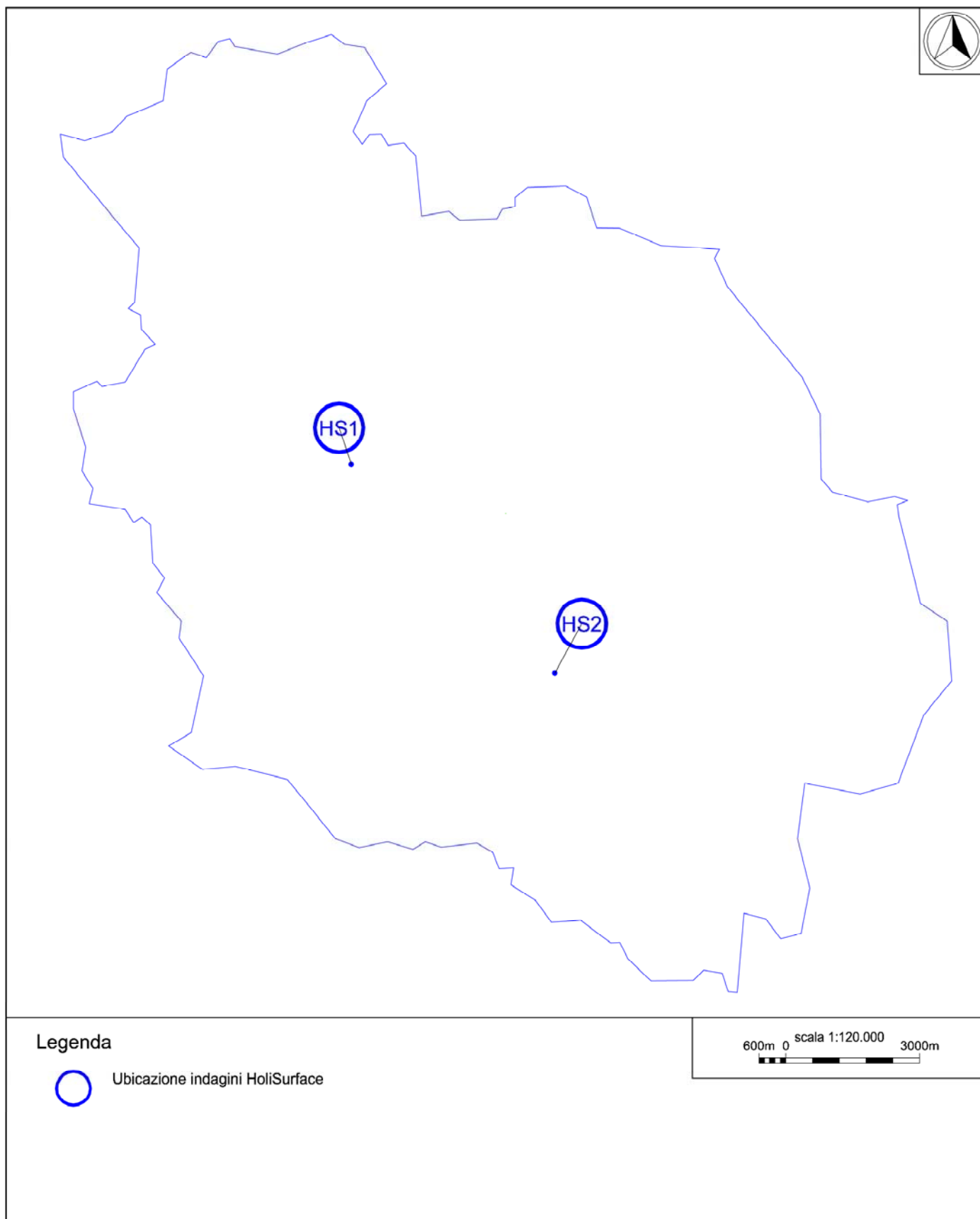


Fig.2: Ubicazione Indagini MFA/HoliSurface. Inquadramento generale.

J18_076_VOLTERRA_VIA DELLA FRANA – INDAGINE HOLISURFACE HS1

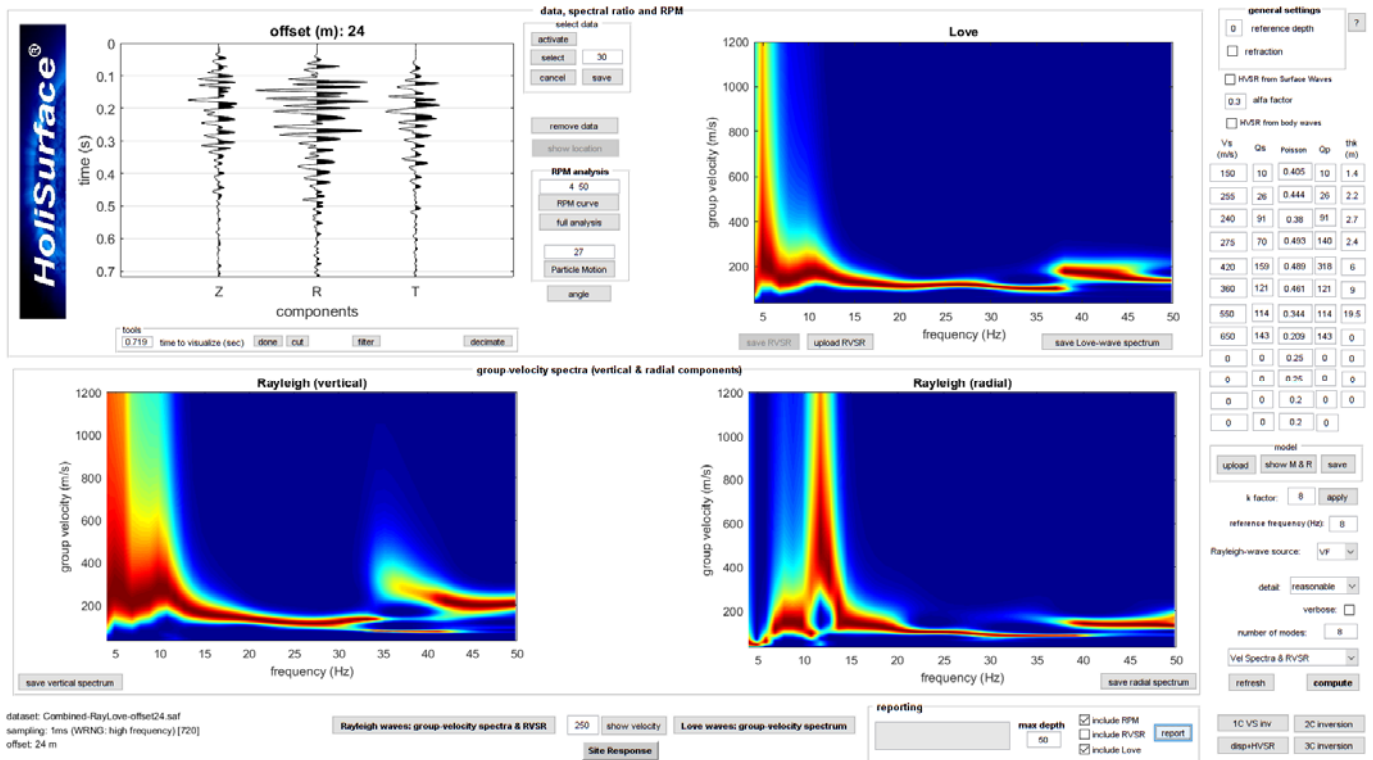


Fig.3: Indagine MFA/HoliSurface HS1 Via della Frana. Sismogrammi, spettri di velocità e modelli di dispersione.

-) In alto a sinistra sono riportati i dati MFA (Multiple Filter Analysis) relativi alle onde di superficie acquisite (Z=Verticale; R=Radiale; T=Trasversale)

-) I diagrammi colorati rappresentano gli spettri delle velocità di gruppo ricavati dei dati di campagna: In basso a sx: spettro della velocità di gruppo della comp. verticale dell'onda di Rayleigh. In basso a dx: spettro della velocità di gruppo della comp. radiale dell'onda di Rayleigh. In alto a dx: spettro della velocità di gruppo della comp. trasversale dell'onda di Love.

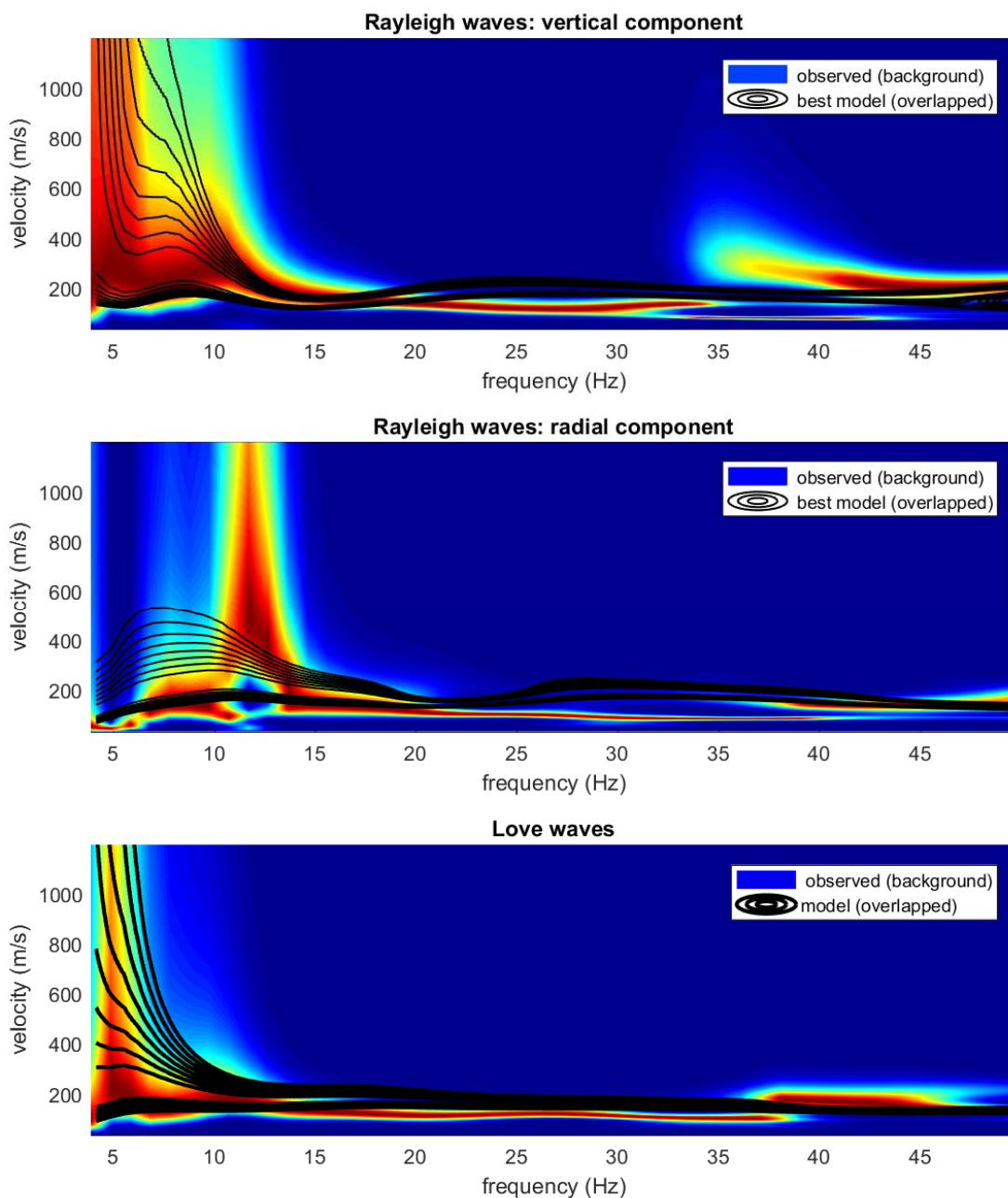


Fig.4: Indagine MFA/HoliSurface HS1 Via della Frana. Nei diagrammi colorati sono indicati gli spettri delle velocità di gruppo dei dati di campagna su cui sono sovrapposti, con contour lines nere, lo spettro del modello di sottosuolo calcolato

-) In alto: componente verticale dell'onda di Rayleigh
-) Al centro: componente radiale dell'onda di Rayleigh
-) In basso: onda di Love (componente trasversale)

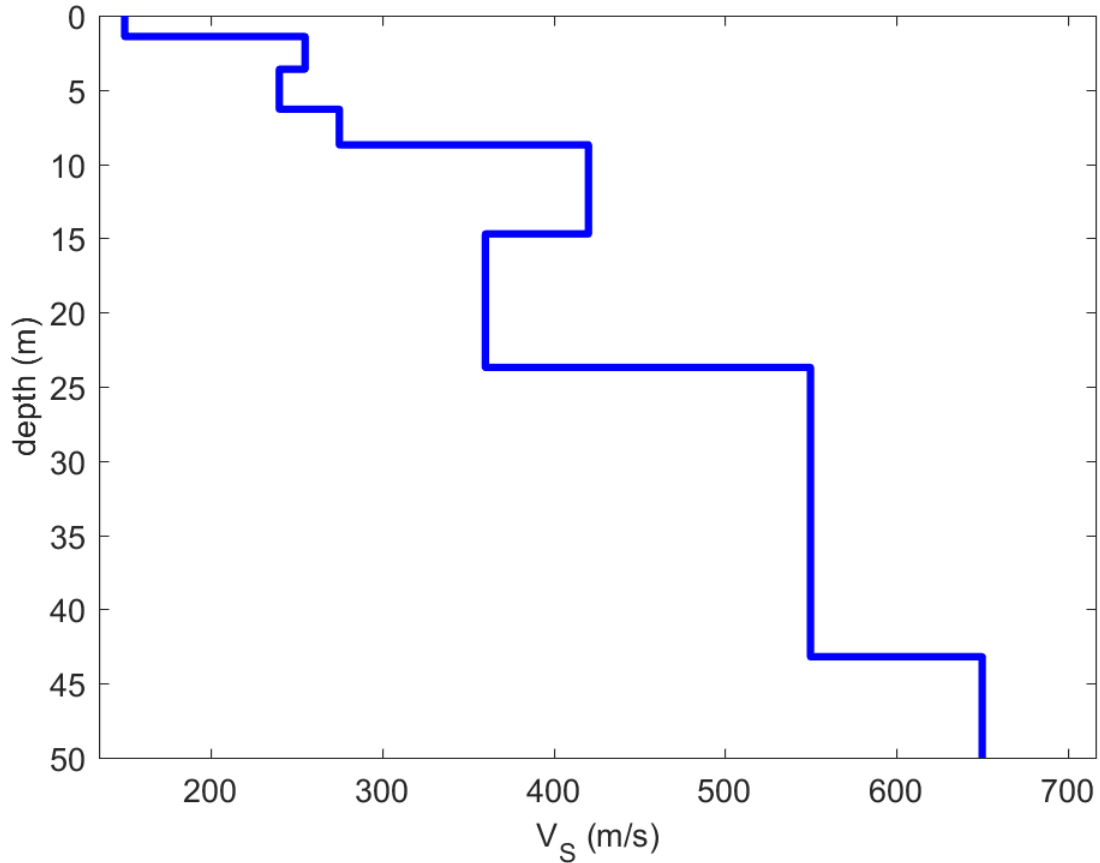


Fig.5: Indagine MFA/HoliSurface HS1 Via della Frana. Profilo verticale delle V_s .

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	V_s [m/s]
1.40	1.40	150
3.60	2.20	255
6.30	2.70	240
8.70	2.40	275
14.70	6.00	420
23.70	9.00	360
43.20	19.50	550
inf.	inf.	650

$V_{s_eq}(0.0-30.0)=338\text{m/s}$

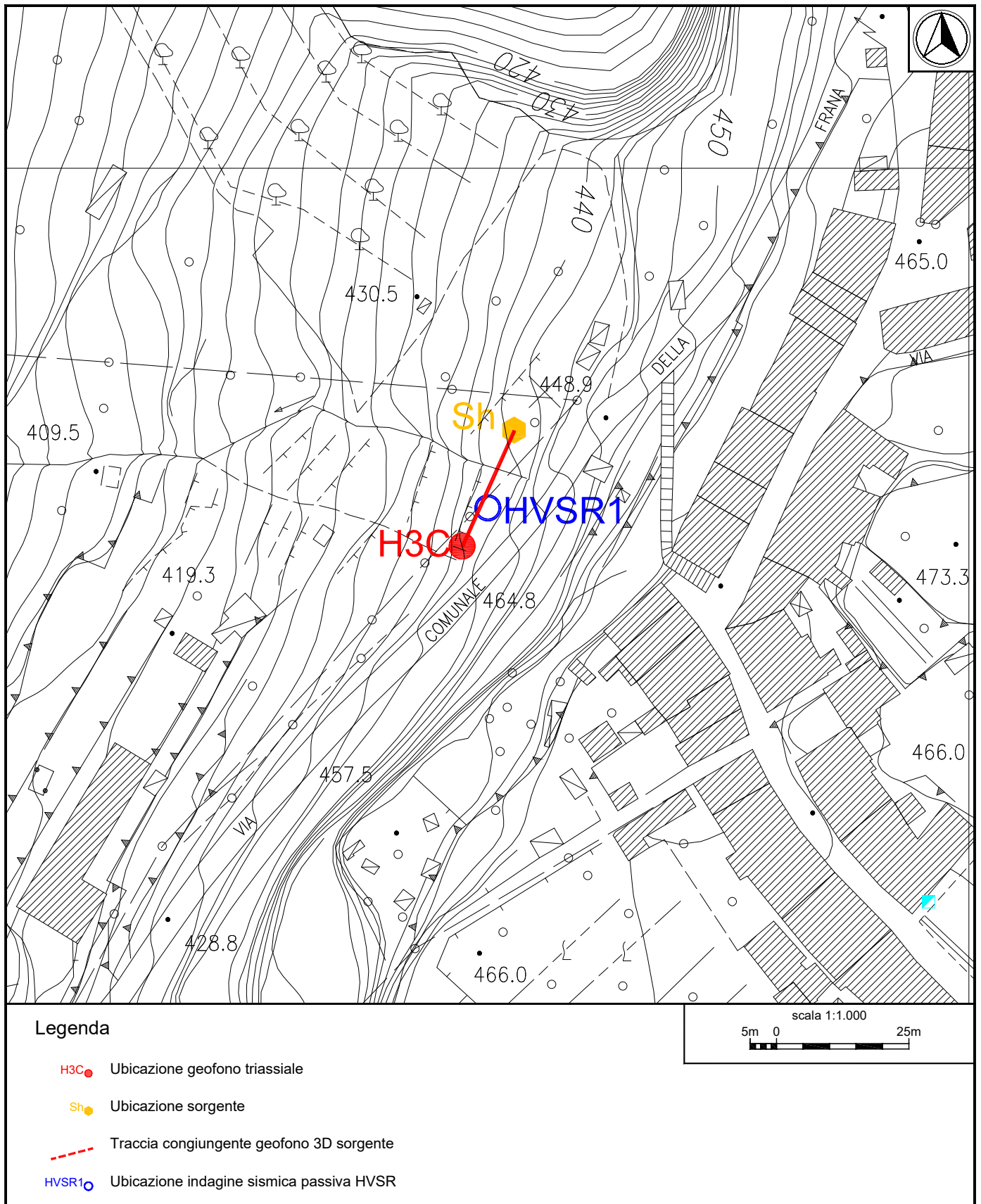


Fig.6: Ubicazione indagine HoliSurface HS1 Via della Frana e indagine in sismica passiva HVSr1.



Indagine HoliSurface HS1 Via della Frana – Documentazione fotografica.

J18_076_VOLTERRA_MAZZOLLA – INDAGINE HOLISURFACE HS2

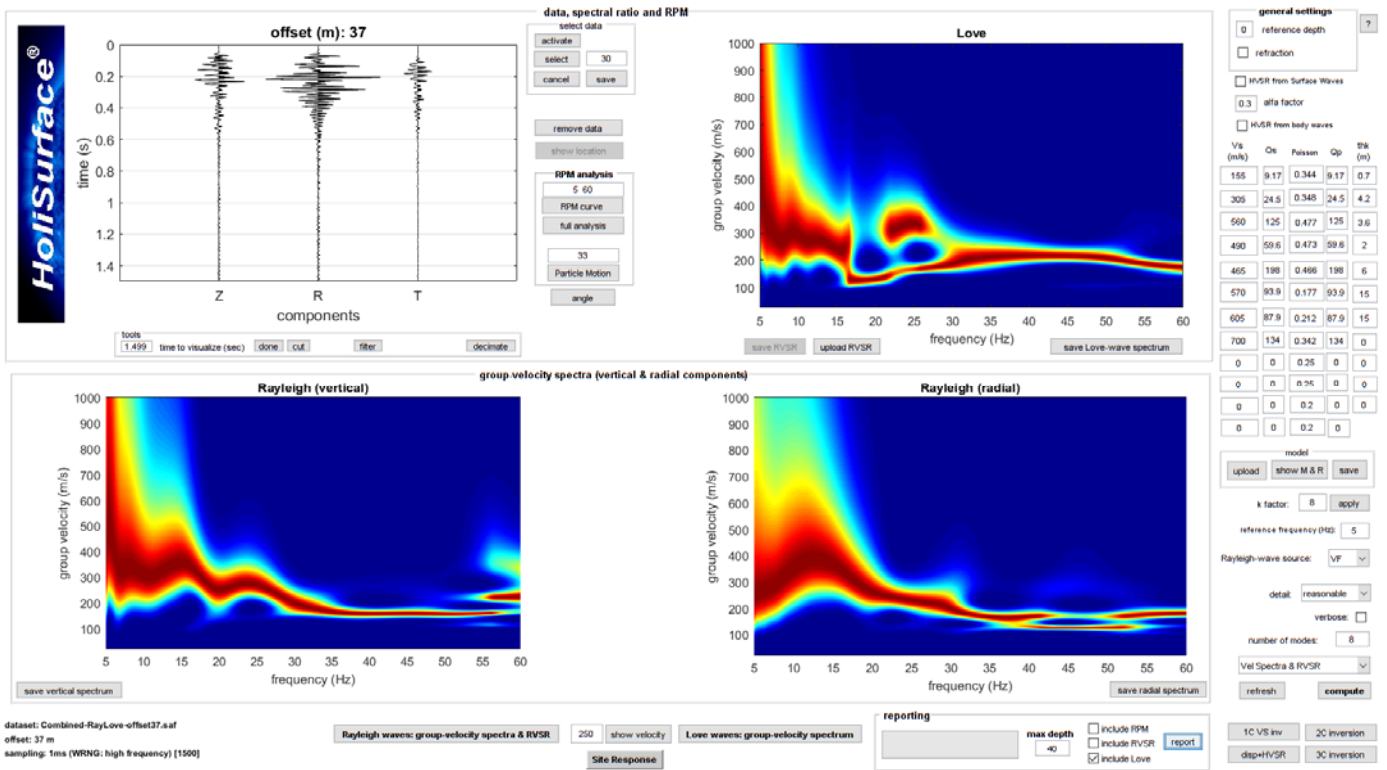


Fig. 7: Indagine MFA/HoliSurface HS2 Mazzolla. Sismogrammi, spettri di velocità e modelli di dispersione.

-) In alto a sinistra sono riportati i dati MFA (Multiple Filter Analysis) relativi alle onde di superficie acquisite (Z=Verticale; R=Radiale; T=Trasversale)

-) I diagrammi colorati rappresentano gli spettri delle velocità di gruppo ricavati dei dati di campagna: In basso a sx: spettro della velocità di gruppo della comp. verticale dell'onda di Rayleigh. In basso a dx: spettro della velocità di gruppo della comp. radiale dell'onda di Rayleigh-. In alto a dx: spettro della velocità di gruppo della comp. Trasversale dell'onda di Love.

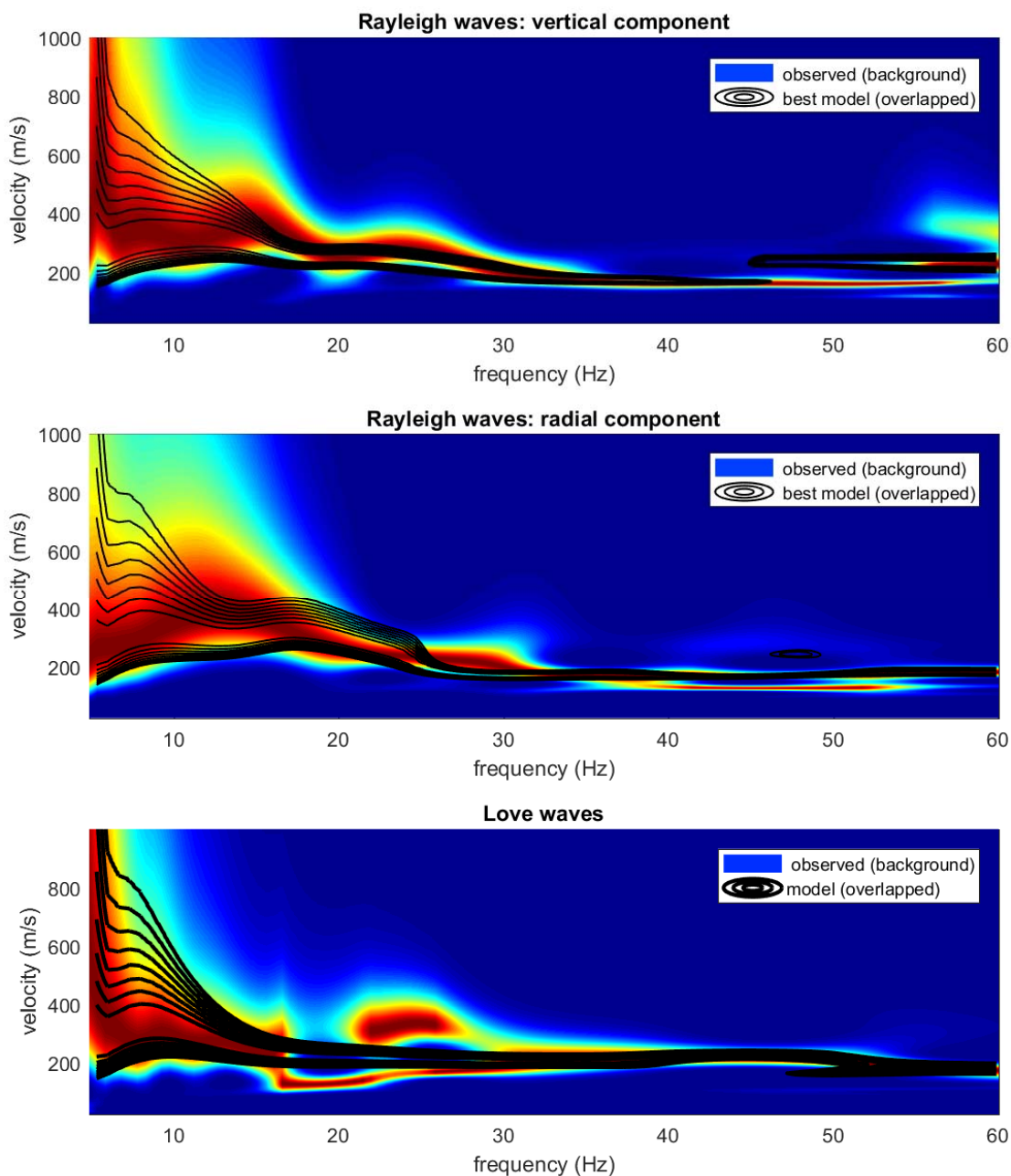


Fig.8: Indagine MFA/HoliSurface HS2 Mazzolla. Nei diagrammi colorati sono indicati gli spettri delle velocità di gruppo dei dati di campagna su cui sono sovrapposti, con contour lines nere, lo spettro del modello di sottosuolo calcolato

-) In alto: componente verticale dell'onda di Rayleigh
-) Al centro: componente radiale dell'onda di Rayleigh
-) In basso: onda di Love (componente trasversale)

