



# COMUNE DI SAN GIULIANO TERME

## PROVINCIA DI PISA

### PIANO OPERATIVO COMUNALE – **ADOZIONE**

Ai sensi degli artt. 222 e 228 L.R. N°65/2014 "NORME PER IL GOVERNO DEL TERRITORIO"

**ALLEGATO 4**

### INDAGINI GEOLOGICHE DI SUPPORTO ALLA PIANIFICAZIONE DEL TERRITORIO COMUNALE

<b>ALLEGATO</b> <b>C4.5</b>	Indagini geofisiche eseguite nella presente indagine
--------------------------------	--

*Geol. Emilio Pistilli*  
*GEOPROGETTI Studio Associato*

Collaboratori:  
Geol. Roberto Mattei  
Geol. Iuri Pucci



Sindaco  
*Sergio Di Maio*  
Responsabile del procedimento  
Architetto *Monica Luperi*  
Garante dell'informazione e della  
partecipazione  
*Ennio Alessio Pierotti*

V.A.S.  
Autorità competente  
Architetto *Silvia Fontani*  
Elaborazione V.A.S.  
Dottoressa *Elena Fantoni*  
Dottoressa *Alessandra Matteini*

Gruppo di lavoro  
Architetto *Simona Coli*  
Dottoressa *Alessandra Matteini*  
Architetto *Monica Luperi*  
Architetto *Michela Luperini*  
Geometra *Sabrina Valentini*

Collaboratori  
Geometra *Fabrizio Desideri*  
Geometra *Marco Lelli*  
Architetto *Cecilia Frassi*

Sistema Informativo  
Geografico  
Dottore *Gianluca Vannini*

# Report Indagine Sismica

INDAGINI GEOFISICHE  
A SUPPORTO DELLA PIANIFICAZIONE URBANISTICA COMUNALE  
HVSr e MARW



**COMMITTENTE:**  
Comune di San Giuliano Terme

**DIREZIONE INDAGINI:**  
Geol. Emilio Pistilli – GEOPROGETTI  
STUDIO ASSOCIATO

[21/02/2018]

**INDAGINI GEOFISICHE  
A SUPPORTO DELLA PIANIFICAZIONE URBANISTICA  
COMUNALE**

**COMUNE DI SAN GIULIANO TERME**

**HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*)  
MARW (*Multichannel Analysis Reflex Waves*)**

21/02/2018

**COMMITTENTE: COMUNE DI SAN GIULIANO TERME**

**DIREZIONE INDAGINI: DOTT. EMILIO PISTILLI - GEOPROGETTI STUDIO ASSOCIATO**

## PREMESSA

Su incarico della committenza è stata realizzata una campagna di indagini sismiche volte all'individuazione delle principali caratteristiche sismo stratigrafiche del sottosuolo, in grado di generare possibili effetti di amplificazione locale e condizionare le attribuzioni di Pericolosità Sismica di cui al punto C5 dell'Allegato A al DPGR 53R/2011.

La campagna d'indagini ha visto la realizzazione di n°16 misure di sismica passiva mediante la registrazione del rumore sismico con la tecnica della stazione singola triassiale (HVSR) e n° 3 misure di sismica attiva acquisite con tecnica MARW.

L'esecuzione delle misure sismiche di superficie si è svolta nei giorni 29 e 30/01/2018. L'ubicazione delle indagini è riportata in Figura 1.

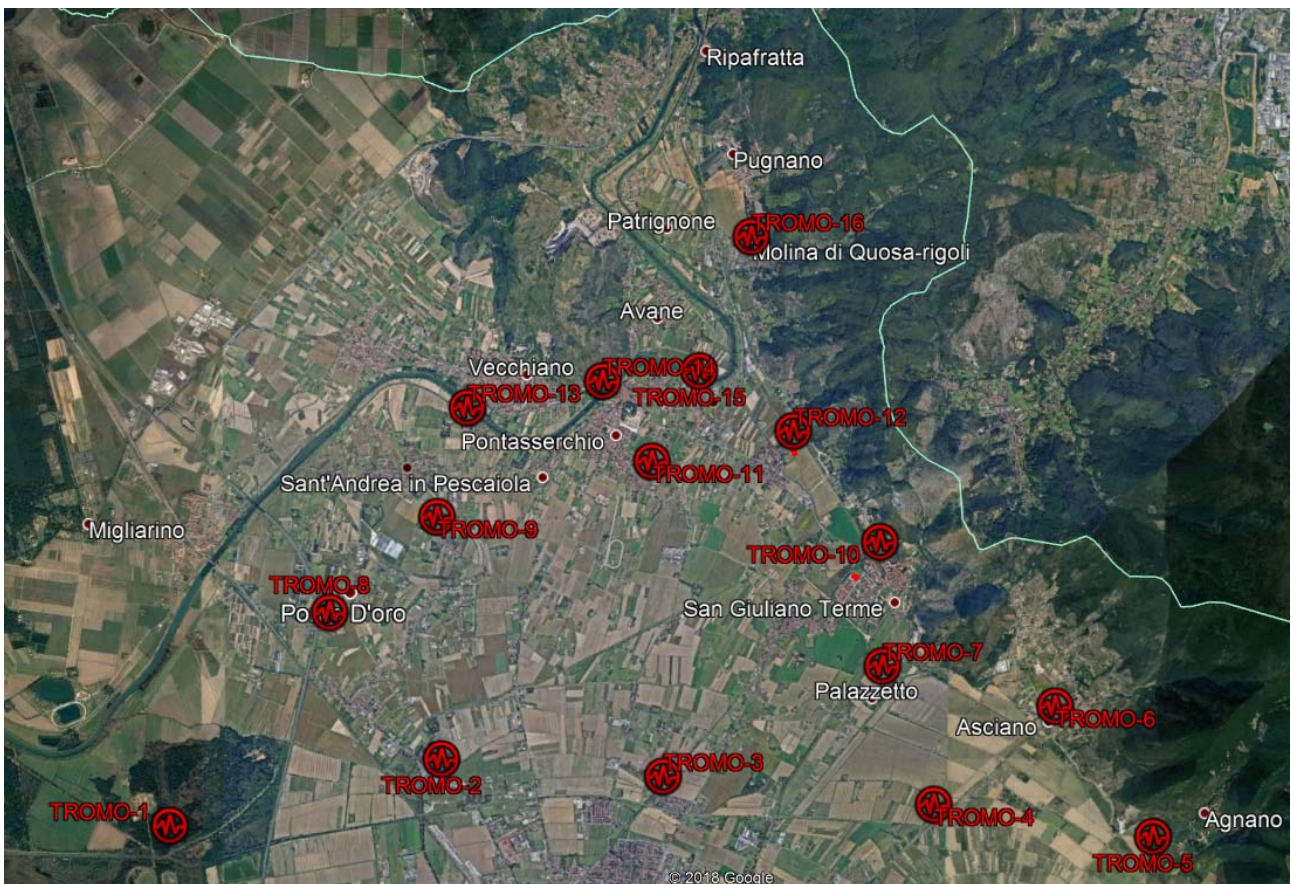


Fig. 1 – Ubicazione registrazioni HVSR sul territorio comunale.

**STRUMENTAZIONE**

La strumentazione utilizzata per l’acquisizione dei dati di campagna è la seguente:

<b>Energizzatore</b>	massa da 10 Kg su traversina	generazione segnale
<b>Geofoni vert. (4,5 Hz)</b>	4kOhm 4.5Hz	conversione segnale sismico in elettrico
<b>Sismografo SARA Do.Re.Mi.</b>	digitalizzatori - 24 bit	conversione segnale e registrazione
<b>Interfaccia Do.Re.Mi. master</b>		alimentazione, collegamento PC,
<b>Computer</b>	Acer Aspire One D150-1Bw	visualizzazione, memorizzazione dati

**Tab. 1** – Strumentazione di acquisizione per analisi MARW.

La strumentazione è composta da una serie di geofoni ad oscillazione verticale/orizzontale collegati ai canali di registrazione. Questi ultimi ricevono il segnale analogico generato dall’arrivo del treno di onde sismiche, prodotte dal sistema di energizzazione, e lo convertono istantaneamente in formato digitale.

Il dato acquisito viene quindi registrato nell’unità di memoria interna al canale stesso rendendosi disponibile per il successivo download, mediante interfaccia master, da parte del programma di acquisizione installato su computer portatile.

L’interfaccia master, oltre a permettere l’acquisizione dei dati, fornisce l’alimentazione elettrica necessaria allo strumento, registra con precisione il segnale start proveniente dalla fonte di energizzazione e consente una corretta comunicazione tra il personal computer e i canali di acquisizione.



**Fig. 2** – Strumentazione d’acquisizione.

L’acquisizione le analisi del rapporto spettrale H/V è stata eseguita mediante la seguente strumentazione:

<b>Strumento</b>	modello PF S SR04 GBX-45-NNG	
<b>3 Sensori (4,5 Hz)</b>	Numero canali: 3 Non ortogonalità: < 0.01% Frequenza naturale: 4.5Hz (+/-5%) Banda utilizzabile: 0.2-1000Hz Damping: 0.707 Massa inerziale: 24 g Sensibilità nominale: 80 V/m/s Movimento massa: 0.2mm Certificazioni:CE(EN55022, N55011)	campionamento simultaneo sui 3 canali
<b>Interfaccia Do.Re.Mi.</b>		download dei dati su PC,
<b>Computer</b>	Acer Aspire One D150-1Bw	visualizzazione, memorizzazione dati

**Tab. 2** – Strumentazione di acquisizione per analisi HVSR.

Il dispositivo sismico utilizzato in questa sede per le misure di vibrazione ambientale consiste in un digitalizzatore a 24 bit 3 canali ad altissima risoluzione collegato a un personal computer per il controllo dello strumento e la registrazione dei dati.

Tre supporti a vite regolabili e una livella consentono il posizionamento dello strumento secondo il piano orizzontale; l'alimentazione è garantita da una piccola batteria interna ricaricabile.

I dati acquisiti dai sensori sono trasferiti al PC mediante un cavo elettrico collegato a una porta seriale (RS232) e registrati in digitale da un software dedicato (modulo SEISMOLOG-MT della suite SEISMOWIN) per mezzo di un convertitore con frequenza di campionamento fino a 600 Hz.

Attraverso la specifica funzione di trasferimento è possibile, nel dominio delle frequenze, una correzione strumentale del dato. Di seguito si riporta quella specifica dello strumento utilizzato:

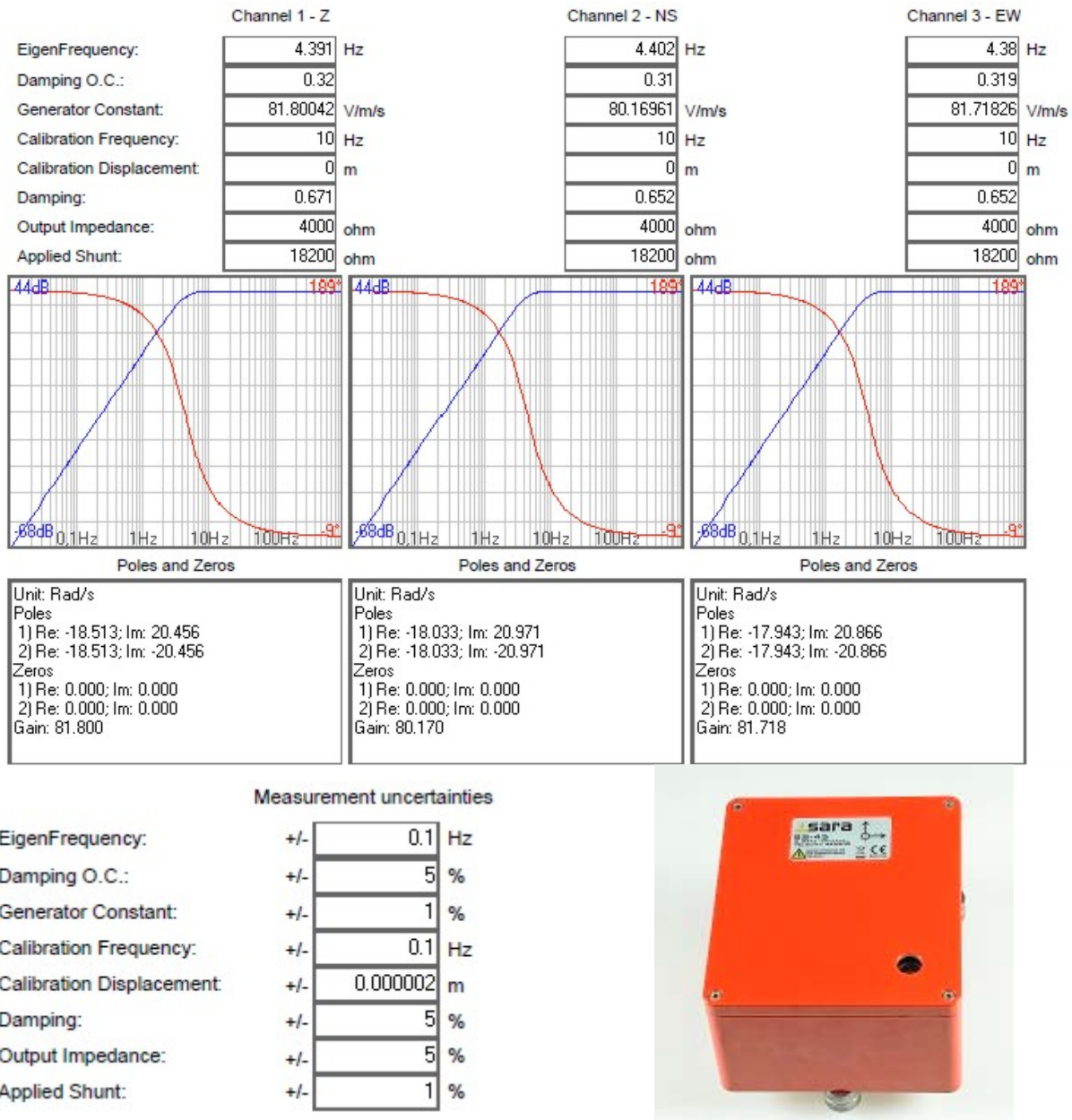


Fig. 3 – Funzione di trasferimento dei sensori del tromografo digitale.

**TECNICA MARW**

La tecnica sismica a riflessione classica si basa sulla registrazione dei tempi che intercorrono tra l'istante in cui viene generato uno specifico impulso elastico in superficie e l'istante di ricezione dell'impulso generato da una o più riflessioni su altrettante superfici (riflettenti) poste al di sotto del piano di campagna.

A differenza della sismica a rifrazione questa metodologia d'indagine non necessita dell'assunto che la velocità di propagazione dell'onda aumenti con la profondità. La riflessione infatti sfrutta il solo contrasto di impedenza sismica (sia positivo che negativo) tra materiali di diversa natura; così una variazione delle caratteristiche tra litotipi differenti, o all'interno dello stesso litotipo, dà luogo a una riflessione delle onde elastiche in corrispondenza della superficie di separazione.

Il vantaggio significativo di questa tecnica d'esplorazione è la capacità di penetrazione nel sottosuolo e l'accuratezza con cui è possibile localizzare le superfici riflettenti associate alla geometria e all'ubicazione delle discontinuità d'impedenza ivi presenti.

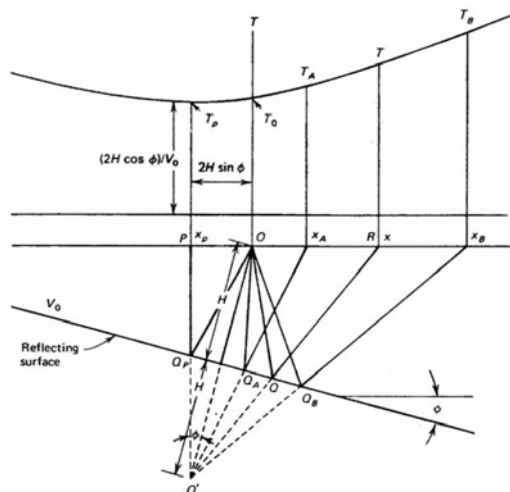
Per gli ambiti di indagine quale quello in oggetto, solitamente vengono impiegati sistemi di acquisizione a 24÷48 canali con digitalizzatori a 24 bit.

Tramite appositi sistemi di energizzazione sono immesse onde sismiche (P o SH) nel sottosuolo le cui riflessioni vengono registrate in superficie con una catena (spread) di ricevitori (geofoni).

L'equazione matematica semplificata che descrive la curva di un segnale riflesso è di tipo iperbolico (fig. successiva):

$$(V_1 \cdot t)^2 = 4H^2 + x^2 + 4H \cdot x \cdot \sin \varphi$$

dove  $V_1$  rappresenta la velocità dell'onda che si propaga nel mezzo considerato omogeneo;  $t$  il tempo d'arrivo nel punto di ascissa generica  $x$ ;  $H$  lo spessore dello strato interessato;  $x$  la distanza del geofono dalla sorgente energizzante;  $\varphi$  l'inclinazione della superficie riflettente.

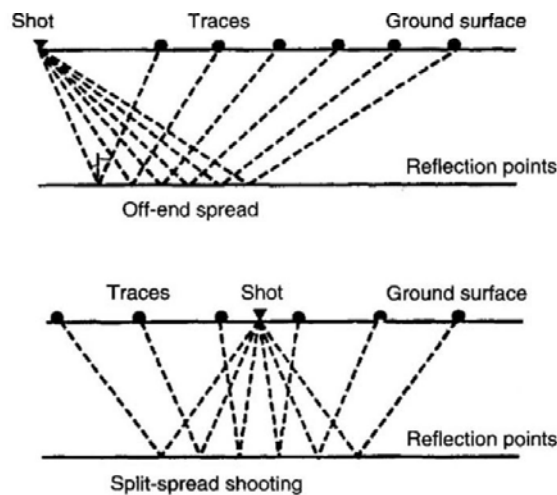


**Fig. 4:** Traiettoria dei raggi sismici su un riflettore inclinato e relativo diagramma tempo-distanza.

In fase di acquisizione dei dati, i parametri fondamentali riguardanti la geometria dello stendimento sono:

- l'*offset* (distanza tra la sorgente energizzante e i sensori);
- il numero delle tracce registrate;
- la distanza tra le tracce.

La sorgente energizzante nella tecnica a riflessione può essere posta all'esterno dello stendimento geofonico (geometria *off-end spread*), oppure all'interno di esso (geometria *split-spread*).



**Fig. 5:** Principali geometrie d'acquisizione.

Nelle acquisizioni 2D, solitamente vengono eseguite più misurazioni spostando la sorgente di energizzazione e lo stendimento geofonico in direzioni uguali oppure opposte, così da investigare una porzione più ampia di terreno.

Su queste geometrie si basa la modalità di acquisizione del *common-depth-point* (CDP) che, energizzando in differenti posizioni permette di indagare (illuminare) più volte un dato punto in profondità ottenendo così più segnali associati. Tale processo consente di incrementare il rapporto *segnale/rumore* rendendo il risultato finale più nitido in quanto filtrato degli effetti generati dal rumore random o coerente.

Tale modalità d'acquisizione prevede dunque almeno due coperture per ogni CDP conseguenza per cui risulta utile operare con tecniche multicanale (*multifold coverage*).

Un aspetto importante del tipo di tecnica a riflessione è il campionamento del segnale. Quest'ultimo infatti è di tipo analogico (continuo nel tempo) mentre lo strumento di acquisizione (un calcolatore) è di tipo digitale (ossia in grado di campionare il segnale solo ad intervalli di tempo imposti dall'operatore). Di conseguenza la funzione *continua* che rappresenta il segnale viene campionata con un determinato intervallo di tempo  $\Delta t$  ed di distanza  $\Delta x$ . Pertanto risulta di grande importanza la scelta dei valori di campionamento per evitare che inesattezze in fase di registrazione digitale generino un'acquisizione imprecisa/falsata dei dati (*aliasing* temporale/spaziale).

La tecnica **MARW** (*Multichannel Analysis of Reflected Waves*) è la semplificazione 1D della classica tecnica a riflessione 2D. Il vantaggio di tale tecnica deriva dalla semplificazione di acquisizione di un singolo CDP (*Common Depth Point*) o CSG (*Common Shot Gather*) da analizzare mediante il tradizionale *processing flow* della tecnica a riflessione 2D per ottenere una sismostratigrafia e un modello di velocità del sottosuolo su una verticale singola.



Acquisire un CDP o un CSG, nel caso si operi su superfici sub-pianeggianti e nel sottosuolo si abbiano contatti litologici continui con pendenze non superiori ai 10-15° è del tutto equivalente (vedasi figura 7).

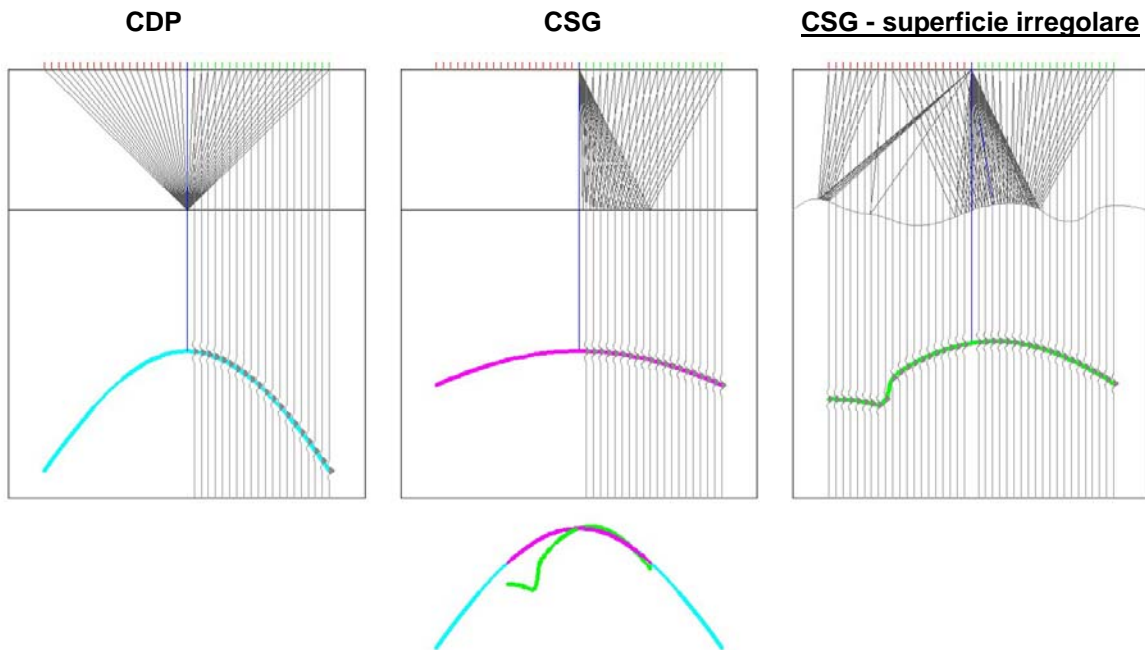


Fig. 6: Metodologia di acquisizione Tecnica MARW.

Diversamente, se la superficie riflettente è molto irregolare (figura 6) o fortemente inclinata (figura 7) il solo metodo di acquisizione disponibile a garantire l'efficacia della tecnica è il CDP.

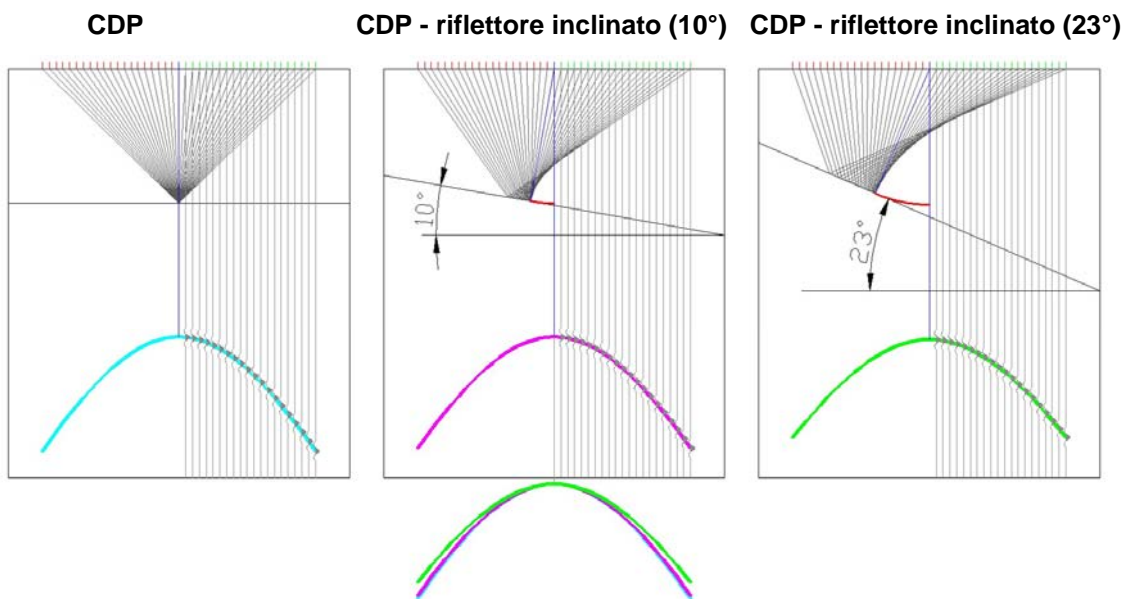


Fig. 7: Metodologia di acquisizione Tecnica MARW.

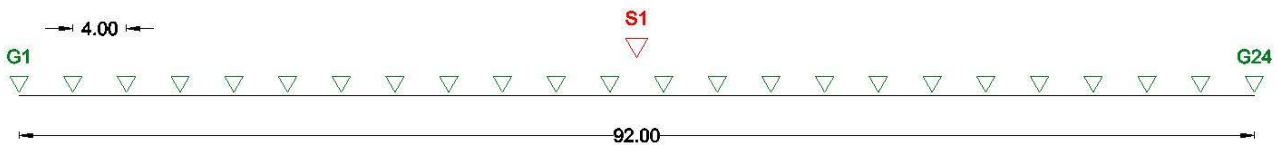
Infine, nel caso in cui la superficie riflettente superi una pendenza di 15°, in fase di elaborazione del dato, sarà necessario operare una correzione del DMO (*Dip Move Out*) per garantire una miglior rappresentazione grafica nella costruzione della *semblance* per l'analisi di velocità.

**MODALITÀ E GEOMETRIA DI ACQUISIZIONE MARW**

I parametri di acquisizione e la geometria degli stendimenti adottati per l'acquisizione in oggetto sono di seguito specificati:

PARAMETRI DI ACQUISIZIONE	MARW1-MARW2-MARW3 (SH)
Sismografo	Do.Re.Mi SARA
Numero canali	24
Numero geofoni per canale	1
Impedenza geofoni	600 Ω
Frequenza naturale geofoni	4,5 Hz
Copertura nominale	100%
Passo campionamento	1,0 ms
Lunghezza registrazione	3,0 s
GEOMETRIA STENDIMENTO	
Punti di energizzazione	Centro stendimento
Passo geofoni	4,0 m
Offset minimo	2,0 m
Offset massimo	46,0 m
Spread	Spit-spread

**Tab. 3:** Parametri e settaggi d'acquisizione ST-1.



**Fig. 8:** Caratteristiche di acquisizione in riflessione stendimento ST1-P.

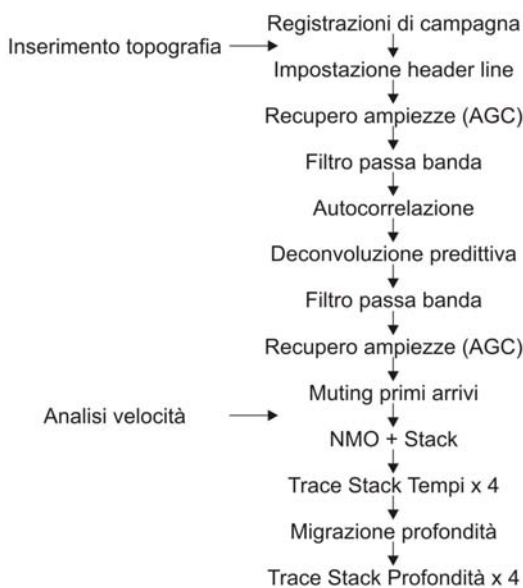
Per la realizzazione della stesa sismica è stata utilizzata una linea fissa (*fixed line*) con acquisizione *split-spread* posizionando lo scoppio al centro dello stendimento.

Per la generazione delle onde di taglio si è fatto ricorso all'utilizzo di una mazza sismica da 12 kg impattata direttamente su una travetta in legno. Nonostante la condizione di sostanziale bassa rumorosità ambientale dei siti indagati, per il punto d'energizzazione (*shot-point*) si è scelto di procedere ad un numero minimo di 6 registrazioni (*multistacking*), a vantaggio di un'ulteriore riduzione della componente di rumore ambientale nelle tracce.

In questo modo sono stati ottenuti sismogrammi in cui il segnale generato, essendo sempre in fase, è sommato *n* volte mentre il rumore (*random*) tende ad annullarsi, favorendo così il rapporto Segnale/Rumore di ciascuna traccia.

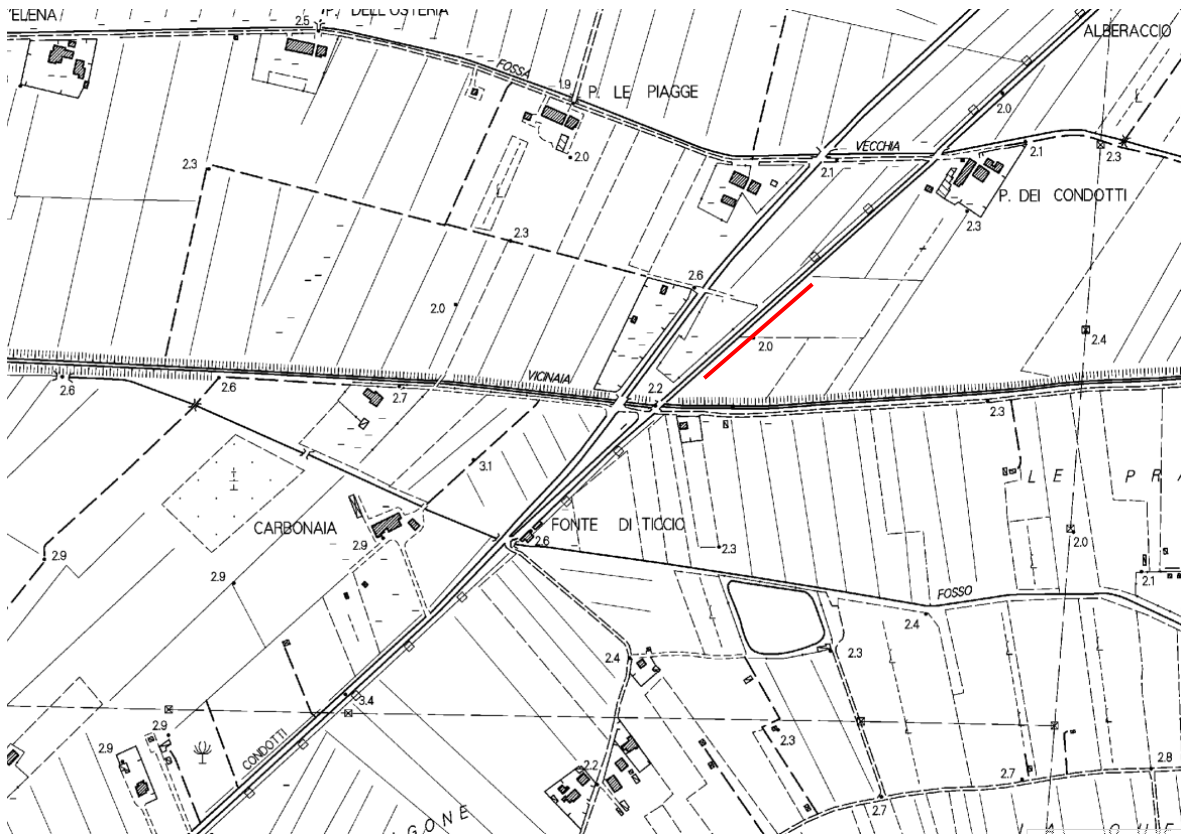
**PROCESSING DEI DATI**

I dati acquisiti con lo stendimento sono stati sottoposti alla sequenza di *processing* di indicata a fianco.



**Fig. 9:** *Flow-Chart* delle operazioni di *Processing*.

Di seguito vengono riportate le ubicazioni delle prove e i sismogrammi dei 3 *data-set* acquisiti ai quali sono state applicate le funzioni di processamento presenti nella *Flow-Chart*.



Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273060



Ubicazione MARW1 – Lat.43.736852; Lon.10.447905

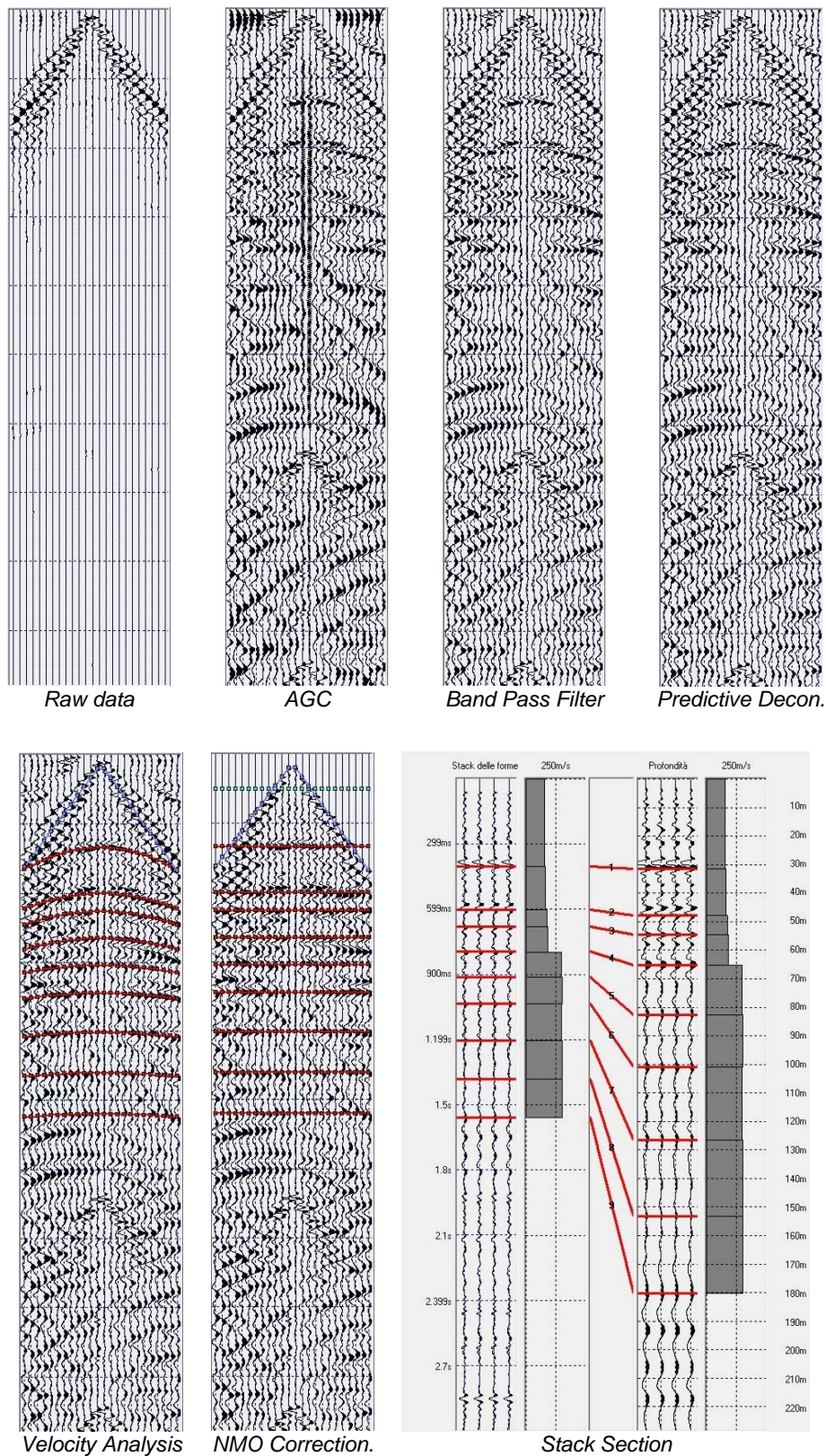
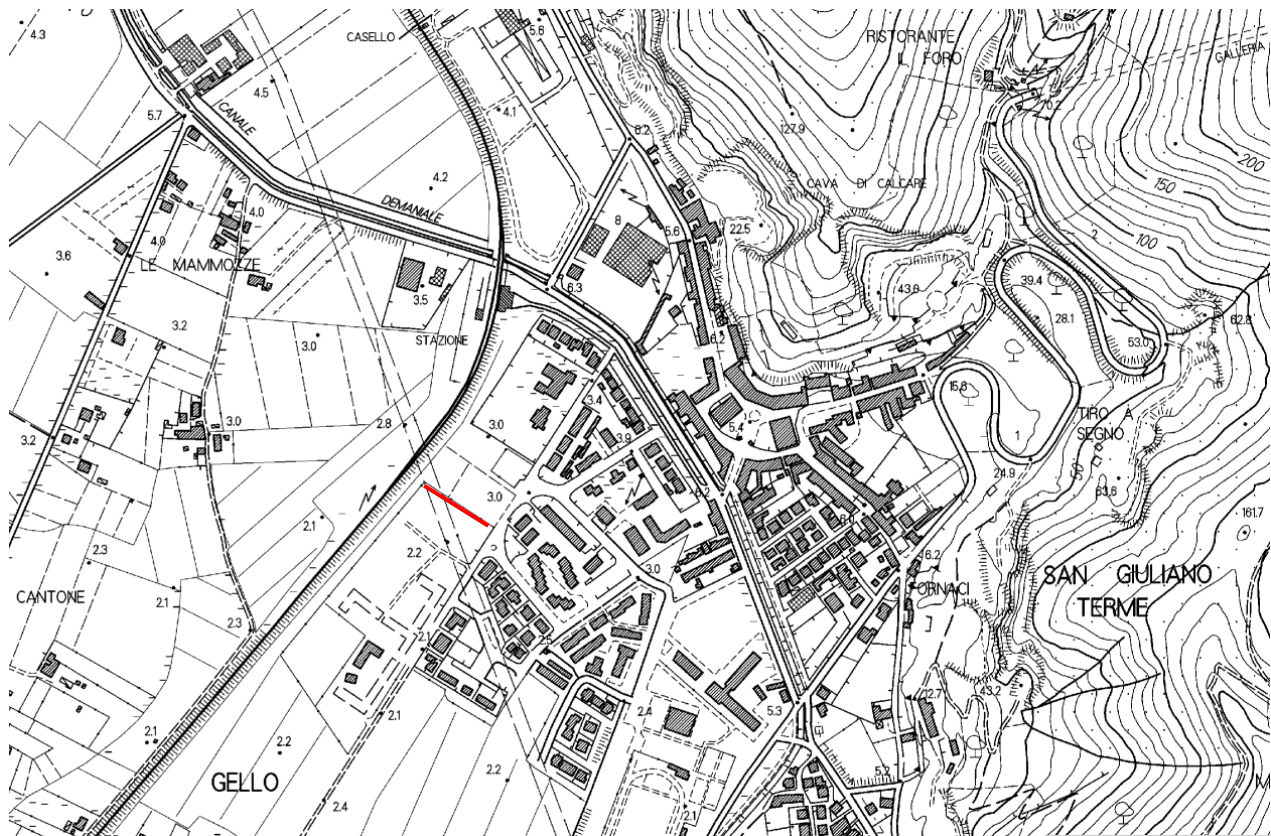


Fig. 10: Sismogrammi ottenuti dalle varie operazioni di Processing – MARW 1.



Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273020



Ubicazione MARW2 – Lat.43.762363; Lon.10.436233

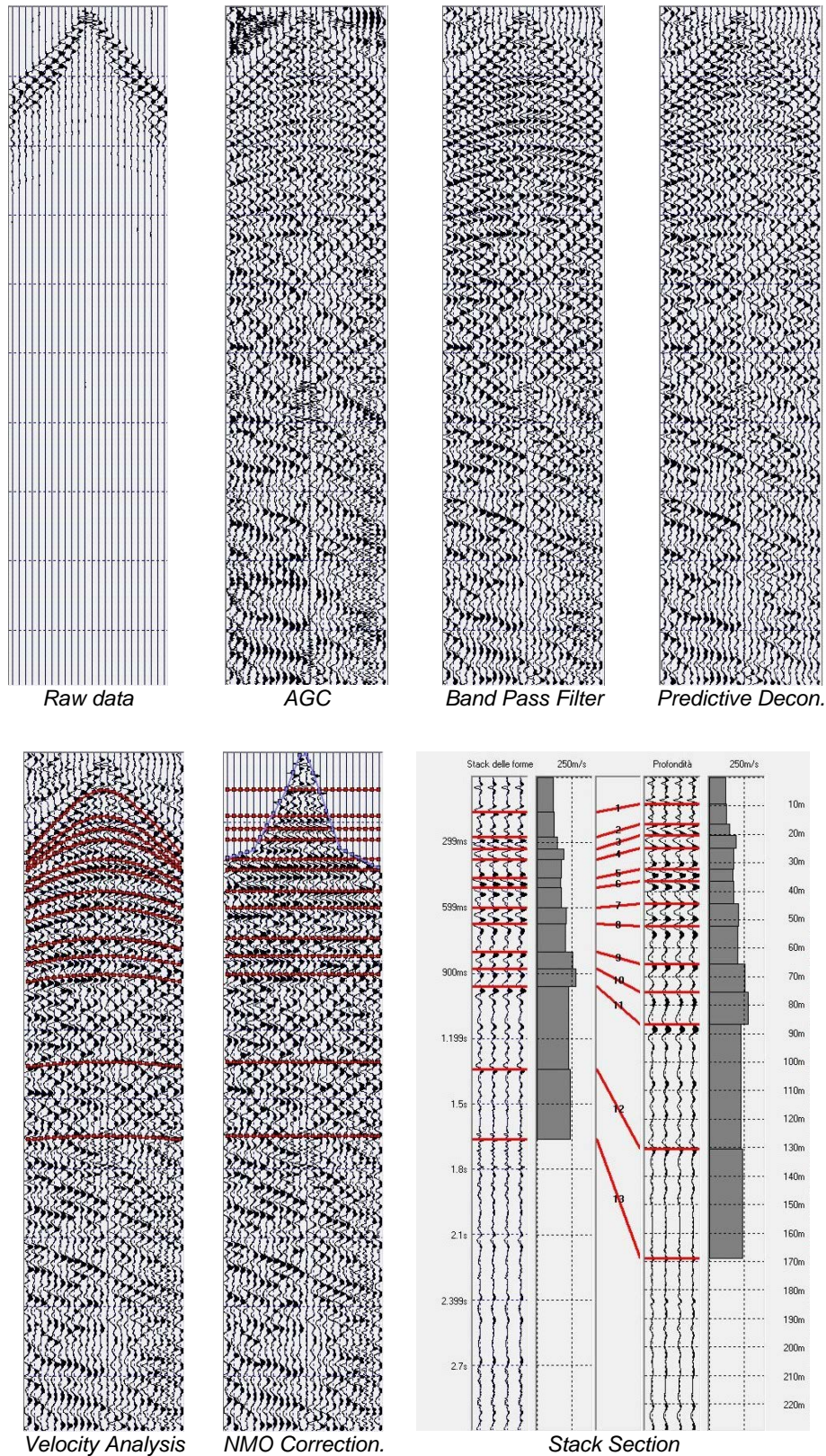


Fig. 11: Sismogrammi ottenuti dalle varie operazioni di Processing – MARW 2.



