



ALLEGATO 2

Indagini geofisiche (Techgea Srl)

Committente:

Comune di La Loggia

Progetto:

Indagini e studi a supporto della microzonazione sismica con grado di approfondimento corrispondente al livello I degli ICMS



Relazione n:	25-279
Redatto da:	Dott. Geol. Emmanuele Duò
Controllato da:	Dott. Geol. Mario Naldi
Data:	Settembre 2025
Revisione:	0

Sommario

1. INTRODUZIONE	1
2. UBICAZIONE INDAGINI	1
3. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA ED ELABORAZIONE DATI.....	3
3.1. INDAGINI SISMICHE PER ONDE DI SUPERFICIE (MASW).....	3
3.2. MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE.....	4
4. RISULTATI OTTENUTI.....	6
4.1. CLASSIFICAZIONE SISMICA DI SITO	6
5. RAPPORTO SPETTRALE H/V E FREQUENZE DI RISONANZA	9
6. CONCLUSIONI	12

In allegato:

Appendice A	Certificati indagini MASW
Appendice B	Report misure di rumore sismico ambientale
Appendice C	Cenni sulla metodologia sismica per onde di superficie
Appendice D	Cenni sulle misure di rumore sismico ambientale

1. INTRODUZIONE

La presente relazione illustra e descrive le indagini sismiche per onde di superficie e le misure di rumore sismico ambientale realizzate nei giorni 5 e 11 agosto 2025 per conto del Comune di La Loggia, in corrispondenza di diversi punti di indagine distribuiti su tutto il territorio comunale. La campagna di indagini è stata progettata dal Consulente Tecnico del Comune, Dott. Geol. Balestro, che ne ha definito ubicazione e caratteristiche, in relazione agli obiettivi e alle finalità dello studio stesso.

Le indagini sismiche per onde di superficie o MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono finalizzate a definire il modello di velocità delle onde di taglio ed il parametro V_{s30} per la classificazione sismica dei suoli.

Le misure di rumore simico ambientale analizzate mediante la tecnica dei rapporti spettrali “HVSR” (Nakamura 1989) consentono di definire la frequenza caratteristica di sito.

Entrambe le tipologie di misura sono finalizzate ad assistere le valutazioni relative alla microzonazione sismica del territorio comunale secondo quanto previsto nell'allegato A della D.G.R. n. 17 – 2172 della Regione Piemonte.

I risultati delle analisi sono illustrati nei report tecnici allegati al testo e commentati nelle pagine seguenti.

2. UBICAZIONE INDAGINI

La disposizione dei punti di misura è illustrata in planimetria su base ortofotogrammetrica satellitare *Google Satellite* (Figura 1 a pagina seguente).

Di seguito sono riportate le coordinate del centro stendimento per le tre prove sismiche per onde di superficie e le coordinate dei punti scelti per le misure di rumore sismico ambientale (Tabella 1).

PUNTO	EST (m)	NORD (m)	PUNTO	EST (m)	NORD (m)
M1	394173.5	4979081.2	S05	395846.49	4978960.3
M2	395248.4	4979297.4	S06	394891.78	4978666.62
M3	394966.6	4977743.9	S07	395584.18	4978598.94
S01	394171.76	4979079.87	S08	394810.75	4978298.04
S02	394758.22	4979405.04	S09	394212.72	4977689.56
S03	395246.96	4979295.4	S10	394829.84	4977458.11
S04	394843.59	4979070.88			

Tabella 1: coordinate proiettate dei centri stendimento e dei punti di misura nel sistema di riferimento WGS84 UTM

L'ubicazione delle sezioni viene riportata in Figura 1 a pagina seguente (e in Tavola 1) su foto satellitare (fonte Google Earth).



Figura 1: Ubicazione indagini sismiche

3. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA ED ELABORAZIONE DATI

3.1. INDAGINI SISMICHE PER ONDE DI SUPERFICIE (MASW)

L'acquisizione dei dati sismici è stata realizzata con sismografo Daq Link IV (Seismic Source, USA) a 24 canali. L'unità di acquisizione, dotata di un convertitore analogico/digitale a 24 bit (unità Daq Link IV), è fornita di una connessione di rete standard 10/100 (base RJ45) per la comunicazione con un laptop su cui è installato il software (VibraScope ® v.2.4.40) che gestisce la visualizzazione, l'analisi e la memorizzazione delle forme d'onda registrate.



Figura 2: Strumentazione utilizzata – Sismografo Daq Link IV

I sensori utilizzati (geofoni, Weihai Sunfull) possiedono una frequenza di risonanza pari a 4,5 Hz per l'acquisizione in onde di superficie con distorsione inferiore allo 0.2%. L'interdistanza geofonica adottata per le indagini in onde di superficie è stata pari a 1,5 metri.

La generazione del segnale sismico è stata realizzata con mazza da 10 Kg dotata di interruttore inerziale in corrispondenza di 7 basi di energizzazione disposte ad un'estremità dello stendimento.

Nella Figura 3 a pagina seguente si riporta, a titolo di esempio, uno *shot gather* acquisito in sito.

I dati relativi alle indagini MASW sono stati elaborati con il software Surfseis V. 6.4.1 (Kansas University, USA), che analizza la curva di dispersione sperimentale per le onde di Rayleigh. L'inversione numerica della curva, secondo un processo iterativo ai minimi quadrati, consente di ottenere un profilo di velocità delle onde di taglio nel sottosuolo.

Cenni teorici relativi alla metodologia di indagine sono riportati in Appendice C.

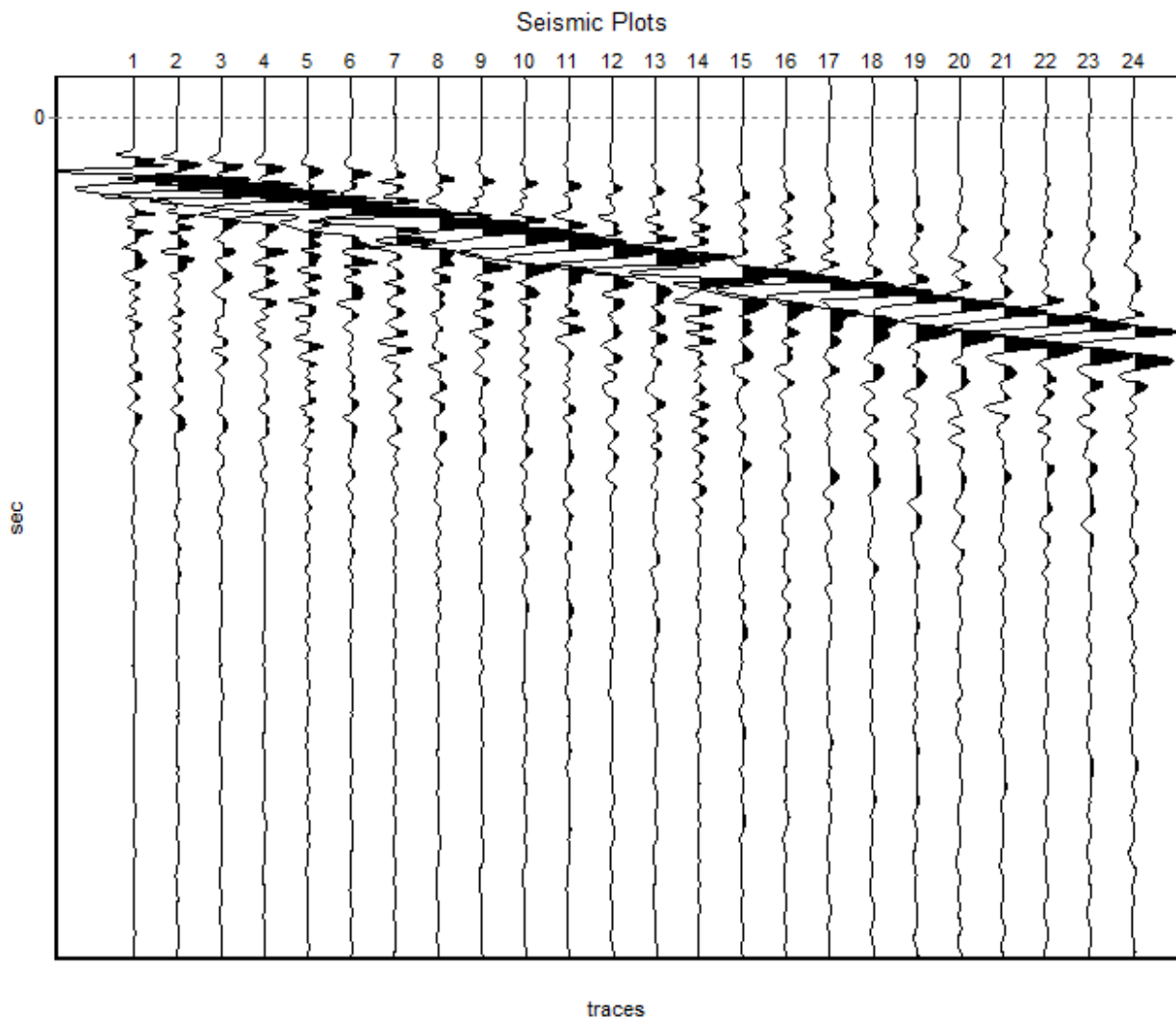


Figura 3: Shot gather acquisito durante la prova M3

3.2. MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE

L'acquisizione dei dati di rumore ambientale è stata effettuata con standard definiti dal progetto SESAME (Acerra et. Al, 2004) mediante il sismometro SL06 prodotto da SARA Electronic Instruments. Lo strumento è costruito con 3 sensori (velocimetri da 2/4.5 Hz di frequenza naturale), un digitalizzatore a 24 bit, un ricevitore GPS ed un'unità di calcolo/datalogger.

La fase di acquisizione dei dati di rumore sismico ambientale procede attraverso i seguenti passaggi:

- scelta del sito ottimale in relazione alla presenza di elementi di disturbo quali erba alta, alberi, ecc.;
- preparazione del suolo (rimozione dello strato di terreno con apparati radicali o rimozione di erba o riporto di sabbia;
- precisa messa in bolla dello strumento onde evitare distorsioni nella risposta;

- sorveglianza dello strumento a distanza maggiore di 100 metri.

Le condizioni meteorologiche, e la documentazione fotografica sono riportate nelle pagine 1 e 2 del certificato predisposto per ciascuna prova (vedi Allegato A).

I principali parametri utilizzati nell'acquisizione dei dati sono i seguenti:

- frequenza di campionamento ≥ 200 sps;
- durata registrazione ≥ 40 minuti.

Le misure di rumore sismico a stazione singola sono state elaborate con il metodo di Nakamura (1989) attraverso il software Geoxplorer HVSR, distribuito da Sara Electronics Instruments.

Per l'elaborazione dei dati e la determinazione della frequenza fondamentale si è proceduto al calcolo del rapporto H/V analizzando il segnale con i seguenti parametri:

- finestre temporali di ampiezza maggiore di 40 s, con sovrapposizione massima del 5%, in numero maggiore di 20;
- rimozione manuale degli intervalli temporali con segnale non stazionario;
- lisciamento degli spettri tramite l'operatore di Konno e Ohmachi (1998).



Figura 4 – Strumentazione utilizzata – Registratore sismico SL06

Cenni teorici relativi alla metodologia di indagine sono riportati in Appendice D.

4. RISULTATI OTTENUTI

I risultati delle indagini geofisiche sono presentati in singoli report in allegati al testo del presente documento; nel seguito del capitolo si illustrano e commentano i dati ottenuti.

4.1. CLASSIFICAZIONE SISMICA DI SITO

Secondo la normativa sismica vigente, costituita per la Regione Piemonte dalla D.G.R. n. 6-887 del 30.12.2019 e s.m.i., il Comune di La Loggia ricade in zona sismica 3.

Il DM 17-01-2018 individua come parametro di riferimento per la classificazione sismica dei suoli la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ (in m/s) e viene calcolato mediante l'espressione:

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

dove h_i e V_i indicano rispettivamente lo spessore (in m) e la velocità (in m/s) delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti tra il piano campagna ed il 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 metri, 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.

PROVA MASW 1

Il modello di velocità delle onde di taglio ottenuto mediante la prova MASW M1 evidenzia una successione stratigrafica media costituita da tre sismostrati fondamentali:

Livello	Profondità [m da p.c.]	Descrizione	Velocità V_s [m/s]
1	0 ÷ 11	Primo sismostrato costituito da depositi rimaneggiati e depositi scarsamente addensati	190 ÷ 240
2	11 ÷ 26	Secondo sismostrato, definito da depositi a grado d'addensamento moderato	340 ÷ 370
3	26 ÷ 30	Terzo sismostrato, definito da depositi a grado d'addensamento medio-alto	490

Tabella 2 – Assetto sismo-stratigrafico emerso dalla prova MASW 1

Il valore di $V_{S,eq}$ (V_{S30}) calcolato tra il piano campagna e la quota del substrato sismico è pari a 294 m/s. E' pertanto possibile definire il contesto geotecnico esaminato come suolo di classe sismica "C".

Suolo	Descrizione geotecnica	V_{S30} [m/s]
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	294 m/s

Tabella 3: Definizione classe sismica di sito

PROVA MASW 2

Il modello di velocità delle onde di taglio ottenuto mediante la prova MASW M2 evidenzia una successione stratigrafica media costituita da due sismostrati fondamentali:

Livello	Profondità [m da p.c.]	Descrizione	Velocità V_s [m/s]
1	0 ÷ 12	Primo sismostrato costituito da depositi rimaneggiati e depositi scarsamente addensati	160 ÷ 230
2	12 ÷ 28	Secondo sismostrato, definito da depositi a grado d'addensamento medio-alto.	290 ÷ 414
3	28 ÷ 30	Terzo sismostrato, caratterizzato da depositi a grado d'addensamento alto.	660

Tabella 4 – Assetto sismo-stratigrafico emerso dalla prova MASW 2

Il valore di $V_{S,eq}$ (V_{S30}) calcolato al piano campagna è pari a 260 m/s. E' pertanto possibile definire il contesto geotecnico esaminato come suolo di classe sismica "C".

Suolo	Descrizione geotecnica	V_{S30} [m/s]
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	260 m/s

Tabella 5: Definizione classe sismica di sito

PROVA MASW 3

Il modello di velocità delle onde di taglio ottenuto mediante la prova MASW M3 evidenzia una successione stratigrafica media costituita da tre sismostrati fondamentali:

Livello	Profondità [m da p.c.]	Descrizione	Velocità Vs [m/s]
1	0 ÷ 12	Primo sismostrato costituito da depositi a grado d'addensamento basso	200 ÷ 240
2	12 ÷ 30	Secondo sismostrato, definito da depositi eterogenei a grado d'addensamento medio	280 ÷ 380

Tabella 6 – Assetto sismo-stratigrafico emerso dalla prova MASW 3

Il valore di $V_{s,eq}$ (V_{s30}) calcolato al piano campagna è pari a 266 m/s. E' pertanto possibile definire il contesto geotecnico esaminato come suolo di classe sismica "C".

Suolo	Descrizione geotecnica	V_{s30} [m/s]
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	266 m/s

Tabella 7: Definizione classe sismica di sito

5. RAPPORTO SPETTRALE H/V E FREQUENZE DI RISONANZA

I risultati delle indagini sono riportati in appendice al testo. I report di prova stilati per ciascuna misura di rumore sismico ambientale comprendono le seguenti informazioni:

- pagina 1: tipo di strumento utilizzato ed informazioni geografiche (e GPS) sul sito;
- pagina 2: documentazione fotografica;
- pagina 3: tempo UTC della prova, durata della misura, numero ed ampiezza media delle finestre di selezione del segnale e parte di sismogramma utilizzato. Sono riportati anche i sismogrammi relativi a ciascun canale strumentale (nell'ordine verticale, N-S ed E-W);
- pagina 4: rapporto spettrale H/V e singole componenti spettrali lisce con l'operatore di Konno e Ohmachi;
- pagina 5: grafici di stazionarietà e direzionalità dei rapporti spettrali nel tempo;
- pagina 6: frequenza fondamentale selezionata e soddisfacimento dei criteri SESAME per la chiarezza della curva e del picco.

I dati registrati presentano qualità generale buona. Una minor parte di misure presentano segnali isotropi e stazionari oltre la frequenza di 1 Hz, con rare componenti di disturbo di tipo elettromagnetico che si manifestano quasi esclusivamente alle alte frequenze e non compromettono l'andamento della curva del rapporto spettrale H/V. Sotto la frequenza di 1 Hz la stazionarietà dei singoli rapporti spettrali diminuisce fortemente rendendo la definizione della frequenza fondamentale più complessa.

Nella seguente Tabella 8 sono presentate le caratteristiche delle misure effettuate in termini di stazionarietà, isotropia ([B]assa, [M]edia e [A]lta) e presenza di disturbi elettromagnetici ed i valori di frequenza di picco misurati.

MISURA	ISOTROPIA	STAZIONARIETA'	DIST. EL.	FREQUENZA (Hz)	VALUTAZIONE COMPLESSIVA
S01	M	M	PARZ.	0.75	NO
S02	M	M	NO	0.91	NO
S03	B	B	PARZ.	0.91	NO
S04	M	M	PARZ.	0.75	NO
S05	B	B	PARZ.	0.68	NO
S06	M	M	NO	0.87	SI
S07	M	M	NO	0.75	NO
S08	M	M	PARZ.	0.65	NO
S09	M	M	NO	0.44	NO
S10	B	B	NO	0.65	NO

Tabella 8: Risultati misure di rumore sismico ambientale

Le misure di rumore sismico ambientale elaborate secondo la tecnica dei rapporti spettrali hanno evidenziato in tutti i casi picchi del rapporto spettrale inferiori alla frequenza di 1 Hz. con ampiezze comprese tra 2,5 e 4.

La stazione di misura di rumore sismico ambientale S06 presenta la completa soddisfazione dei criteri SESAME ed evidenzia un picco nella curva dei rapporti spettrali pari a 0.87 Hz. La frequenza di picco 0.75 Hz è stata registrata dalle prove S01, S04 ed S07. Le stazioni di misura S02 ed S03 hanno definito un massimo del rapporto H/V pari a 0.91 Hz. Le rimanenti stazioni hanno definito picchi delle curve compresi tra 0.44 e 0.68 Hz.

Si illustrano nelle seguenti Figure 5-12 i grafici per le singole componenti spettrali non lisciate per tutte le misure effettuate.

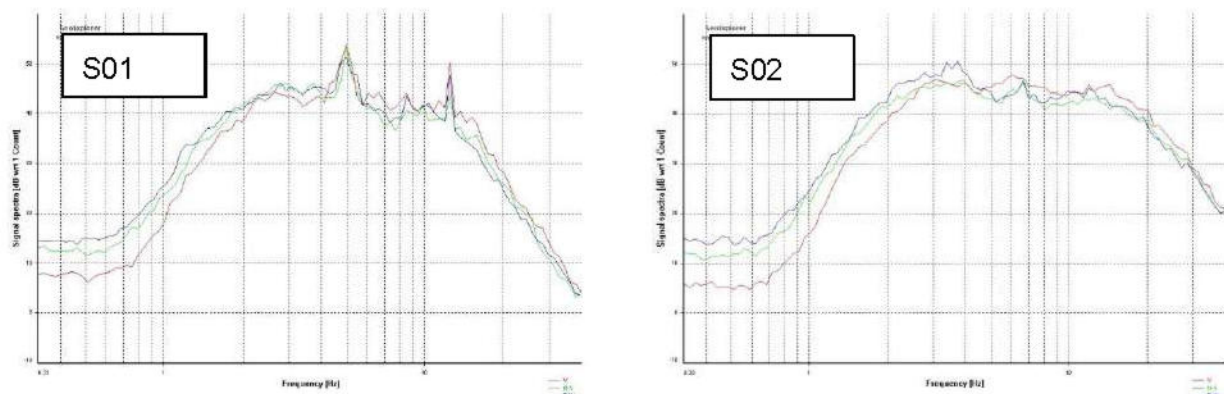


Figura 5: Singole componenti spettrali per le misure S01 e S02

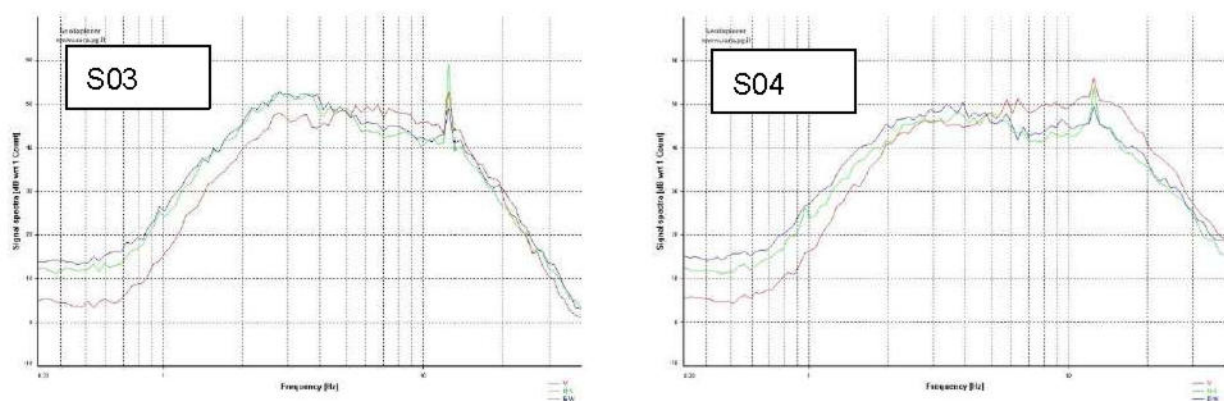


Figura 6: Singole componenti spettrali per le misure S03 e S04

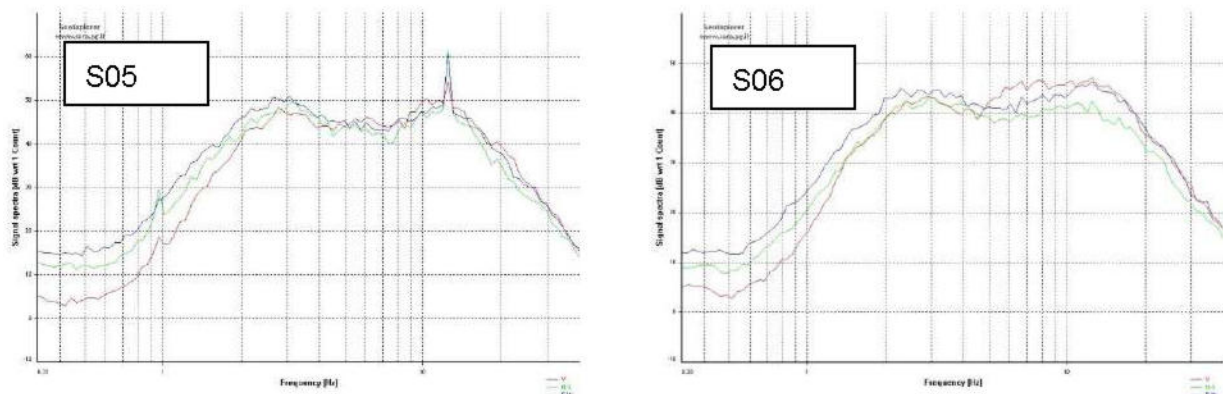


Figura 7: Singole componenti spettrali per le misure S05 e S06

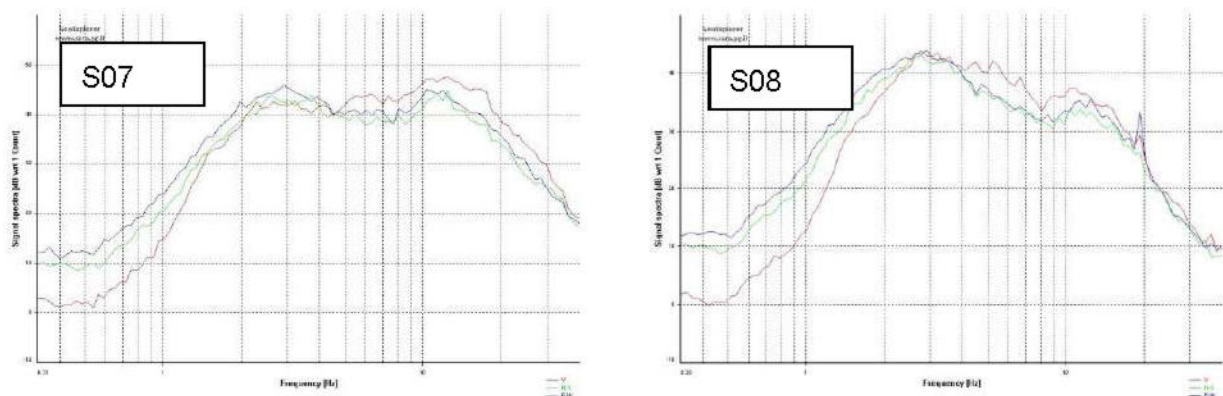


Figura 8: Singole componenti spettrali per le misure S07 e S08

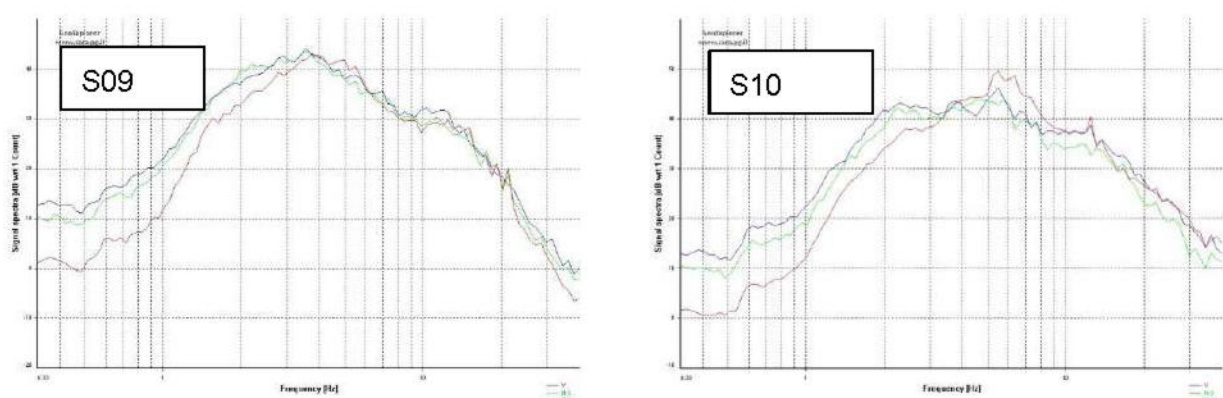


Figura 9: Singole componenti spettrali per le misure S09 e S10

6. CONCLUSIONI

Le indagini sismiche eseguite in agosto 2025 nel comune di La Loggia hanno fornito indicazioni preliminari utili per la definizione del modello geologico-tecnico di sottosuolo, nell'ambito della redazione degli studi di microzonazione sismica del territorio comunale.

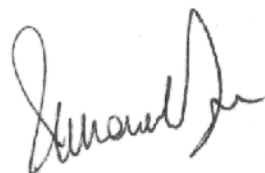
Le indagini per onde di superficie hanno definito la classe sismica di sito individuando terreni con caratteristiche geotecniche compatibili con suoli di tipo C.

Le misure di rumore sismico ambientale hanno evidenziato curve del rapporto spettrale H/V in buona parte dei casi corrette e solo parzialmente affette da disturbi. La correlazione dei picchi misurati con una medesima interfaccia stratigrafica responsabile della risonanza di sito è complessa a causa della variabilità dei massimi stessi. Tuttavia si ritiene possibile utilizzare il valore di 0.87 Hz come stima qualitativa del periodo fondamentale di vibrazione di sito.

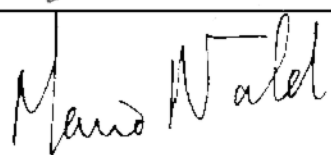
Al fine della ricostruzione delle geometrie sepolte dei corpi sedimentari e con l'obiettivo di collocare in profondità il substrato sismico si noti che, attraverso le misure effettuate e descritte nel presente studio, è possibile stimare uno spessore delle sequenze sedimentarie pari o superiore ai 90 metri dal p.c.