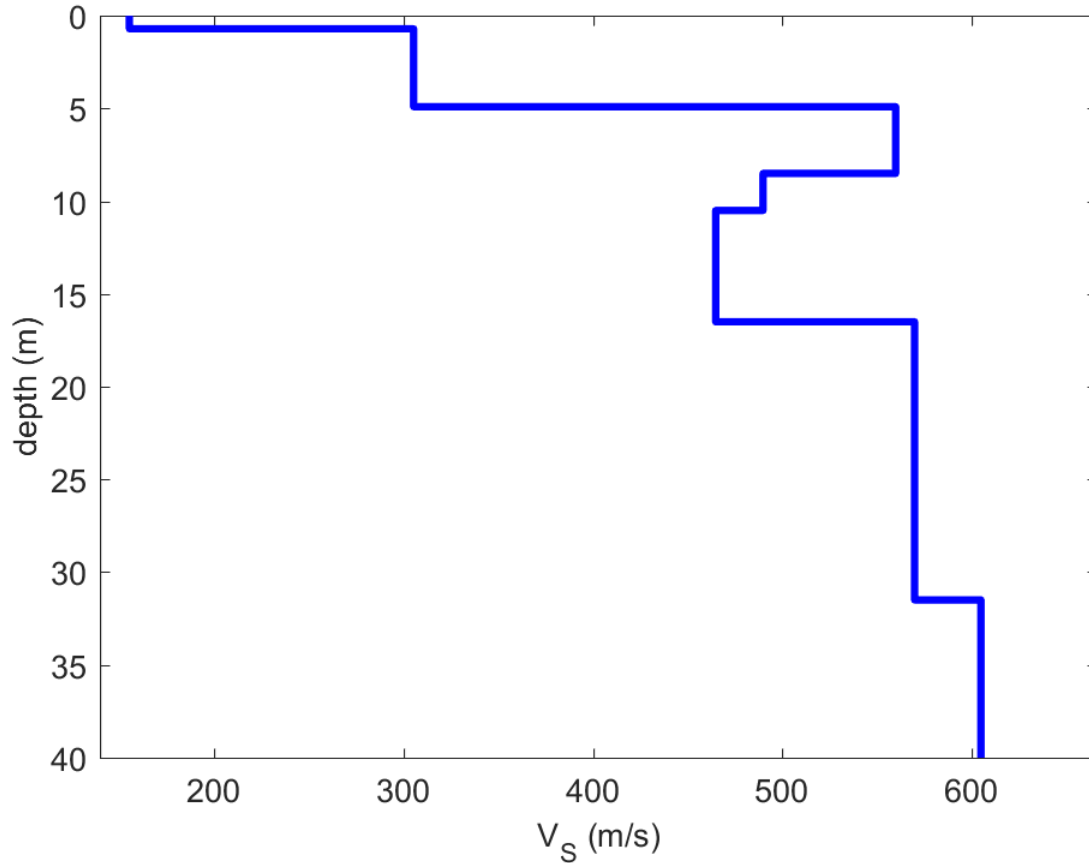


Fig.9: Indagine MFA/HoliSurface HS2 Mazzolla. Profilo verticale delle Vs.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.70	0.70	155
4.90	4.20	305
8.50	3.60	560
10.50	2.00	490
16.50	6.00	465
31.50	15.00	570
46.50	15.00	605
inf.	inf.	700

$V_{s_eq}(0.0-30.0)=459\text{m/s}$

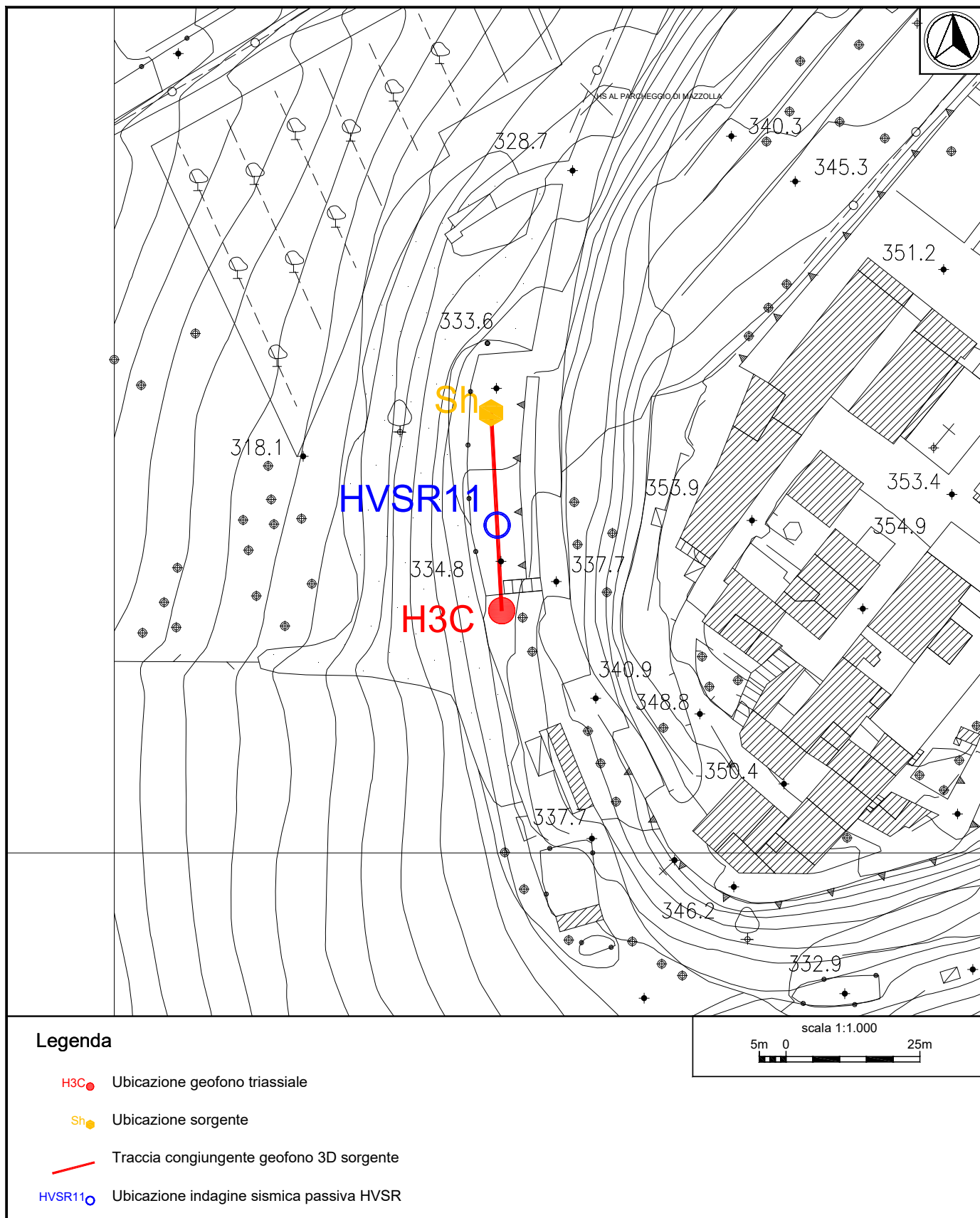


Fig.10: Ubicazione indagine HoliSurface HS2 Mazzolla e indagine in sismica passiva HVSR11.



Indagine HoliSurface HS2 Mazzolla – Documentazione fotografica.

4.2 INDAGINI IN SISMICA PASSIVA HVSR

Nella tabella seguente si riportano, per ogni indagine tromografica, la denominazione, le coordinate Gauss Boaga, i parametri di acquisizione e la data di esecuzione:

PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINI HVSR			
Denominazione	Coordinate Gauss Boaga	Durata acquisizione	Frequenza di campionamento
HVSR1	X= 1649709 Y= 4808136	30 min	128 Hz
HVSR2	X= 1649898 Y= 4807359	30 min	128 Hz
HVSR3	X= 1649547 Y= 4807013	30 min	128 Hz
HVSR4	X= 1649885 Y= 4806885	30 min	128 Hz
HVSR5	X= 1649914 Y= 4807196	30 min	128 Hz
HVSR6	X= 1650687 Y= 4806387	30 min	128 Hz
HVSR7	X= 1651515 Y= 4806598	30 min	128 Hz
HVSR8	X= 1650841 Y= 4806985	30 min	128 Hz
HVSR9	X= 1651041 Y= 4810430	30 min	128 Hz
HVSR10	X= 1652022 Y= 4809854	30 min	128 Hz
HVSR11	X= 1654272 Y= 4803461	30 min	128 Hz
HVSR12	X= 1653424 Y= 4806269	30 min	128 Hz
HVSR13	X= 1647066 Y= 4802773	30 min	128 Hz
HVSR14	X= 1646910 Y= 4802461	30 min	128 Hz
HVSR15	X= 1646525 Y= 4802441	30 min	128 Hz
HVSR16	X= 1646847 Y= 4803189	30 min	128 Hz

Tabella riassuntiva indagini tromografiche.

I risultati ottenuti dall'esecuzione delle singole indagini tromografiche, elaborati attraverso il software Grilla 8.0 di MoHo s.r.l., sono stati verificati secondo le linee guida Sesame; in particolare, nella tabella sottostante si riporta la legenda relativa ai parametri verificati e ai criteri utilizzati.

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

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

Legenda Criteri Sesame, 2005

Nella tabella sottostante è riportata la classificazione della qualità delle misure tromografiche eseguite così come definita da *Albarello Castellaro* "Tecniche sismiche passive: indagine a stazione singola" Ingegneria Sismica Anno XXVIII – n.2 – 2011.

Denominazione misura	Durata misura (>15-20 min)	Stazionarietà del segnale	Isotropia del segnale (<30% max)	Assenza di disturbi significativi	Plausibilità fisica	Robustezza statistica (SESAME)	Presenza di picchi significativi	Classe di qualità
HVSR1	si	si	si	si	si	si	no	A2
HVSR2	si	si	si	si	si	si	si	A1
HVSR3	si	si	si	si	si	si	si	A1
HVSR4	si	si	si	si	si	si	si	A1
HVSR5	si	si	si	si	si	si	si	A1
HVSR6	si	si	si	si	si	si	si	A1
HVSR7	si	si	si	si	si	si	si	A1
HVSR8	si	si	si	si	si	si	no	A2
HVSR9	si	si	si	si	si	si	si	A1
HVSR10	si	si	si	si	si	si	si	A1
HVSR11	si	si	si	si	si	si	no	A2
HVSR12	si	si	si	si	si	si	si	A1
HVSR13	si	si	si	si	si	si	si	A1
HVSR14	si	si	si	si	si	si	si	A1
HVSR15	si	si	si	si	si	si	no	A2
HVSR16	si	si	si	si	si	si	si	A1

Classificazione della qualità delle misure di microtremore ambientale ai fini della microzonazione sismica. Verifica dei criteri di qualità.

Nella tabella sottostante sono riportati, per ogni singola indagine tromografica, i valori della frequenza di picco e i valori di picco negli intervalli di frequenza inferiore a 1 Hz, compreso tra 1 Hz e 10 Hz e maggiore di 10 Hz.

Denominazione	Intervallo F < 1 Hz		Intervallo 1 Hz < F < 10 Hz		Intervallo F > 10 Hz	
	frequenza di picco	valore di picco	frequenza di picco	valore di picco	frequenza di picco	valore di picco
HVSR1	-	-	-	-	-	-
HVSR2	-	-	1.55	3.06	-	-
HVSR3	-	-	1.75	3.97	-	-
HVSR4	-	-	1.88	2.99	-	-
HVSR5	-	-	1.78	2.73	-	-
HVSR6	-	-	1.78	4.20	-	-
HVSR7	-	-	1.88	3.71	-	-
HVSR8	-	-	-	-	-	-
HVSR9	-	-	-	-	15.50	2.13
HVSR10	-	-	2.50	2	24.66	2.32
HVSR11	-	-	-	-	-	-
HVSR12	-	-	1.72	2.47	-	-
HVSR13	-	-	2.78	4.97	-	-
HVSR14	-	-	2.81	8.14	-	-
HVSR15	-	-	-	-	-	-
HVSR16	-	-	tra 1.40 e 4.50	3	-	-

Tabella frequenze di risonanza evidenziate nelle misure effettuate.

Nelle pagine seguenti, per ogni indagine HVSR si riportano il grafico della curva sperimentale H/V con lisciamento al 10%, la serie temporale H/V, lo spettro indicante la direzionalità del rumore, gli spettri delle tre componenti del moto in velocità con lisciamento al 10% e all'1% e la tabella con i risultati delle verifiche eseguite secondo le linee guida Sesame.

Relativamente alle indagini HVSR1 e HVSR11, eseguite, rispettivamente, in prossimità delle acquisizioni HS1 Via della Frana e HS2 Mazzolla, si riportano inoltre i confronti fra le curve sperimentali H/V e curve teoriche relative ai modelli di sottosuolo proposti (e, conseguentemente, il profilo delle Vs calcolato su ciascuna verticale).

Inoltre, per ogni sito indagato sono riportate la cartografia con l'ubicazione della misura (in scala 1:1.000) e la documentazione fotografica.

Pisa, Marzo.2020

P3 snc **P3 s.n.c.**
Piazza Martiri della Libertà, 22/23
56127 PISA
C.F./P.IVA 01923910507
Alto Benvenuti

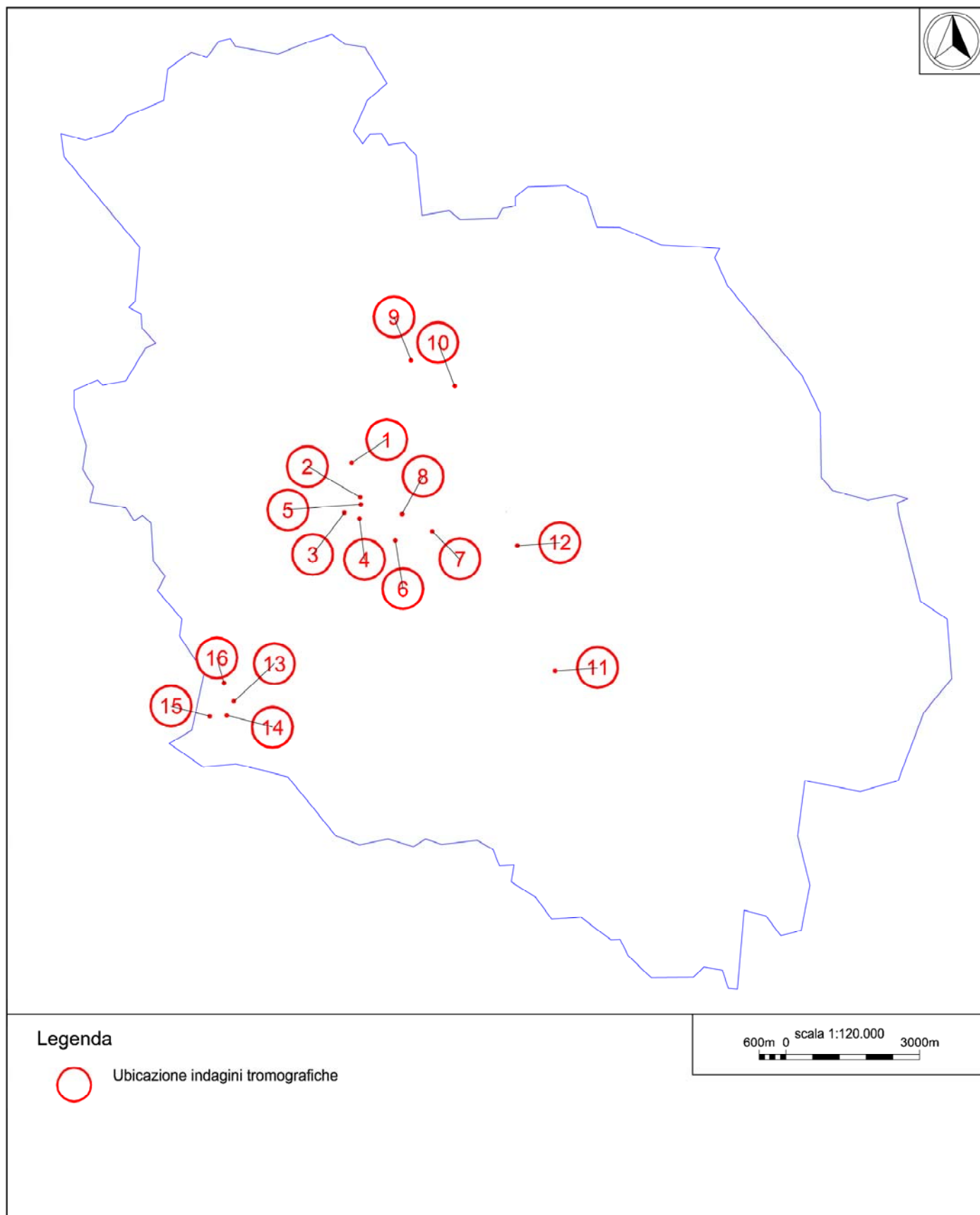


Fig.11: Ubicazione Indagini. Inquadramento generale.

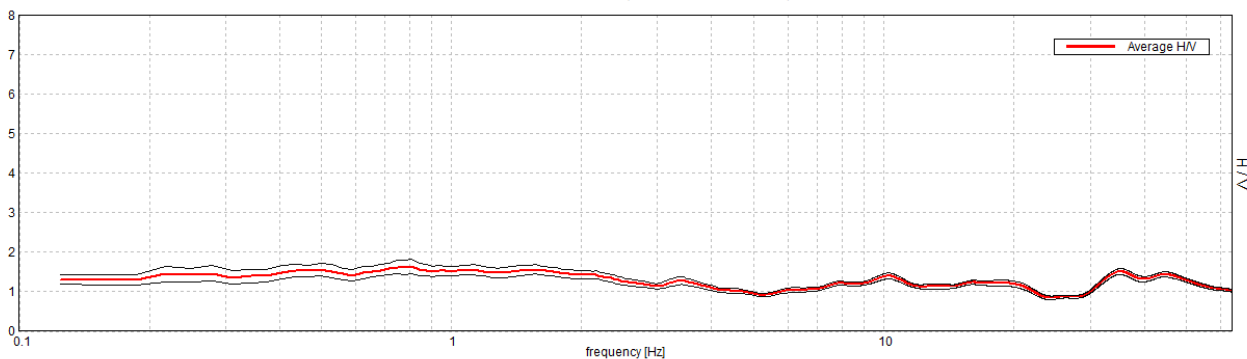
J18_076_08_03_VOLTERRA_TR, VIA DELLA FRANA HVSR1

Strumento: TEP-0085/01-10
 Formato dati: 16 byte
 Fondo scala [mV]: n.a.
 Inizio registrazione: 03/08/18 08:48:06 Fine registrazione: 03/08/18 09:18:07
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
 Dato GPS non disponibile

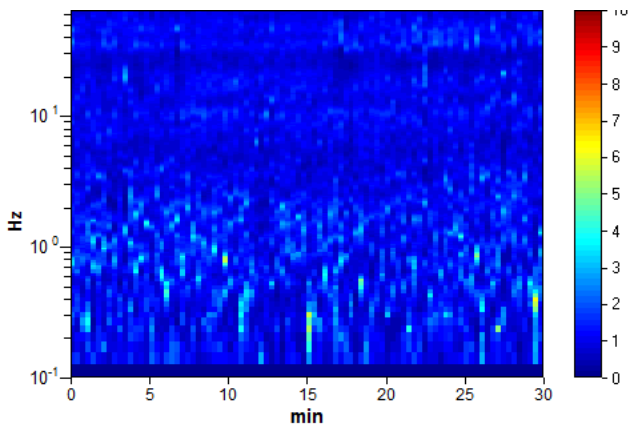
Durata registrazione: 0h30'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.
 Freq. campionamento: 128 Hz
 Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window
 Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

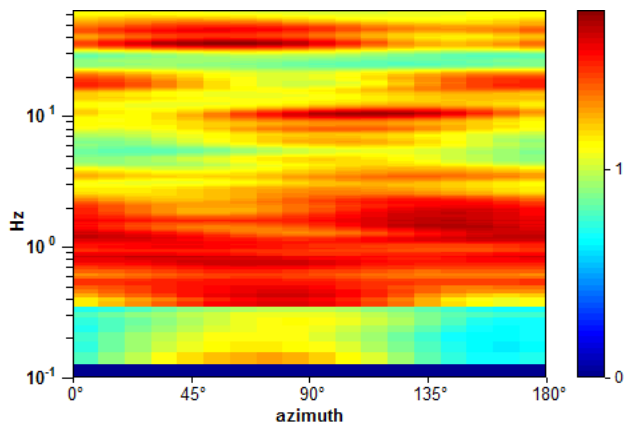
Picco H/V a 0.81 ± 0.08 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



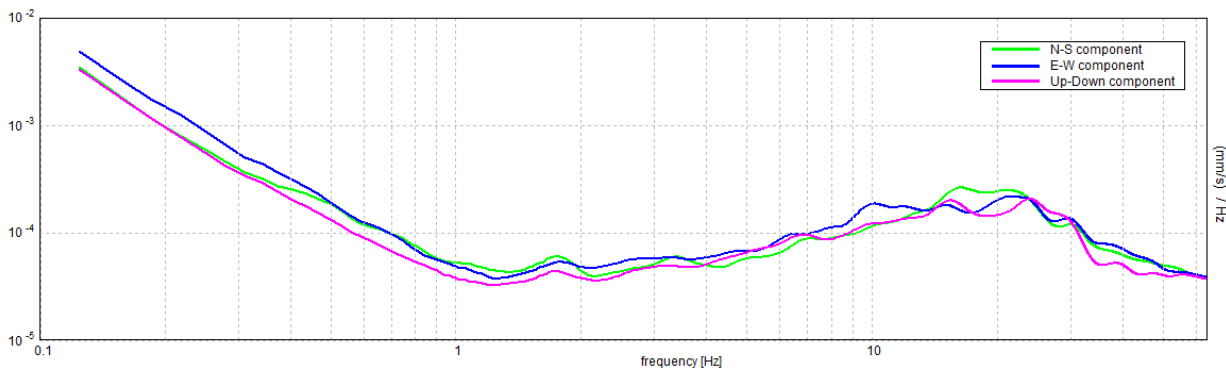
SERIE TEMPORALE H/V



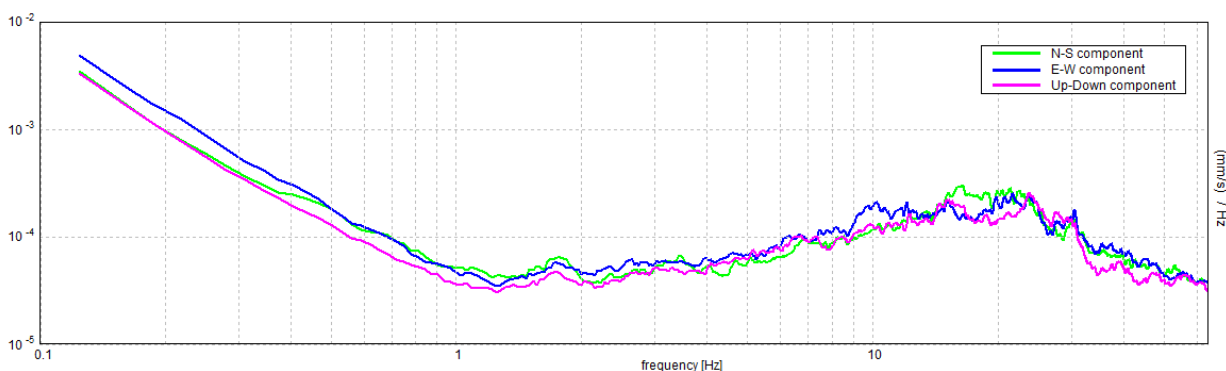
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento AL 10%)



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento all'1%)



Picco H/V a 0.81 ± 0.08 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile
[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

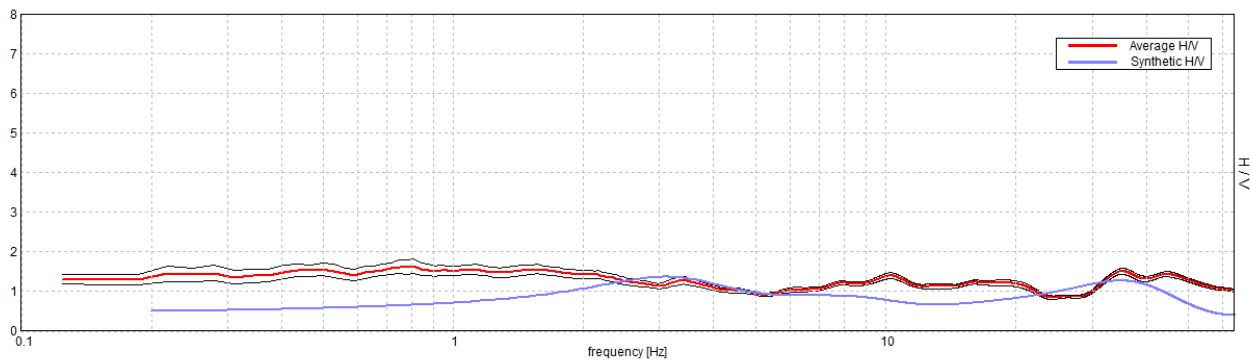
$f_0 > 10 / L_w$	0.81 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1462.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 40	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	1.63 > 2		NO
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.10248 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.08327 < 0.12188	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1867 < 2.0	OK	

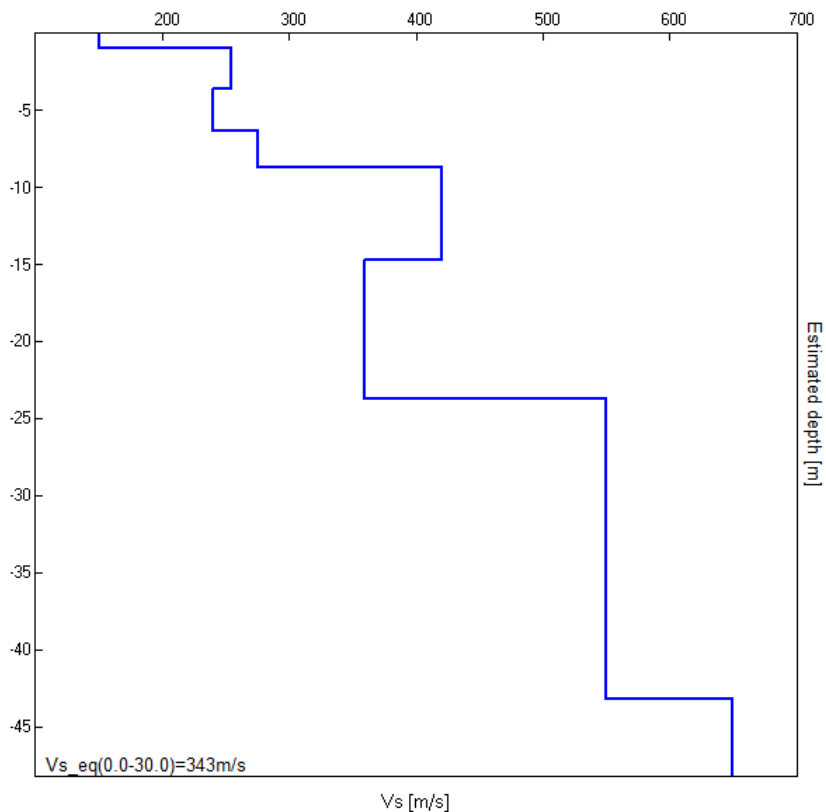
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Picco H/V a 0.81 ± 0.08 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	150
3.60	2.60	255
6.30	2.70	240
8.70	2.40	275
14.70	6.00	420
23.70	9.00	360
43.20	19.50	550
inf.	inf.	650

$Vs_{eq}(0.0-30.0)=343m/s$



Indagine HVSr1 Ricostruzione del profilo verticale delle Vs.

