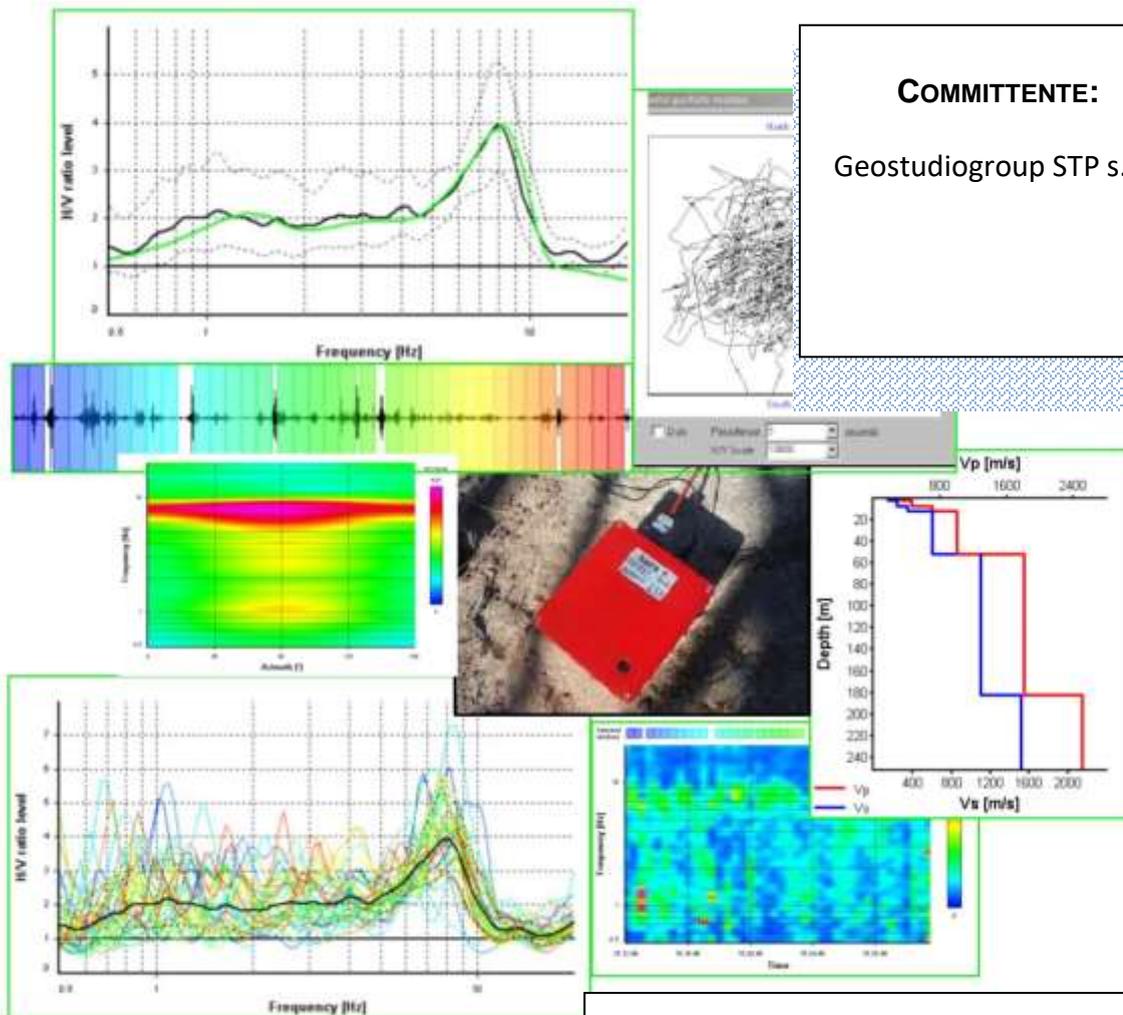


**PROGETTO PER REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO DA 40 MW
DENOMINATO LA ROSA A BELPASSO (CT)**

COMMITTENTE:

Geostudiogroup STP s.r.l.



MODICA – AGOSTO - 2023

IL GEOLOGO RELATORE

Dott. Giovanni Occhipinti

Il progettista p.p.v.

Ing. Salvatore Camillieri

Indice

1. PREMESSA	3
2. UBICAZIONE DELLE INDAGINI	3
2.1 DESCRIZIONE DEL METODO	5
CRITERI DI VALUTAZIONE SESAME	5
3. - PROVE HVSR.....	7
4. CALCOLO DELLA VELOCITA VS 30.....	27

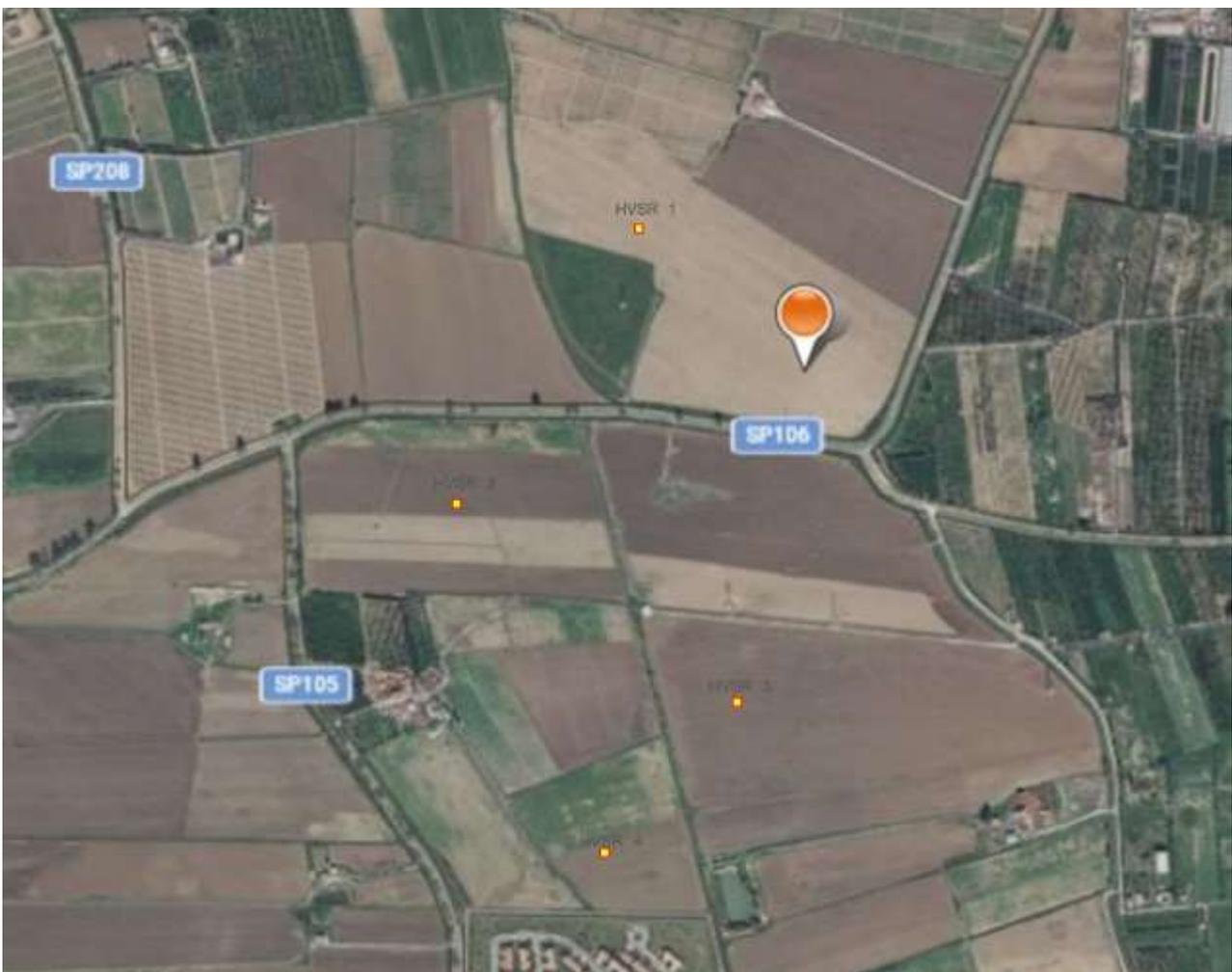
1. PREMESSA

Su incarico di Franco Privitera Garozzo, Amministratore della Geostudiogroup STP s.r.l., nell'area interessata dalle opere in progetto, è stata eseguita una campagna di n. 4 indagini sismiche, tipo HVSR, allo scopo di determinare le caratteristiche di risposta sismica locale e le condizioni geodinamiche del terreno di fondazione delle opere in oggetto. Le indagini geognostiche è stato eseguito in conformità alle disposizioni tecniche per le indagini sui terreni e sulle rocce: N.T.C. D.M 17 gennaio 2018.

2. UBICAZIONE DELLE INDAGINI

Di seguito si riportano l'ubicazione dei sondaggi, le relative stratigrafie e la documentazione fotografica.

Figura 1: Ubicazione del sito



PROVE SISMICHE HVSR

Nell'ambito del sito di pertinenza delle opere in oggetto, sono state eseguite n. 4 prove sismiche passive HVSR, contrassegnata con la sigla HVSR1, HVSR2, HVSR3 e HVSR4, finalizzate alla determinazione della frequenza del sito ed all'analisi di possibili effetti di amplificazione sismica locale.

L'indagine sismica è stata effettuata mediante la rilevazione di microtremori, con geofono 3D, per una finestra temporale di registrazione in continuo non inferiore a 20 minuti (frequenza fondamentale di 1Hz).

Per il calcolo della funzione di trasferimento del moto sismico in superficie si è operato partendo dal profilo delle Vs, ricavato dall'inversione dello spettro H/V e dal calcolo della curva teorica.