Techgea S.r.l.

Redatto da: Dott. Geol. Emmanuele Duò



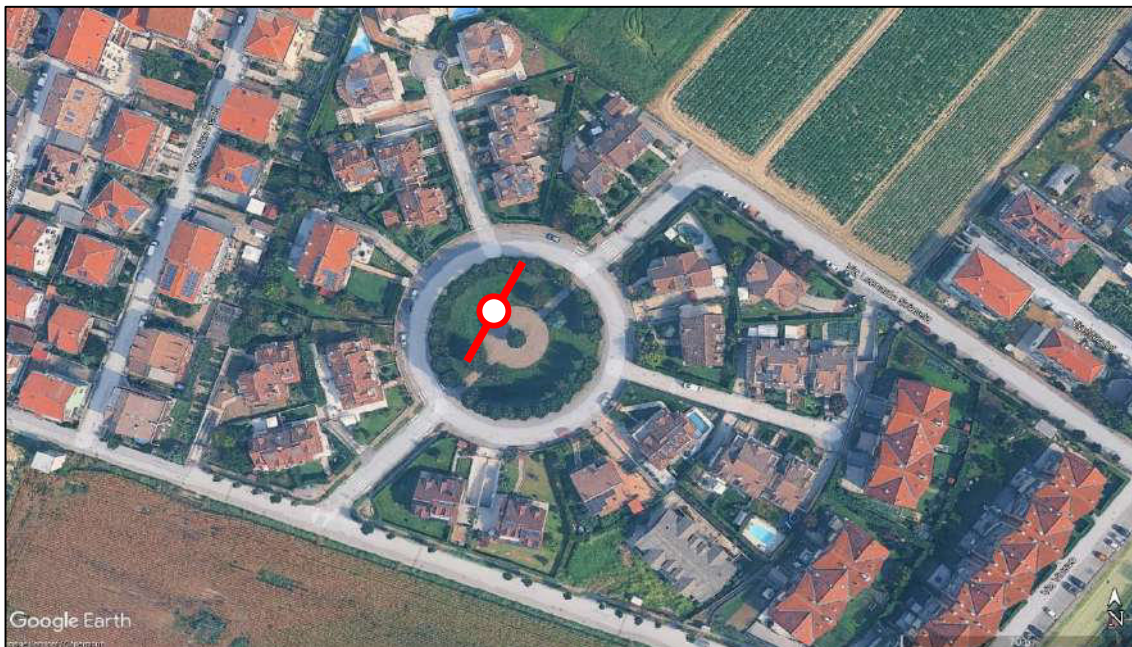
Controllato da: Dott. Geol. Mario Naldi



APPENDICE A

COMMITTENTE	Comune di La Loggia	Azienda certificata UNI EN ISO 9001:2015 Certificato n. IT312205 Bureau Veritas Italia S.p.A.	
RELAZIONE	25-279		
LOCALITA'	La Loggia - Via Leonardo Sciascia		ALLEGATO A
DATA	03/09/2025		Pagina 1

UBICAZIONE INDAGINE MASW



Ubicazione centro MASW	Zona	EST	394177.2
Coordinate UTM WGS84	32N	NORD	4979088.1

LEGENDA

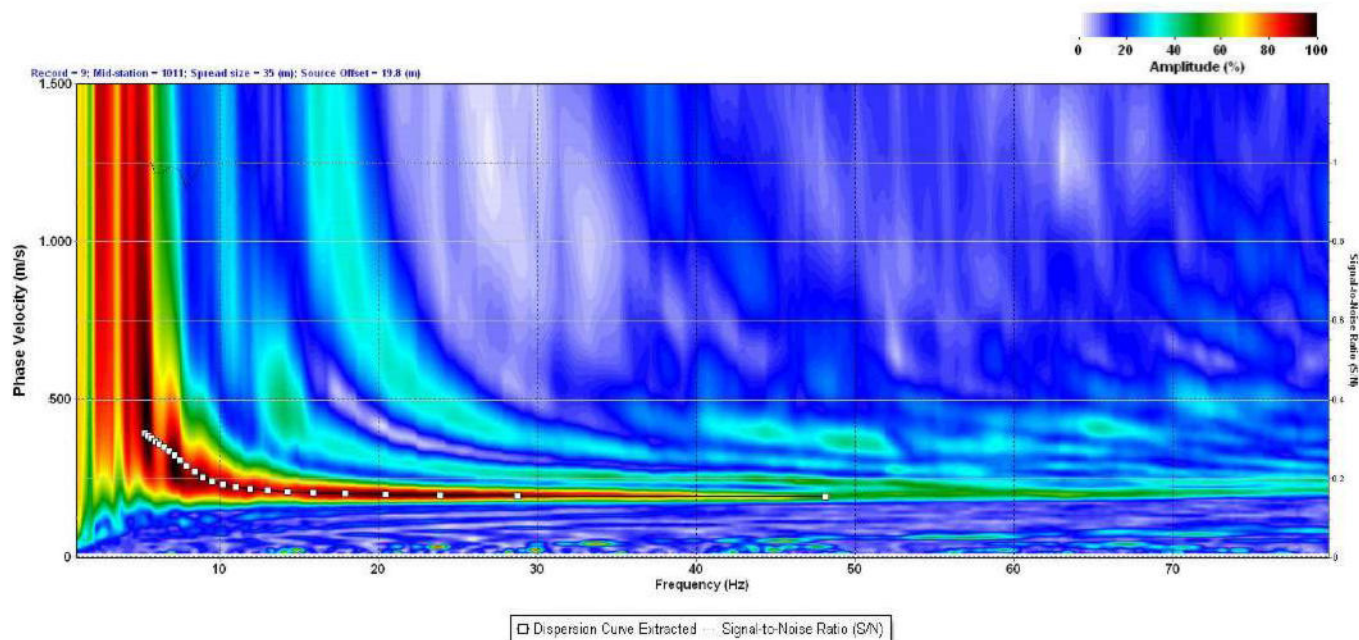
- Stendimento linea MASW
- Centro linea MASW Ubicaz. profilo Vseq

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

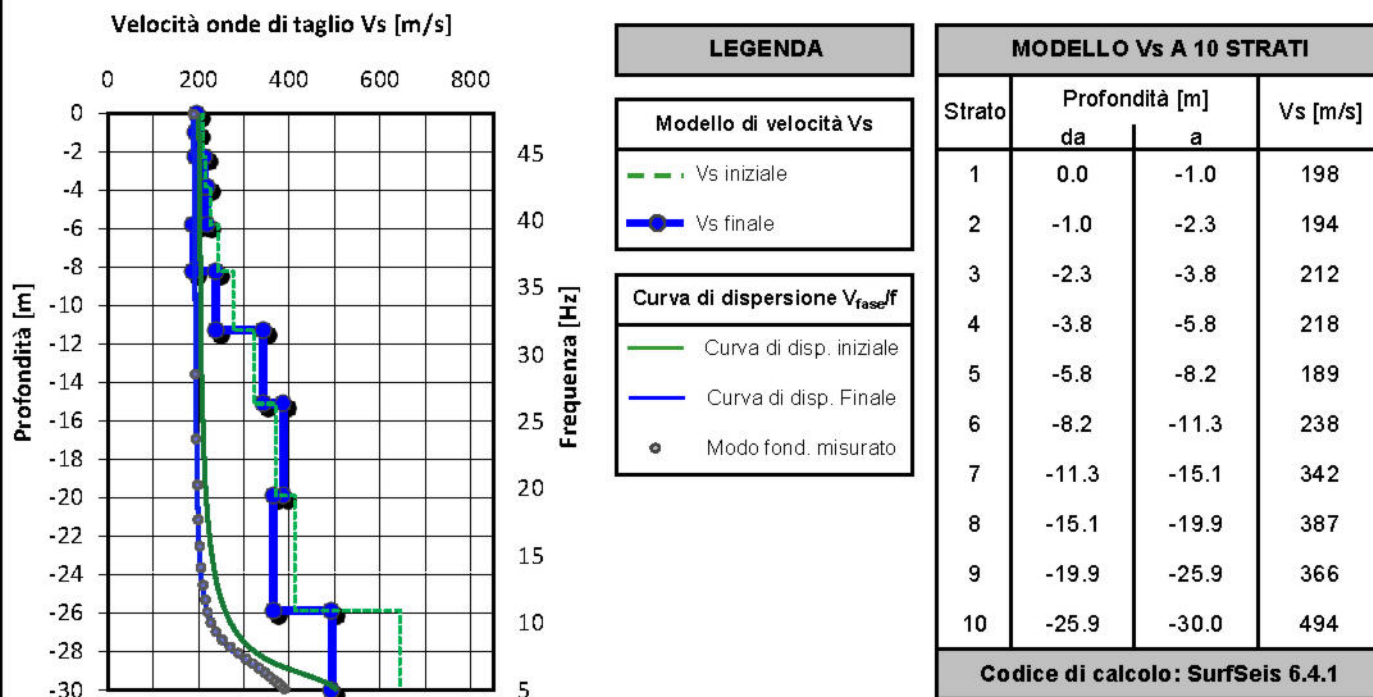


COMMITTENTE	Comune di La Loggia	SISMOGRAFO	DAQ LINK IV	
RELAZIONE	25-279	GEOFONI	24 (freq. 4.5 Hz)	
LOCALITA'	La Loggia - Via Leonardo Sciascia	ACQUISITION TIME	1.0 s	ALLEGATO A
DATA	03/09/2025	SAMPLE INTERVAL	0.50 ms	Pagina 2

PROVA MASW - CURVA DI DISPERSIONE DELLE ONDE DI RAYLEIGH



PROFILO DI VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO



SUOLO	DESCRIZIONE GEOTECNICA	Vs _{eq} [m/s]
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	294 (media pesata sugli spessori compresi tra 0 e -30m)

COMMITTENTE	Comune di La Loggia	Azienda certificata UNI EN ISO 9001:2015 Certificato n. IT312205 Bureau Veritas Italia S.p.A.	
RELAZIONE	25-279		
LOCALITA'	La Loggia - Parco degli abbracci		
DATA	03/09/2025		
			ALLEGATO A
			Pagina 1

UBICAZIONE INDAGINE MASW



Ubicazione centro MASW	Zona	EST	395248.4
Coordinate UTM WGS84	32N	NORD	4979297.5

LEGENDA

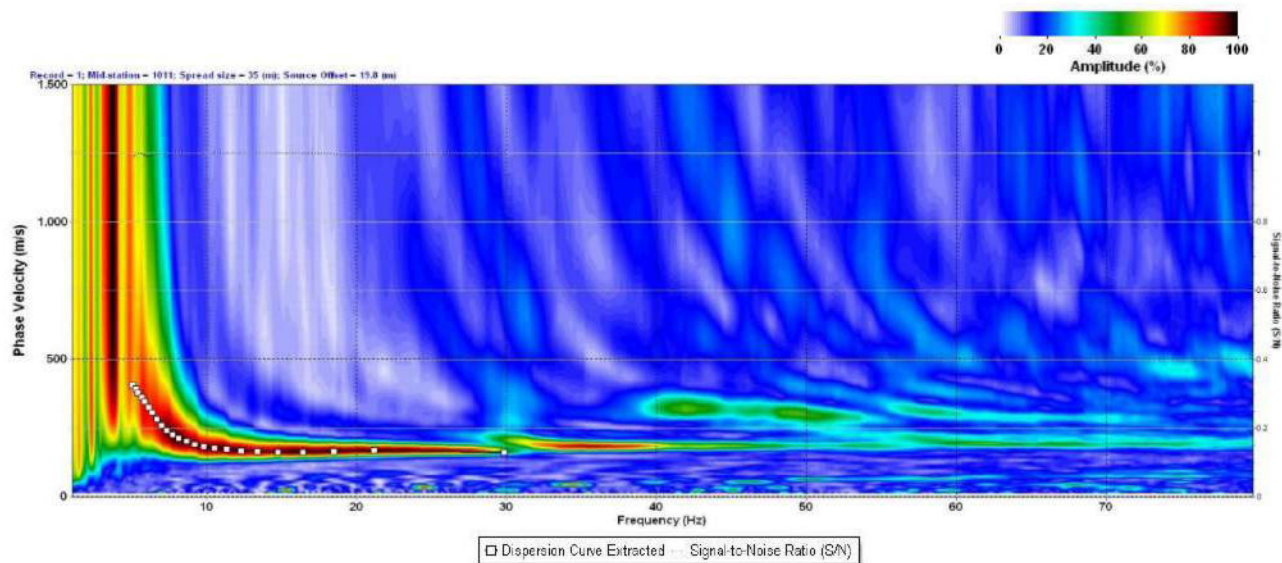
- Stendimento linea MASW
- Centro linea MASW Ubicaz. profilo Vseq

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

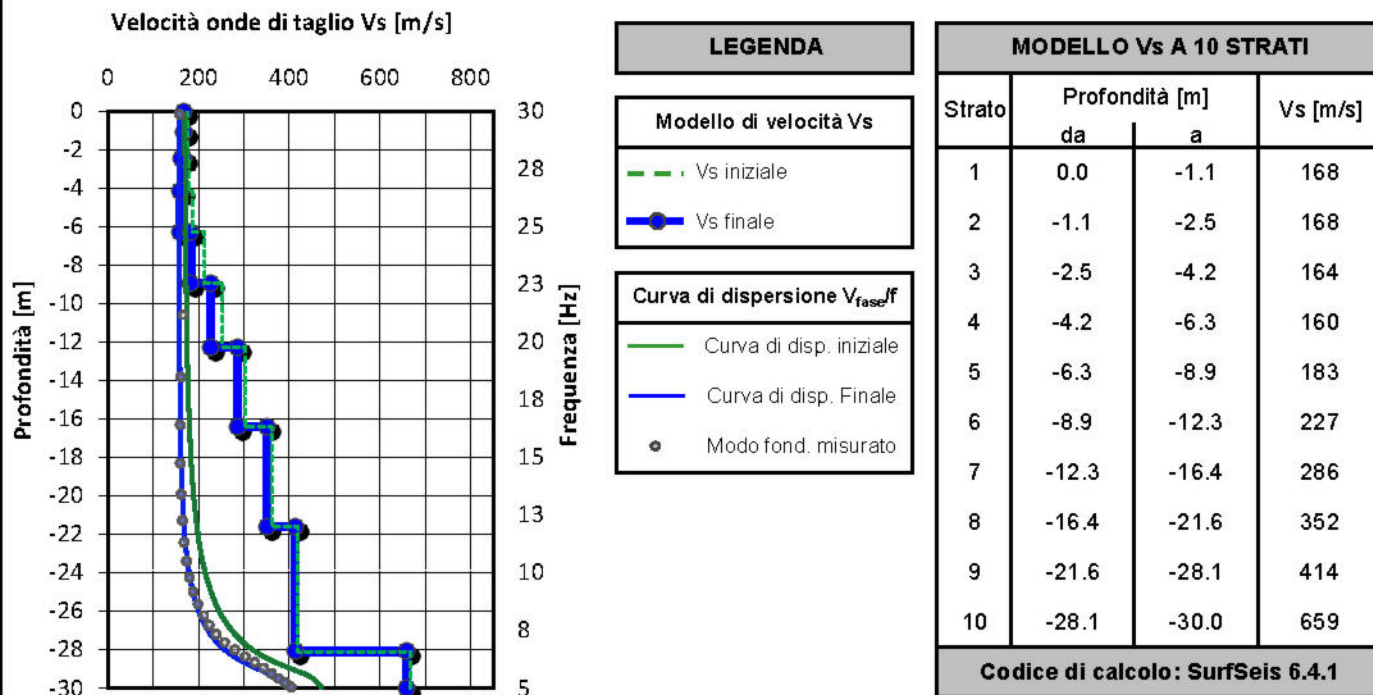


COMMITTENTE	Comune di La Loggia	SISMOGRAFO	DAQ LINK IV	
RELAZIONE	25-279	GEOFONI	24 (freq. 4.5 Hz)	
LOCALITA'	La Loggia - Parco degli abbracci	ACQUISITION TIME	1.0 s	ALLEGATO A
DATA	03/09/2025	SAMPLE INTERVAL	0.50 ms	Pagina 2

PROVA MASW - CURVA DI DISPERSIONE DELLE ONDE DI RAYLEIGH



PROFILO DI VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO



SUOLO	DESCRIZIONE GEOTECNICA	$V_{s_{eq}}$ [m/s]
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	260 (media pesata sugli spessori compresi tra 0 e -30m)

COMMITTENTE	Comune di La Loggia	Azienda certificata UNI EN ISO 9001:2015 Certificato n. IT312205 Bureau Veritas Italia S.p.A.	
RELAZIONE	25-279		
LOCALITA'	La Loggia - Via Campassi		
DATA	03/09/2025		
			ALLEGATO A
			Pagina 1

UBICAZIONE INDAGINE MASW



Ubicazione centro MASW	Zona	EST	394966.57
Coordinate UTM WGS84	32N	NORD	4977744.13

LEGENDA

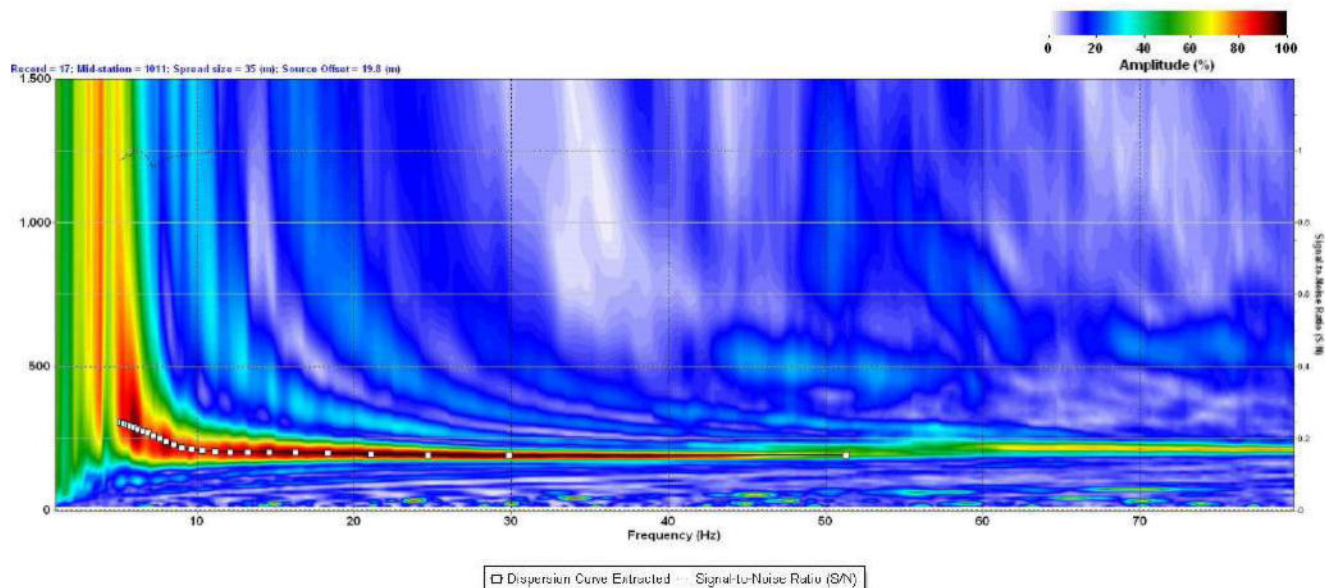
- Stendimento linea MASW
- Centro linea MASW Ubicaz. profilo Vseq

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

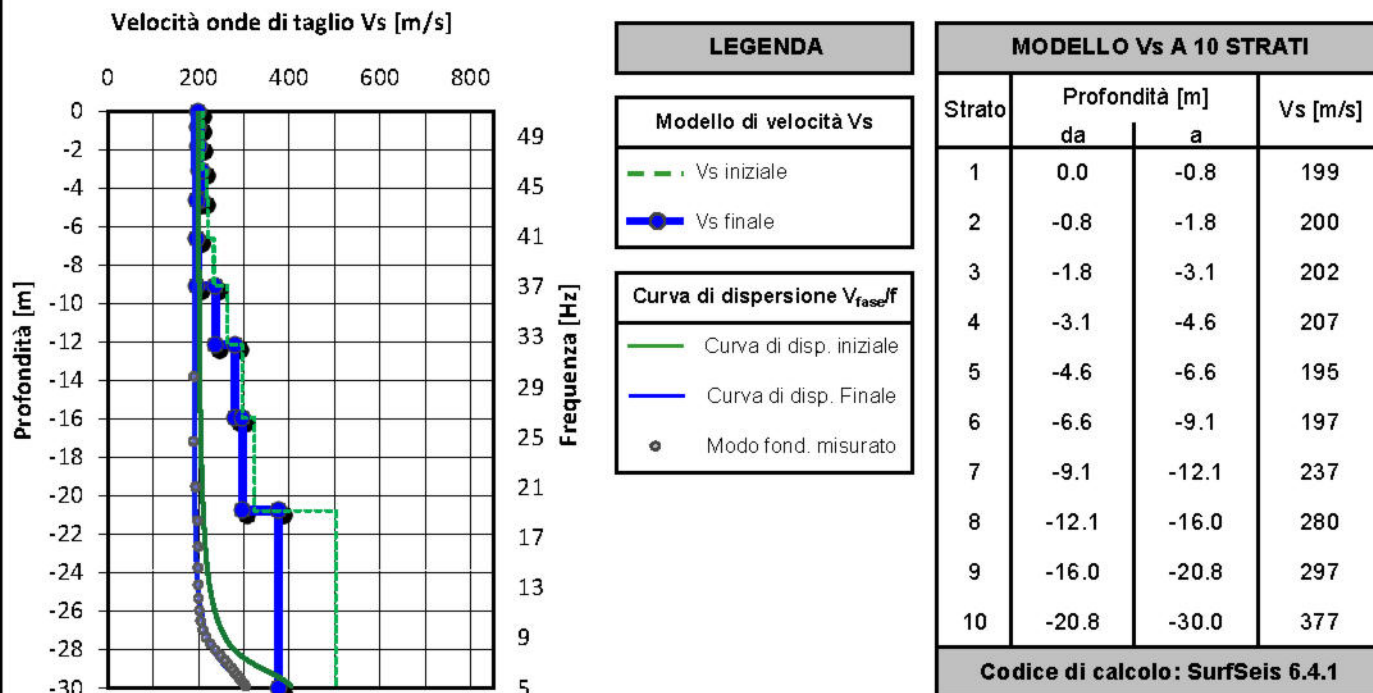


COMMITTENTE	Comune di La Loggia	SISMOGRAFO	DAQ LINK IV	
RELAZIONE	25-279	GEOFONI	24 (freq. 4.5 Hz)	
LOCALITA'	La Loggia - Via Campassi	ACQUISITION TIME	1.0 s	ALLEGATO A
DATA	03/09/2025	SAMPLE INTERVAL	0.50 ms	Pagina 2

PROVA MASW - CURVA DI DISPERSIONE DELLE ONDE DI RAYLEIGH



PROFILO DI VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO



SUOLO	DESCRIZIONE GEOTECNICA	$V_{s_{eq}}$ [m/s]
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	266 (media pesata sugli spessori compresi tra 0 e -30m)

APPENDICE B

SURVEY INFORMATION

Date: 2025/08/29

Client: Comune di La Loggia

PLACE INFORMATION

Place ID: HV1

Address: Via Leonardo Sciascia, La Loggia (TO)

Latitude: 4979079.9

Longitude: 394171.8

Coordinate system: WGS84

Elevation: 228.4 m

Weather: Sunny

Notes: Soft soil coupling

STATION INFORMATION

Station code: S01

Model: SARA SL06

Sensor: SARA SS20PACK (integrated 2.0 Hz sensors)

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 200 Hz

Recording start time: 2025/08/05 08:48:00

Recording length: 2876 sec

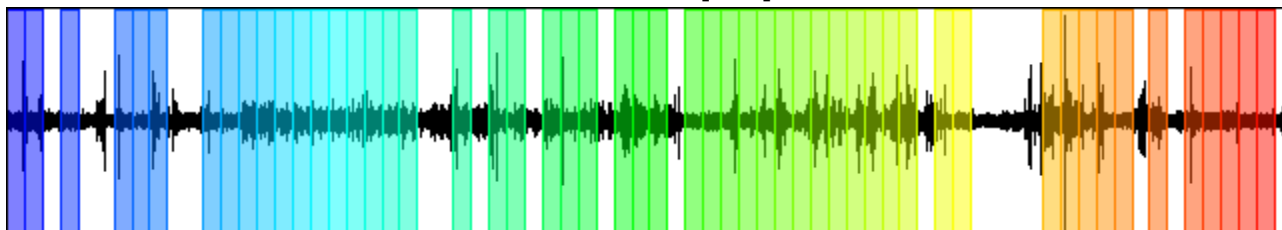
Windows count: 53

Average windows length: 40

Signal coverage: 73.71%

109749 Count

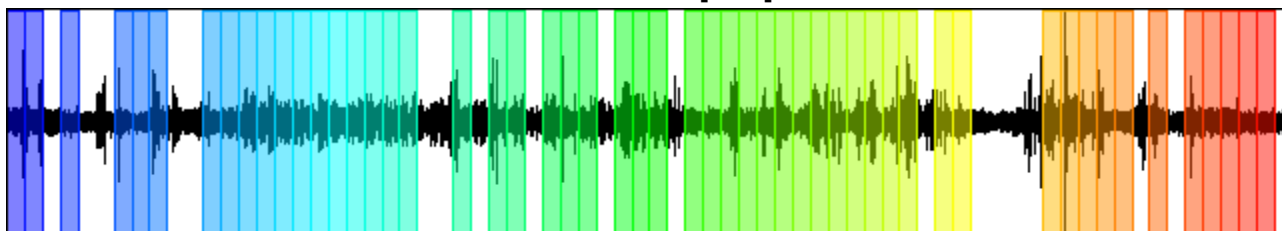
CHANNEL #1 [SHZ]



-116995 Count

72896 Count

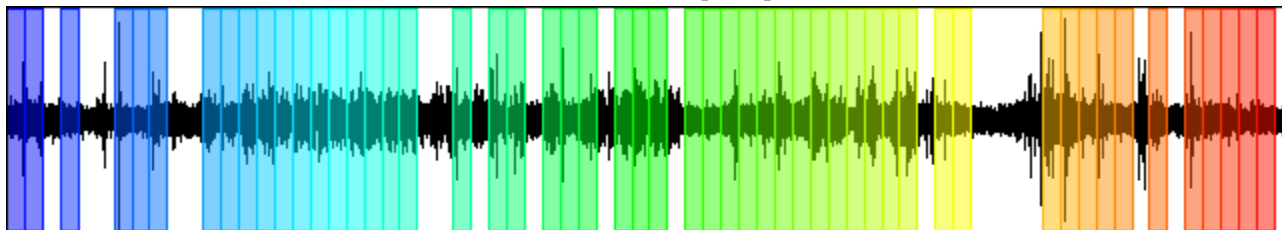
CHANNEL #2 [SHN]



-71958 Count

52894 Count

CHANNEL #3 [SHE]