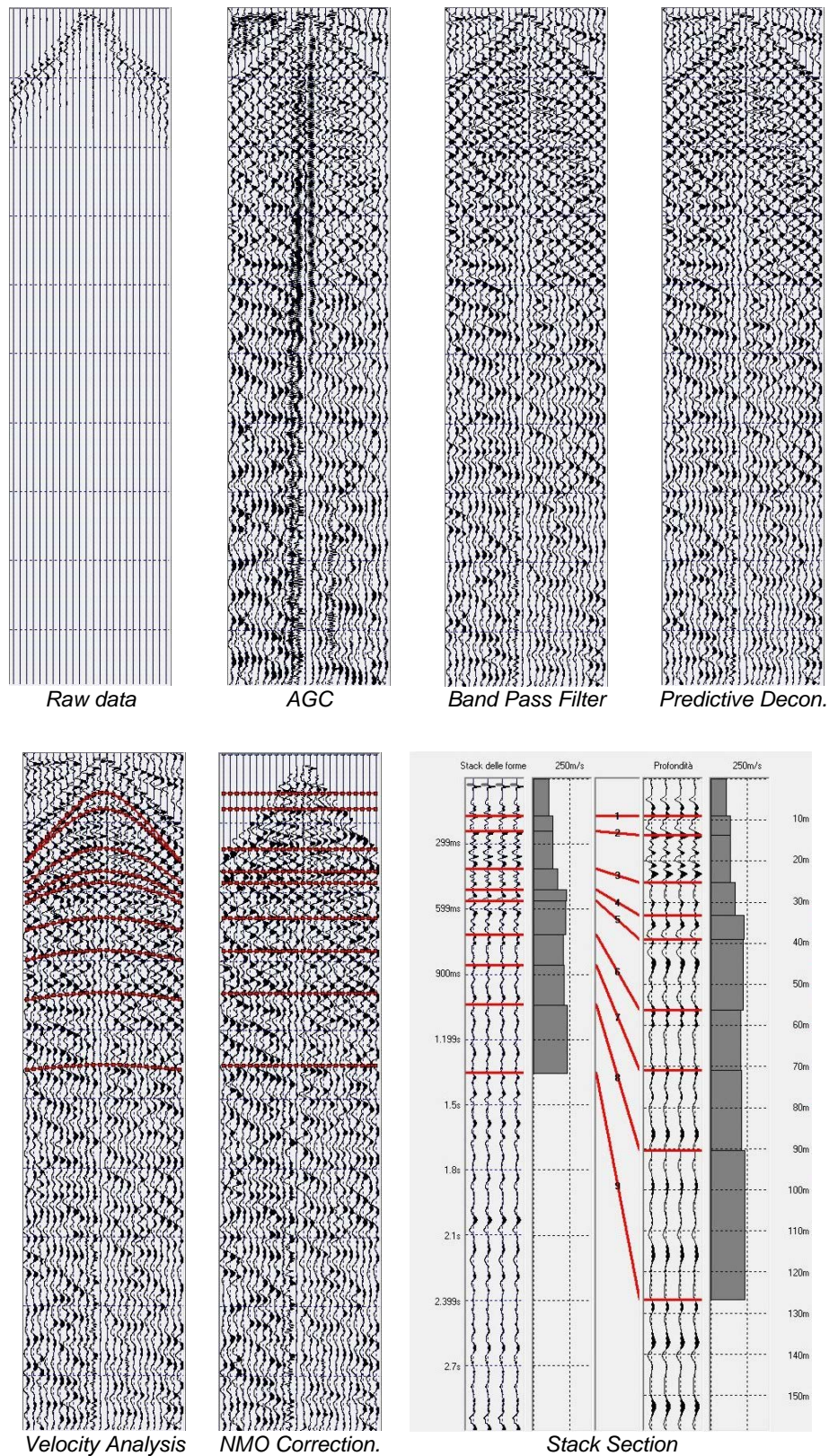


Fig. 12: Sismogrammi ottenuti dalle varie operazioni di *Processing* – MARW 3.



Nella fase di analisi di velocità dei riflettori, sui vari sismogrammi, è stato eseguito il *picking* delle riflessioni fino a tempi dove è osservabile del segnale coerente. Oltre tale limite temporale il rumore ambientale risulta predominante sul segnale rappresentato dalle riflessioni dunque l'analisi di velocità perde di attendibilità.

Per un maggior dettaglio sul profilo di velocità ( $V_{sh}$ ) delle tre verticali analizzate si riporta di seguito la sintesi numerica dei risultati dove sono rappresentati i tempi  $T_0$  di percorrenza dell'onda riflessa ad *offset* zero, la velocità di *stack* dei singoli riflettori (velocità quadratica media), la velocità intervallare dei domini litologici compresi tra due riflessioni continue e la profondità dei riflettori.

N.	Tempo 0 (ms)	Vstack (m/s)	Vint (m/s)	Profondità (m)
0	0	157	157	0
1	401	157	157	31
2	601	159	162	47
3	679	161	175	54
4	796	164	180	65
5	913	187	299	82
6	1034	204	302	101
7	1205	220	299	126
8	1381	232	301	153
9	1560	241	301	180
10	3000	241	301	397

Tab. 4: Risultati analisi di velocità MARW-1.

N.	Tempo 0 (ms)	Vstack (m/s)	Vint (m/s)	Profondità (m)
0	0	116	116	0
1	160	116	116	9
2	274	119	123	16
3	328	124	146	20
4	376	135	194	24
5	460	143	174	32
6	507	146	172	36
7	540	148	175	39
8	598	151	176	44
9	672	159	212	52
10	789	164	190	63
11	887	169	204	73
12	985	175	222	84
13	1129	183	230	100
14	1340	191	229	124
15	1661	201	238	163

Tab. 5: Risultati analisi di velocità MARW-2.

N.	Tempo 0 (ms)	Vstack (m/s)	Vint (m/s)	Profondità (m)
0	0	106	106	0
1	171	106	106	9
2	240	114	131	13
3	414	122	132	25
4	511	132	168	33
5	562	143	225	39
6	715	164	224	56
7	857	172	207	70
8	1040	180	213	90
9	1354	193	230	126

Tab. 6: Risultati analisi di velocità MARW-3.

**TECNICA HVSR (metodo Nakamura)**

Lo scopo di questa particolare tecnica è l'individuazione, attraverso il metodo proposto da Nakamura sul rapporto spettrale H/V, delle discontinuità sismiche nel sottosuolo e la ricerca dell'eventuale *bedrock* geofisico. La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è totalmente non invasiva, rapida e può essere applicata ovunque non necessitando di alcun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale.

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

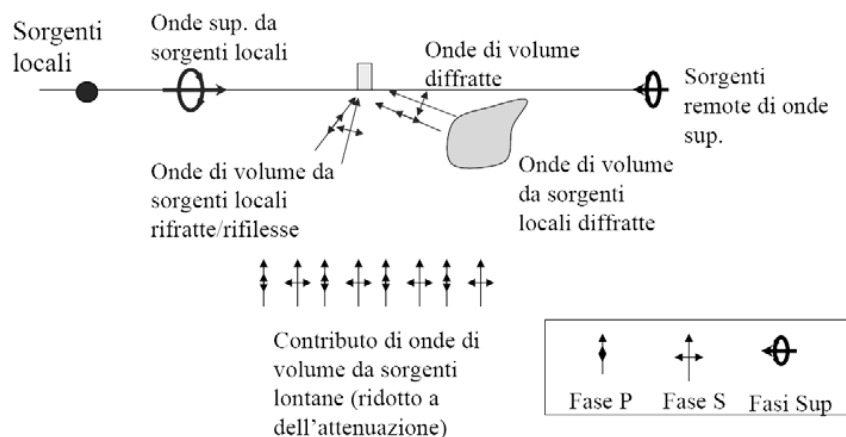
- la frequenza caratteristica di risonanza di un sito;
- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio;
- la velocità media delle onde di taglio Vs (solo se già noti gli spessori dei sismostrati);
- gli spessori della coltre di copertura del substrato litoide (solo se già note le Vs dei sismostrati).

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori. La forma di un'onda registrata in un determinato sito dallo strumento dipende: dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s; dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni); dalle rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda; dalla risposta dello strumento; ovvero:

**segnale registrazione al sito = sorgente \* effetti di percorso \* funzione trasferimento strumento**

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento etc...) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Il rumore sismico viene denominato microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, sensibilmente inferiori a quelle prodotte dai terremoti.

I metodi che si basano sull'acquisizione delle vibrazioni ambientali vengono detti di tipo passivo, in quanto il segnale non è appositamente generato (come avviene per esempio con le energizzazioni della sismica attiva).



**Fig. 13 – Percorsi e tipi di sorgenti dei microtremori.**

Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda e attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Di

conseguenza l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica.

Diversamente con la tecnica dei microtrempi è possibile registrare una parte del segnale di partenza che contiene informazioni relative al percorso effettuato ovvero alla struttura sismostratigrafica in prossimità del sensore. In questo modo il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale da scartare nella sismologia tradizionale, viene sfruttato per ottenere utili informazioni per le analisi sismiche del sottosuolo. Queste risultano mascherate dal rumore casuale e possono essere estratte solo attraverso opportune tecniche di filtraggio.

Una di queste è la teoria dei rapporti spettrali o semplicemente HVSR che consente di fornire stime affidabili delle frequenze fondamentali dei sottosuoli.

## RISULTATI HVSR

Per l'acquisizione dei dati sono stati utilizzati n°2 tromometri digitali (modello PF S SR04 GBX-45-NNG) a 3 canali con capacità di registrazione a 24 bit. Attraverso lo strumento, che racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ad alta definizione ortogonali tra loro, si sono registrate le vibrazioni ambientali i cui valori sono stati salvati in tempo reale nella memoria interna di un computer portatile. Gli assi di oscillazione dello strumento sono stati allineati a quelli geografici mediante l'utilizzo di una bussola.

I dati registrati sono stati convertiti in file ASCII nel formato .SAF mediante il software Seismolog-MT e successivamente elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza.

Durante il campionamento lo stesso software ha permesso di visualizzare in tempo reale la curva H/V e gli spettri assoluti sulle componenti sia verticale che orizzontale e di salvare un secondo file di registrazione già depurato dei transienti individuati durante il campionamento.

Per la postazione di registrazione il rumore sismico è stato acquisito per un periodo di 20 minuti. In fase di elaborazione la registrazione è stata suddivisa manualmente in intervalli della durata compresa tra 10 e 20 sec all'interno dei quali si è operato un'analisi spettrale nelle tre componenti (Verticale, N-S e E-W).

Per ciascun segmento si è quindi calcolato il rapporto spettrale fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale. Dei valori così ottenuti è stata calcolata la media.

Infine, per verificare che le misure ottenute dall'elaborazione dei dati di campagna fossero una stima dell'ellitticità delle onde di Rayleigh si è proceduto a verificare che:

- i rapporti H/V ottenuti sperimentalmente risultassero stabili, e frutto di un campionamento statistico adeguato,
- gli effetti di sorgente fossero effettivamente mediati, ovvero al netto di eventuali sorgenti dominanti,
- la misura non contenesse errori sistematici (come per esempio quelli generati da un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno).

Definendo i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si può ricavare il valore di frequenza caratteristica per ogni postazione del sito. Sapendo che a ogni picco in frequenza corrisponde una profondità in metri dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica rappresentativa del sottosuolo.

Per ogni registrazione è stata individuata la **frequenza di risonanza del sito**, definita da un picco di frequenza ( $f_0$  Hz) con un valore di ampiezza medio ( $A_0$ ) generato dalla discontinuità nel sottosuolo.


Nelle schede di ogni singola registrazione HVSR sono indicati:

- la localizzazione geografica in coordinate WGS84 e sui riferimenti sia cartografico che su immagine satellitare;
- i riferimenti fotografici;
- segnali e finestre;
- il rapporto spettrale H/V misurato e l'andamento dei valori spettrali assoluti per le tre componenti del moto vibrazionale;
- la persistenza del picco H/V con il tempo (time) e con la direzionalità del segnale (azimuth);
- la verifica di attendibilità/affidabilità della curva H/V per la frequenza  $f_0$  di sito, secondo i criteri del Progetto SESAME 2005 (*Site EffectS assessment using Ambient Excitations*) che prevedono debbano essere verificati i primi tre criteri, mentre per avere un segnale chiaro e pulito del picco massimo devono essere soddisfatti almeno cinque dei sei criteri successivi.

Tr	$f_0$ (Hz)	$A_0$	$f_1$ (Hz)	$A_1$	CLASSE
<b>01</b>	24.176	10.537	-	-	A2
<b>02</b>	0.378	3.299	1.521	2.392	A1
<b>03</b>	0.368	3.162	-	-	A1
<b>04</b>	0.375	3.335	-	-	A1
<b>05</b>	1.413	2.439	-	-	A1
<b>06</b>	4.312	3.326	1.413	2.904	B1
<b>07</b>	0.755	3.977	-	-	A1
<b>08</b>	0.368	2.743	1.219	2.250	A1
<b>09</b>	0.382	4.559	-	-	A1
<b>10</b>	1.564	6.196	-	-	A1
<b>11</b>	0.418	8.119	-	-	A1
<b>12</b>	1.242	6.560	-	-	A1
<b>13</b>	0.499	3.506	-	-	A1
<b>14</b>	1.493	4.976	-	-	A1
<b>15</b>	0.572	10.091	-	-	A1
<b>16</b>	1.608	5.800	-	-	A1

**Tab. 6:** Sintesi dei risultati HVSR.

Documento verificato da:  
Dott. Francesco Fiera



Documento approvato da:  
Dott. Massimiliano Perini



## STATION INFORMATION

*Station code:* Postazione\_1

*Model:* SARA GEOBOX

*Sensor:* SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

*Notes:* -

## PLACE INFORMATION

*Place ID:* Tr01

*Address:* Parco S. Rossore

*Latitude:* 43.737322

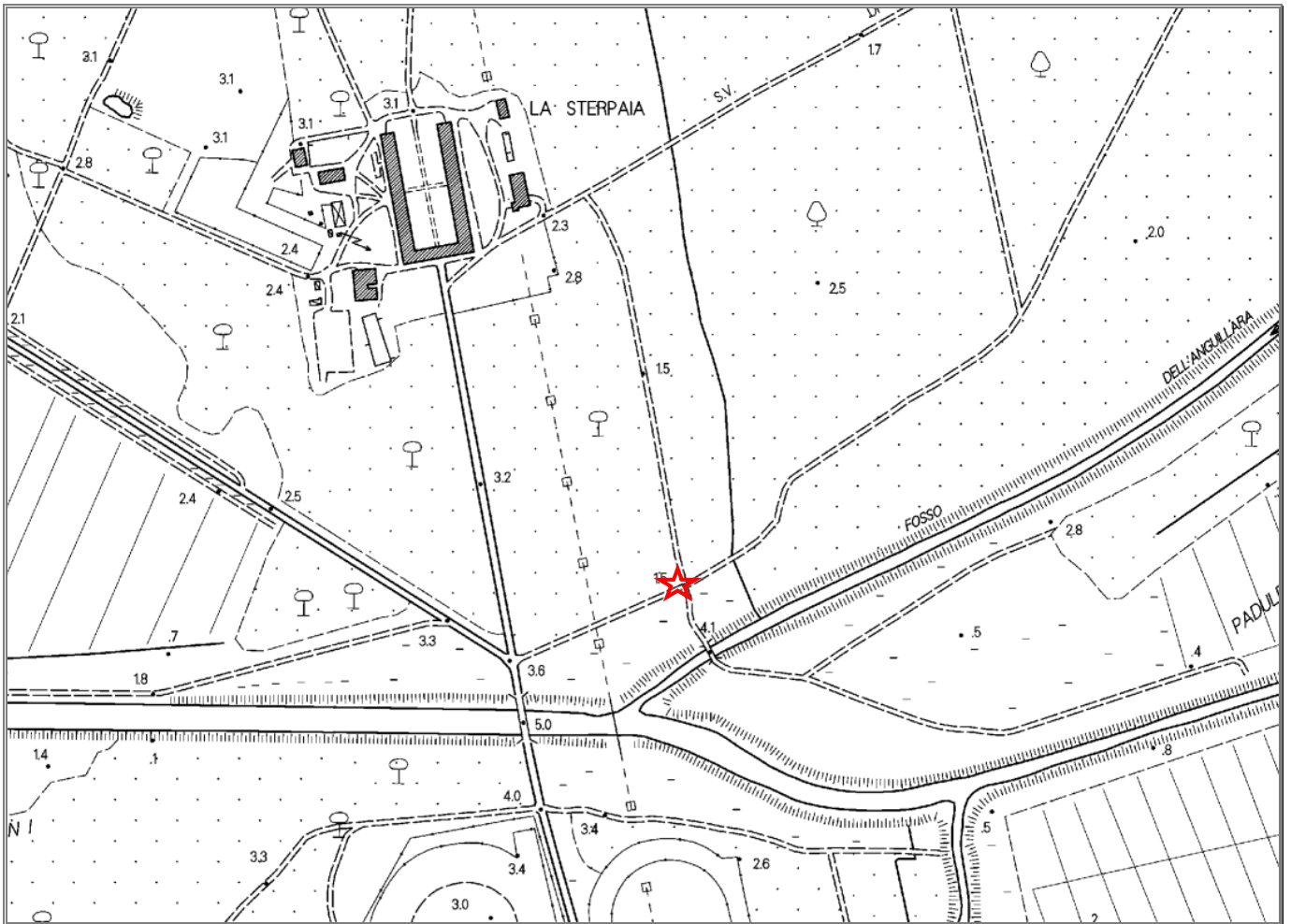
*Longitude:* 10.342497

*Coordinate system:* WGS84

*Elevation:* 1.5 m s.l.m.

*Weather:* Clear, Sunny

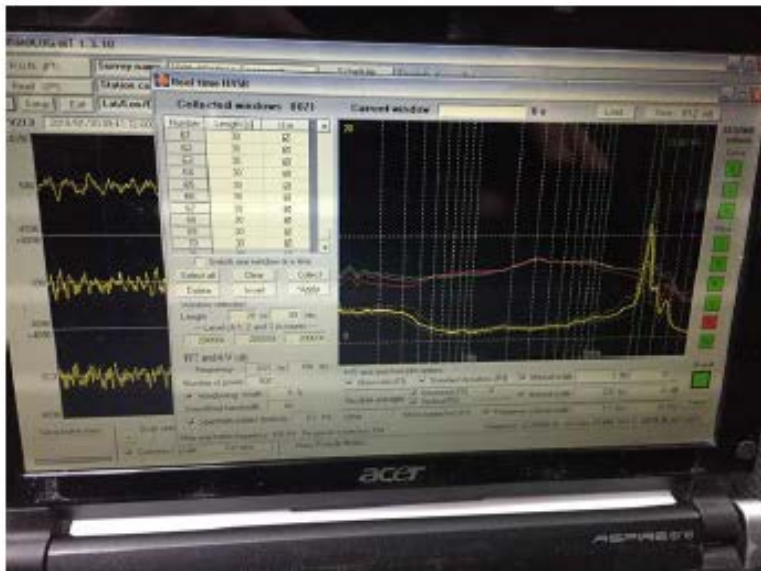
*Notes:* -



Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273050



## PHOTOGRAPHIC REFERENCES



## SIGNAL AND WINDOWING

*Sampling frequency:* 300 Hz

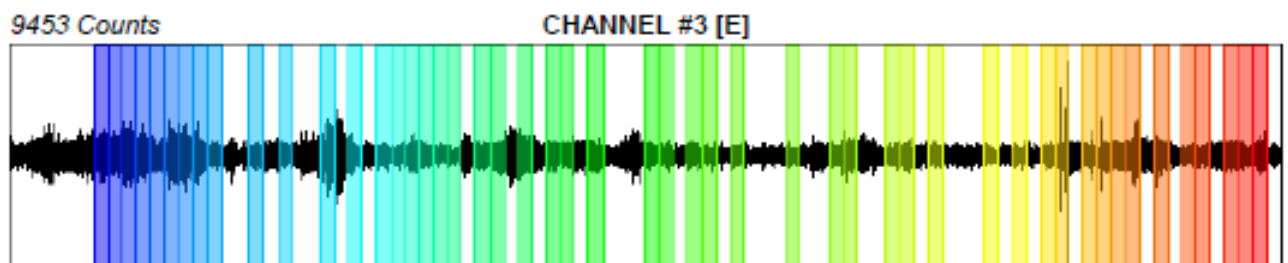
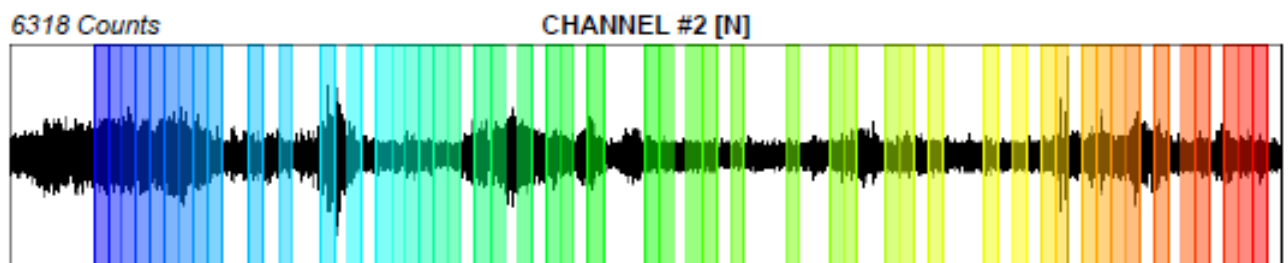
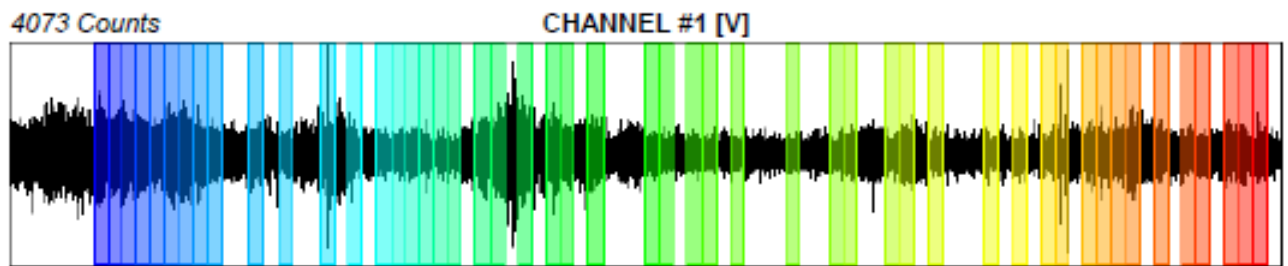
*Recording start time:* 2018/01/30 09:09:10

*Recording length:* 30 min

*Windows count:* 50

*Average windows length:* 20

*Signal coverage:* 55.56%





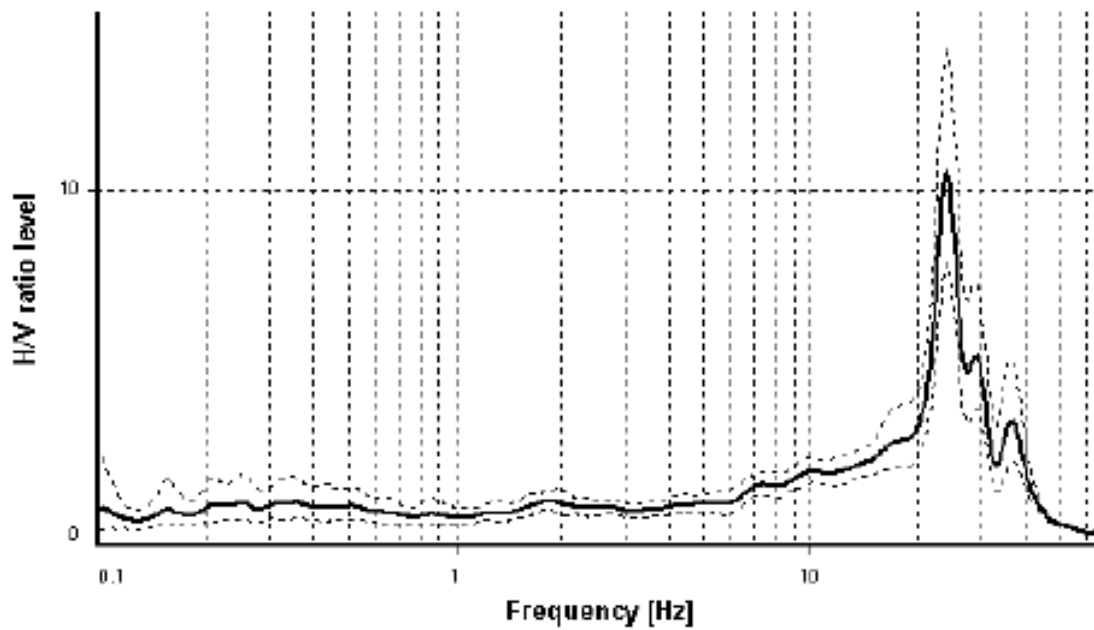
### HVSR ANALYSIS

*Tapering:* Enabled (Bandwidth = 5%)

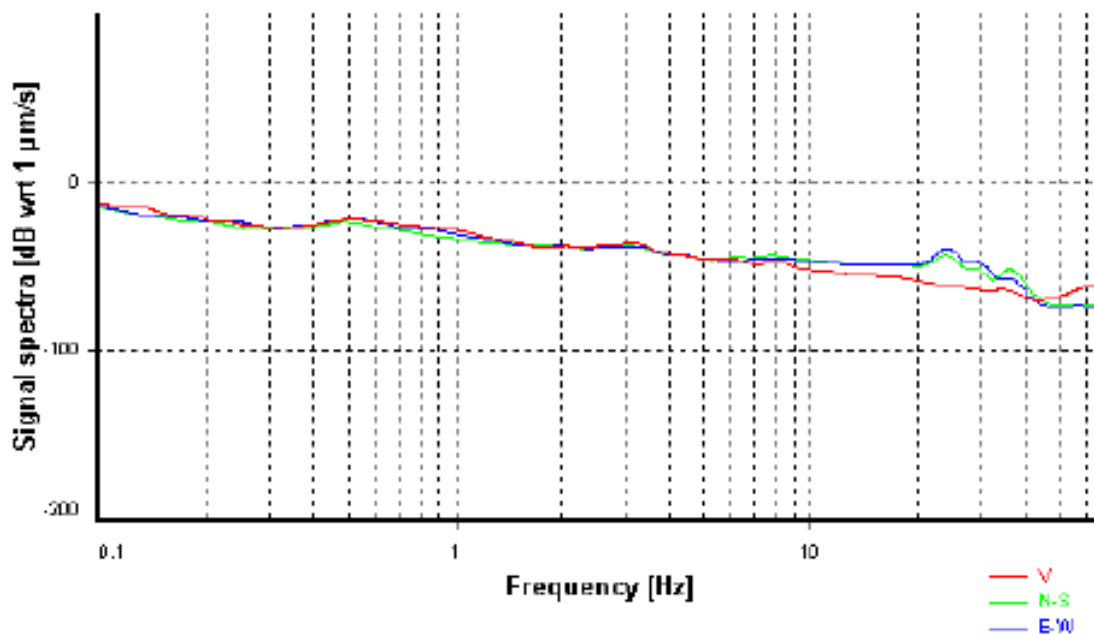
*Smoothing:* Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

*Instrumental correction:* Enabled (Water level = 0.01 Hz)

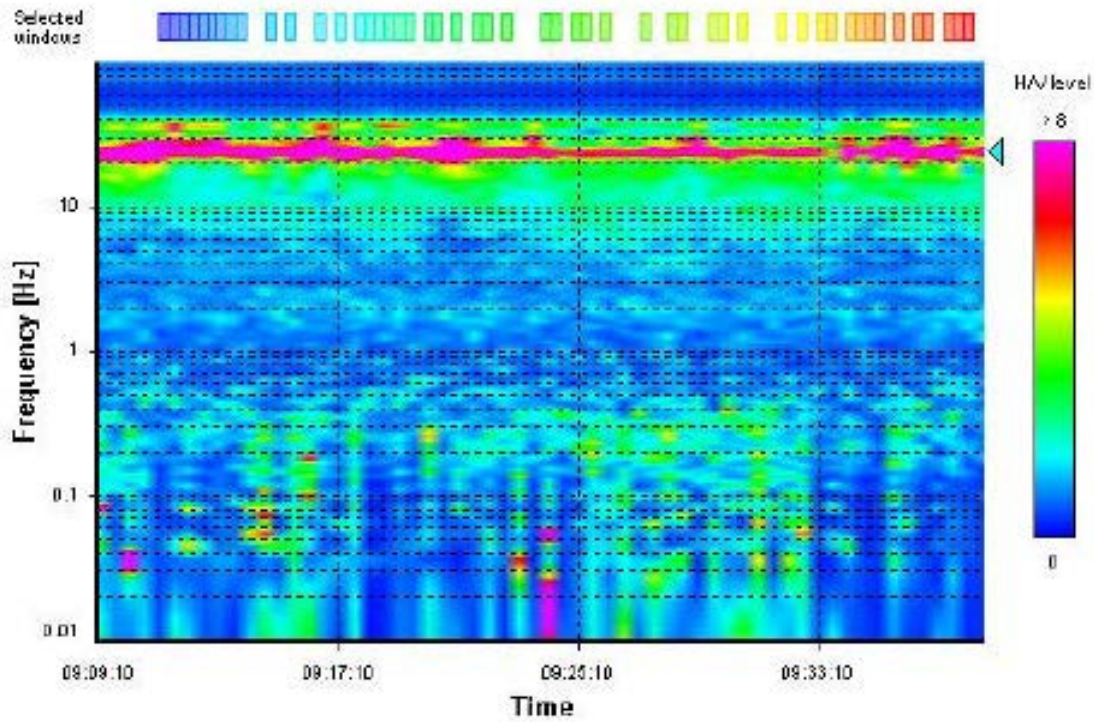
#### HVSR average



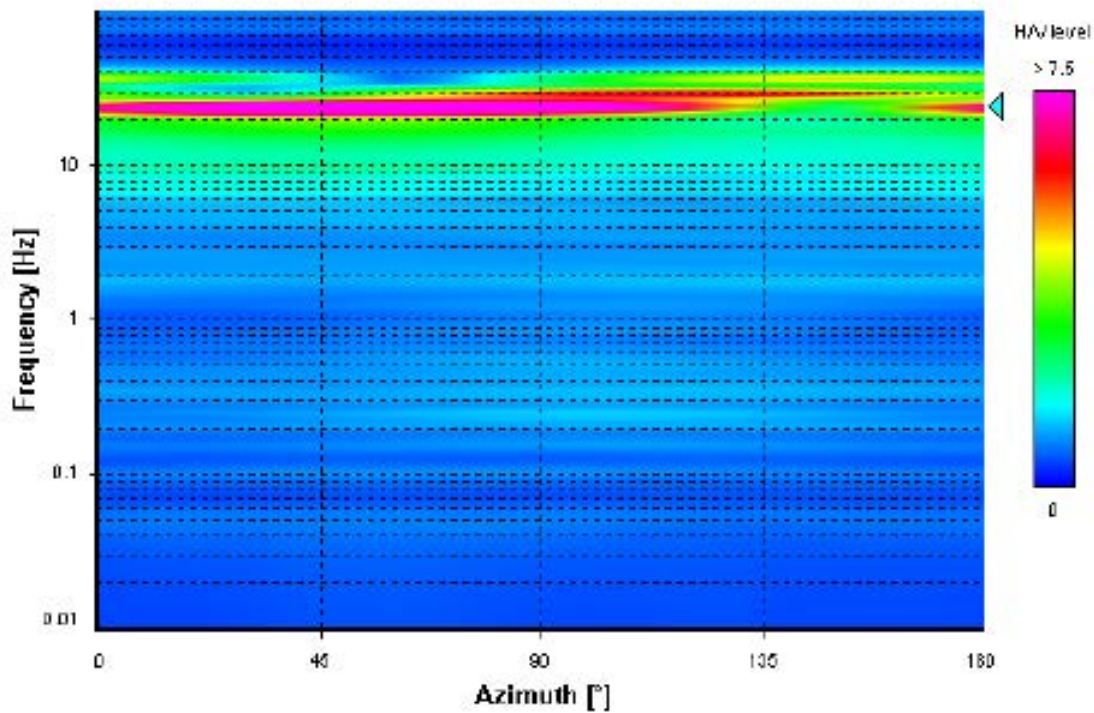
#### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



### HVSR directional analysis



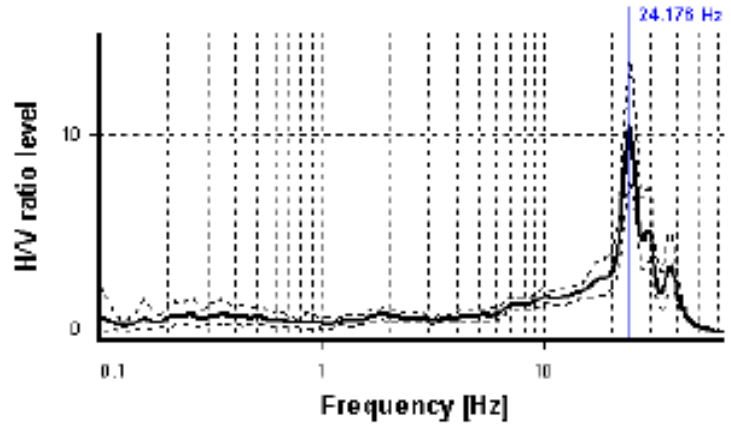
### SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**

**24.176 Hz**

**$A_0$  amplitude = 10.537**

**Average  $f_0 = 24.297 \pm 0.699$**



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	50 valid windows (length > 0.41 s) out of 50	OK
$n_c(f_0) > 200$	24175.94 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0/2$	21.84436 Hz	OK
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	27.00421 Hz	OK
$A_0 > 2$	10.54 > 2	OK
$f_{peak}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.69861 < 1.2088	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.3306 < 1.58	OK
<b>Overall criteria fulfillment</b>		<b>OK</b>

## STATION INFORMATION

*Station code:* Postazione\_1

*Model:* SARA GEOBOX

*Sensor:* SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

*Notes:* -

## PLACE INFORMATION

*Place ID:* Tr02

*Address:* Via Ludovico Muratori - Madonna dell'Acqua

*Latitude:* 43.741277

*Longitude:* 10.376622

*Coordinate system:* WGS84

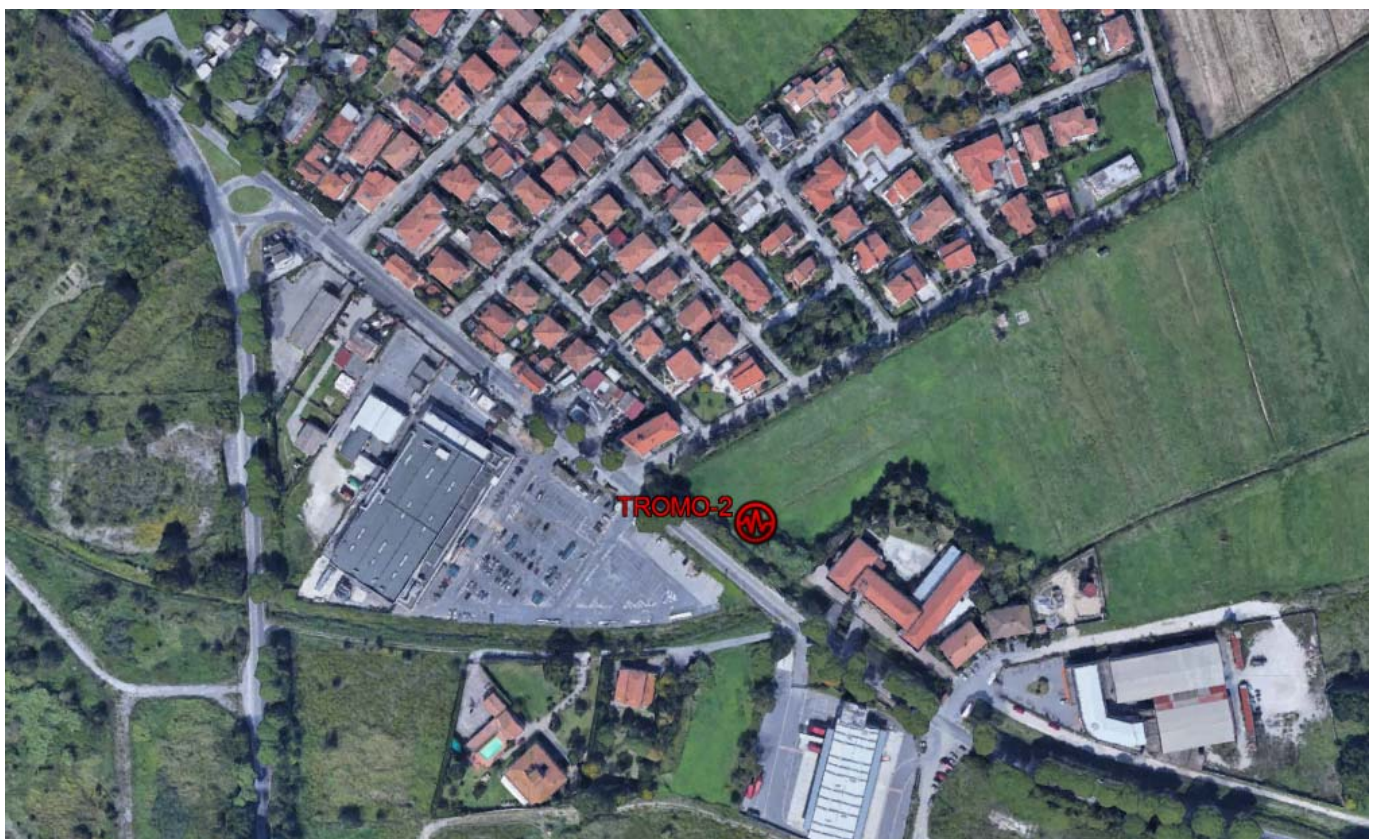
*Elevation:* 2.0 m s.l.m.