L'insieme delle indagini geognostiche è stato eseguito in conformità alle disposizioni tecniche per le indagini sui terreni e sulle rocce: N.T.C. D.M 17 gennaio 2018 (§ 6.2.2).



sondaggio HVSR1



sondaggio HVSR2



sondaggio HVSR3



sondaggio HVSR4

2.1 DESCRIZIONE DEL METODO

Le misure sismiche H.V.S.R. o H/V (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) sono indagini geofisiche a stazione singola finalizzate alla caratterizzazione sismica di sito tramite la stima delle frequenze fondamentali di risonanza.

La tecnica HVSR richiede l'utilizzo di un geofono triassiale, costituito da un sismometro a stazione singola in grado di registrare i microtremori lungo due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo la verticale (Z), in un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (mediamente 10-20 minuti).

La metodologia è idonea per la determinazione del periodo fondamentale di vibrazione dei termini litologici che costituiscono il sottosuolo, in particolare quando l'impedenza dei termini superficiali è in contrasto con quella del "bedrock".

L'applicazione del rapporto spettrale H/V consente l'identificazione della frequenza fondamentale f_0 di diverse zone, fornendo una curva sperimentale rappresentativa del rapporto fra le ampiezze spettrali medie dei microtremori, funzione della frequenza di vibrazione.

Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di acquisizione.

Nella tecnica HVSR comunemente impiegata nella geologia applicata i microtremori registrati derivano da sorgenti superficiali e sono composti essenzialmente da onde di superficie (Rayleigh e Love).

Le misure registrate vengono quindi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza, dove H è la media delle misure lungo X e Y) e spettri V (componente verticale del moto in funzione della frequenza).

Criteri di valutazione SESAME

CRITERI PER LA VALIDITA' CURVA H/V	CRITERI PER LA DEFINIZIONE DEL PICCO H/V
$f_0 > \frac{10}{l_w}$ $n_c(f_0) > 200$ $\sigma_A(f) < 2 \text{ per } 0.5 f_0 < f < 2f_0 \text{ se } f_0 > 0.5 \text{ Hz}$ <p style="text-align: center;">oppure</p> $\sigma_A(f) < 3 \text{ per } 0.5 f_0 < f < 2f_0 \text{ se } f_0 < 0.5 \text{ Hz}$	$\exists f^- \in \left[\frac{f_0}{4}, f_0 \right] \mid A_{\frac{H}{V}}(f^-) < \frac{A_0}{2}$ $\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{\frac{H}{V}}(f^+) < \frac{A_0}{2}$ $A_0 > 2$ $f_{\text{picco}} \left[A_{\frac{H}{V}}(f) \pm \sigma_A(f) \right] = f_0 \pm 5\%$ $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$
l_w = lunghezza della finestra temporale	
n_w = numero di finestre temporali selezionate per il calcolo della curva media H/V	
$n_c = l_w \cdot n_w \cdot f_0$ numero significativo di cicli	
f = frequenza (Hz)	
f_0 = frequenza del picco H/V	
σ_f = standard deviation della frequenza del picco H/V ($f_0 \pm \sigma_f$)	
$\varepsilon(f_0)$ = soglia di stabilità per le condizioni $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	
A_0 = Ampiezza del picco 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 per la quale $A_{H/V}(f) < A_0/2$	
f^+ = frequenza tra f_0 e $4f_0$ per la quale $A_{H/V}(f) < A_0/2$	
$\sigma_A(f)$ = standard deviation di $A_{H/V}(f)$, dove $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva media $A_{H/V}$ va divisa e moltiplicata	
$\sigma_{\log H/V}(f)$ = standard deviation di $\log A_{H/V}(f)$, dove $\sigma_{\log H/V}(f)$ è il valore assoluto per il quale la curva media H/V va sommata o sottratta.	

$\theta(f_0)$ = valore soglia per le condizioni di stabilità $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$					
VALORI SOGLIA PER σ_f E $\sigma_A(f_0)$					
Banda di Frequenza [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	0.20 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Figura 2 - Tab 1 - Criteri di valutazione della curva H/V (da SESAME, D23.12.; Linee guida per l'attuazione del H/V tecnica rapporto spettrale sulle vibrazioni ambientali. (NOTA: I CRITERI SESAME NON VINCOLANO LA VALIDITA' DELL'INDAGINE).

3. - PROVA HVSR

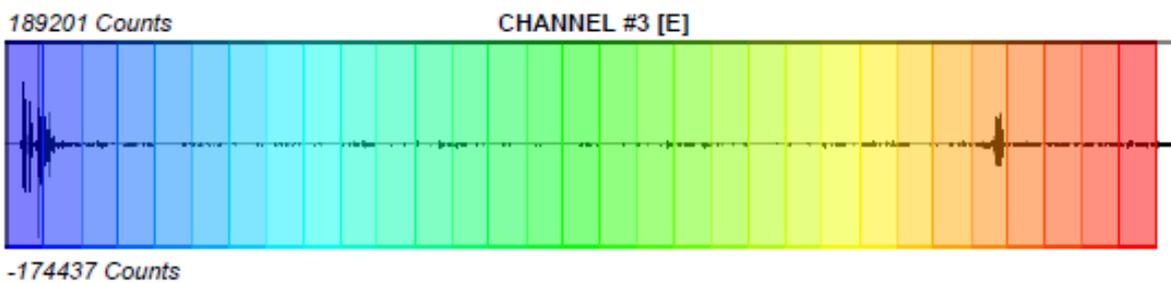
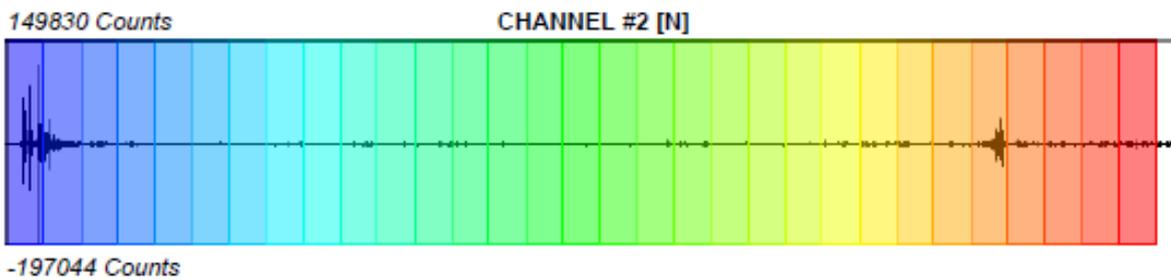
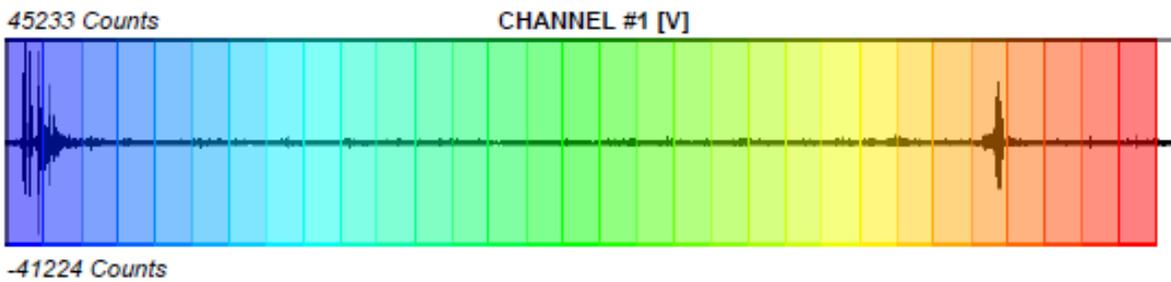
- HVSR 1

Lo strumento utilizzato per l'acquisizione è il Geobox 4,5 Hz prodotto dalla SARA elettronics srl.

Caratteristiche dell'acquisizione:

SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz
Recording start time: 2023/08/25 12:33:55
Recording length: 20 min
Windows count: 31
Average windows length: 38
Signal coverage: 98.17%



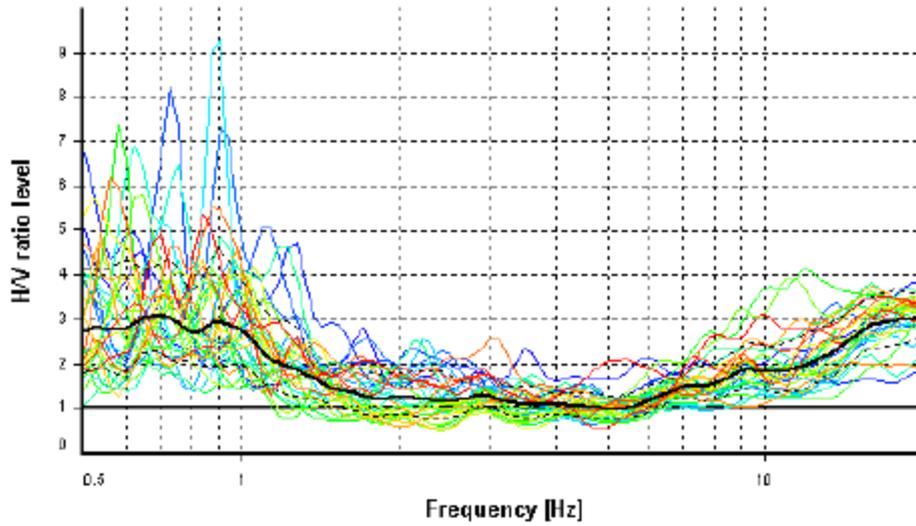
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