-58546 Count

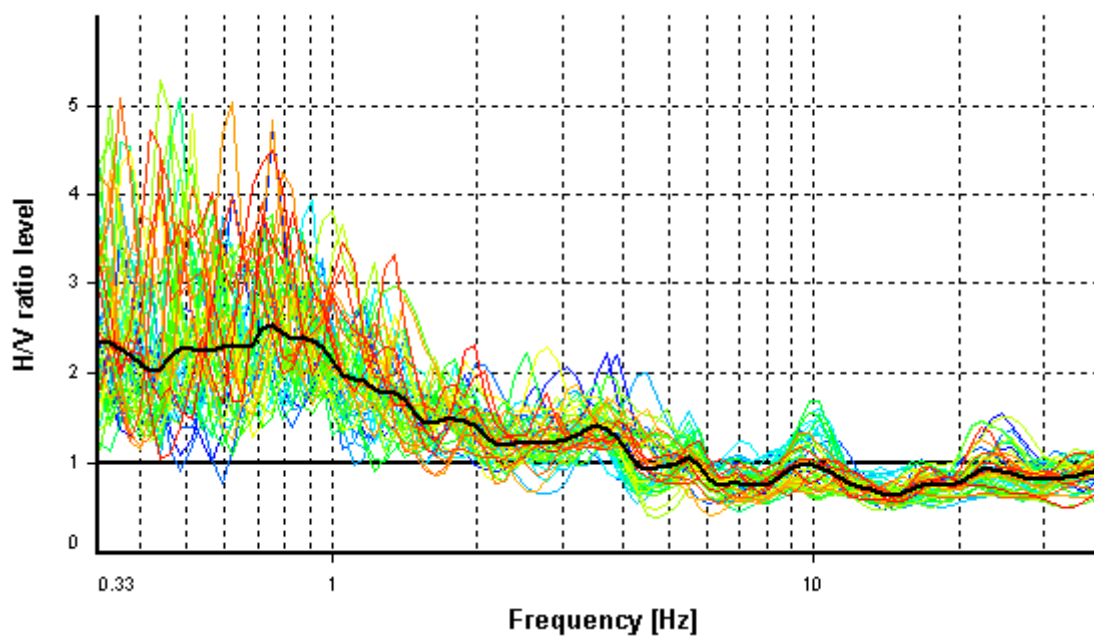
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

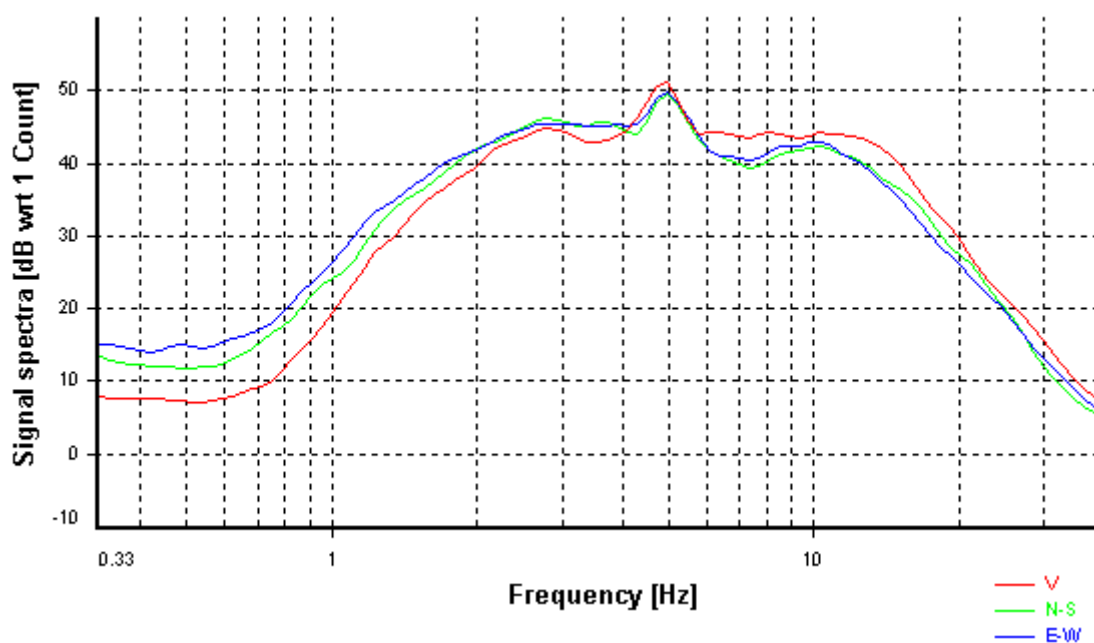
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

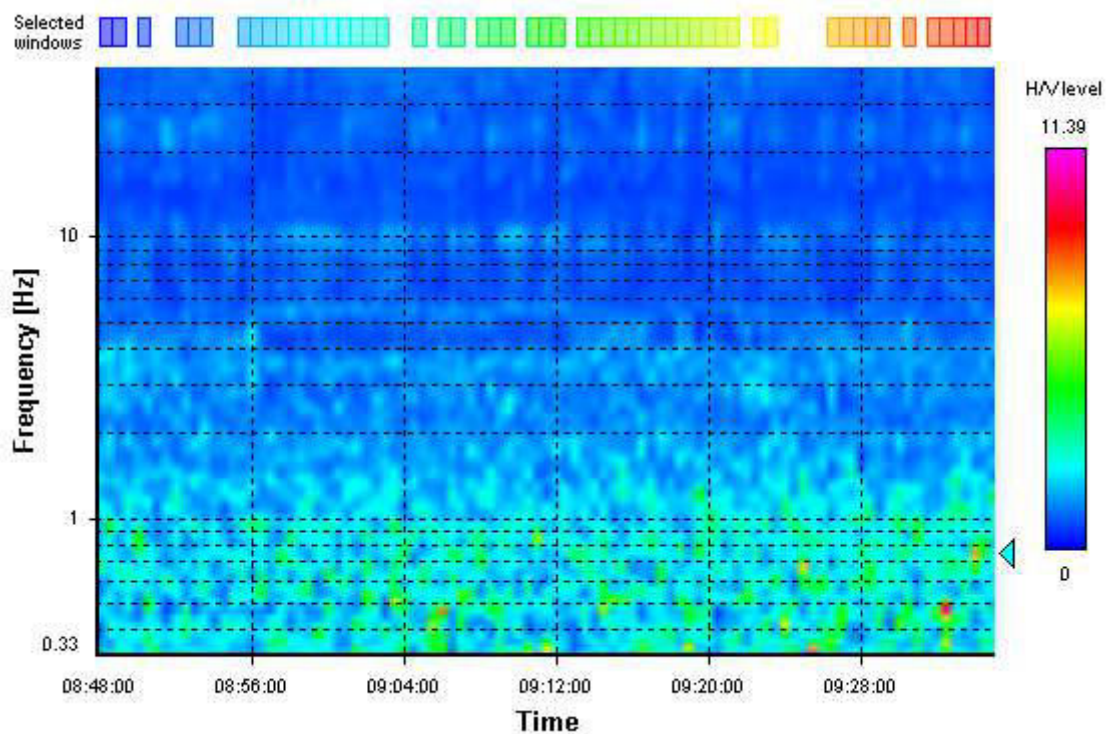
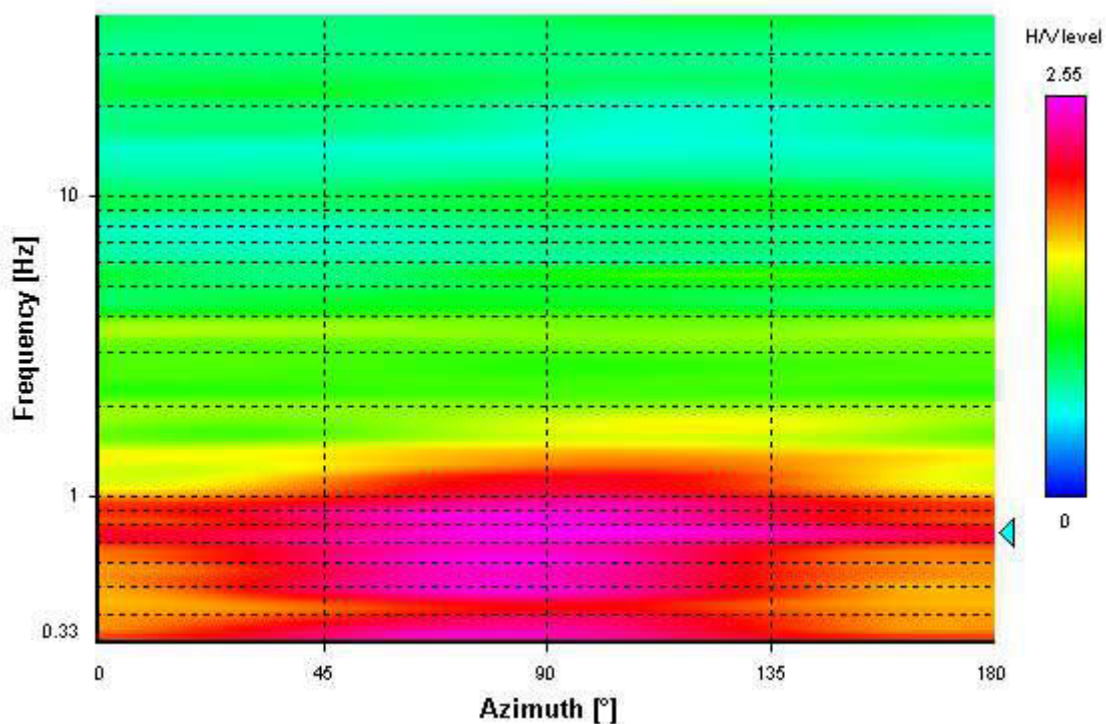
Instrumental correction: Disabled

HVSR average



Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)**HVSR directional analysis**

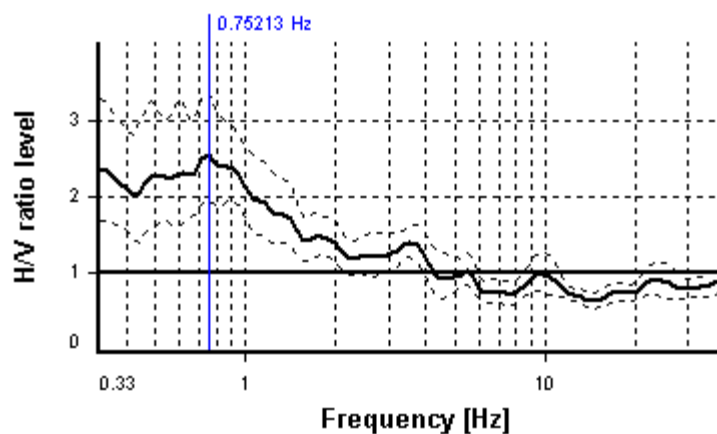
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.75213 Hz

A_0 amplitude = 2.54944

Average $f_0 = 0.72874 \pm 0.15252$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	53 valid windows (length > 13.3 s) out of 53	OK
$n_c(f_0) > 200$	1594.52 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 29	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
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	2.18426 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.55 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.15252 >= 0.11282	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.31316 < 2	OK
Overall criteria fulfillment		NO

SURVEY INFORMATION

Date: 2025/08/29

Client: Comune di La Loggia

PLACE INFORMATION

Place ID: HV2

Address: Cimitero di La Loggia (TO)

Latitude: 4979405.1

Longitude: 394758.2

Coordinate system: WGS84

Elevation: 224.9 m

Weather: Sunny

Notes: Soft soil coupling

STATION INFORMATION

Station code: S02

Model: SARA SL06

Sensor: SARA SS20PACK (integrated 2.0 Hz sensors)

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 200 Hz

Recording start time: 2025/08/05 09:55:00

Recording length: 3600 sec

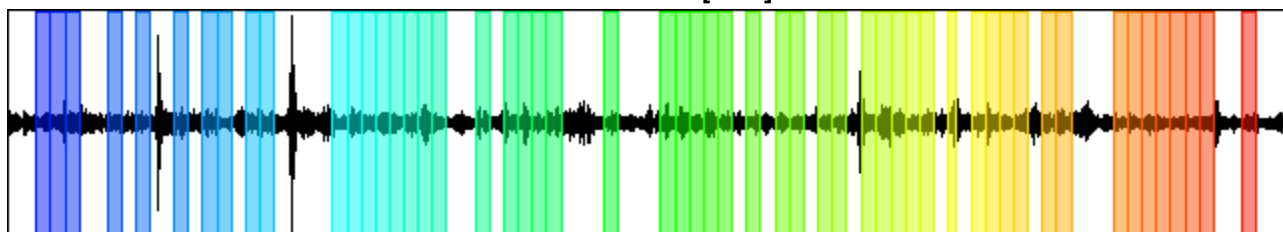
Windows count: 54

Average windows length: 39.68

Signal coverage: 59.53%

233491 Count

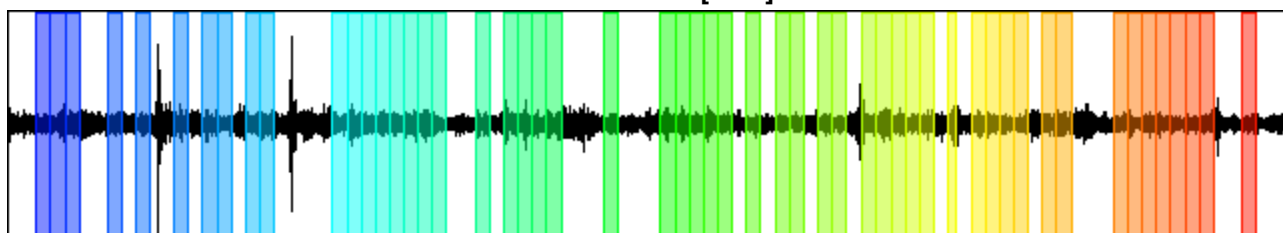
CHANNEL #1 [SHZ]



-244199 Count

126956 Count

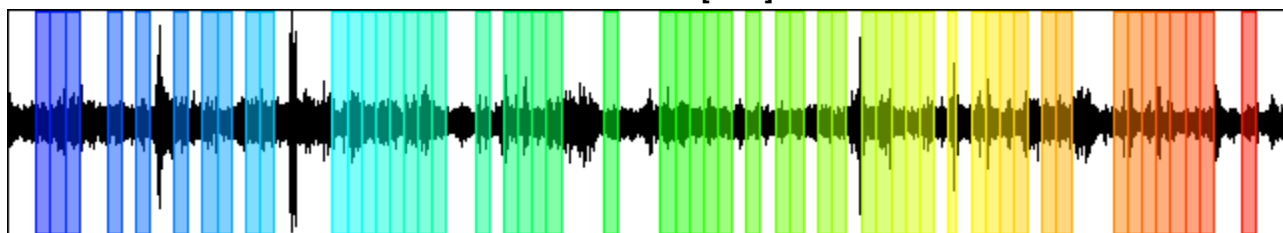
CHANNEL #2 [SHN]



-161973 Count

99179 Count

CHANNEL #3 [SHE]



-97250 Count

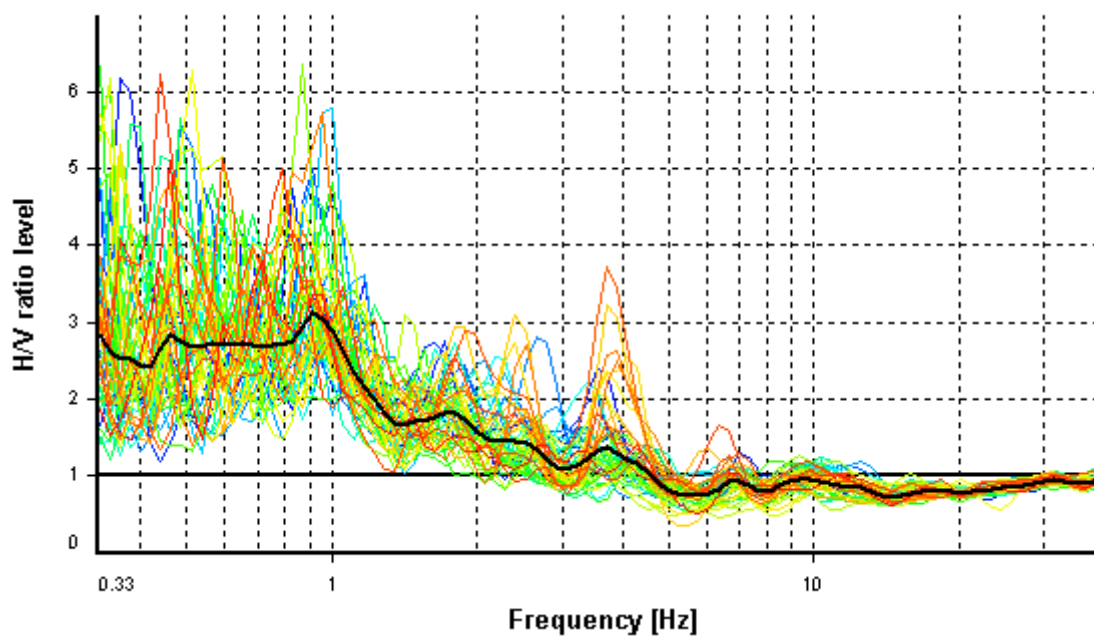
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

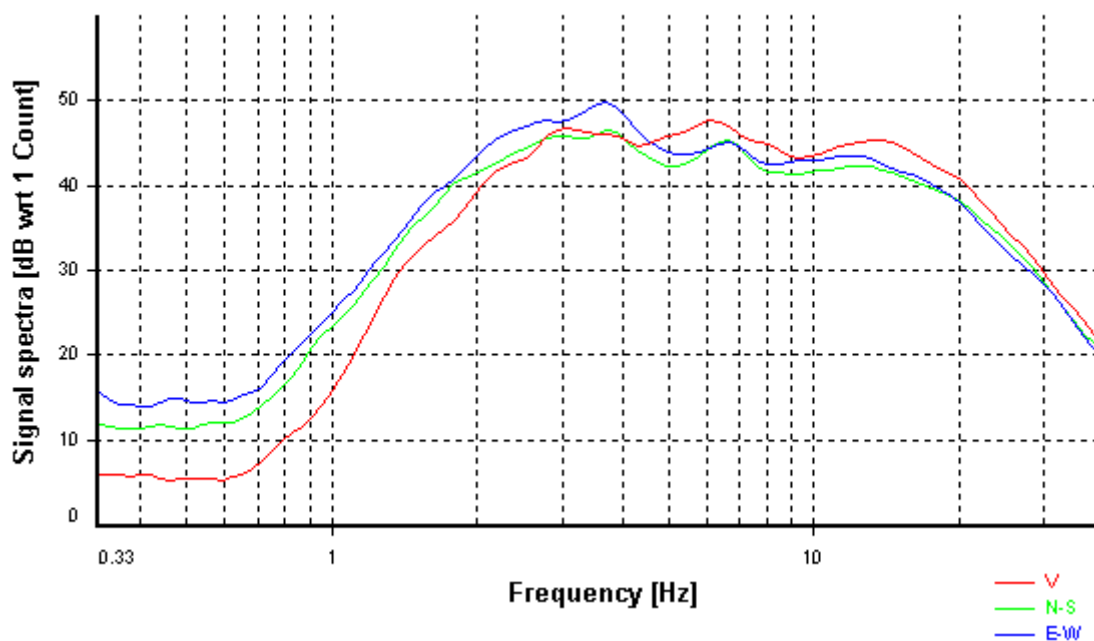
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

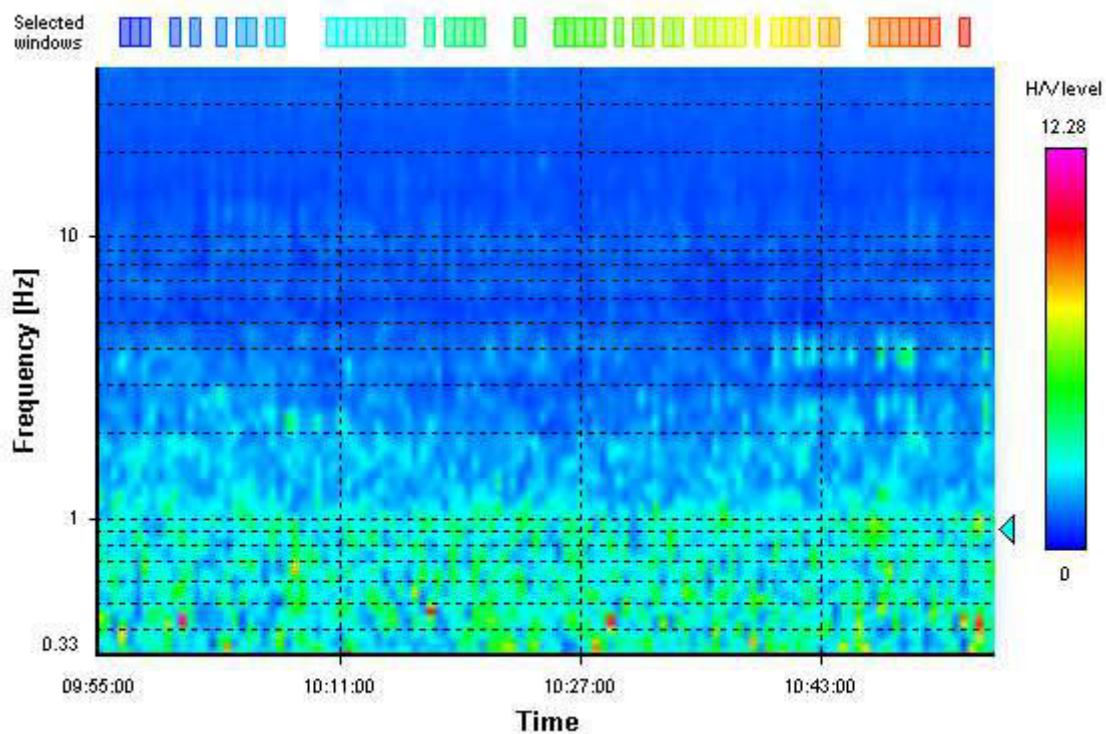
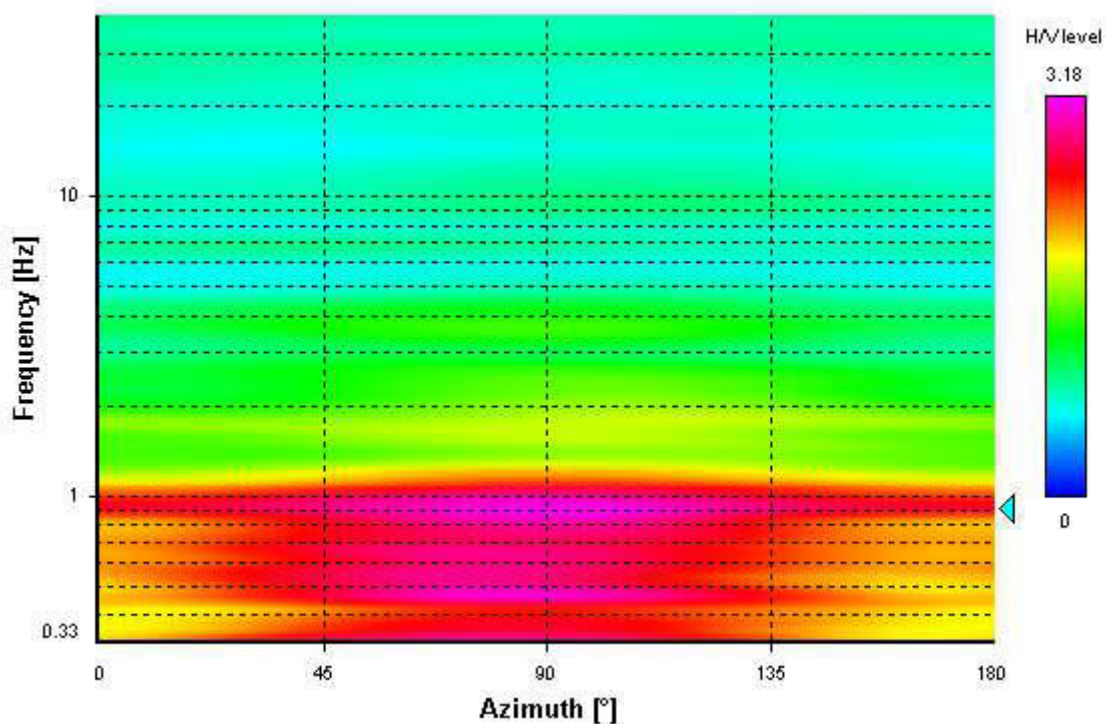
Instrumental correction: Disabled

HVSR average



Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)**HVSR directional analysis**

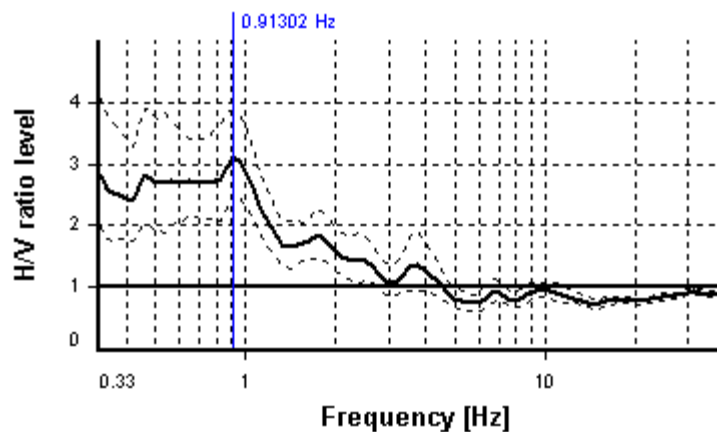
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.91302 Hz

A_0 amplitude = 3.11127

Average $f_0 = 0.79401 \pm 0.13796$



HVSR curve reliability criteria

$f_0 > 10 / L_w$	54 valid windows (length > 10.95 s) out of 54	OK
$n_c(f_0) > 200$	1956.5 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 29	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
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	2.08094 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.11 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.13796 >= 0.13695	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.25023 < 2	OK
Overall criteria fulfillment		NO

SURVEY INFORMATION

Date: 2025/08/29

Client: Comune di La Loggia

PLACE INFORMATION

Place ID: HV3

Address: Parco degli abbracci 18 marzo, La Loggia (TO)

Latitude: 4979295.4

Longitude: 395246.9

Coordinate system: WGS84

Elevation: 224.8 m

Weather: Sunny

Notes: Soft soil coupling

STATION INFORMATION

Station code: S03

Model: SARA SL06

Sensor: SARA SS20PACK (integrated 2.0 Hz sensors)

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 200 Hz

Recording start time: 2025/08/05 11:20:00

Recording length: 2774 sec

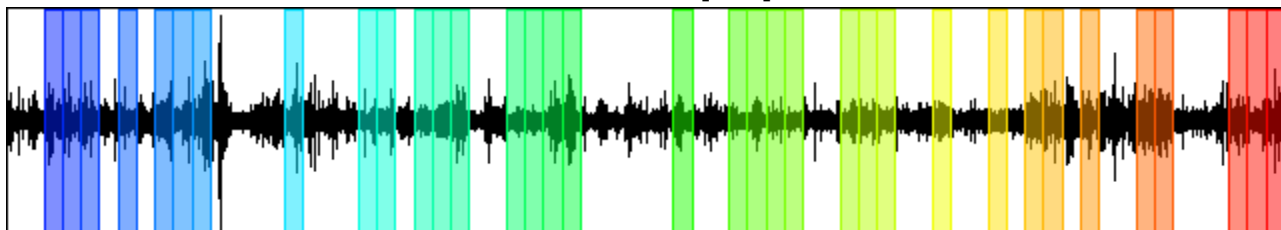
Windows count: 35

Average windows length: 40

Signal coverage: 50.47%

128323 Count

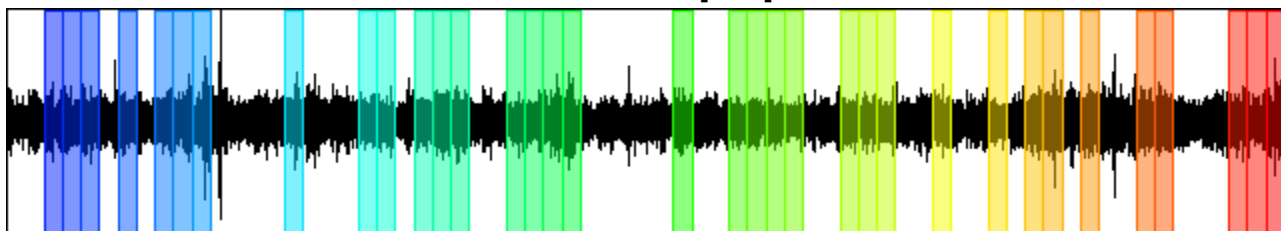
CHANNEL #1 [SHZ]