*Weather:* Cloudy

*Notes:* -



Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273050



## PHOTOGRAPHIC REFERENCES



## SIGNAL AND WINDOWING

*Sampling frequency:* 300 Hz

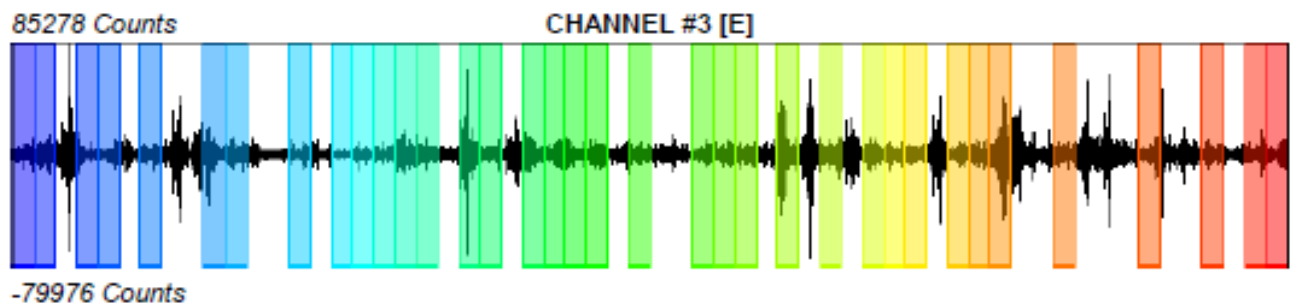
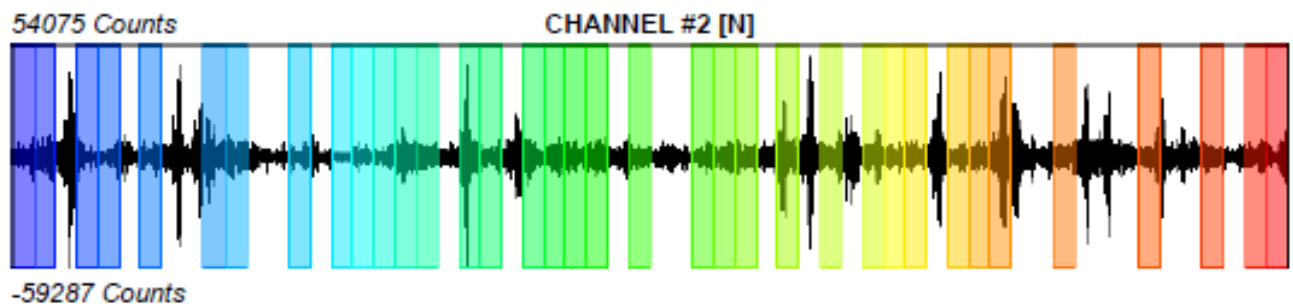
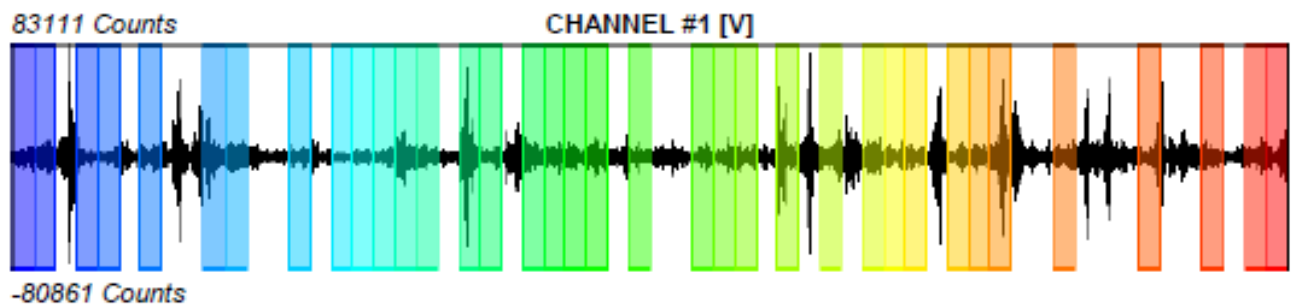
*Recording start time:* 2018/01/30 10:11:58

*Recording length:* 30 min

*Windows count:* 36

*Average windows length:* 30

*Signal coverage:* 60%



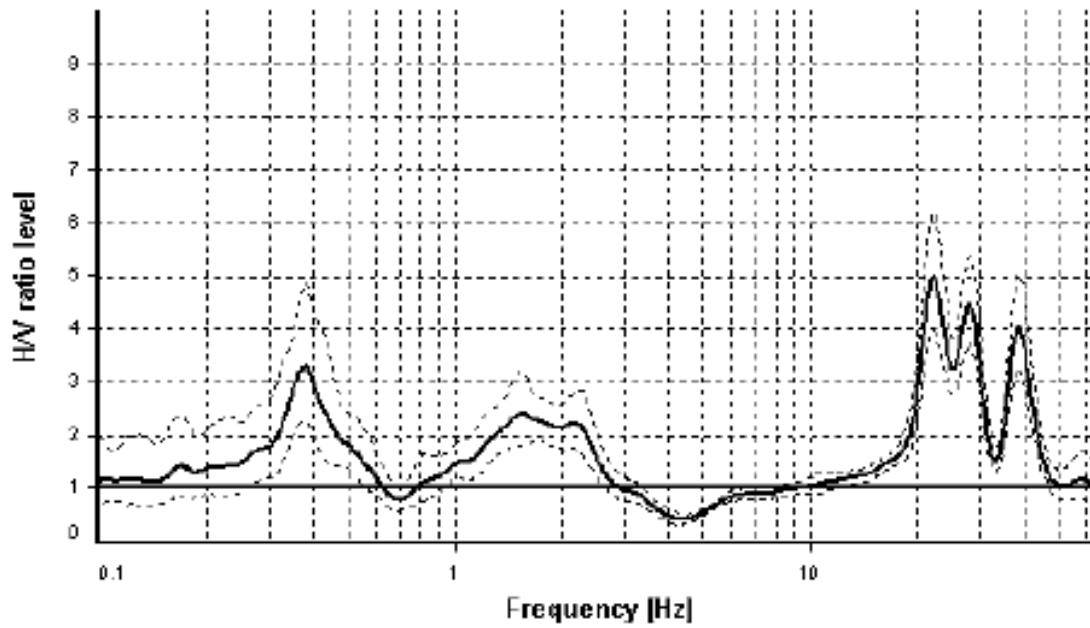
### HVSR ANALYSIS

*Tapering:* Enabled (Bandwidth = 5%)

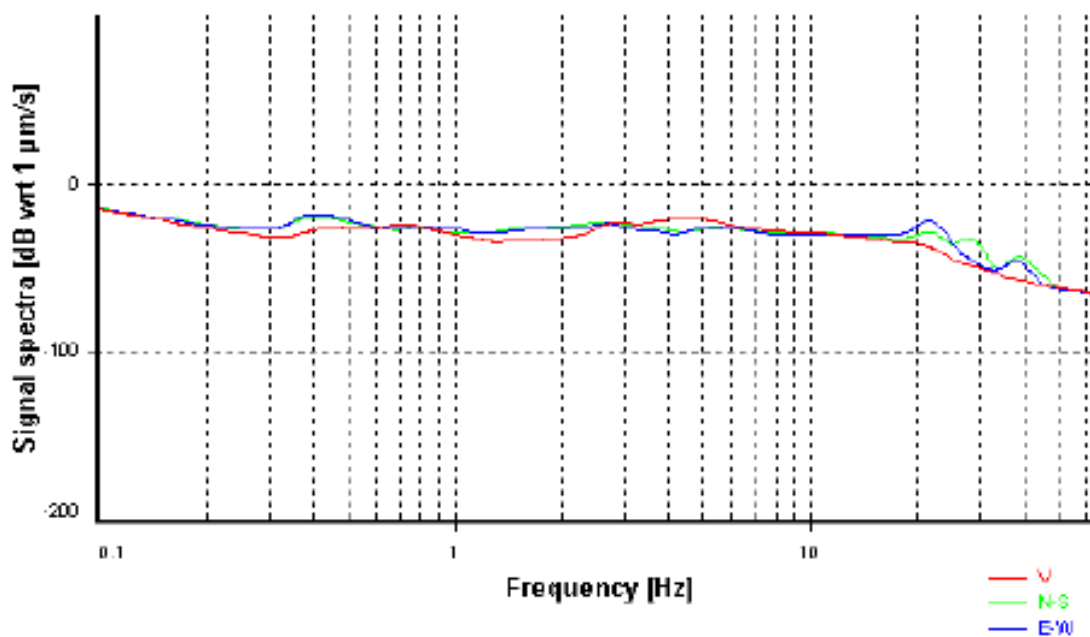
*Smoothing:* Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

*Instrumental correction:* Enabled (Water level = 0.01 Hz)

#### HVSR average

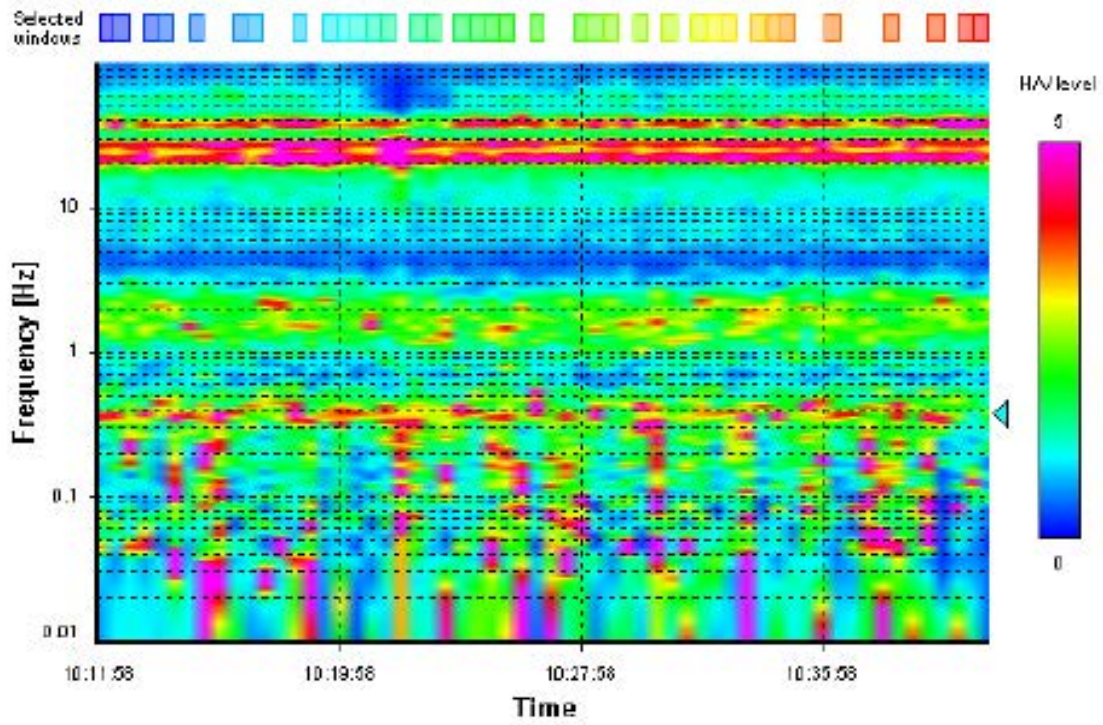


#### Signal spectra average

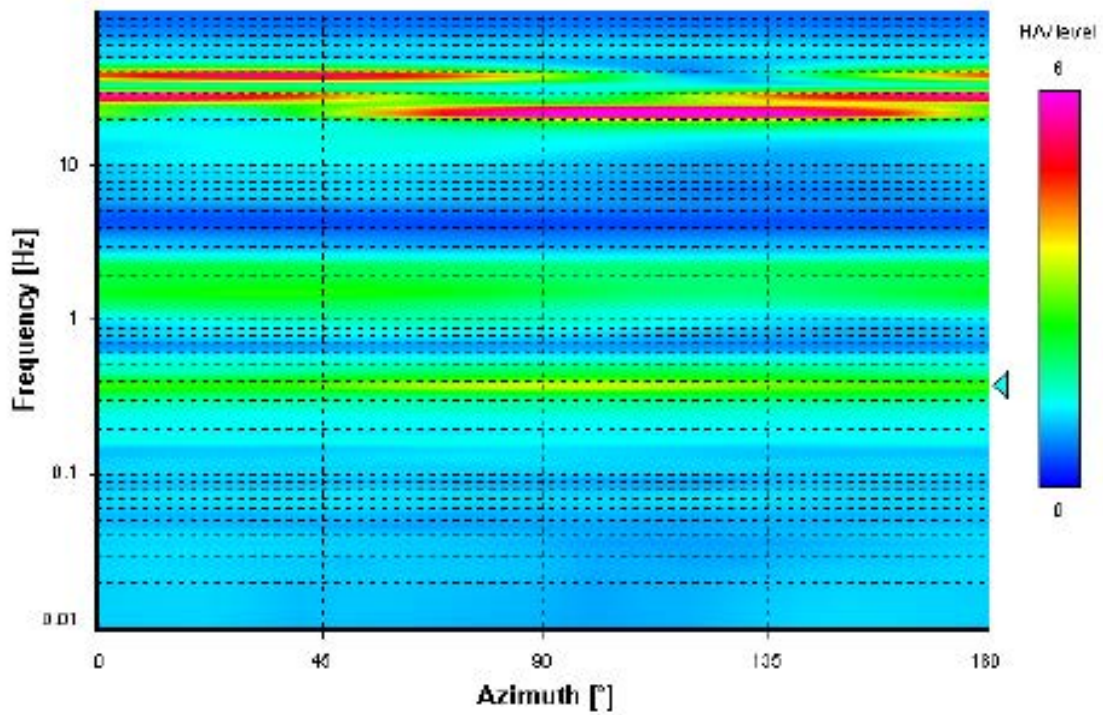




### HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



### HVSR directional analysis



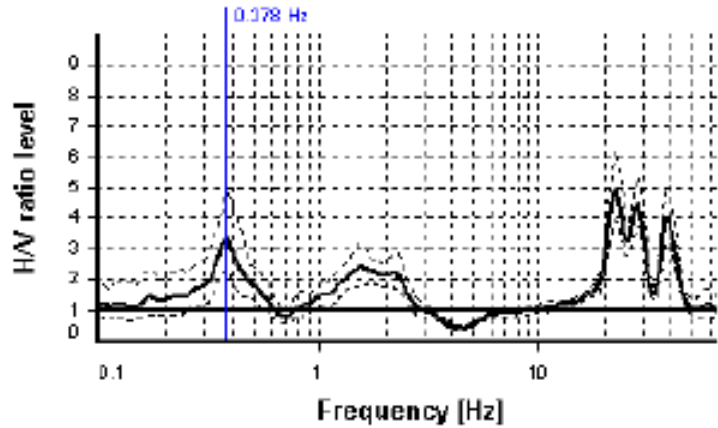
### SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**

**0.378 Hz**

**$A_0$  amplitude = 3.299**

**Average  $f_0 = 0.386 \pm 0.033$**



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	36 valid windows (length > 26.45 s) out of 36	OK
$n_c(f_0) > 200$	408.32 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0/2$	0.26633 Hz	OK
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	0.53177 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.3 > 2	OK
$f_{peak}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	1.83% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.03288 < 0.07561	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.47154 < 2.5	OK
Overall criteria fulfillment		OK

## STATION INFORMATION

*Station code:* Postazione\_1

*Model:* SARA GEOBOX

*Sensor:* SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

*Notes:* -

## PLACE INFORMATION

*Place ID:* Tr03

*Address:* Via Thomas Edison - Le Maggiola

*Latitude:* 43.739486

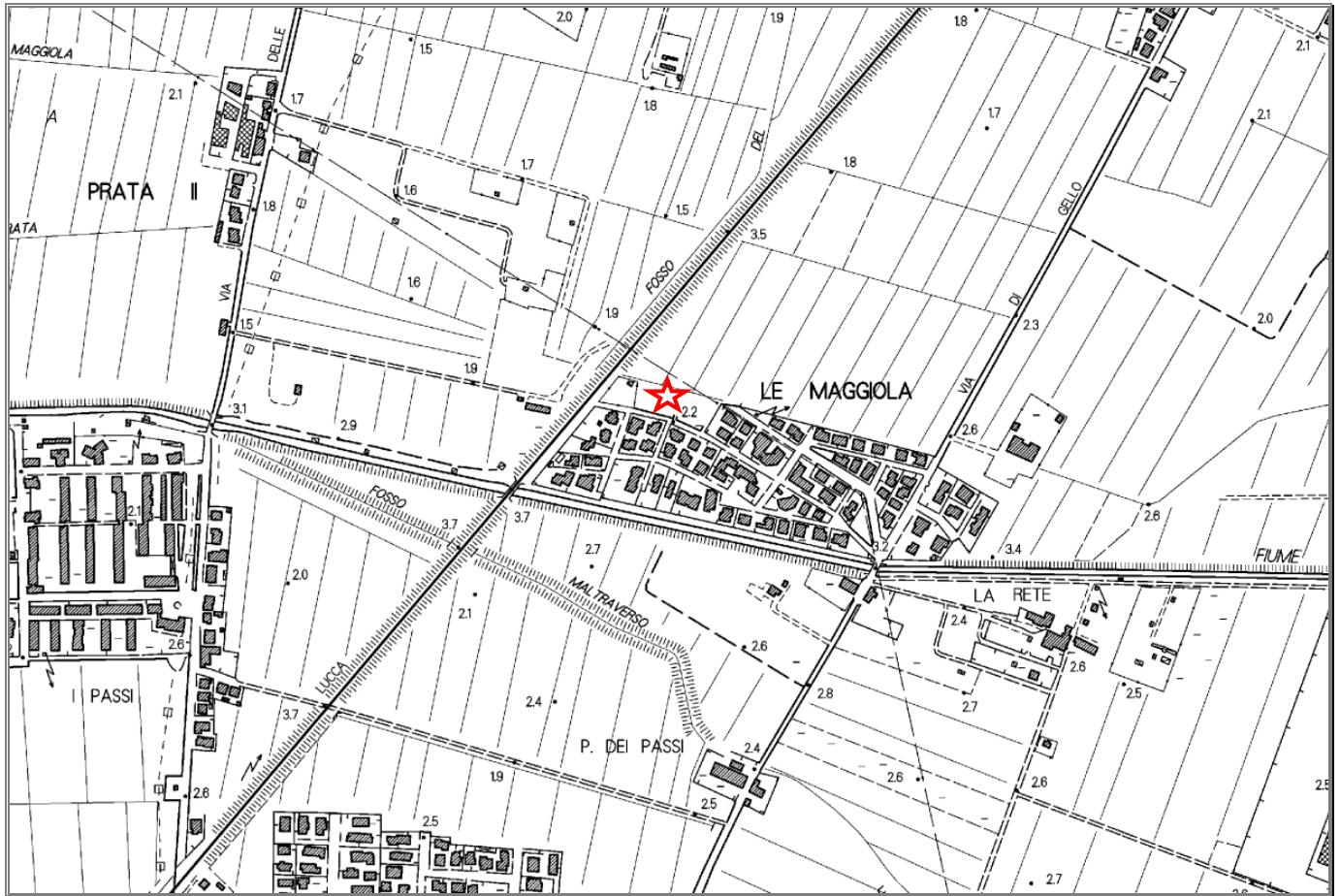
*Longitude:* 10.408512

*Coordinate system:* WGS84

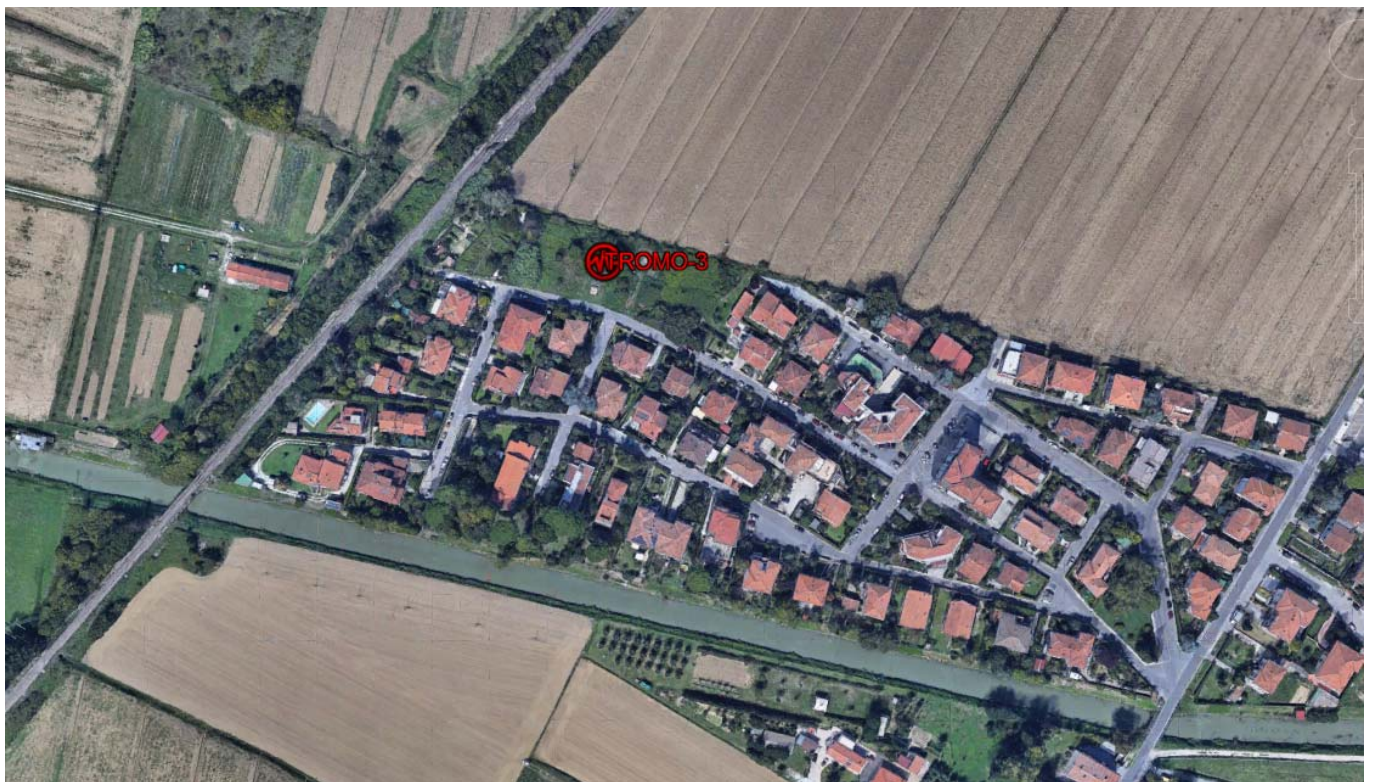
*Elevation:* 2.2 m s.l.m.

*Weather:* Cloudy

*Notes:* -



Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273050



## PHOTOGRAPHIC REFERENCES



### SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

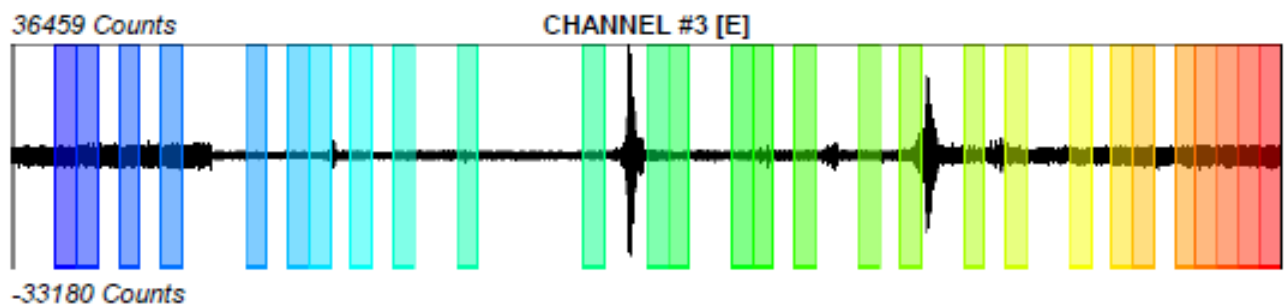
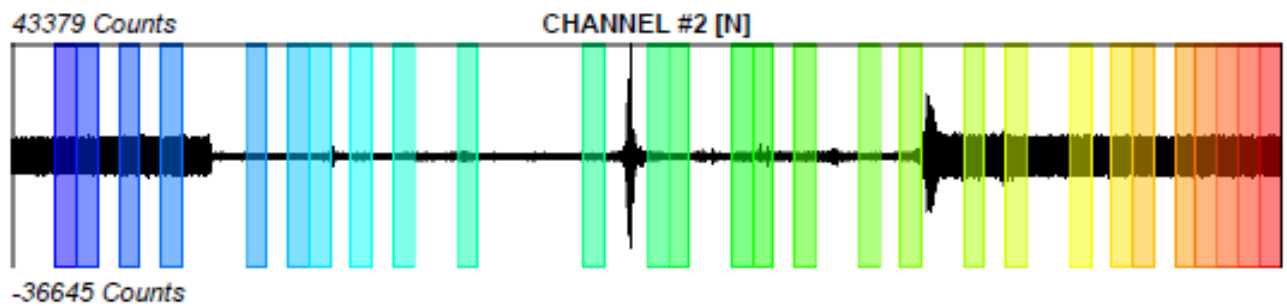
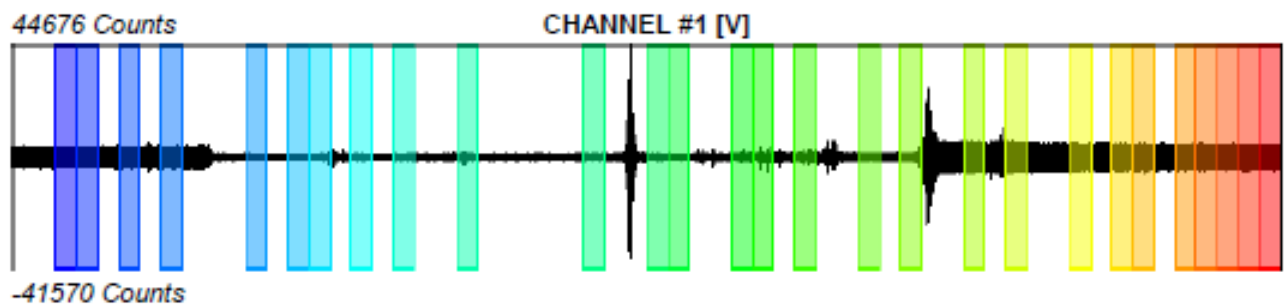
Recording start time: 2018/01/29 16:43:39

Recording length: 30 min

Windows count: 28

Average windows length: 30

Signal coverage: 46.67%



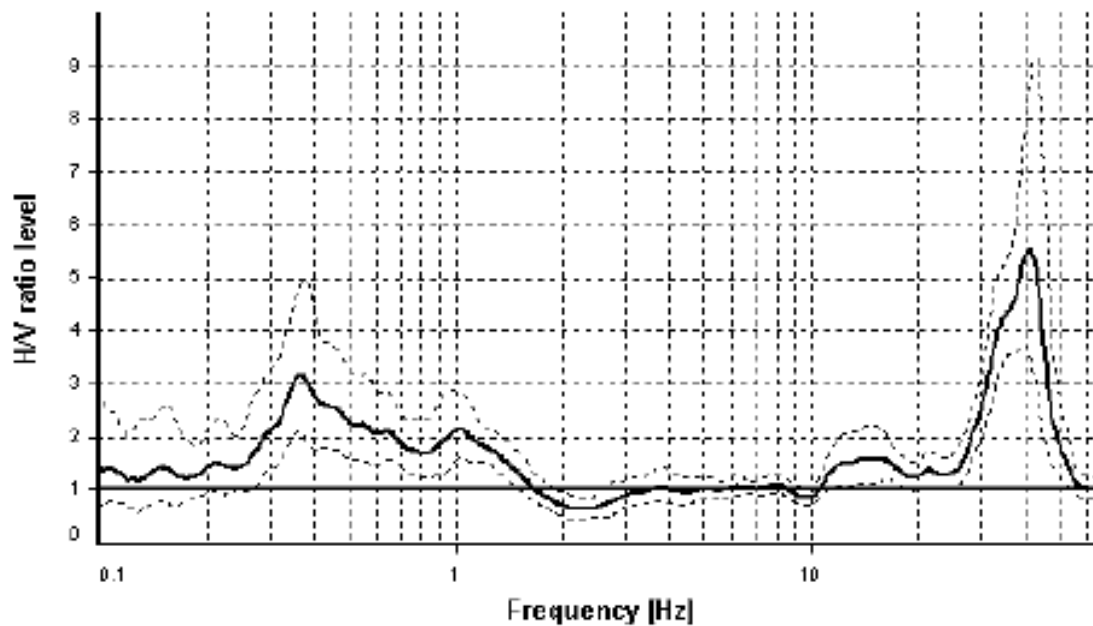
### HVSR ANALYSIS

*Tapering:* Enabled (Bandwidth = 5%)

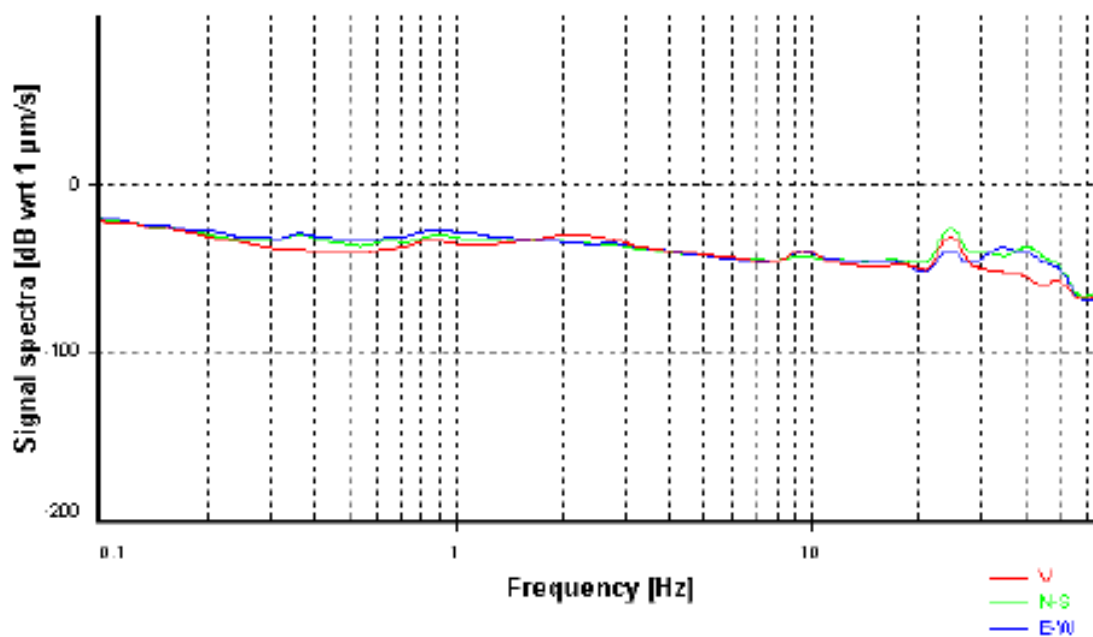
*Smoothing:* Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

*Instrumental correction:* Enabled (Water level = 0.01 Hz)

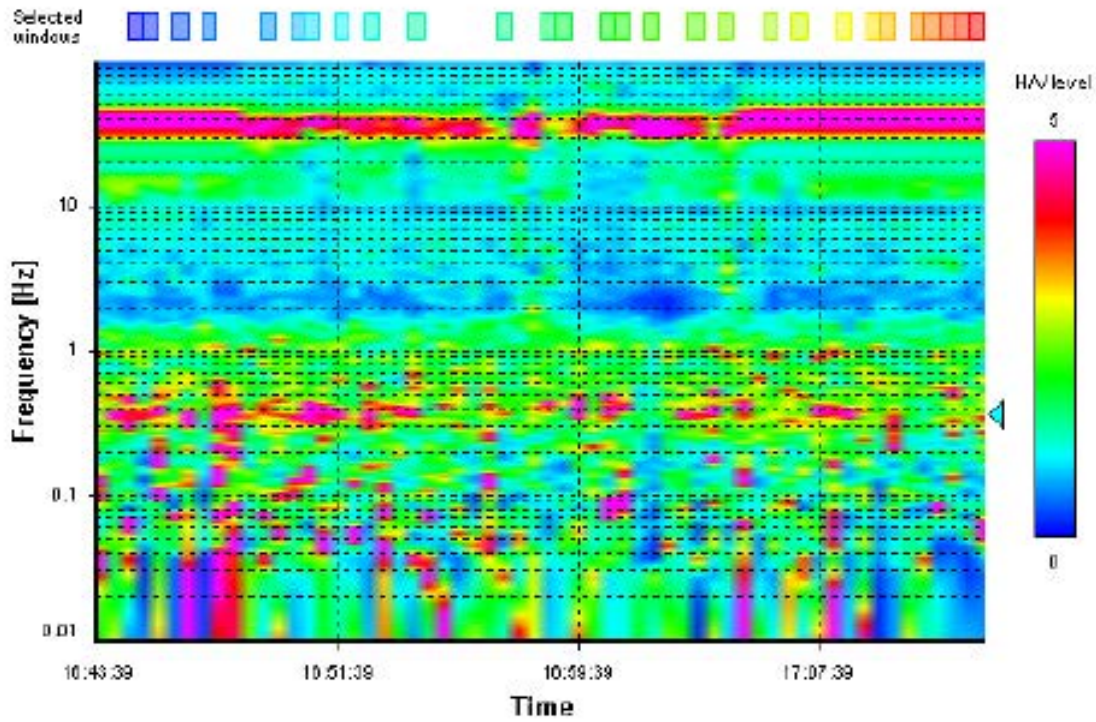
#### HVSR average



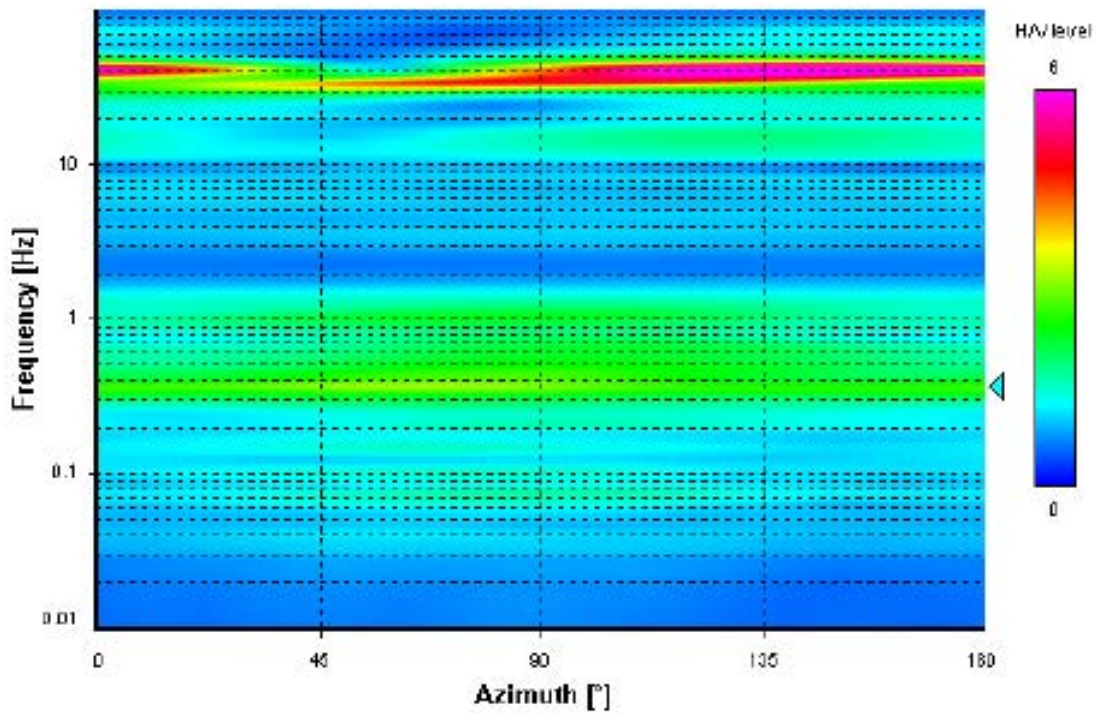
#### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



### HVSR directional analysis

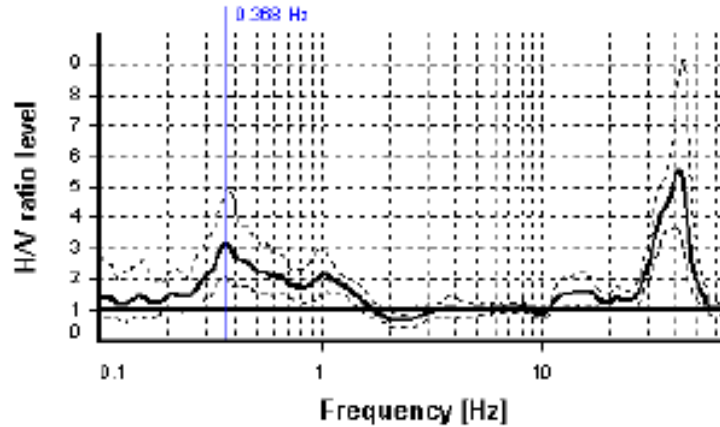




### SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**  
 0.368 Hz

$A_0$  amplitude = 3.162  
 Average  $f_0 = 0.414 \pm 0.067$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	28 valid windows (length > 27.19 s) out of 28	OK
$n_c(f_0) > 200$	308.92 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0/2$	0.26147 Hz	OK
$\exists f^*$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f^*) < A_0/2$	1.36187 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.16 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	2.73% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.06722 < 0.07355	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.55145 < 2.5	OK
Overall criteria fulfillment		OK

## STATION INFORMATION

*Station code:* Postazione\_1

*Model:* SARA GEOBOX

*Sensor:* SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

*Notes:* -

## PLACE INFORMATION

*Place ID:* Tr04

*Address:* Via dei Condotti - Asciano

*Latitude:* 43.736546

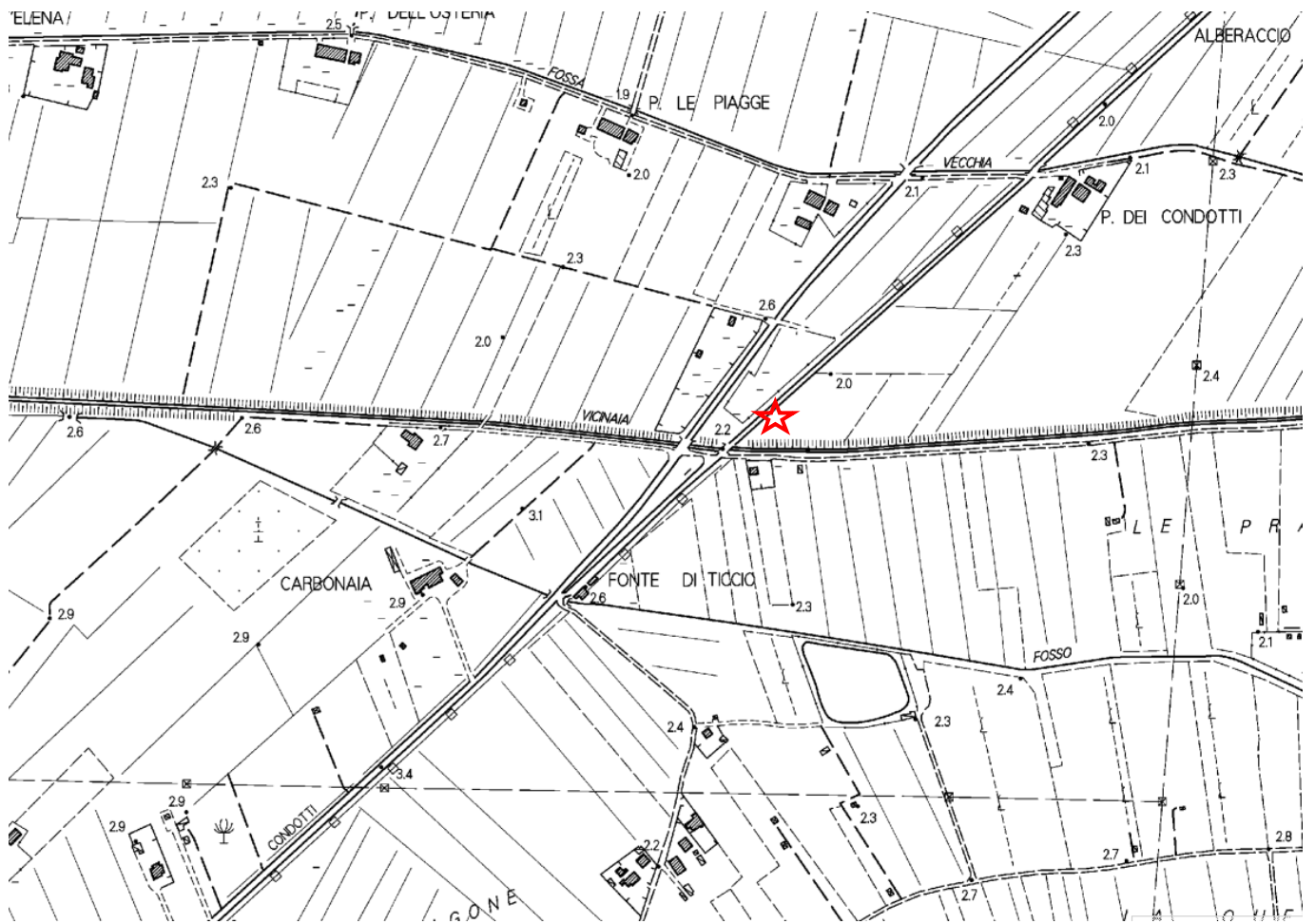
*Longitude:* 10.447473

*Coordinate system:* WGS84

*Elevation:* 2.0 m s.l.m.