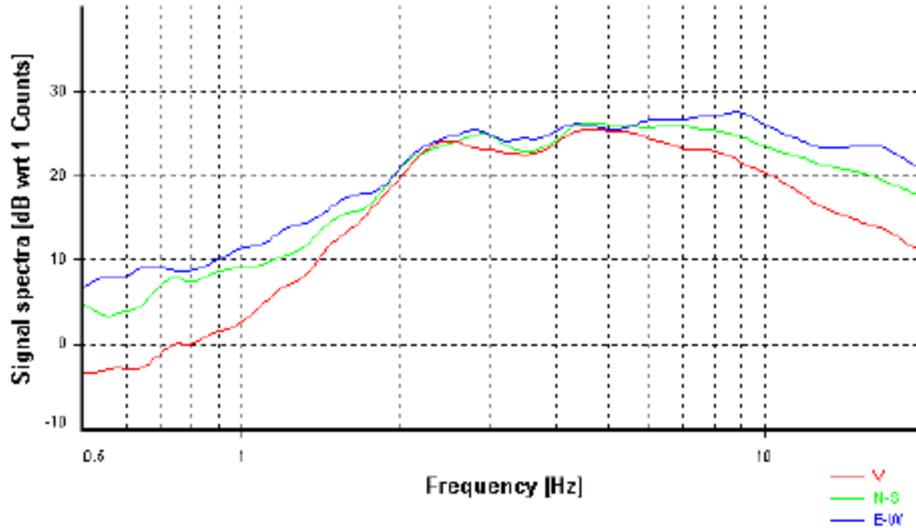
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

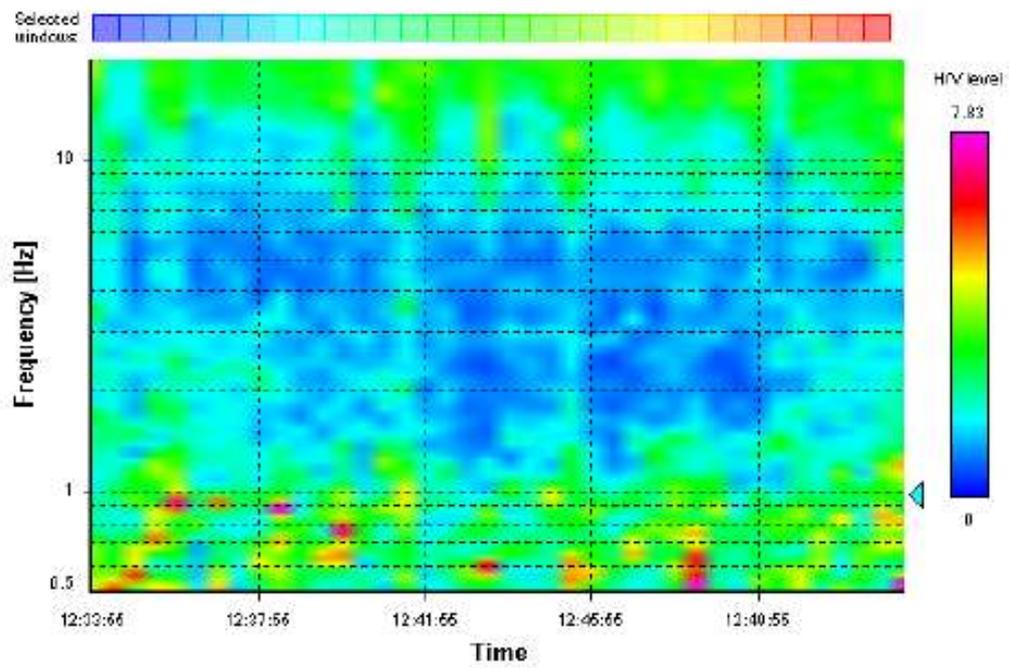
HVSR average



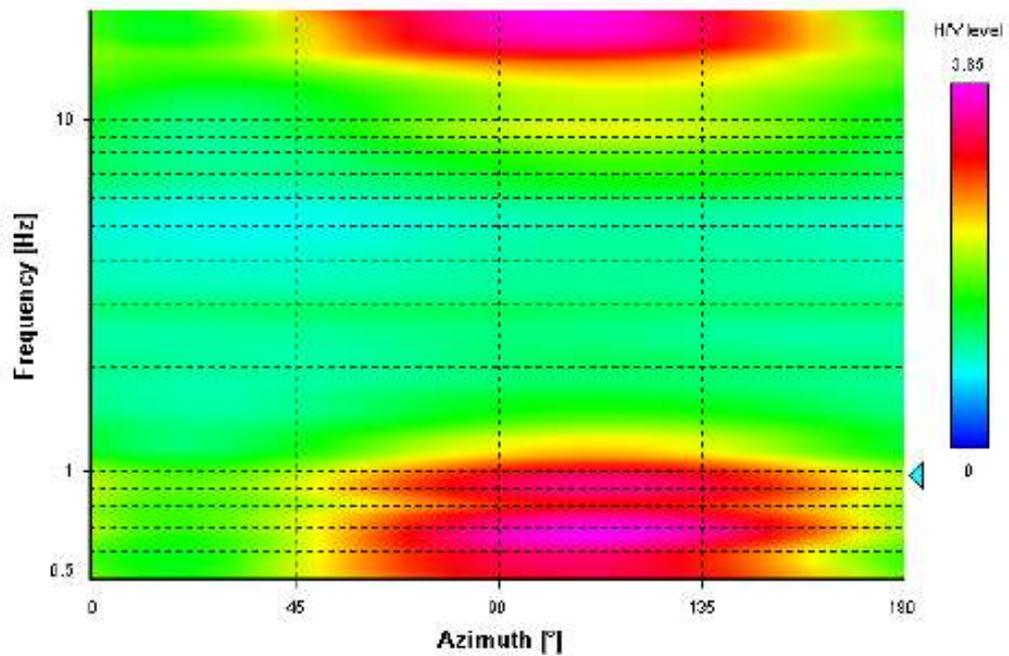
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



HVSR directional analysis



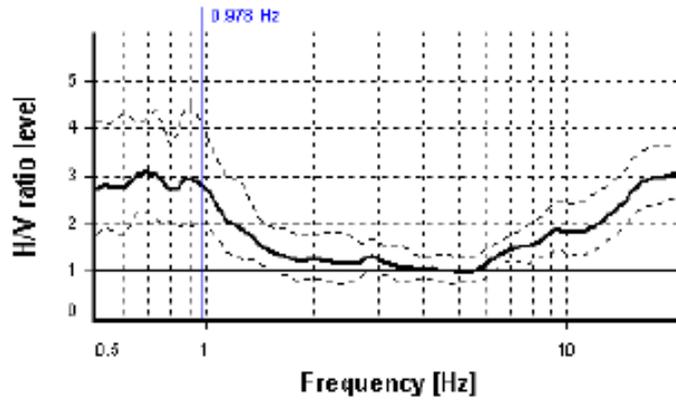
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.978 Hz

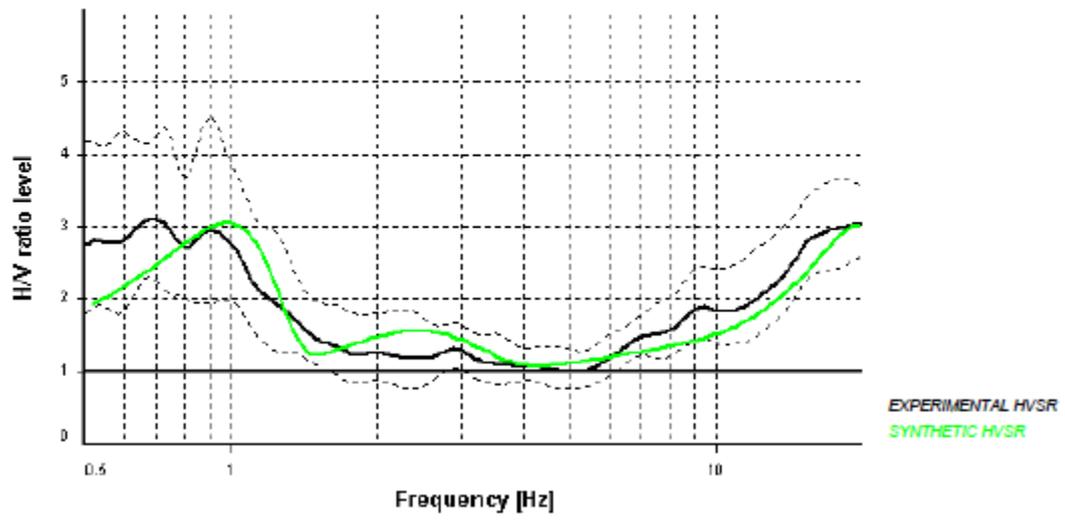
A_0 amplitude = 2.822

Average $f_0 = 0.855 \pm 0.147$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	31 valid windows (length > 10.23 s) out of 31	OK
$n_0(f_0) > 200$	1151.86 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 37	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0/2$	0 Hz	NO
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	1.52912 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.82 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	31.11% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.14666 < 0.14667	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.41733 < 2	OK
Overall criteria fulfillment		NO