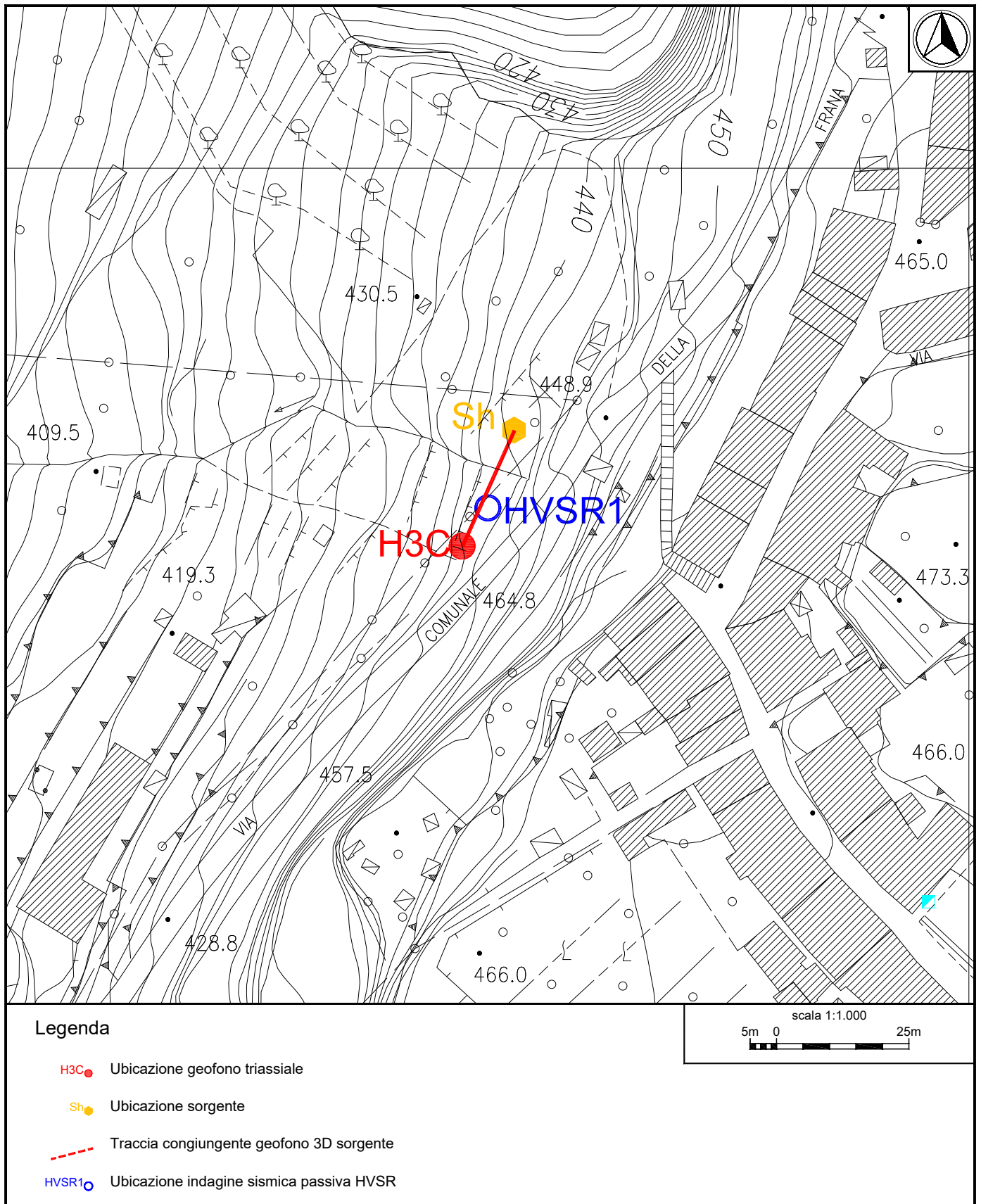


Fig.12: Ubicazione indagine HoliSurface Via della Frana e indagine in sismica passiva HVSr1.



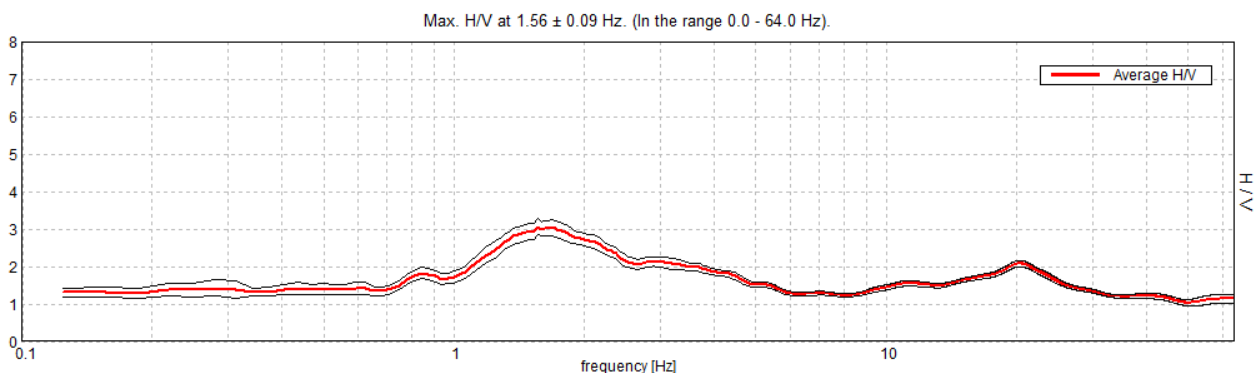
Indagine sismica passiva HVSR1 – Documentazione fotografica.

J18_076_08_03_VOLTERRA_TR, LE COLOMBAIE HVSR2

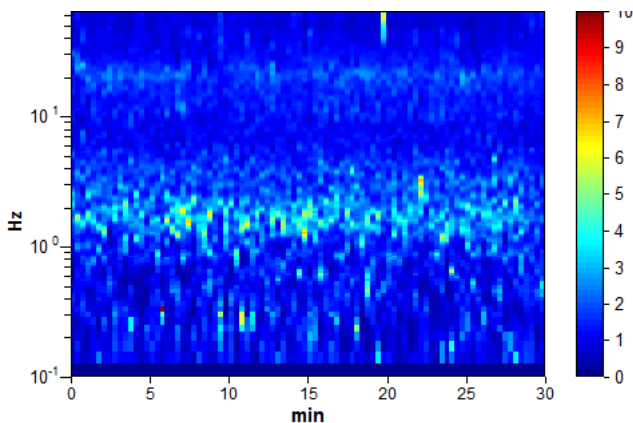
Strumento: TEP-0085/01-10
 Formato dati: 16 byte
 Fondo scala [mV]: n.a.
 Inizio registrazione: 03/08/18 11:15:30 Fine registrazione: 03/08/18 11:45:31
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.
 Freq. campionamento: 128 Hz
 Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window
 Lisciamento: 10%

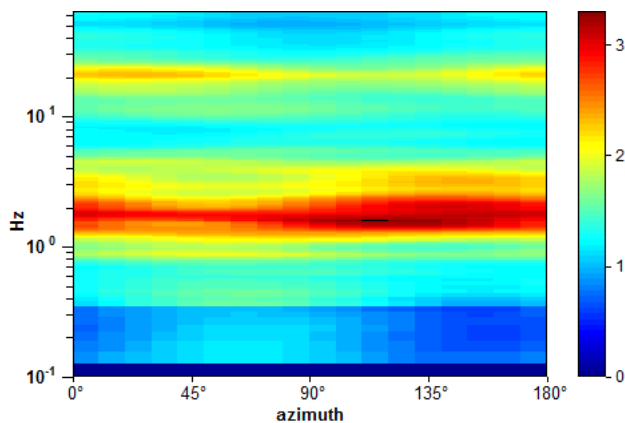
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



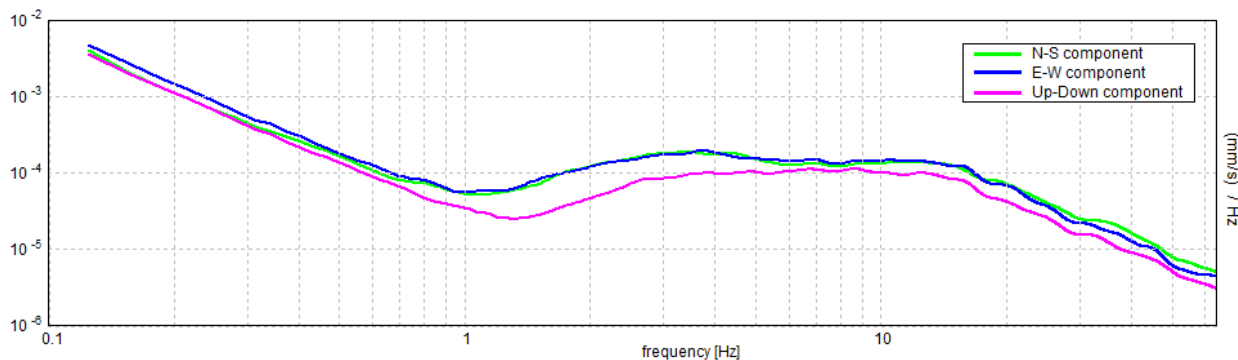
SERIE TEMPORALE H/V



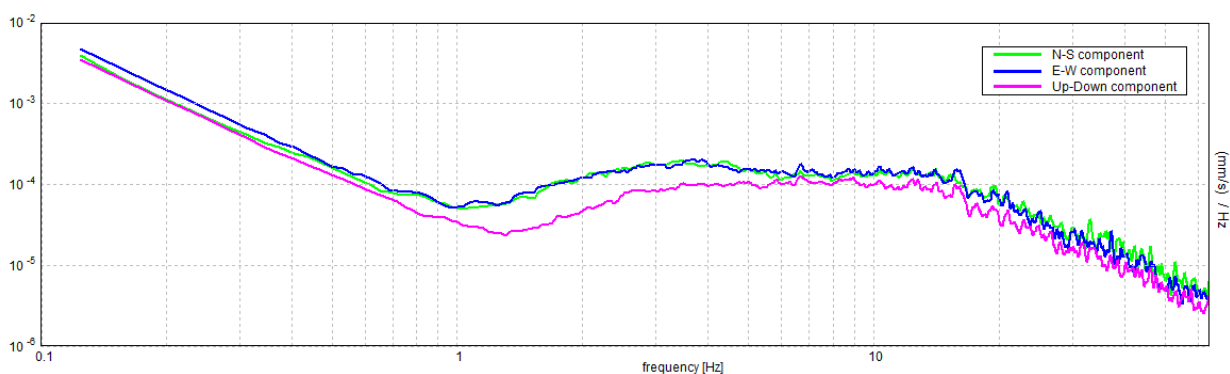
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento AL 10%)



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento all'1%)



Picco H/V a 1.56 ± 0.09 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	$1.56 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2812.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 76	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.75 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4.875 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.06 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.05629 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.08796 < 0.15625$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2255 < 1.78$	OK	

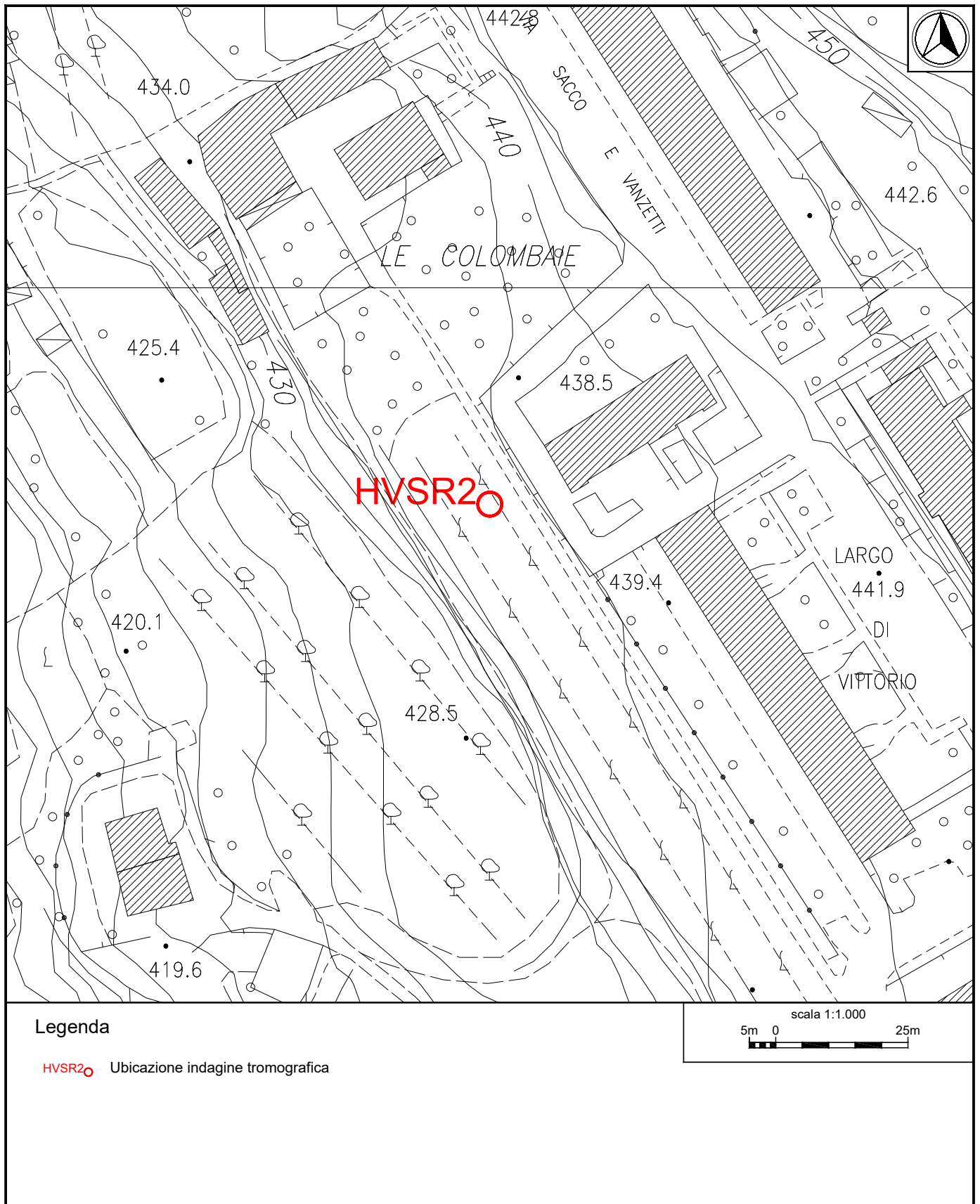


Fig.13: Ubicazione indagine sismica passiva HVSR2.



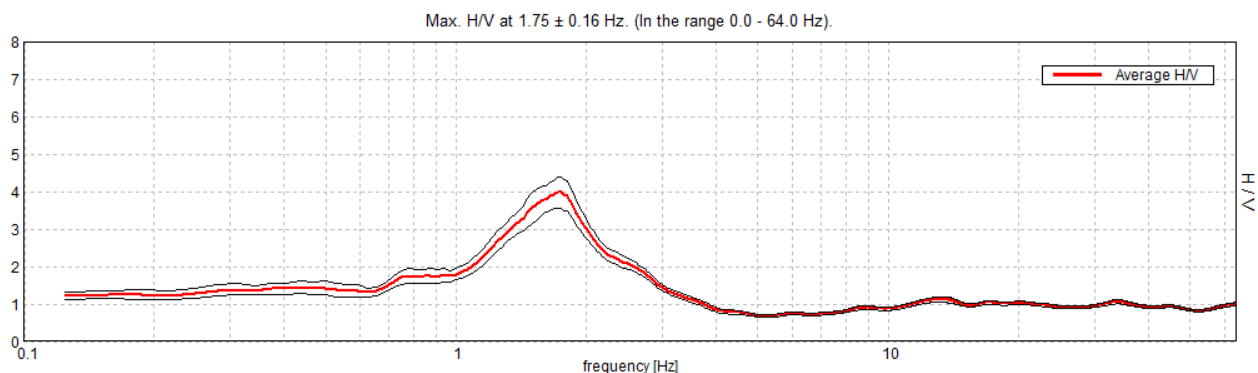
Indagine sismica passiva HVSR2 – Documentazione fotografica.

J18_076_08_03_VOLTERRA_TR, SCUOLA SANT'ANNA HVSR3

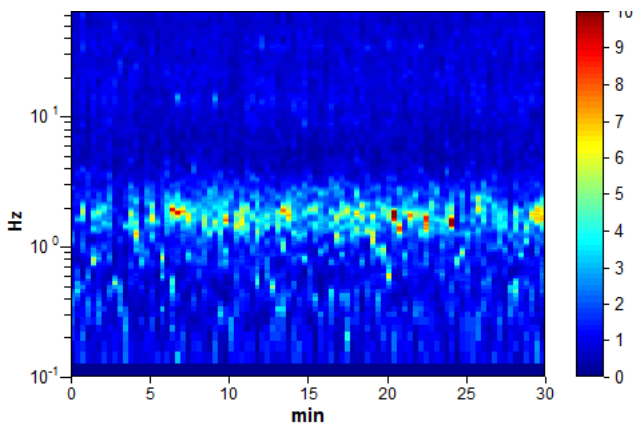
Strumento: TEP-0085/01-10
 Formato dati: 16 byte
 Fondo scala [mV]: n.a.
 Inizio registrazione: 03/08/18 12:00:10 Fine registrazione: 03/08/18 12:30:11
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.
 Freq. campionamento: 128 Hz
 Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window
 Lisciamento: 10%

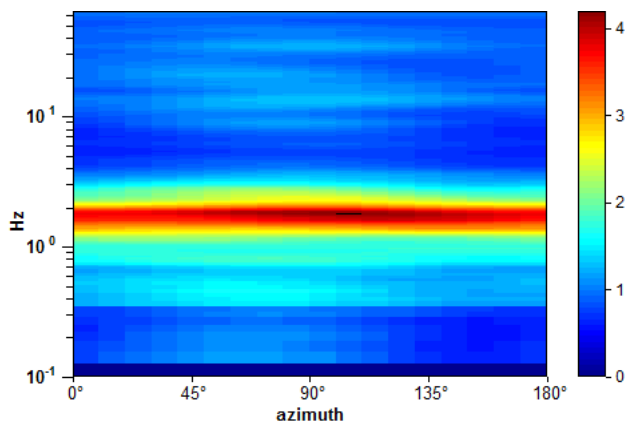
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



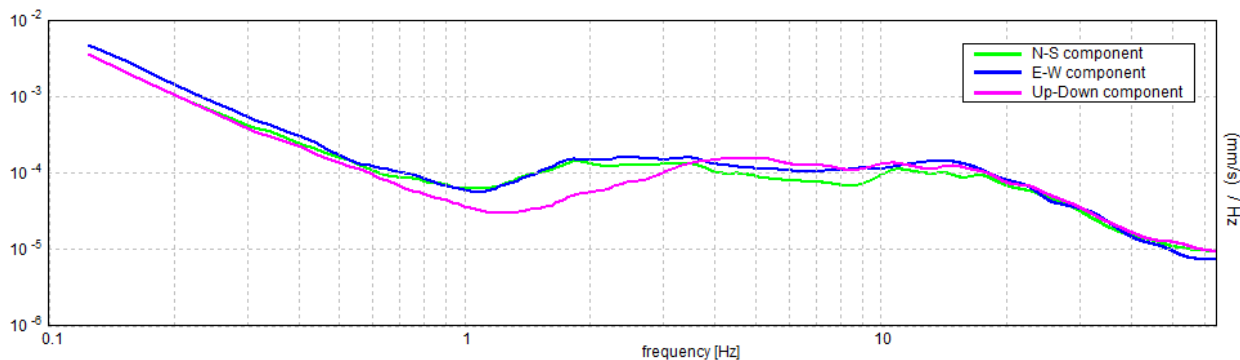
SERIE TEMPORALE H/V



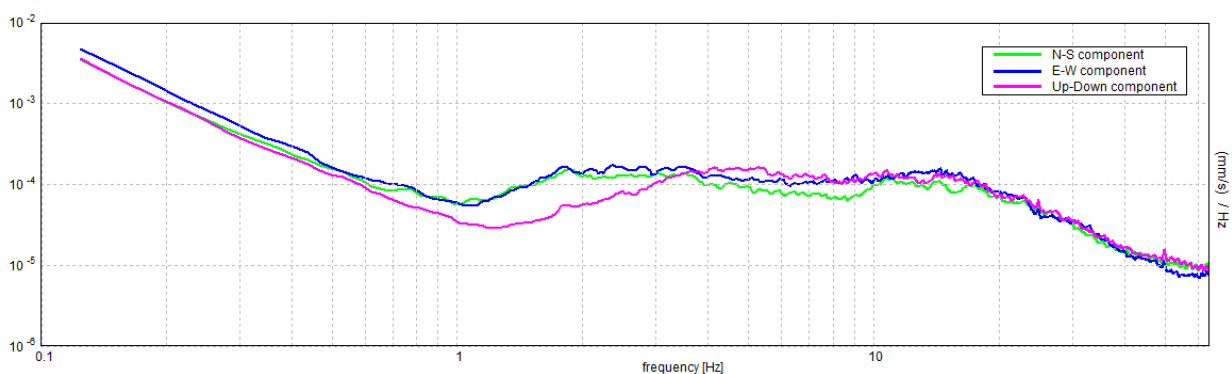
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento AL 10%)



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento all'1%)



Picco H/V a 1.75 ± 0.16 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.75 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$3150.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 85	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.063 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.594 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.97 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.09017 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.1578 < 0.175$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4155 < 1.78$	OK	

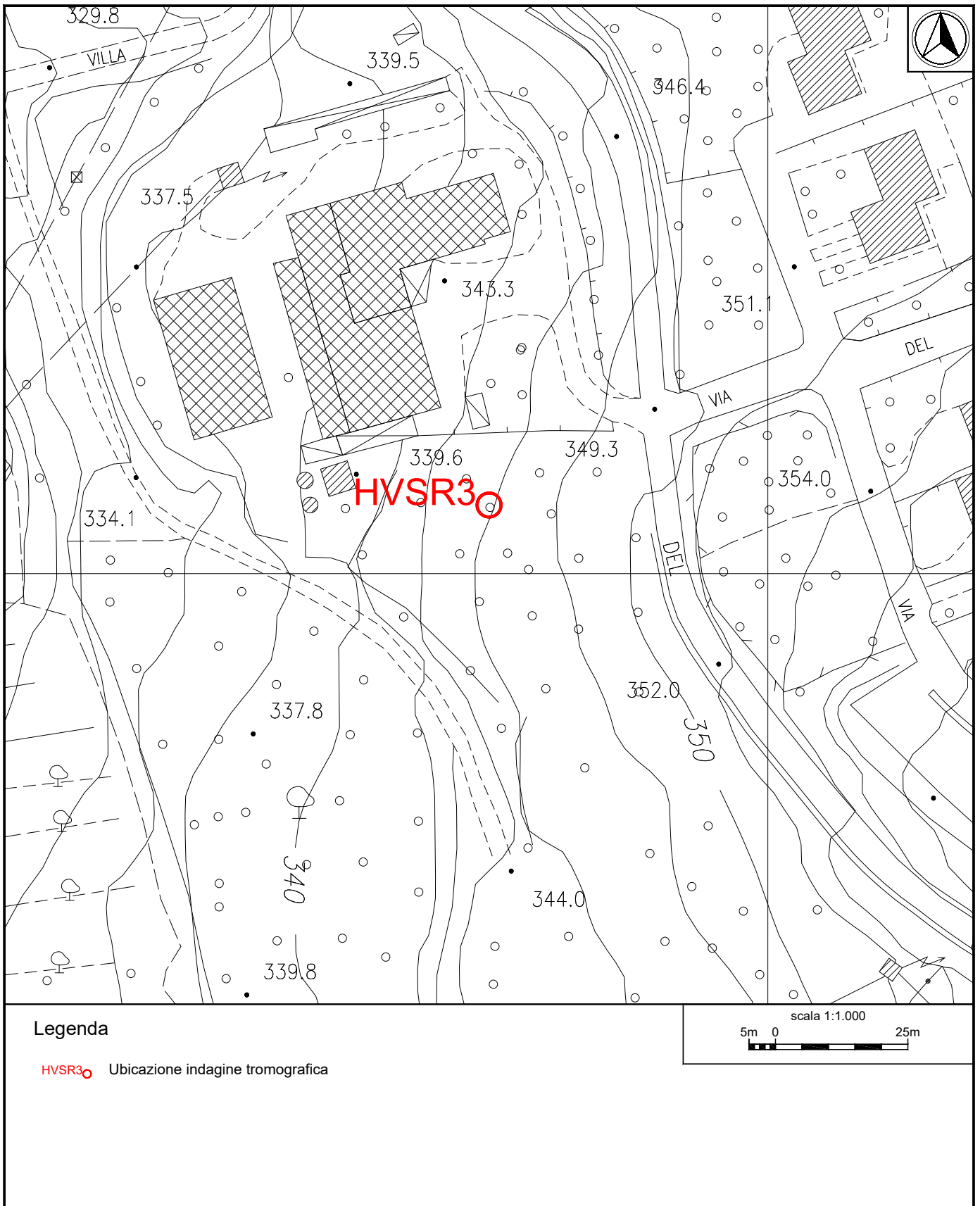


Fig.14: Ubicazione indagine sismica passiva HVSR3.



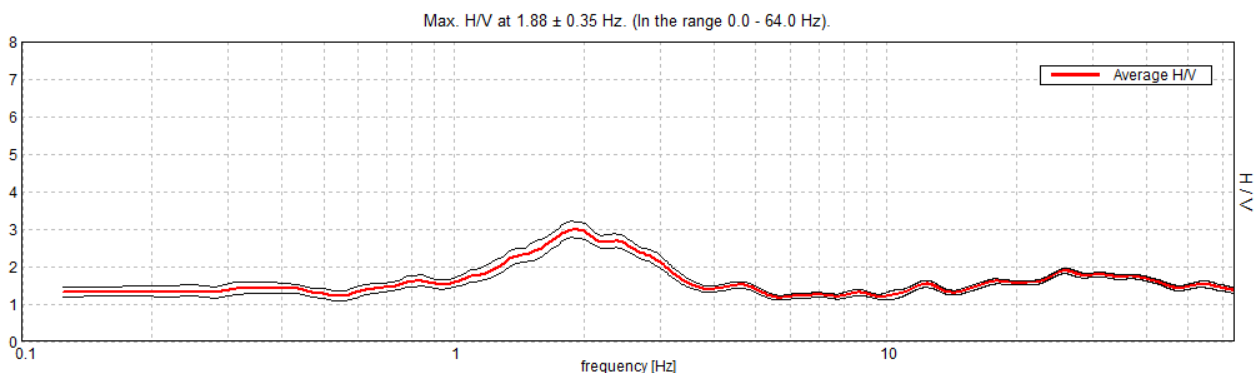
Indagine sismica passiva HVSr3 – Documentazione fotografica.