-136854 Count

75849 Count

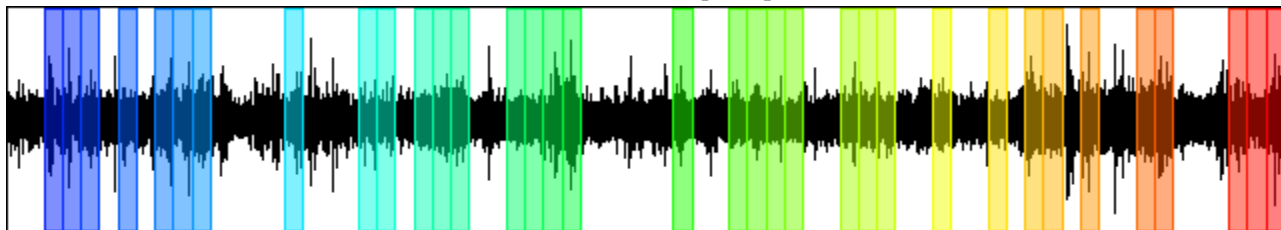
CHANNEL #2 [SHN]



-66514 Count

67097 Count

CHANNEL #3 [SHE]



-70291 Count

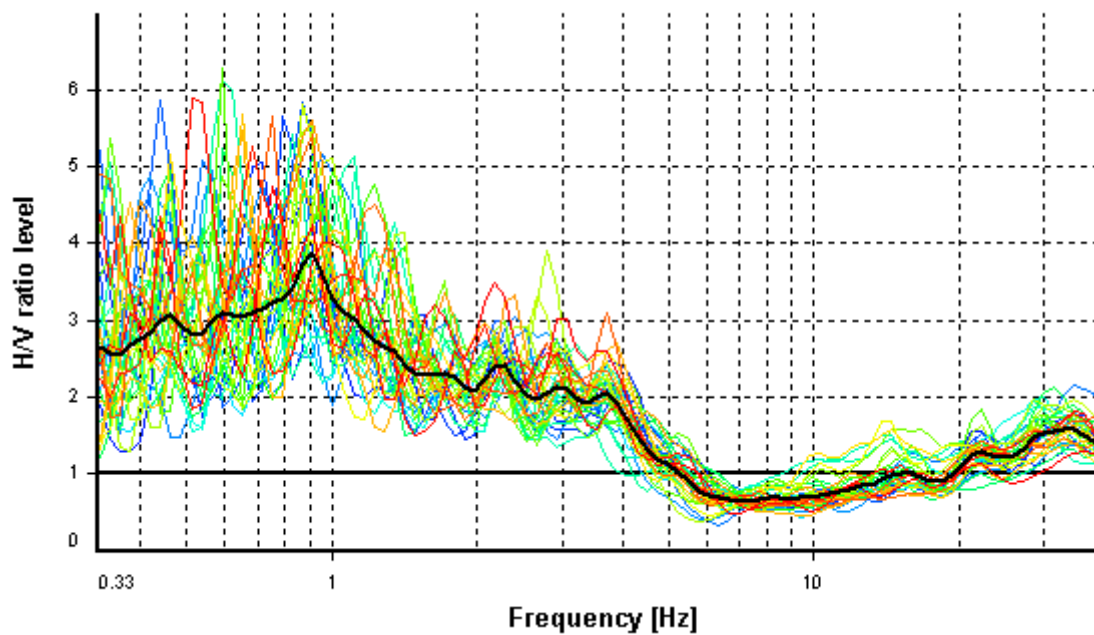
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

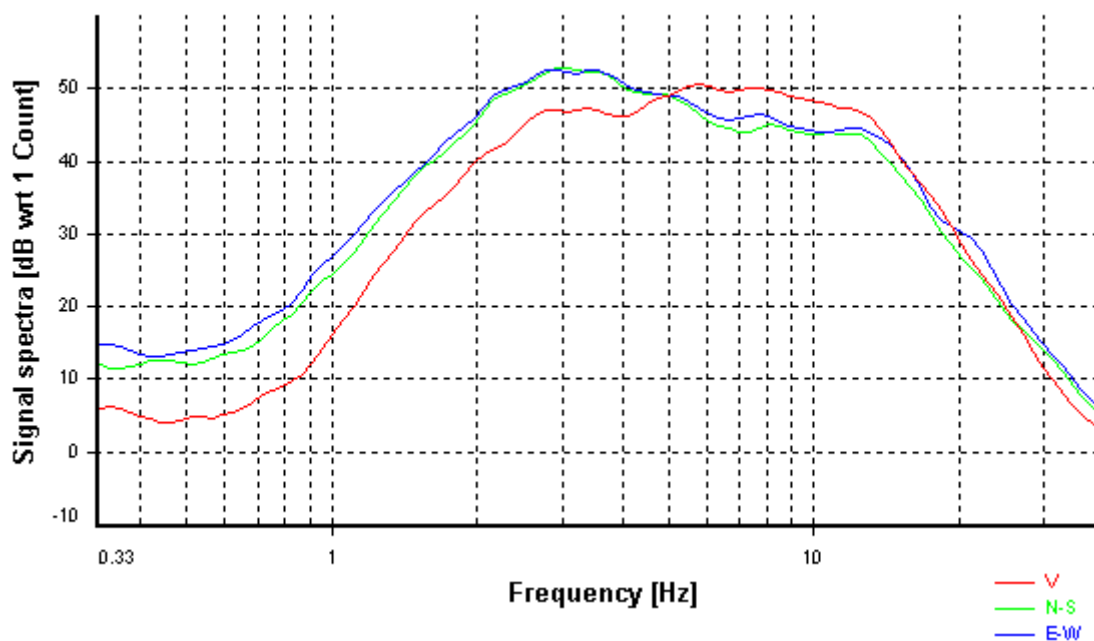
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

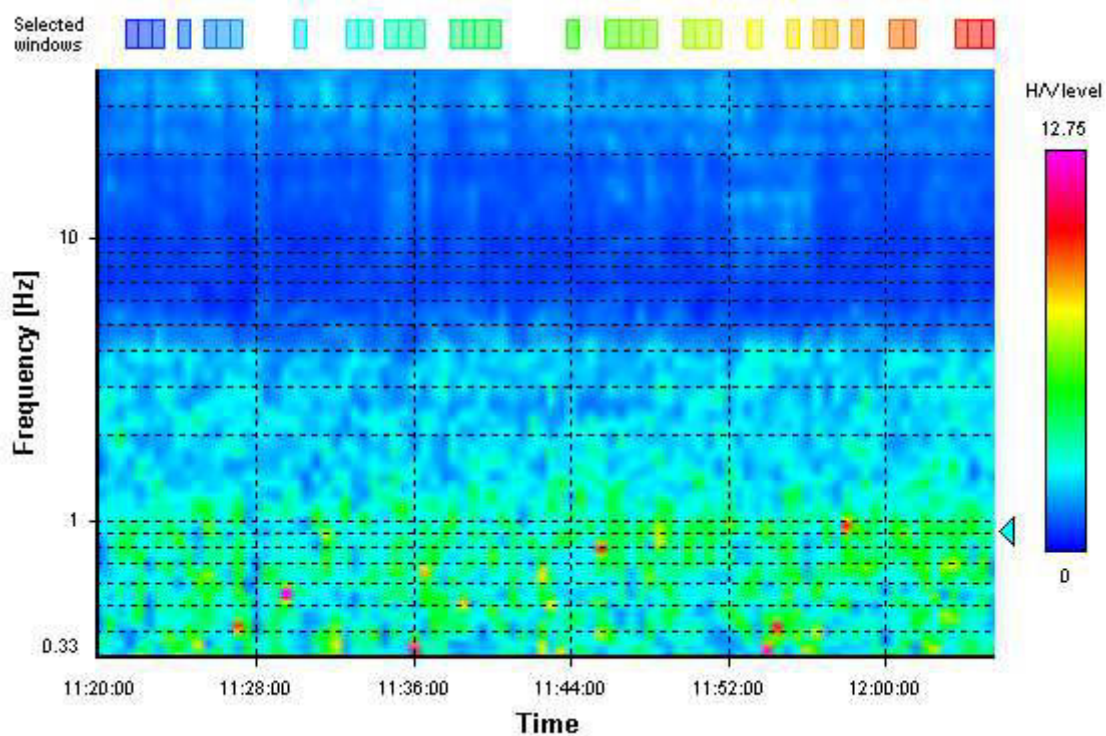
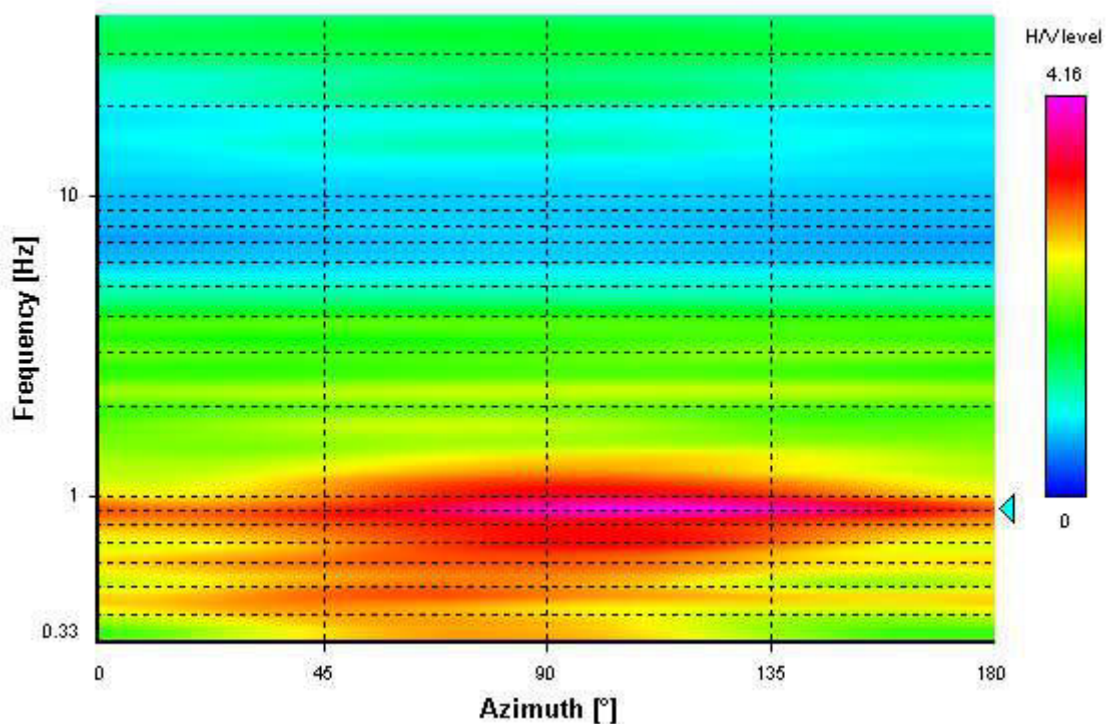
Instrumental correction: Disabled

HVSR average



Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)**HVSR directional analysis**

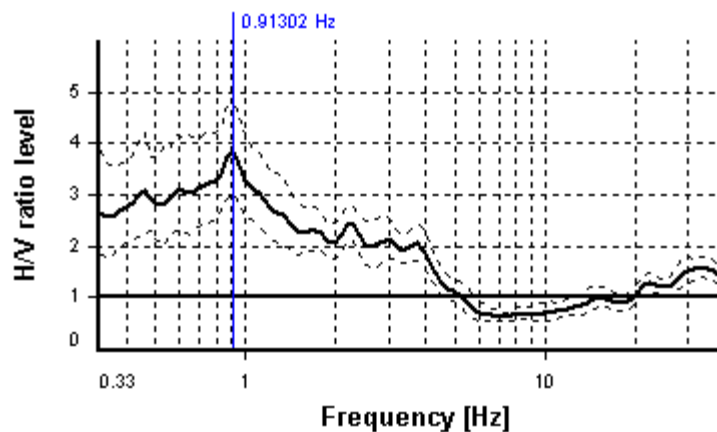
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.91302 Hz

A_0 amplitude = 3.87234

Average $f_0 = 0.84338 \pm 0.16754$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	35 valid windows (length > 10.95 s) out of 35	OK
$n_c(f_0) > 200$	1278.22 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 29	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
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	3.37845 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.87 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.16754 >= 0.13695	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.26652 < 2	OK
Overall criteria fulfillment		NO

SURVEY INFORMATION

Date: 2025/08/29

Client: Comune di La Loggia

PLACE INFORMATION

Place ID: HV4

Address: Via Bistolfi, La Loggia (TO)

Latitude: 4979070.8

Longitude: 394843.5

Coordinate system: WGS84

Elevation: 226.6 m

Weather: Sunny

Notes: Soft soil coupling

STATION INFORMATION

Station code: S04

Model: SARA SL06

Sensor: SARA SS20PACK (integrated 2.0 Hz sensors)

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 200 Hz

Recording start time: 2025/08/05 12:18:00

Recording length: 2891 sec

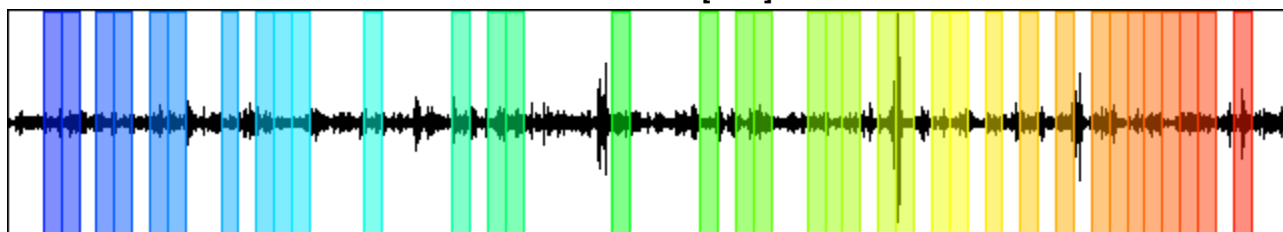
Windows count: 36

Average windows length: 40

Signal coverage: 49.81%

535275 Count

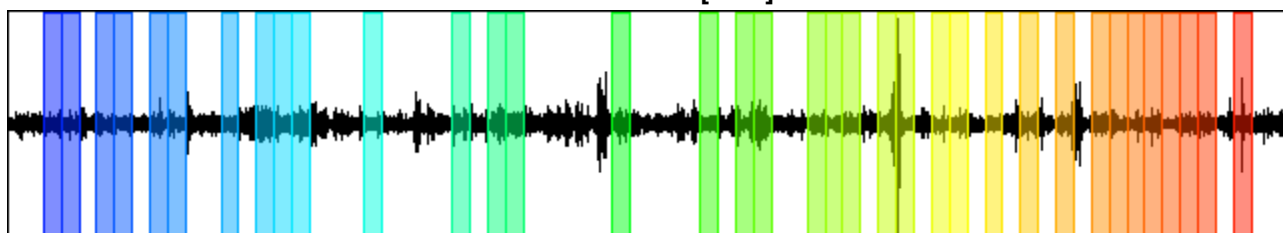
CHANNEL #1 [SHZ]



-475674 Count

204122 Count

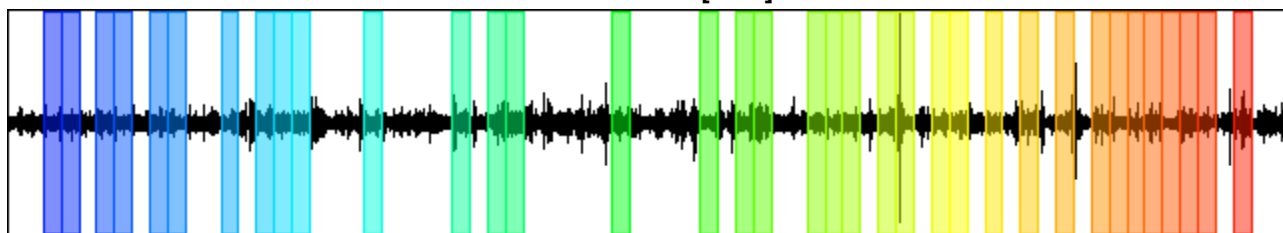
CHANNEL #2 [SHN]



-216764 Count

232971 Count

CHANNEL #3 [SHE]



-209898 Count

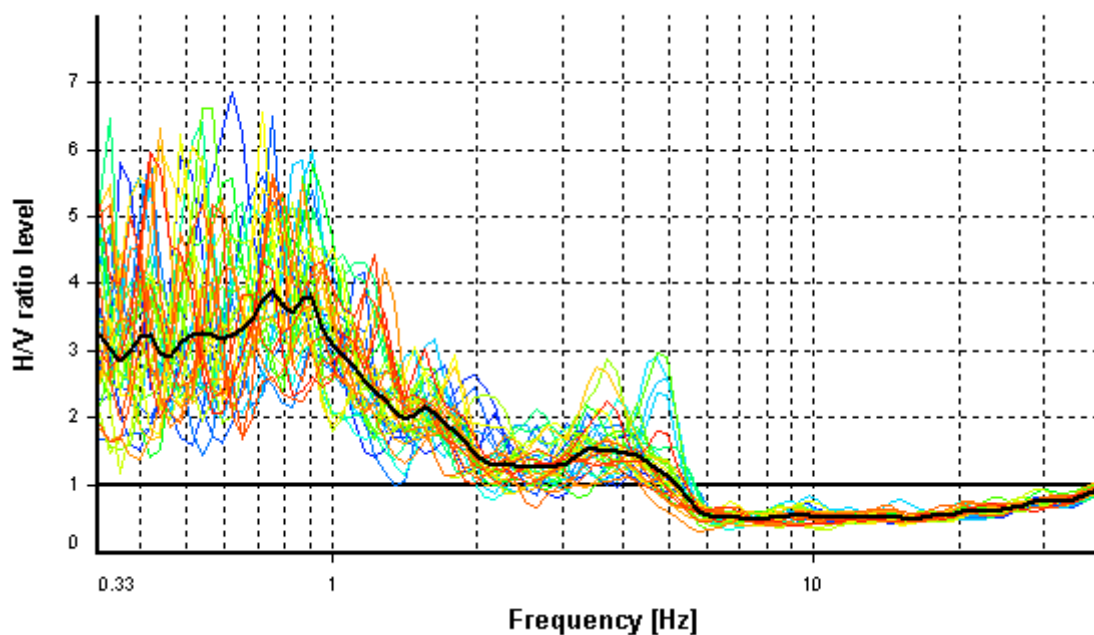
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

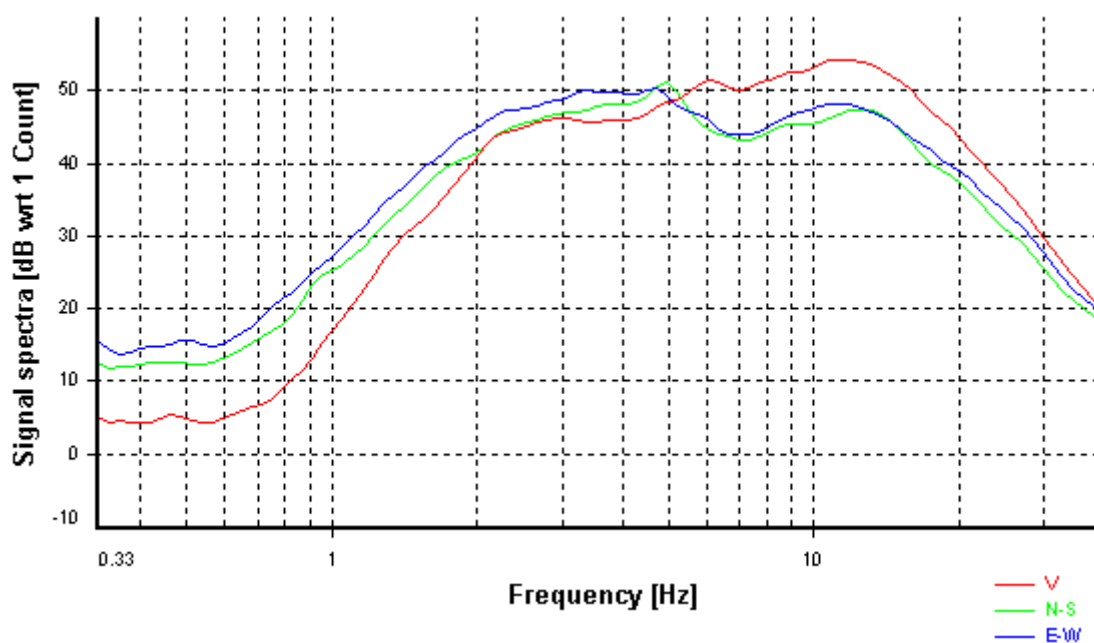
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

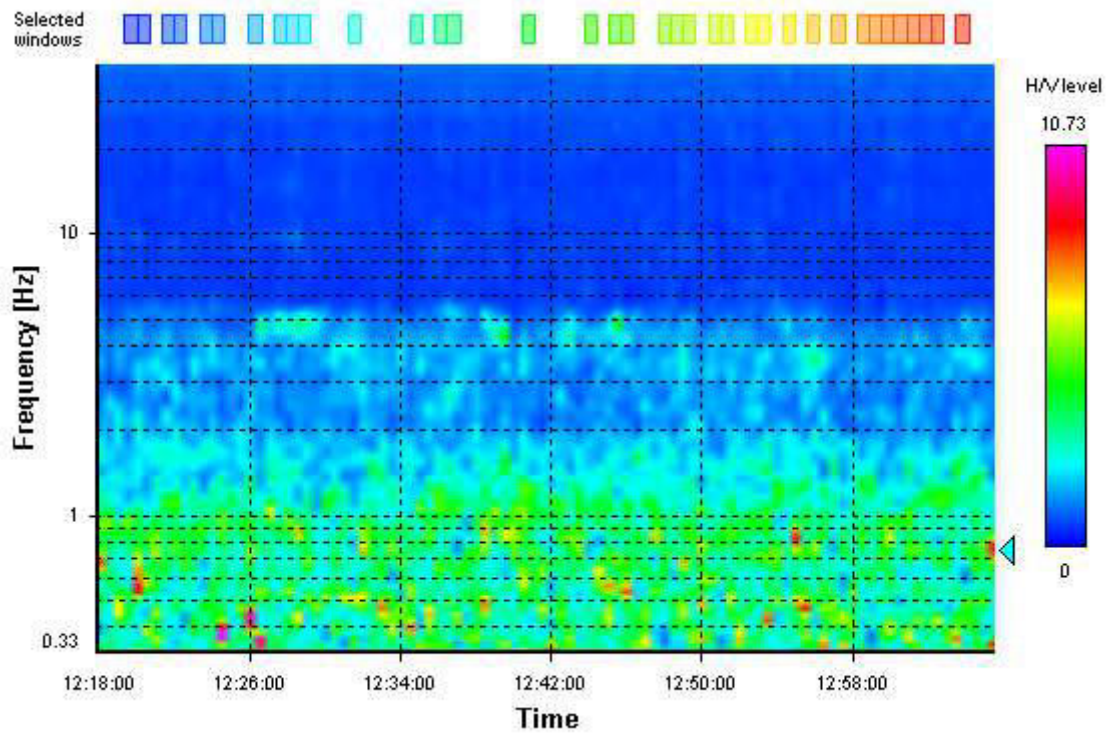
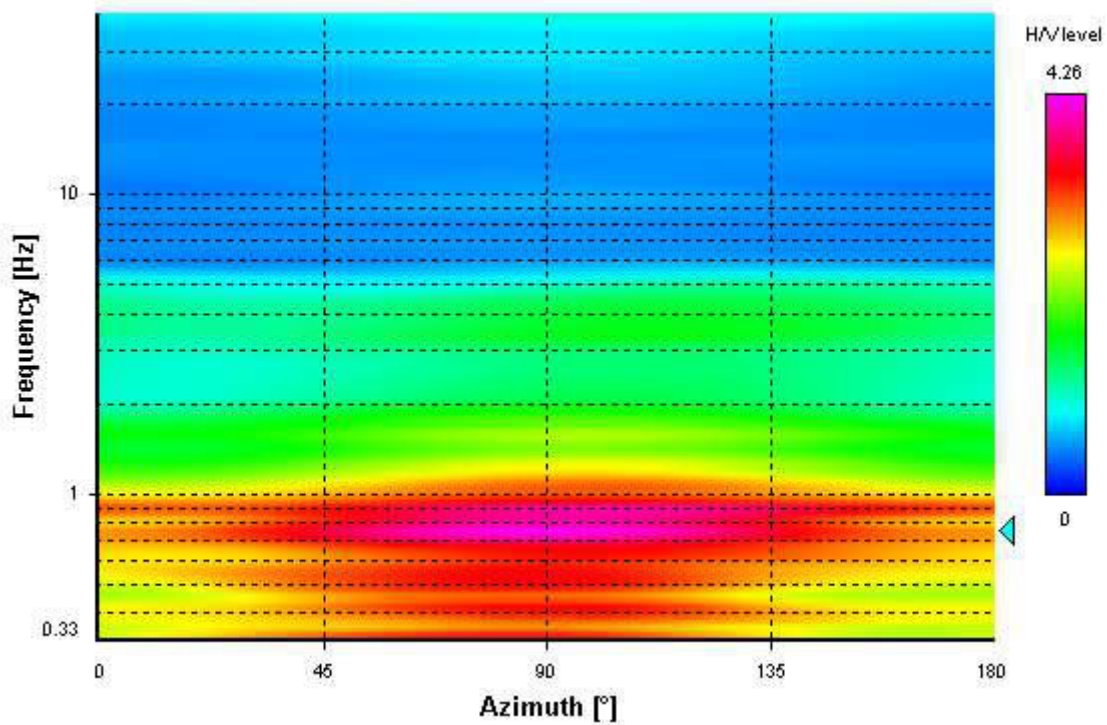
Instrumental correction: Disabled

HVSR average



Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)**HVSR directional analysis**

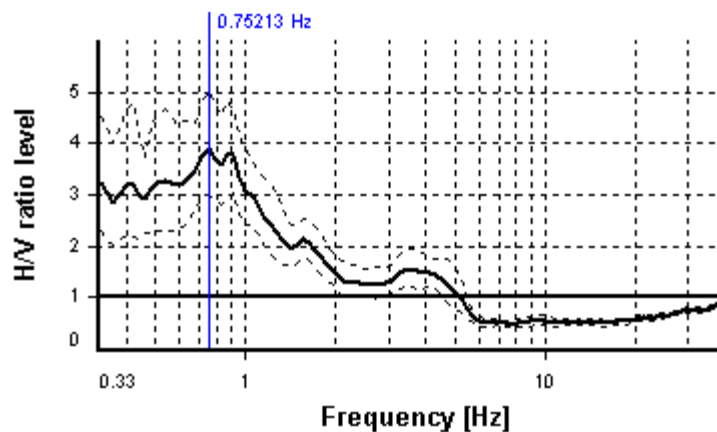
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.75213 Hz

A_0 amplitude = 3.88178

Average $f_0 = 0.73135 \pm 0.14940$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	36 valid windows (length > 13.3 s) out of 36	OK
$n_c(f_0) > 200$	1083.07 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 29	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
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	1.71425 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.88 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	21.39% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.1494 >= 0.11282	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.29548 < 2	OK
Overall criteria fulfillment		NO

SURVEY INFORMATION

Date: 2025/08/29

Client: Comune di La Loggia

PLACE INFORMATION

Place ID: HV4

Address: Via Piave, La Loggia (TO)

Latitude: 4978960.3

Longitude: 395846.5

Coordinate system: WGS84

Elevation: 228.6 m

Weather: Sunny

Notes: Soft soil coupling

STATION INFORMATION

Station code: S05

Model: SARA SL06

Sensor: SARA SS20PACK (integrated 2.0 Hz sensors)

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 200 Hz

Recording start time: 2025/08/05 13:18:00

Recording length: 2918 sec

Windows count: 46

Average windows length: 40

Signal coverage: 63.06%

276295 Count

CHANNEL #1 [SHZ]



-257944 Count

186837 Count

CHANNEL #2 [SHN]



-173289 Count

189370 Count

CHANNEL #3 [SHE]