Synthetic HVSR modelling

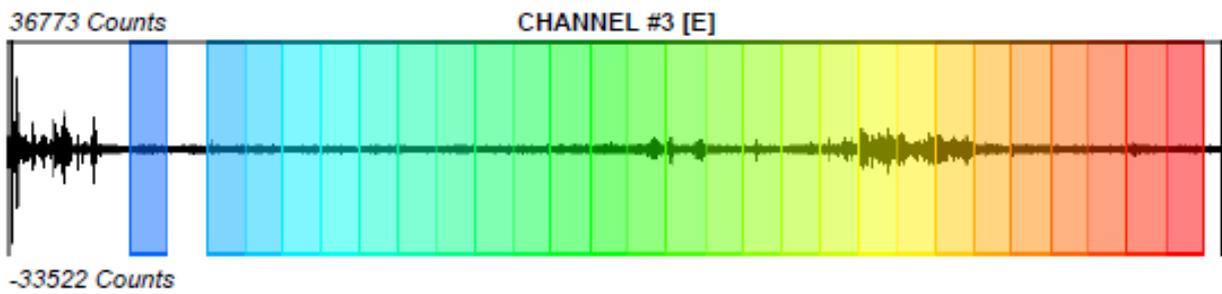
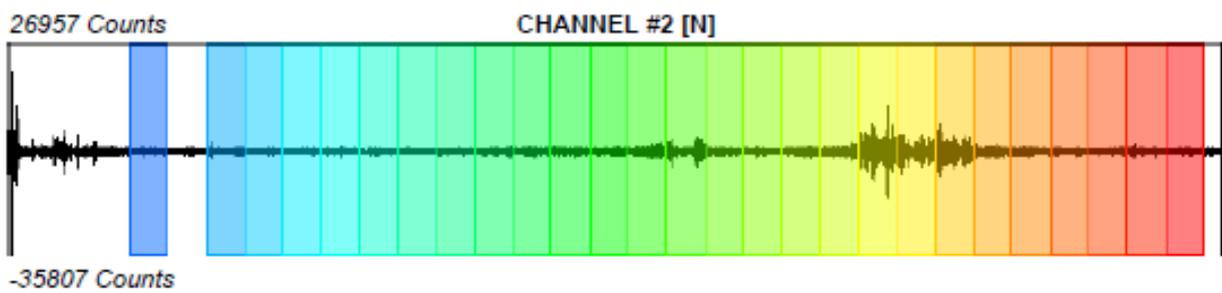
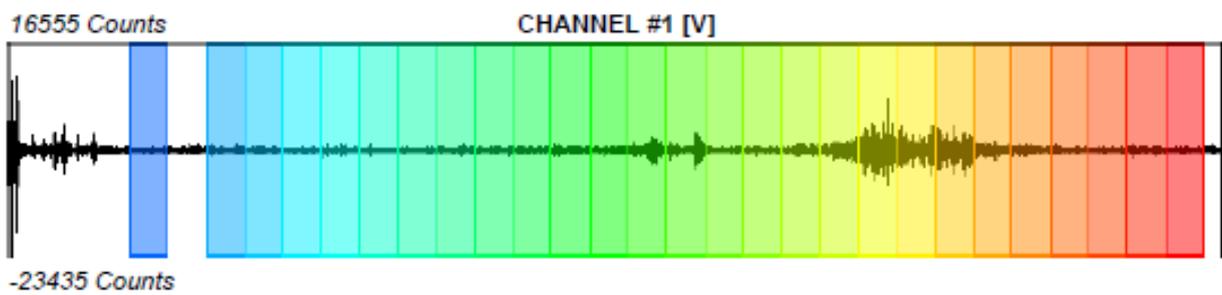


- HVSR 2

Caratteristiche dell'acquisizione:

SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz
Recording start time: 2023/08/25 11:58:07
Recording length: 20 min
Windows count: 27
Average windows length: 38
Signal coverage: 85.5%



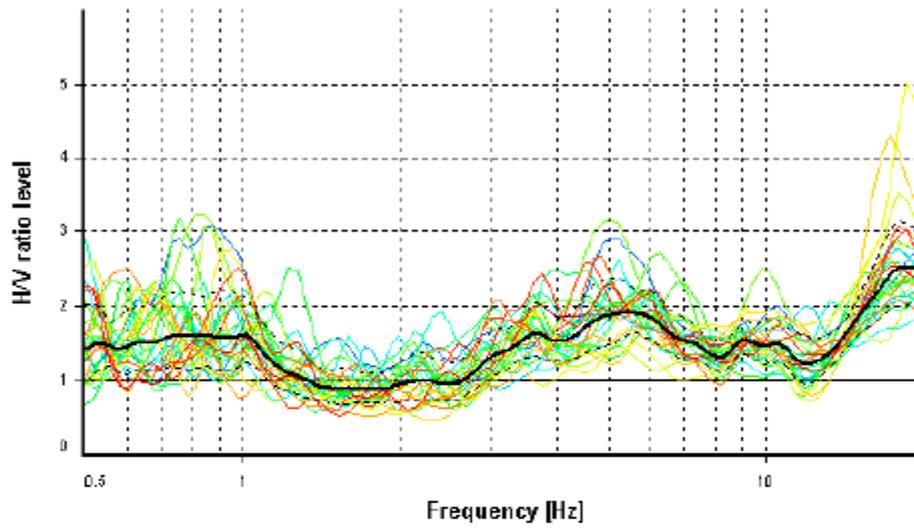
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

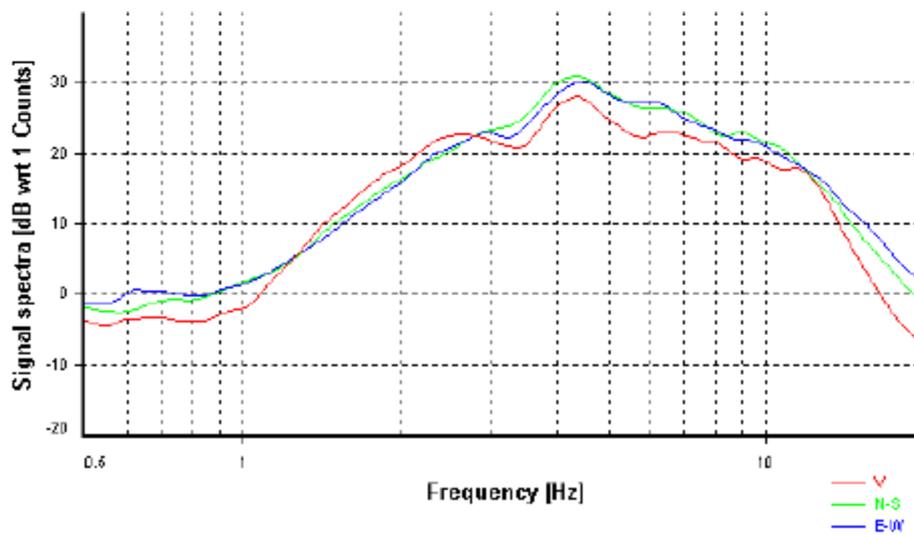
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

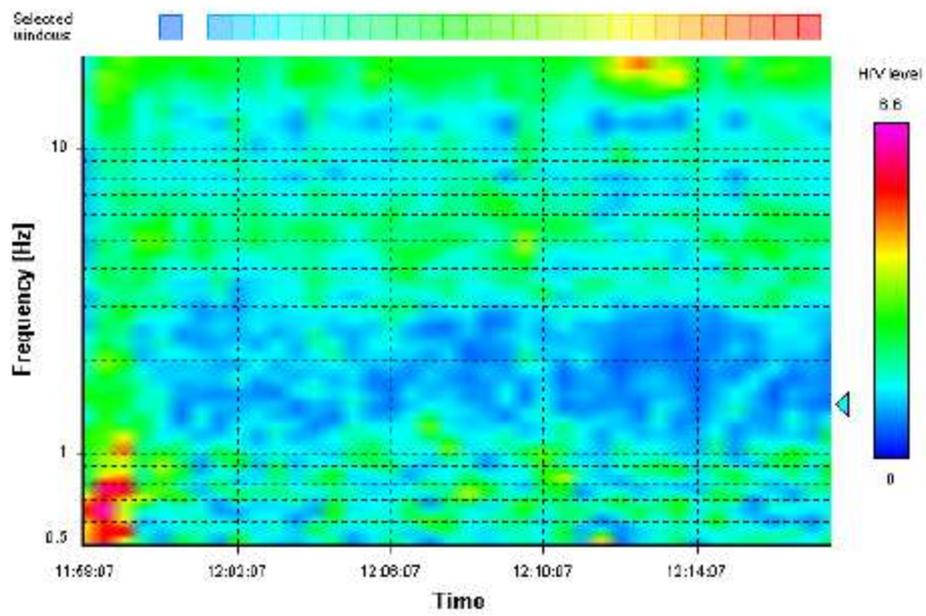
HVSR average



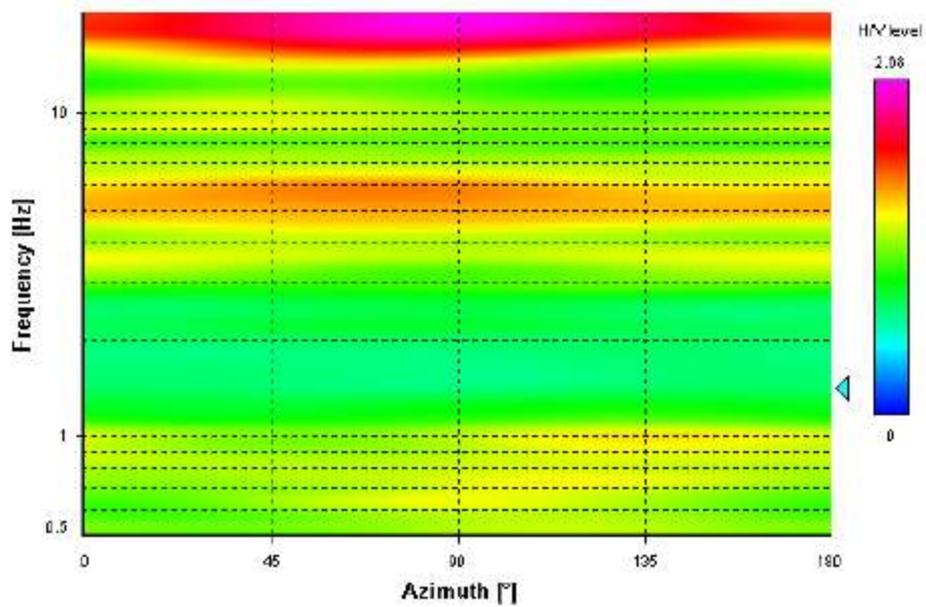
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