J18_076_08_03_VOLTERRA_TR, VOLTERRA HVSR4

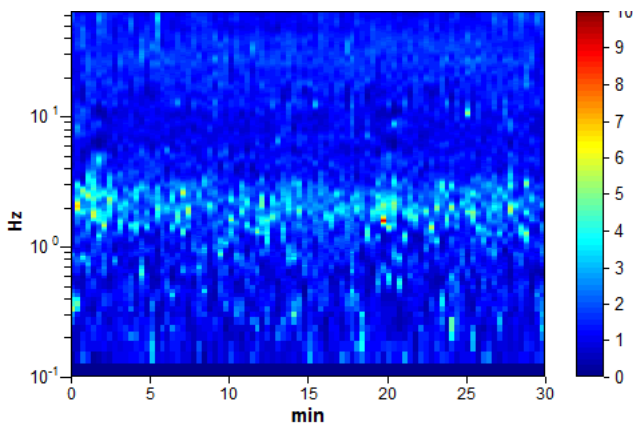
Strumento: TEP-0085/01-10
 Formato dati: 16 byte
 Fondo scala [mV]: n.a.
 Inizio registrazione: 03/08/18 12:46:59 Fine registrazione: 03/08/18 13:17:00
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.
 Freq. campionamento: 128 Hz
 Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window
 Lisciamento: 10%

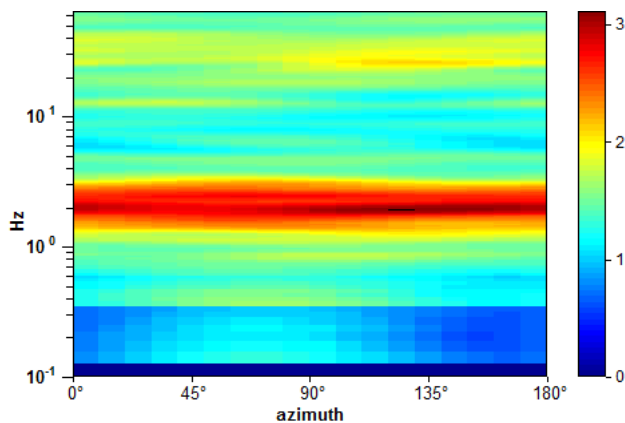
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



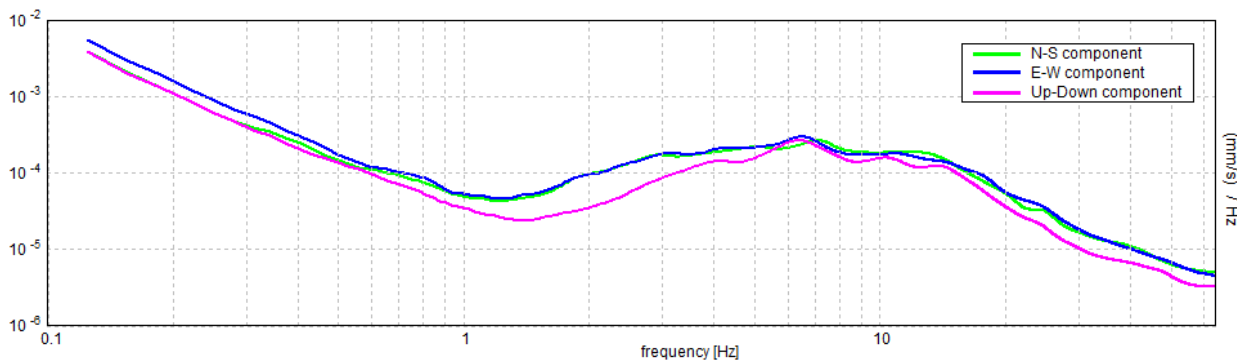
SERIE TEMPORALE H/V



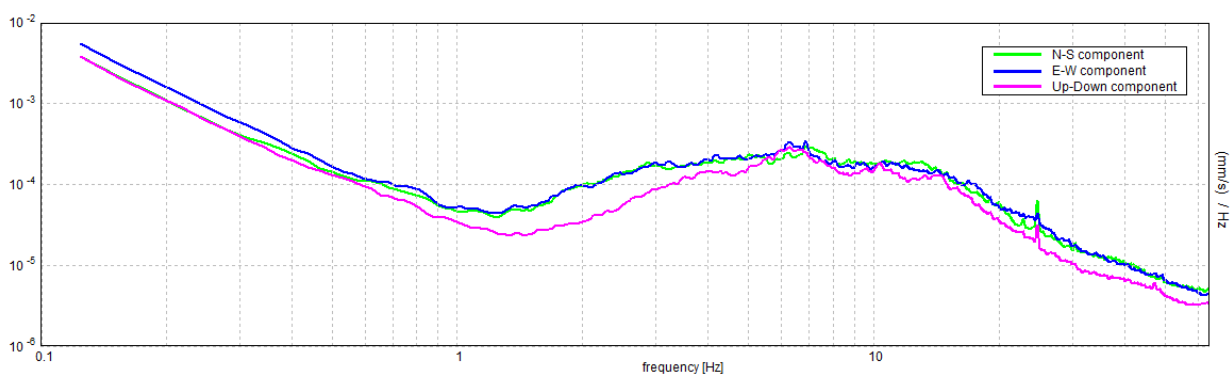
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento AL 10%)



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento all'1%)



Picco H/V a 1.88 ± 0.35 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	$1.88 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$3375.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 91	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.719 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.594 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.99 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.18573 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.34823 < 0.1875$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2193 < 1.78$	OK	

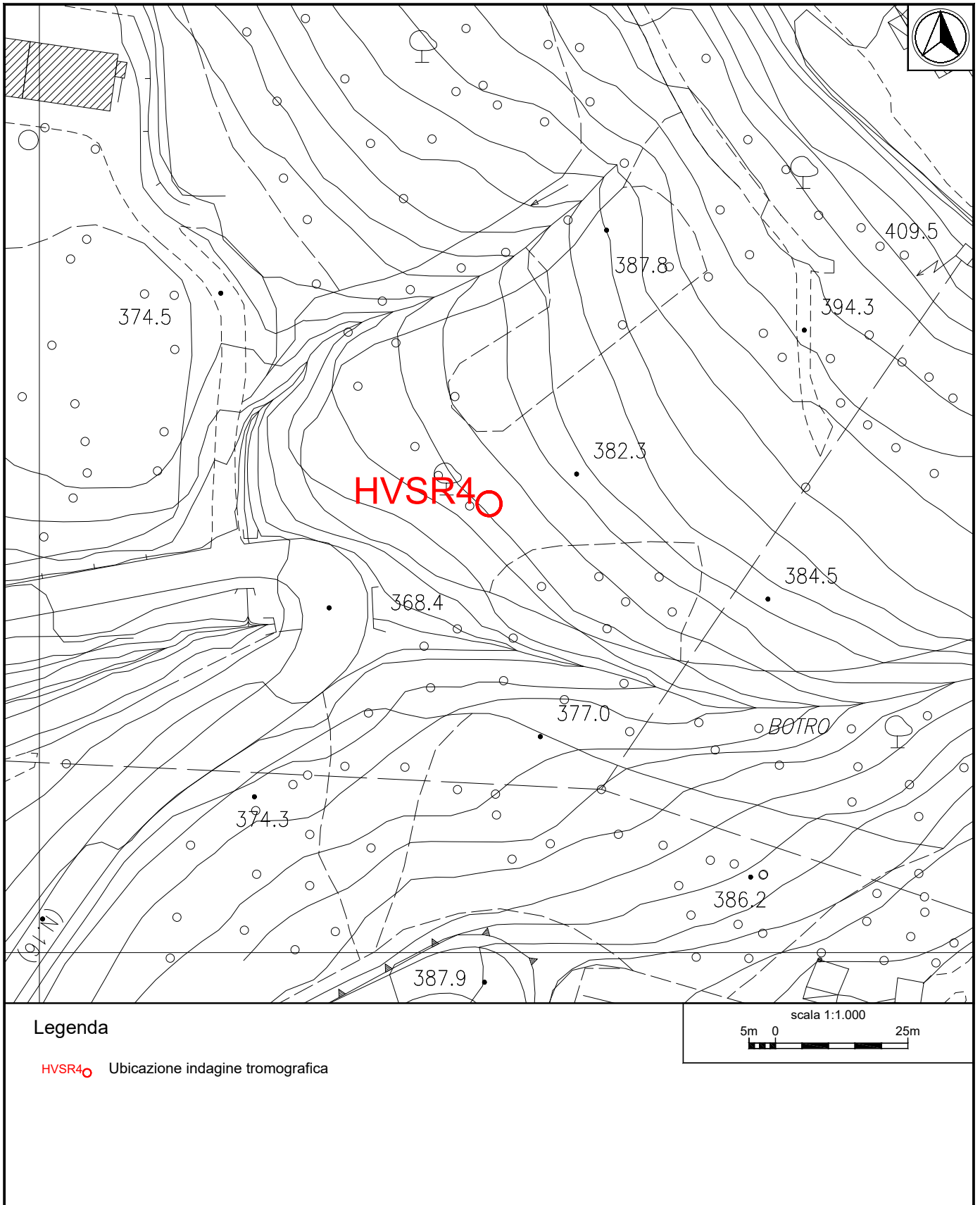


Fig.15: Ubicazione indagine sismica passiva HVSR4.



Indagine sismica passiva HVSR4 – Documentazione fotografica.

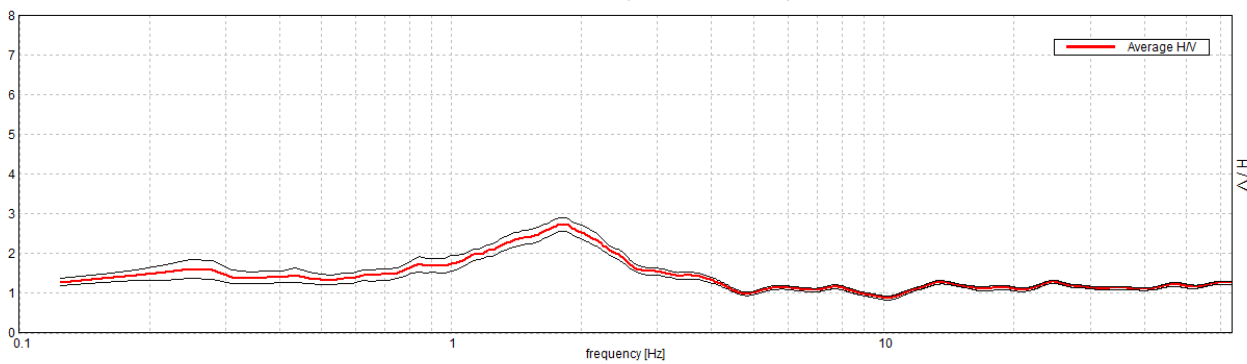
J18_076_08_03_VOLTERRA_TR, VOLTERRA HVSR5

Strumento: TEP-0085/01-10
 Formato dati: 16 byte
 Fondo scala [mV]: n.a.
 Inizio registrazione: 03/08/18 13:52:19 Fine registrazione: 03/08/18 14:22:20
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
 Dato GPS non disponibile

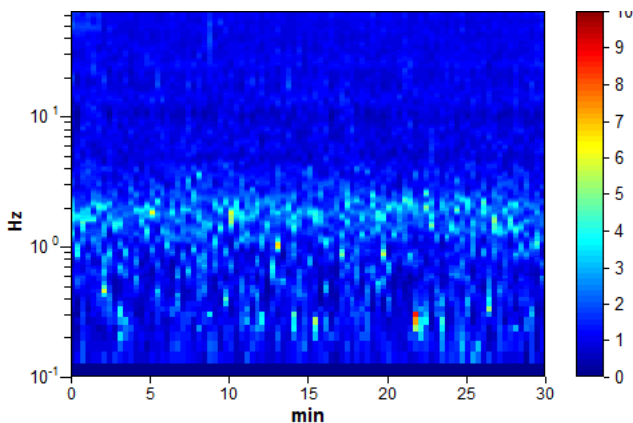
Durata registrazione: 0h30'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.
 Freq. campionamento: 128 Hz
 Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window
 Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

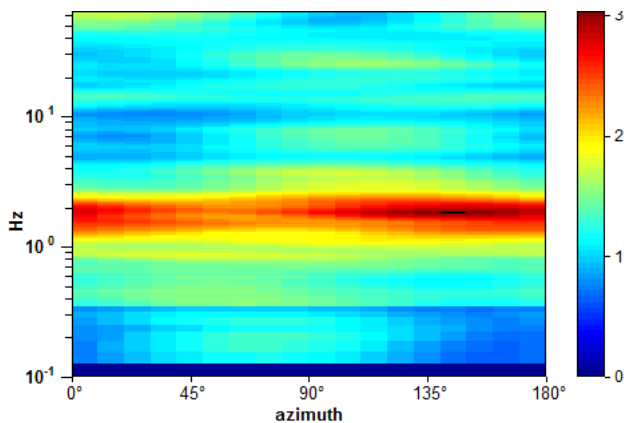
Picco H/V a 1.78 ± 0.08 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



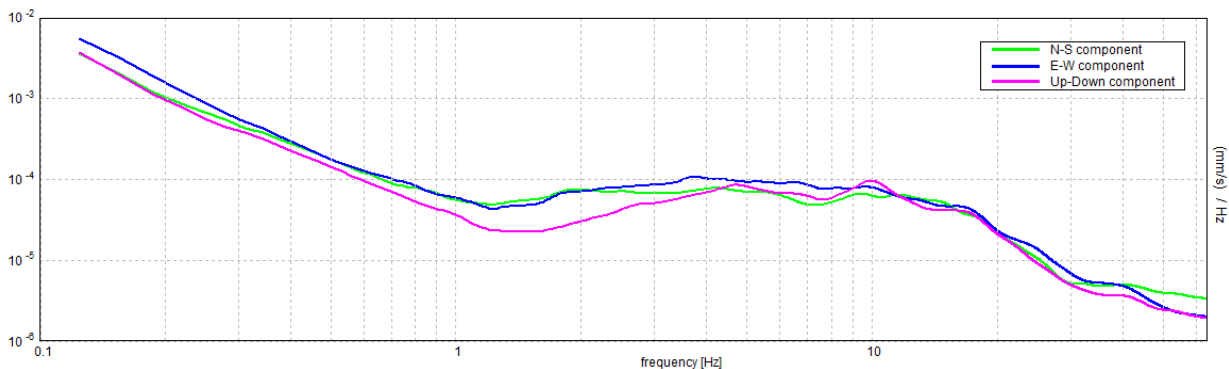
SERIE TEMPORALE H/V



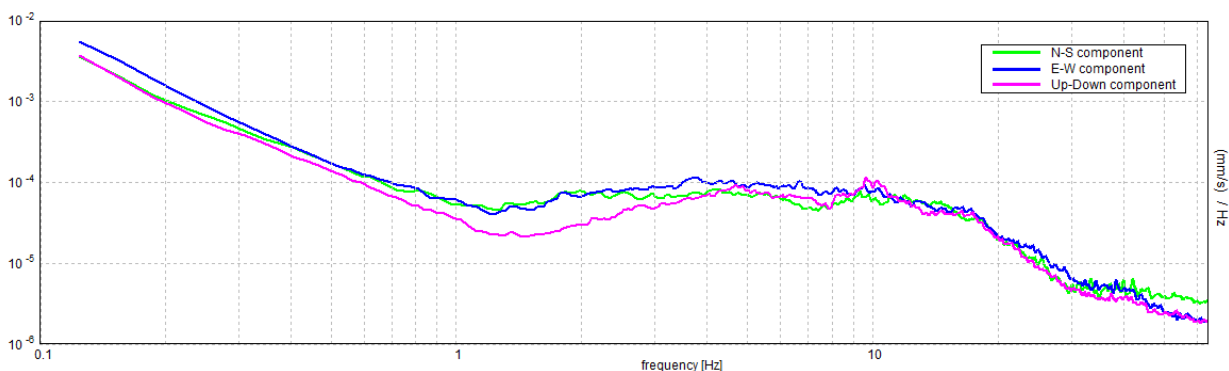
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento AL 10%)



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento all'1%)



Picco H/V a 1.78 ± 0.08 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile
[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	1.78 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	3206.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 86	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.531 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.906 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.73 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04649 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.08281 < 0.17813	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.176 < 1.78	OK	

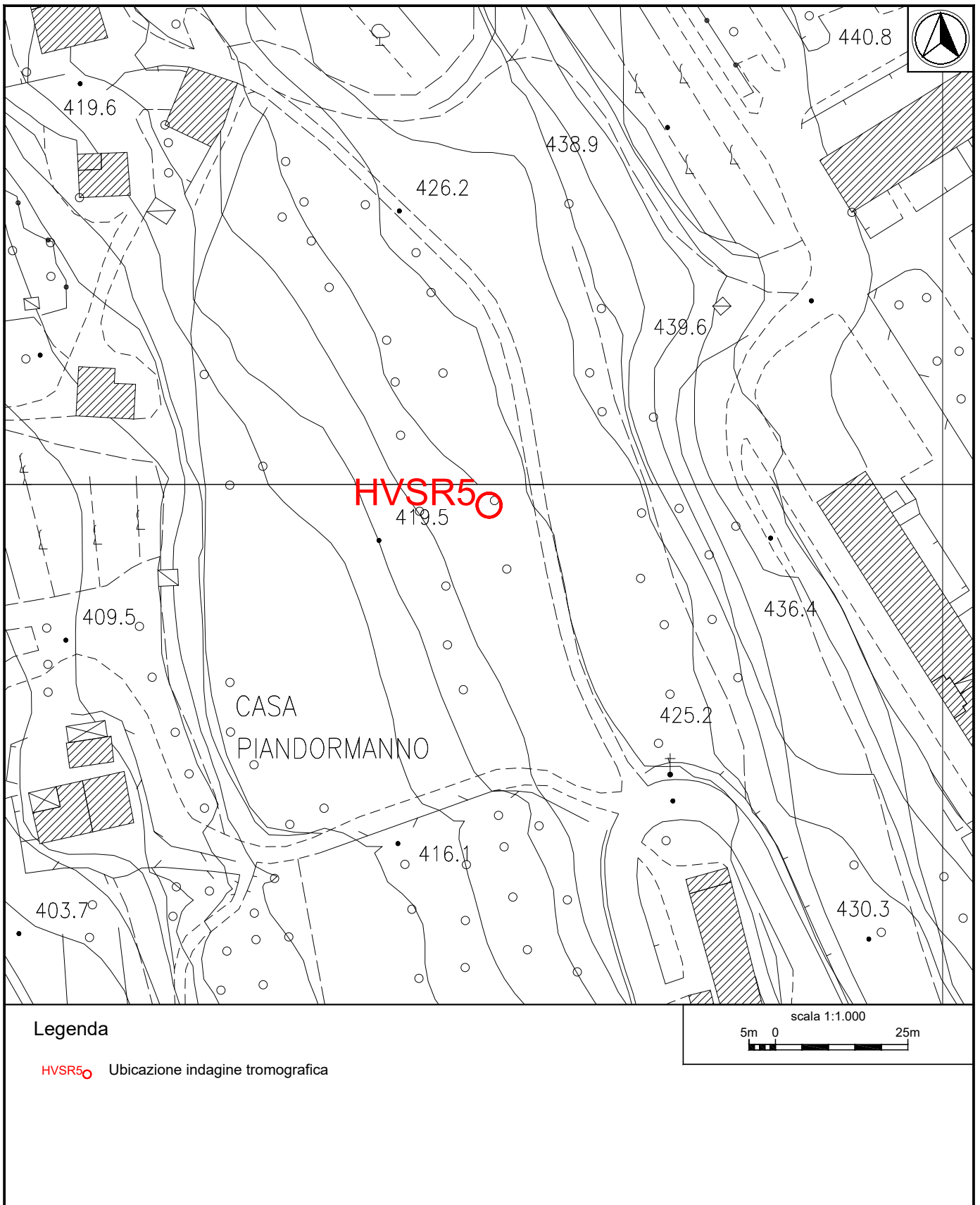


Fig.16: Ubicazione indagine sismica passiva HVSr5.



Indagine sismica passiva HVSR5 – Documentazione fotografica.

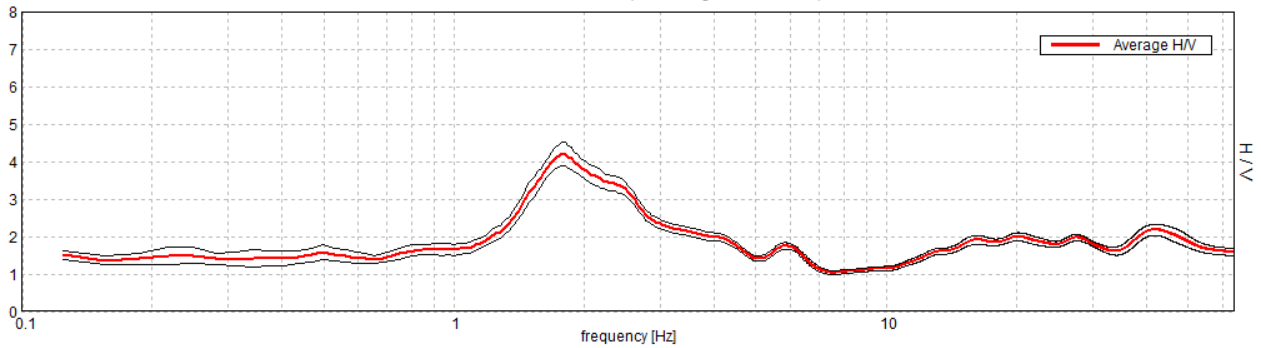
J18_076_08_03_VOLTERRA_TR, VOLTERRA HVSR6

Strumento: TEP-0085/01-10
 Formato dati: 16 byte
 Fondo scala [mV]: n.a.
 Inizio registrazione: 03/08/18 14:38:16 Fine registrazione: 03/08/18 15:08:17
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
 Dato GPS non disponibile

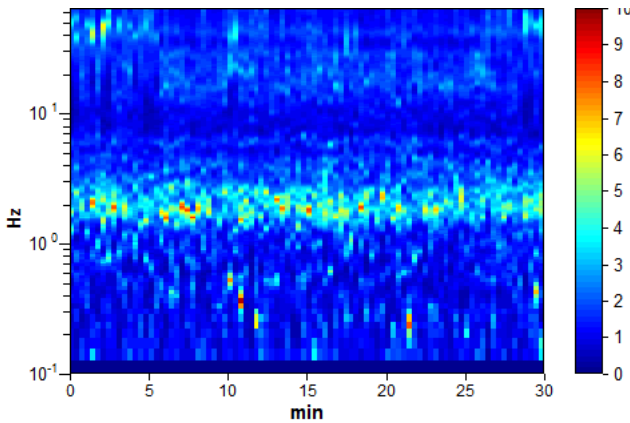
Durata registrazione: 0h30'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.
 Freq. campionamento: 128 Hz
 Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window
 Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

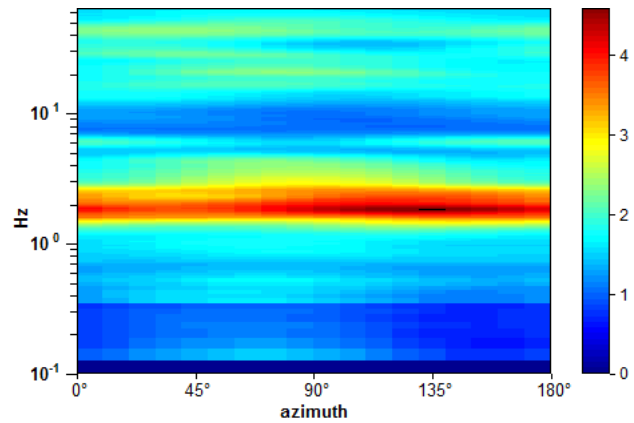
Max. H/V at 1.78 ± 0.1 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



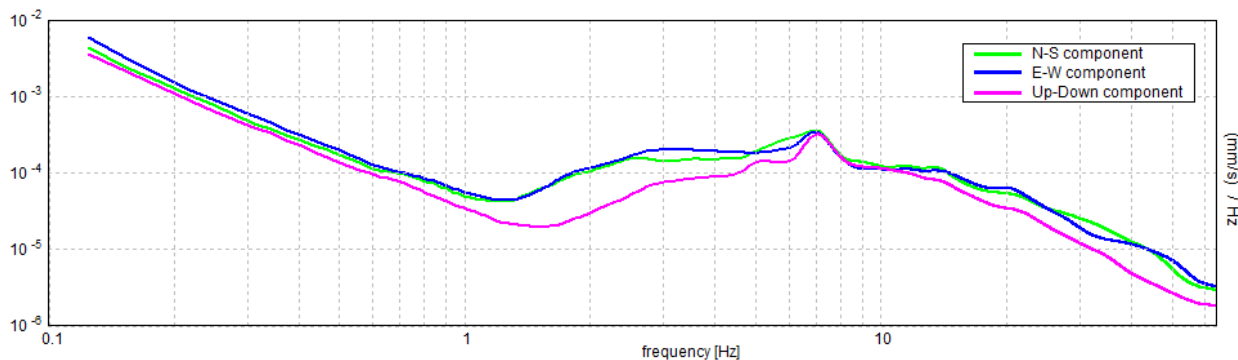
SERIE TEMPORALE H/V



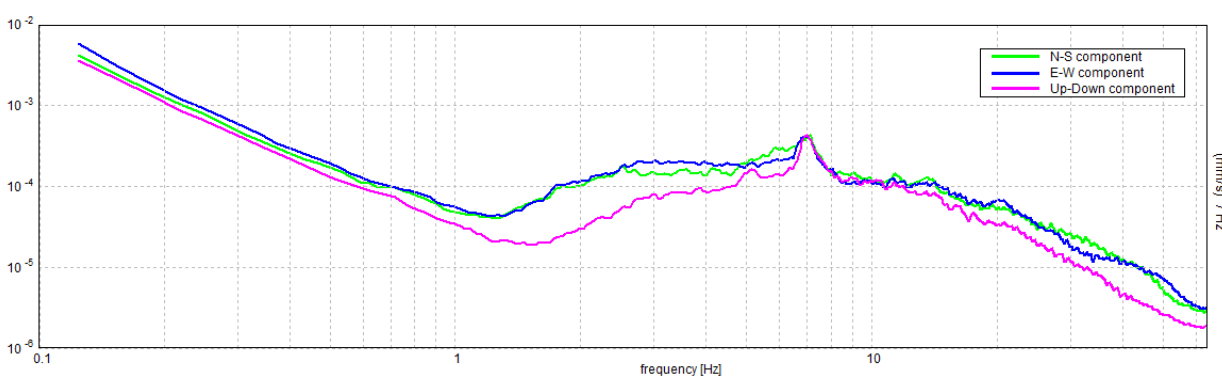
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento AL 10%)



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento all'1%)



Picco H/V a 1.78 ± 0.1 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	$1.78 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$3206.3 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 86	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.25 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.594 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$4.20 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.05877 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.10469 < 0.17813$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3091 < 1.78$	OK	

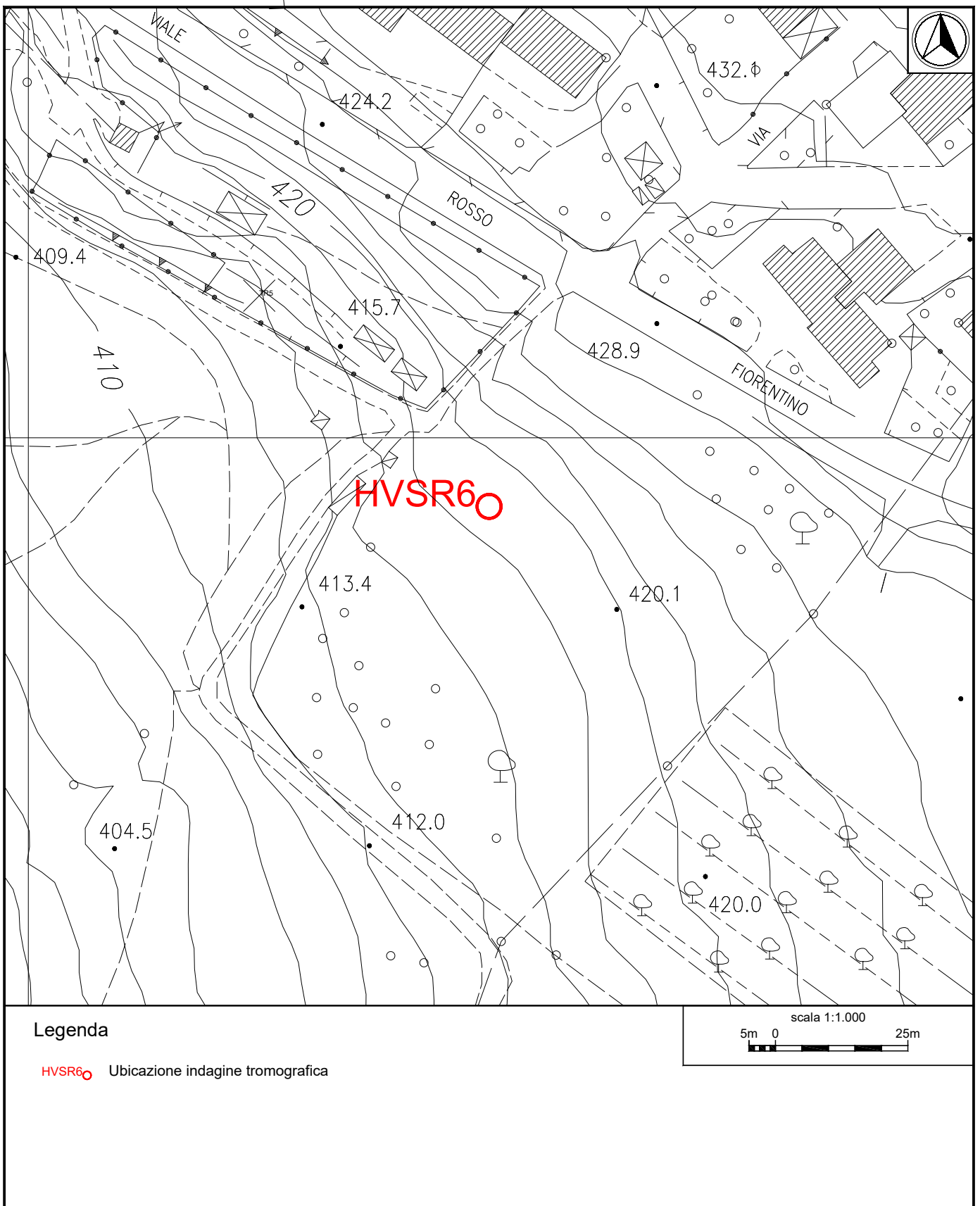


Fig.17: Ubicazione indagine sismica passiva HVSr6.