-207256 Count

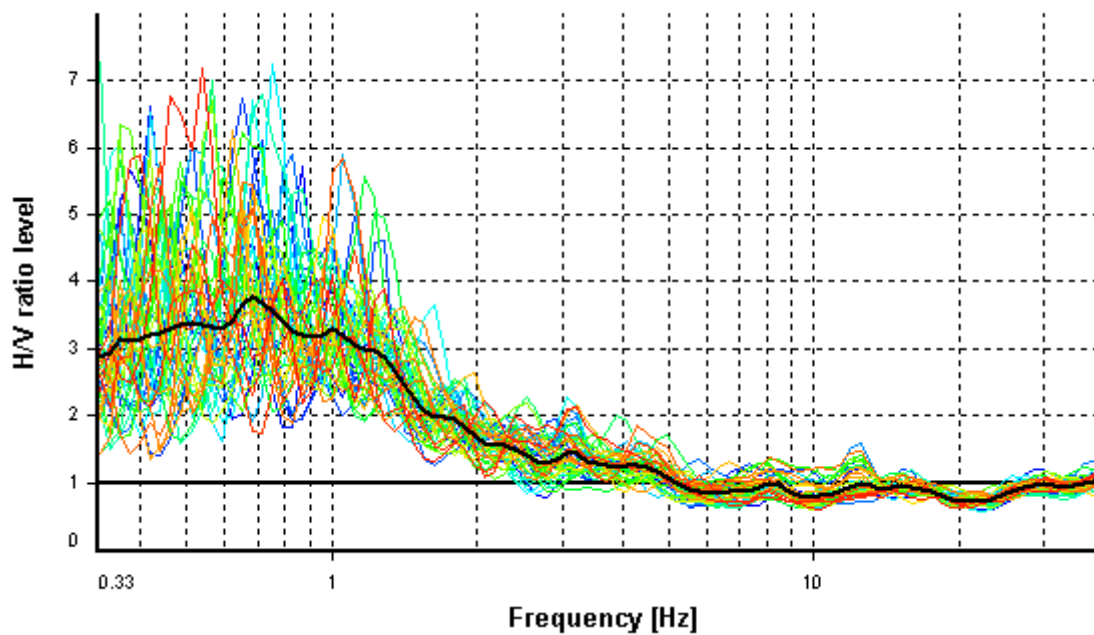
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

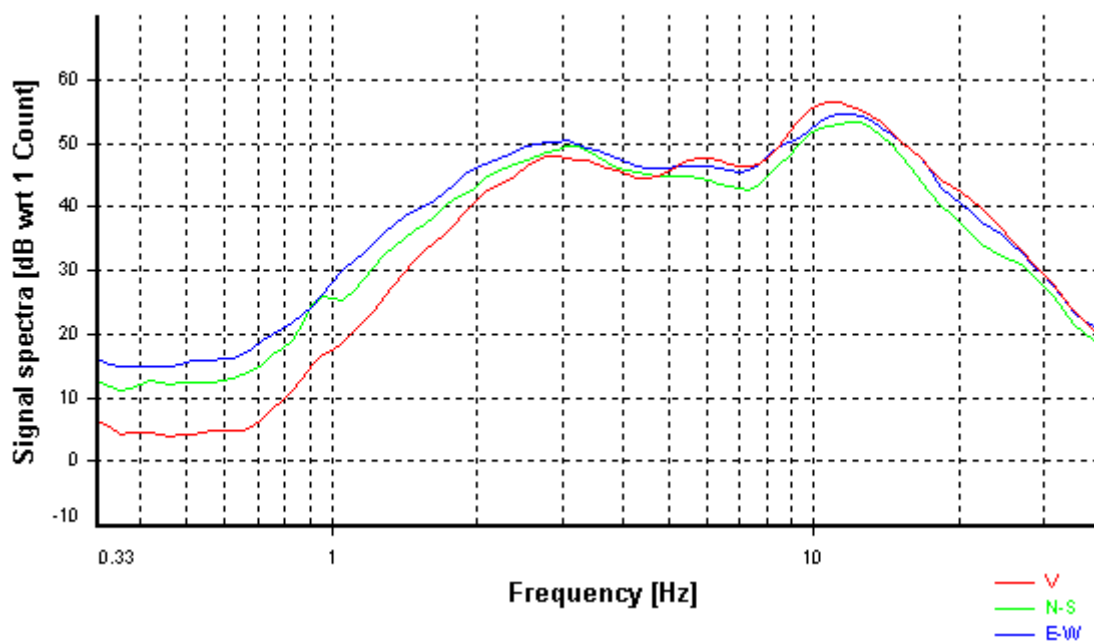
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

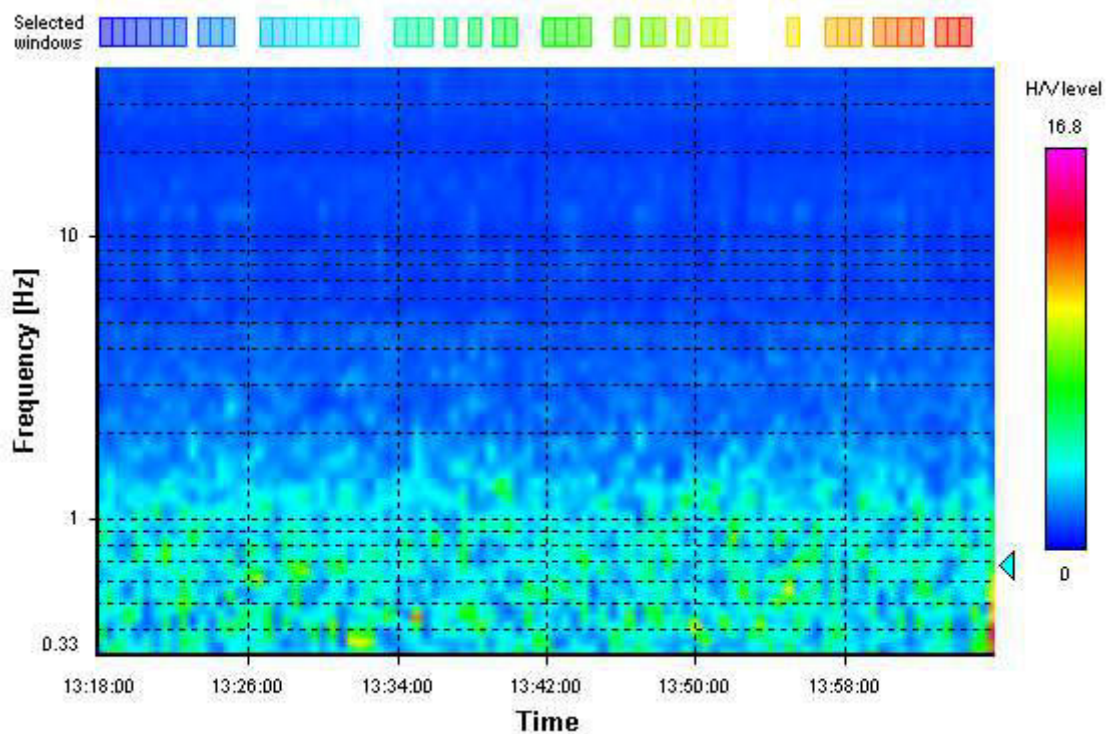
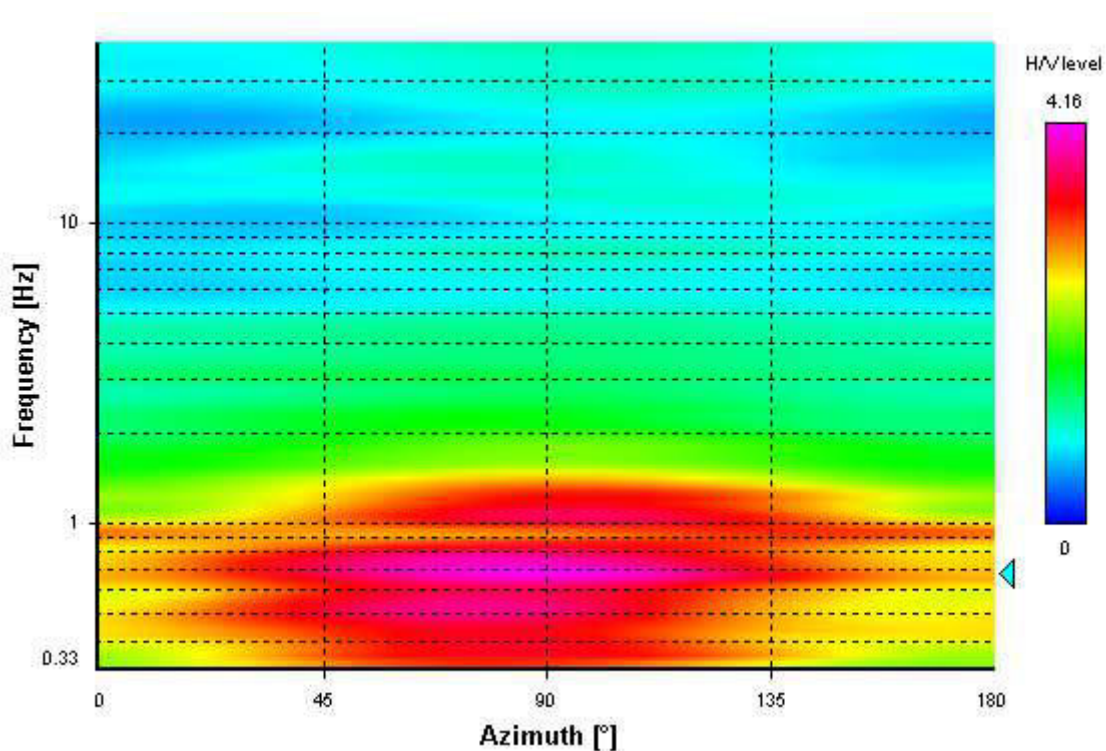
Instrumental correction: Disabled

HVSR average



Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)**HVSR directional analysis**

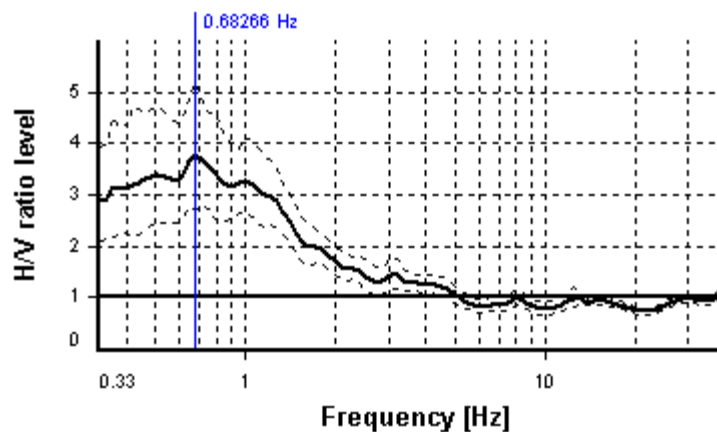
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.68266 Hz

A_0 amplitude = 3.77642

Average $f_0 = 0.65707 \pm 0.13743$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	46 valid windows (length > 14.65 s) out of 46	OK
$n_c(f_0) > 200$	1256.09 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 29	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
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	1.88872 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.78 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	4.97% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.13743 >= 0.1024	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.37599 < 2	OK
Overall criteria fulfillment		NO

SURVEY INFORMATION

Date: 2025/08/29

Client: Comune di La Loggia

PLACE INFORMATION

Place ID: HV6

Address: Via della Chiesa, La Loggia (TO)

Latitude: 4978666.6

Longitude: 394891.7

Coordinate system: WGS84

Elevation: 226.4 m

Weather: Sunny

Notes: Soft soil coupling

STATION INFORMATION

Station code: S06

Model: SARA SL06

Sensor: SARA SS20PACK (integrated 2.0 Hz sensors)

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 200 Hz

Recording start time: 2025/08/11 07:15:00

Recording length: 2885 sec

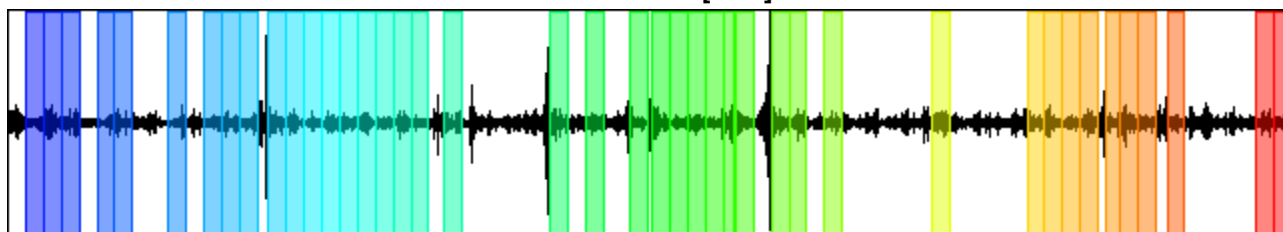
Windows count: 42

Average windows length: 39.14

Signal coverage: 56.99%

268147 Count

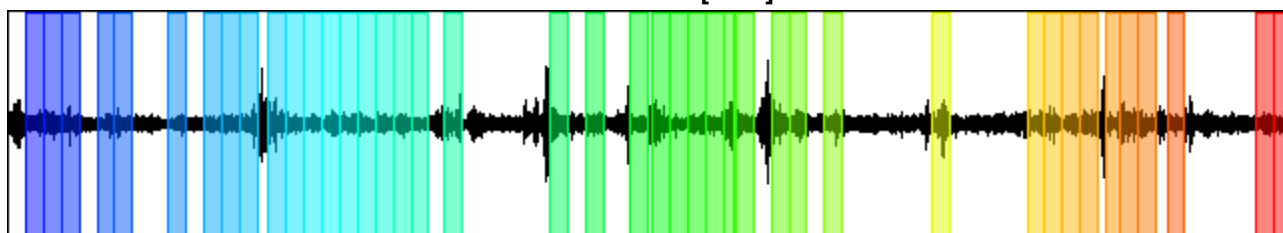
CHANNEL #1 [SHZ]



-258483 Count

100658 Count

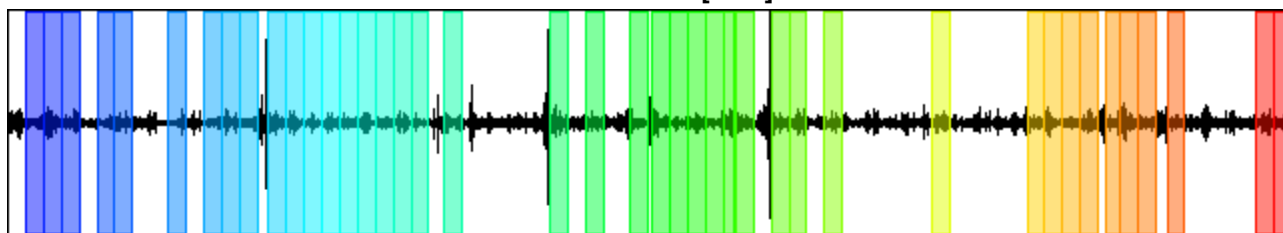
CHANNEL #2 [SHN]



-121375 Count

278756 Count

CHANNEL #3 [SHE]



-240386 Count

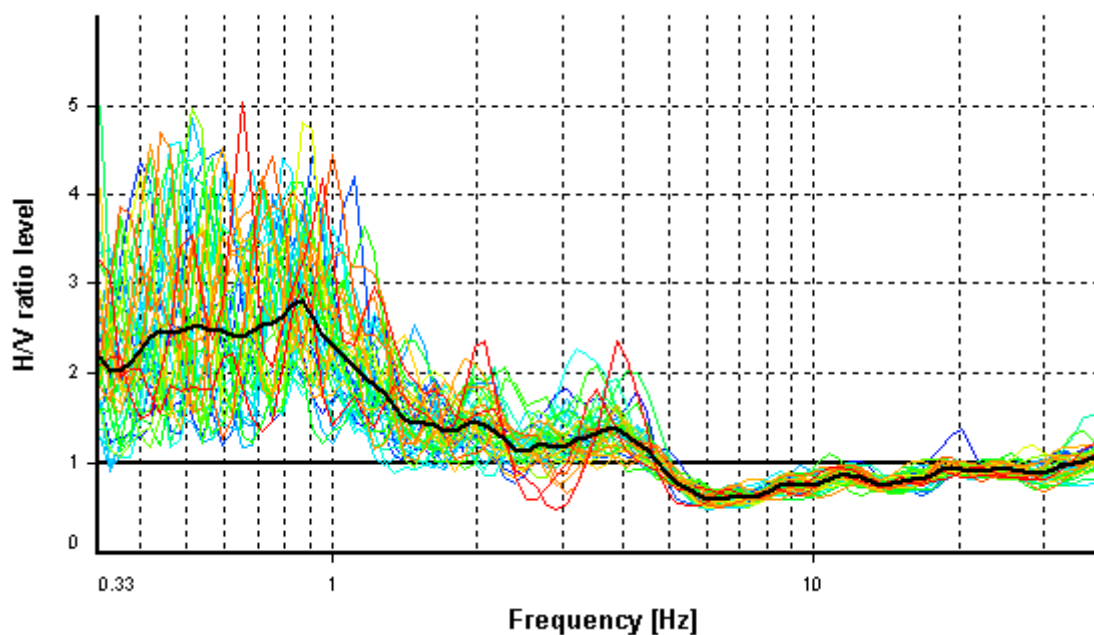
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

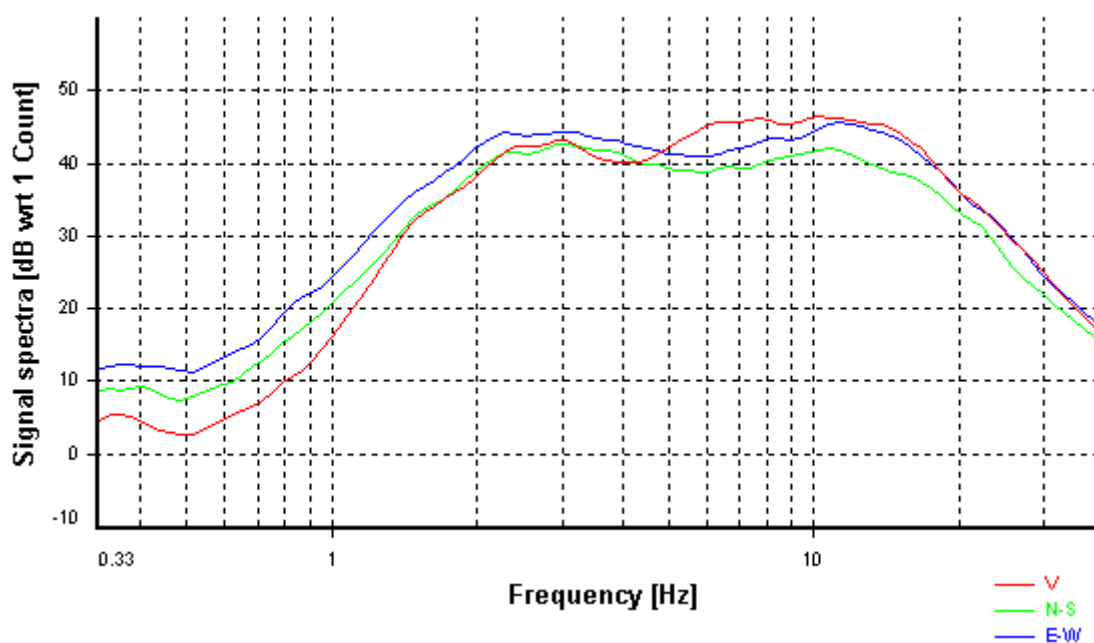
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

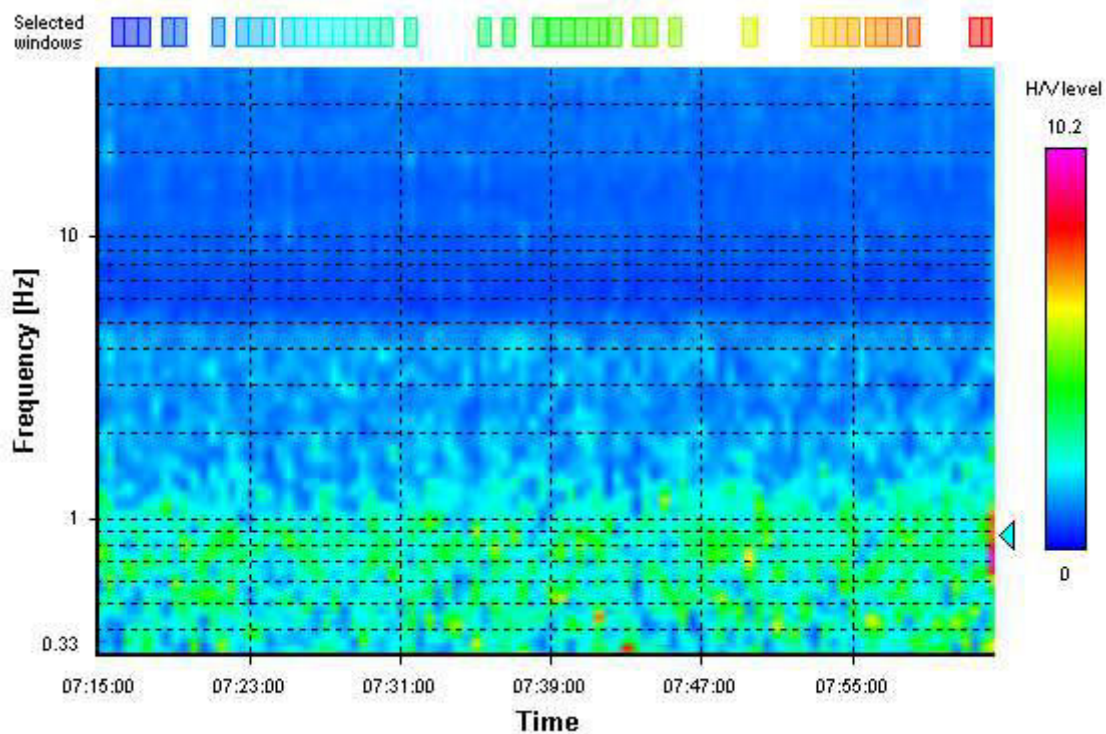
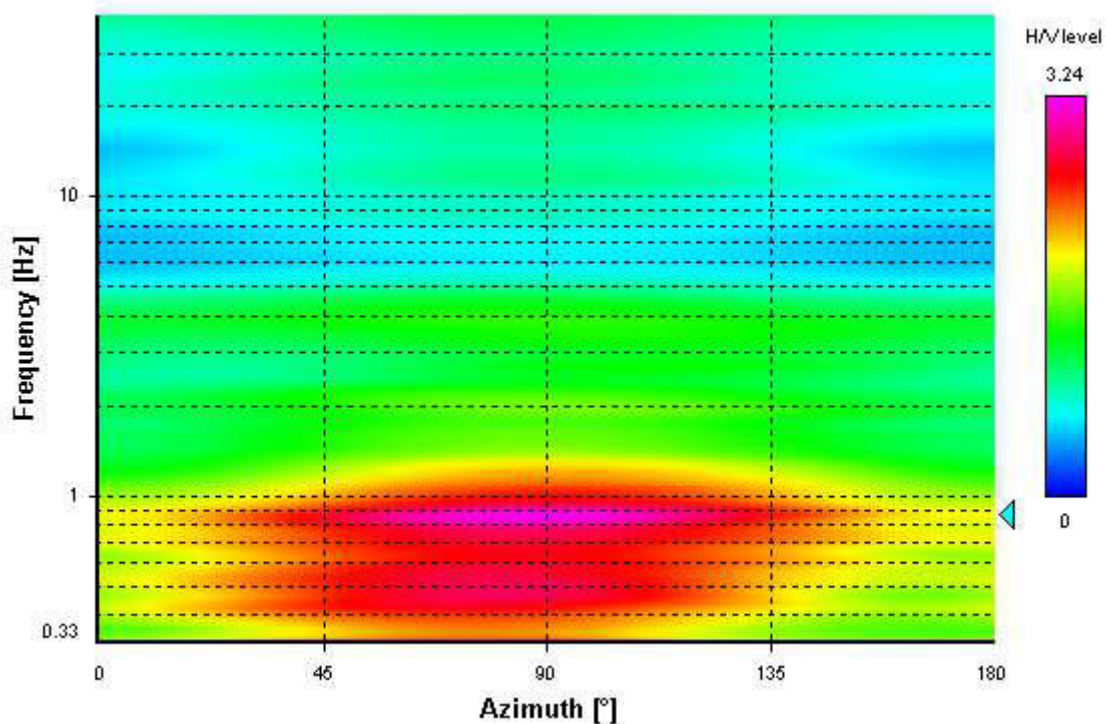
Instrumental correction: Disabled

HVSR average



Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)**HVSR directional analysis**

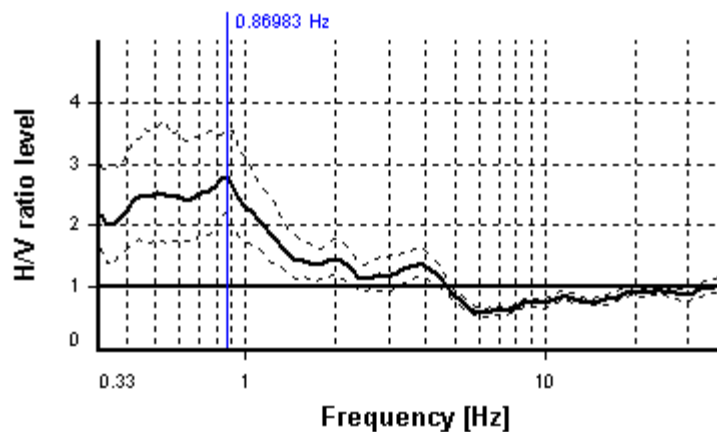
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.86983 Hz

A_0 amplitude = 2.80809

Average $f_0 = 0.77449 \pm 0.12720$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	42 valid windows (length > 11.5 s) out of 42	OK
$n_c(f_0) > 200$	1430.06 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 29	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
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	1.71425 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.81 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.1272 < 0.13047	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.2769 < 2	OK
Overall criteria fulfillment		OK

SURVEY INFORMATION

Date: 2025/08/29

Client: Comune di La Loggia

PLACE INFORMATION

Place ID: HV7

Address: Via Revignano, La Loggia (TO)

Latitude: 4978598.9

Longitude: 395584.2

Coordinate system: WGS84

Elevation: 229.6 m

Weather: Sunny

Notes: Soft soil coupling

STATION INFORMATION

Station code: S07

Model: SARA SL06

Sensor: SARA SS20PACK (integrated 2.0 Hz sensors)

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 200 Hz

Recording start time: 2025/08/11 08:18:00

Recording length: 2742 sec

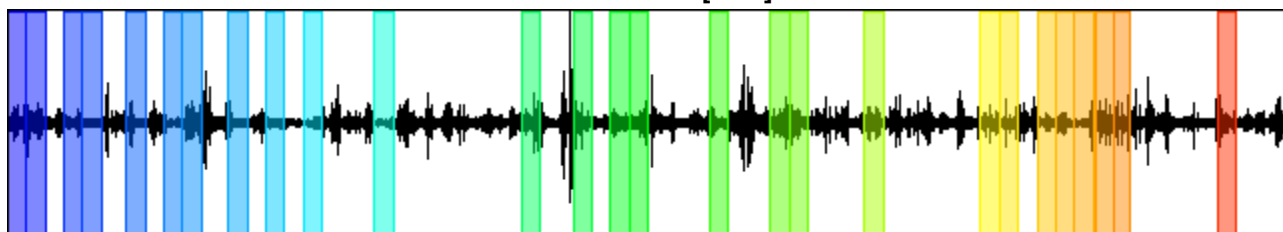
Windows count: 27

Average windows length: 39.72

Signal coverage: 39.11%

226926 Count

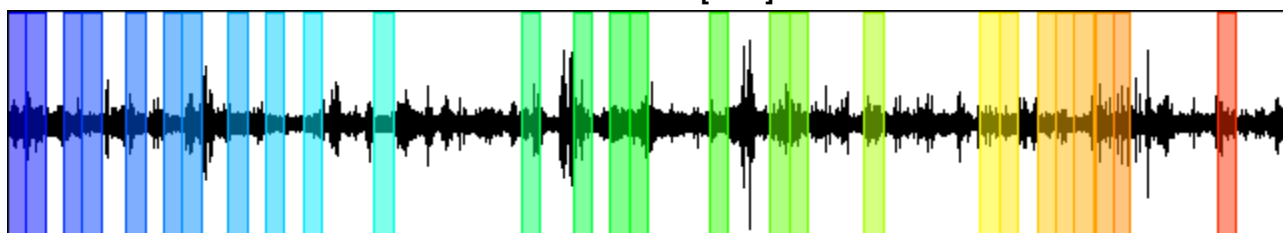
CHANNEL #1 [SHZ]