*Weather:* Sunny

*Notes:* -



Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273060



## PHOTOGRAPHIC REFERENCES



### SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

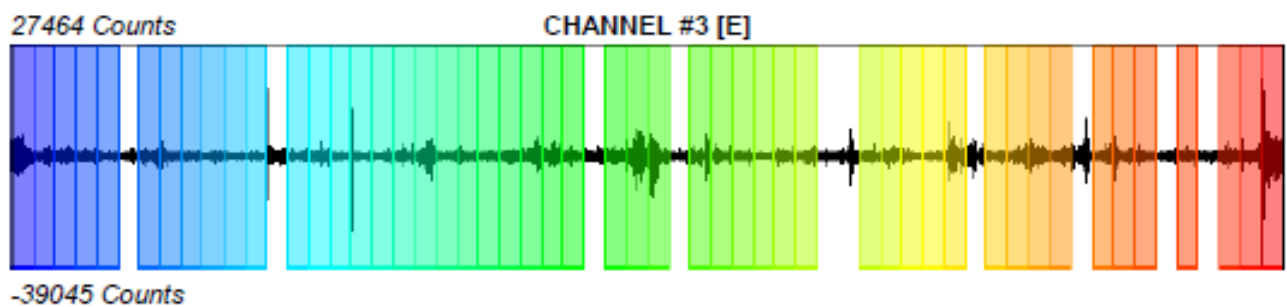
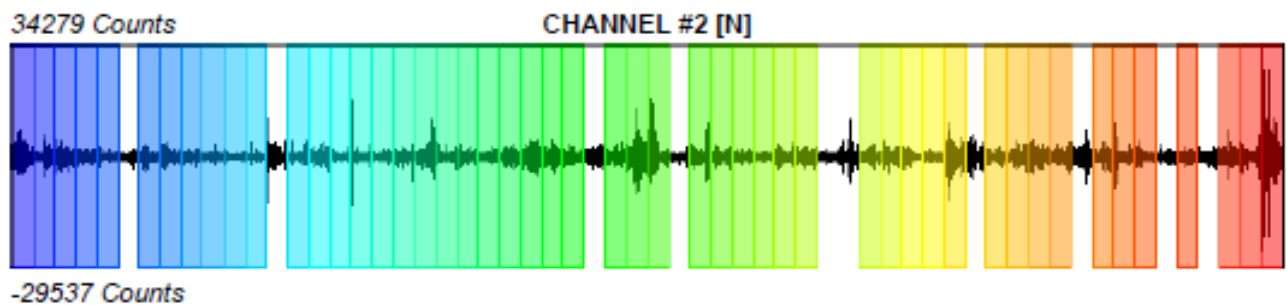
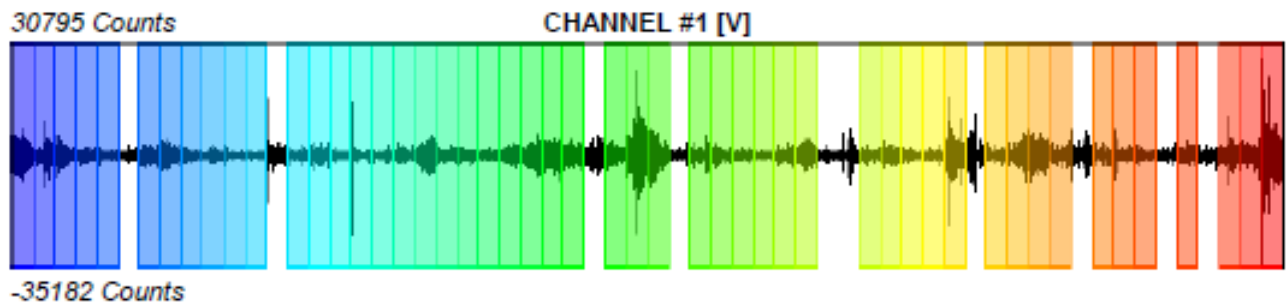
Recording start time: 2018/01/29 11:54:25

Recording length: 30 min

Windows count: 50

Average windows length: 30

Signal coverage: 83.33%



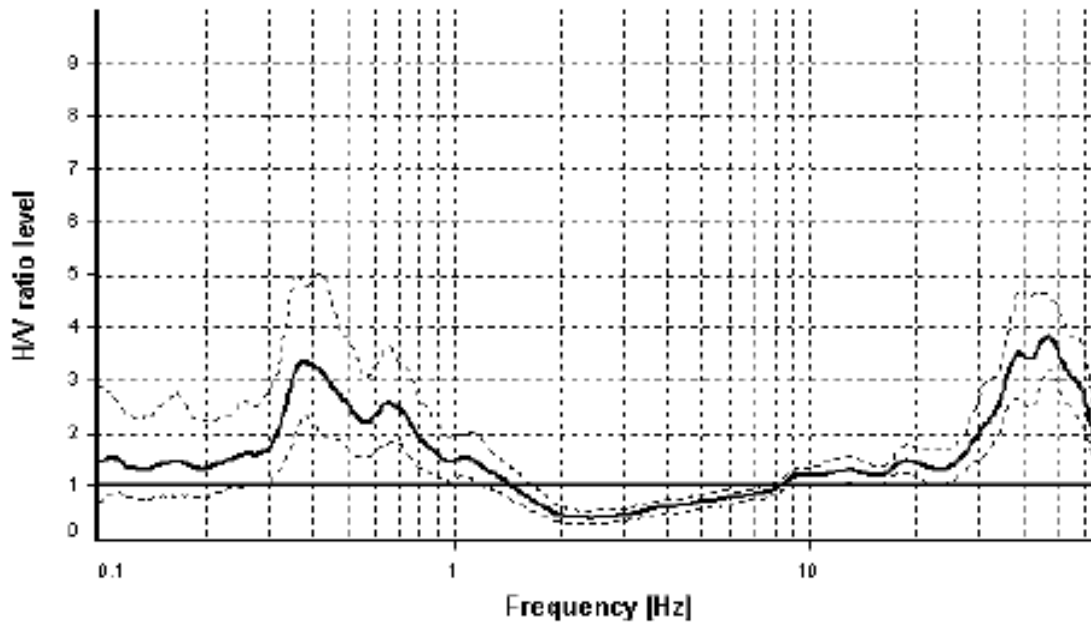
### HVSR ANALYSIS

*Tapering:* Enabled (Bandwidth = 5%)

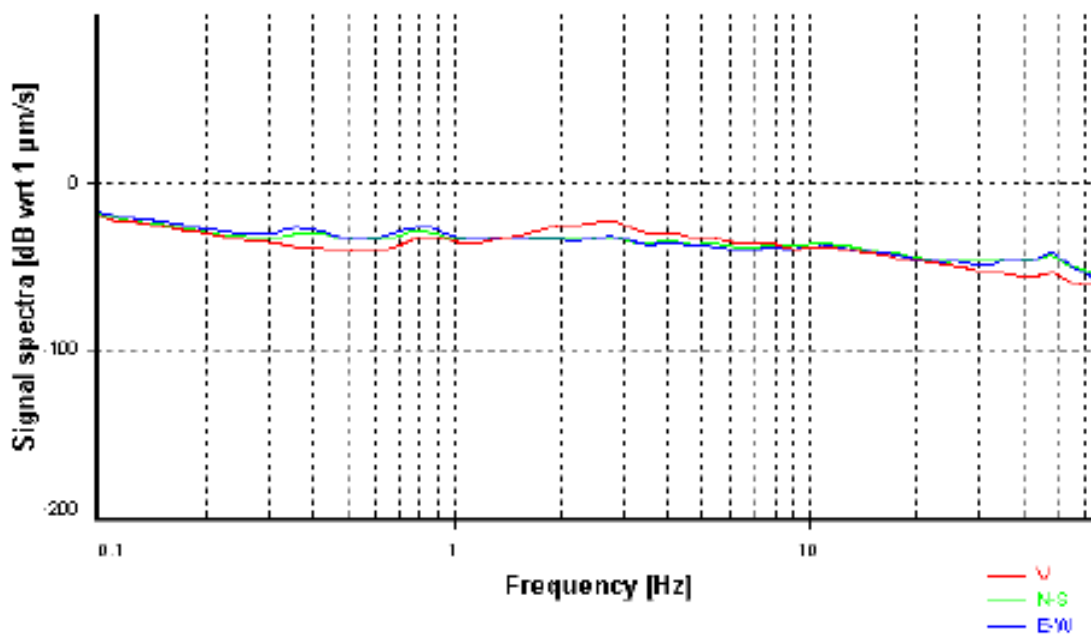
*Smoothing:* Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

*Instrumental correction:* Enabled (Water level = 0.01 Hz)

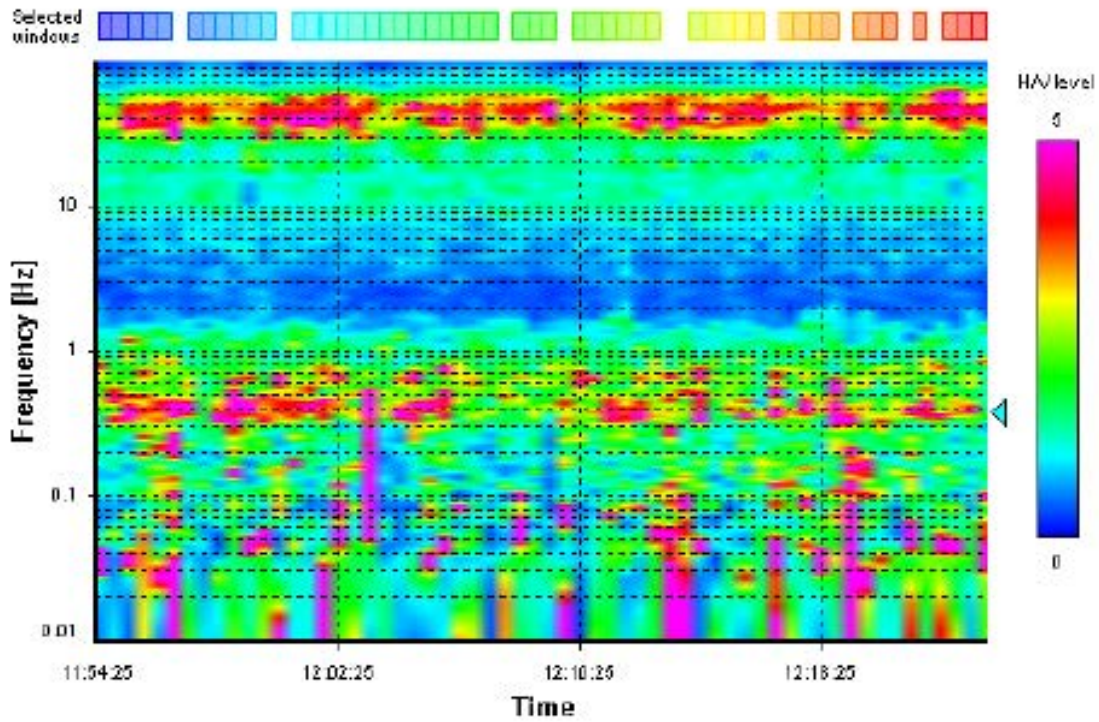
#### HVSR average



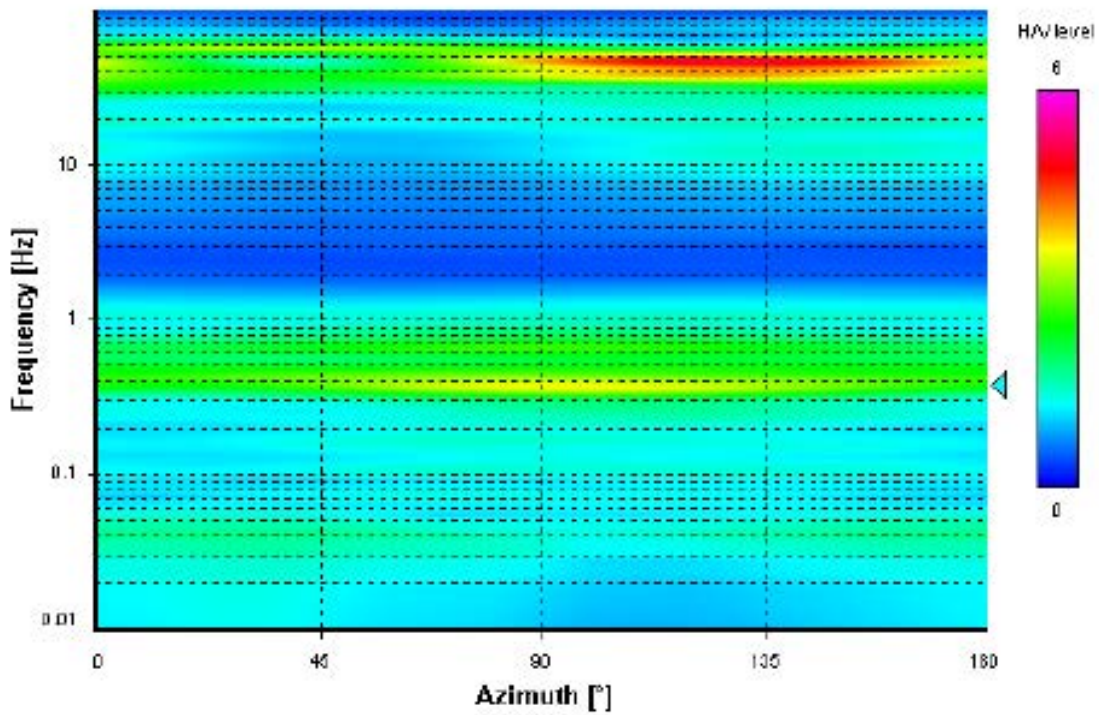
#### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



### HVSR directional analysis

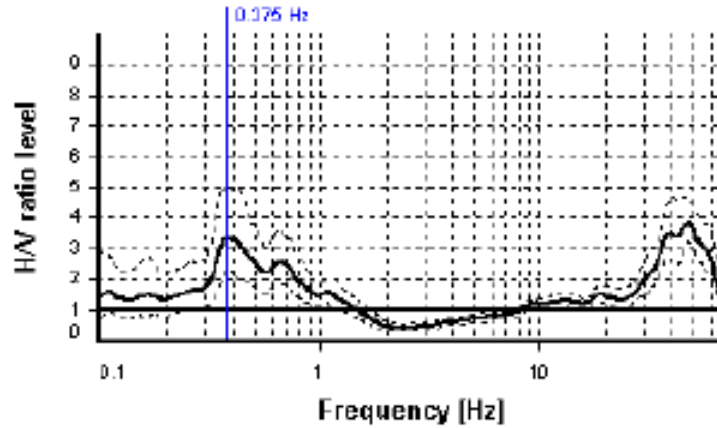


### SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**  
**0.375 Hz**

**$A_0$  amplitude = 3.335**

**Average  $f_0 = 0.397 \pm 0.057$**



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	50 valid windows (length > 26.69 s) out of 50	OK
$n_c(f_0) > 200$	561.91 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0/2$	0.29206 Hz	OK
$\exists f^*$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f^*) < A_0/2$	0.88297 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.33 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	4.51% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.05743 < 0.07492	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.44767 < 2.5	OK
Overall criteria fulfillment		OK



**STATION INFORMATION**

*Station code:* Postazione\_1

*Model:* SARA GEOBOX

*Sensor:* SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

*Notes:* -

**PLACE INFORMATION**

*Place ID:* Tr05

*Address:* S.P. del Lungomonte Pisano - Agnano

*Latitude:* 43.733184

*Longitude:* 10.478981

*Coordinate system:* WGS84

*Elevation:* 6.3 m s.l.m.

*Weather:* Cloudy

*Notes:* -



## PHOTOGRAPHIC REFERENCES



## SIGNAL AND WINDOWING

*Sampling frequency:* 300 Hz

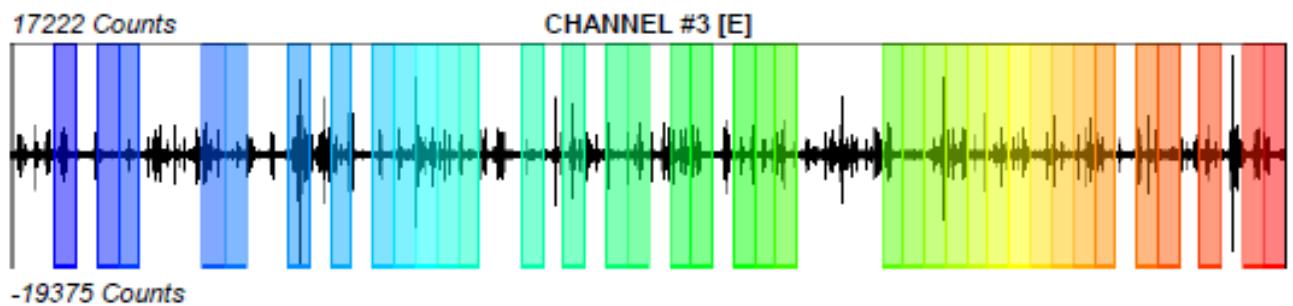
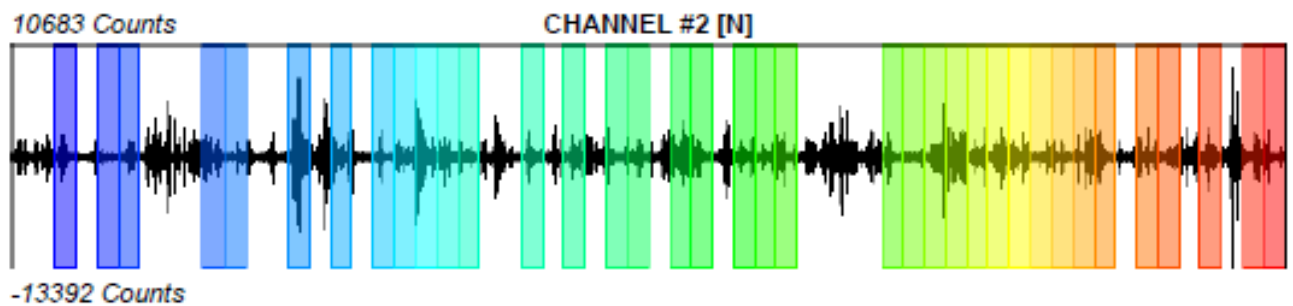
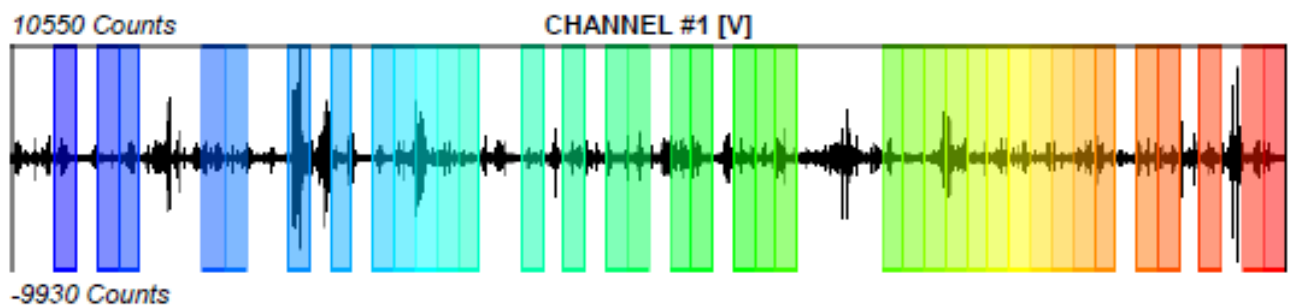
*Recording start time:* 2018/01/29 10:00:07

*Recording length:* 30 min

*Windows count:* 37

*Average windows length:* 30

*Signal coverage:* 61.67%



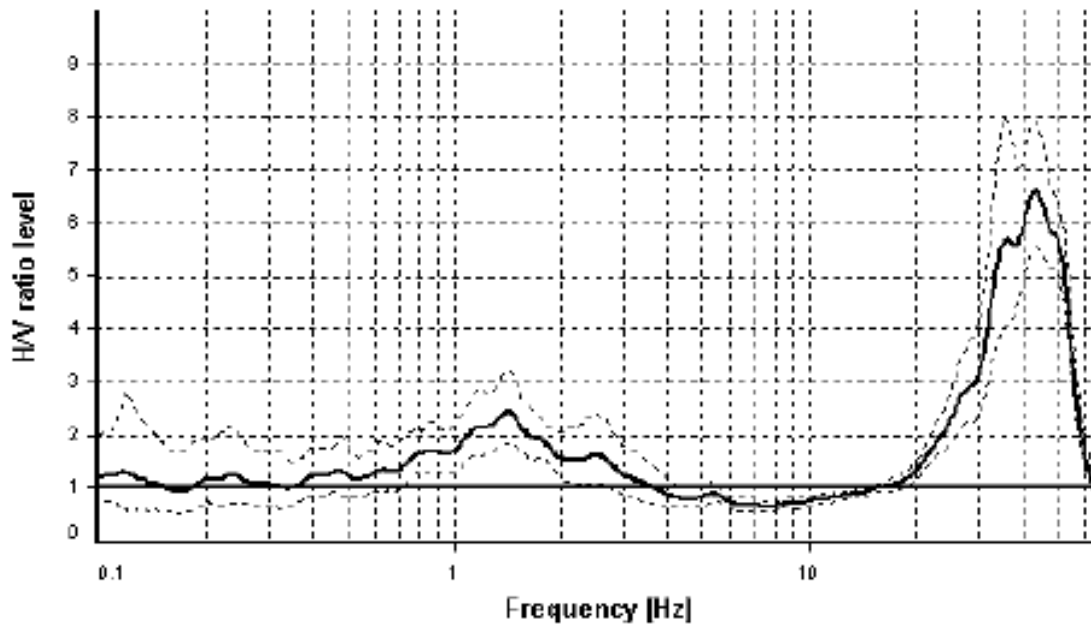
### HVSR ANALYSIS

*Tapering:* Enabled (Bandwidth = 5%)

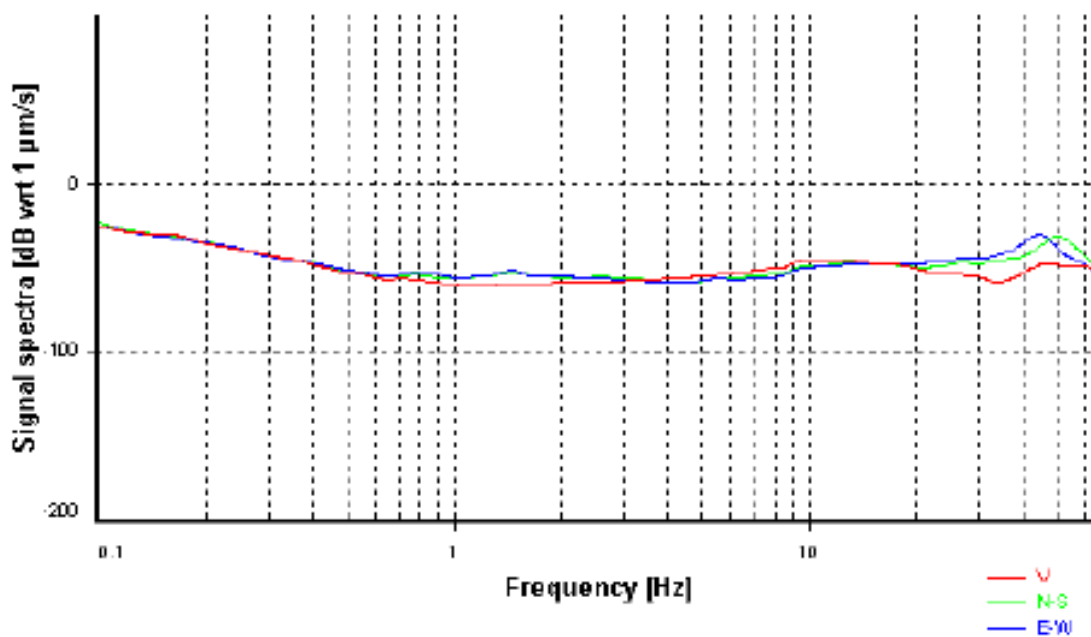
*Smoothing:* Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

*Instrumental correction:* Enabled (Water level = 0.01 Hz)

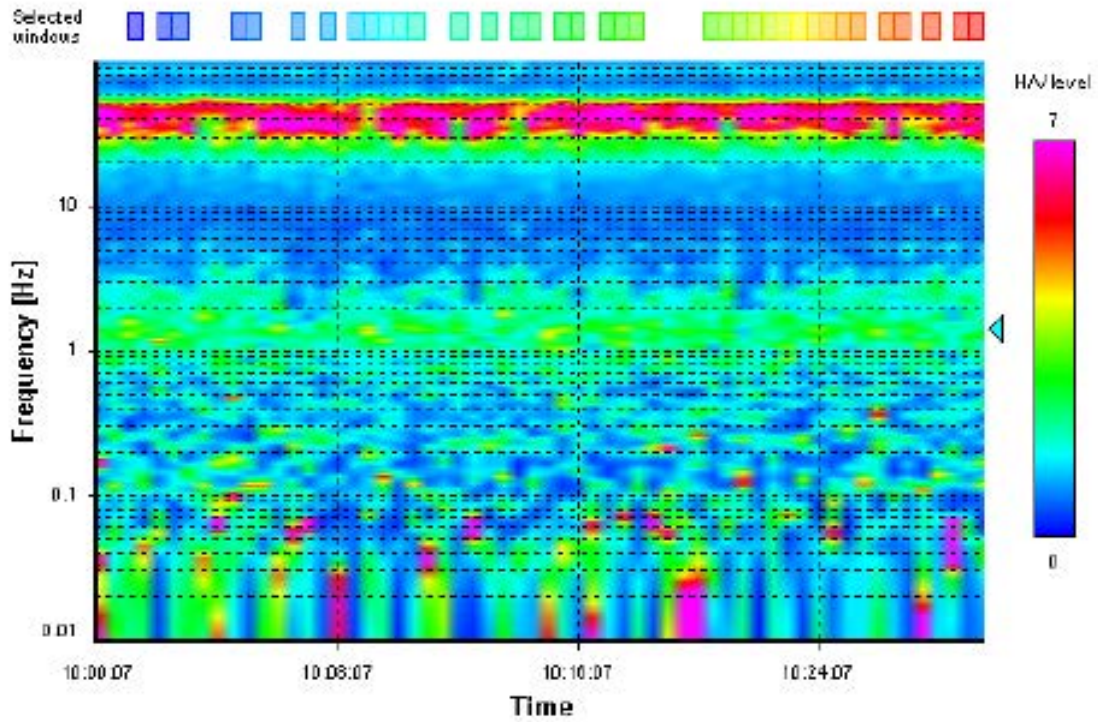
#### HVSR average



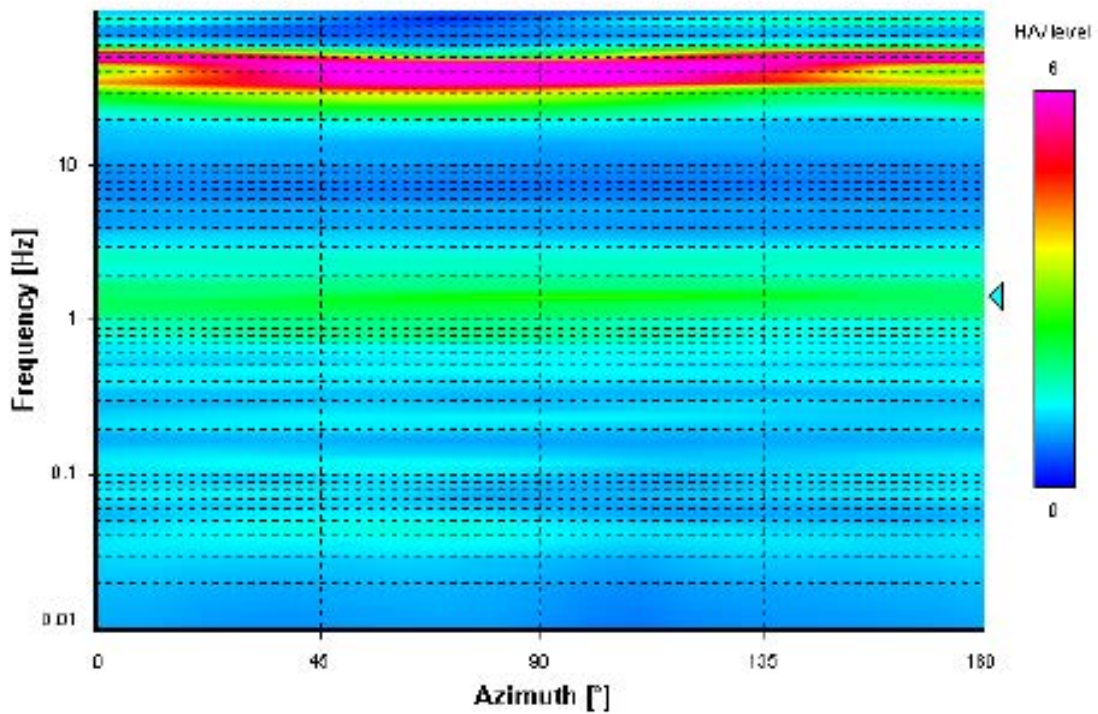
#### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



### HVSR directional analysis



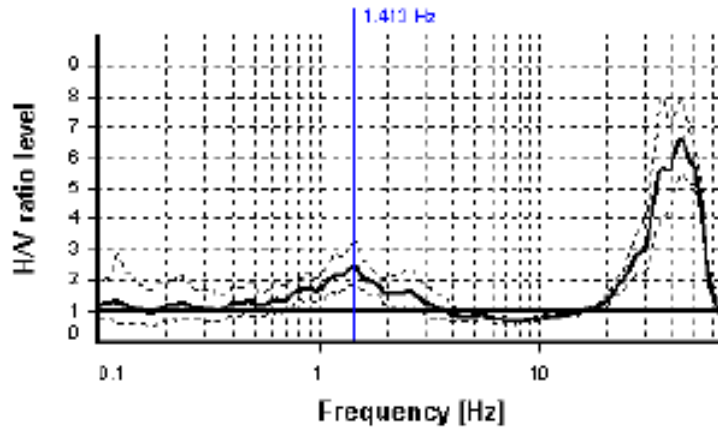
### SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**

1.413 Hz

$A_0$  amplitude = 2.439

Average  $f_0 = 1.387 \pm 0.219$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	37 valid windows (length > 7.08 s) out of 37	OK
$n_c(f_0) > 200$	1568.46 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0/2$	0.56722 Hz	OK
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	3.0654 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.44 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	1.83% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.21919 >= 0.1413	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.32434 < 1.78	OK
Overall criteria fulfillment		OK

## STATION INFORMATION

*Station code:* Postazione\_1

*Model:* SARA GEOBOX

*Sensor:* SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

*Notes:* -

## PLACE INFORMATION

*Place ID:* Tr06

*Address:* S.P. del Lungomonte Pisano - Asciano

*Latitude:* 43.746756

*Longitude:* 10.464959

*Coordinate system:* WGS84

*Elevation:* 4.3 m s.l.m.

*Weather:* Sunny - Little Cloudy

*Notes:* -





## PHOTOGRAPHIC REFERENCES



### SIGNAL AND WINDOWING

*Sampling frequency:* 300 Hz

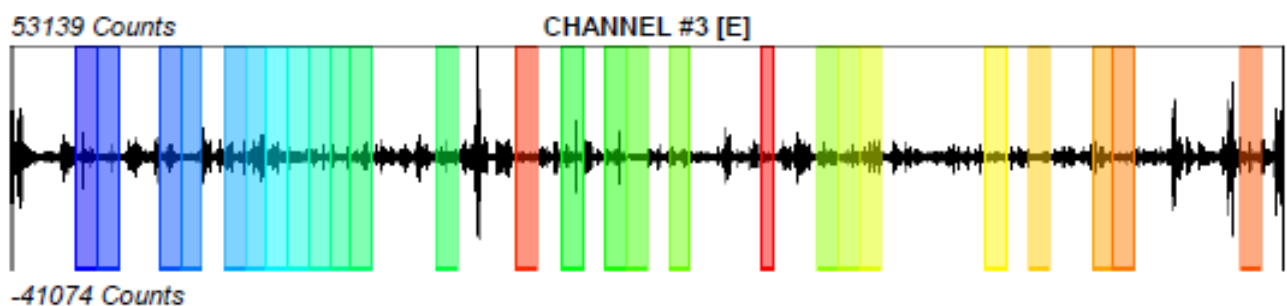
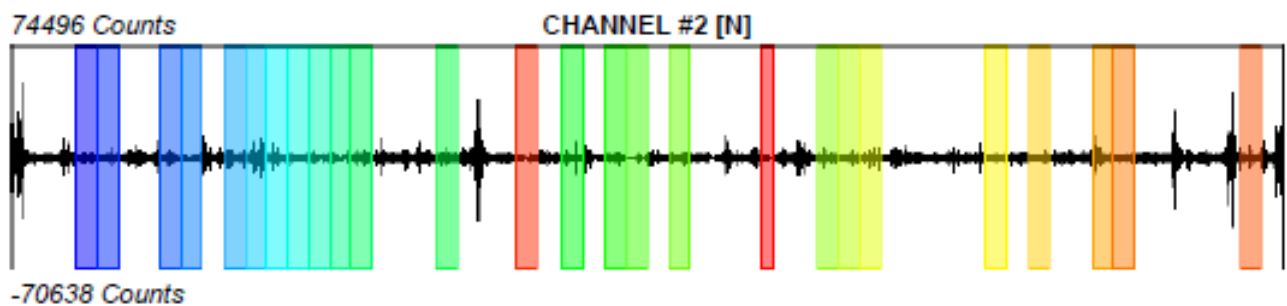
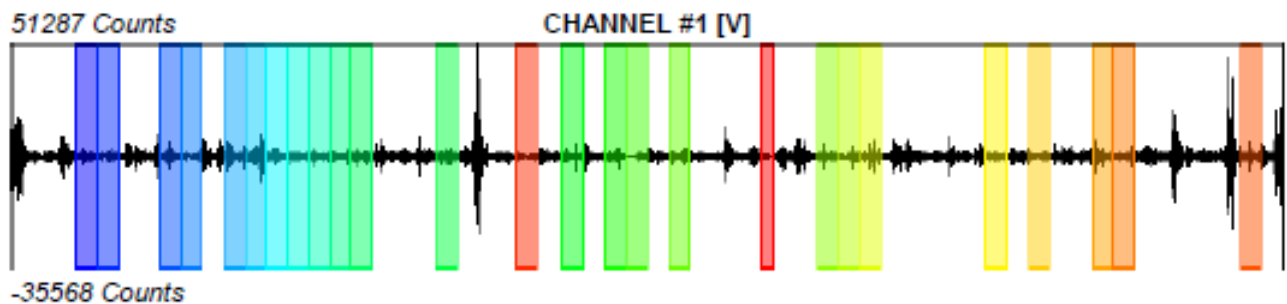
*Recording start time:* 2018/01/29 10:49:43

*Recording length:* 30 min

*Windows count:* 26

*Average windows length:* 29.45

*Signal coverage:* 42.54%



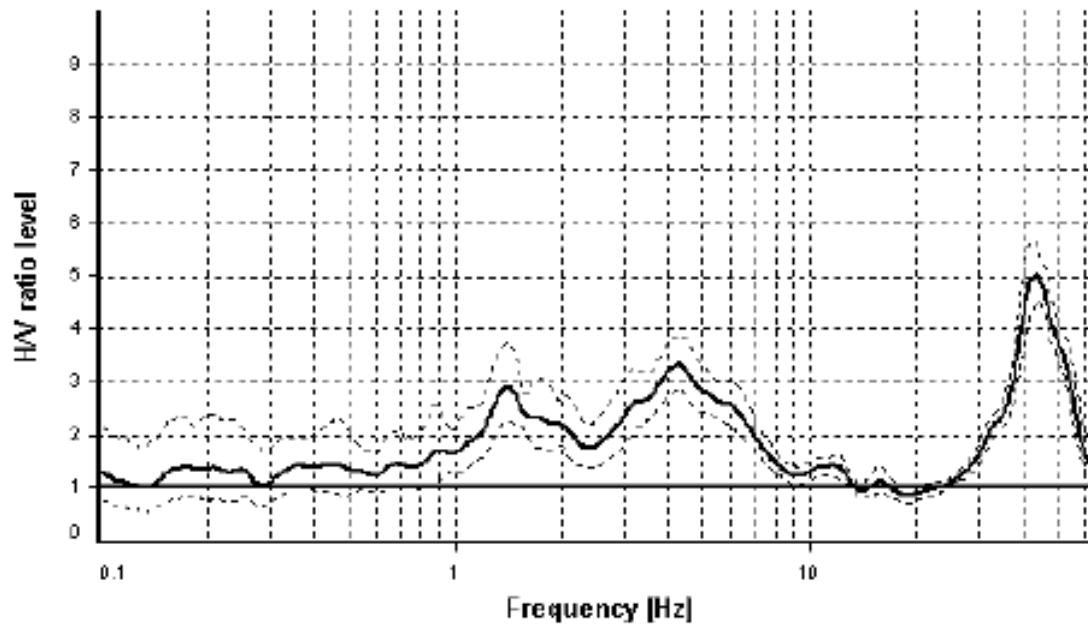
### HVSR ANALYSIS

*Tapering:* Enabled (Bandwidth = 5%)

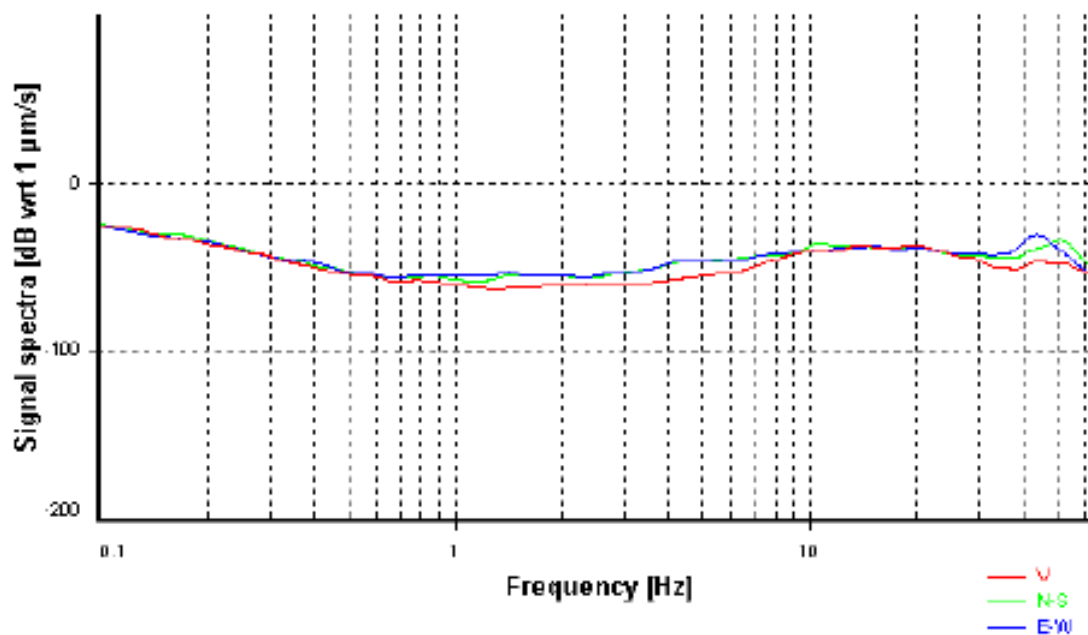
*Smoothing:* Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

*Instrumental correction:* Enabled (Water level = 0.01 Hz)

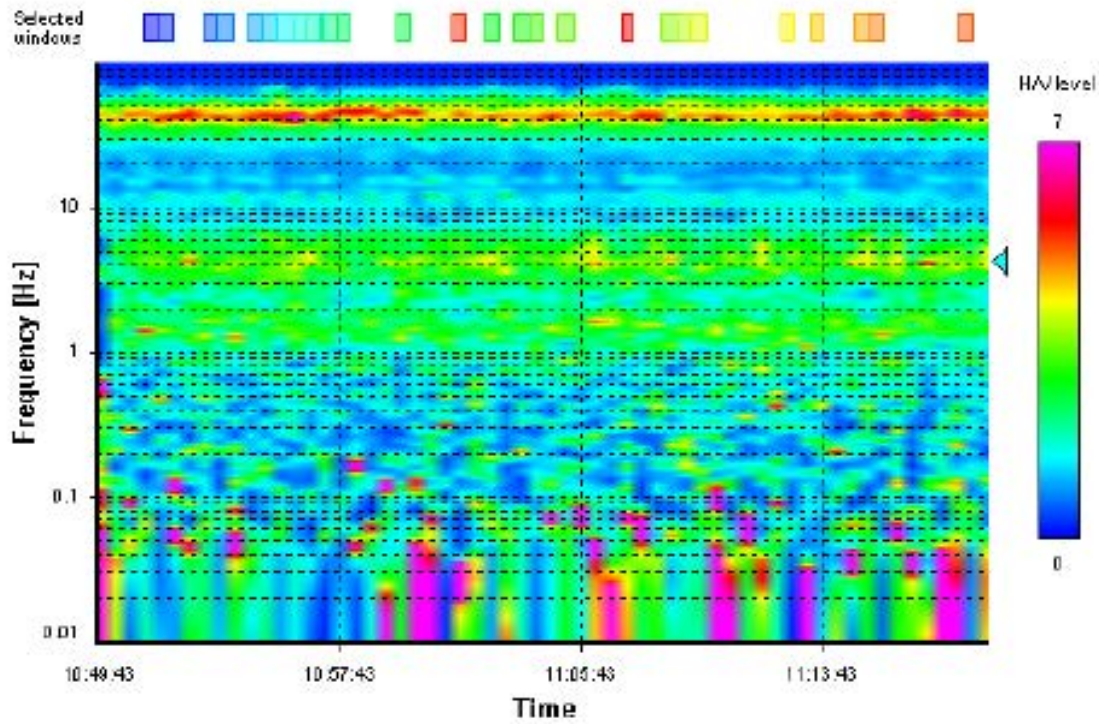
#### HVSR average



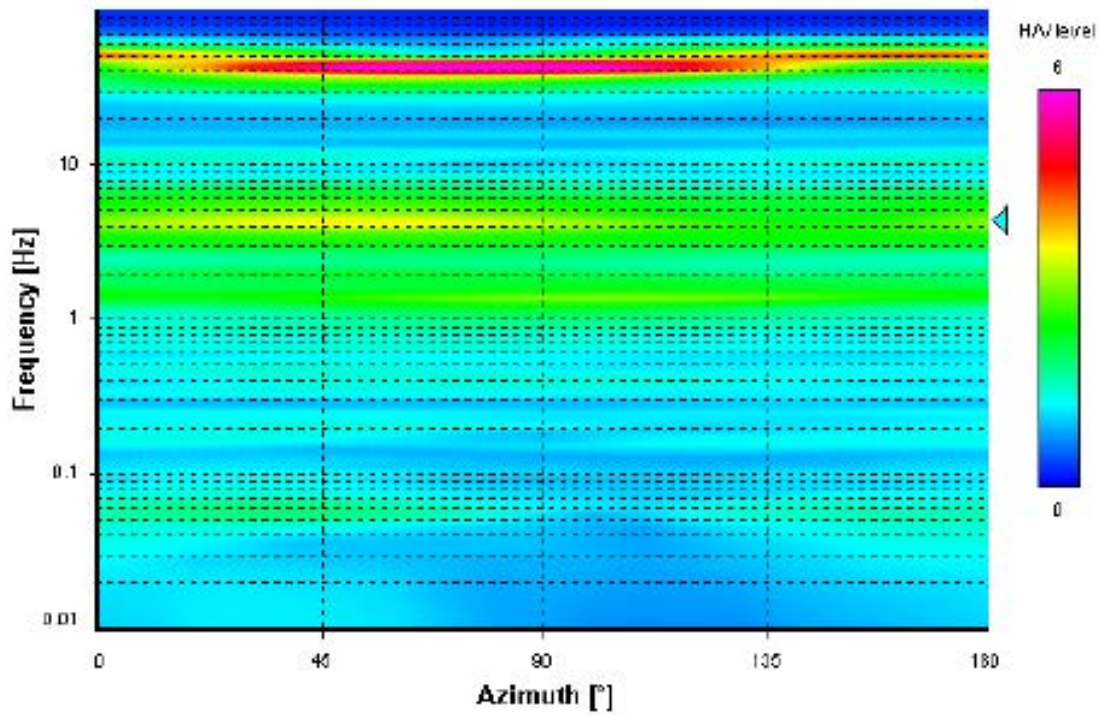
#### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



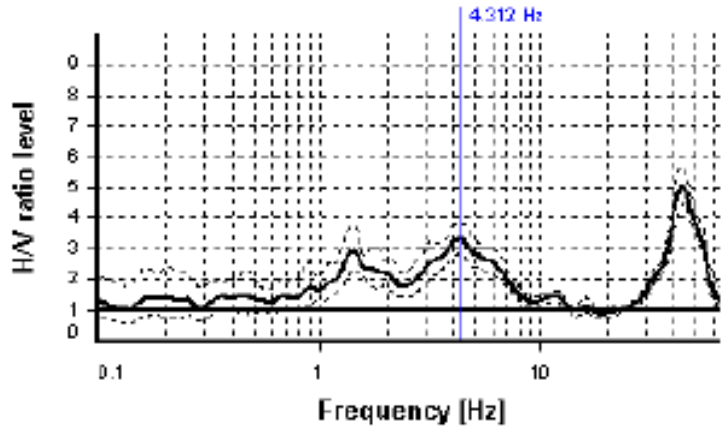
### HVSR directional analysis



### SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**  
**4.312 Hz**

**$A_0$  amplitude = 3.326**  
**Average  $f_0 = 4.333 \pm 0.691$**



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	26 valid windows (length > 2.32 s) out of 26	OK
$n_c(f_0) > 200$	3301.26 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	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 $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	7.6363 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.33 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	3.62% <= 5%	OK
$\sigma_r < \varepsilon(f_0)$	0.69056 >= 0.21558	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.15856 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		NO

## STATION INFORMATION

*Station code:* Postazione\_1

*Model:* SARA GEOBOX

*Sensor:* SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

*Notes:* -

## PLACE INFORMATION

*Place ID:* Tr07

*Address:* Via di Palazzetto - S. Giuliano

*Latitude:* 43.750943

*Longitude:* 10.440110

*Coordinate system:* WGS84

*Elevation:* 2.0 m s.l.m.