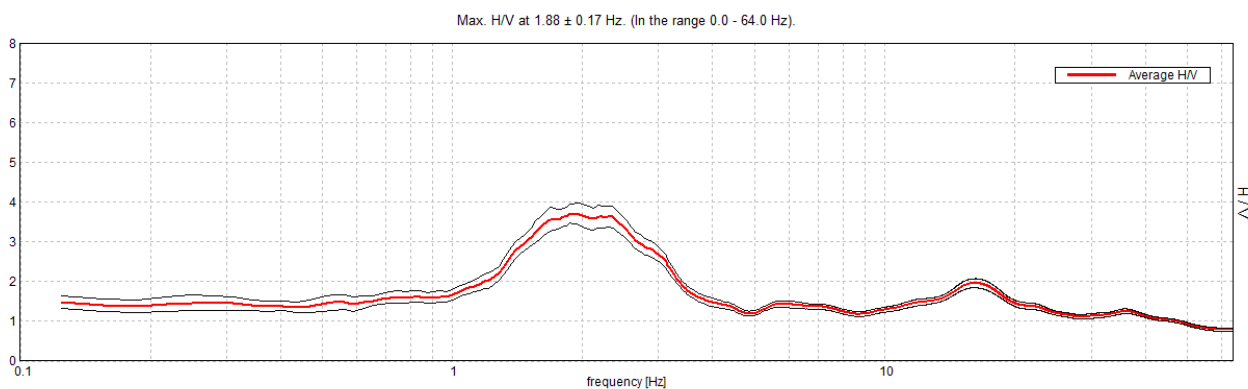
Indagine sismica passiva HVSR6 – Documentazione fotografica.

J18_076_08_03_VOLTERRA_TR, VOLTERRA HVSR7

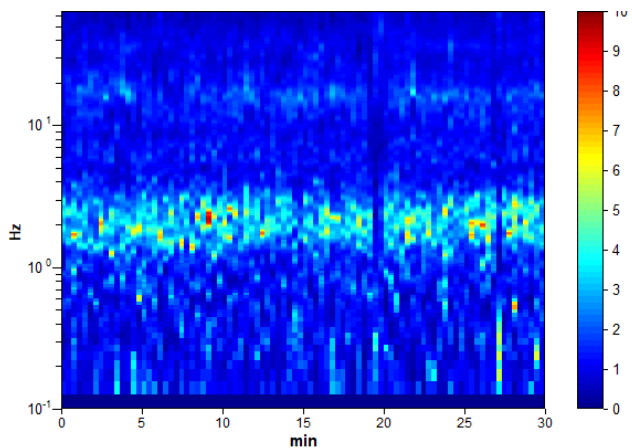
Strumento: TEP-0085/01-10
 Formato dati: 16 byte
 Fondo scala [mV]: n.a.
 Inizio registrazione: 03/08/18 15:38:16 Fine registrazione: 03/08/18 16:08:17
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.
 Freq. campionamento: 128 Hz
 Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window
 Lisciamento: 10%

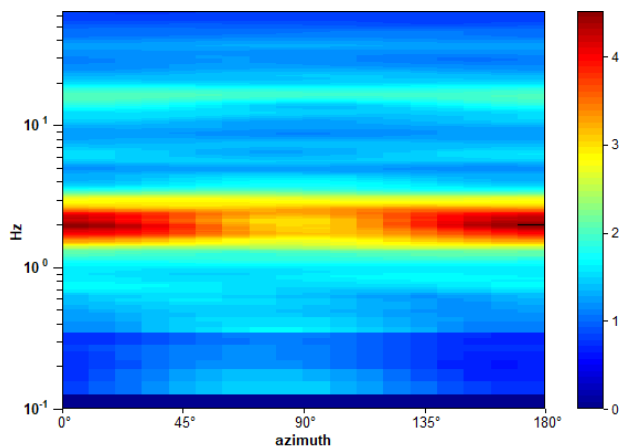
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



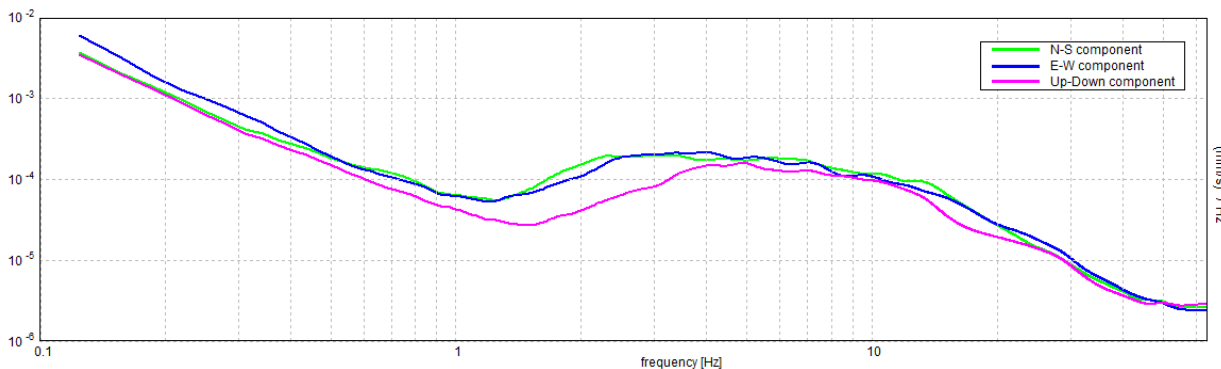
SERIE TEMPORALE H/V



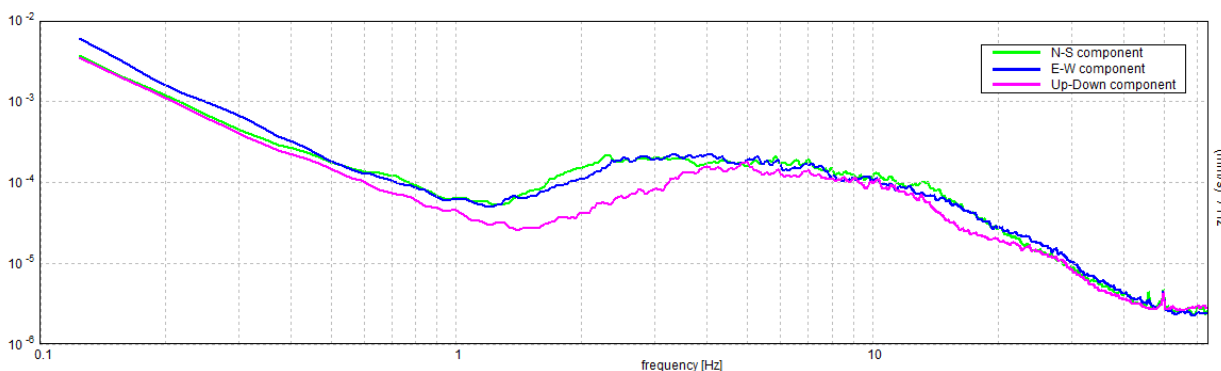
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento AL 10%)



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento all'1%)



Picco H/V a 1.88 ± 0.17 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile
[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	1.88 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	3375.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 91	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.094 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.71 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.09215 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.17277 < 0.1875	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2456 < 1.78	OK	

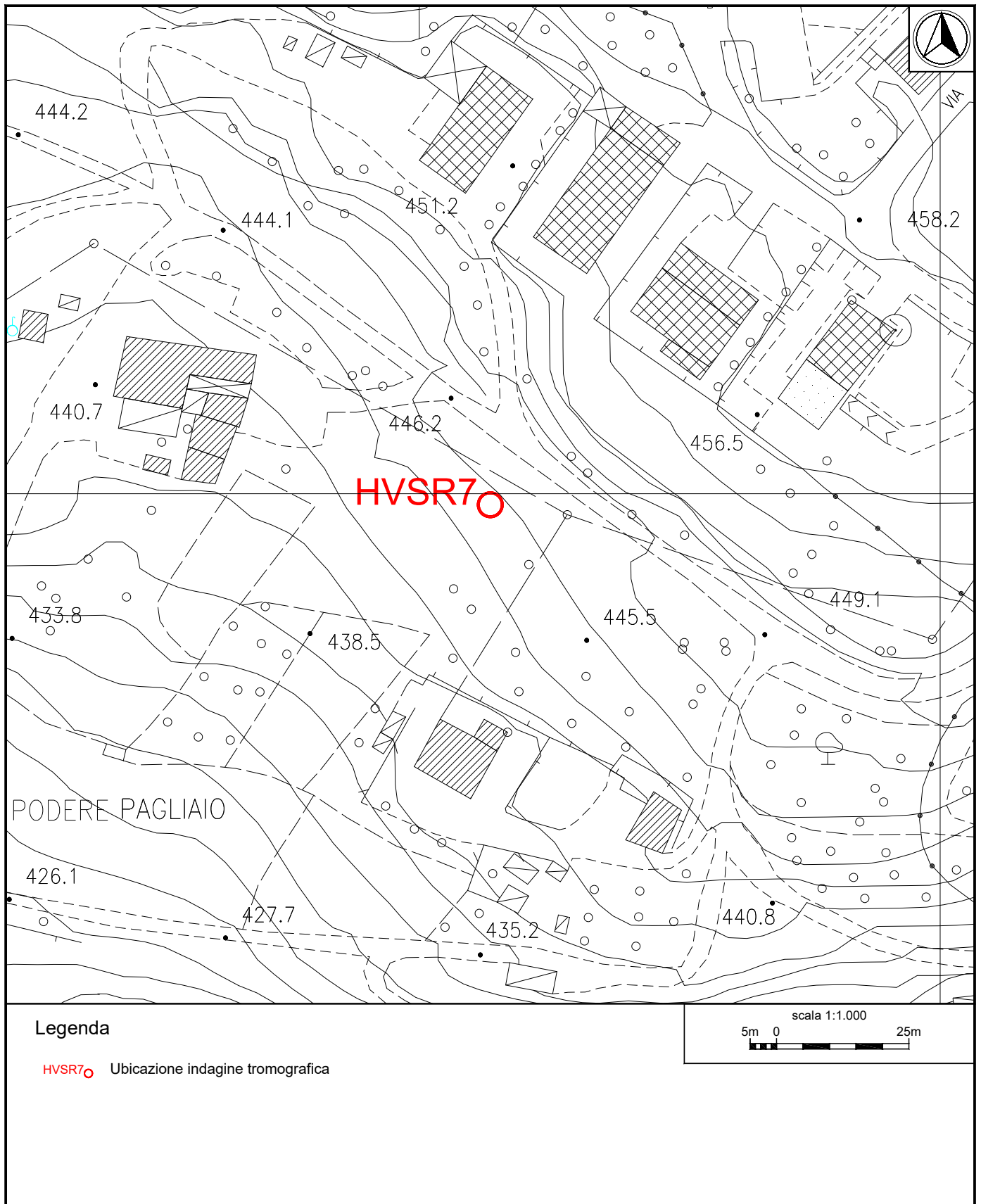


Fig.18: Ubicazione indagine sismica passiva HVSr7.



Indagine sismica passiva HVSr7 – Documentazione fotografica.

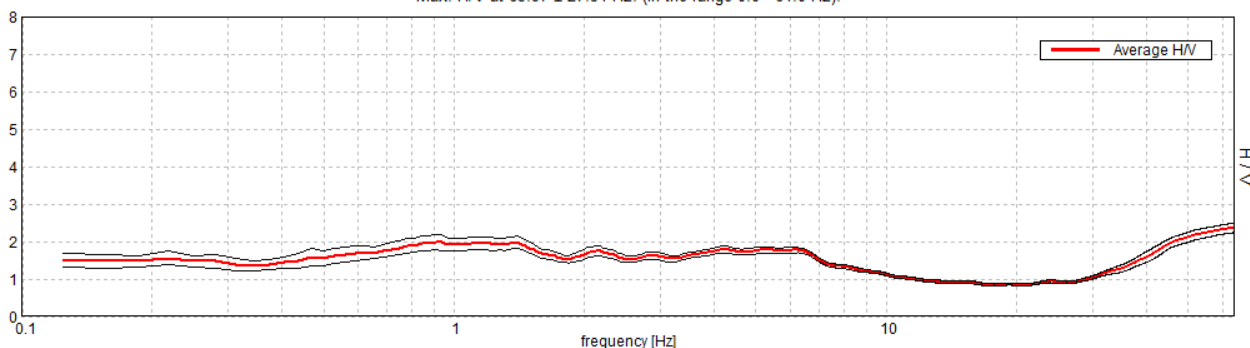
J18_076_08_03_VOLTERRA_TR, PARCO PUBBLICO HVSR8

Strumento: TEP-0085/01-10
 Formato dati: 16 byte
 Fondo scala [mV]: n.a.
 Inizio registrazione: 03/08/18 16:37:05 Fine registrazione: 03/08/18 17:07:06
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
 Dato GPS non disponibile

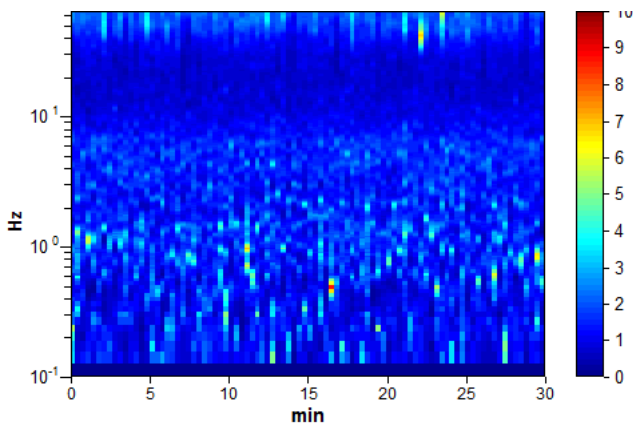
Durata registrazione: 0h30'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.
 Freq. campionamento: 128 Hz
 Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window
 Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

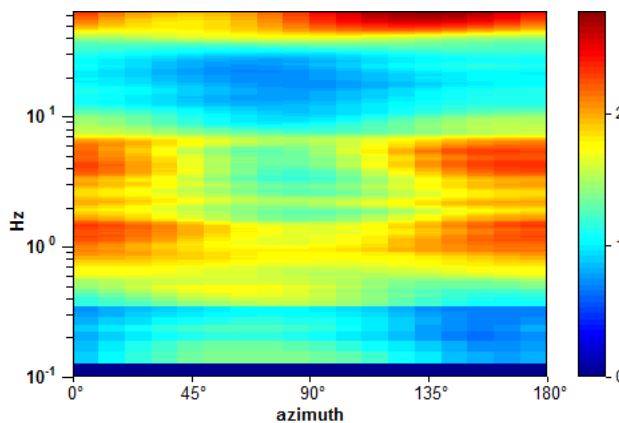
Max. H/V at 63.97 ± 27.34 Hz. (ln the range 0.0 - 64.0 Hz).



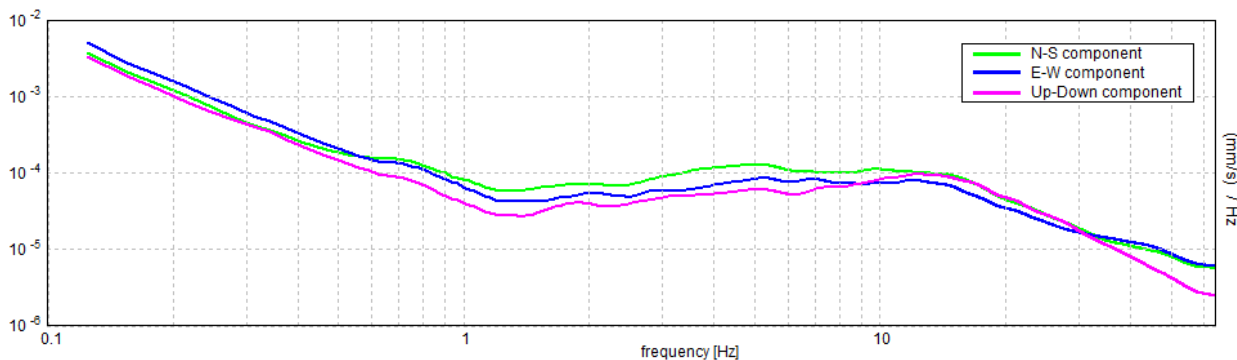
SERIE TEMPORALE H/V



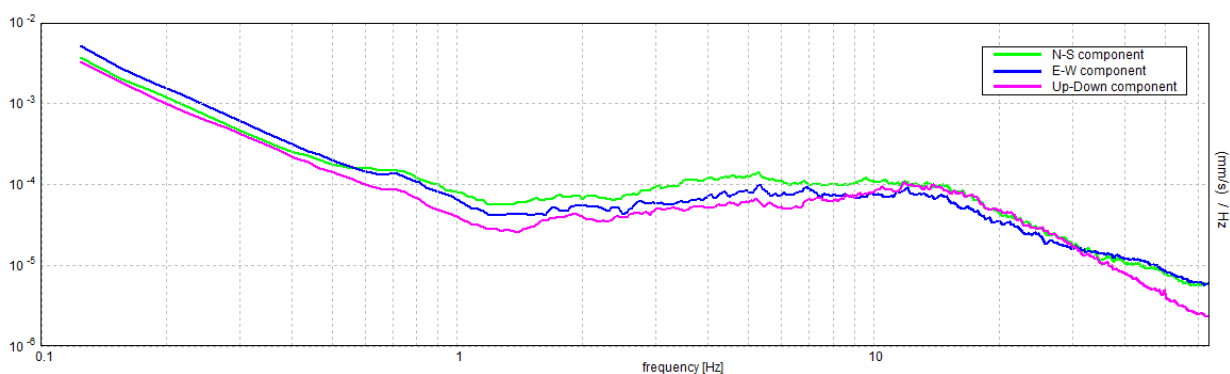
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento AL 10%)



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento all'1%)



Picco H/V a 63.97 ± 27.34 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$63.97 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$115143.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1026	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	32.656 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.37 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.42736 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$27.33768 < 3.19844$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1284 < 1.58$	OK	

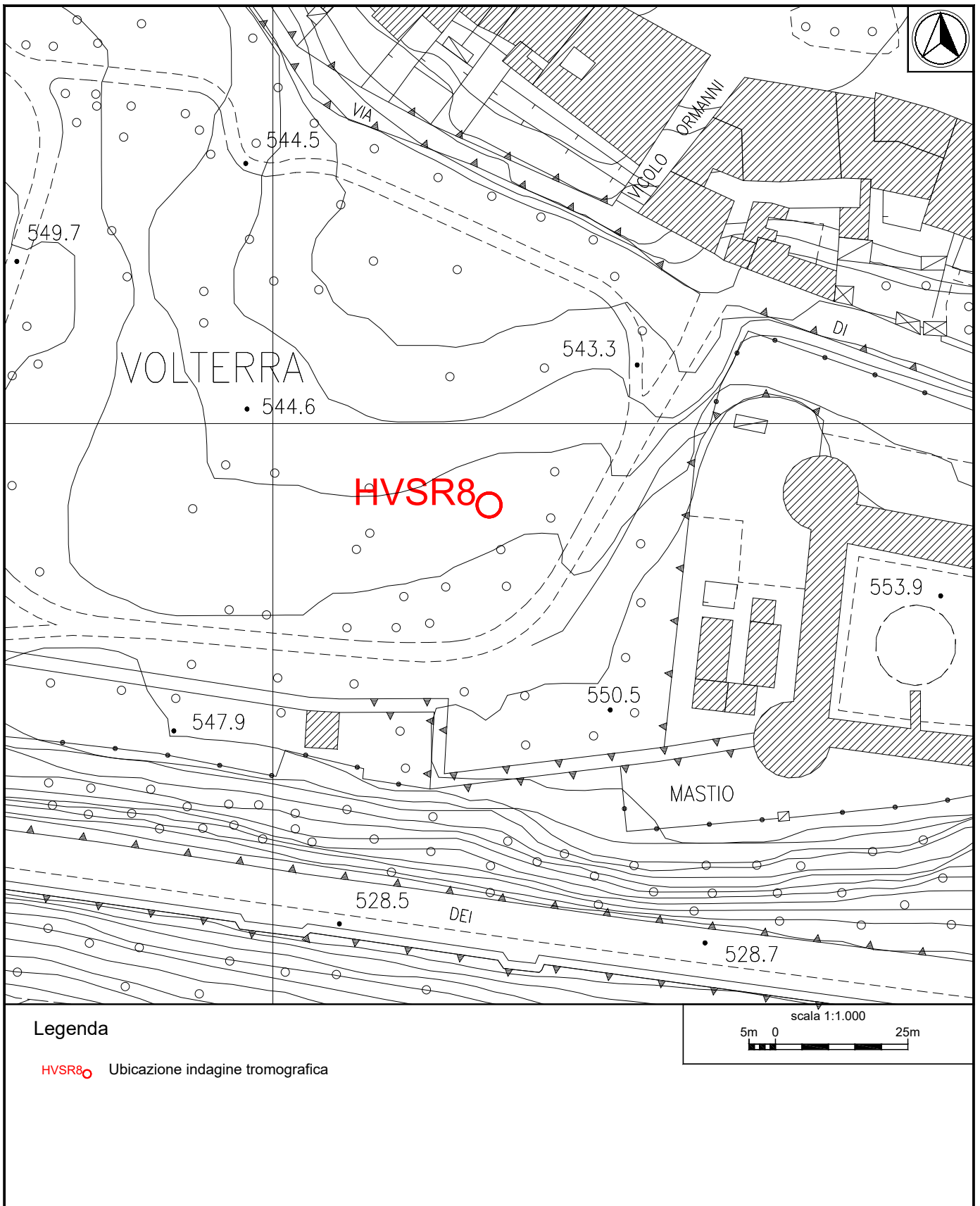


Fig.19: Ubicazione indagine sismica passiva HVSR8.



Indagine sismica passiva HVSR8 – Documentazione fotografica.

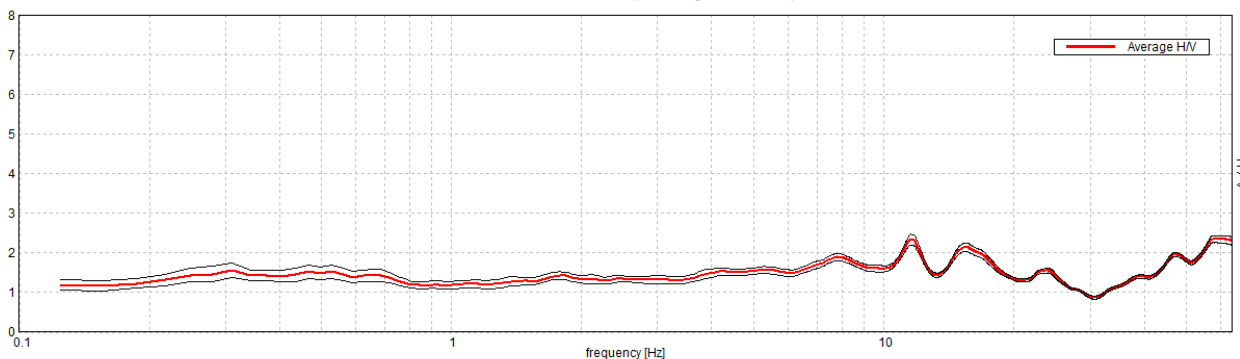
J18_076_10_15_VOLTERRA_TR, SAN QUIRICO HVSR9

Strumento: TEP-0085/01-10
 Formato dati: 16 byte
 Fondo scala [mV]: n.a.
 Inizio registrazione: 15/10/18 09:03:21 Fine registrazione: 15/10/18 09:33:22
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
 Dato GPS non disponibile

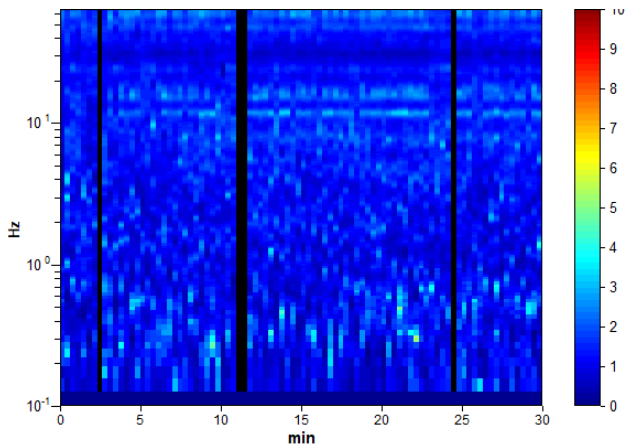
Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 96% tracciato (selezione manuale)
 Freq. campionamento: 128 Hz
 Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window
 Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

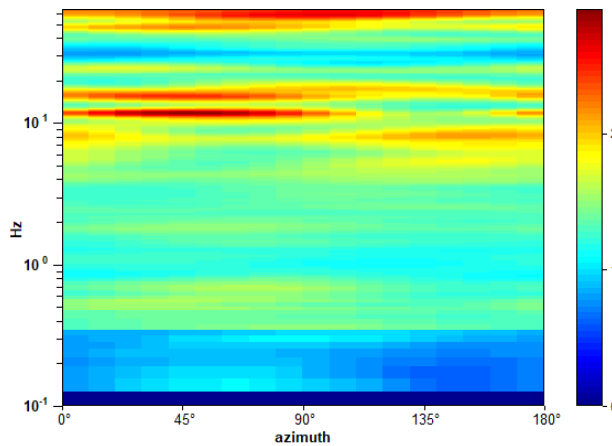
Max. H/V at 59.94 ± 9.29 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



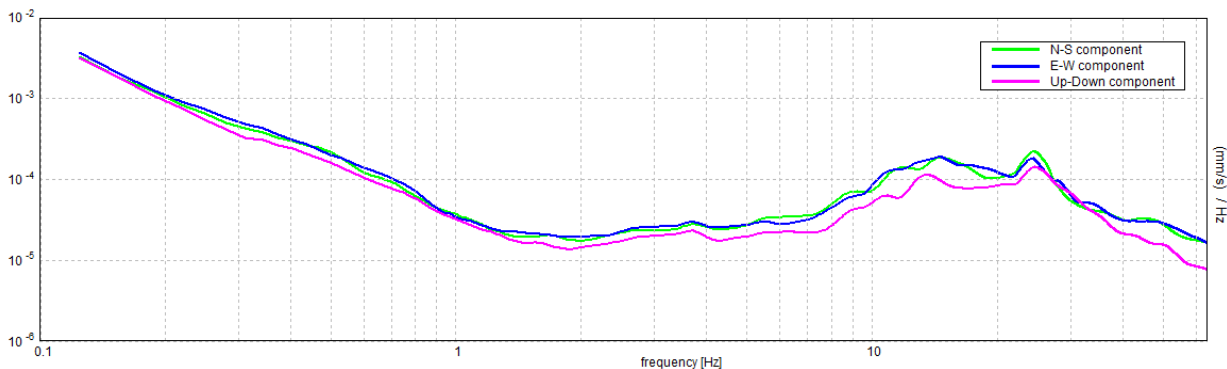
SERIE TEMPORALE H/V



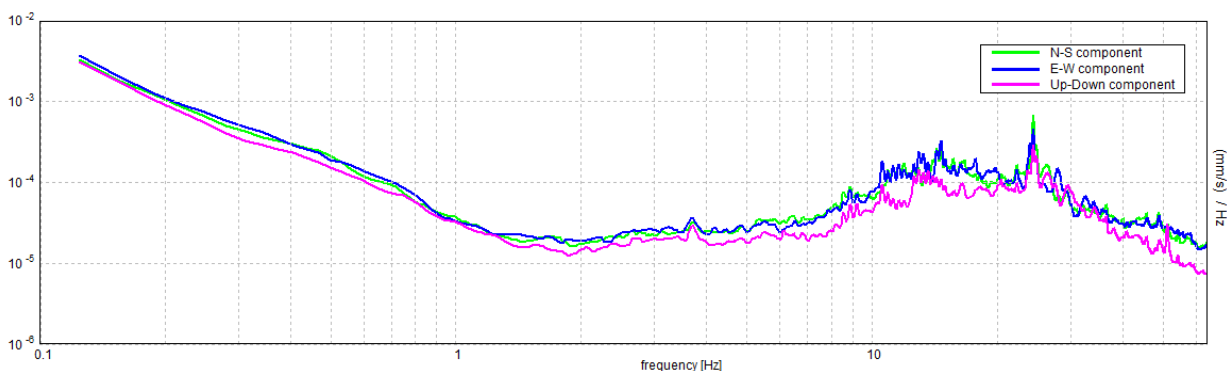
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento AL 10%)