-163951 Count

84381 Count

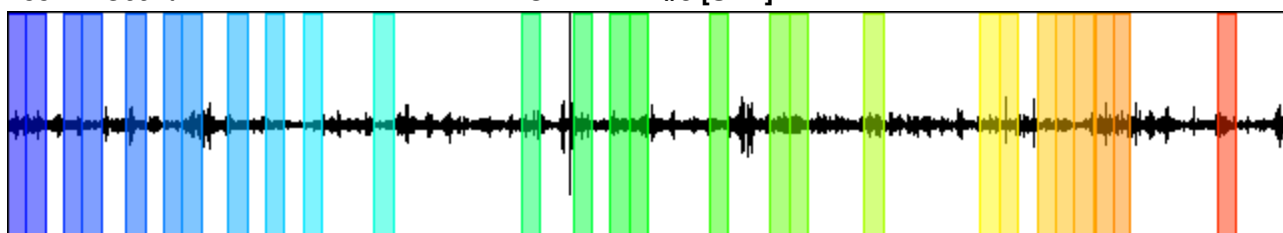
CHANNEL #2 [SHN]



-90108 Count

255721 Count

CHANNEL #3 [SHE]



-159282 Count

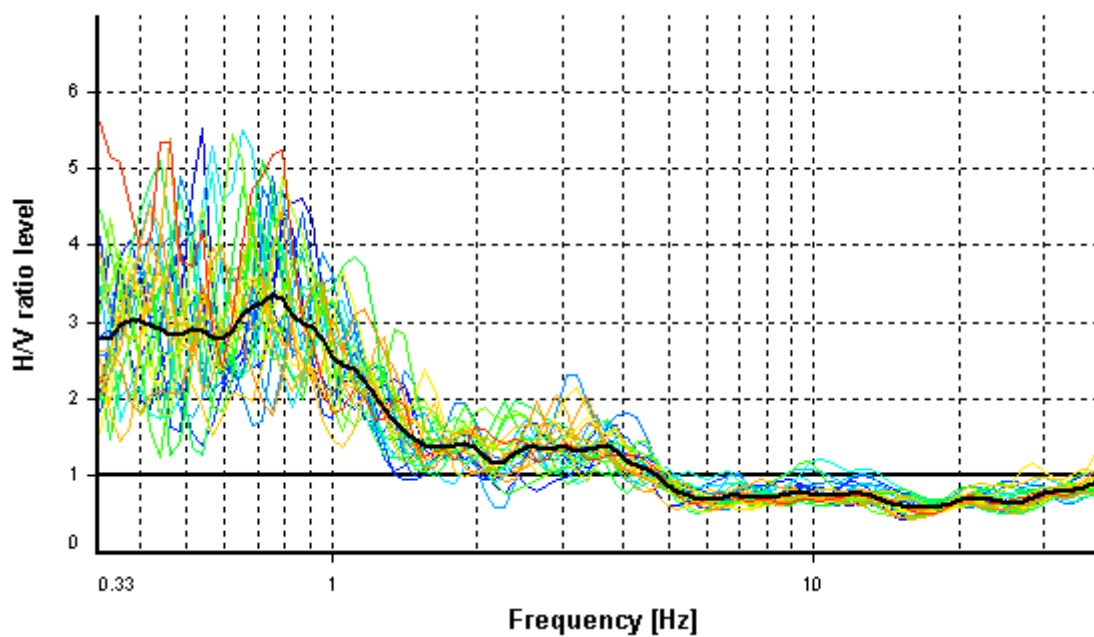
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

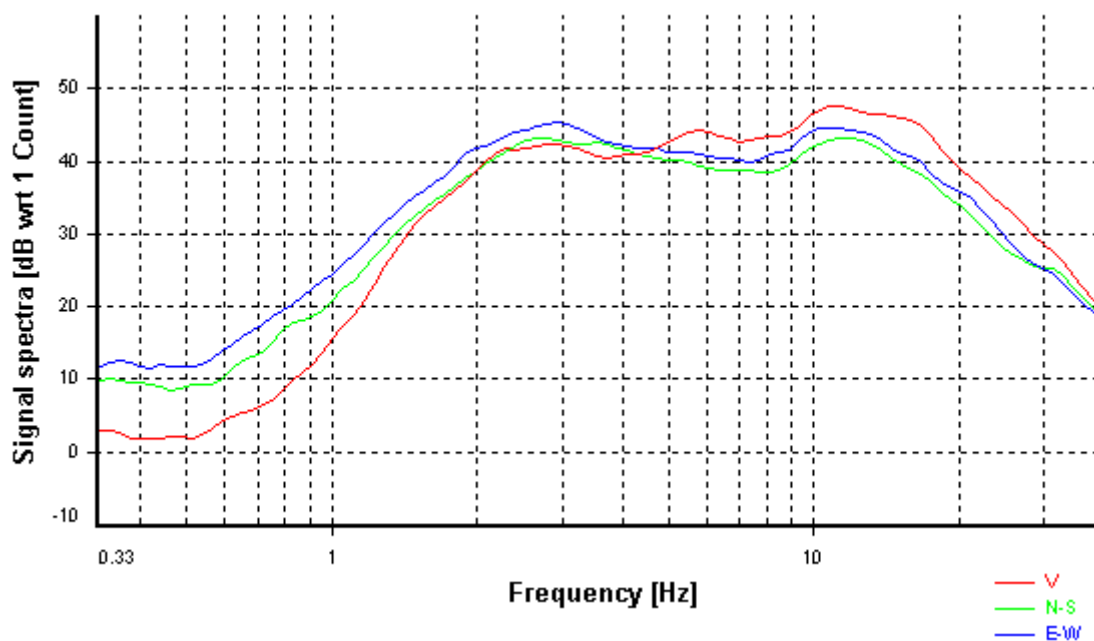
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

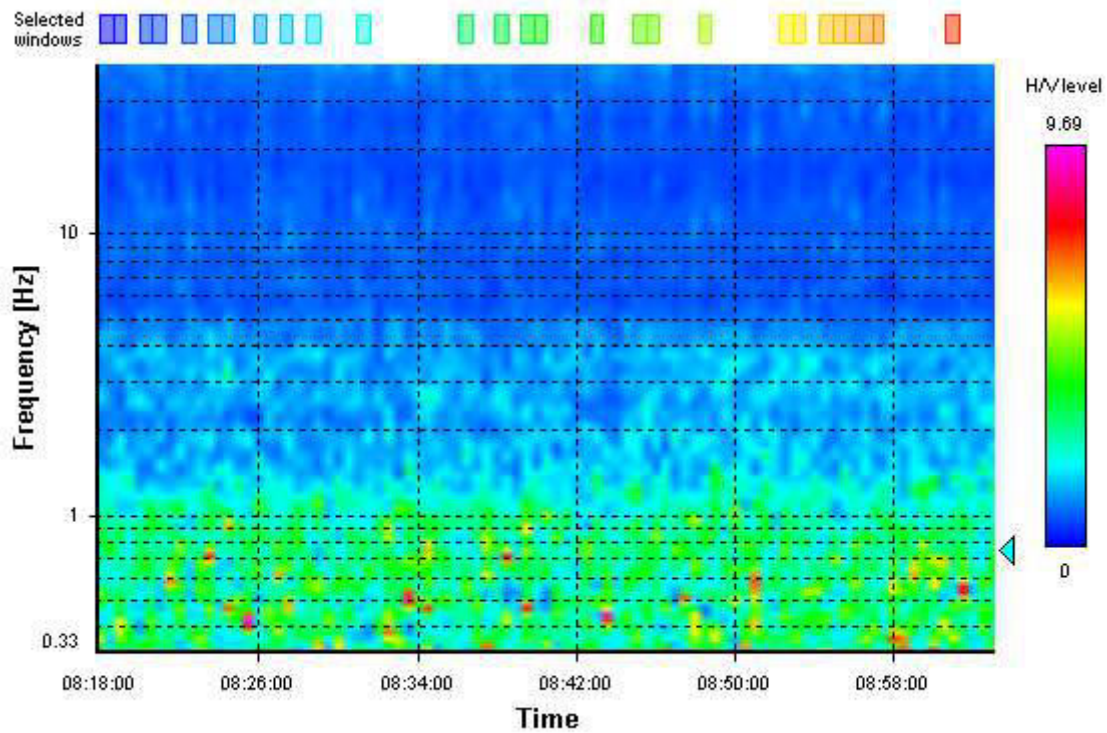
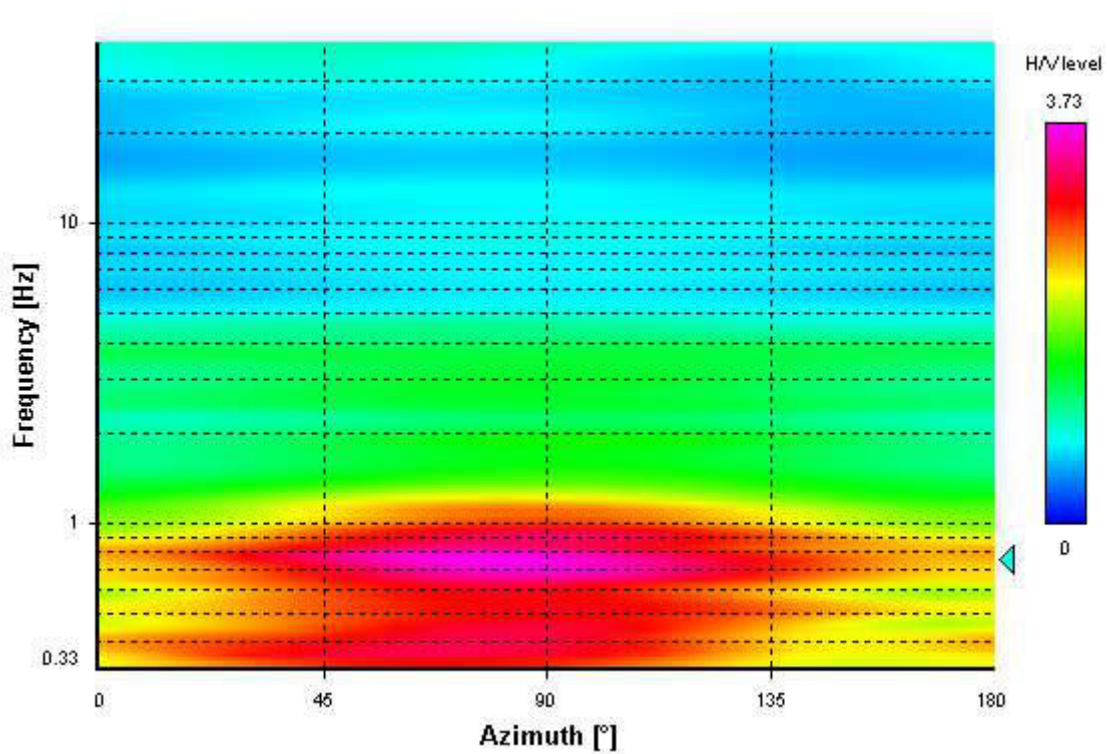
Instrumental correction: Disabled

HVSR average



Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)**HVSR directional analysis**

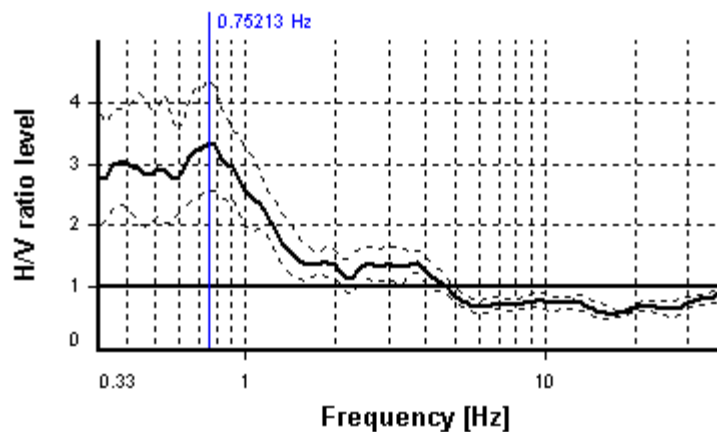
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.75213 Hz

A_0 amplitude = 3.35057

Average $f_0 = 0.71425 \pm 0.13301$



HVSR curve reliability criteria

$f_0 > 10 / L_w$	27 valid windows (length > 13.3 s) out of 27	OK
$n_c(f_0) > 200$	806.56 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 29	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
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	1.41218 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.35 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	4.97% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.13301 >= 0.11282	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.30811 < 2	OK
Overall criteria fulfillment		NO

SURVEY INFORMATION

Date: 2025/08/29

Client: Comune di La Loggia

PLACE INFORMATION

Place ID: HV8

Address: Via Ravaz, La Loggia (TO)

Latitude: 4978298.1

Longitude: 394810.8

Coordinate system: WGS84

Elevation: 231.5 m

Weather: Sunny

Notes: Soft soil coupling

STATION INFORMATION

Station code: S08

Model: SARA SL06

Sensor: SARA SS20PACK (integrated 2.0 Hz sensors)

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 200 Hz

Recording start time: 2025/08/11 09:18:00

Recording length: 2864 sec

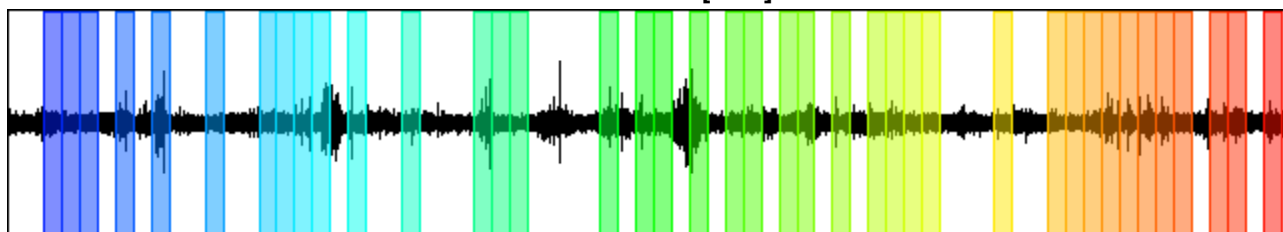
Windows count: 40

Average windows length: 40

Signal coverage: 55.87%

52255 Count

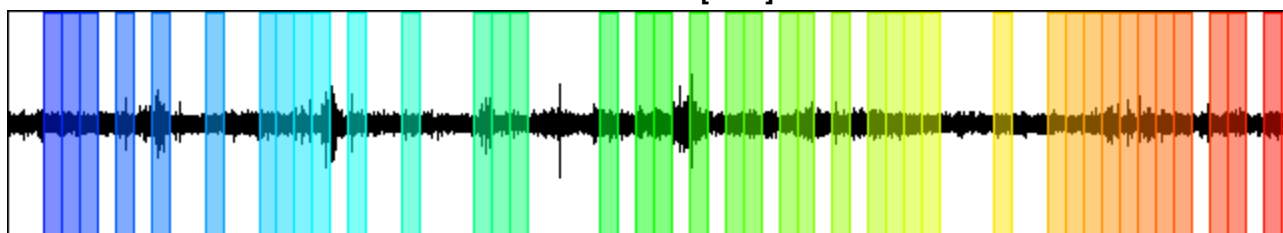
CHANNEL #1 [SHZ]



-72492 Count

55987 Count

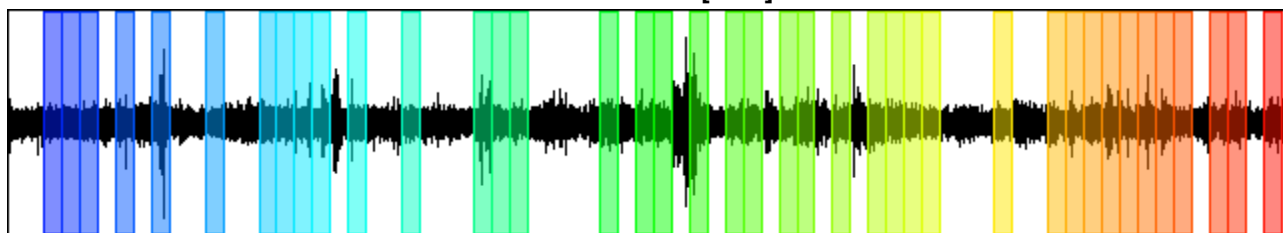
CHANNEL #2 [SHN]



-34444 Count

32605 Count

CHANNEL #3 [SHE]



-36341 Count

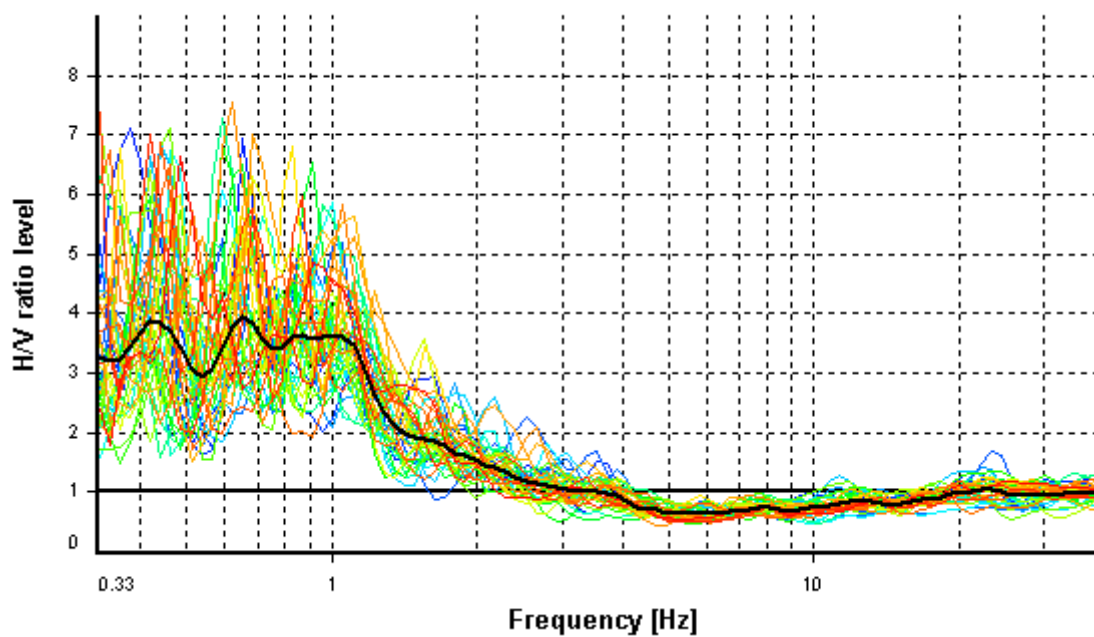
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

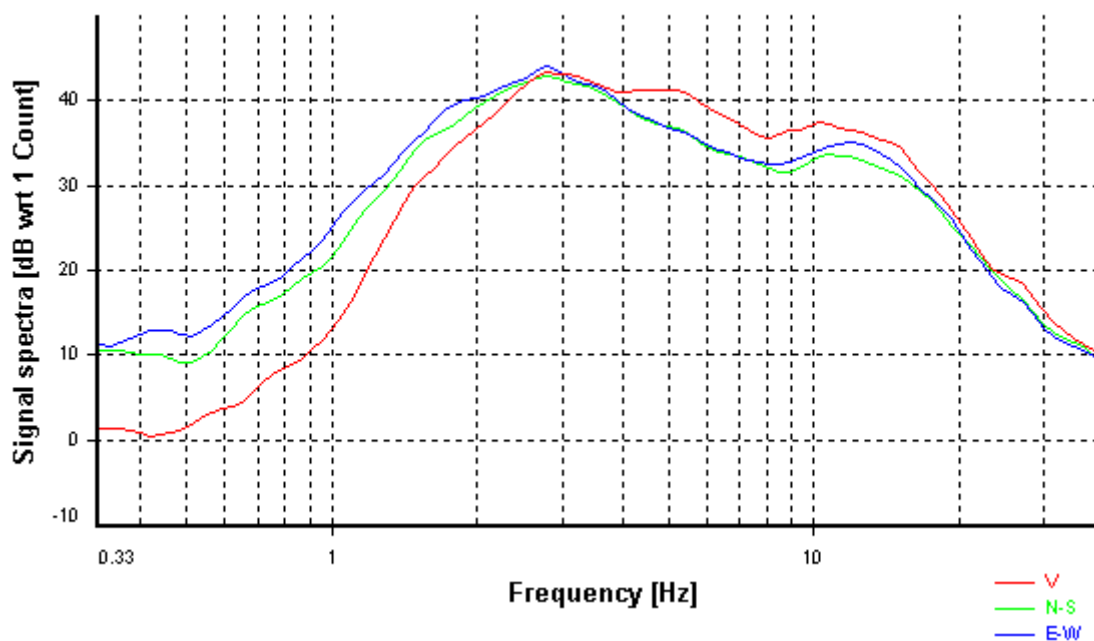
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

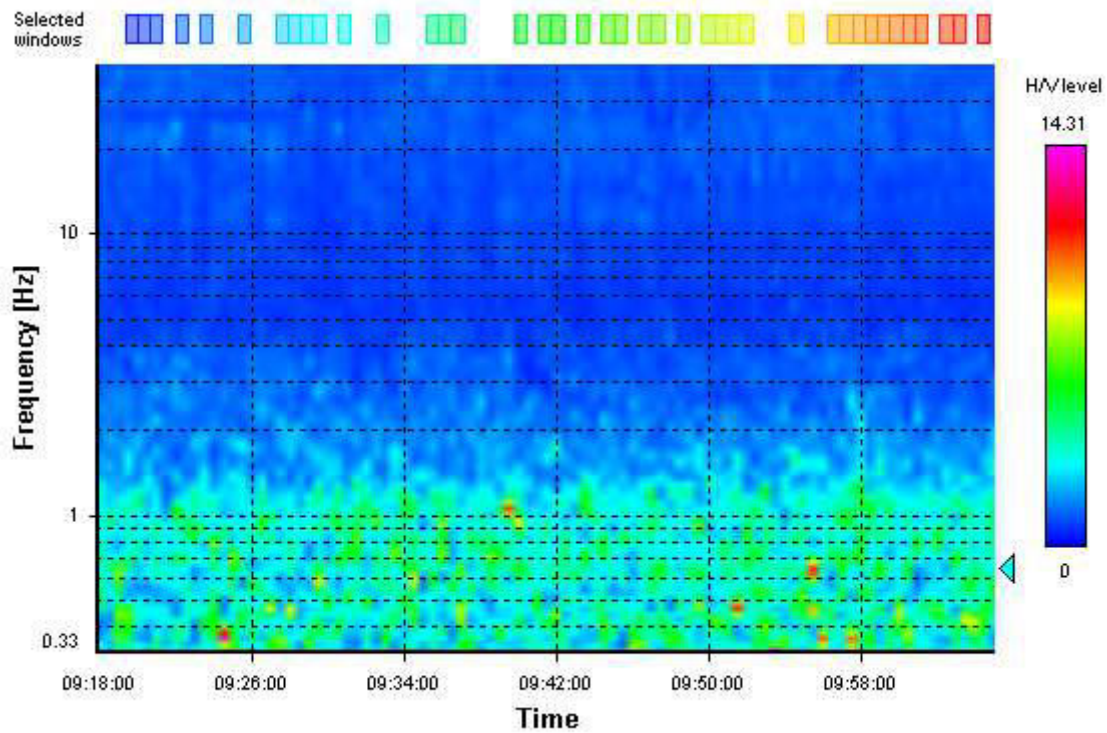
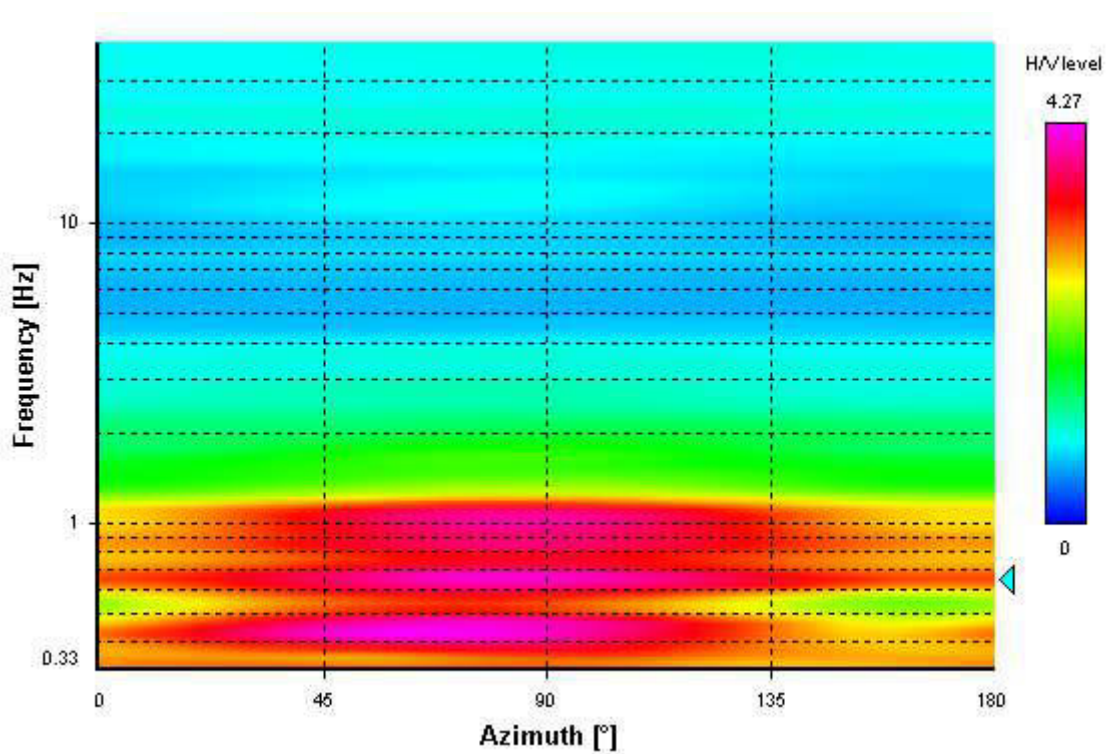
Instrumental correction: Disabled

HVSR average



Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)**HVSR directional analysis**

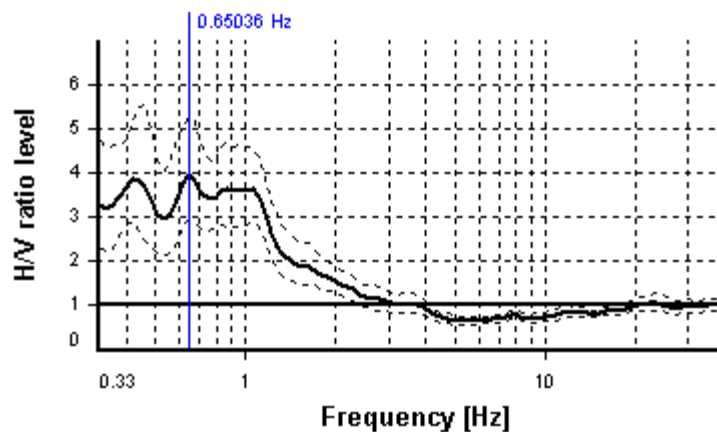
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.65036 Hz