HVSR directional analysis



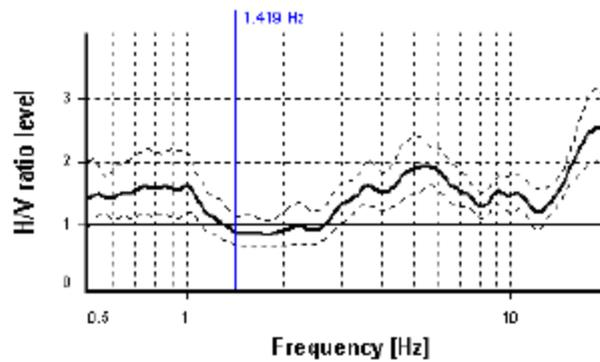
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

1.419 Hz

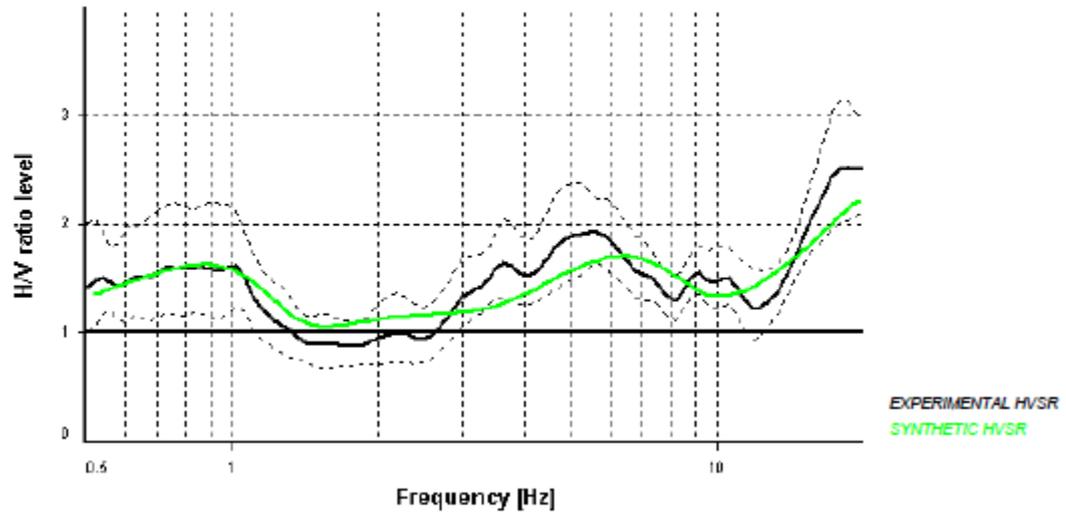
A_0 amplitude = 0.910

Average $f_0 = 1.055 \pm 0.130$



HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	27 valid windows (length > 7.05 s) out of 27	OK
$n_c(f_0) > 200$	1456.21 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 37	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0/2$	0 Hz	NO
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	0 Hz	NO
$A_0 > 2$	$0.91 \leq 2$	NO
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	31.11% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.12971 < 0.14193$	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1.26435 < 1.78$	OK
Overall criteria fulfillment		NO

Synthetic HVSr modelling



- HVSR 3

Caratteristiche dell'acquisizione:

SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

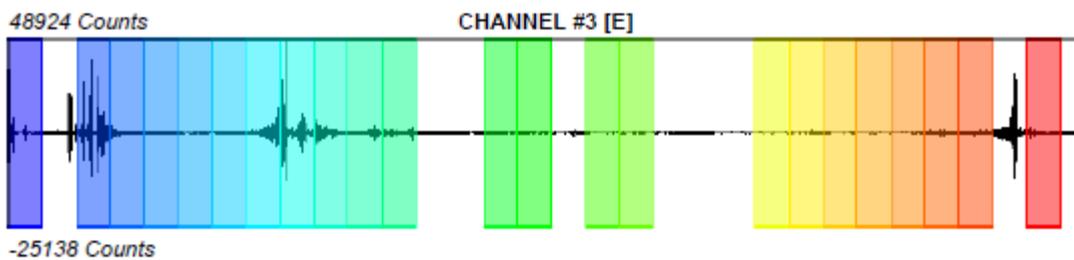
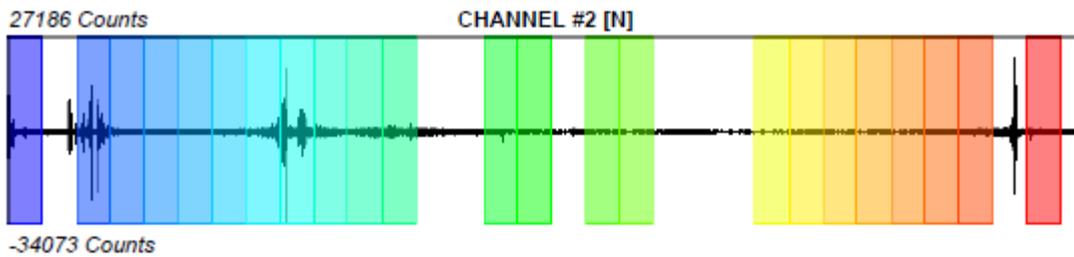
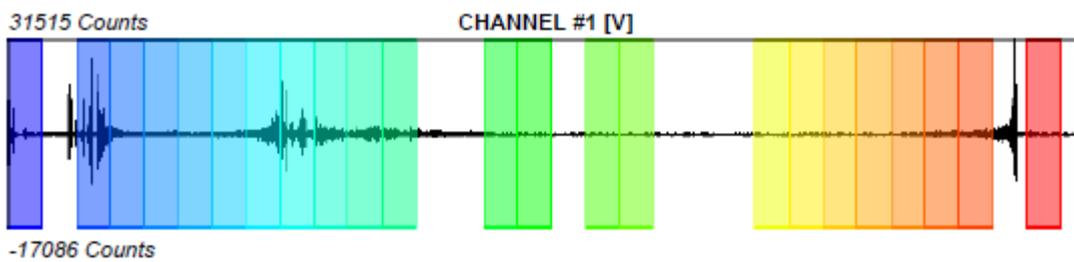
Recording start time: 2023/08/25 11:23:31

Recording length: 20 min

Windows count: 23

Average windows length: 38

Signal coverage: 72.83%



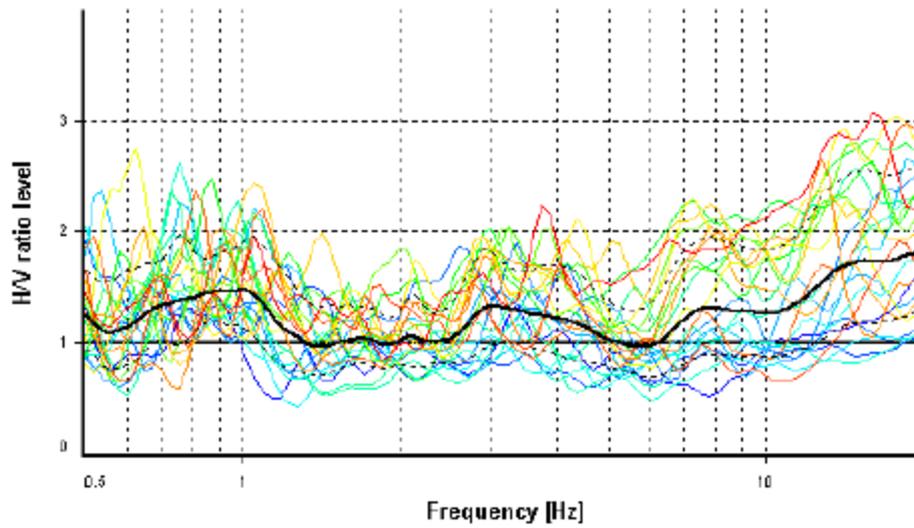
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

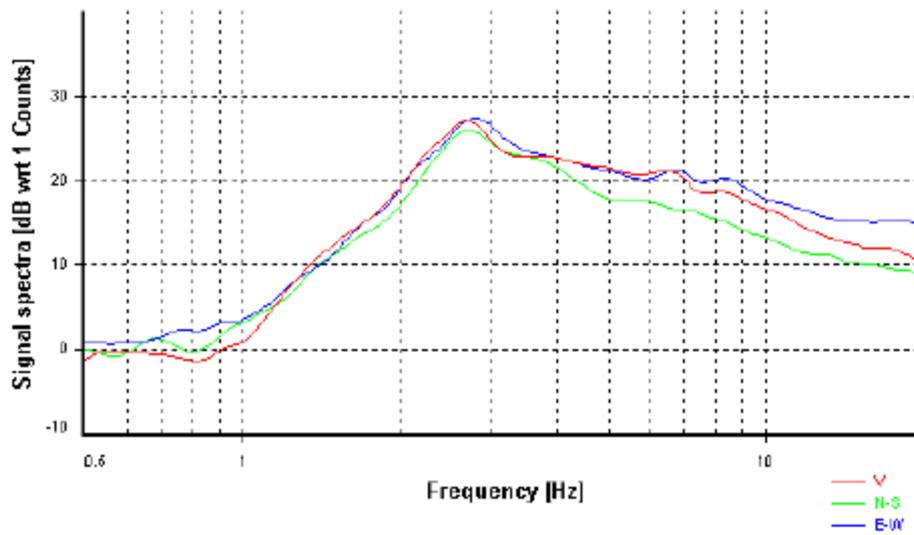
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