*Weather:* Sunny - Little Cloudy

*Notes:* -



Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273020





## PHOTOGRAPHIC REFERENCES



## SIGNAL AND WINDOWING

*Sampling frequency:* 300 Hz

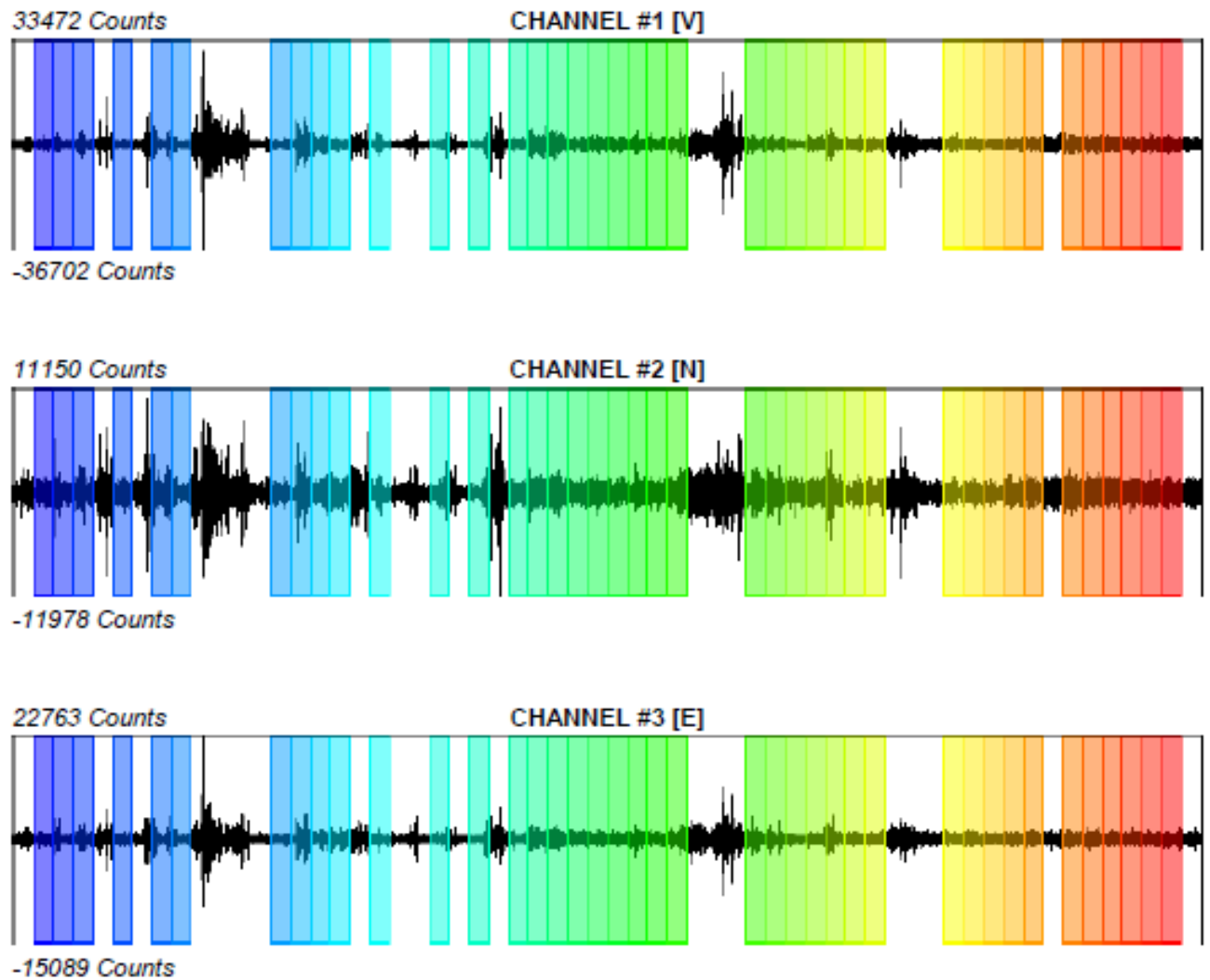
*Recording start time:* 2018/01/29 15:36:35

*Recording length:* 30 min

*Windows count:* 40

*Average windows length:* 30

*Signal coverage:* 66.67%



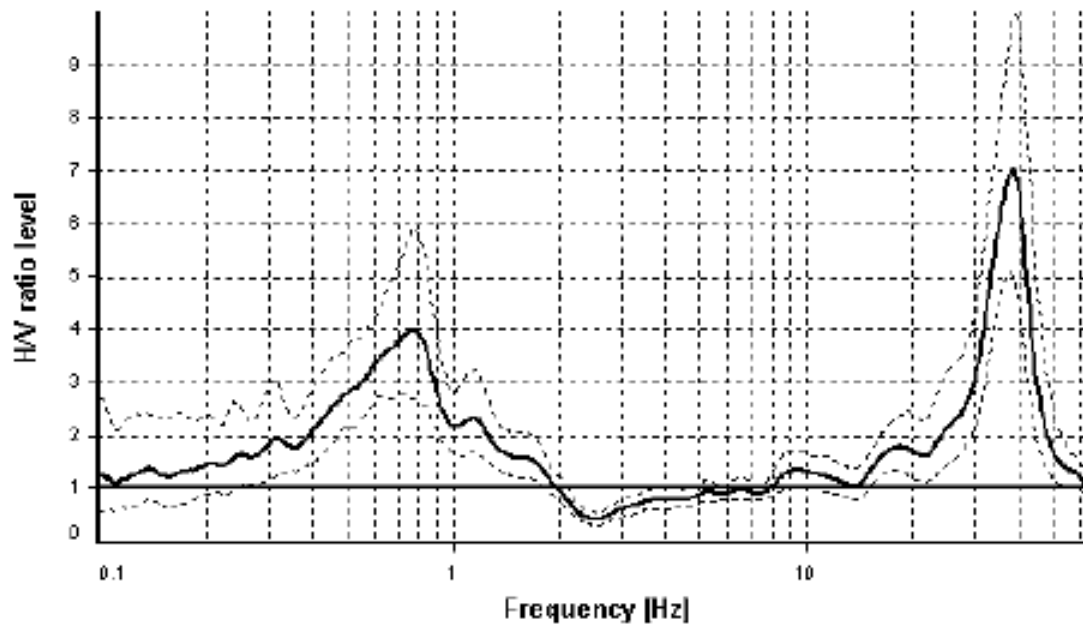
### HVSR ANALYSIS

*Tapering:* Enabled (Bandwidth = 5%)

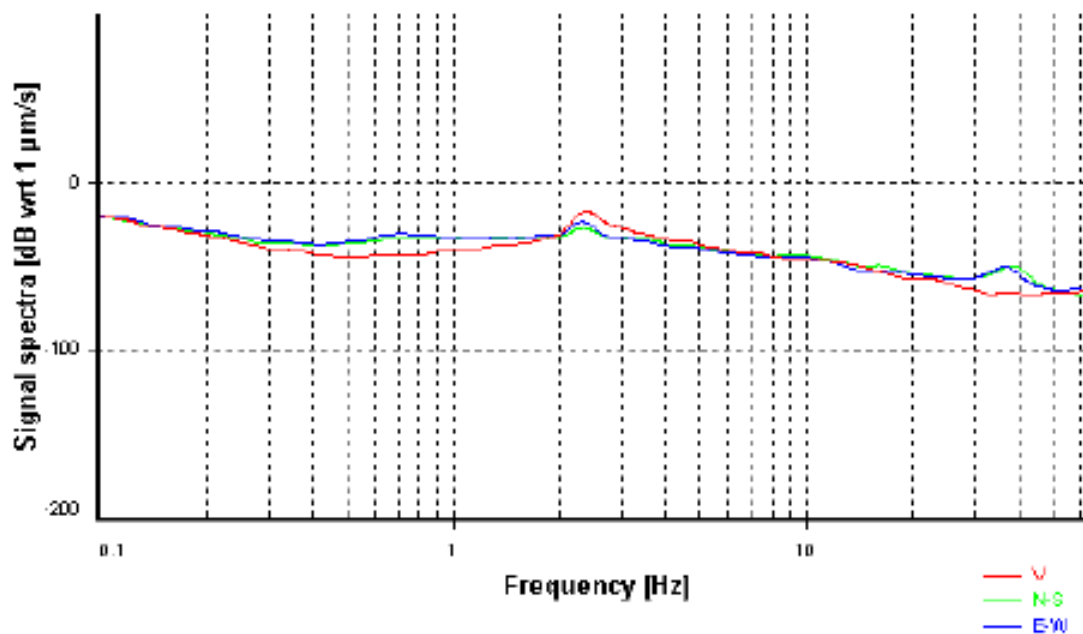
*Smoothing:* Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

*Instrumental correction:* Enabled (Water level = 0.01 Hz)

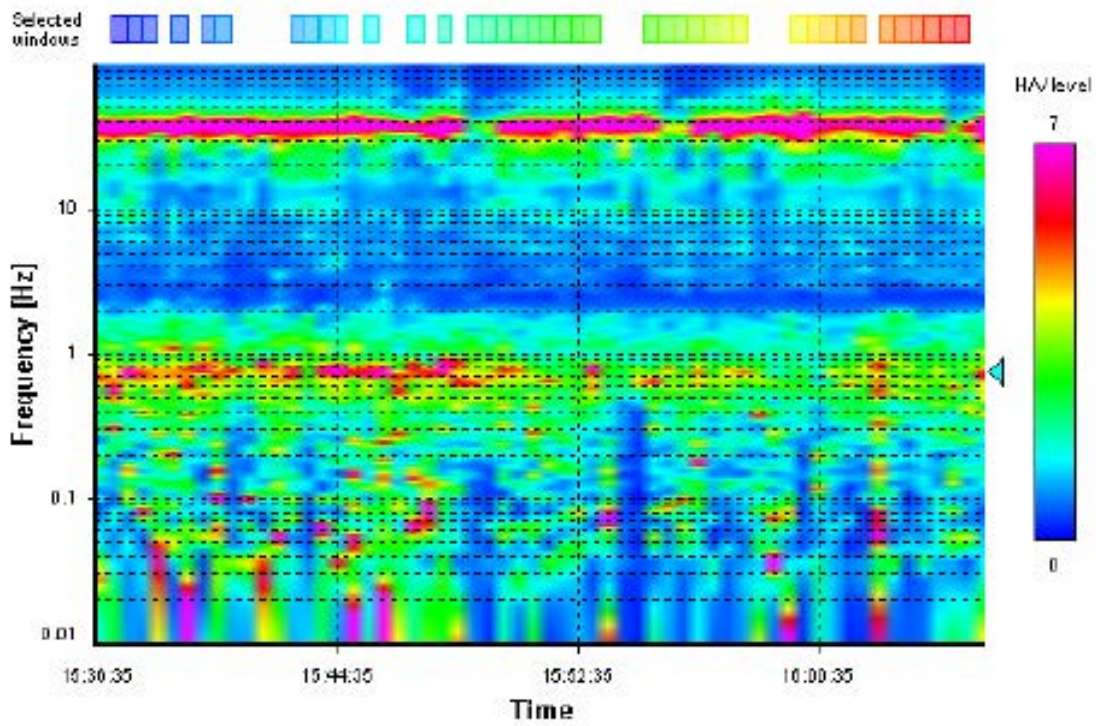
#### HVSR average



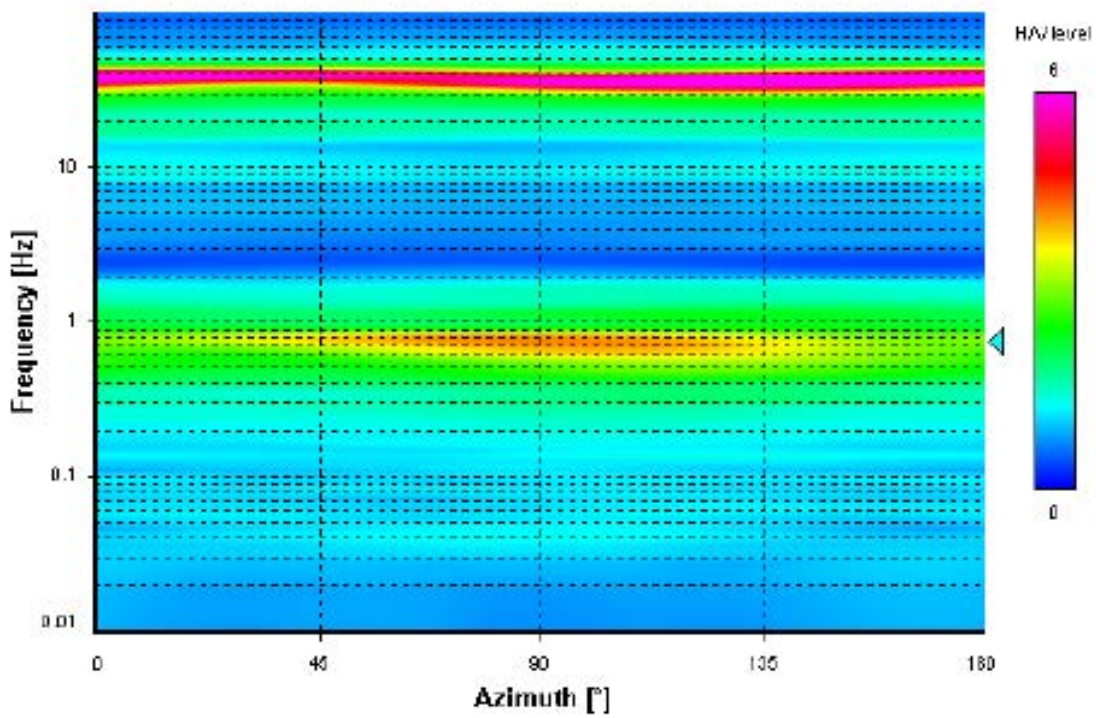
#### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



### HVSR directional analysis



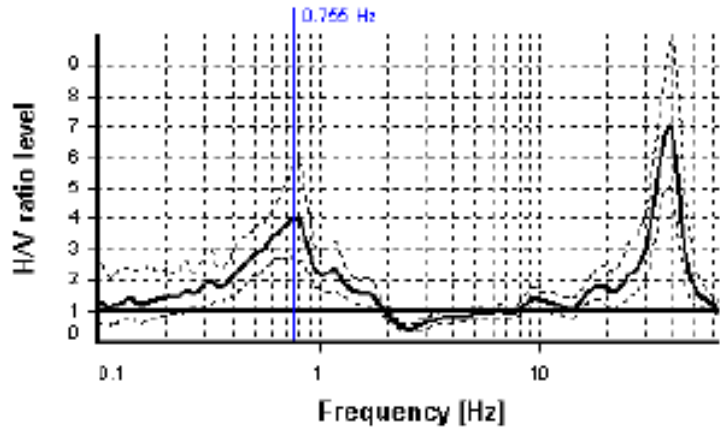
### SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**

**0.755 Hz**

**$A_0$  amplitude = 3.977**

**Average  $f_0 = 0.734 \pm 0.122$**



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	40 valid windows (length > 13.25 s) out of 40	OK
$n_c(f_0) > 200$	905.86 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0/2$	0.38511 Hz	OK
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	1.26503 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.98 > 2	OK
$f_{peak}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	4.51% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.12225 >= 0.11323	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.45688 < 2	OK
Overall criteria fulfillment		OK

## STATION INFORMATION

*Station code:* Postazione\_1

*Model:* SARA GEOBOX

*Sensor:* SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

*Notes:* -

## PLACE INFORMATION

*Place ID:* Tr08

*Address:* Via Turati - Ponte d'Oro

*Latitude:* 43.756514

*Longitude:* 10.360525

*Coordinate system:* WGS84

*Elevation:* 2.2 m s.l.m.

*Weather:* Sunny - Cloudy

*Notes:* -



Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273010



## PHOTOGRAPHIC REFERENCES





## SIGNAL AND WINDOWING

*Sampling frequency:* 300 Hz

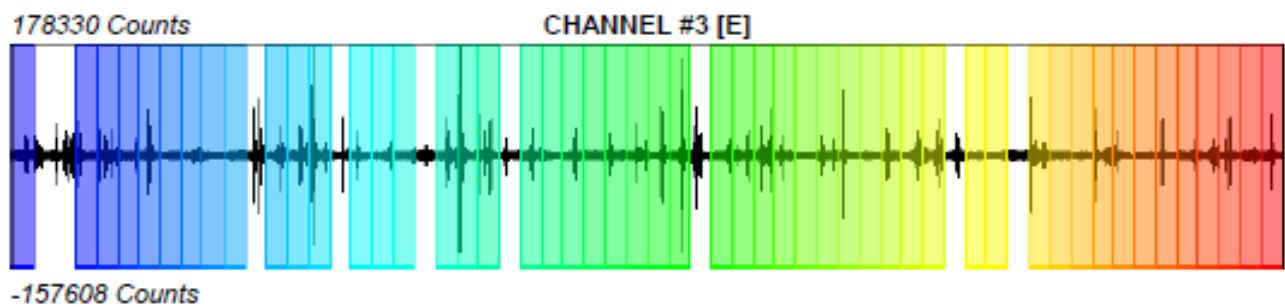
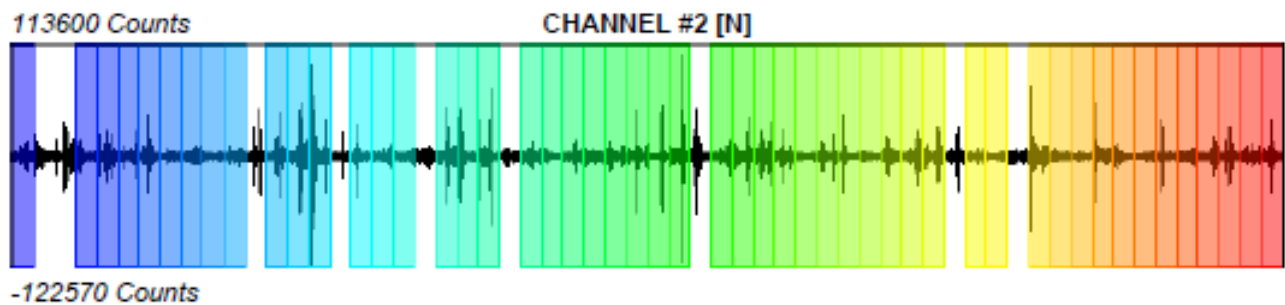
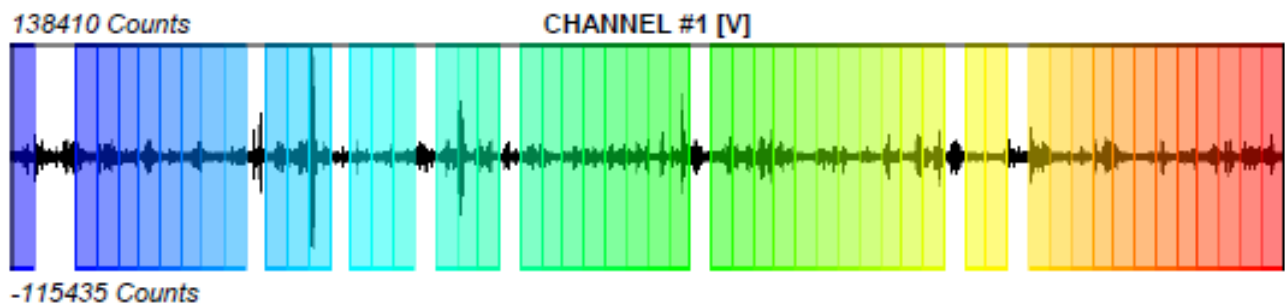
*Recording start time:* 2018/01/30 11:04:44

*Recording length:* 30 min

*Windows count:* 51

*Average windows length:* 30

*Signal coverage:* 85%



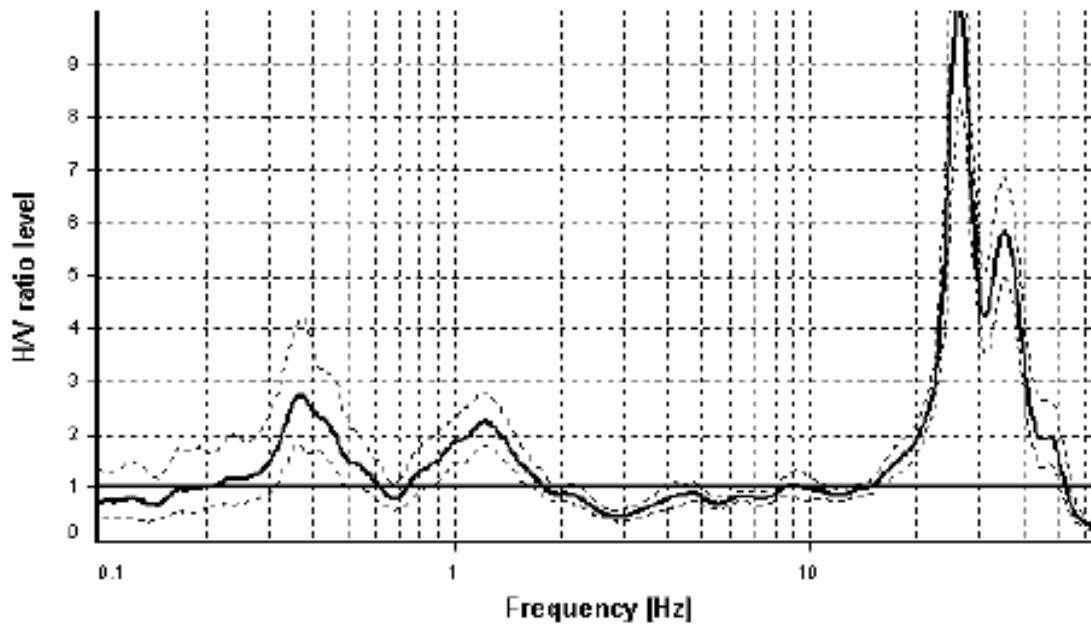
### HVSR ANALYSIS

*Tapering:* Enabled (Bandwidth = 5%)

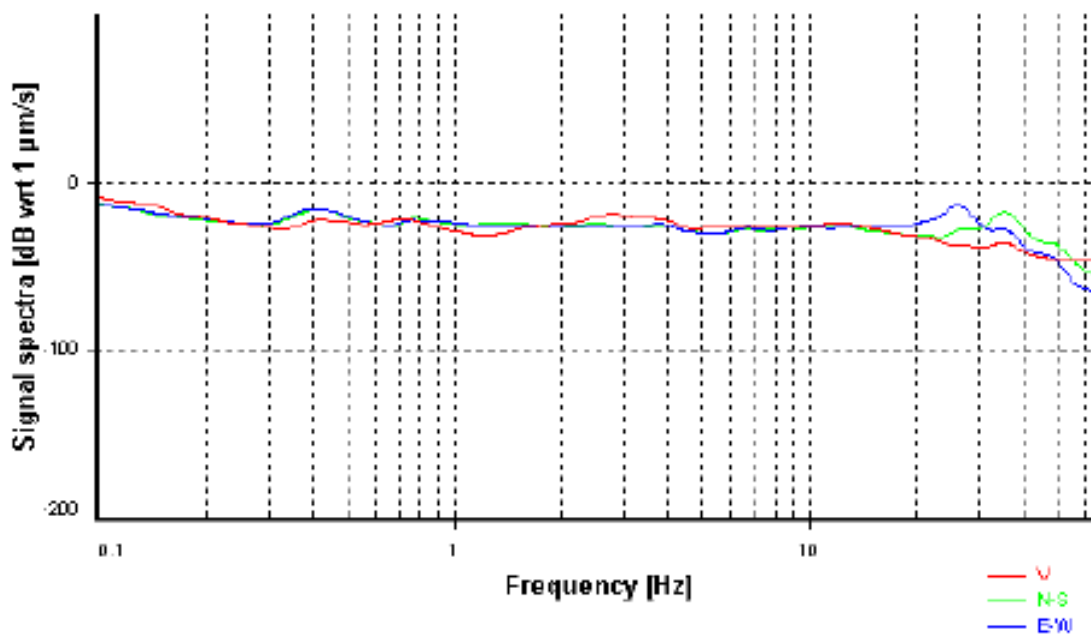
*Smoothing:* Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

*Instrumental correction:* Enabled (Water level = 0.01 Hz)

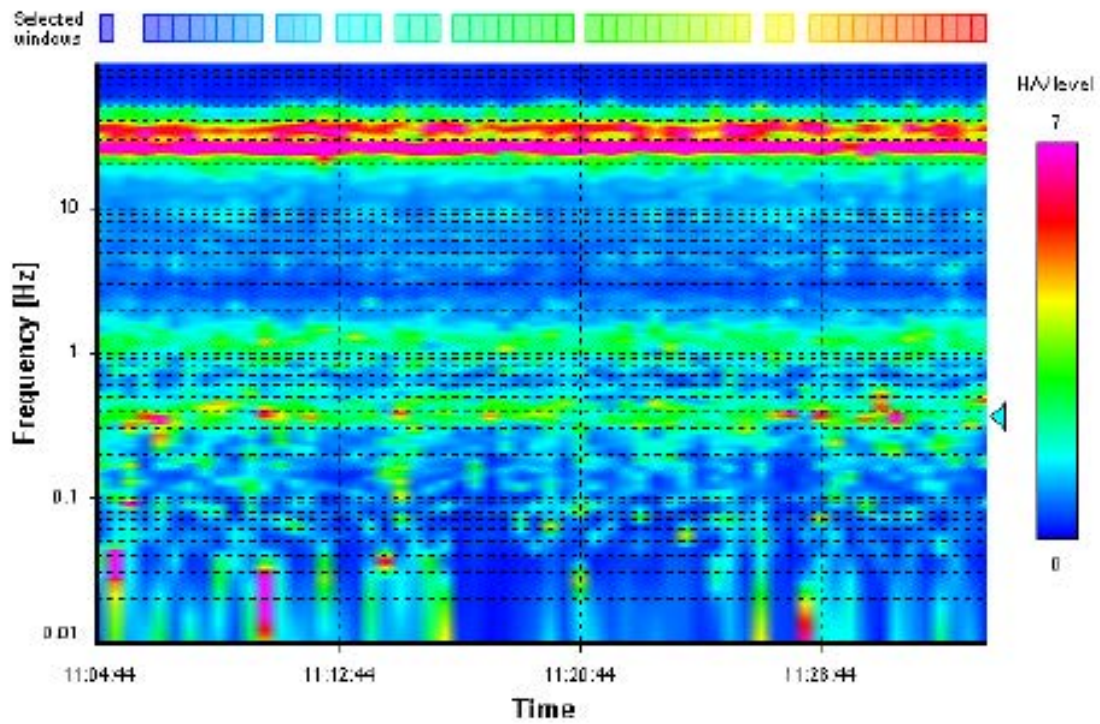
#### HVSR average



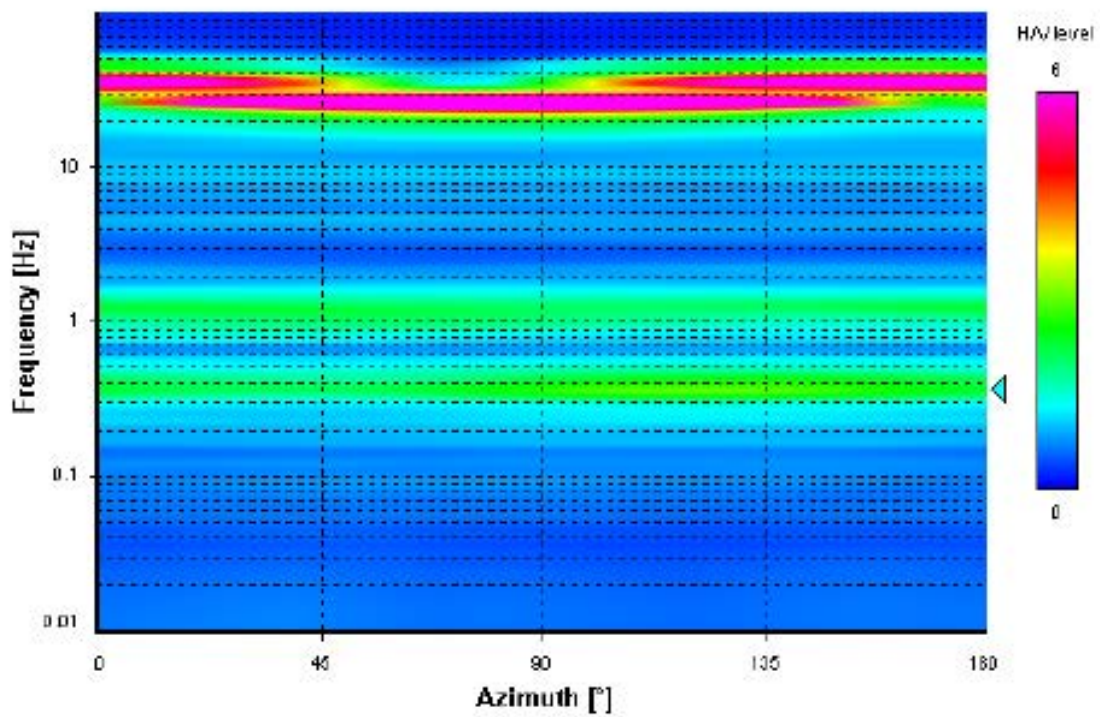
#### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



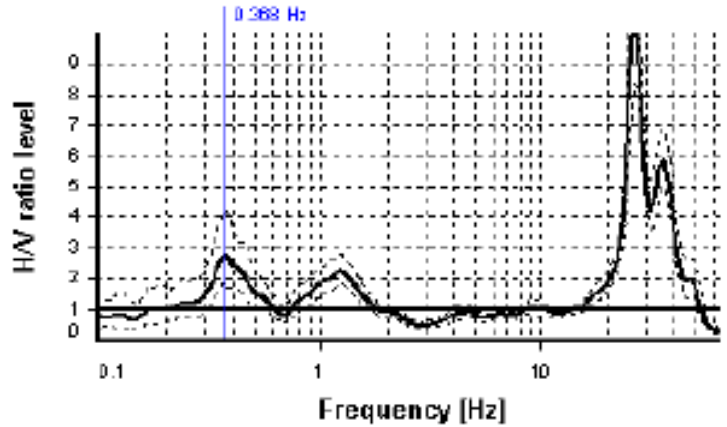
### HVSR directional analysis



### SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**  
**0.368 Hz**

**$A_0$  amplitude = 2.743**  
**Average  $f_0 = 0.386 \pm 0.066$**



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	51 valid windows (length > 27.19 s) out of 51	OK
$n_c(f_0) > 200$	562.67 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0/2$	0.28938 Hz	OK
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	0.55175 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.74 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	1.86% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.066 < 0.07355	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.52594 < 2.5	OK
Overall criteria fulfillment		OK

## STATION INFORMATION

*Station code:* Postazione\_1

*Model:* SARA GEOBOX

*Sensor:* SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

*Notes:* -

## PLACE INFORMATION

*Place ID:* Tr09

*Address:* Via delle Murella - Piaggia

*Latitude:* 43.766462

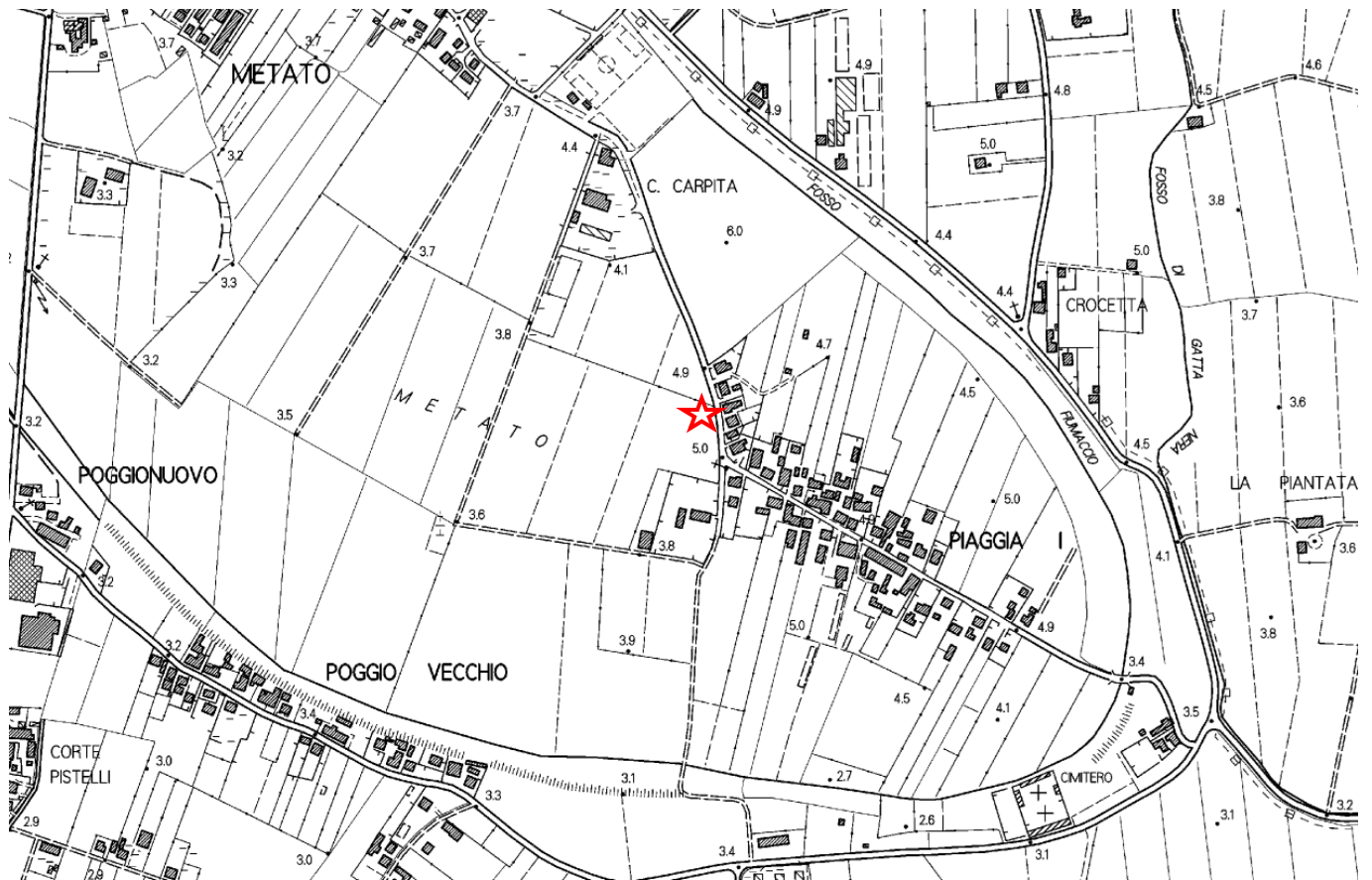
*Longitude:* 10.375991

*Coordinate system:* WGS84

*Elevation:* 5.0 m s.l.m.