A_0 amplitude = 3.96003

Average $f_0 = 0.61973 \pm 0.16716$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	40 valid windows (length > 15.38 s) out of 40	OK
$n_c(f_0) > 200$	1040.58 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 29	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
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	1.4823 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.96 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	28.77% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.16716 >= 0.09755	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.33651 < 2	OK
Overall criteria fulfillment		NO

SURVEY INFORMATION

Date: 2025/08/29

Client: Comune di La Loggia

PLACE INFORMATION

Place ID: HV9

Address: Via Campassi, La Loggia (TO)

Latitude: 4977689.6

Longitude: 394212.7

Coordinate system: WGS84

Elevation: 228.3 m

Weather: Sunny

Notes: Soft soil coupling

STATION INFORMATION

Station code: S09

Model: SARA SL06

Sensor: SARA SS20PACK (integrated 2.0 Hz sensors)

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 200 Hz

Recording start time: 2025/08/11 10:21:00

Recording length: 2830 sec

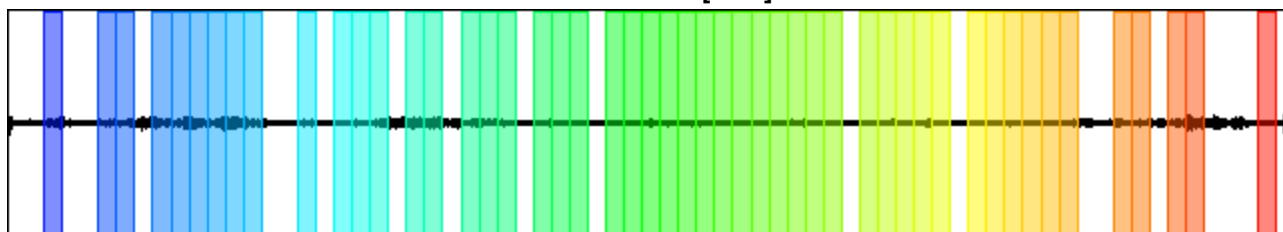
Windows count: 50

Average windows length: 40

Signal coverage: 70.57%

203630 Count

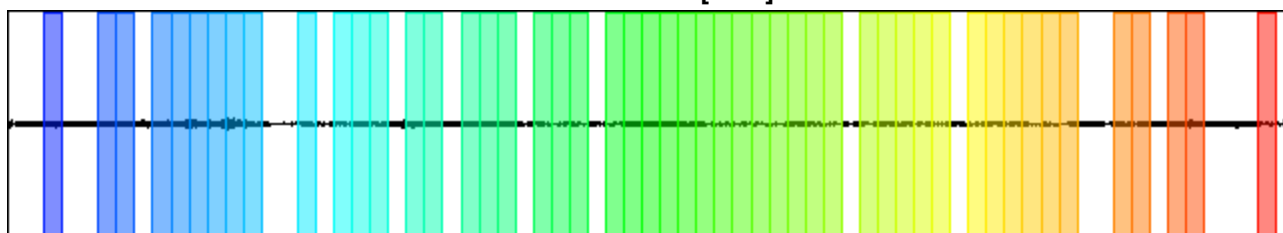
CHANNEL #1 [SHZ]



-133671 Count

360353 Count

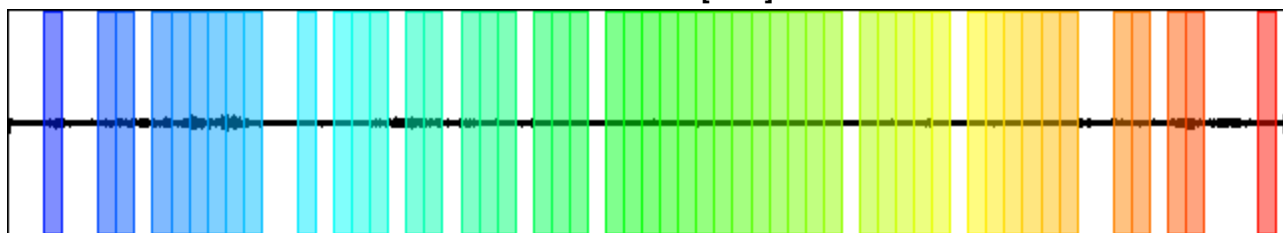
CHANNEL #2 [SHN]



-222023 Count

133843 Count

CHANNEL #3 [SHE]



-239975 Count

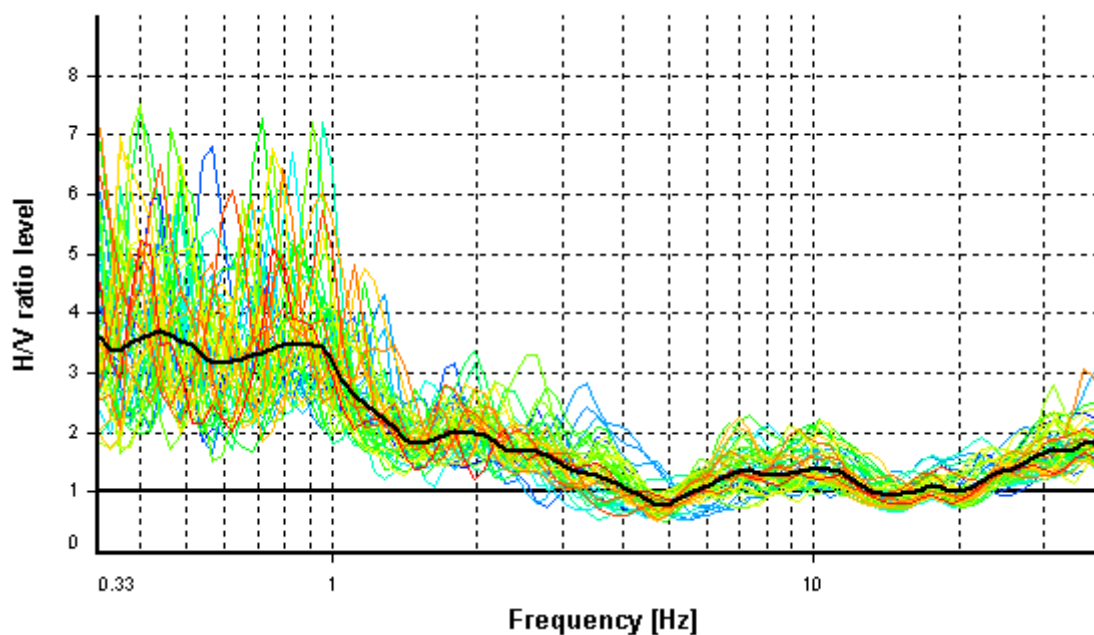
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

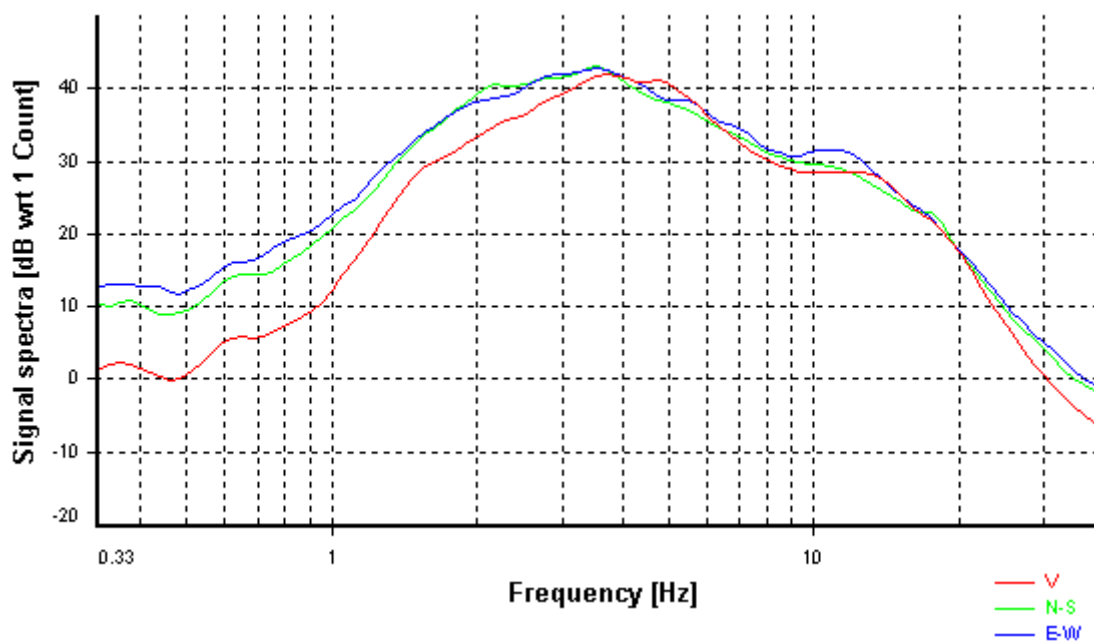
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

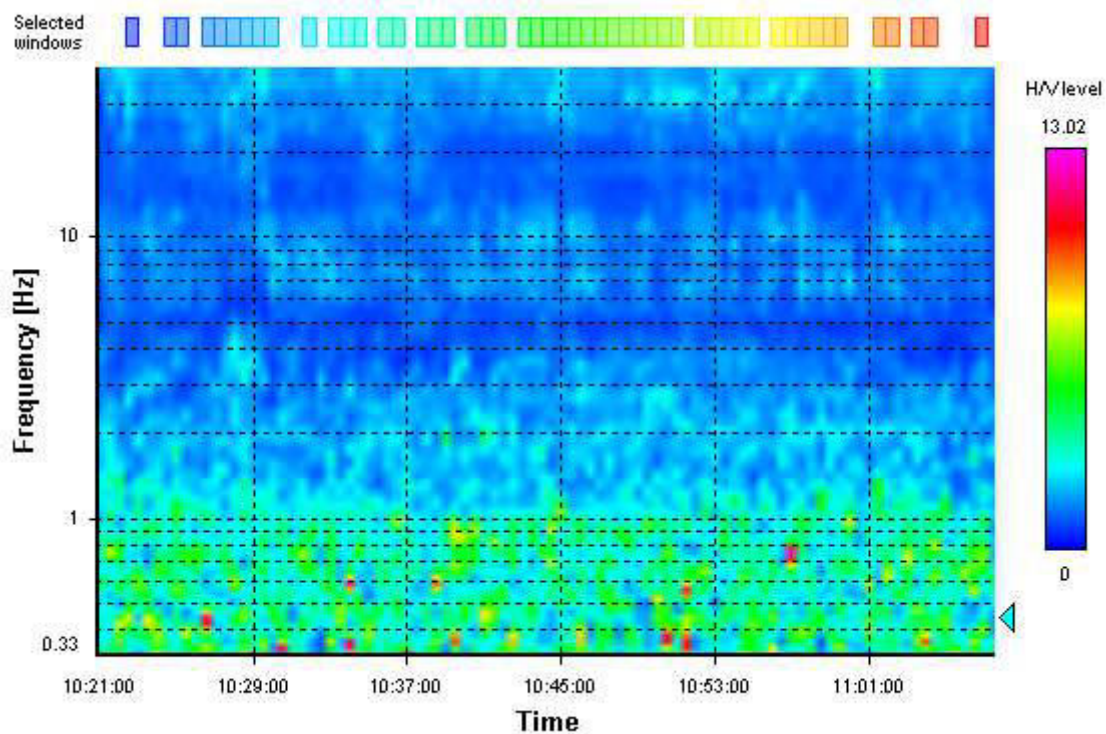
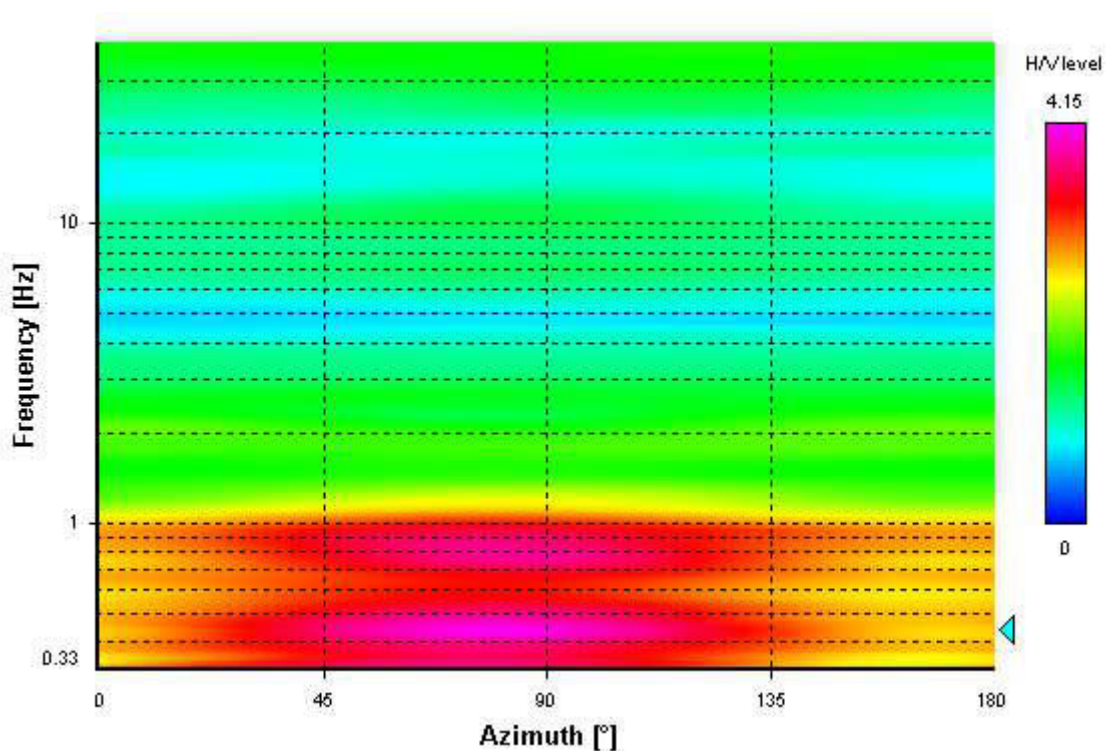
Instrumental correction: Disabled

HVSR average



Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)**HVSR directional analysis**

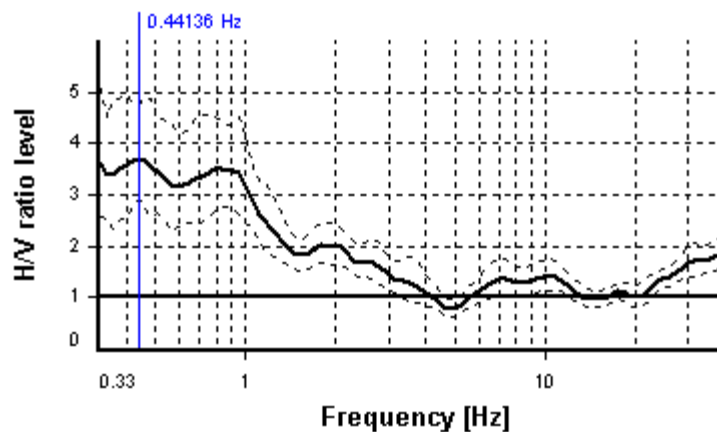
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.44136 Hz

A_0 amplitude = 3.71081

Average $f_0 = 0.45232 \pm 0.09847$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	50 valid windows (length > 22.66 s) out of 50	OK
$n_c(f_0) > 200$	882.71 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 21	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
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	1.4823 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.71 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	25.23% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.09847 >= 0.08827	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.2784 < 2.5	OK
Overall criteria fulfillment		NO

SURVEY INFORMATION

Date: 2025/08/29

Client: Comune di La Loggia

PLACE INFORMATION

Place ID: HV10

Address: Via Finale Ligure, La Loggia (TO)

Latitude: 4977458.1

Longitude: 394829.8

Coordinate system: WGS84

Elevation: 229.5 m

Weather: Sunny

Notes: Soft soil coupling

STATION INFORMATION

Station code: S10

Model: SARA SL06

Sensor: SARA SS20PACK (integrated 2.0 Hz sensors)

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 200 Hz

Recording start time: 2025/08/11 11:43:00

Recording length: 3600 sec

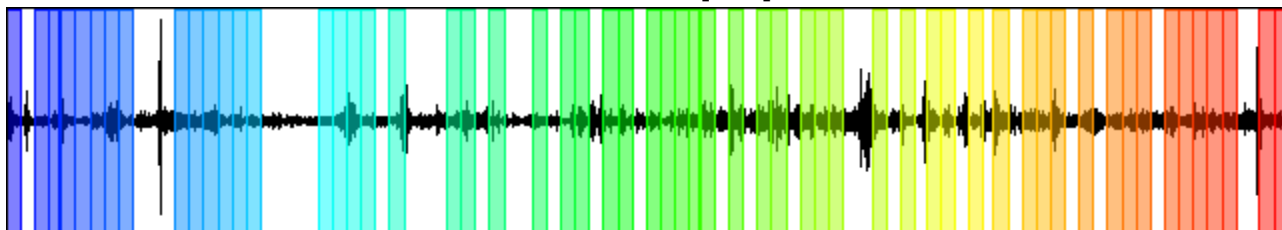
Windows count: 58

Average windows length: 39.55

Signal coverage: 63.73%

146249 Count

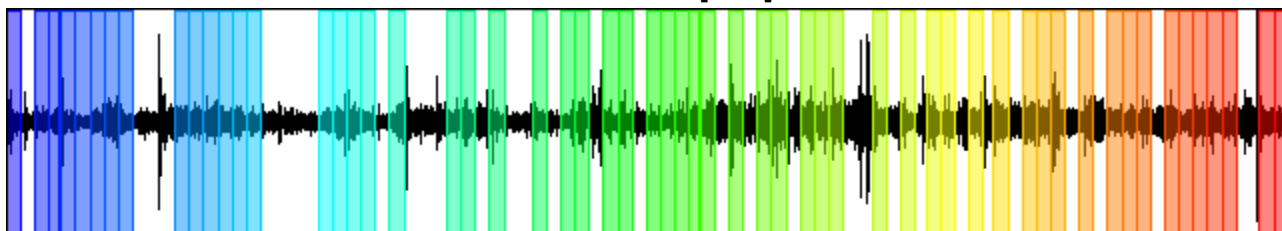
CHANNEL #1 [SHZ]



-155217 Count

57311 Count

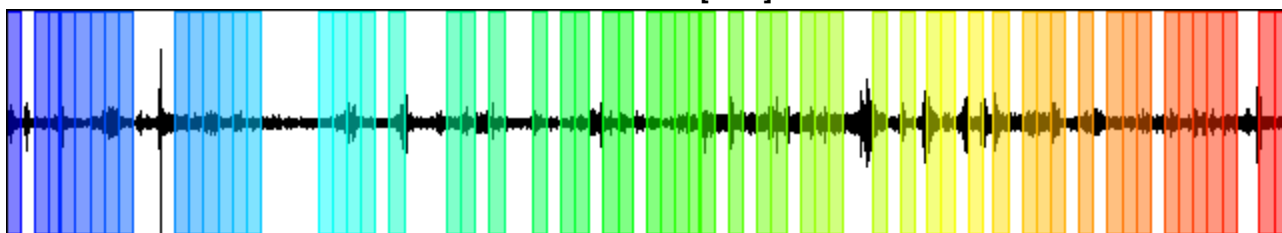
CHANNEL #2 [SHN]



-50936 Count

99125 Count

CHANNEL #3 [SHE]



-139025 Count

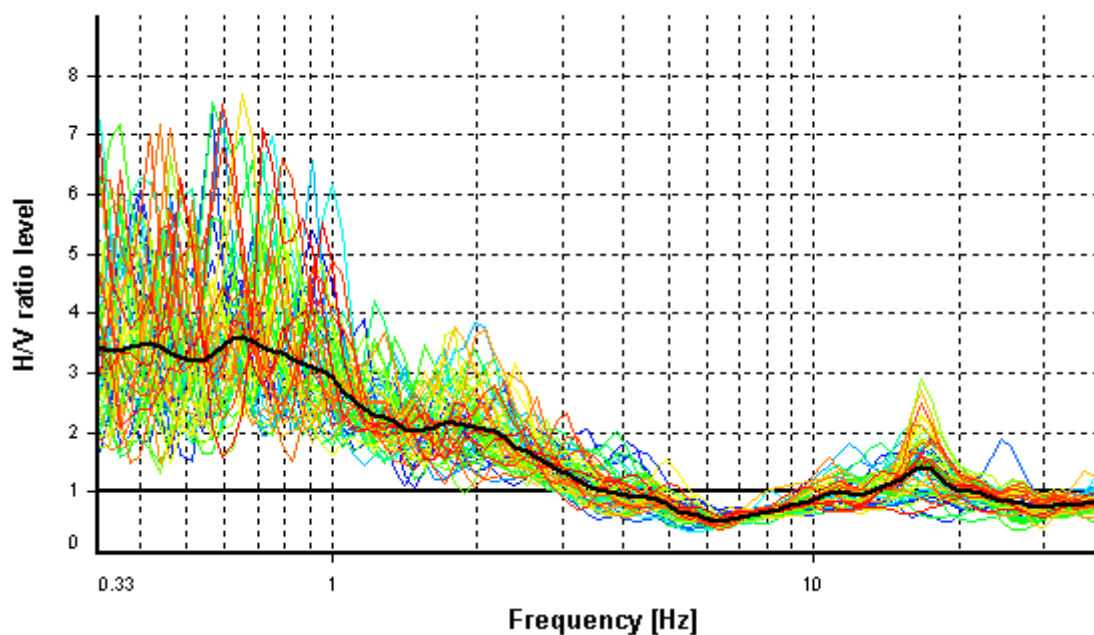
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

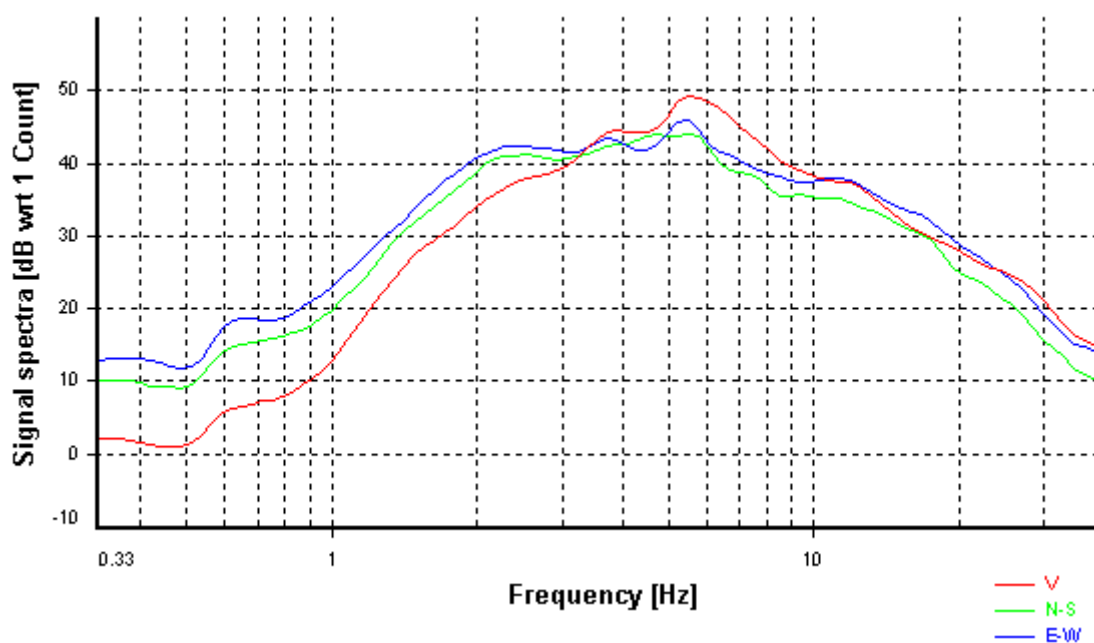
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

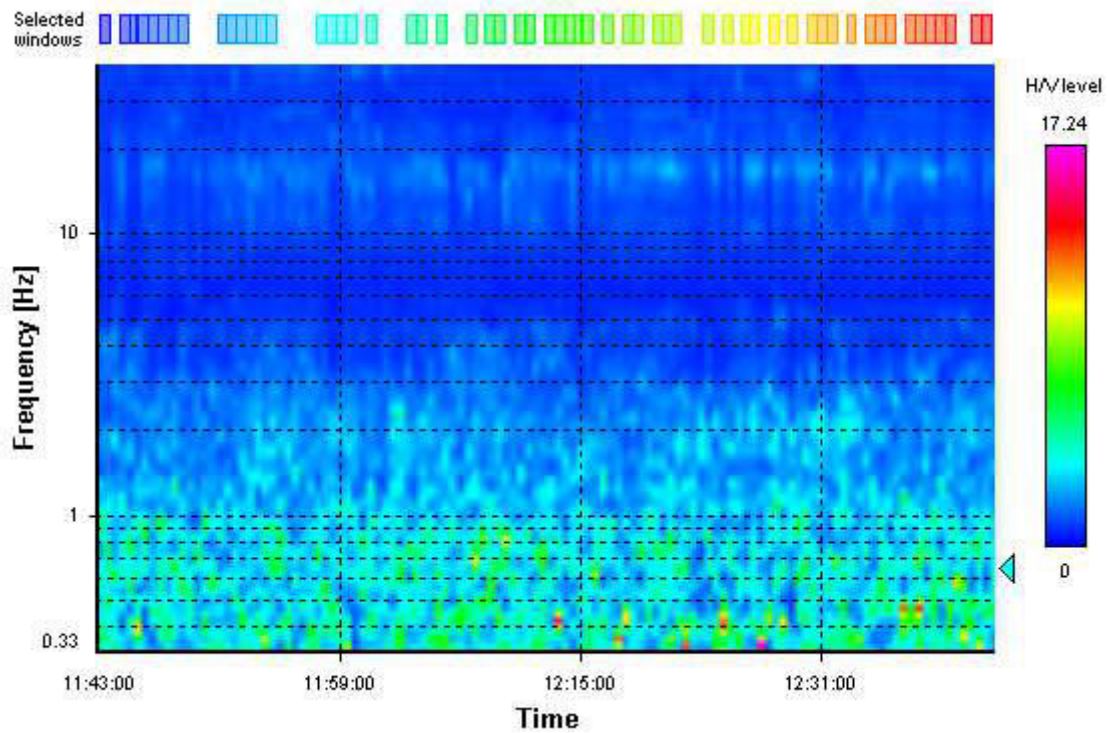
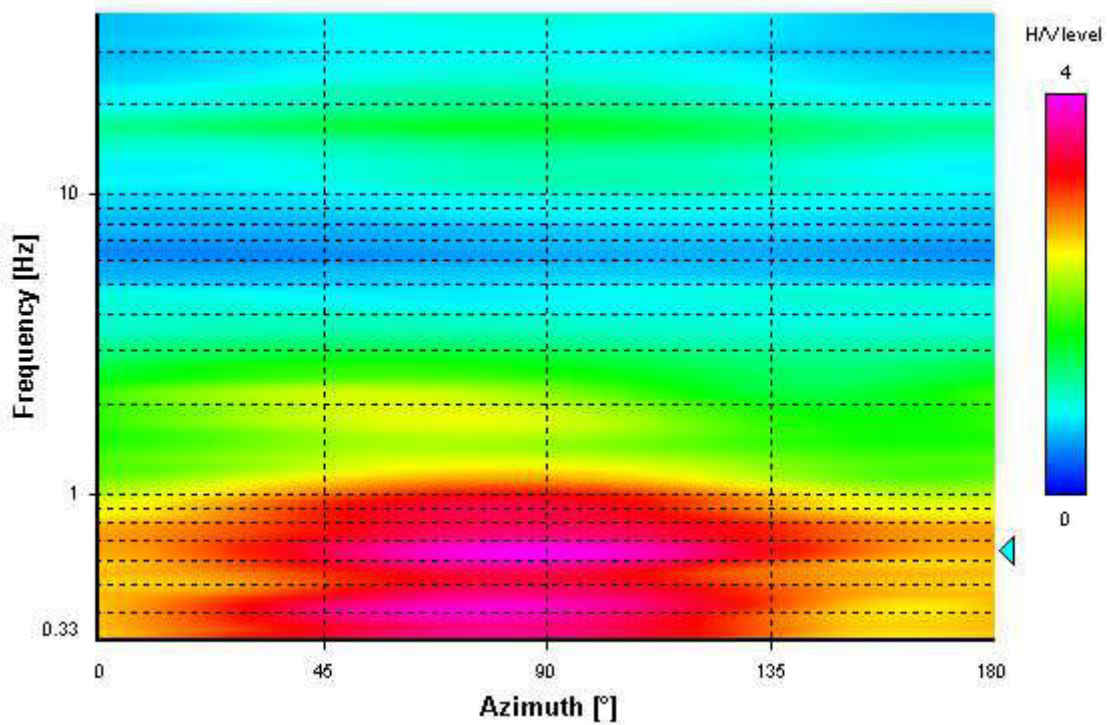
Instrumental correction: Disabled

HVSR average



Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)**HVSR directional analysis**

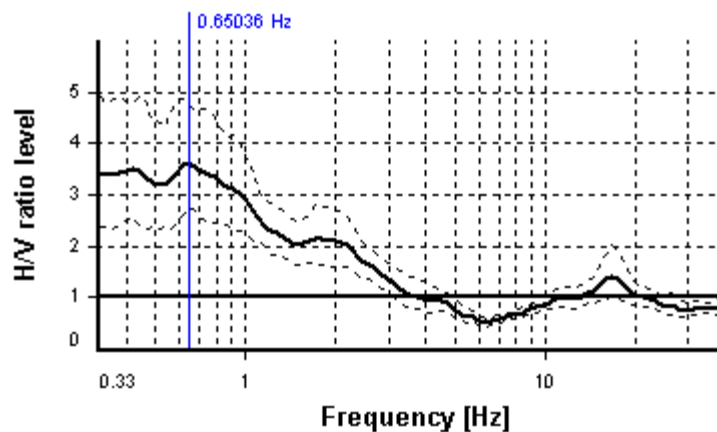
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.65036 Hz

A_0 amplitude = 3.61387

Average $f_0 = 0.62253 \pm 0.14457$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	58 valid windows (length > 15.38 s) out of 58	OK
$n_c(f_0) > 200$	1492.03 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 29	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
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	2.40656 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.61 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	32.14% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.14457 $\geq$ 0.09755	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.30376 < 2	OK
Overall criteria fulfillment		NO

APPENDICE C

Cenni teorici sulla metodologia MASW

Le prove MASW servono per determinare il profilo di velocità delle onde di taglio V_s , e quindi risalire a:

- il tipo di suolo sismico (A, B, C, D, E);
- le azioni sismiche con cui progettare e verificare le opere di Ingegneria Civile;
- il modulo di rigidezza del terreno;
- i cedimenti e gli spostamenti delle opere interagenti con il terreno: edifici, ponti, rilevati arginali, opere di sostegno, ecc.