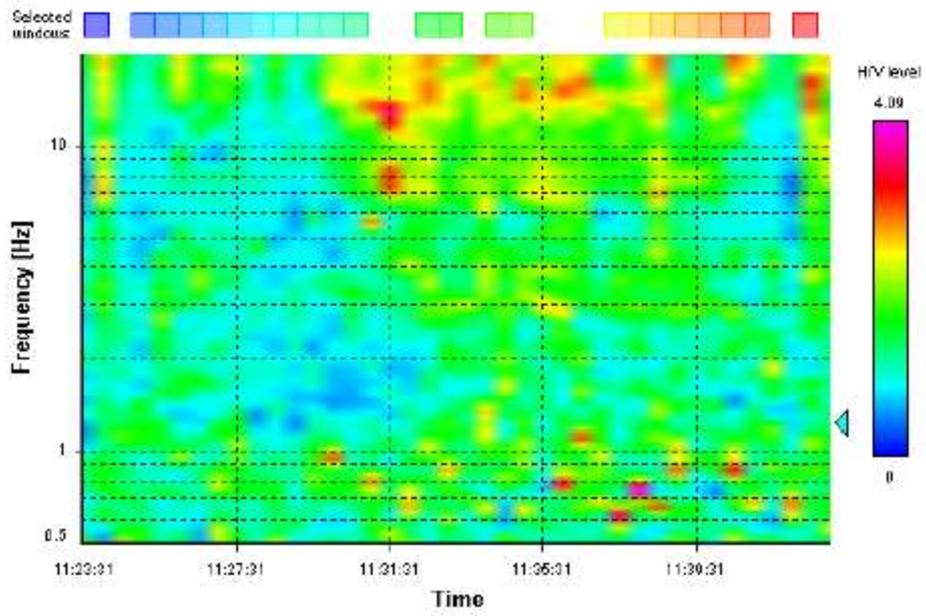
HVSR average



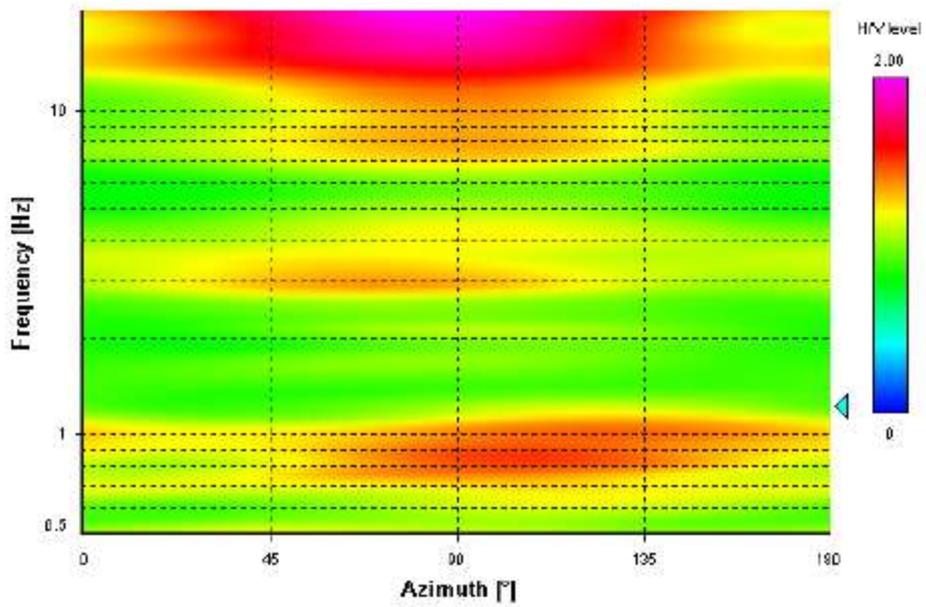
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



HVSR directional analysis



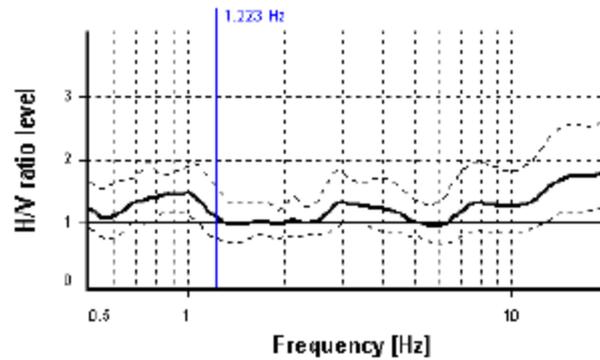
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

1.223 Hz

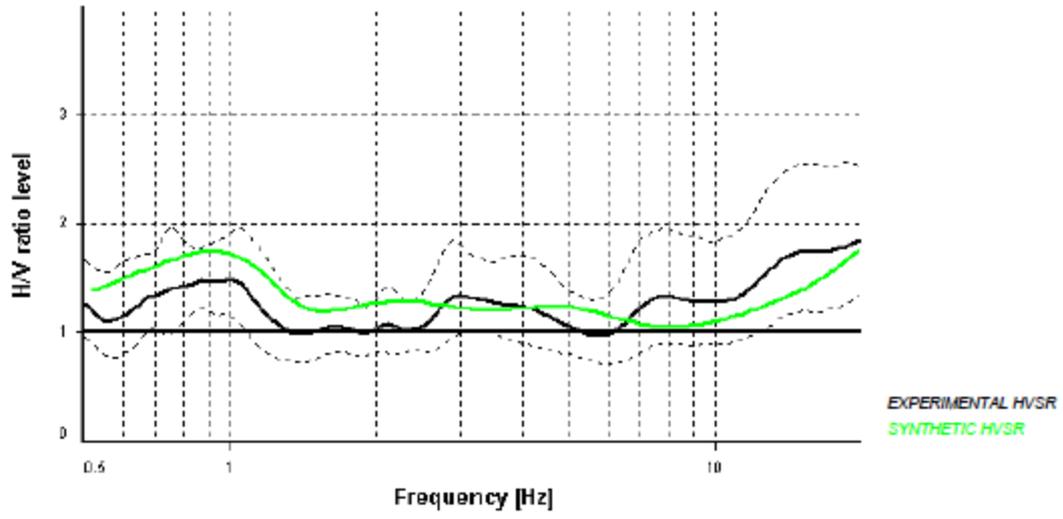
A_0 amplitude = 1.110

Average $f_0 = 0.992 \pm 0.119$



HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	23 valid windows (length > 8.18 s) out of 23	OK
$n_0(f_0) > 200$	1068.71 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 37	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0 Hz	NO
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	0 Hz	NO
$A_0 > 2$	1.11 <= 2	NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	28.49% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.11923 < 0.12228	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.43799 < 1.78	OK
Overall criteria fulfillment		NO

Synthetic HVSr modelling

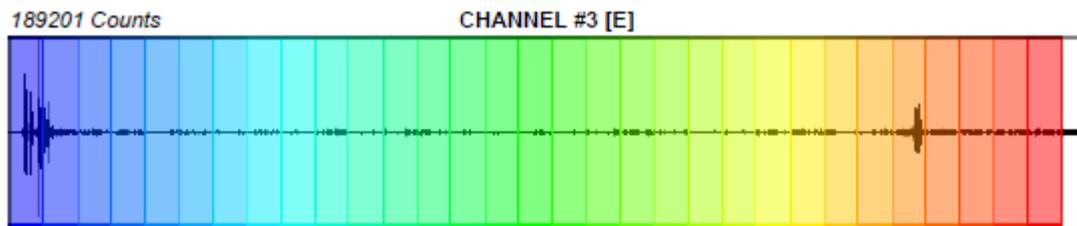
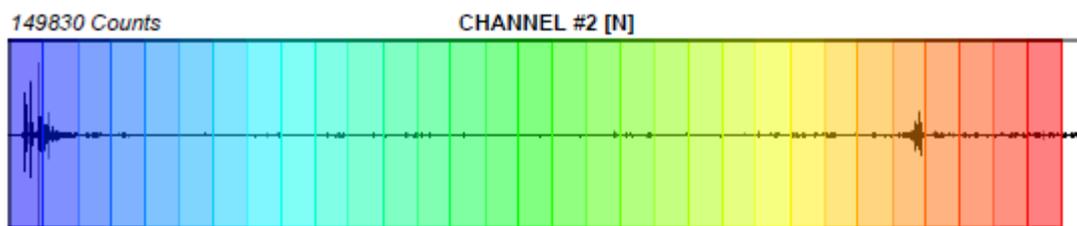
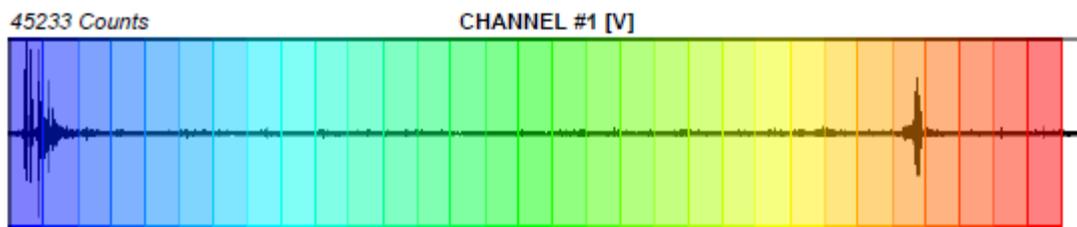


- HVSR 4

Caratteristiche dell'acquisizione:

SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz
Recording start time: 2023/08/25 12:33:55
Recording length: 20 min
Windows count: 31
Average window length: 38
Signal coverage: 99.17%