*Weather:* Cloudy

*Notes:* -



Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273010



## PHOTOGRAPHIC REFERENCES



## SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

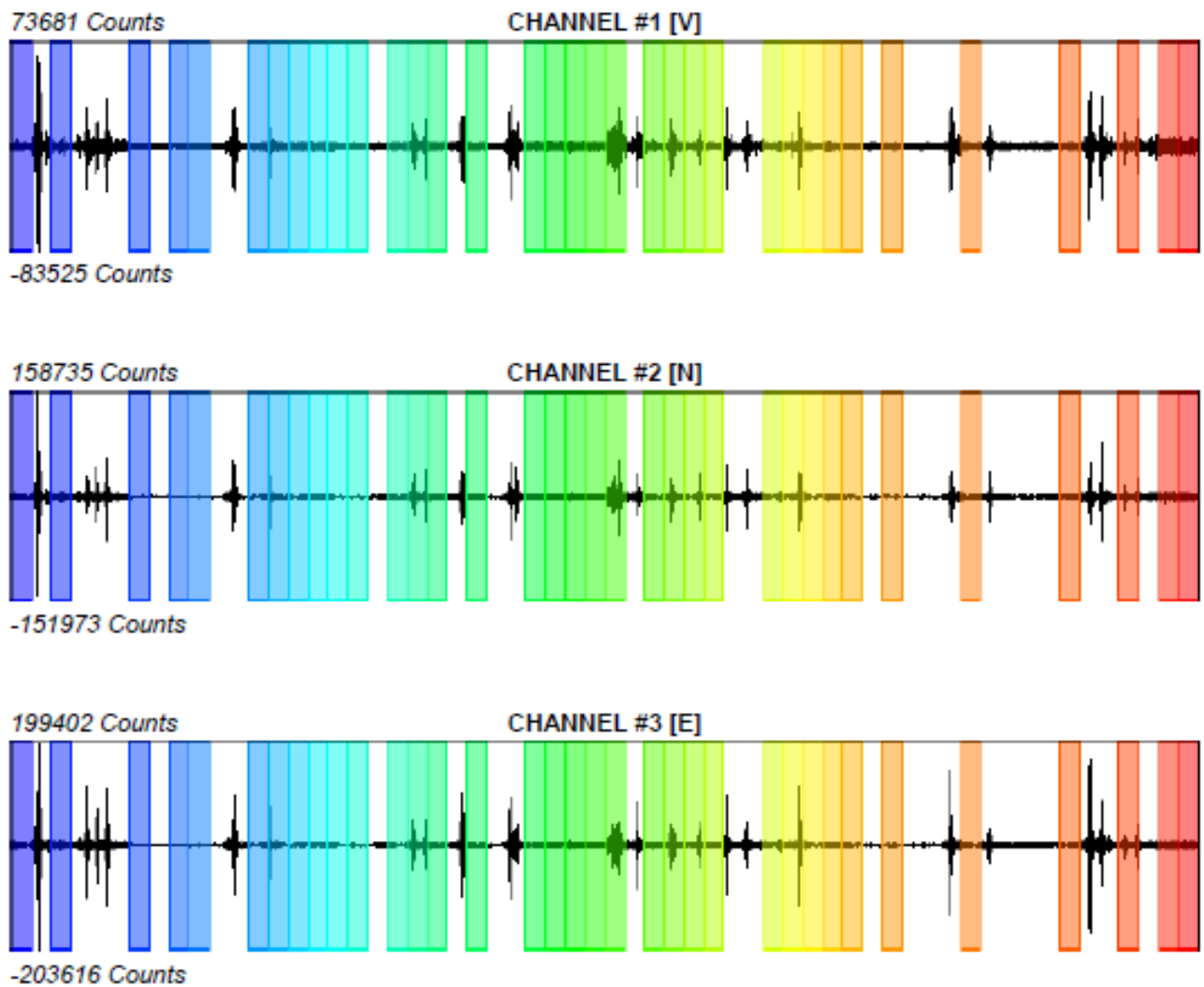
Recording start time: 2018/01/30 12:01:39

Recording length: 30 min

Windows count: 35

Average windows length: 30

Signal coverage: 58.33%





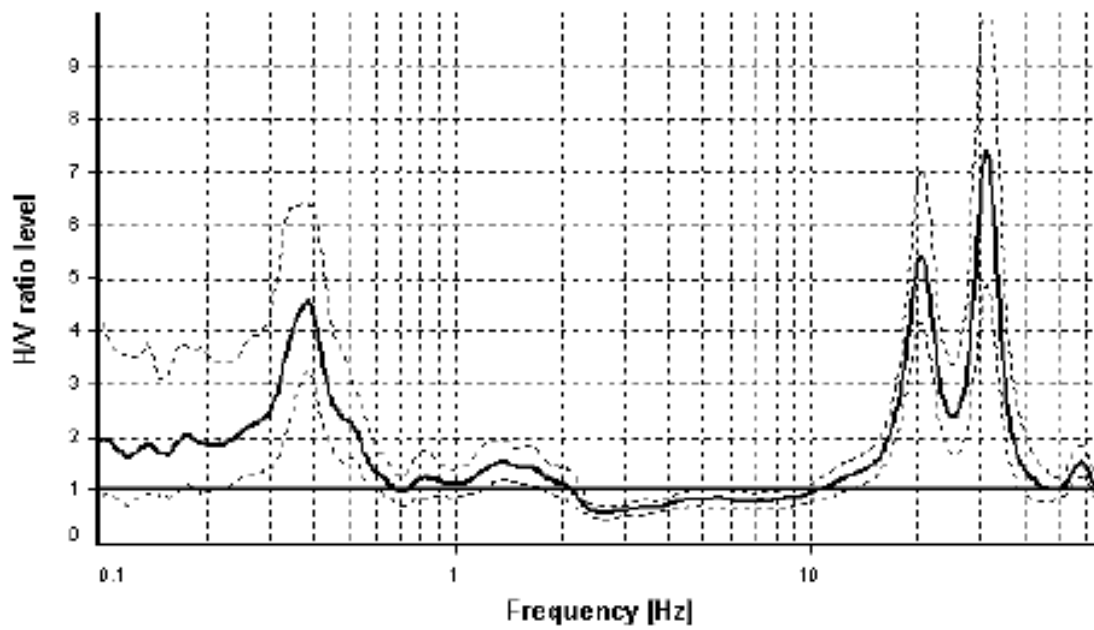
### HVSR ANALYSIS

*Tapering:* Enabled (Bandwidth = 5%)

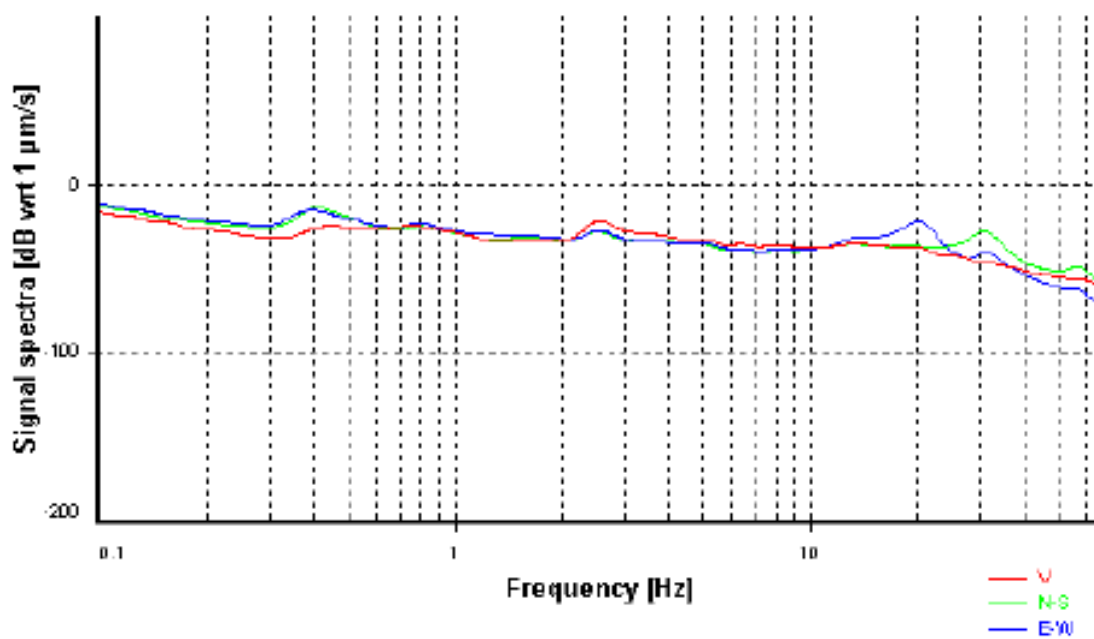
*Smoothing:* Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

*Instrumental correction:* Enabled (Water level = 0.01 Hz)

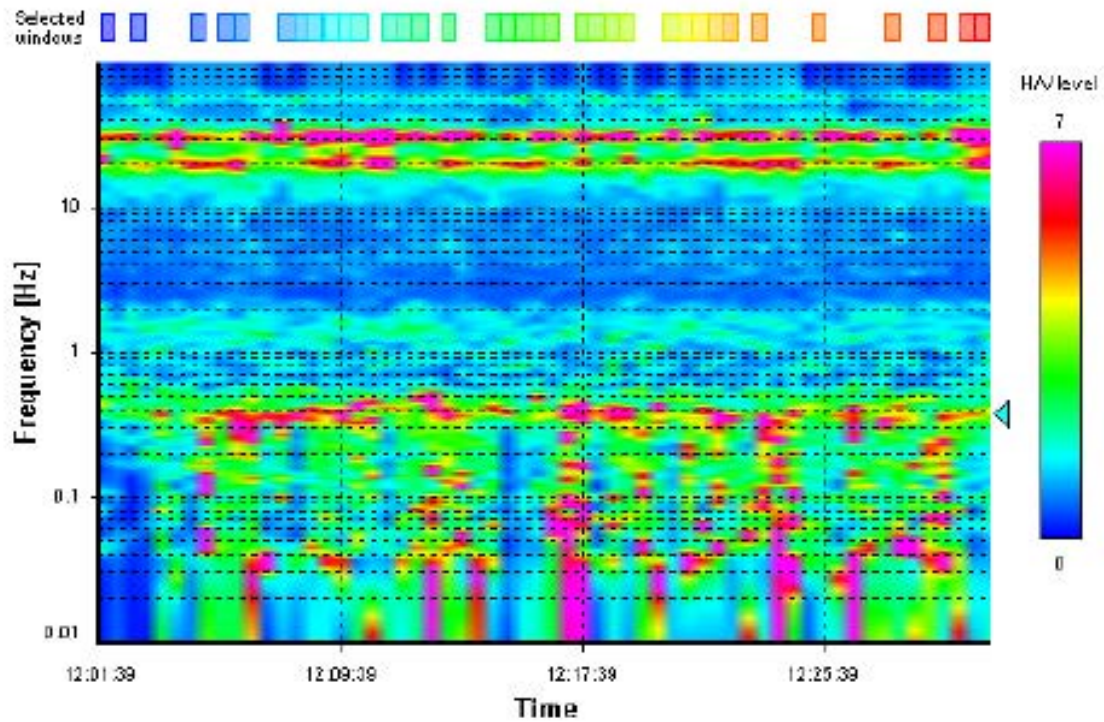
#### HVSR average



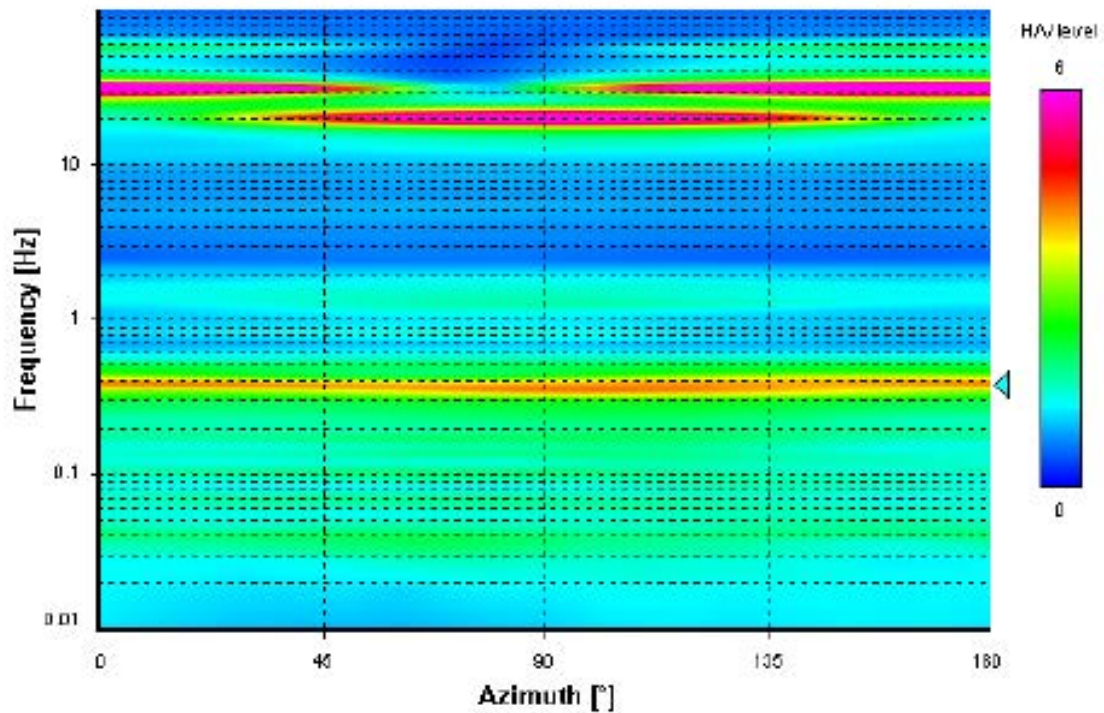
#### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



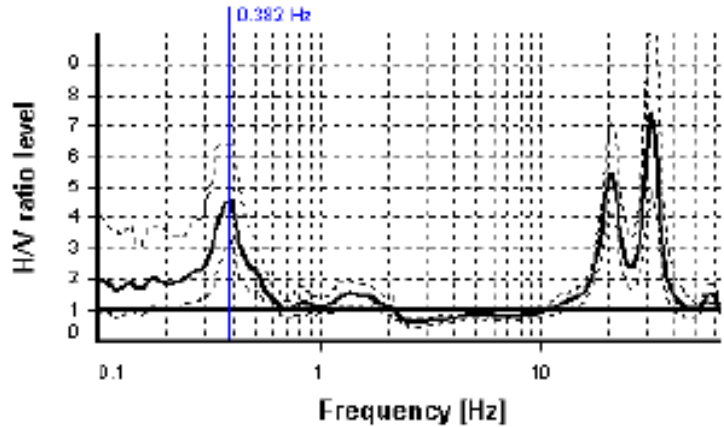
### HVSR directional analysis



### SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**  
 0.382 Hz

$A_0$  amplitude = 4.559  
 Average  $f_0 = 0.390 \pm 0.040$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	35 valid windows (length > 26.21 s) out of 35	OK
$n_c(f_0) > 200$	400.66 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0/2$	0.27634 Hz	OK
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	0.50782 Hz	OK
$A_0 > 2$	4.56 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	1.83% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.03994 < 0.07632	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.40442 < 2.5	OK
Overall criteria fulfillment		OK

## STATION INFORMATION

*Station code:* Postazione\_1

*Model:* SARA GEOBOX

*Sensor:* SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

*Notes:* -

## PLACE INFORMATION

*Place ID:* Tr10

*Address:* S.P. del Lungomonte Pisano - S. Giuliano Terme

*Latitude:* 43.763862

*Longitude:* 10.439742

*Coordinate system:* WGS84

*Elevation:* 5.5 m s.l.m.

*Weather:* Sunny

*Notes:* -



Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273020



## PHOTOGRAPHIC REFERENCES



## SIGNAL AND WINDOWING

*Sampling frequency:* 300 Hz

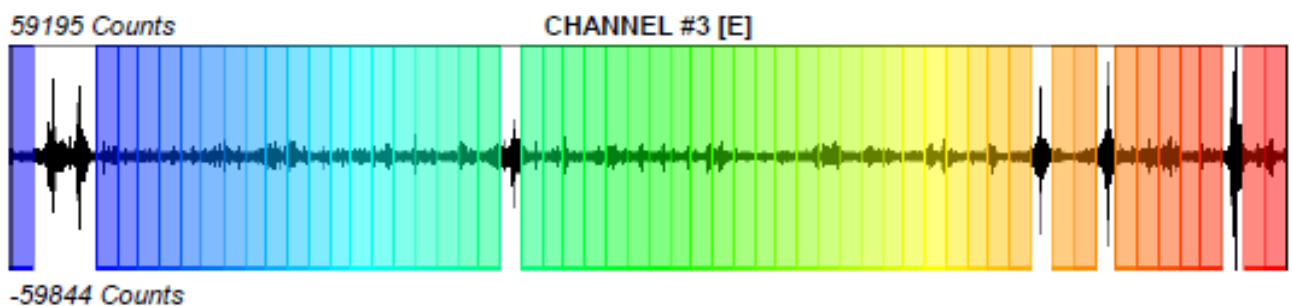
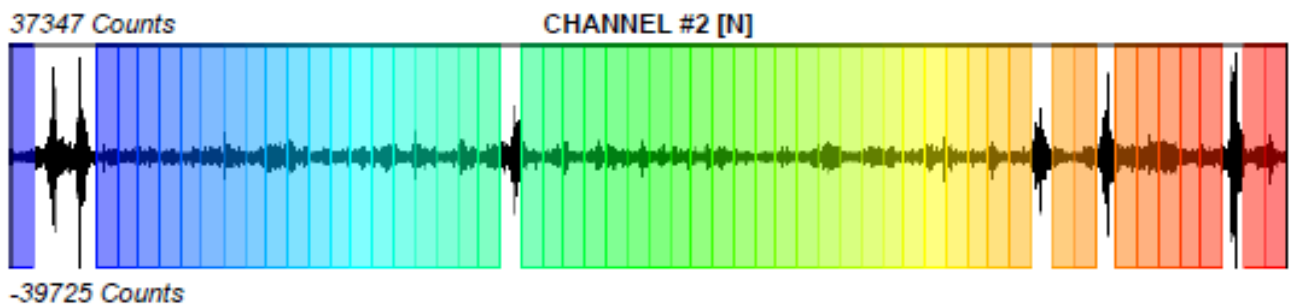
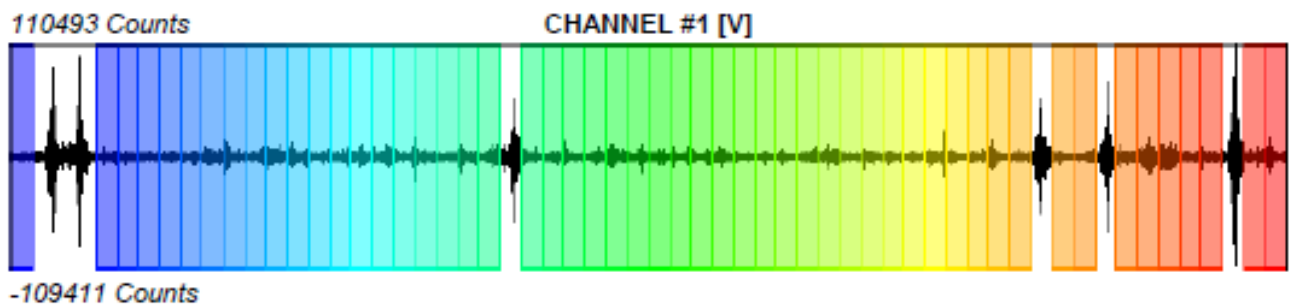
*Recording start time:* 2018/01/29 15:29:25

*Recording length:* 30 min

*Windows count:* 53

*Average windows length:* 30

*Signal coverage:* 88.33%



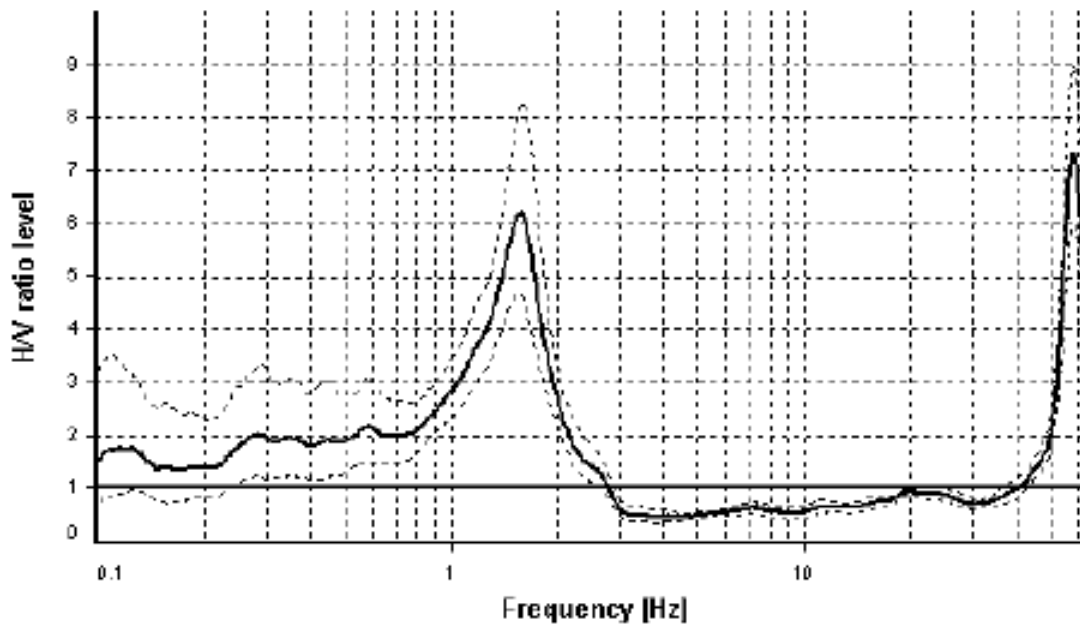
### HVSR ANALYSIS

*Tapering:* Enabled (Bandwidth = 5%)

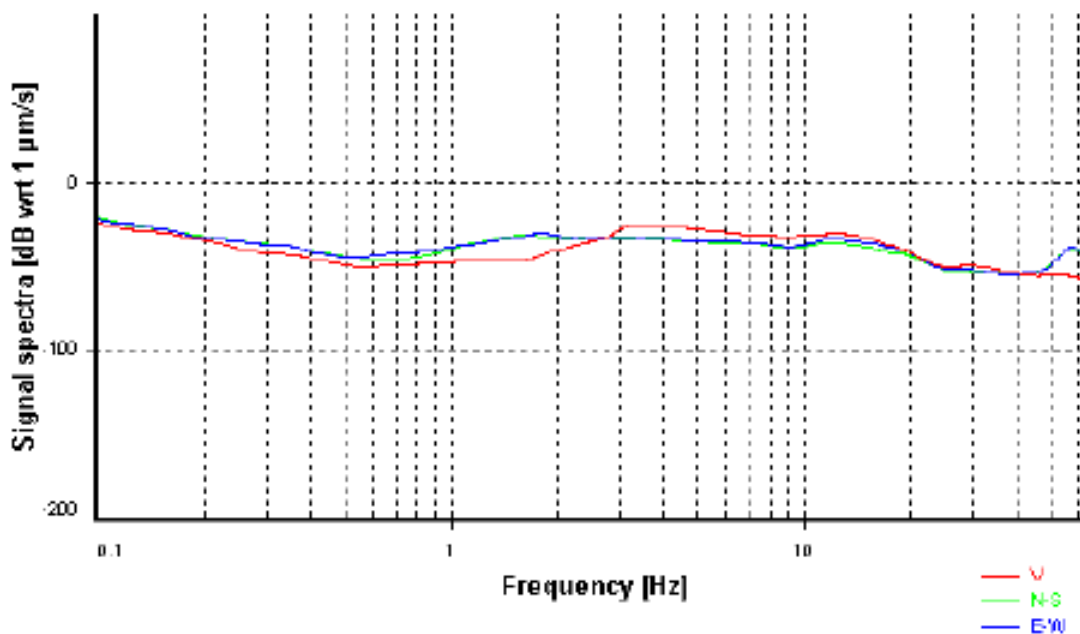
*Smoothing:* Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

*Instrumental correction:* Enabled (Water level = 0.01 Hz)

**HVSR average**

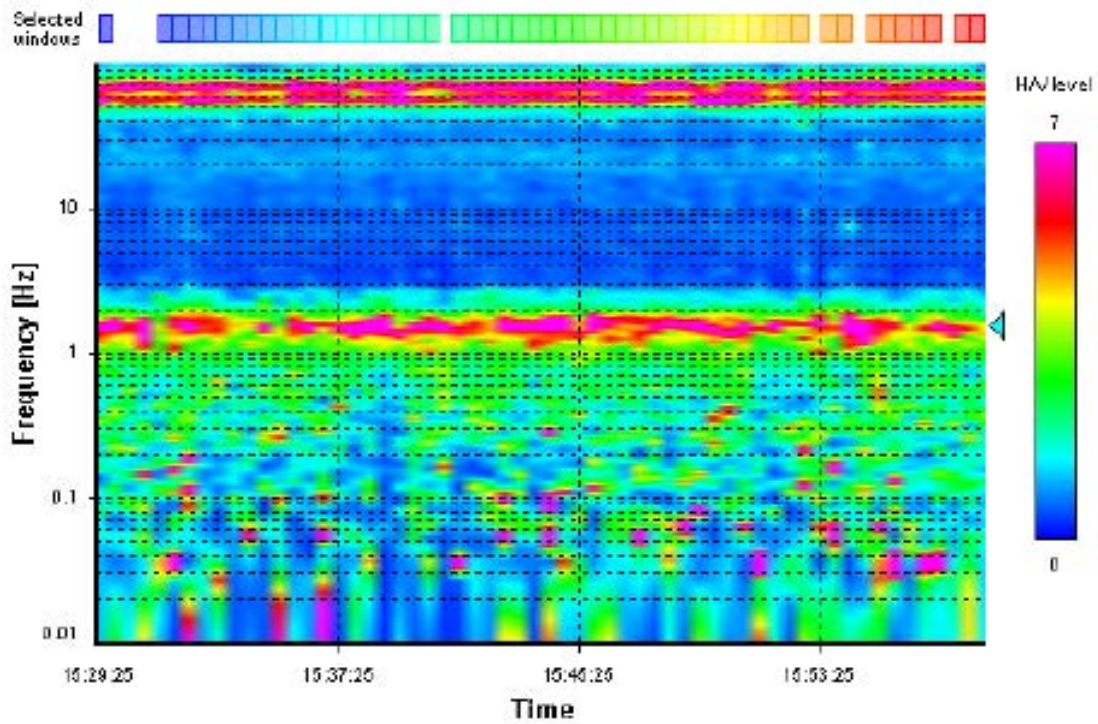


**Signal spectra average**

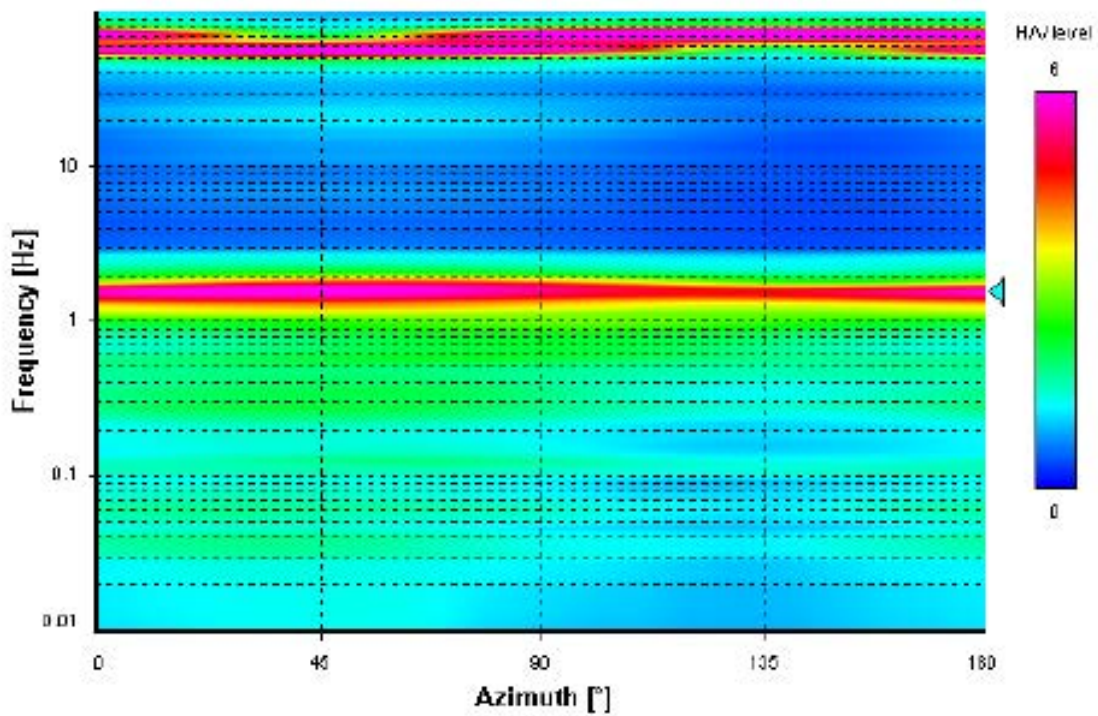




### HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



### HVSR directional analysis



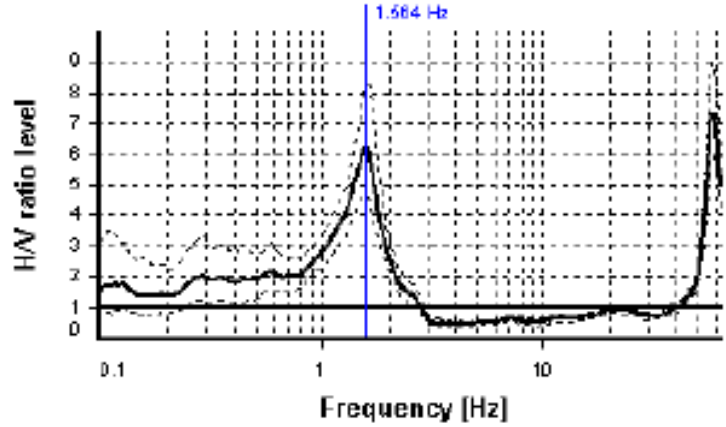
### SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**

**1.564 Hz**

**$A_0$  amplitude = 6.196**

**Average  $f_0 = 1.537 \pm 0.124$**



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	53 valid windows (length > 6.39 s) out of 53	OK
$n_c(f_0) > 200$	2486.52 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0/2$	1.06176 Hz	OK
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	1.93324 Hz	OK
$A_0 > 2$	6.2 > 2	OK
$f_{peak}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	1.86% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.12358 < 0.15638	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.32007 < 1.78	OK
Overall criteria fulfillment		OK

## STATION INFORMATION

*Station code:* Postazione\_1

*Model:* SARA GEOBOX

*Sensor:* SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

*Notes:* -

## PLACE INFORMATION

*Place ID:* Tr11

*Address:* Via Sciascia - Pontasserchio

*Latitude:* 43.772235

*Longitude:* 10.406913

*Coordinate system:* WGS84

*Elevation:* 4.8 m s.l.m.

*Weather:* Cloudy

*Notes:* -



## PHOTOGRAPHIC REFERENCES



## SIGNAL AND WINDOWING

*Sampling frequency:* 300 Hz

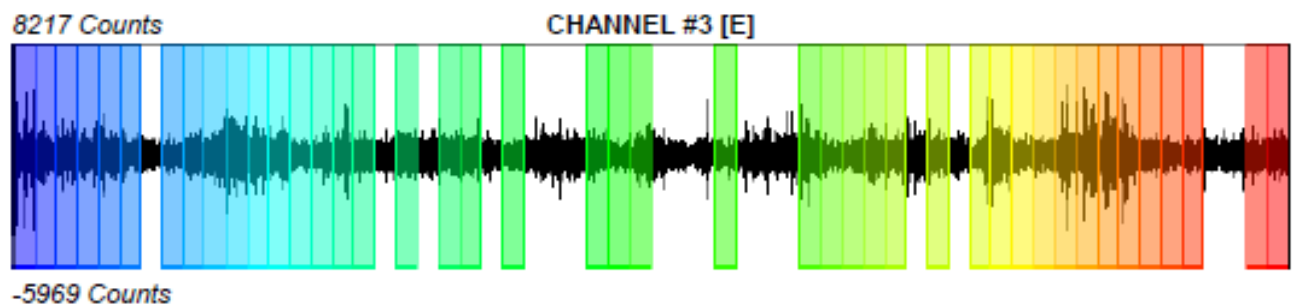
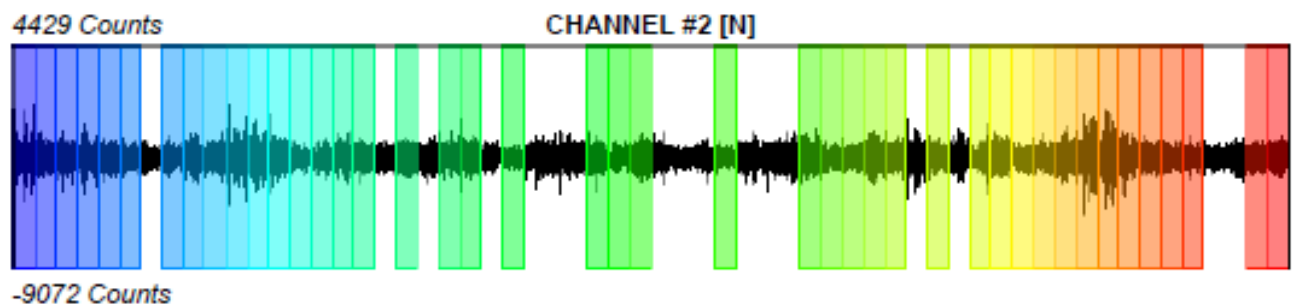
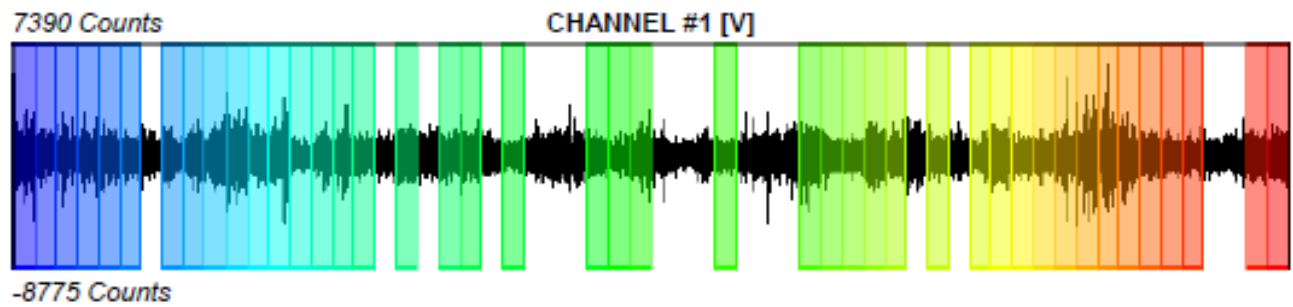
*Recording start time:* 2018/01/30 11:02:41

*Recording length:* 30 min

*Windows count:* 43

*Average windows length:* 30

*Signal coverage:* 71.67%



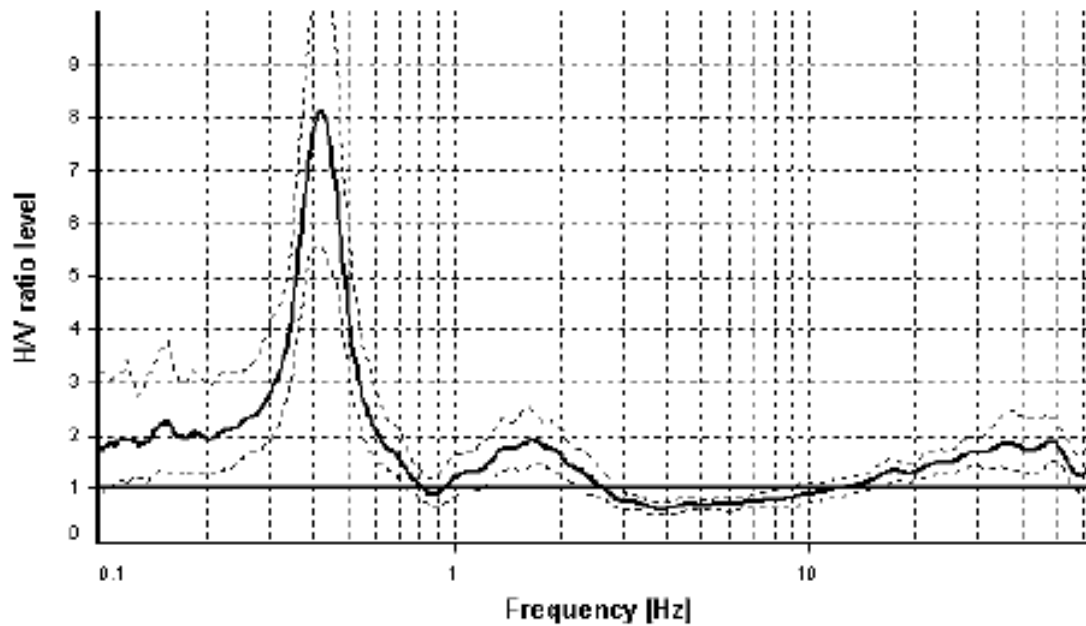
### HVSR ANALYSIS

*Tapering:* Enabled (Bandwidth = 5%)

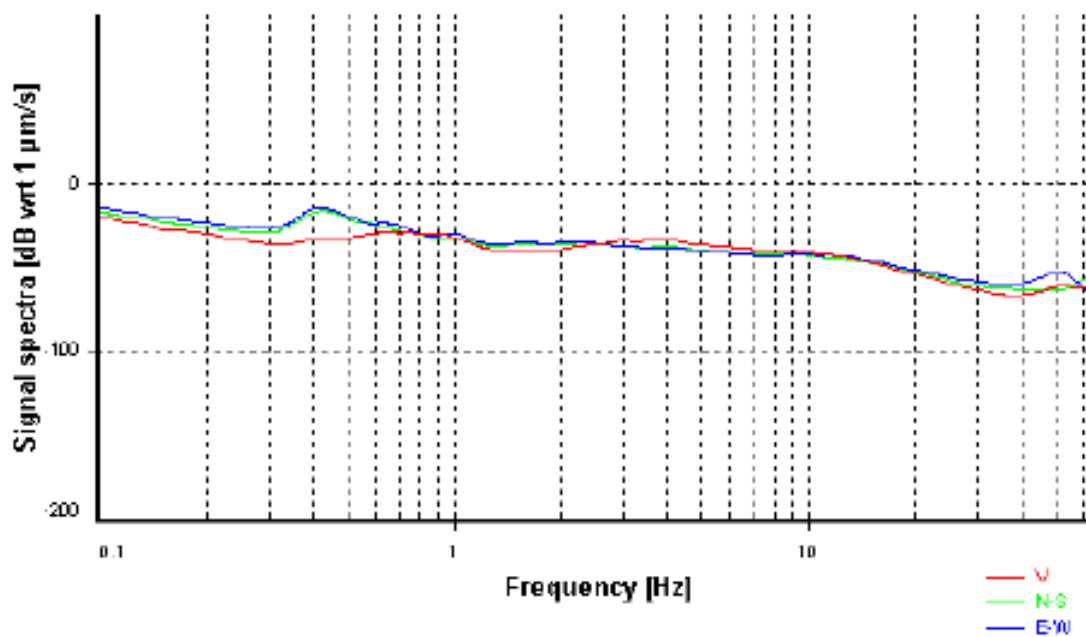
*Smoothing:* Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

*Instrumental correction:* Enabled (Water level = 0.01 Hz)

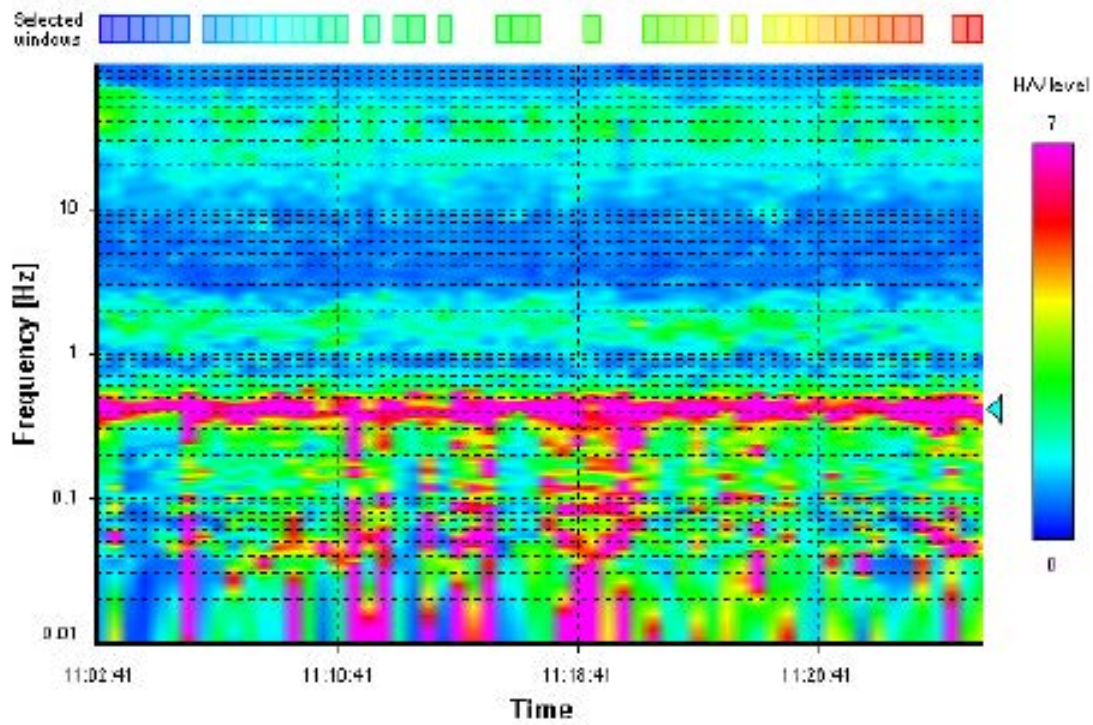
#### HVSR average



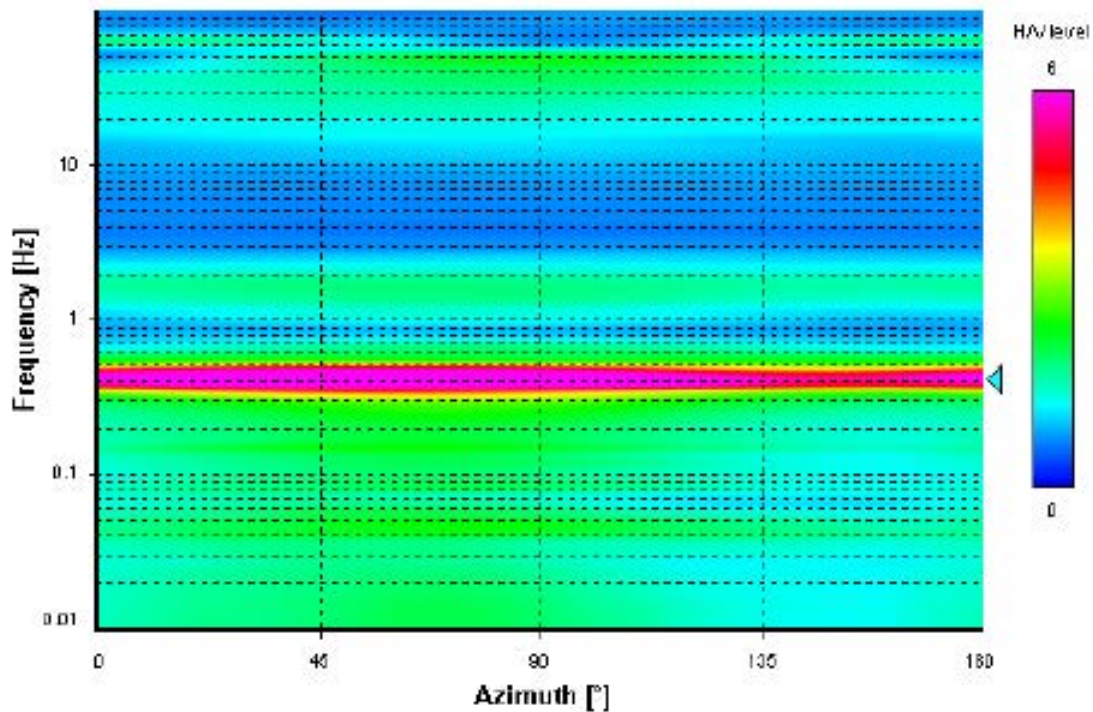
#### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



### HVSR directional analysis





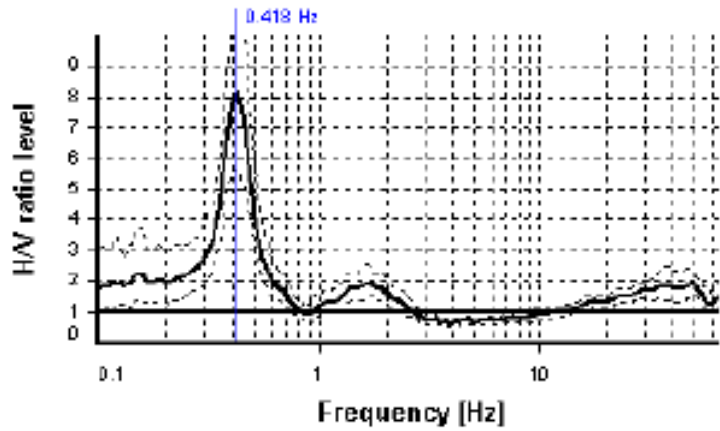
### SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**

**0.418 Hz**

**$A_0$  amplitude = 8.119**

**Average  $f_0 = 0.422 \pm 0.031$**



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	43 valid windows (length > 23.9 s) out of 43	OK
$n_c(f_0) > 200$	539.77 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0/2$	0.34161 Hz	OK
$\exists f' \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	0.51252 Hz	OK
$A_0 > 2$	8.12 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.93% <= 5%	OK
$\sigma_f < \epsilon(f_0)$	0.03139 < 0.08369	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.45257 < 2.5	OK
Overall criteria fulfillment		OK



## STATION INFORMATION

*Station code:* Postazione\_1

*Model:* SARA GEOBOX

*Sensor:* SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

*Notes:* -

## PLACE INFORMATION

*Place ID:* Tr12

*Address:* Campo Sportivo Comunale - Orzignano

*Latitude:* 43.775377

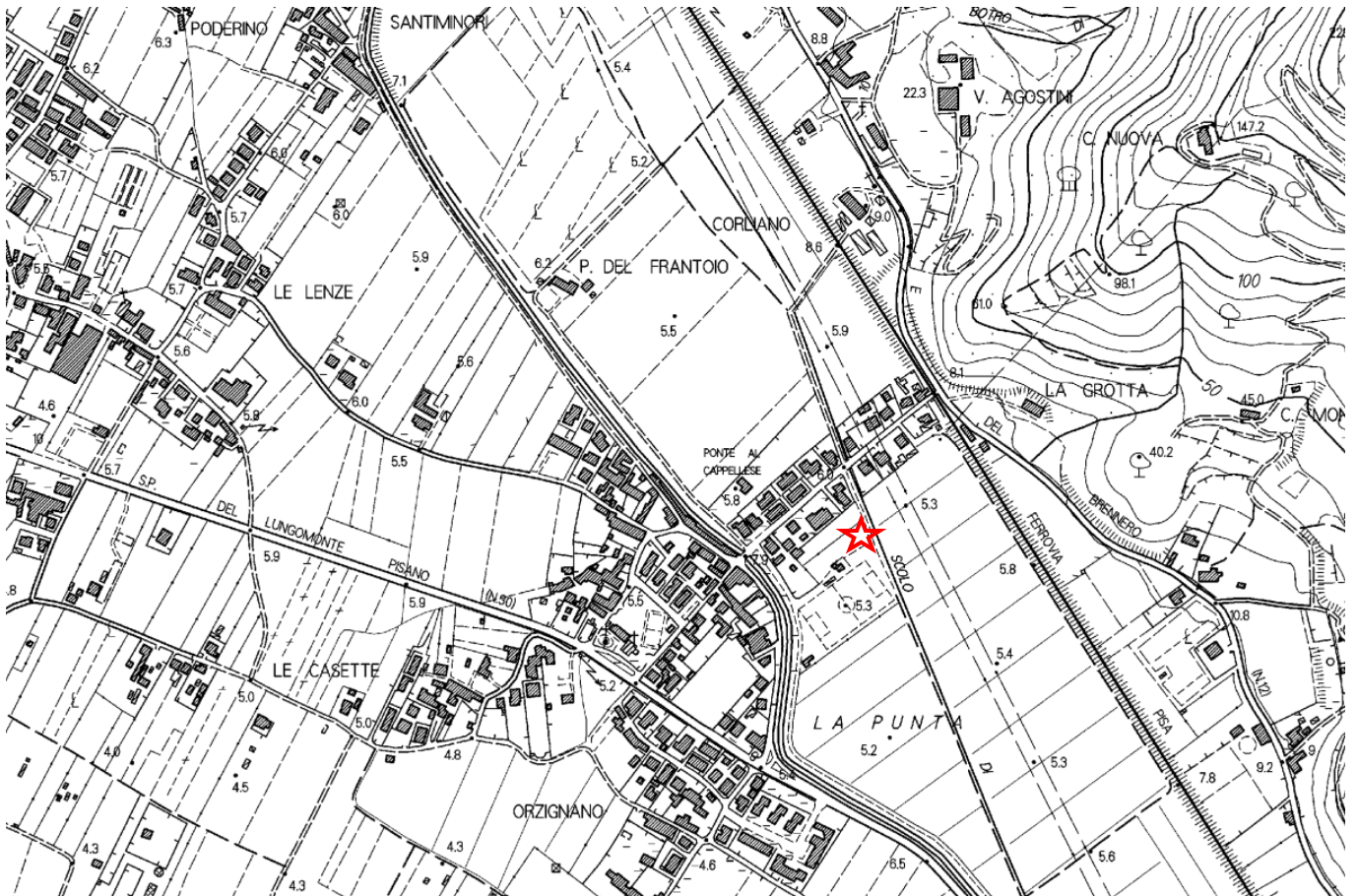
*Longitude:* 10.427268

*Coordinate system:* WGS84

*Elevation:* 5.3 m s.l.m.