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento all'1%)



Picco H/V a 59.94 ± 9.29 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile
[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	59.94 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	103092.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1090	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	35.188 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$		OK	NO
$A_0 > 2$	2.35 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.15496 < 0.05$	OK	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	9.28776 < 2.99688	OK	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.0914 < 1.58	OK	

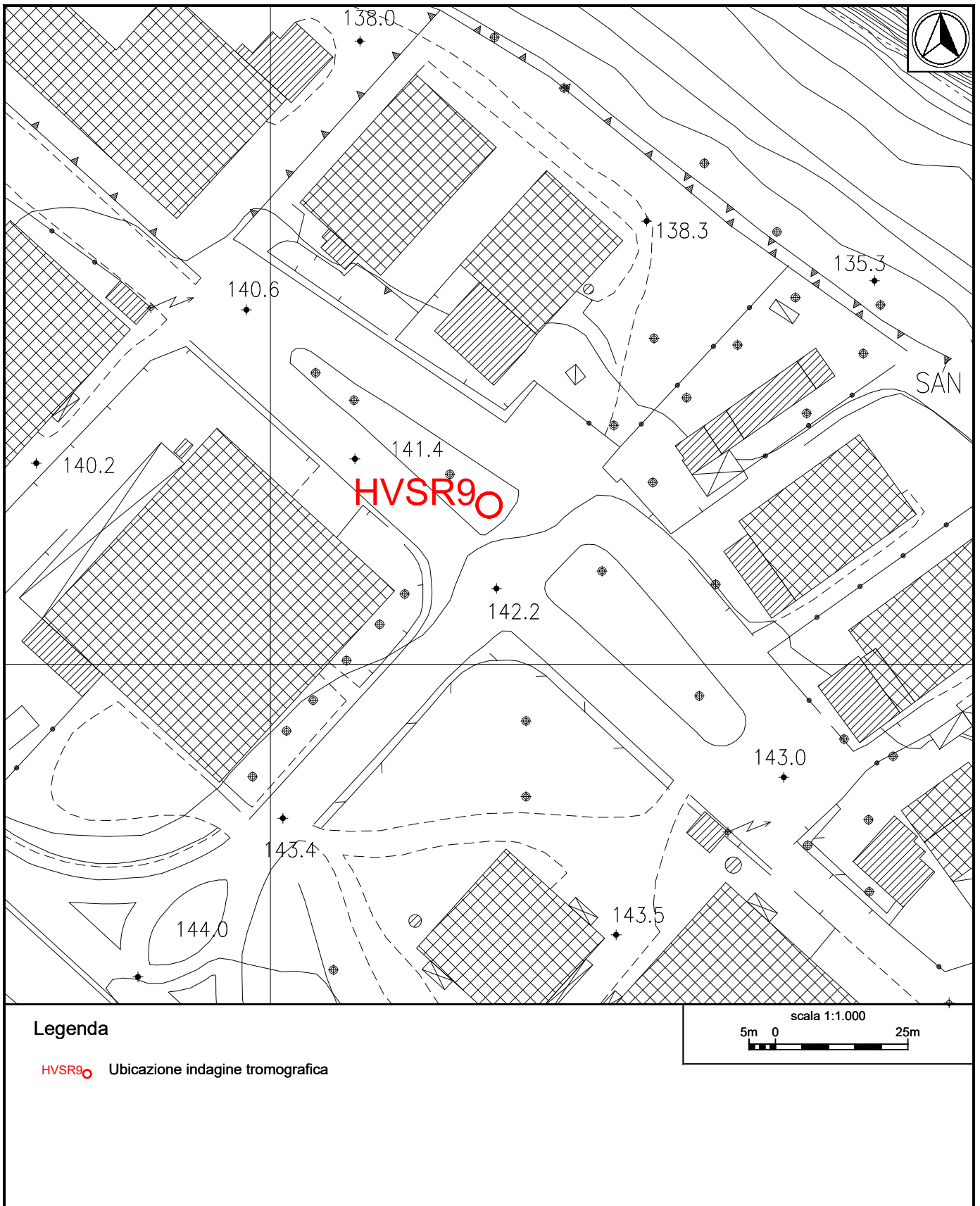


Fig.20: Ubicazione indagine sismica passiva HVSR9.



Indagine sismica passiva HVSR9 – Documentazione fotografica.

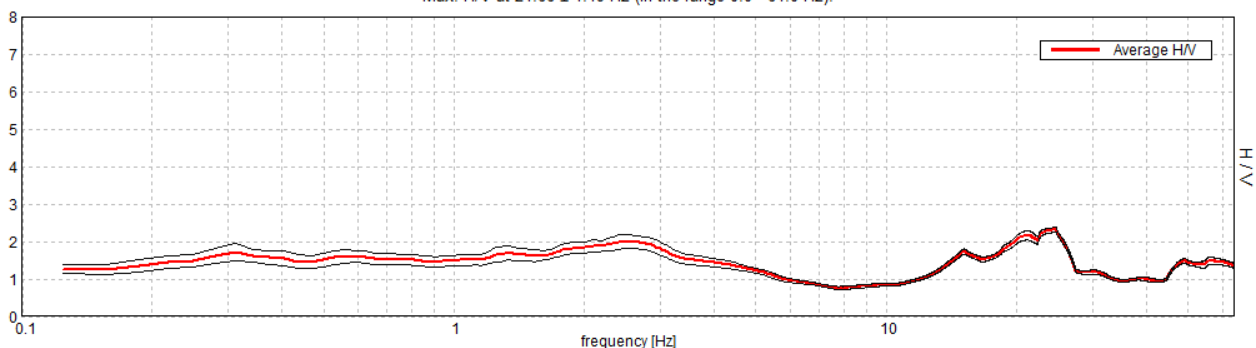
J18_076_10_15_VOLTERRA_TR, PRATO D'ERA HVSR10

Instrument: TEP-0085/01-10
 Data format: 16 byte
 Full scale [mV]: n.a.
 Start recording: 15/10/18 09:48:47 End recording: 15/10/18 10:18:48
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
 GPS data not available

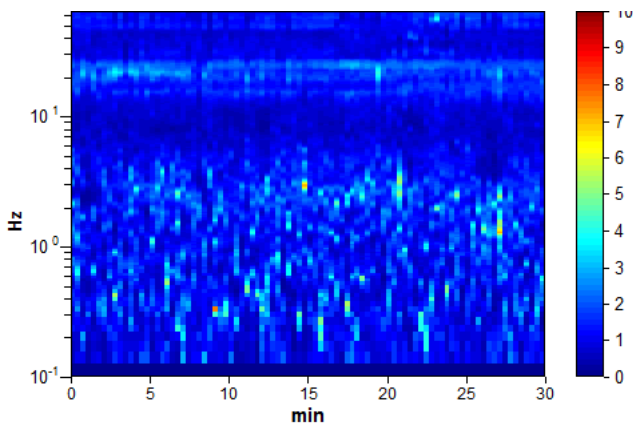
Trace length: 0h30'00". Analysis performed on the entire trace.
 Sampling rate: 128 Hz
 Window size: 20 s
 Smoothing type: Triangular window
 Smoothing: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

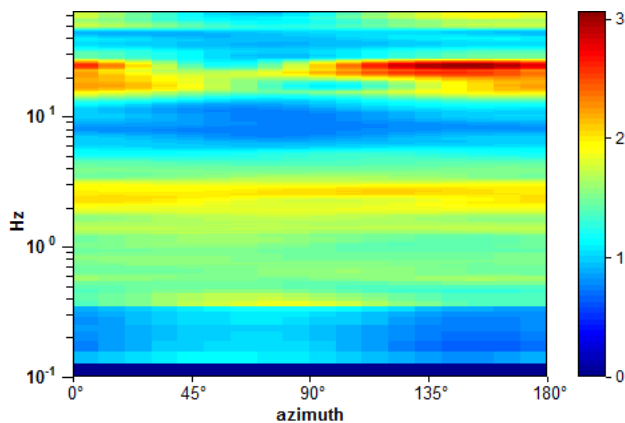
Max. H/V at 24.66 ± 4.19 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



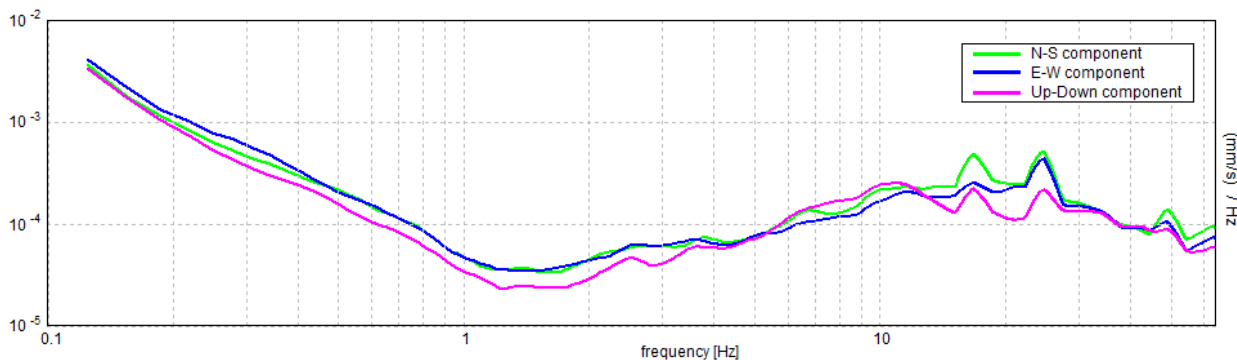
SERIE TEMPORALE H/V



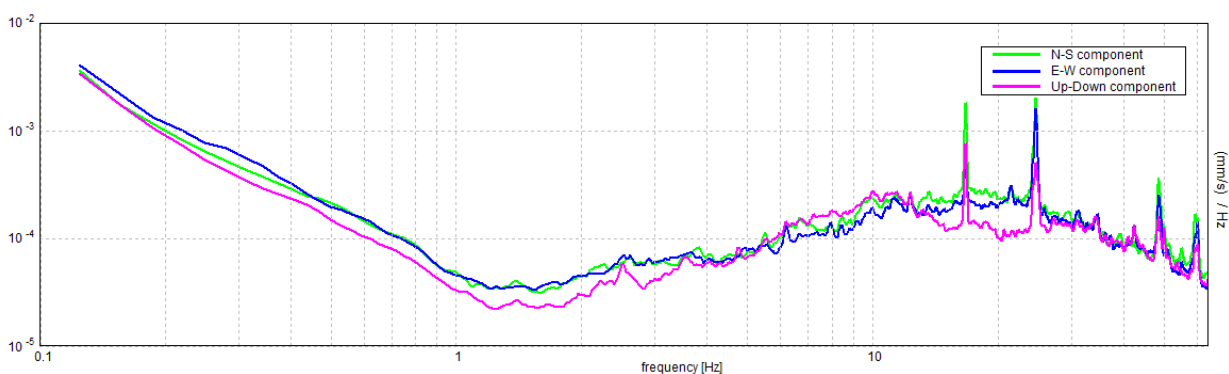
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento AL 10%)



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento all'1%)



Max. H/V at 24.66 ± 4.19 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	$24.66 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$44381.3 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1184	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	12.906 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	31.188 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.32 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.16997 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$4.19095 < 1.23281$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.068 < 1.58$	OK	

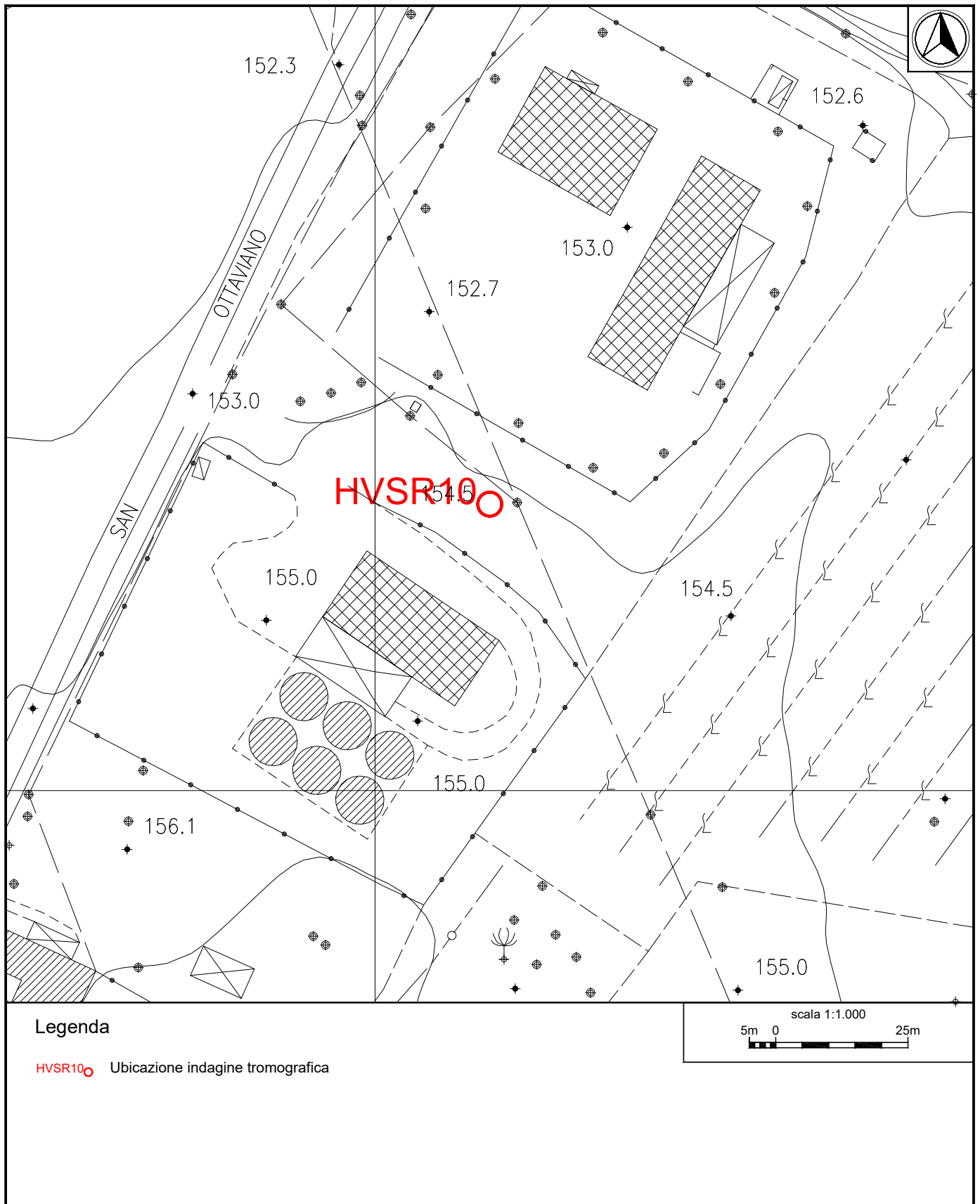


Fig.21: Ubicazione indagine sismica passiva HVSr10.



Indagine sismica passiva HVSr10 – Documentazione fotografica.

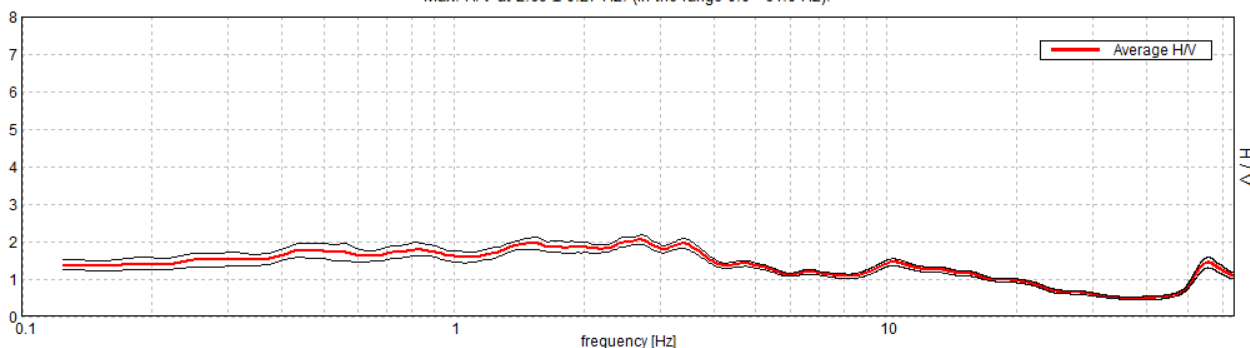
J18_076_10_15_VOLTERRA_TR, MAZZOLLA HVSR11

Instrument: TEP-0085/01-10
 Data format: 16 byte
 Full scale [mV]: n.a.
 Start recording: 15/10/18 12:08:56 End recording: 15/10/18 12:38:57
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
 GPS data not available

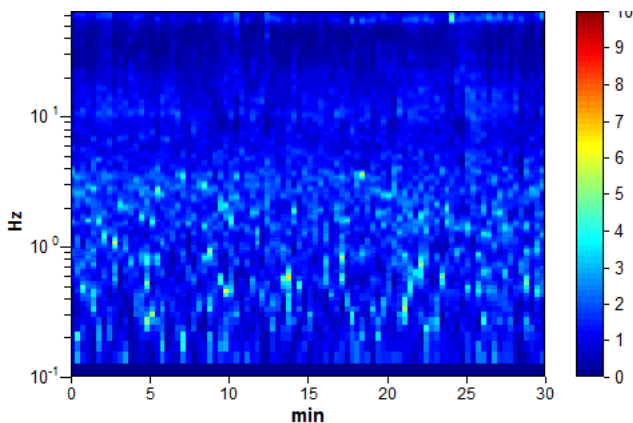
Trace length: 0h30'00". Analysis performed on the entire trace.
 Sampling rate: 128 Hz
 Window size: 20 s
 Smoothing type: Triangular window
 Smoothing: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

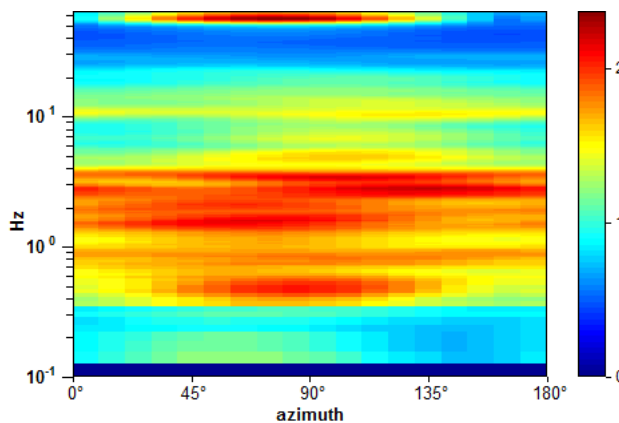
Max. H/V at 2.69 ± 0.27 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



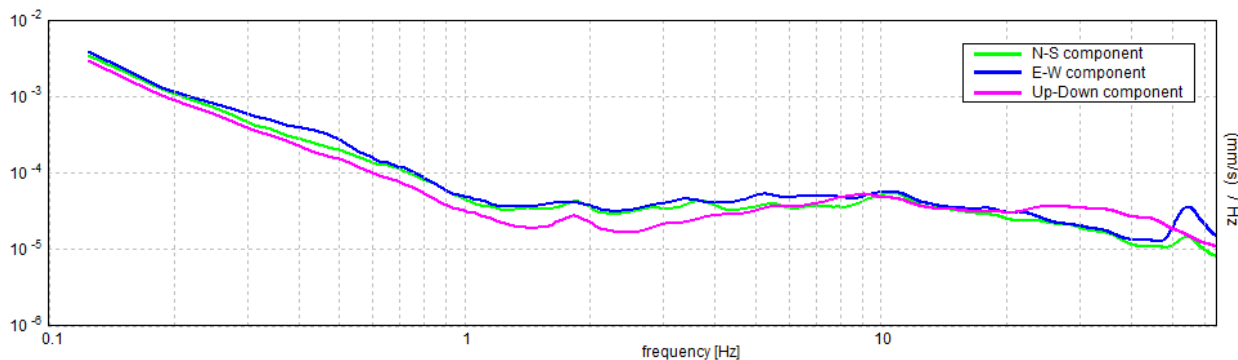
SERIE TEMPORALE H/V



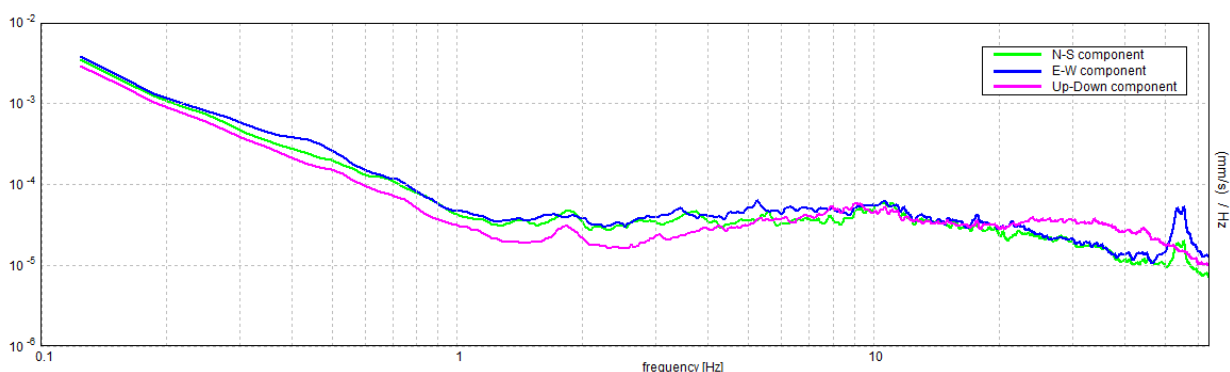
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento AL 10%)



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento all'1%)

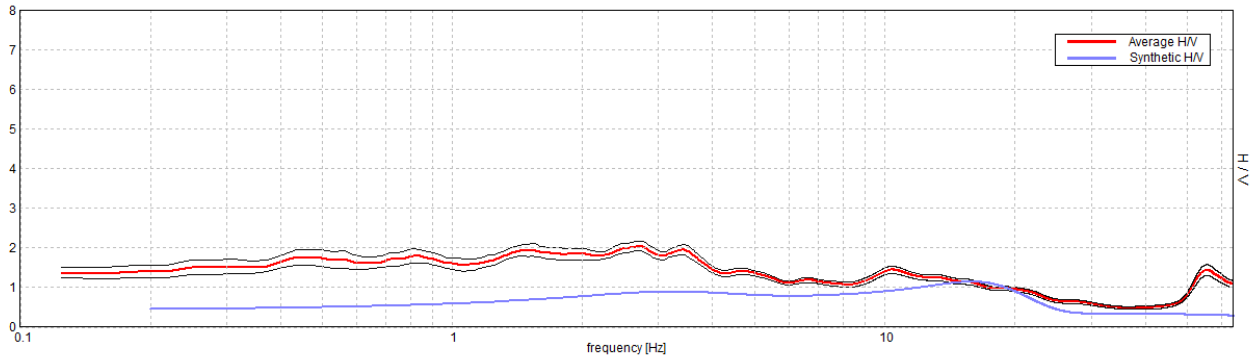


Max. H/V at 2.69 ± 0.27 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	2.69 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	4837.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 130	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.04 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.10172 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.27337 < 0.13438		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1235 < 1.58	OK	

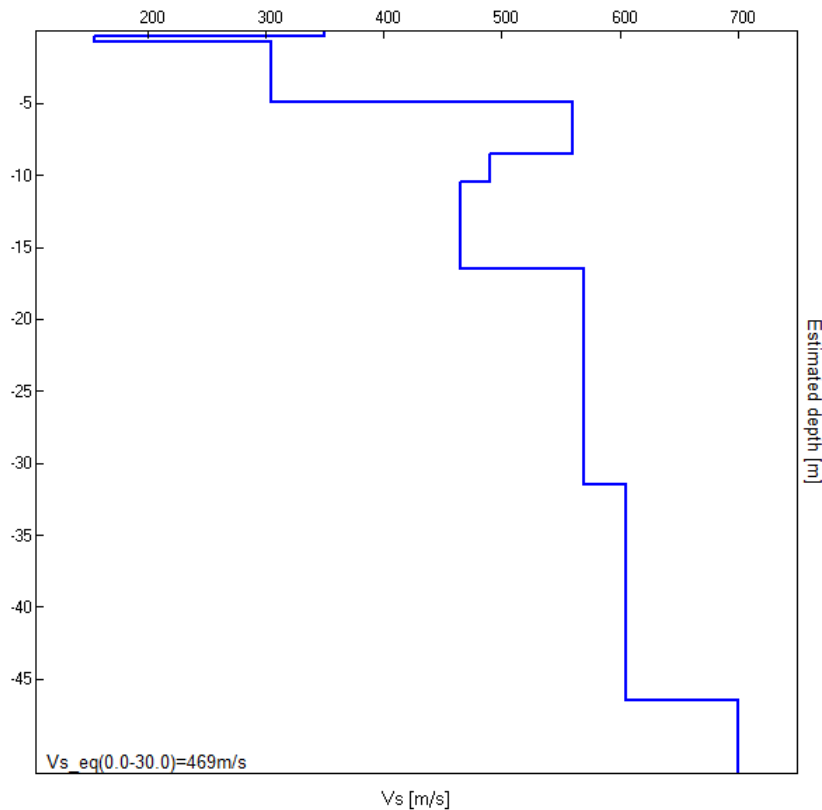
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Picco H/V a 2.69 ± 0.27 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.40	0.40	350
0.70	0.30	155
4.90	4.20	305
8.50	3.60	560
10.50	2.00	490
16.50	6.00	465
31.50	15.00	570
46.50	15.00	605
inf.	inf.	700

Vs_eq(0.0-30.0)=469m/s



Indagine HVS11. Ricostruzione del profilo verticale delle Vs.