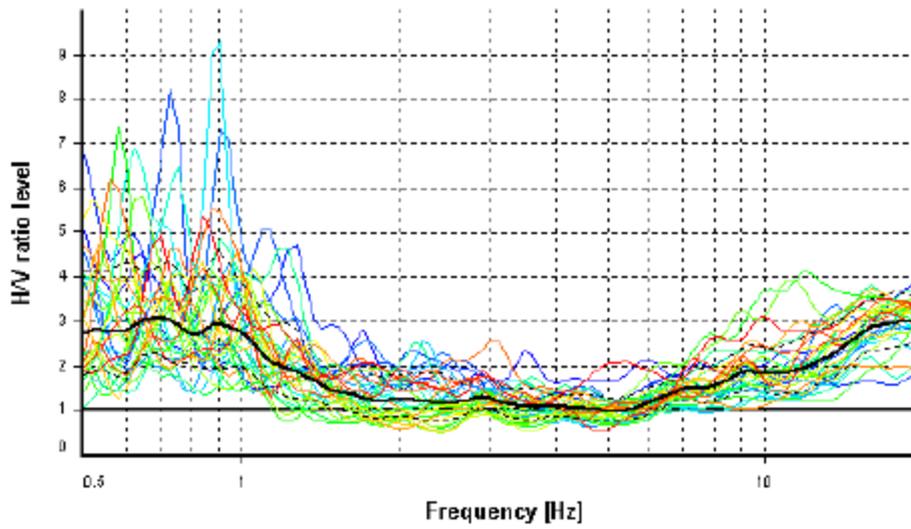
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

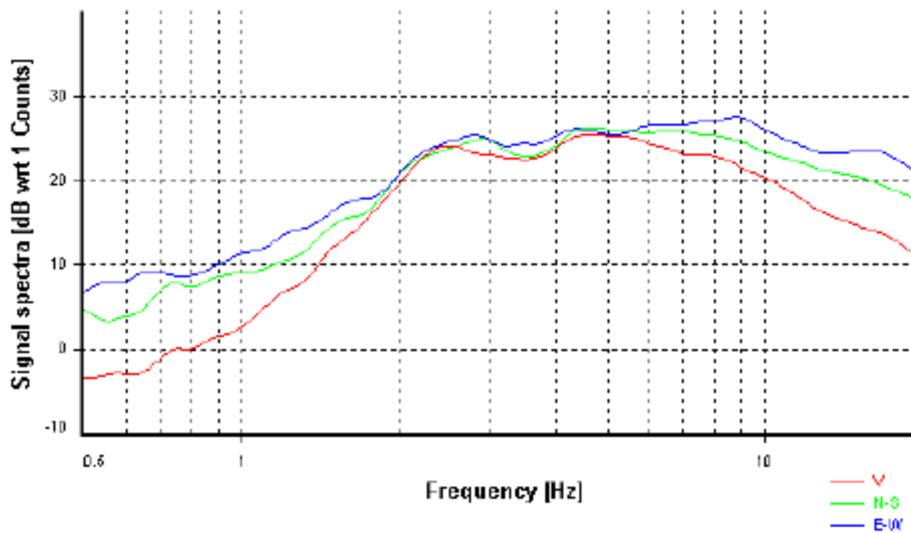
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

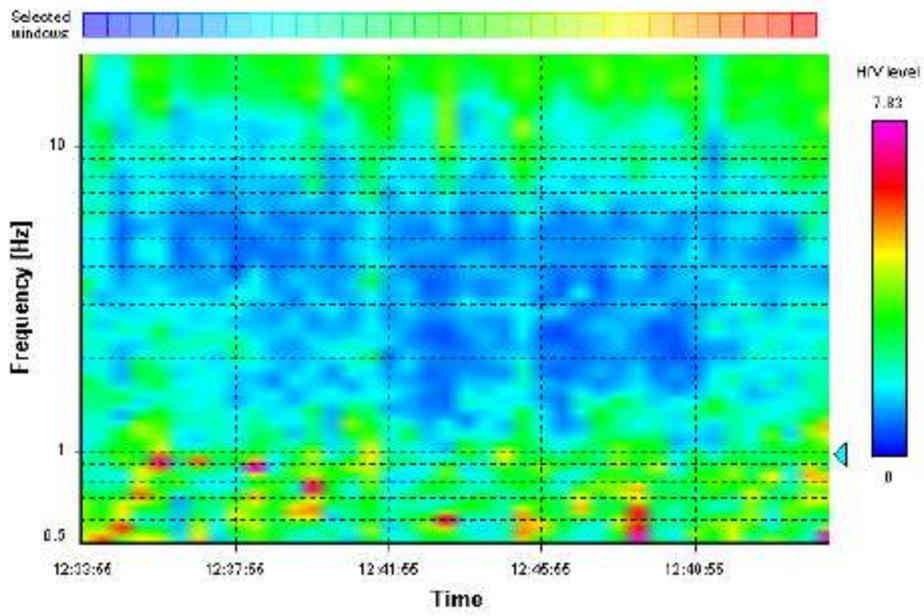
HVSR average



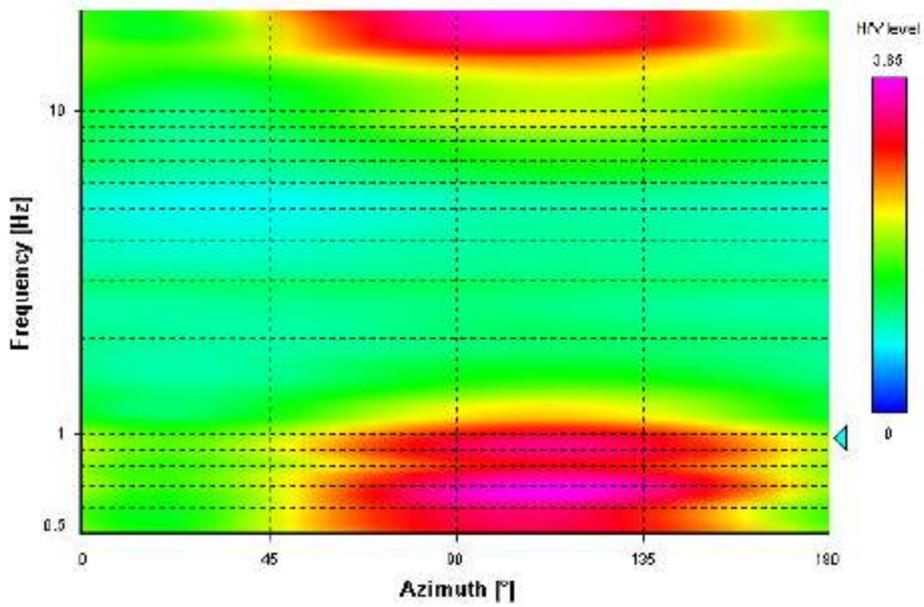
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



HVSR directional analysis



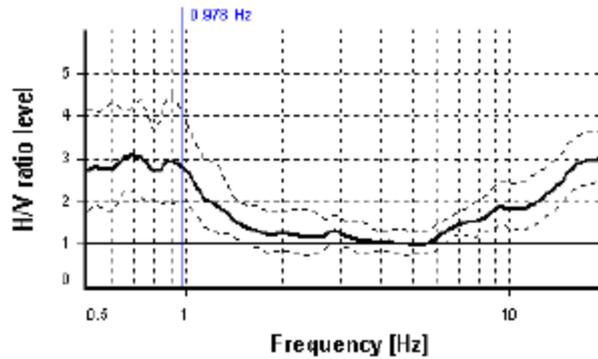
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.978 Hz

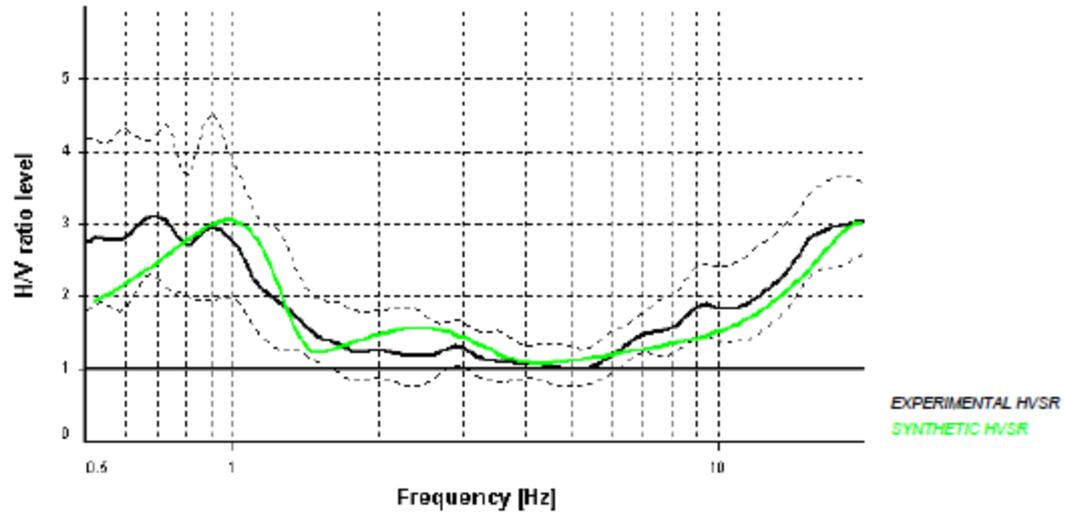
A_0 amplitude = 2.822

Average $f_0 = 0.855 \pm 0.147$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	31 valid windows (length > 10.23 s) out of 31	OK
$n_0(f_0) > 200$	1151.86 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 37	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0/2$	0 Hz	NO
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	1.52912 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.82 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	31.11% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.14666 < 0.14667	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.41733 < 2	OK
Overall criteria fulfillment		NO

Synthetic HVSr modelling



4. CALCOLO DELLA VELOCITA VS 30

La procedura d'inversione comporta la definizione di un modello stratigrafico iniziale e del successivo calcolo dello spettro H/V che ne deriva.