*Weather:* Cloudy

*Notes:* -



Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273020



## PHOTOGRAPHIC REFERENCES



## SIGNAL AND WINDOWING

*Sampling frequency:* 300 Hz

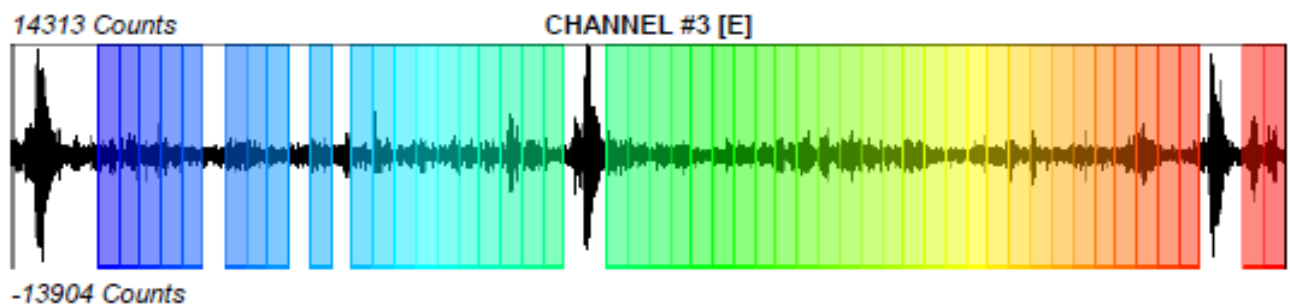
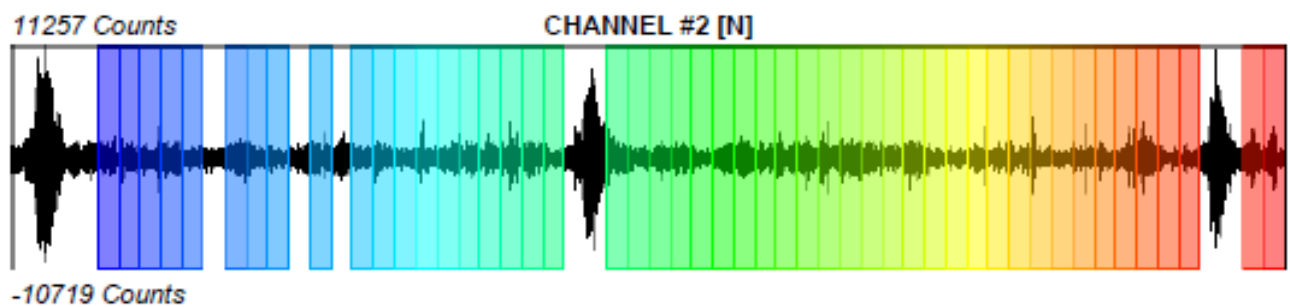
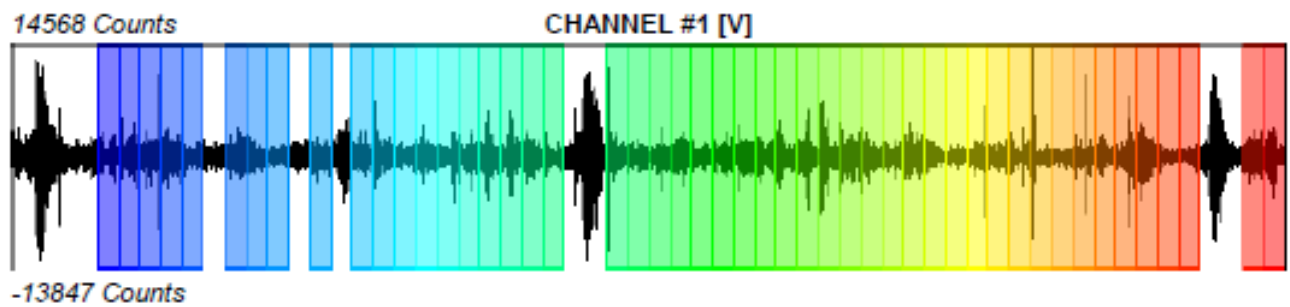
*Recording start time:* 2018/01/30 08:16:43

*Recording length:* 30 min

*Windows count:* 49

*Average windows length:* 30

*Signal coverage:* 81.67%



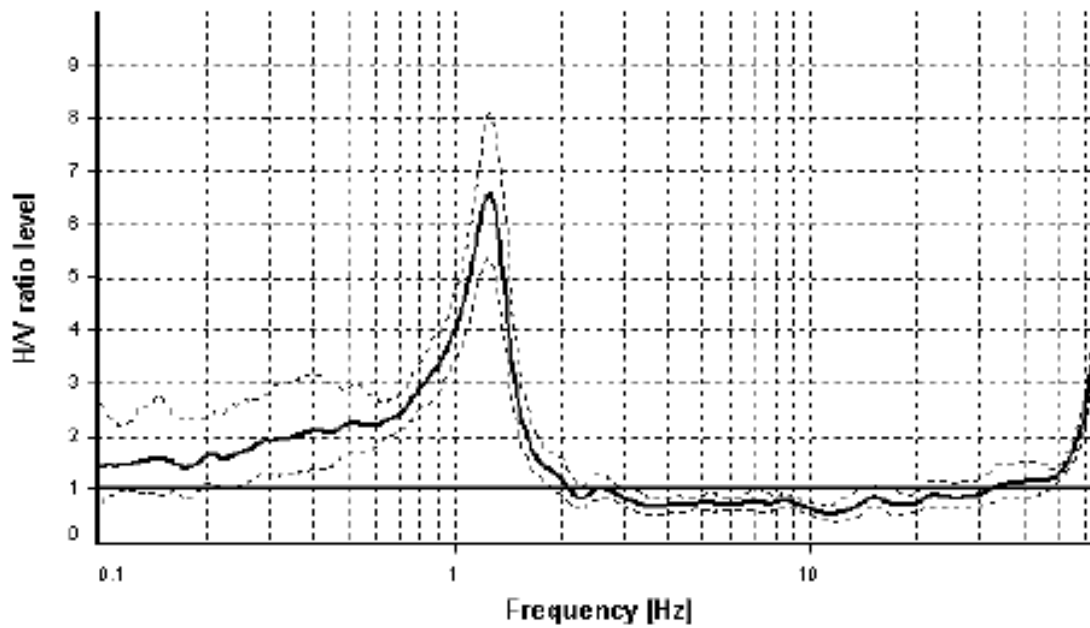
### HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

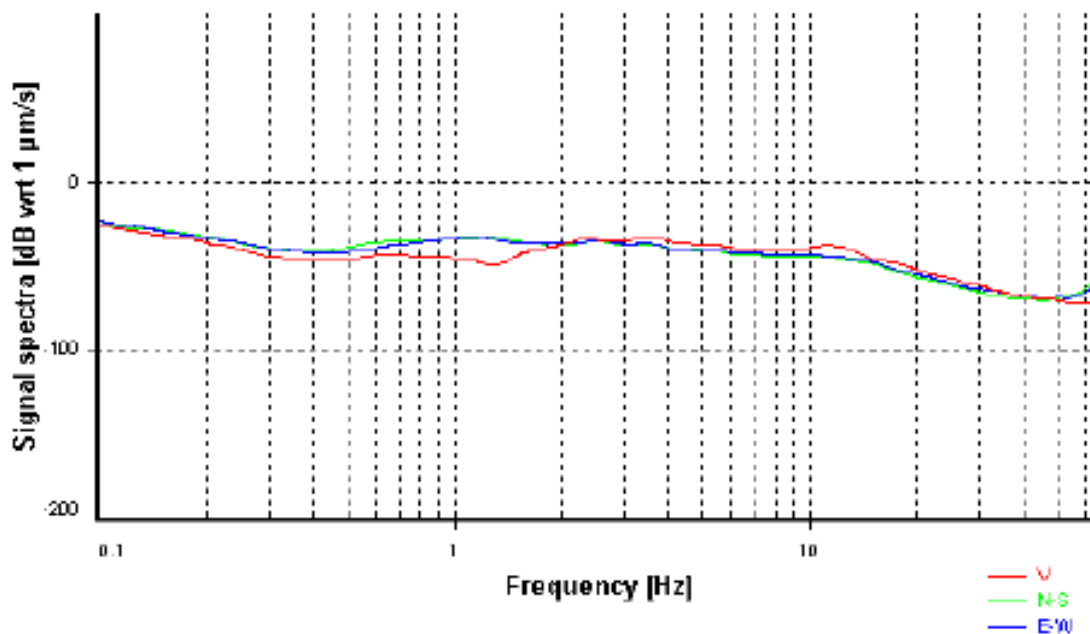
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Enabled (Water level = 0.01 Hz)

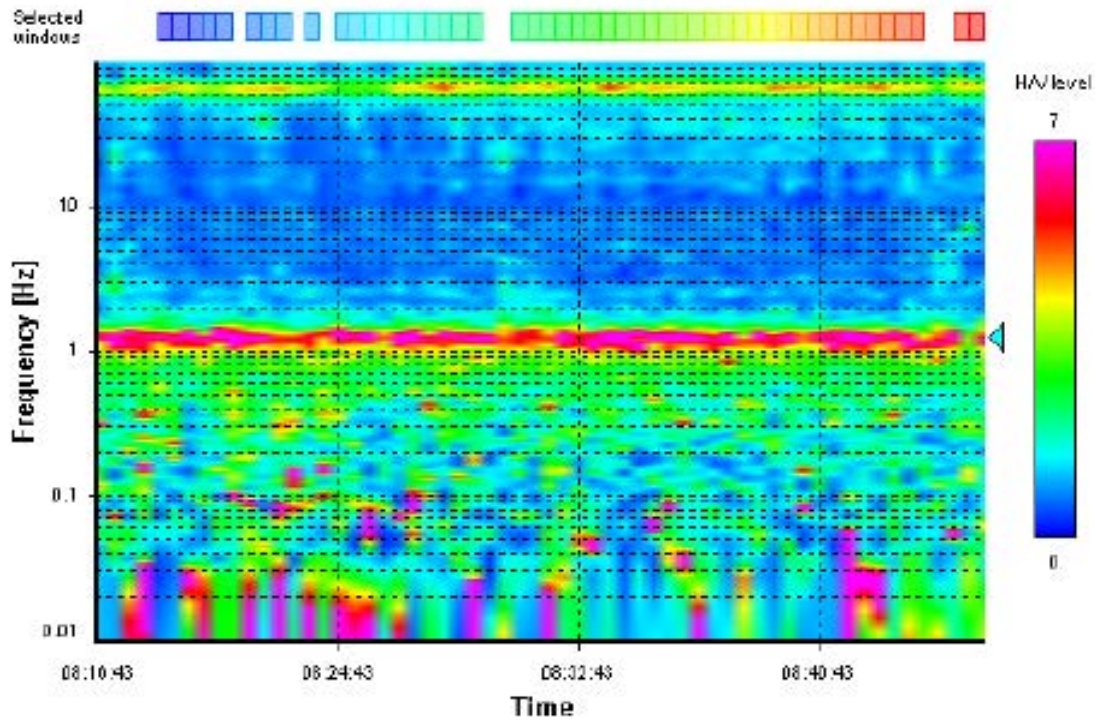
#### HVSR average



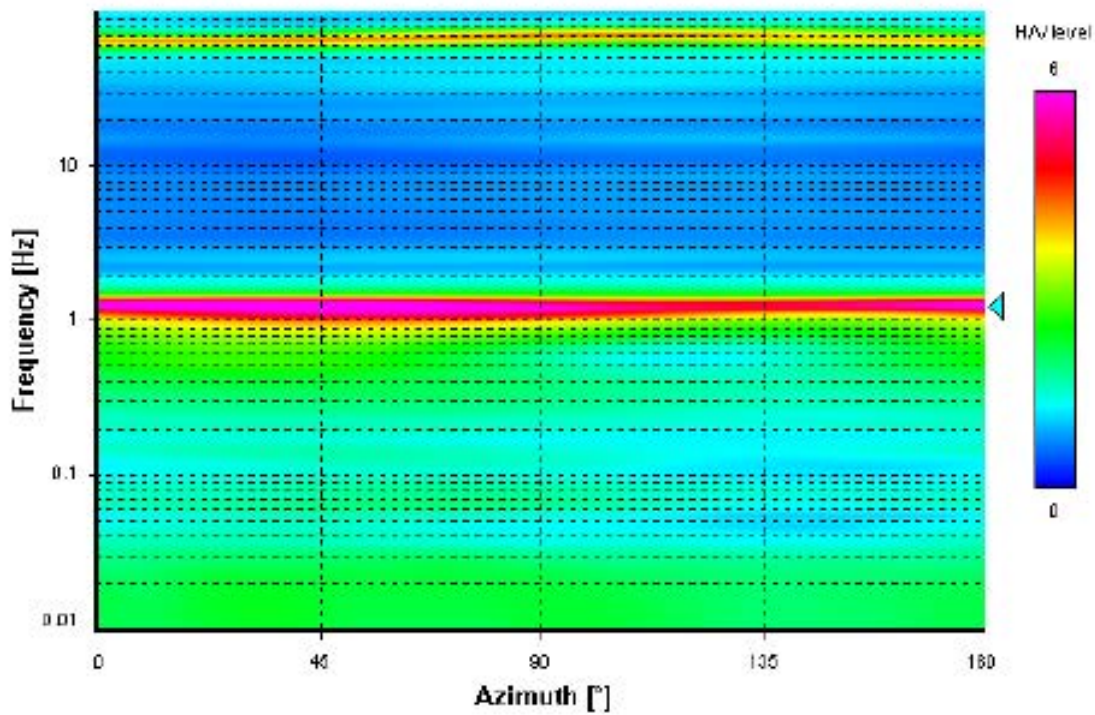
#### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



### HVSR directional analysis





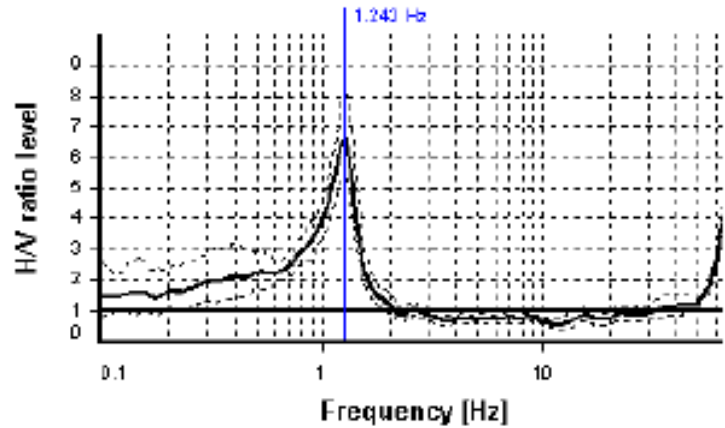
### SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**

1.242 Hz

$A_0$  amplitude = 6.560

Average  $f_0 = 1.246 \pm 0.062$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	49 valid windows (length > 8.05 s) out of 49	OK
$n_c(f_0) > 200$	1825.62 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0/2$	0.88297 Hz	OK
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	1.46611 Hz	OK
$A_0 > 2$	6.56 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.93% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.06178 < 0.12419	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.22774 < 1.78	OK
Overall criteria fulfillment		OK

## STATION INFORMATION

*Station code:* Postazione\_1

*Model:* SARA GEOBOX

*Sensor:* SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

*Notes:* -

## PLACE INFORMATION

*Place ID:* Tr13

*Address:* Via S. Giovanni - Arena

*Latitude:* 43.777821

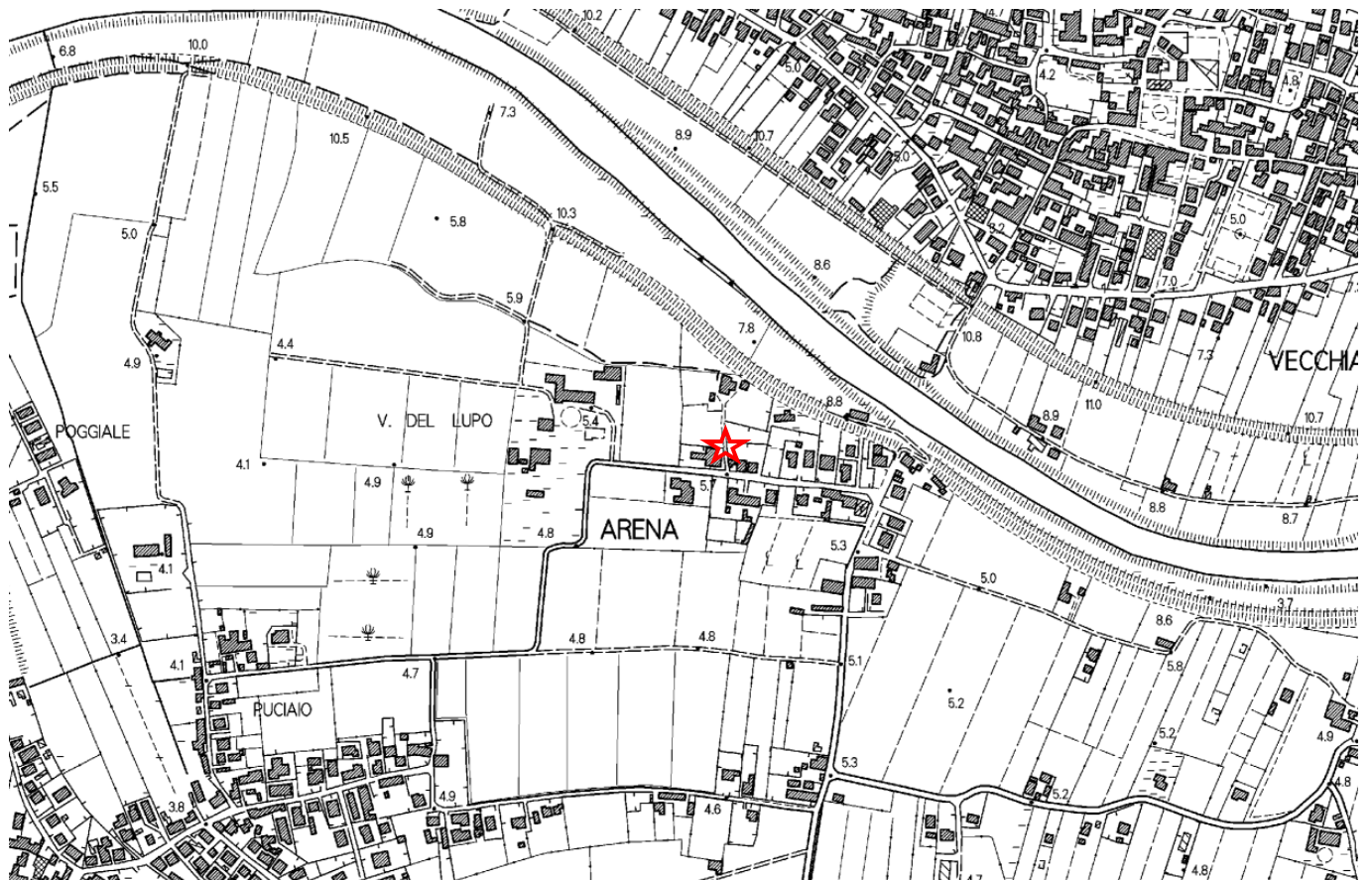
*Longitude:* 10.380353

*Coordinate system:* WGS84

*Elevation:* 5.5 m s.l.m.

*Weather:* Cloudy

*Notes:* -



Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273010



## PHOTOGRAPHIC REFERENCES



### SIGNAL AND WINDOWING

*Sampling frequency:* 300 Hz

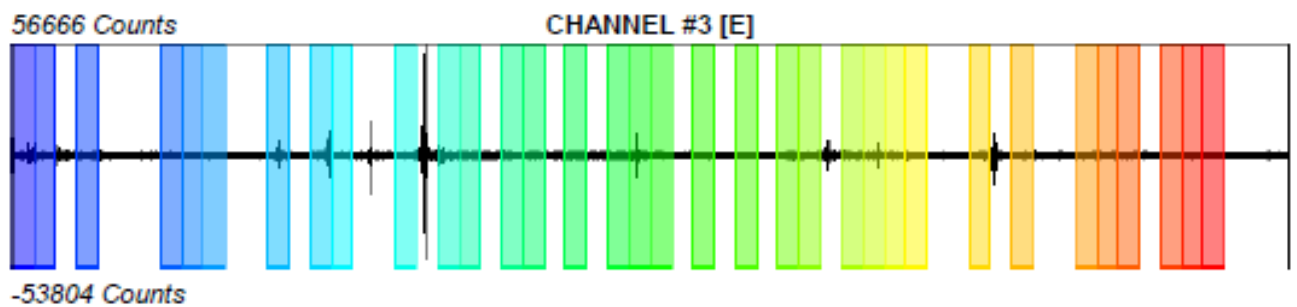
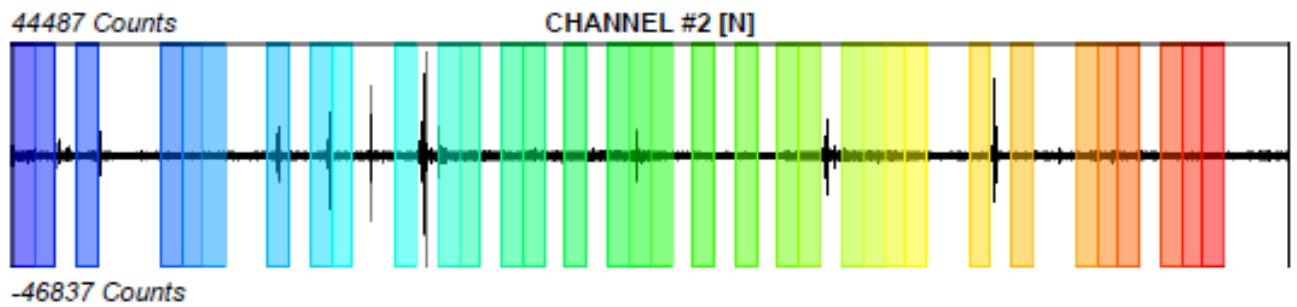
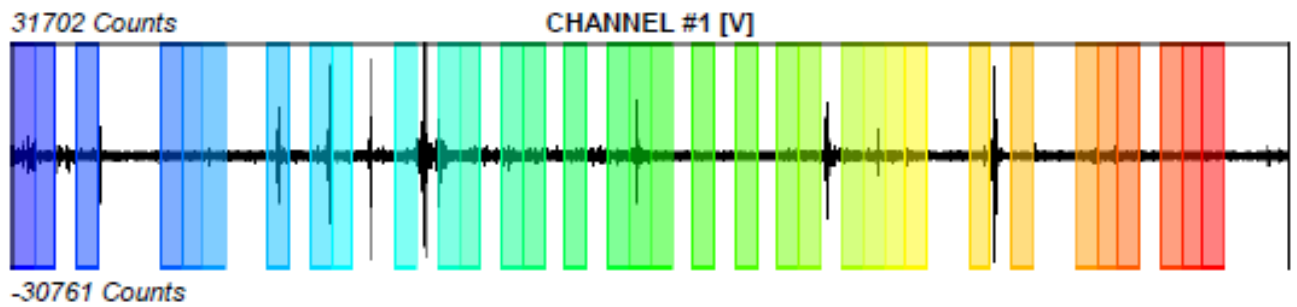
*Recording start time:* 2018/01/30 11:55:08

*Recording length:* 30 min

*Windows count:* 34

*Average windows length:* 30

*Signal coverage:* 56.67%



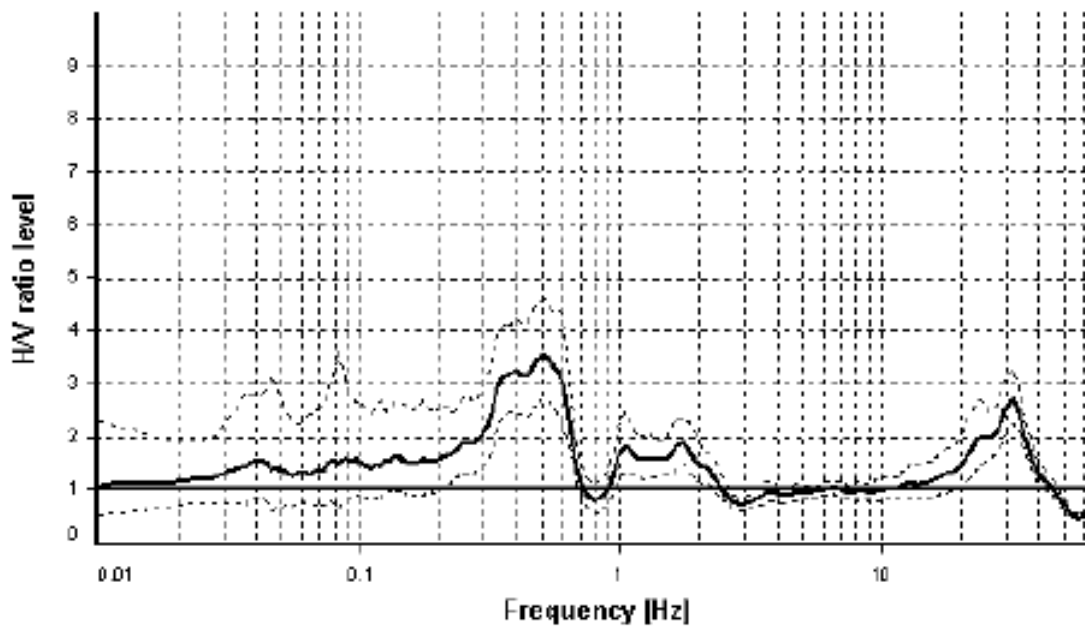
### HVSR ANALYSIS

*Tapering:* Enabled (Bandwidth = 5%)

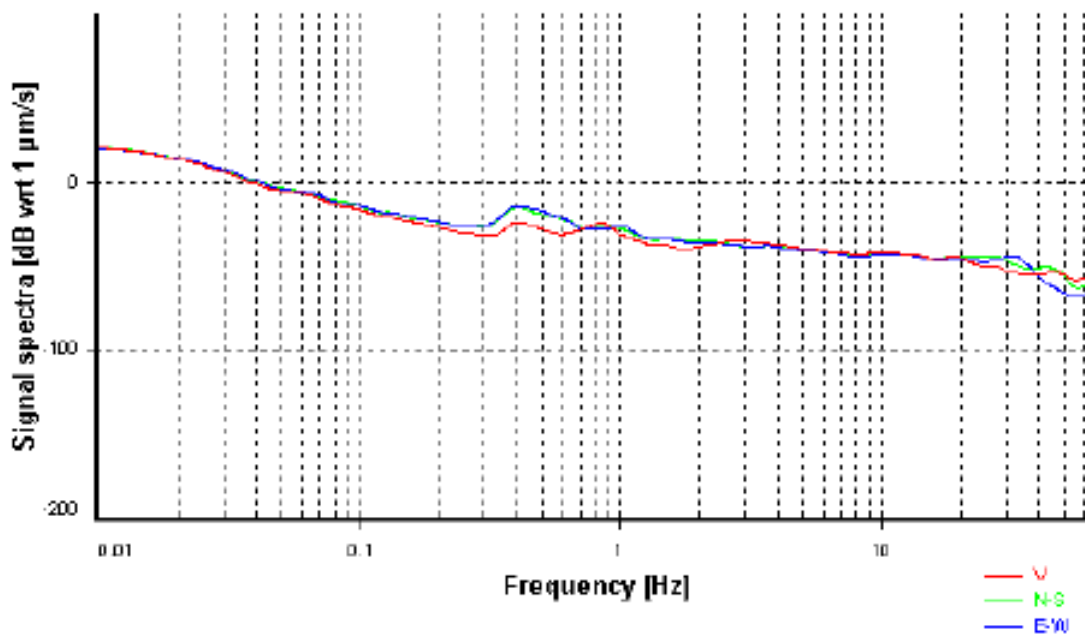
*Smoothing:* Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

*Instrumental correction:* Enabled (Water level = 0.01 Hz)

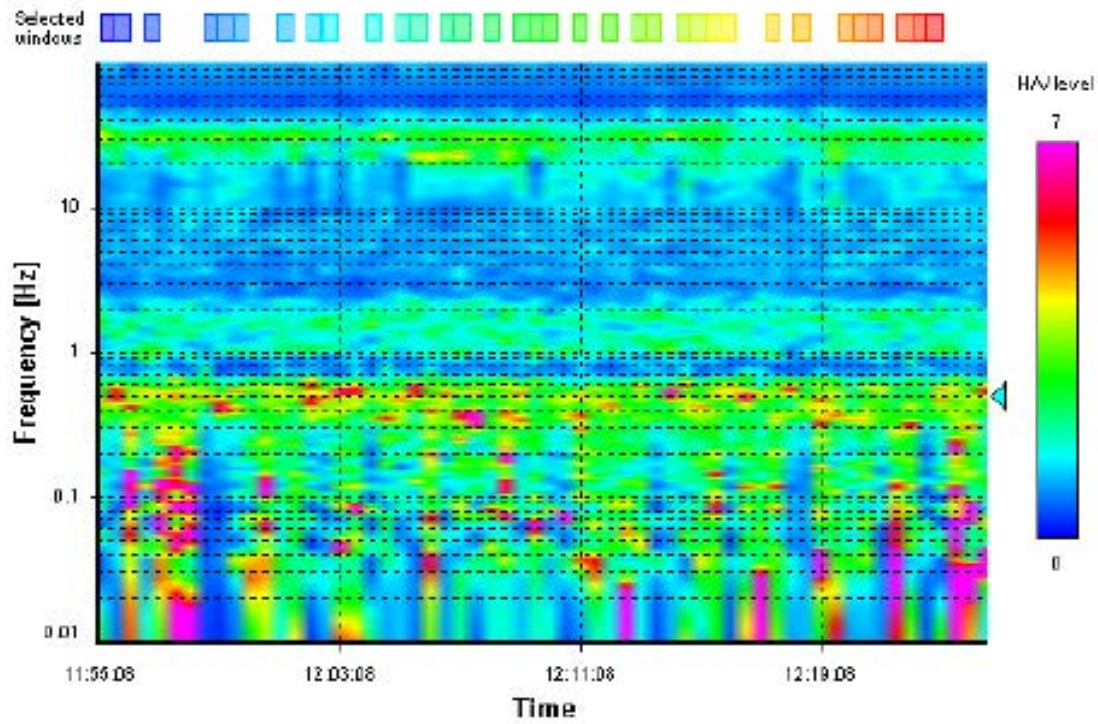
#### HVSR average



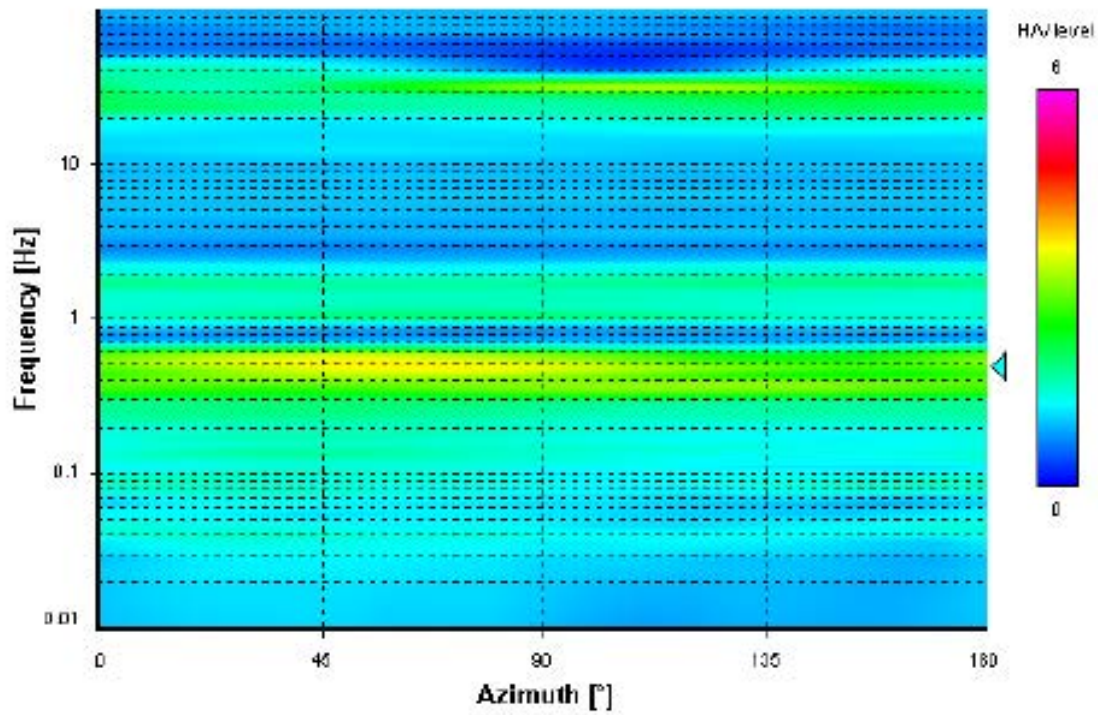
#### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



### HVSR directional analysis



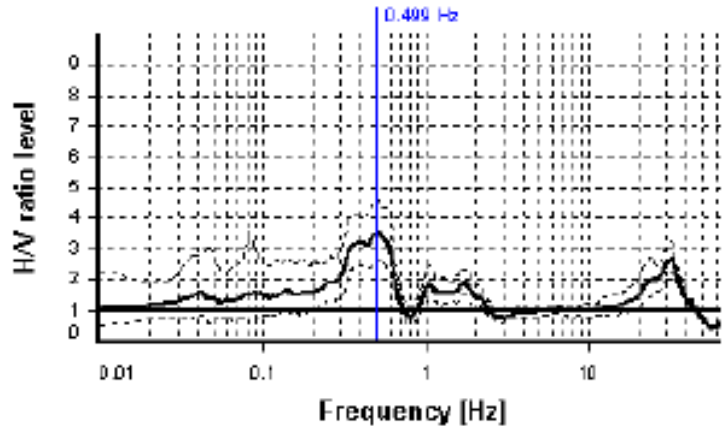
### SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**

**0.499 Hz**

**$A_0$  amplitude = 3.506**

**Average  $f_0 = 0.468 \pm 0.090$**



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	34 valid windows (length > 20.06 s) out of 34	OK
$n_c(f_0) > 200$	508.51 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0/2$	0.23193 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f^+) < A_0/2$	0.66347 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.51 > 2	OK
$f_{peak}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	1.83% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.08968 < 0.09971	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.30756 < 2.5	OK
Overall criteria fulfillment		OK



## STATION INFORMATION

*Station code:* Postazione\_1

*Model:* SARA GEOBOX

*Sensor:* SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

*Notes:* -

## PLACE INFORMATION

*Place ID:* Tr14

*Address:* S.P. del Lungomonte Pisano - Pontasserchio

*Latitude:* 43.780581

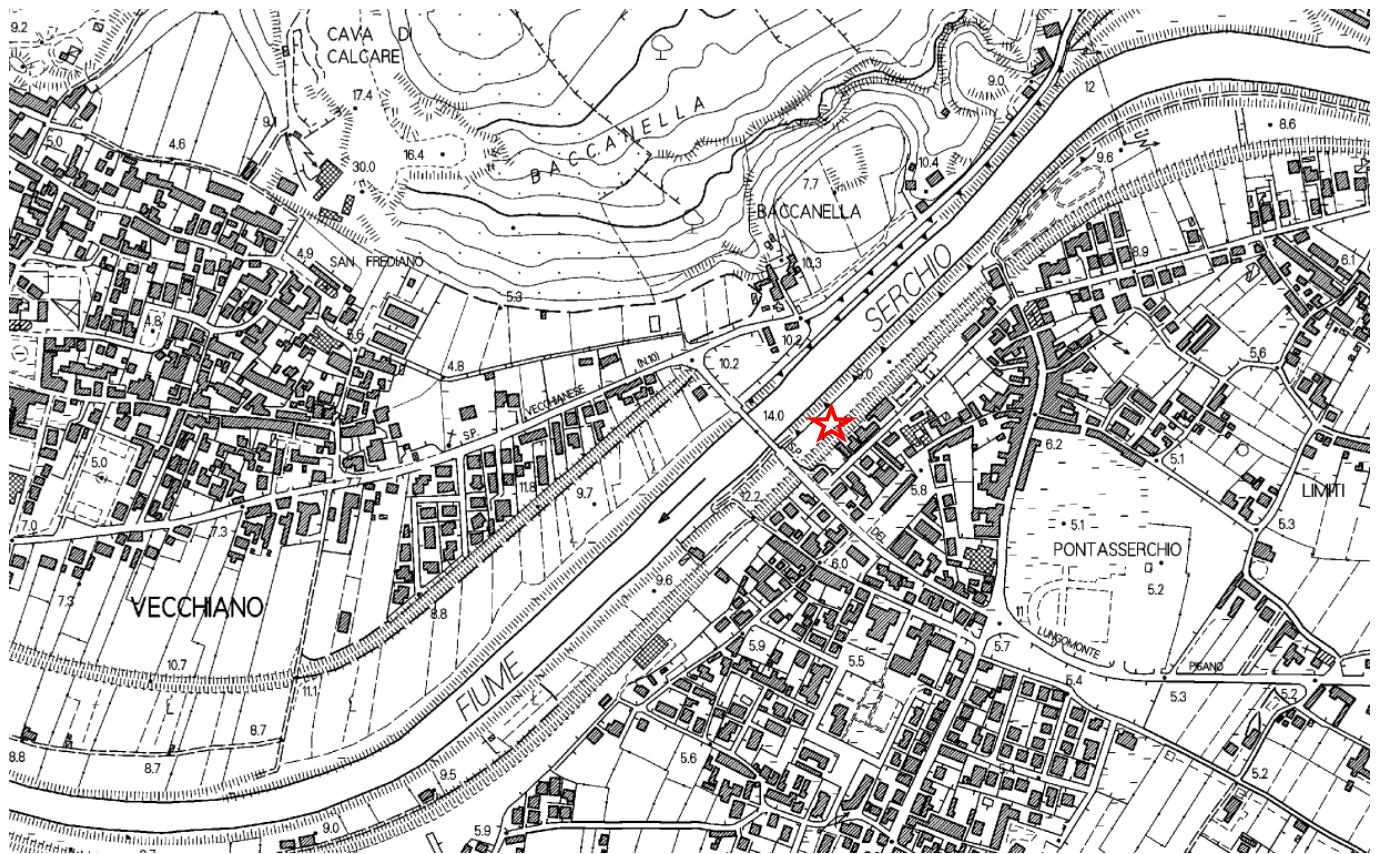
*Longitude:* 10.399834

*Coordinate system:* WGS84

*Elevation:* 8.0 m s.l.m.