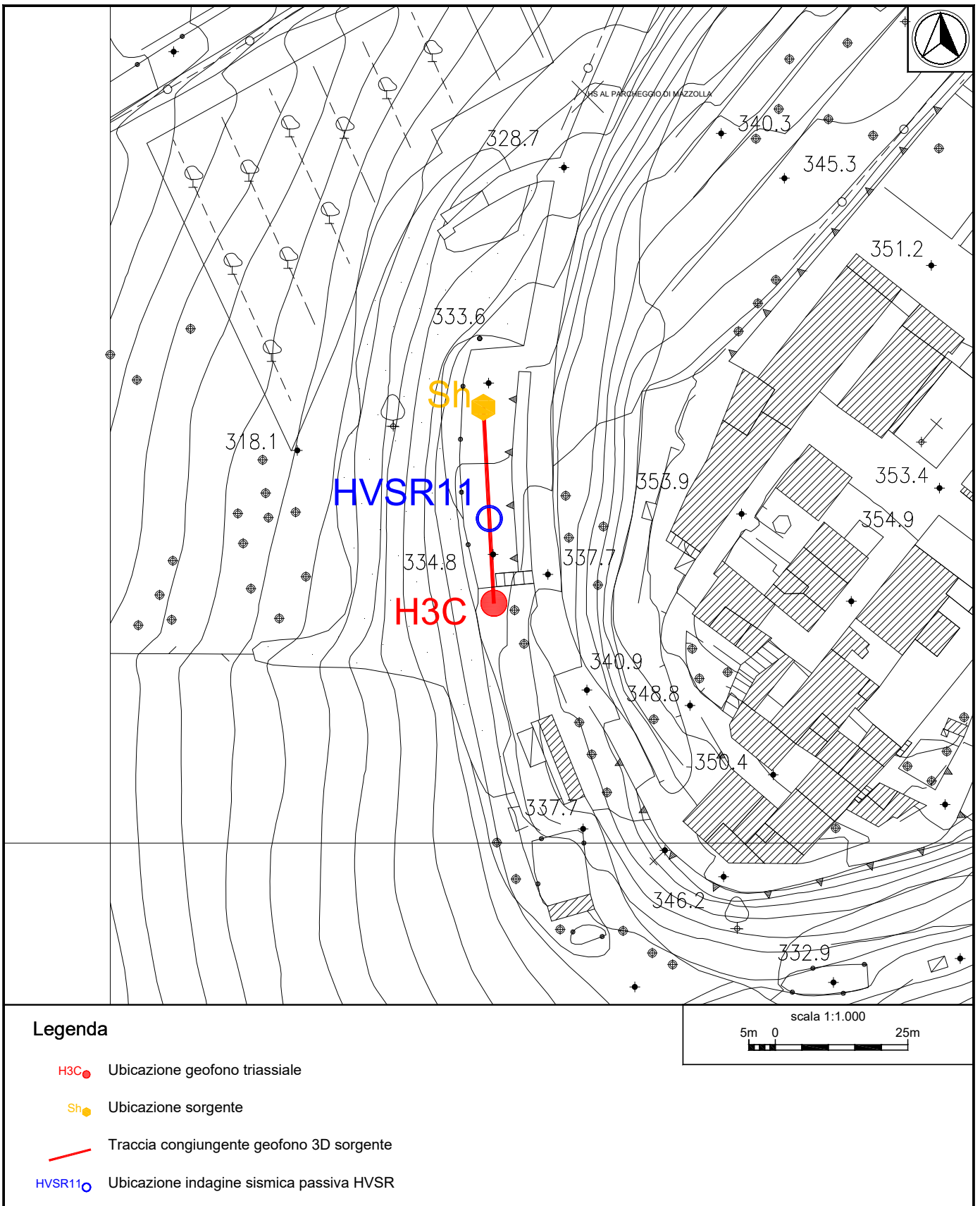


Fig.22: Ubicazione indagine HoliSurface Mazzolla e indagine in sismica passiva HVSR11.



Indagine sismica passiva HVSR11 – Documentazione fotografica.

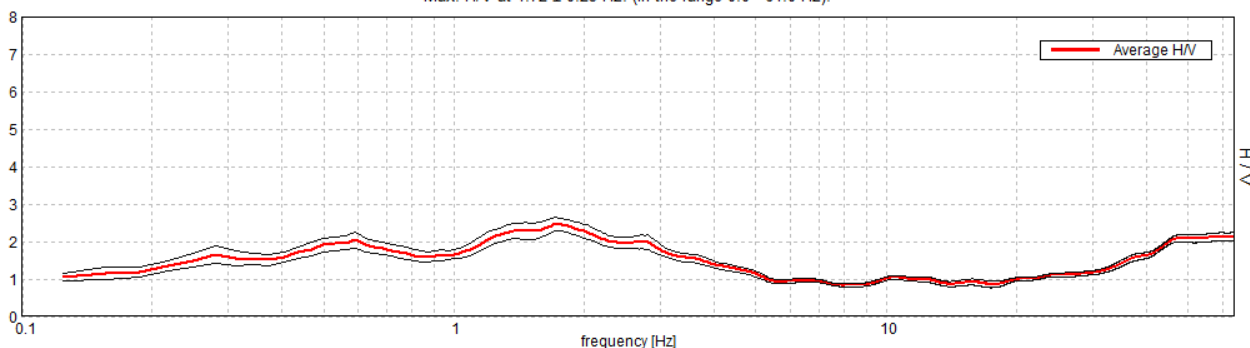
J18_076_10_15_VOLTERRA_TR, RONCOLLA HVSR12

Instrument: TEP-0085/01-10
 Data format: 16 byte
 Full scale [mV]: n.a.
 Start recording: 15/10/18 13:16:44 End recording: 15/10/18 13:46:45
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
 GPS data not available

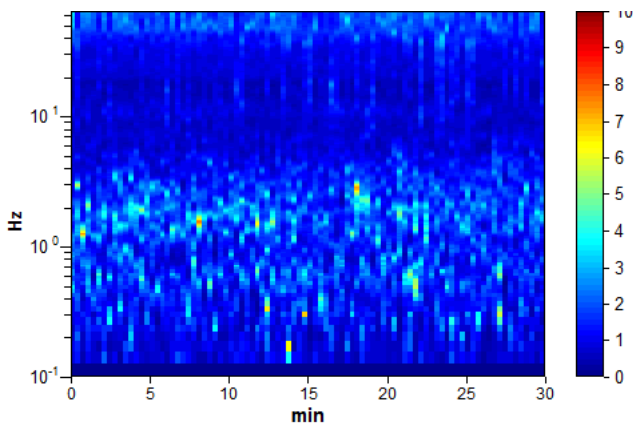
Trace length: 0h30'00". Analysis performed on the entire trace.
 Sampling rate: 128 Hz
 Window size: 20 s
 Smoothing type: Triangular window
 Smoothing: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

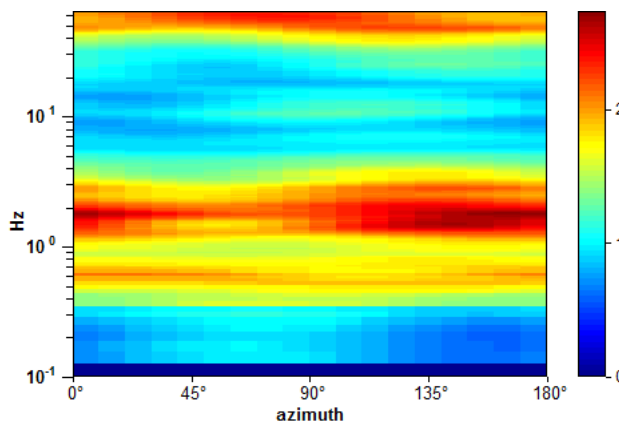
Max. H/V at 1.72 ± 0.25 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



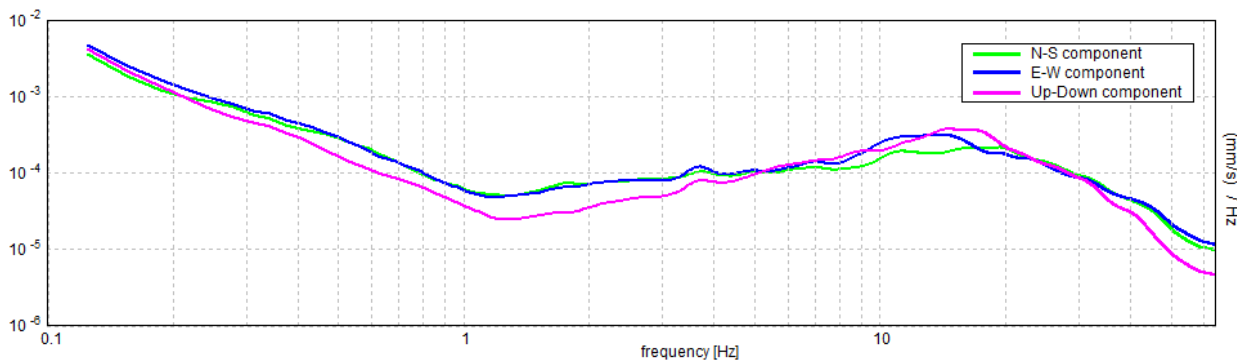
SERIE TEMPORALE H/V



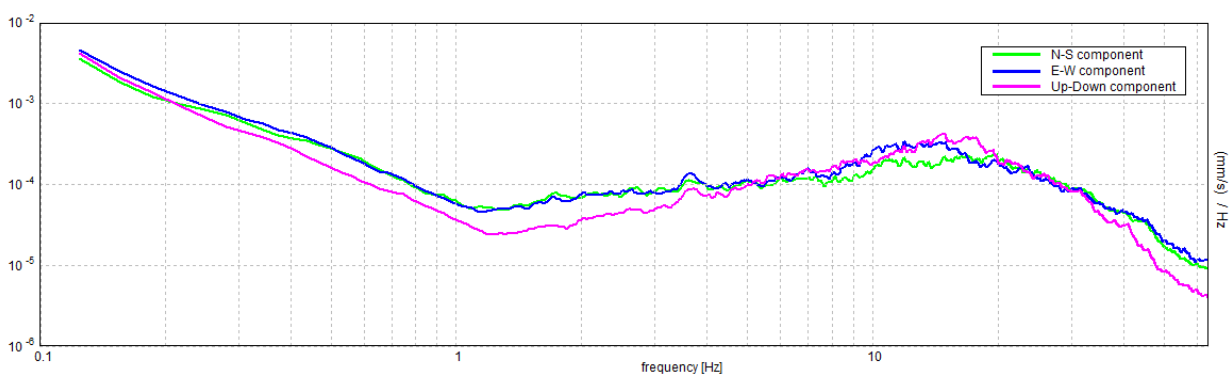
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento AL 10%)



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento all'1%)



Max. H/V at 1.72 ± 0.25 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	1.72 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	3093.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 84	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4.625 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.47 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.1431 < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.24595 < 0.17188		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1724 < 1.78	OK	

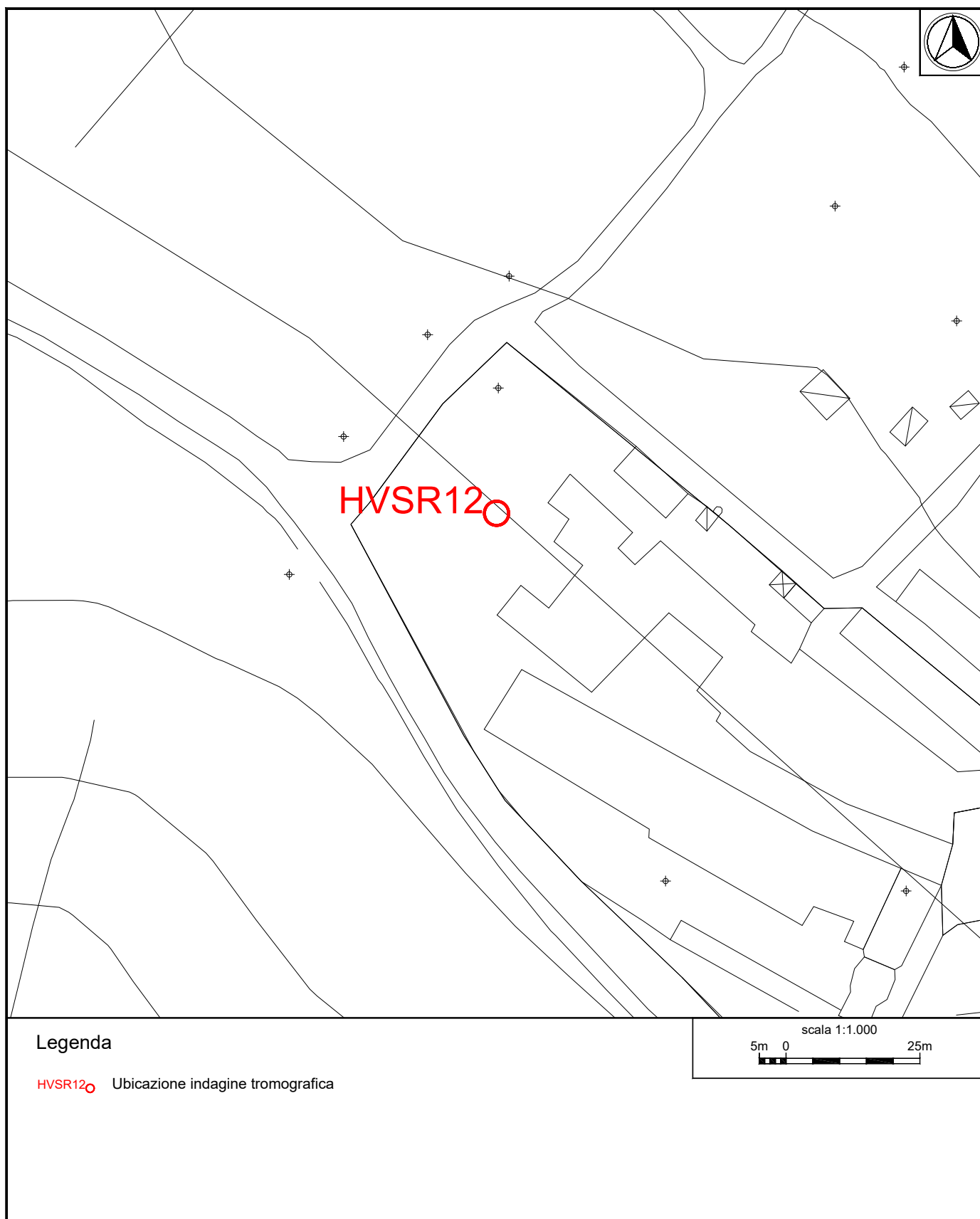


Fig.23: Ubicazione indagine sismica passiva HVSR12.



Indagine sismica passiva HVS12 – Documentazione fotografica.

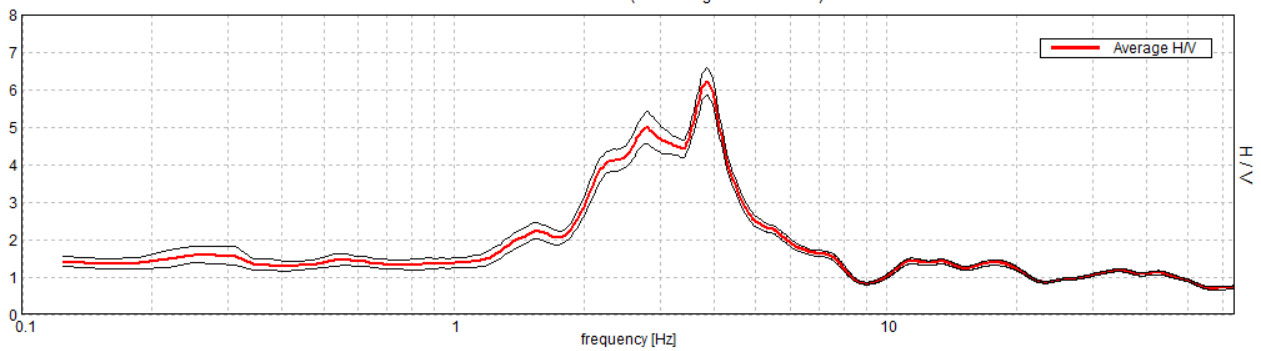
J18_076_10_15_VOLTERRA_TR, SALINE CAMPO SPORTIVO HVSR13

Instrument: TEP-0085/01-10
 Data format: 16 byte
 Full scale [mV]: n.a.
 Start recording: 15/10/18 15:08:40 End recording: 15/10/18 15:38:41
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
 GPS data not available

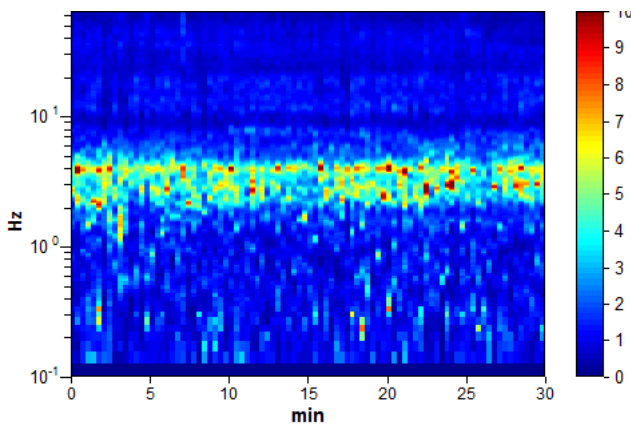
Trace length: 0h30'00". Analysis performed on the entire trace.
 Sampling rate: 128 Hz
 Window size: 20 s
 Smoothing type: Triangular window
 Smoothing: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

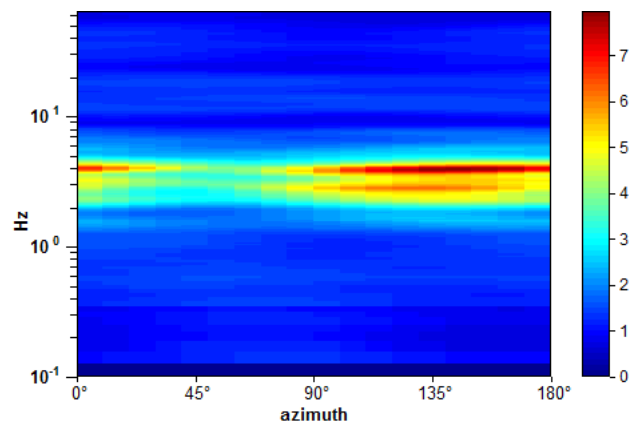
Max. H/V at 3.84 ± 0.13 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



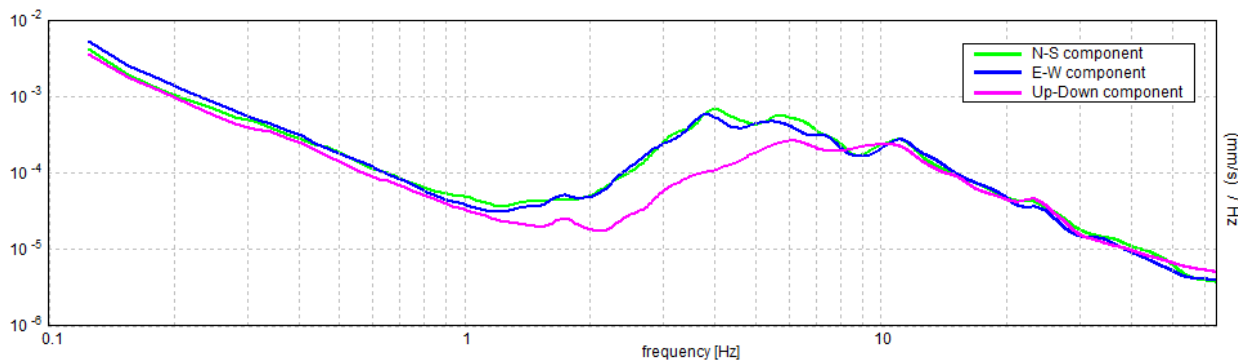
SERIE TEMPORALE H/V



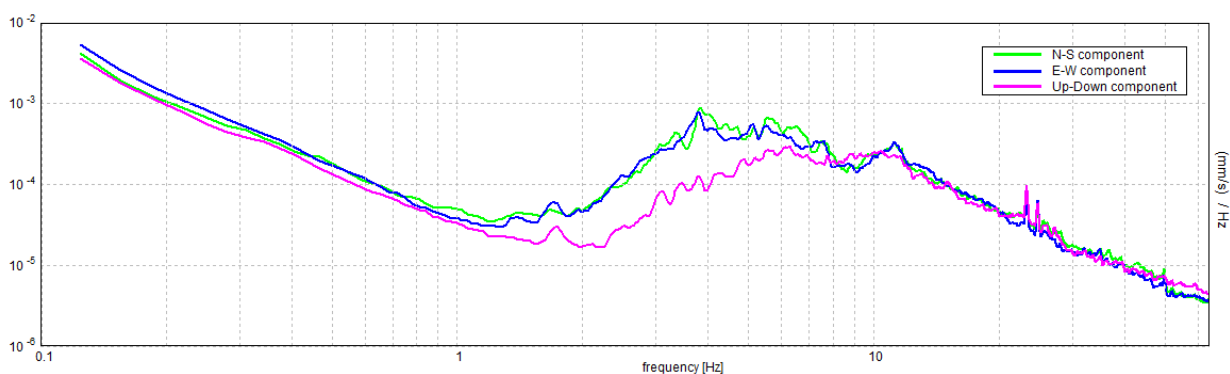
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento AL 10%)



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento all'1%)



Max. H/V at 3.84 ± 0.13 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	3.84 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	6918.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 186	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.031 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4.625 Hz	OK	
$A_0 > 2$	6.21 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.03277 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.12595 < 0.19219	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3602 < 1.58	OK	

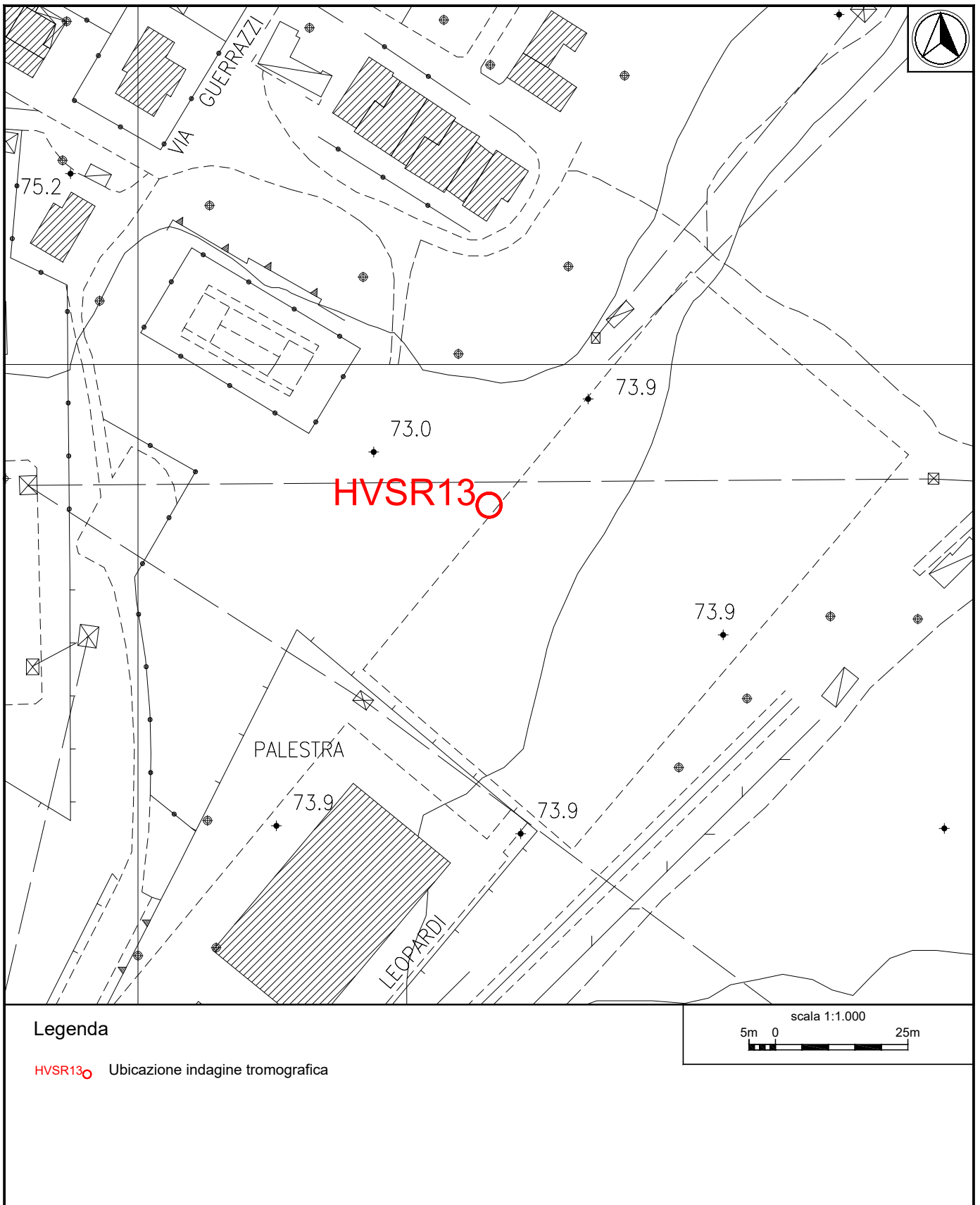


Fig.24: Ubicazione indagine sismica passiva HVSr13.



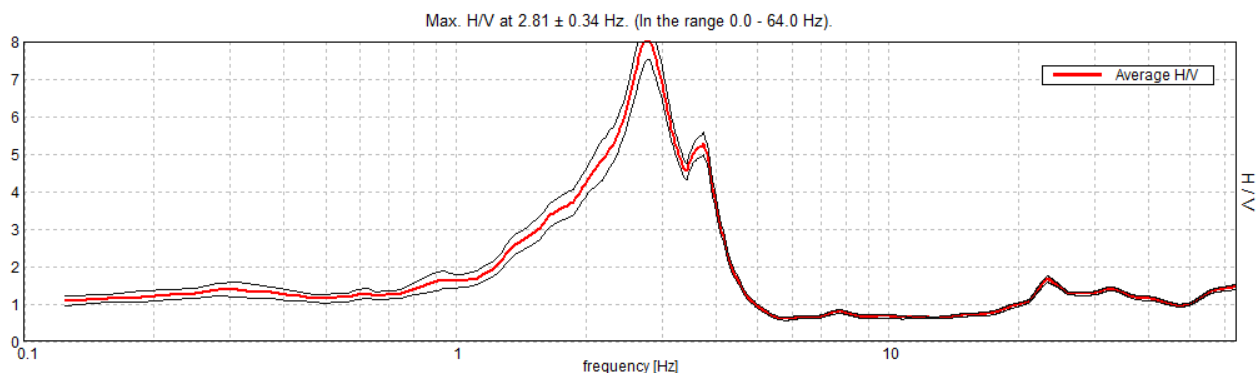
Indagine sismica passiva HVSR13 – Documentazione fotografica.