Il modello stratigrafico è stato determinato sulla base dei rapporti litostratigrafici generali dell'area.

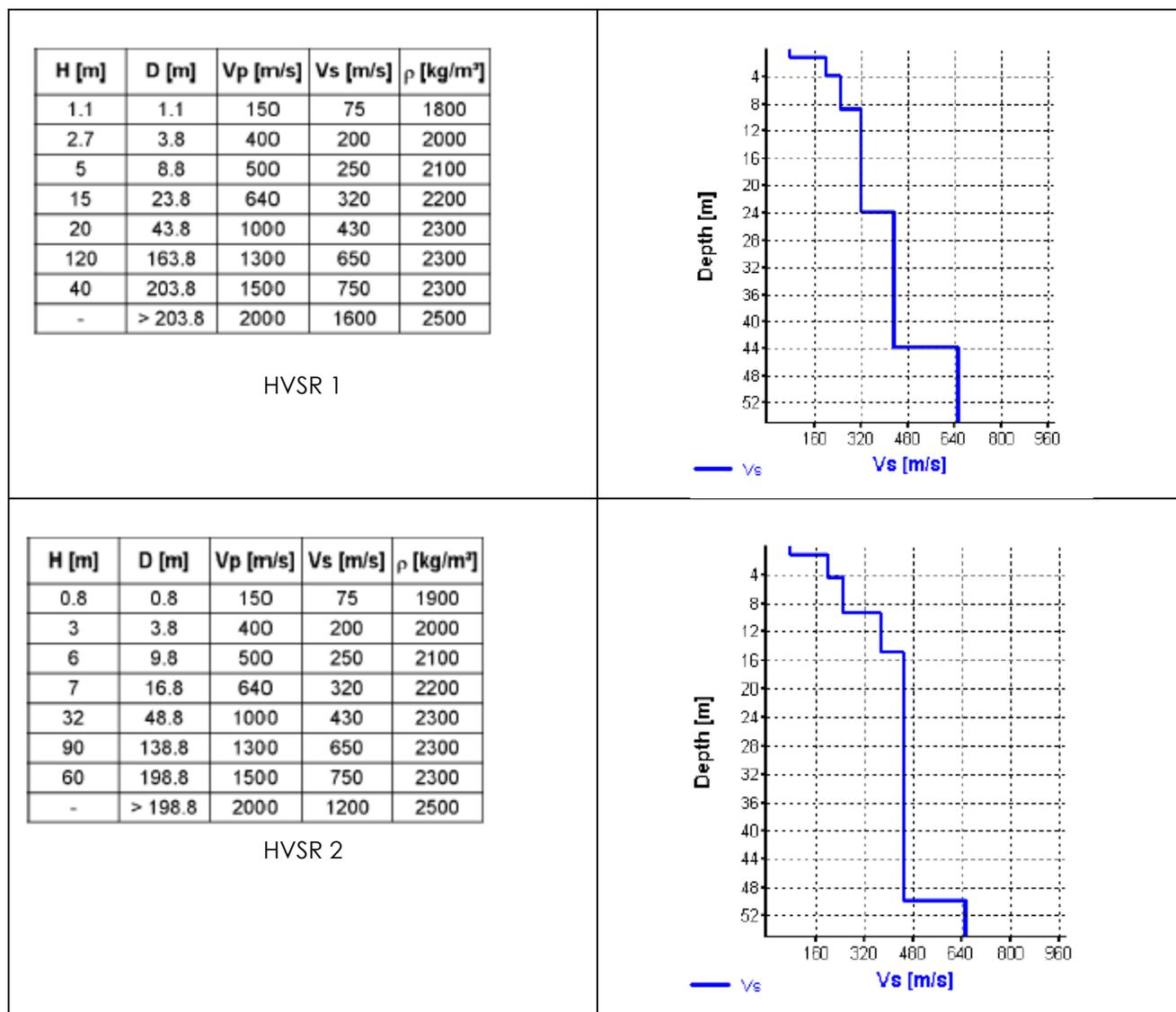
La curva H/V teorica viene confrontata con quella sperimentale e, attraverso un procedimento iterativo, si perfeziona il modello iniziale fino a ottenere una soddisfacente sovrapposizione delle due curve.

La determinazione del parametro VSeq è stata condotta attraverso l'inversione vincolata dello spettro H/V ricavata con il geofono triassiale, utilizzando la relazione che lega la frequenza di risonanza del terreno (f) alla velocità delle onde S nel terreno stesso (Vs):

$$f(\text{Hz}) = \frac{V_s}{4h}$$

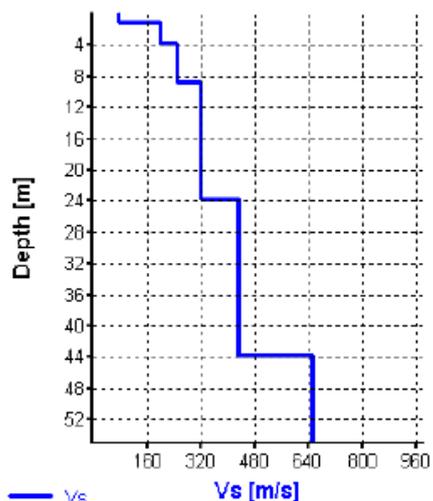
- h : Profondità della base dello strato.

Nota la profondità di ogni singolo livello stratigrafico, è possibile procedere all'inversione dello spettro H/V, modellando la curva sintetica in modo da ottenere la migliore sovrapposizione possibile con quella misurata. Si riporta quanto detto per ciascuno delle HVSR.



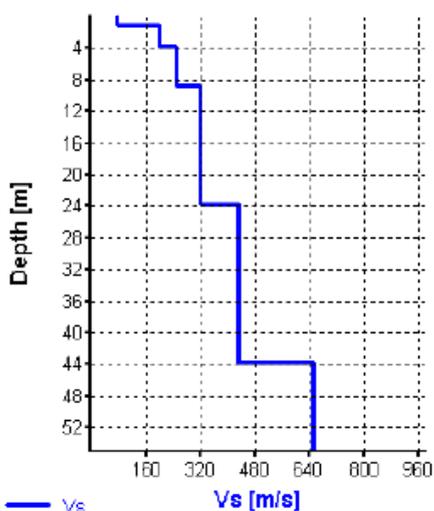
H [m]	D [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	ρ [kg/m ³]
0.8	0.8	150	75	1900
3	3.8	400	200	2000
6	9.8	500	250	2100
7	16.8	640	320	2200
32	48.8	1000	430	2300
90	138.8	1300	650	2300
60	198.8	1500	750	2300
-	> 198.8	2000	1200	2500

HVSR 3



H [m]	D [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	ρ [kg/m ³]
1.1	1.1	150	75	1800
2.7	3.8	400	200	2000
5	8.8	500	250	2100
15	23.8	640	320	2200
20	43.8	1000	430	2300
120	163.8	1300	650	2300
40	203.8	1500	750	2300
-	> 203.8	2000	1600	2500

HVSR 4



Le NTC 2018 raccolgono in forma unitaria le norme che disciplinano la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle costruzioni al fine di garantire, per stabiliti livelli di sicurezza, la pubblica incolumità. Ai fini della valutazione delle azioni sismiche di progetto deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale. L'indagine sismica eseguita ha permesso di ottenere un valore (V_{seq}) che consente di attribuire una categoria di sottosuolo ai terreni investigati.

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositati 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.</i>
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

La classificazione del sottosuolo si effettua in base ai valori della velocità equivalente delle onde di taglio, definita dall'espressione:

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

con

h_i = spessore (in metri) 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 .

Le "Norme tecniche per le costruzioni" definiscono le regole da seguire per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni in zona sismica e non. Esse forniscono i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere.

Le opere strutturali nel loro complesso, devono essere adeguatamente progettate, eseguite e collaudate, oltre ad essere sottoposte a regolari manutenzioni. In particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti.

- Sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU): capacità di garantire le prestazioni della struttura evitando il collasso, la perdita di equilibrio, crolli sia totali che parziali, provocare danni gravi ambientali e sociali;
- Sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE): capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- Robustezza nei confronti di azioni eccezionali: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

La normativa introduce un nuovo concetto nei riguardi dell'azione sismica, che interessa il grado di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi sul sito di costruzione. L'azione sismica è quindi definita dai valori di alcuni parametri fisici che ne descrivono il moto del suolo in condizioni di campo libero e della risposta sismica, relativa alla struttura, in merito a prefissate probabilità di superamento che possono avvenire in un determinato periodo di tempo. La pericolosità sismica è definita da:

- un intervallo temporale di riferimento compreso tra 30 anni e 2475 anni relativo alle diverse probabilità di superamento in 50 anni e per i diversi periodi di ritorno T_r ;
- da valori di accelerazione massima orizzontale a_g attesa;
- da un fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima F_0 ;

- dal periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale T_c .

Dalle prove sismiche a rifrazione eseguite in loco è stato ottenuto, per ciascuna analisi (offset 1 m), il seguente risultato:

HVSR 1: $V_{s, eq(20m)} = 274$ m/s
HVSR 2: $V_{s, eq(20m)} = 308$ m/s
HVSR 3: $V_{s, eq(20m)} = 349$ m/s
HVSR 4: $V_{s, eq(20m)} = 287$ m/s

Categoria di profilo stratigrafico del terreno di fondazione C