La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo è un fenomeno multi-modale: data una determinata stratigrafia, in corrispondenza di una certa frequenza, possono esistere diverse lunghezze d'onda. Di conseguenza, ad una determinata frequenza possono corrispondere diverse velocità di fase, ad ognuna delle quali corrisponde un modo di propagazione e differenti modi di vibrazione possono esibirsi simultaneamente.

La curva di dispersione ottenuta elaborando i dati derivanti dalle indagini sismiche col metodo SWM (surface waves multichannel) è una curva apparente derivante dalla sovrapposizione delle curve relative ai vari modi di vibrazione, e che per i limiti indotti dal campionamento non necessariamente coincide con singoli modi nei diversi intervalli di frequenza campionati.

Il processo di caratterizzazione basato sul metodo delle onde superficiali, schematizzato in Figura 1 e 2, può essere suddiviso in tre fasi:

- Acquisizione (Figura 1);
- Elaborazione (Figura 2);
- Inversione (Figura 3).

L'acquisizione dei dati può essere di tipo "attivo" o "passivo". Nel primo caso si procede mediante l'energizzazione del suolo mediante sorgenti di vario tipo (masse battenti, sorgenti vibratorie ecc.). E' possibile in tal modo ottenere la generazione di onde sismiche di vario tipo tra cui le onde di superficie (Rayleigh o Love).

Nelle acquisizioni passive al contrario si procede alla registrazione delle onde di superficie generate dall'attività antropica prossimale. In tal caso le effettive sorgenti del segnale sismico sono sconosciute (traffico veicolare, vibrazioni generate da attività industriali ecc); l'acquisizione dei dati richiede stendimenti bidimensionali e lunghi tempi di registrazione.

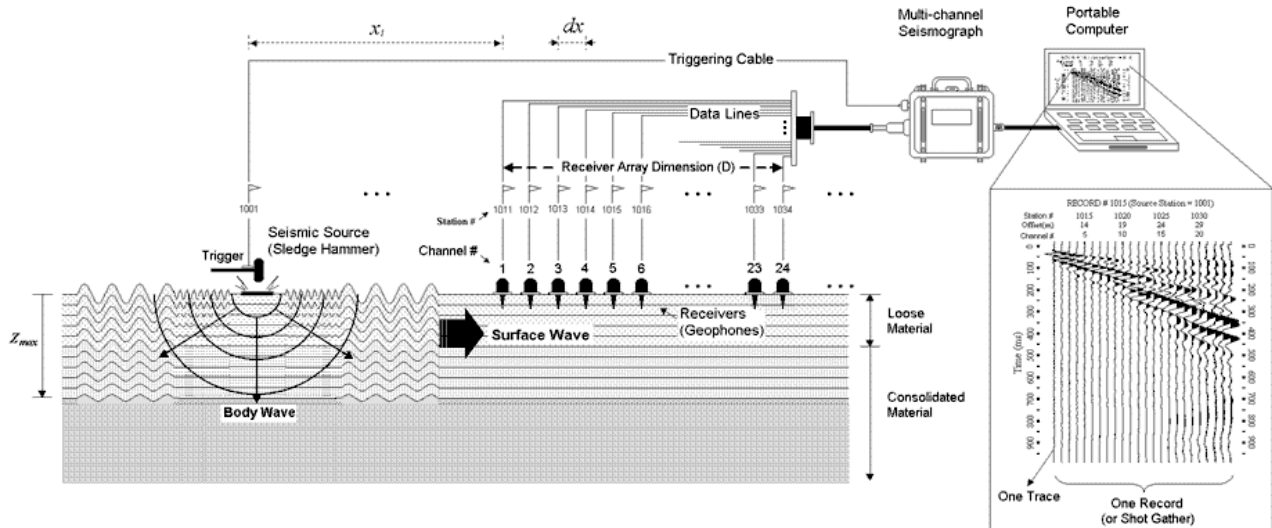


Figura 1 - Schema di acquisizione attiva di onde di superficie

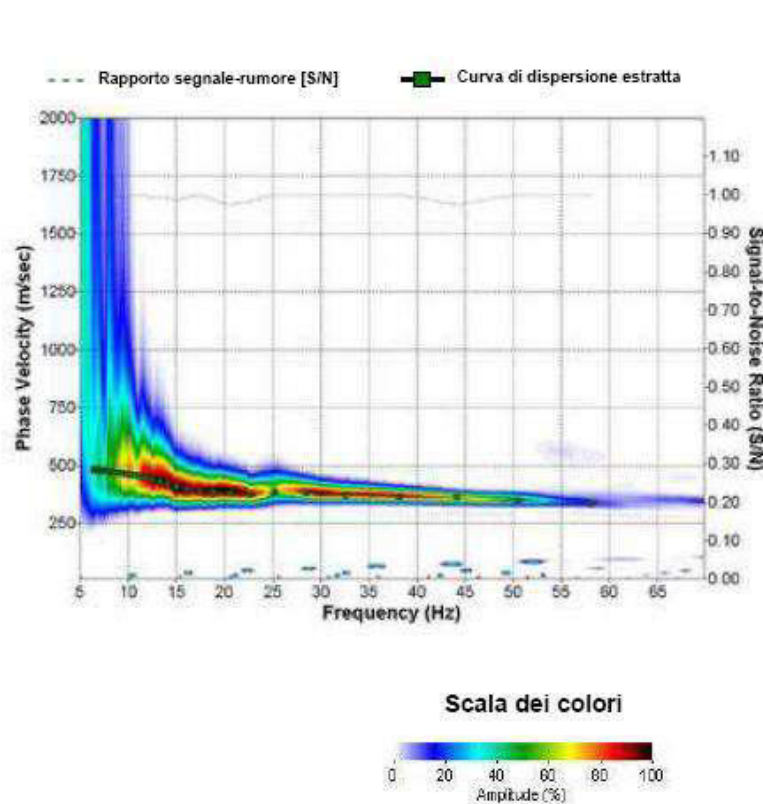


Figura 3 - Curva di dispersione della velocità V_s in funzione della frequenza e della velocità di fase

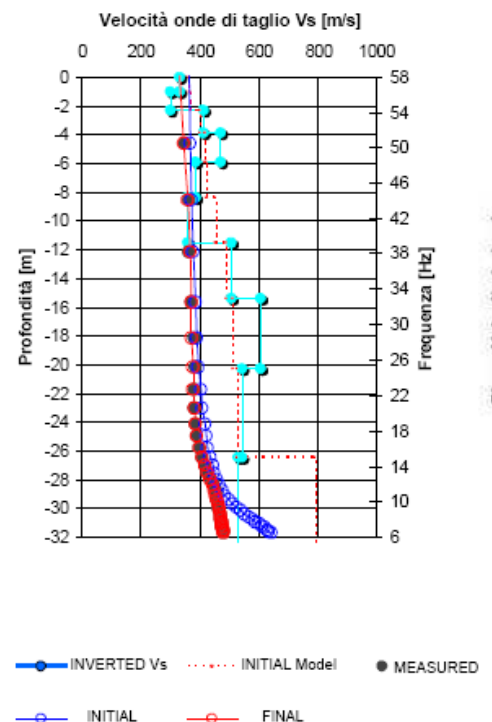


Figura 2 - Modello di propagazione delle velocità delle onde V_s

I dati acquisiti vengono sottoposti ad una fase di processing che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto ovvero, la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (il codice di calcolo utilizzato è SurfSeis ® v. 6.4.1, Kansas University USA).

Esistono diverse tecniche di processing per estrarre dai sismogrammi le caratteristiche dispersive del sito. La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale in dominio f-k (frequenza-numero d'onda). I dati sismici registrati vengono sottoposti a una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio tempo) al dominio f-k.

Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere una curva di dispersione per le onde di Rayleigh, nell'ipotesi che nell'intervallo di frequenze analizzato le onde che si propagano con il maggiore contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh, e se le caratteristiche del sito sono tali da consentire la propagazione delle onde superficiali e un comportamento dispersivo delle stesse. Si dimostra infatti che la velocità delle onde di Rayleigh è associata ai massimi dello spettro f-k; si può ottenere facilmente una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza il picco spettrale, al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh V_R , determinabile in base alla teoria delle onde dalla relazione:

$$V_R(f) = 2\pi f/k$$

Riportando le coppie di valori (V_R, f) in un grafico, si ottiene la curva di dispersione utilizzabile nella successiva fase di inversione (Figura 2). La fase di inversione deve essere preceduta da una parametrizzazione del sottosuolo, che viene di norma schematizzato come un mezzo visco-elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati.

Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, ed eventualmente delle informazioni note a priori riguardo la stratigrafia, il problema diretto viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello. Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza fra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica). Usualmente, algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati vengono utilizzati per automatizzare la procedura (Figura 3).

Specifiche tecniche della strumentazione sismica

DAQLink 4 Specifications

1 to 24 channels per unit
Weatherproof enclosure
Multiple units can be used together
for large channel count

A/D conversion:

24 bit high-speed sigma delta converters

Dynamic range:

144 dB (system)
Greater than 125 dB (measured at 2msec)

Bandwidth:

DC to 20 KHz –
Digital Filter Bandwidth = 85% of (sample rate)

Common Mode Rejection:

Greater than 100 dB

Crosstalk:

Better than 125 dB

Noise Floor:

0.15 microvolt RMS noise (2 msec sample rate)

Trigger Accuracy:

+/- 1 microsecond at all sample rates

Maximum Input Signal:

X 1 gain: 6.6 volts peak to peak
X 4 gain: 1.65 volts peak to peak
X 16 gain: 0.412 volts peak to peak

Input Impedance:

100 K ohms

Preamplifier Gains:

X1,X4 and X16 standard; software selectable

Anti-alias Filters:

85 % of Nyquist frequency

Digital Filters:

Low Cut – User Selectable frequency
Notch – 50 or 60 Hz standard – User selectable
High Cut – User Selectable

Sample Interval:

0.0156, 0.0208, 0.0625, 0.125, 0.250, 0.500, 1.00, 2.00, 4.00, 8.00 millisecond

Sample Frequency:

64000, 48000, 16000, 8000, 4000, 2000, 1000, 500, 250, 125 samples/second

Record Length:

Up to 16 Gbytes/ number of channels

Pre-trigger delay:

10 second

Continuous Recording Option

GPS Interface Standard

Internal Clock synchronized to GPS time
GPS Time and Position saved with data

Internal Storage:

Compact Flash style storage media
Standard FAT16 or FAT32 file system
(Maximum file size = 32GB)

100Mbit Ethernet

Download speed 8MByte/sec; real time transfer

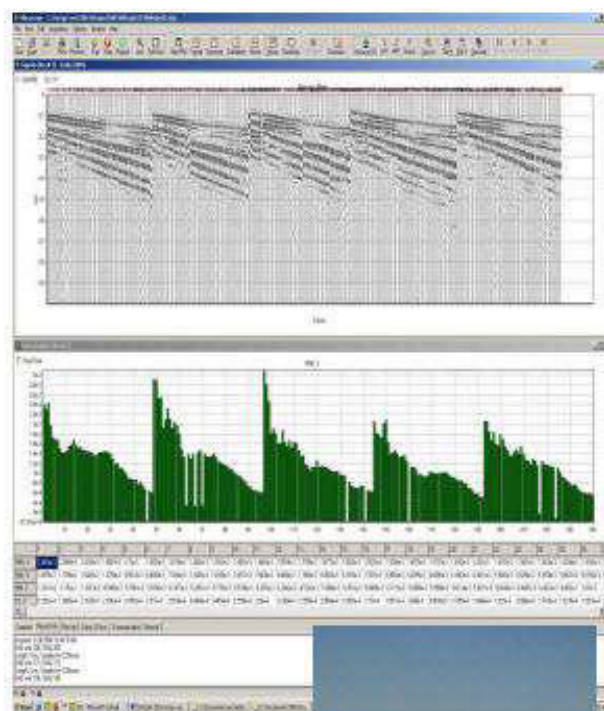
Power consumption:

24 channels – less than 0.14 watts/channel

Built in Line Testing and Instrument Tests

Size: 380x250x40 mm

Weight: 2.0 Kg



APPENDICE D

Cenni teorici sulla metodologia HVSR

La metodologia, chiamata anche tecnica di Nakamura (1989), è stata introdotta da Nogoshi e Igarashi (1971) sulla base degli studi di Kanai e Tanaka (1961). Questa tecnica si basa essenzialmente sul rapporto spettrale H/V di rumore ambientale (seismic noise) e permette di valutare gli effetti locali di sito.

La tecnica proposta da Nakamura assume che i microtrempi (il cosiddetto rumore di fondo registrabile in qualunque momento posizionando un sensore sismico sul terreno) consistano principalmente di un tipo di onde superficiali, le onde di Rayleigh, che si propagano in un singolo strato sovrastante su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito.

Per l'applicazione e l'interpretazione di questa tecnica è fondamentale una buona conoscenza dell'ingegneria sismologica combinata con un background di informazioni relative alle caratteristiche geologiche, geofisiche e geotecniche del sito. Questa tecnica presenta il vantaggio di poter essere adoperata pressoché ovunque, purché siano garantite l'assenza di forti vibrazioni indotte da attività umane nelle vicinanze del punto di misura. Il metodo è generalmente applicato per studi di microzonazione e per valutare la risposta sismica locale. Questa tecnologia è stata oggetto del progetto di ricerca SESAME (Site Effects assessment using AMbient Excitations) ed a questo si rimanda per le linee guida della tecnica H/V spectral ratio (<http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>).

La sismica passiva a stazione singola fornisce informazioni sui terreni di indagine relativamente alle frequenze naturali e di risonanza.

Le basi teoriche dell'HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D) è abbastanza semplice. Si consideri un sistema in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene parzialmente riflessa dall'orizzonte che separa i due strati, e questa una volta riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore h del primo strato.

In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a:

$$f_r = V_{p1}/(4h)$$

mentre quella relativa alle onde S è:

$$f_r = V_{s1}/(4h)$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Questo, insieme ad una stima della velocità, è in grado di fornire previsioni sullo spessore h degli strati. Questa informazione è per lo più contenuta nella

componente verticale del moto, ma la prassi di usare il rapporto degli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per

- il contenuto in frequenza,
- la risposta strumentale,
- l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base della popolarità del metodo. Si rileva inoltre come i microtremori siano solo in parte costituiti da onde di volume, P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh (Lachet e Bard, 1994). Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

L'applicabilità pratica della semplice formula sopra riportata relativa alle onde S è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica sia nell'ambito ingegneristico. Poiché la situazione illustrata è tipica delle coltri sedimentarie sovrastanti basamenti rocciosi, il metodo HVSR è parso immediatamente applicabile alla determinazione dello spessore delle coltri sedimentarie (Ibs-Von Seht e Wohleberg, 1999).

La misura prevede la registrazione, senza utilizzo di alcun strumento di energizzazione del terreno, del microtremore sismico ambientale nel dominio del tempo, sulle tre componenti dello spazio attraverso il posizionamento di adeguati strumenti sismometrici costituiti da sensori tridimensionali. Per queste misure è sconsigliato l'impiego di accelerometri, non sufficientemente sensibili a frequenze inferiori a 1 Hz, né di accelerometri sismologici. Essendo la stabilità una caratteristica fondamentale non sono impiegabili sismometri broadband con periodo naturale maggiore ai 20 secondi in quanto richiedono lunghi tempi di stabilizzazione, come non sono raccomandabili sensori con frequenza naturale inferiore alla più bassa frequenza di interesse. Indicativamente, la frequenza di sito è funzione diretta della vicinanza del bedrock dalla superficie topografica e della rigidità dei materiali.

Per l'installazione lo strumento di misura dovrà essere orientato secondo le direzioni geografiche (E e W) e dovrà essere dotato di bolla sferica per il posizionamento mentre l'accoppiamento con la superficie dovrà essere diretto o assicurato con piedini o puntazze in terreni morbidi. Bisognerà altresì fare attenzione alla presenza di radici, sottoservizi, vicinanza edifici, vento ecc., in quanto creano disturbo nel segnale H/V inducendo una forte perturbazione a bassa frequenza.

Per uno studio di risposta di sito è consigliabile effettuare almeno tre misure per punto, possibilmente in tempi diversi durante la giornata, da cui derivare il valore di frequenza di risonanza.

La strumentazione di acquisizione presenta le seguenti specifiche:

- 1 trasduttori tricomponenti (N-S, E-W, verticale) a bassa frequenza ($< 1\text{-}2\text{ Hz}$);
- 2 amplificatori;
- 3 digitalizzatore;
- 4 frequenza di campionamento: $> 50\text{ Hz}$;
- 5 convertitore A/D (analogico digitale) a 24 bit;
- 6 durata registrazione: > 10 minuti;
- 7 collegamento al tempo GPS per la referenziazione temporale.

L'elaborazione dei dati raccolti impiega un software (Geopsy e Geoexplorer) in grado di consentire la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo mediante la tecnica dei rapporti spettrali secondo le linee guida del progetto europeo SESAME (Site EffectS assessment using Ambient Excitations, 2005).

Il processing dei dati verte sul rapporto spettrale tra il segnale del sensore verticale e quelli orizzontali operando su finestre di selezione del segnale che dovranno essere non meno di 10 per un segnale complessivo utile non inferiore a 200-400 secondi.

I principali passi del processing sono i seguenti:

- 1 FFT (incluso il tapering);
- 2 operatore di smoothing (Konno & Ohmachi);
- 3 merging dei componenti orizzontali;
- 4 H/V Spectral Ratio per ogni finestra utilizzata (> 10);
- 5 media degli spettri H/V;
- 6 valutazione della deviazione standard.

Le risultanze dell'elaborazione sono presentate mediante graficazione dei rapporti spettrali H/V delle varie componenti indicando il massimo del rapporto HVSR nel valore di f_0 – Frequenza/e di risonanza e la sua deviazione standard.

Il certificato finale della prova presenta (<http://www.geo.uib.no/seismo/REPORTS/SESAME/USER-GUIDELINES/SESAME-HV-User-Guidelines.doc>):

- 1 i criteri di attendibilità della misura;
- 2 i criteri di validità del picco di f_0 ;
- 3 i valori di soglia delle condizioni di stabilità;
- 4 l'analisi dei criteri in particolare con verifica rispetto alla frequenza del sensore ed alla presenza di rumore di origine industriale;

5 l'interpretazione di f_0 e dello spettro H/V nei termini di caratteristiche del sito.

Per gli scopi e finalità dell'indagine le misure HVSR offrono la possibilità di determinare:

1 valutazione dell'omogeneità del sito rispetto alle **frequenze di risonanza**

Per quanto riguarda la mappatura delle frequenze principali di risonanza, tale elaborazione permette di valutare il grado di omogeneità sulla risposta di sito relativamente alle frequenze dei materiali. L'analisi di queste permette di definire il campo delle frequenze significative di risonanza da utilizzare direttamente nella progettazione degli edifici.

2 **spessori** ⁽¹⁾ della coltre di copertura

L'assunzione di base è che, per un modello di sottosuolo monodimensionale (stratificazione piana e parallela) costituito da sedimenti soffici sovrastanti il substrato, la frequenza di risonanza f_r dovuta alla propagazione di onde S incidenti perpendicolarmente la base del substrato è data dalla relazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

da cui la frequenza di risonanza

$$f_r = \frac{1}{T}$$

dove h è lo spessore dello strato di sedimenti e V_s dipende dalla velocità delle onde di taglio al suo interno. In base a tale relazione, quindi, a partire da valori misurati di f_r e V_s ricavati è possibile stimare lo spessore della coltre sedimentaria di un bacino.

Tuttavia, non essendo sempre presente la misura di V_s come profilo sismico fino al bedrock geofisico, allora si può far riferimento alla relazione di Ibs-von Seht e Wohlenberg (1999). Poiché l'andamento del log in V_s in terreni sedimentari è principalmente regolato dall'incremento del modulo di rigidità al crescere della pressione di confinamento e quindi della profondità, a partire dai valori di V_s per la porzione più superficiale del terreno, è possibile estrapolare l'andamento delle V_s a profondità più elevate tramite l'impiego di relazioni empiriche.

¹ Ibs-von Seht M. and Wohlenberg J. (1999). Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments. Bull. Seism. Soc. Am., 89 (1): 250-259. Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, QR Railway Tech. Res. Inst., 30: 25-33.

A questo scopo, Ibs-von Seht e Wohlenberg (1999) suggeriscono la seguente funzione:

$$V_s = V_0(1 + Z)^a$$

dove V_0 è la velocità al tetto dello strato ed a un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.). Questa relazione, combinata con la precedente, consente infatti la stima dello spessore della coltre di sedimenti soffici:

$$Z = \left[\frac{V_0(1-a)}{4f_r} + 1 \right]^{1/(1-a)} - 1$$

Nei casi più complessi è possibile invertire le curve HVSR creando una serie di modelli teorici da confrontare con quello sperimentale fino a considerare ottimale il modello teorico più prossimo alle curve sperimentali. Per l'inversione delle curve si può far riferimento alle procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004) ⁽²⁾ usando il modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love.

² Arai H. e Tokimatsu, 2004. S-Wave Velocity Profiling by Inversion of Microtremor H/V Spectrum. Bull. Seismol. Soc. Am., 94, p. 53-63.

Specifiche tecniche della strumentazione sismica



SL06 SEISMOGRAPH



The SL06 seismograph is a high performances instrument based on Linux o.s. recording the seismic signal in a USB memory.

It comes with preloaded SEISMONUX, our proprietary seismic recording software for Embedded Debian Linux which can record in a variety of formats and having miniSEED and **SEEDLink** servers.

This solution guarantees system flexibility, open to virtually all kinds of recording software, such as Seislog, Seiscomp, Earthworm, etc.

Simplicity

The SL06 seismograph is designed to detect and record earthquakes and vibrations. Compact, reliable and flexible, thanks to the open source Linux operating system.

Flexibility

Three analog channels supporting a wide range of sampling rates up to 600Hz. Linux o.s. allows the use of several preloaded communication protocols, such as: TCP / UDP / Apache WebServer / FTP / SSH / Telnet.

Connectivity

The unit is managed by a console port useable by LAN or by RS232. This allows the user to operate with a wide range of data carriers like PSTN/GSM/GPRS/SAT modems or Ethernet LAN devices.

Energy

The SL06's power consumption is very low, allowing the unit to be used in remote installations and powered with small accumulators and/or solar panels.

Synchronization

Like all our instruments, the SL06 is equipped with a GPS receiver with continuous synchronization with UTC time.

Modularity

In our designs we always use a modular approach that make upgrades, repairs, and shipping easier. This also extends the value of your investment in the instrument. Feel free to request customization on this product, which is very flexible.

Professionality

Our instruments are continuously being developed with the cooperation of experts in geophysics and seismology. Our extensive list of clients includes public and private institutions worldwide, such as: NORSEAR (Norway), UNAM (Mexico), Geological Survey of Namibia (Namibia), with our instruments operating in: Chile, Argentina, South Africa, Iran, Jordan, Denmark, Tibet, Spain, Sudan, Nicaragua, Panama, Venezuela, and many other countries.

Technical Features

Power supply:	12.5-15Vdc
Power consumption:	<3W
Real Time Clock:	+/-10ppm (-20/+50°C)
RTC sync:	via PPS modulated by the GPS receiver
Precision vs UTC time:	<50µs
GPS Antenna:	BNC terminated antenna with 10 meters of cable
Case:	Solid block milled aluminum case
Protection grade:	Standard IP66, treated against corrosion
Operating temperature:	-20/+50°C
Data interfaces:	CPU Console port RS232, LAN Ethernet 10-100
Dimensions:	205x170x107 mm
Weight:	without sensors: 3300g with 4.5Hz geophones: 3700g with 2Hz geophones: 4000g
CPU:	ARM9 - 200 Mhz, AVR 11Mhz, AVR 3.8Mhz
Mass memory:	USB based (standard 2Gbytes SLC memory unit)
Mass memory file system:	EXT2
Seismic Data format:	SEISMOWIN, GSE or miniSEED
Recording modes:	Classic triggering algorithm or continuous recording
Conformity declaration:	CE

A/D Converter

Channels:	3
A/D Type:	24 bit (ΣΔ)
Dynamic Range:	124dB @ 100SPS
Sampling:	simultaneous on all channels
Input impedance:	300 kOhm
Sensitivity:	2V p-p (119nV/count) (4V p-p jumper selectable)
Input compatibility:	all electrodynamic sensors and many active sensors
Sampling rates:	Standard 10,20,50,100,200 Hz (upon request also 300,400,480,600 Hz)
External sens. connector:	MIL-C 10 poles with service power supply* MIL-C 18 poles with service power supply for connection to broad-band sensors



* Since 2010 our connector standard matches the popular Lennartz-Electronic™ pinout; in this way our digitizer becomes directly compatible with this entire sensor series.

Notice! SARA Electronic Instruments s.r.l. reserves the right to make changes to the product specifications at any time and without notice, including changes in price, content, description, terms, etc.

SARA electronic instruments s.r.l.

06129 - Perugia - Via Armando Mercuri, 4 - ITALY

Phone: +39 075 5051014 - Fax: +39 075 5006315 - www.sara.pg.it - info@sara.pg.it

Reg. Trib. Perugia N-5718 - C.C.I.A.A. 109864 - C.F. e P.Iva 00380320549 - N.Reg RAEE: IT0802000001128