J18_076_10_15_VOLTERRA_TR, SALINE ZONA INDUSTR. HVSR14

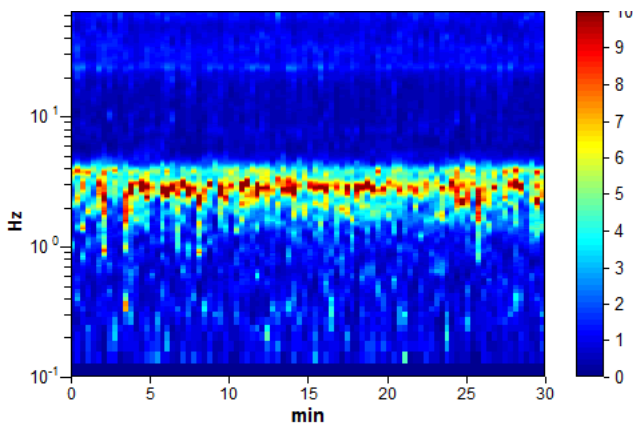
Instrument: TEP-0085/01-10
 Data format: 16 byte
 Full scale [mV]: n.a.
 Start recording: 15/10/18 15:48:13 End recording: 15/10/18 16:18:14
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
 GPS data not available

Trace length: 0h30'00". Analysis performed on the entire trace.
 Sampling rate: 128 Hz
 Window size: 20 s
 Smoothing type: Triangular window
 Smoothing: 10%

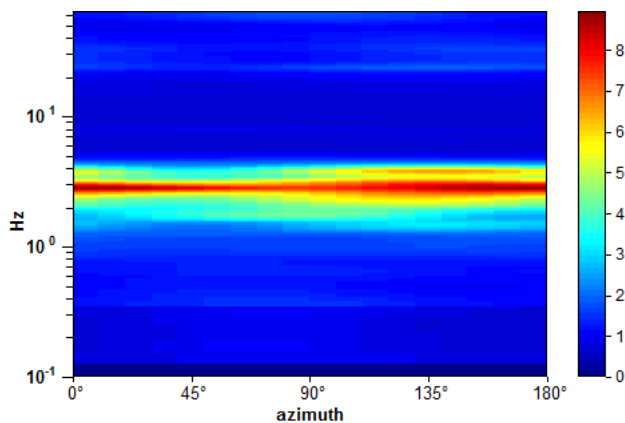
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



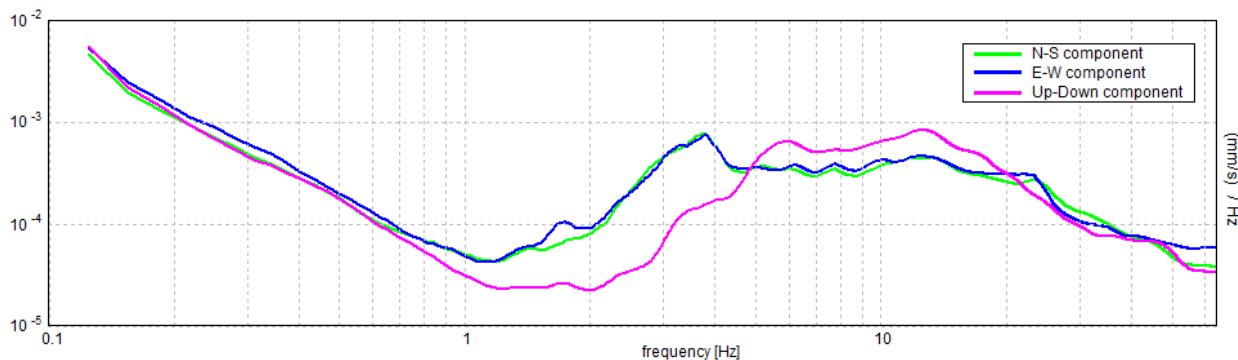
SERIE TEMPORALE H/V



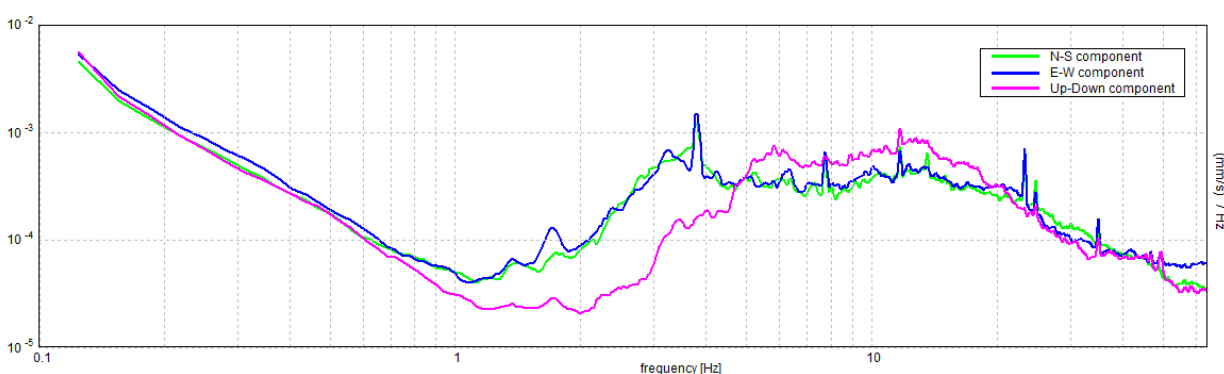
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento AL 10%)



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento all'1%)



Max. H/V at 2.81 ± 0.34 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	2.81 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	5062.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 136	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.938 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.969 Hz	OK	
$A_0 > 2$	8.14 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.12249 < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.34449 < 0.14063		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.6201 < 1.58	OK	

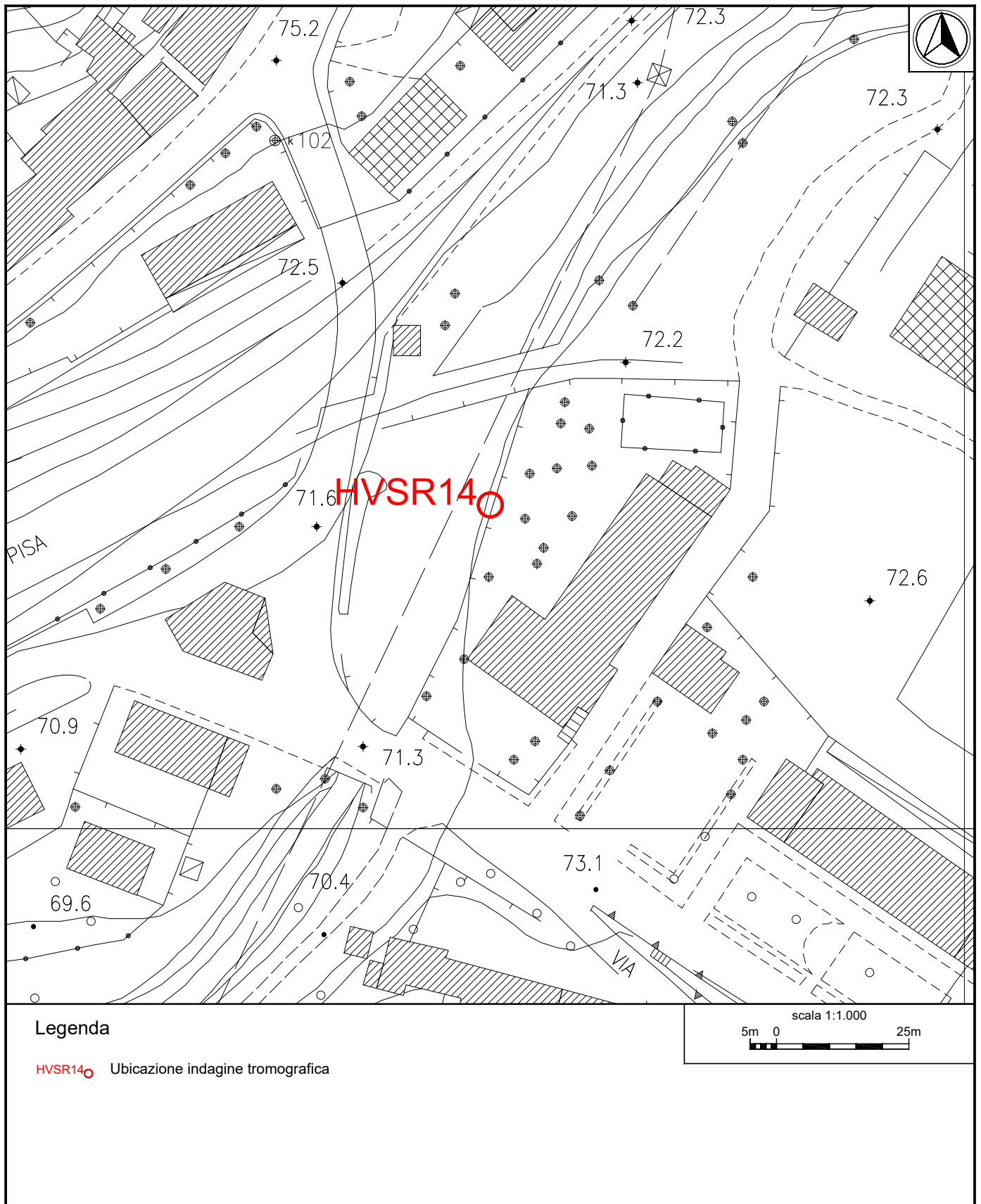


Fig.25: Ubicazione indagine sismica passiva HVSR14.



Indagine sismica passiva HVSR14 – Documentazione fotografica.

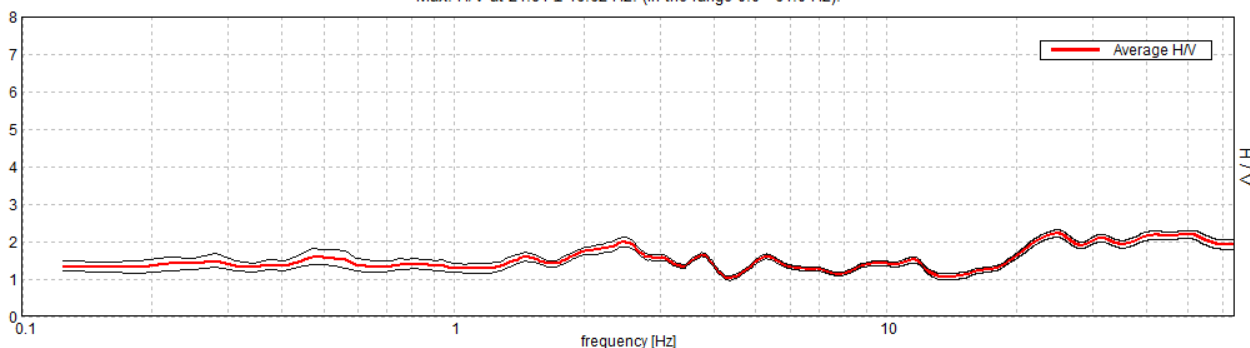
J18_076_10_15_VOLTERRA_TR, SALINE BORGO LISCI HVSR15

Instrument: TEP-0085/01-10
 Data format: 16 byte
 Full scale [mV]: n.a.
 Start recording: 15/10/18 16:34:11 End recording: 15/10/18 17:04:12
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
 GPS data not available

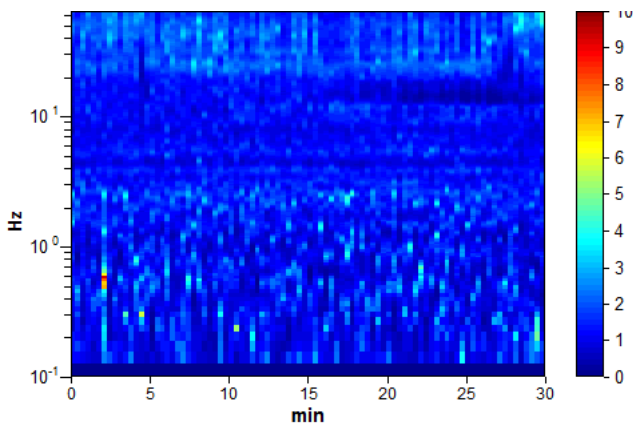
Trace length: 0h30'00". Analysis performed on the entire trace.
 Sampling rate: 128 Hz
 Window size: 20 s
 Smoothing type: Triangular window
 Smoothing: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

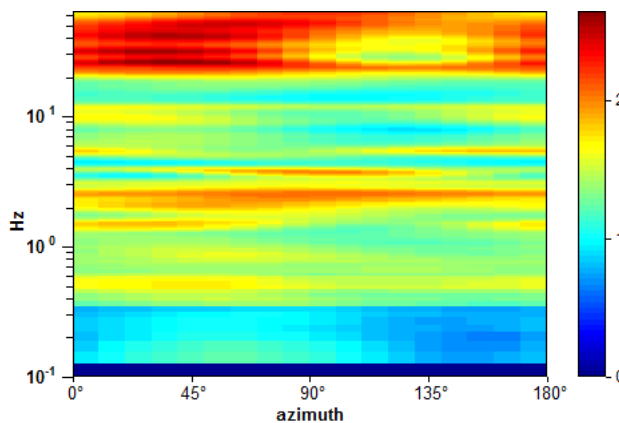
Max. H/V at 24.81 ± 16.62 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



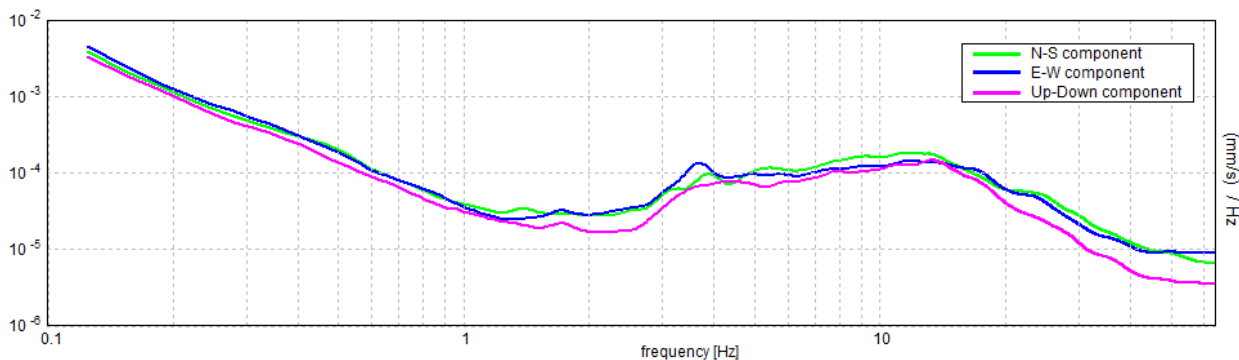
SERIE TEMPORALE H/V



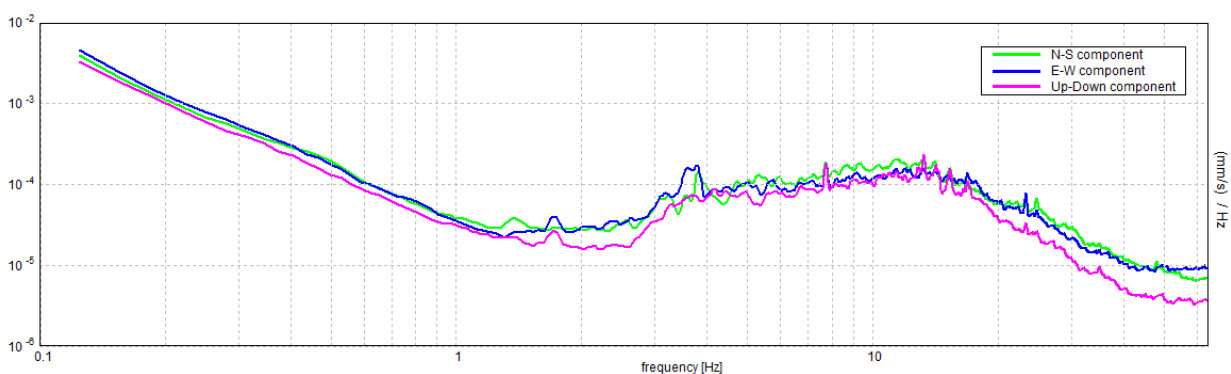
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento AL 10%)



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento all'1%)



Max. H/V at 24.81 ± 16.62 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	24.81 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	44662.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1192	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	15.25 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.22 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.66978 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	16.61883 < 1.24063		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.098 < 1.58	OK	

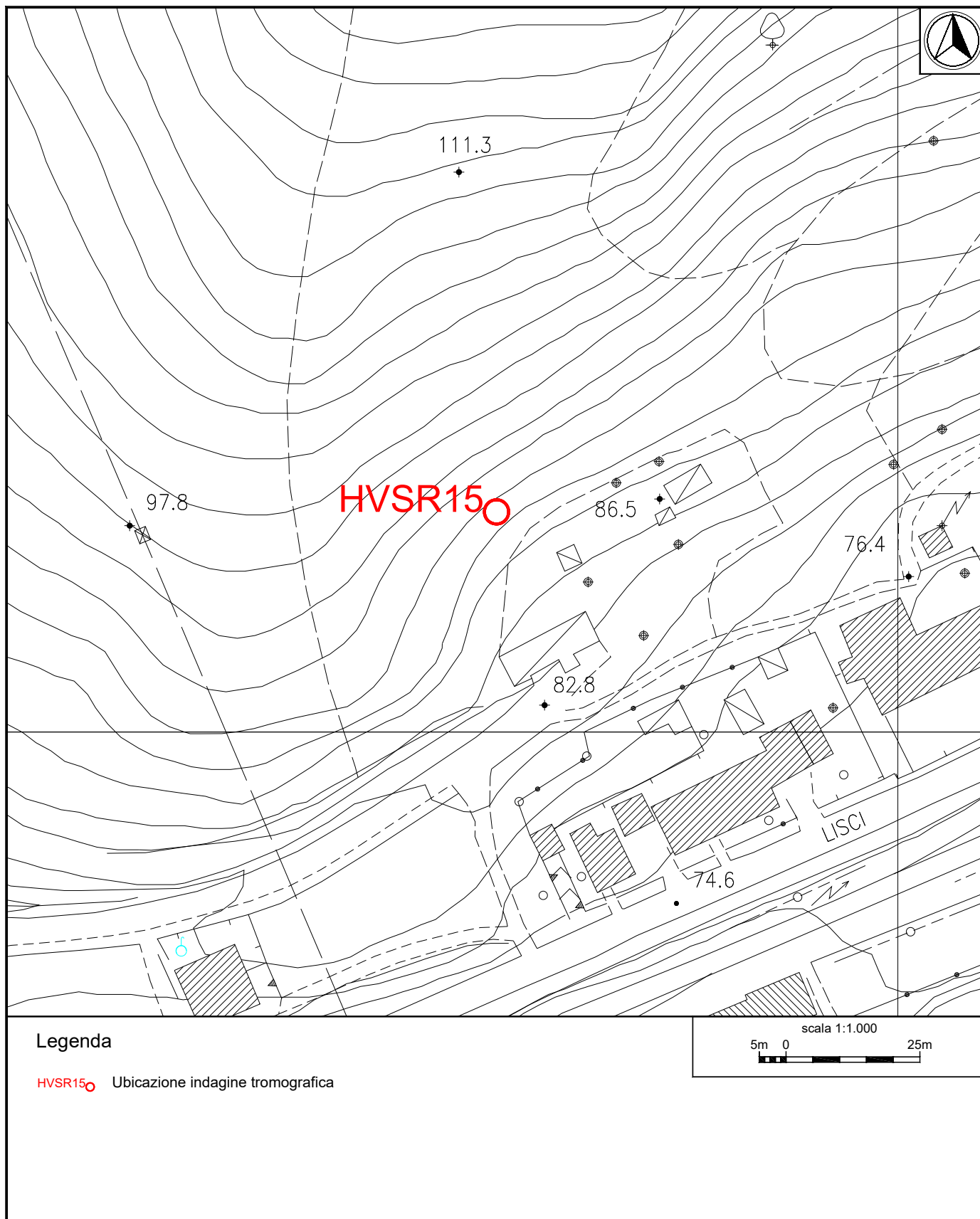


Fig.26: Ubicazione indagine sismica passiva HVSr15.



Indagine sismica passiva HVSr15 – Documentazione fotografica.

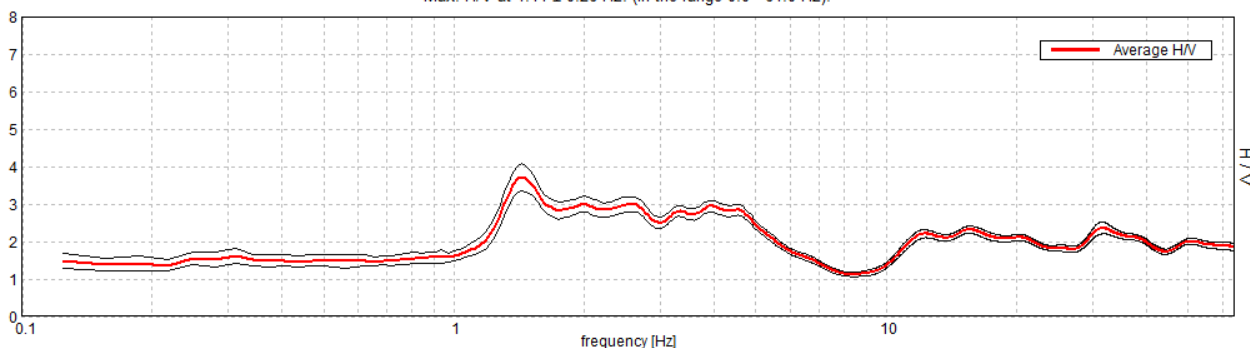
J18_076_10_15_VOLTERRA_TR, SALINE VIA MAZZOLARI HVSR16

Instrument: TEP-0085/01-10
 Data format: 16 byte
 Full scale [mV]: n.a.
 Start recording: 15/10/18 17:15:52 End recording: 15/10/18 17:45:53
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
 GPS data not available

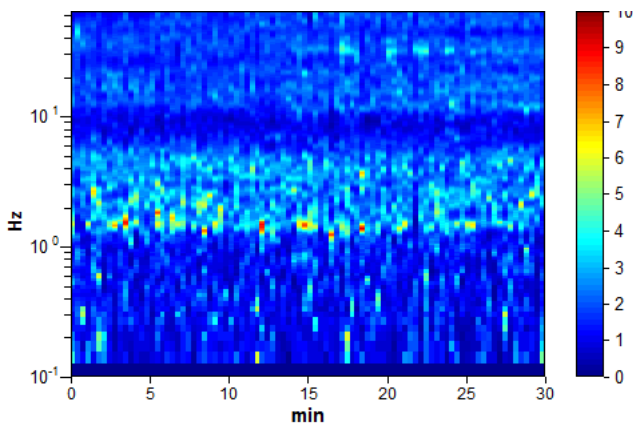
Trace length: 0h30'00". Analysis performed on the entire trace.
 Sampling rate: 128 Hz
 Window size: 20 s
 Smoothing type: Triangular window
 Smoothing: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

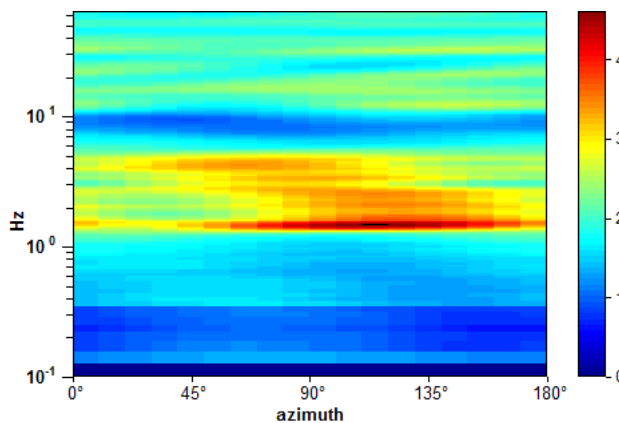
Max. H/V at 1.44 ± 0.26 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



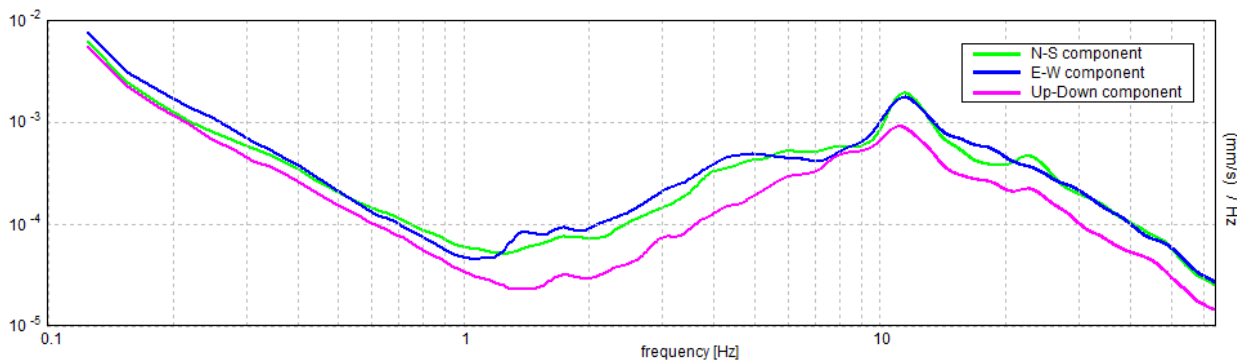
SERIE TEMPORALE H/V



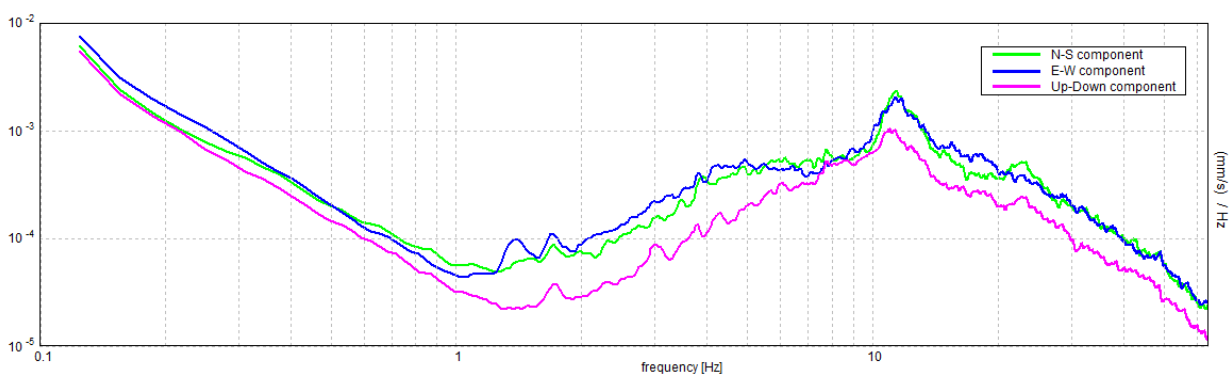
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento AL 10%)



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento all'1%)



Max. H/V at 1.44 ± 0.26 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	1.44 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	2587.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 70	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.125 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	3.71 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.18401 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.26451 < 0.14375		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3551 < 1.78	OK	

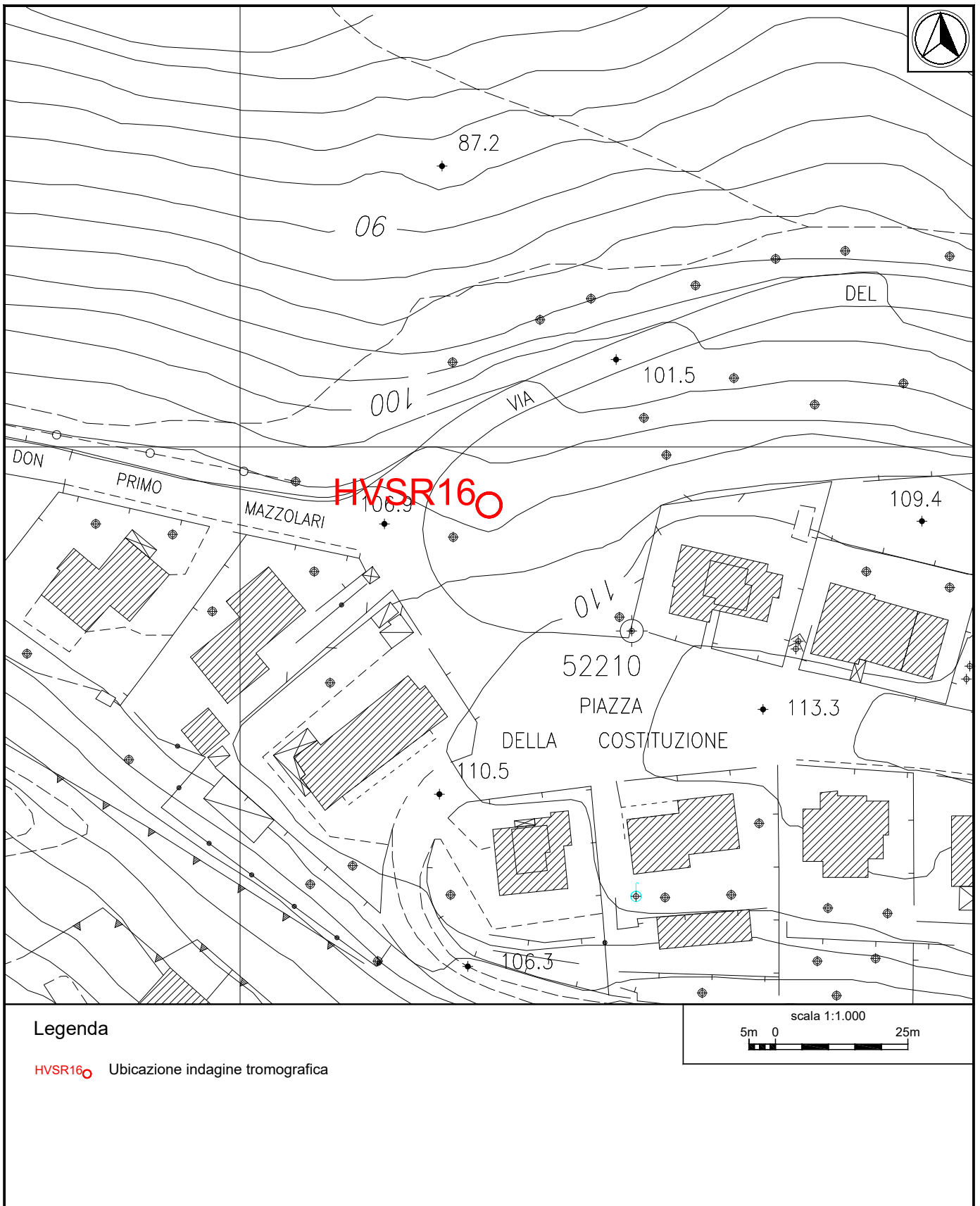


Fig.27: Ubicazione indagine sismica passiva HVSR16.



Indagine sismica passiva HVS16 – Documentazione fotografica.