*Weather:* Cloudy

*Notes:* -



Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273010



## PHOTOGRAPHIC REFERENCES



## SIGNAL AND WINDOWING

*Sampling frequency:* 300 Hz

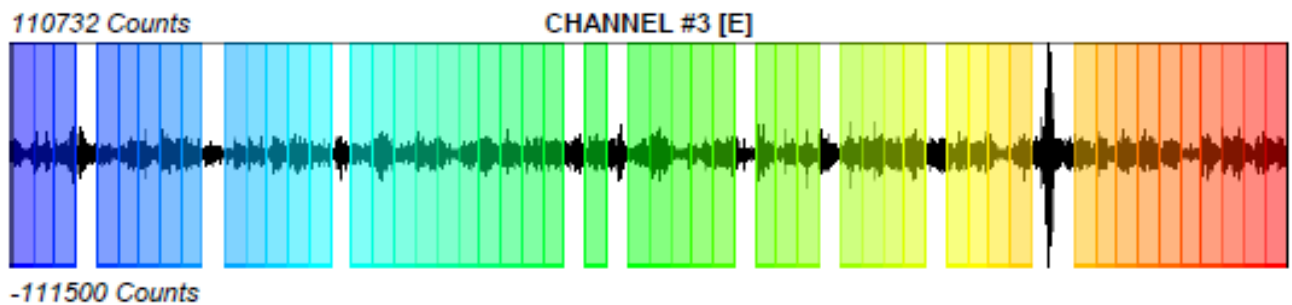
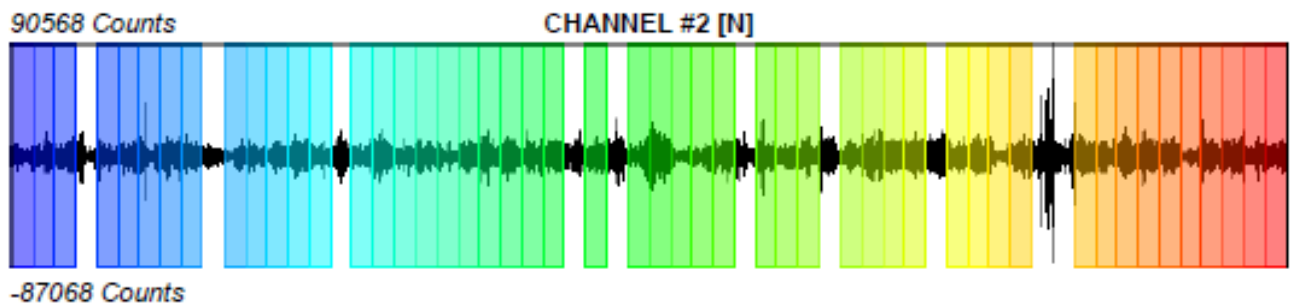
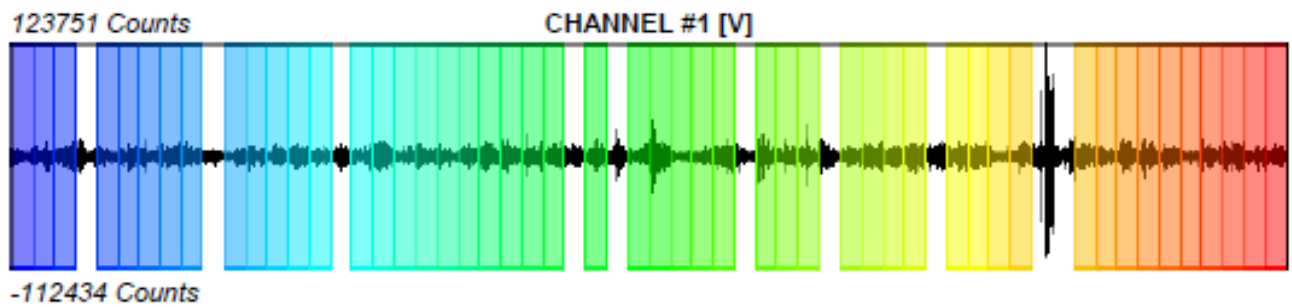
*Recording start time:* 2018/01/30 10:12:03

*Recording length:* 30 min

*Windows count:* 50

*Average windows length:* 30

*Signal coverage:* 83.33%



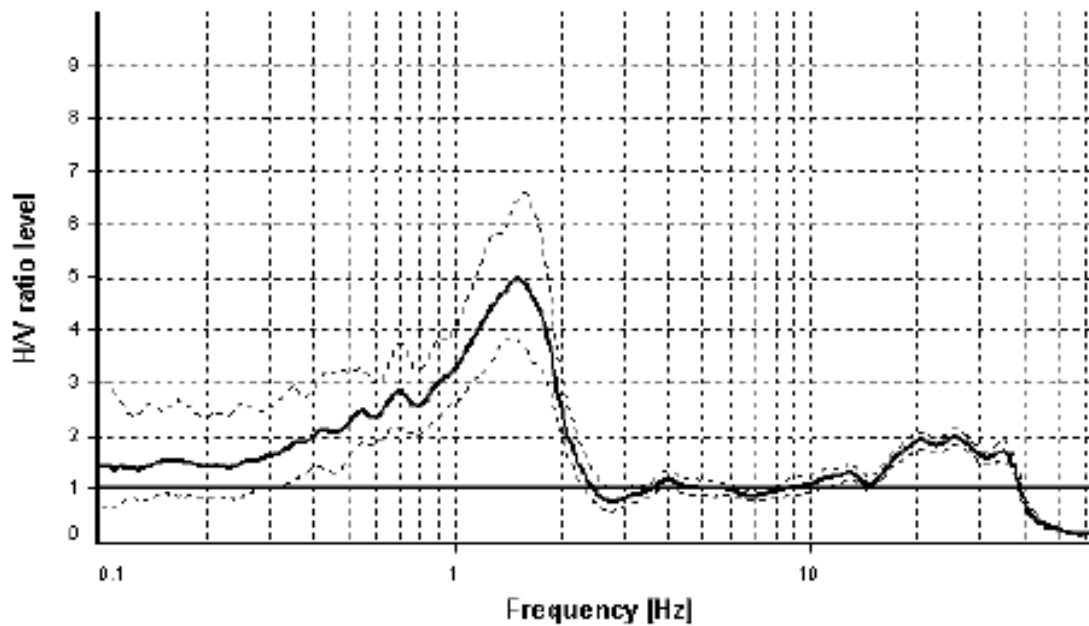
### HVSR ANALYSIS

*Tapering:* Enabled (Bandwidth = 5%)

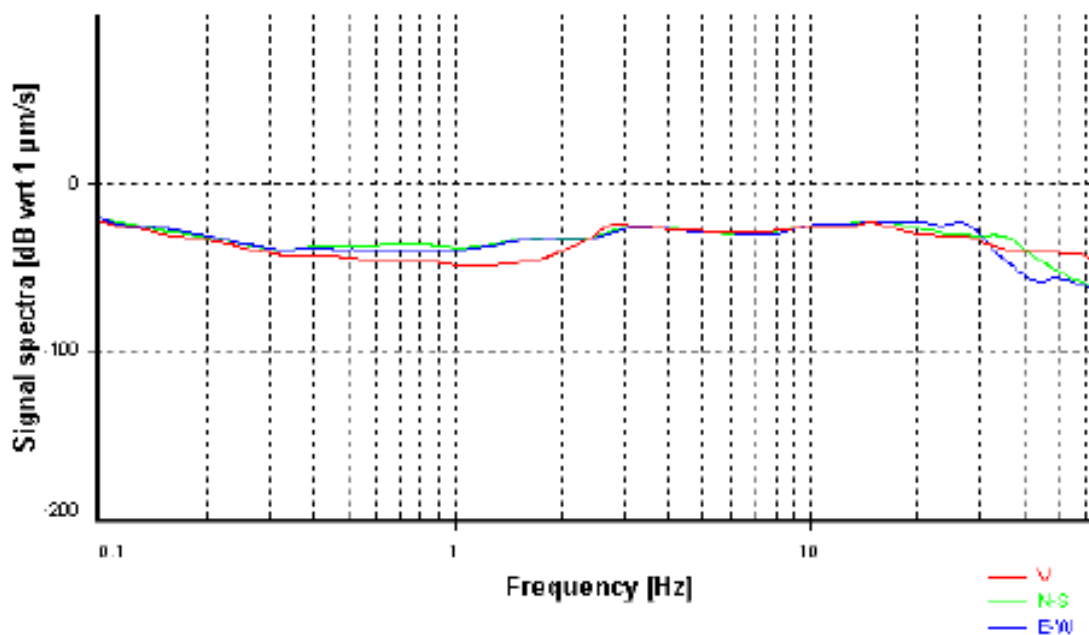
*Smoothing:* Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

*Instrumental correction:* Enabled (Water level = 0.01 Hz)

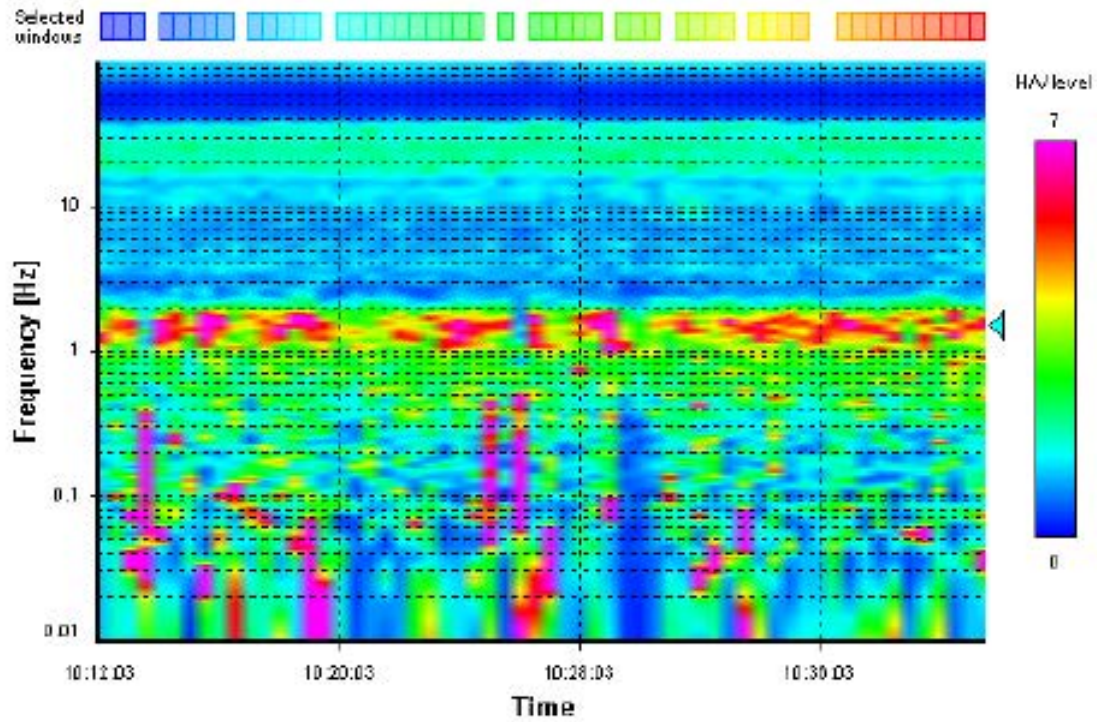
#### HVSR average



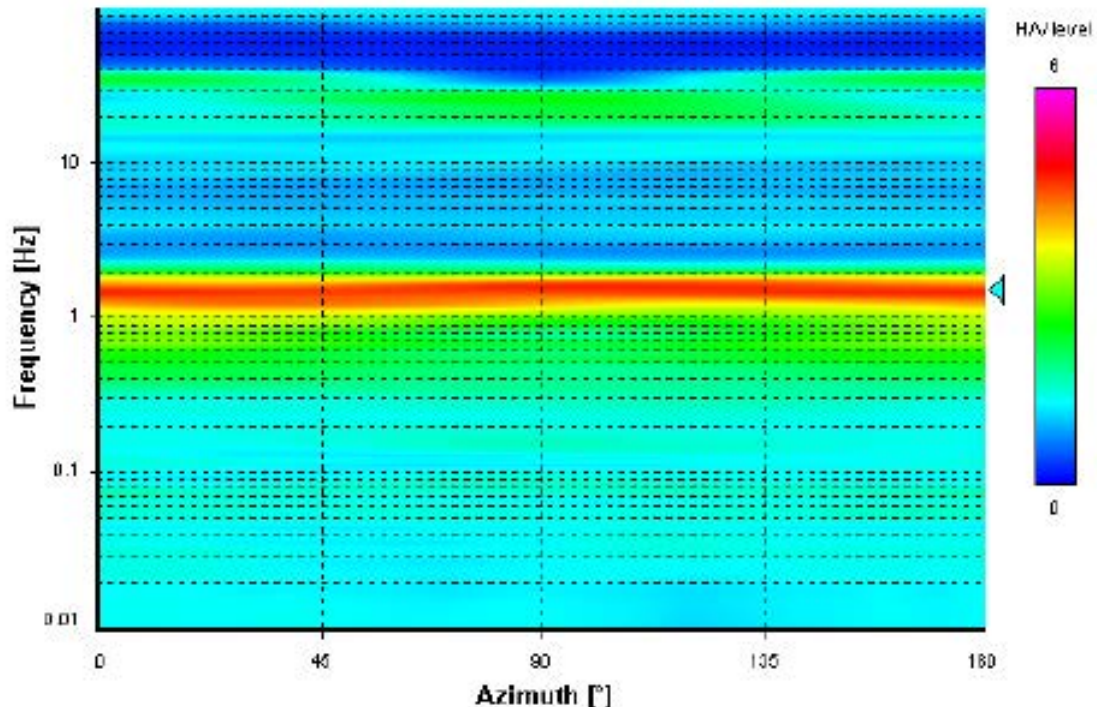
#### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



### HVSR directional analysis



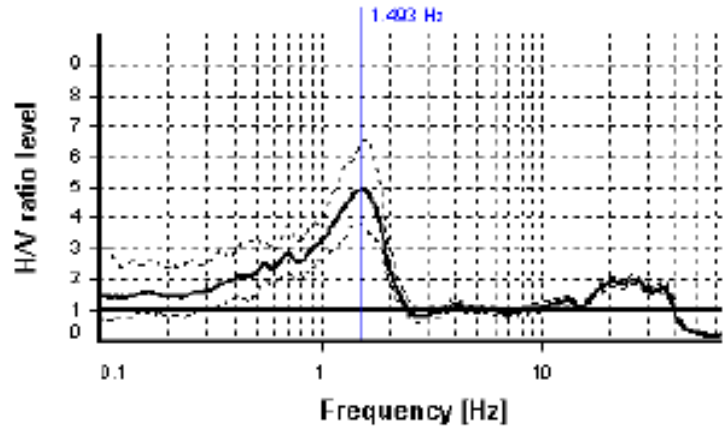
### SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**

**1.493 Hz**

**$A_0$  amplitude = 4.976**

**Average  $f_0 = 1.463 \pm 0.195$**



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	50 valid windows (length > 6.7 s) out of 50	OK
$n_c(f_0) > 200$	2240.09 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0/2$	0.622 Hz	OK
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	2.00587 Hz	OK
$A_0 > 2$	4.98 > 2	OK
$f_{peak}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	4.72% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.1946 >= 0.14934	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.3031 < 1.78	OK
Overall criteria fulfillment		OK

## STATION INFORMATION

*Station code:* Postazione\_1

*Model:* SARA GEOBOX

*Sensor:* SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

*Notes:* -

## PLACE INFORMATION

*Place ID:* Tr15

*Address:* Via Cavalieri - Pappiana

*Latitude:* 43.781622

*Longitude:* 10.413741

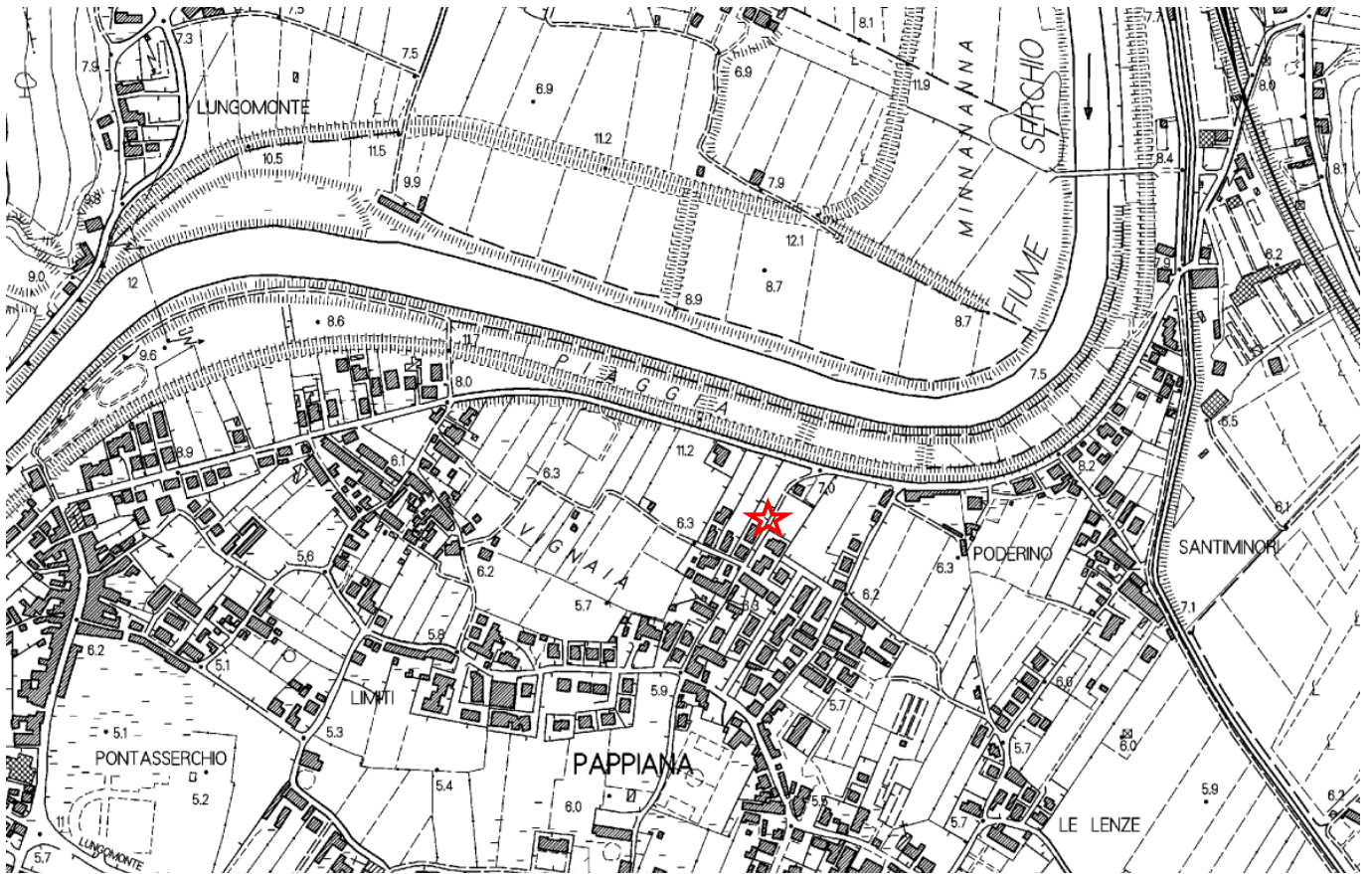
*Coordinate system:* WGS84

*Elevation:* 6.5 m s.l.m.

*Weather:* Cloudy

*Notes:* -





Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273010



## PHOTOGRAPHIC REFERENCES



### SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

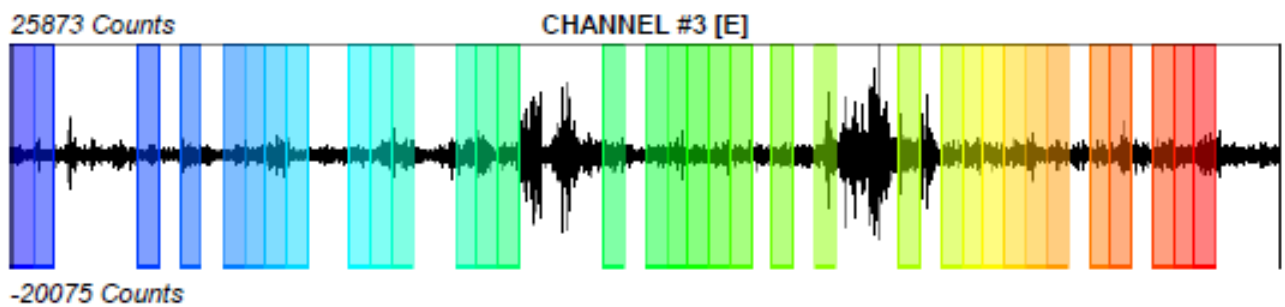
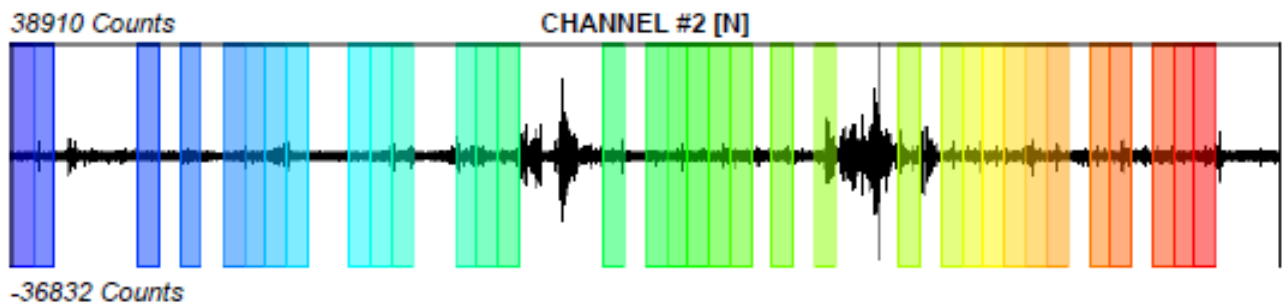
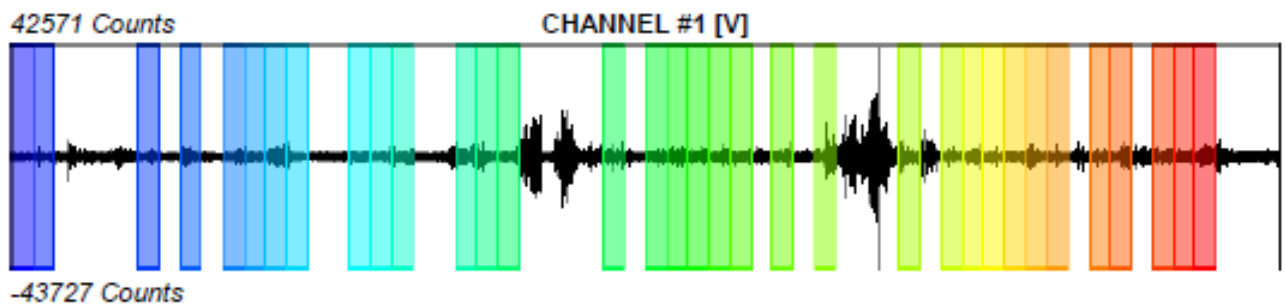
Recording start time: 2018/01/30 09:18:40

Recording length: 30 min

Windows count: 34

Average windows length: 30

Signal coverage: 56.67%



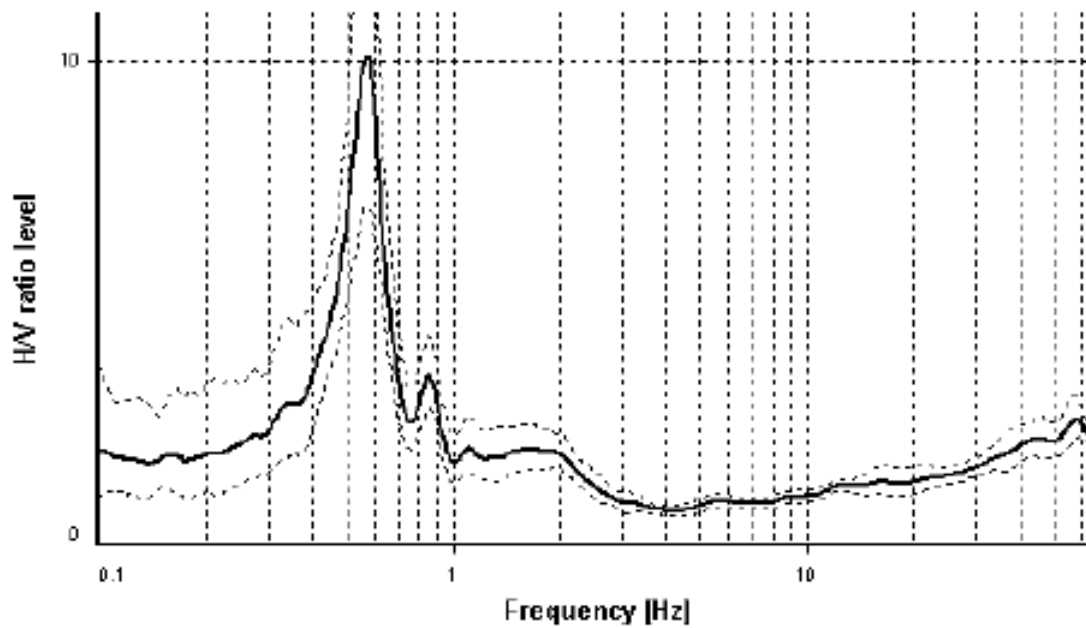
### HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

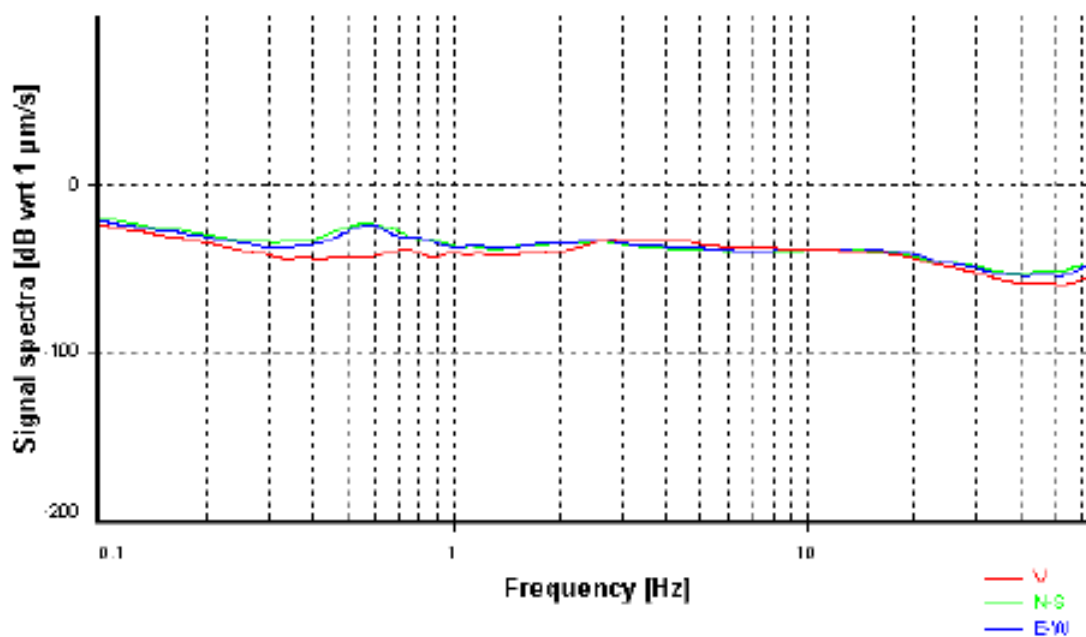
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Enabled (Water level = 0.01 Hz)

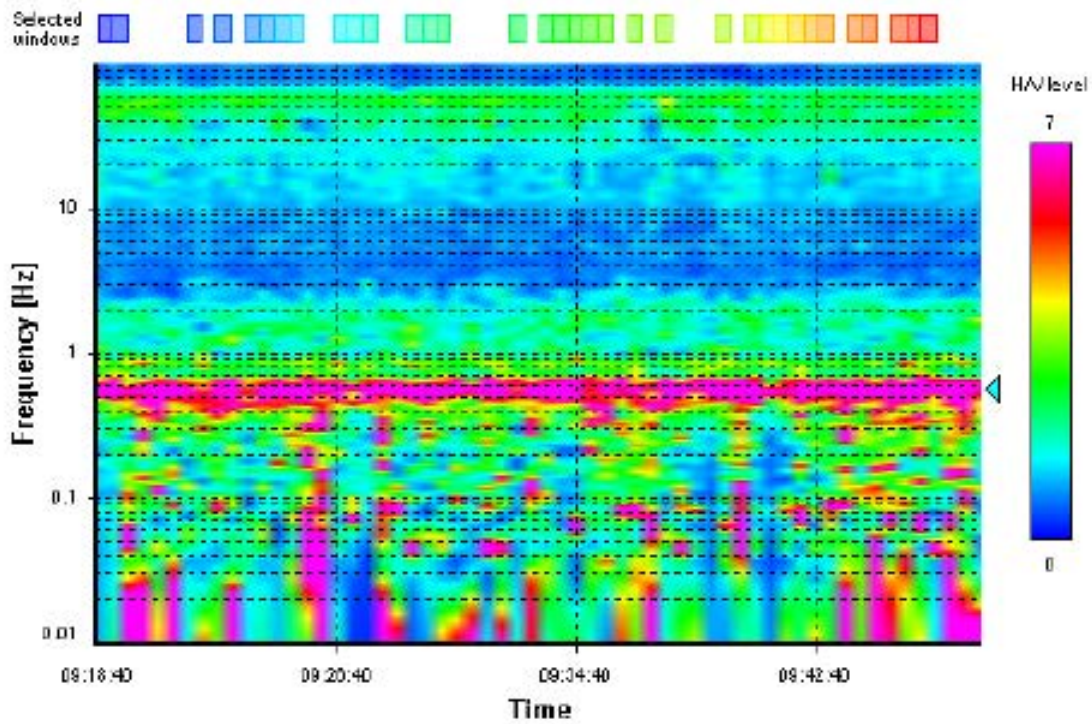
#### HVSR average



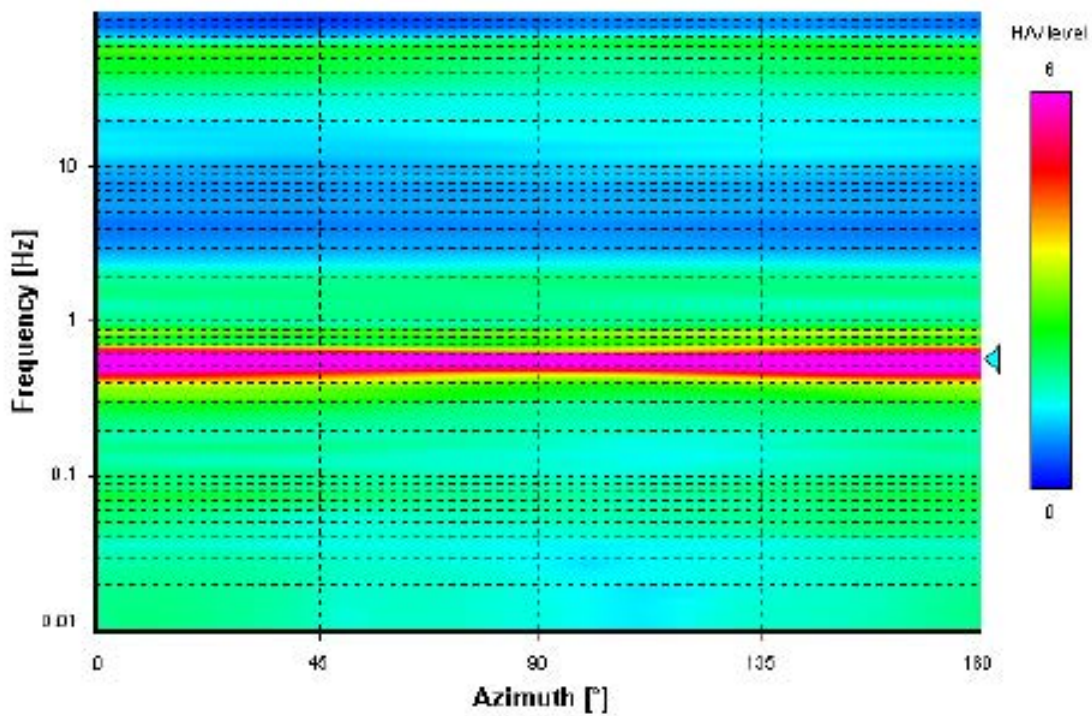
#### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



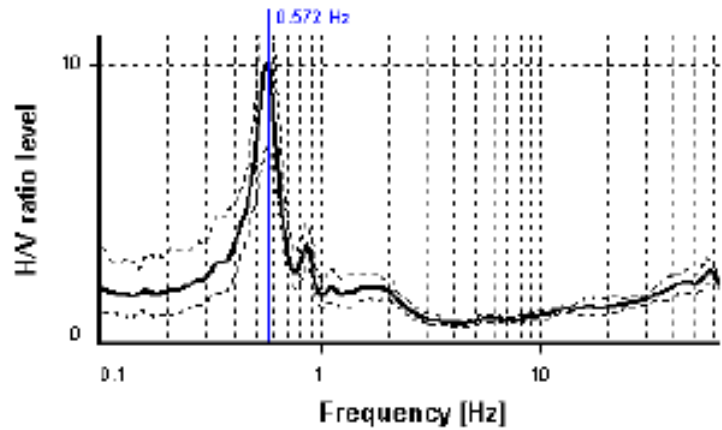
### HVSR directional analysis



### SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**  
**0.572 Hz**

**$A_0$  amplitude = 10.091**  
**Average  $f_0 = 0.557 \pm 0.036$**



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	34 valid windows (length > 17.47 s) out of 34	OK
$n_c(f_0) > 200$	583.93 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0/2$	0.45884 Hz	OK
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	0.65738 Hz	OK
$A_0 > 2$	10.09 > 2	OK
$f_{peak}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.92% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.03591 < 0.08587	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.43999 < 2	OK
Overall criteria fulfillment		OK

## STATION INFORMATION

*Station code:* Postazione\_1

*Model:* SARA GEOBOX

*Sensor:* SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

*Notes:* -

## PLACE INFORMATION

*Place ID:* Tr16

*Address:* Via Don Luigi Sturzo - Molina di Quosa

*Latitude:* 43.795583

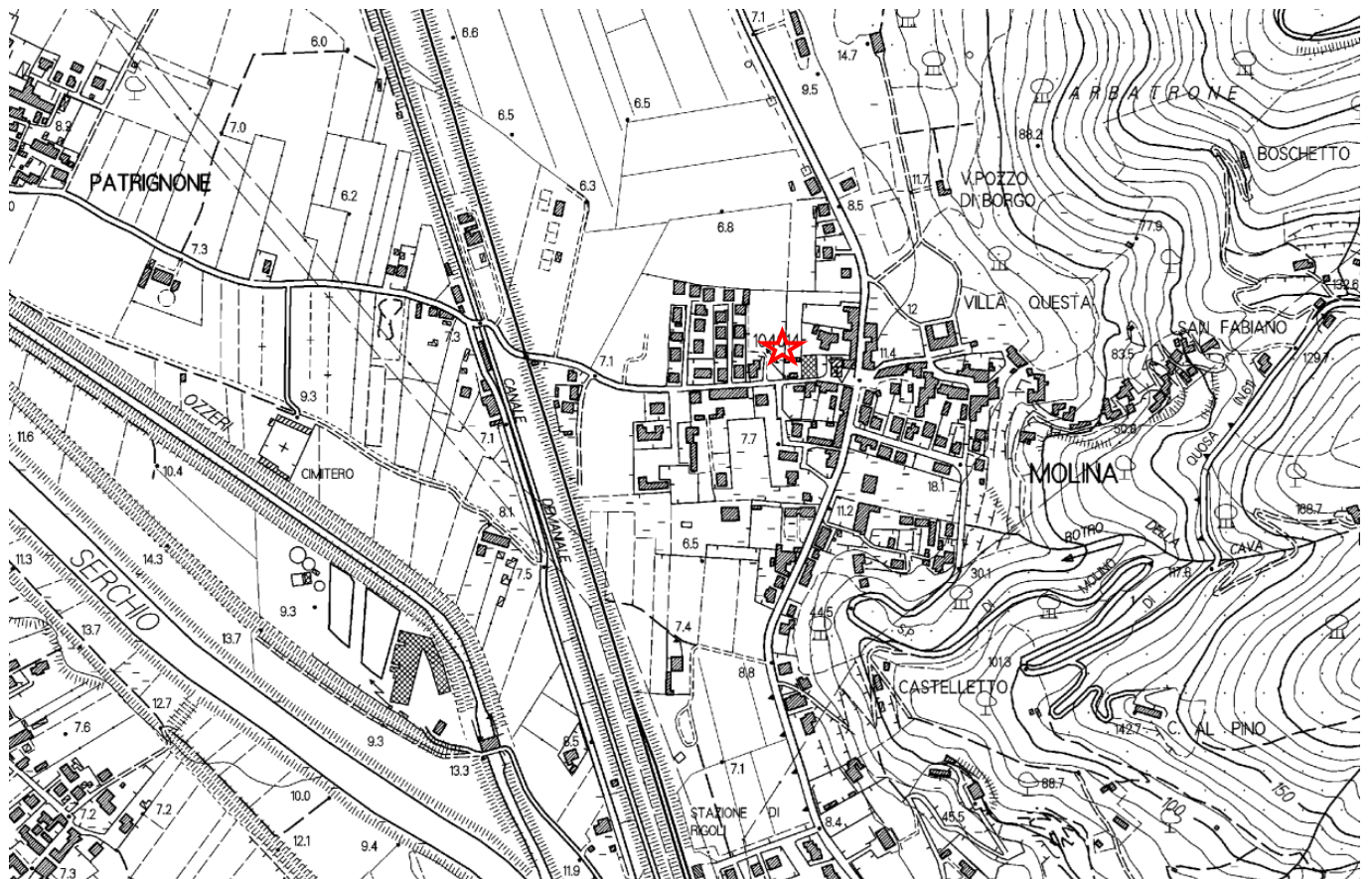
*Longitude:* 10.421233

*Coordinate system:* WGS84

*Elevation:* 6.8 m s.l.m.

*Weather:* Sunny

*Notes:* -



Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273020





## PHOTOGRAPHIC REFERENCES



## SIGNAL AND WINDOWING

*Sampling frequency:* 300 Hz

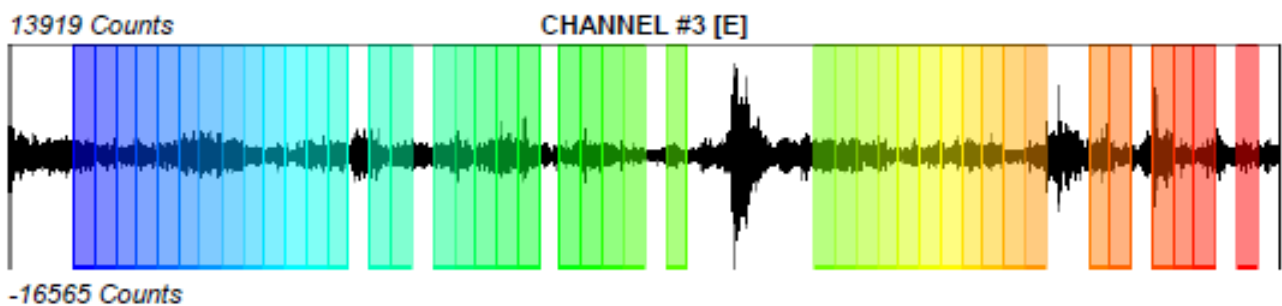
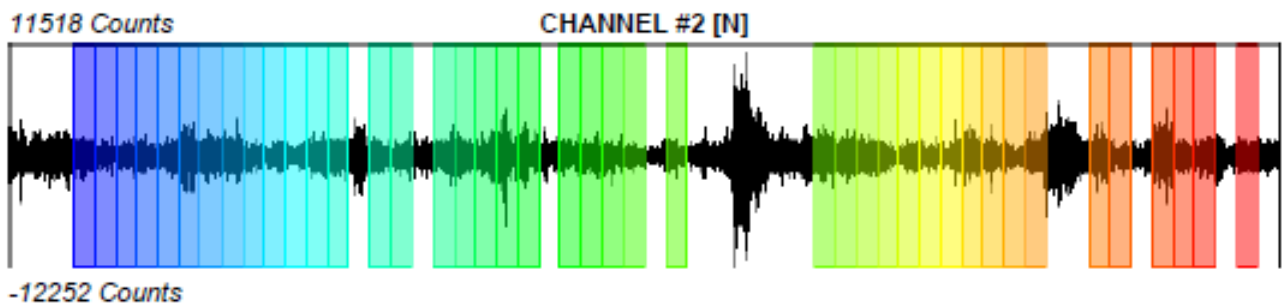
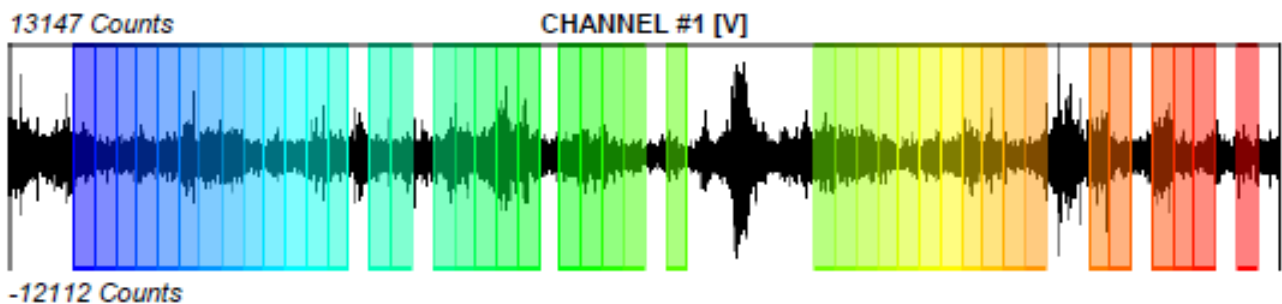
*Recording start time:* 2018/01/29 16:21:11

*Recording length:* 30 min

*Windows count:* 42

*Average windows length:* 30

*Signal coverage:* 70%



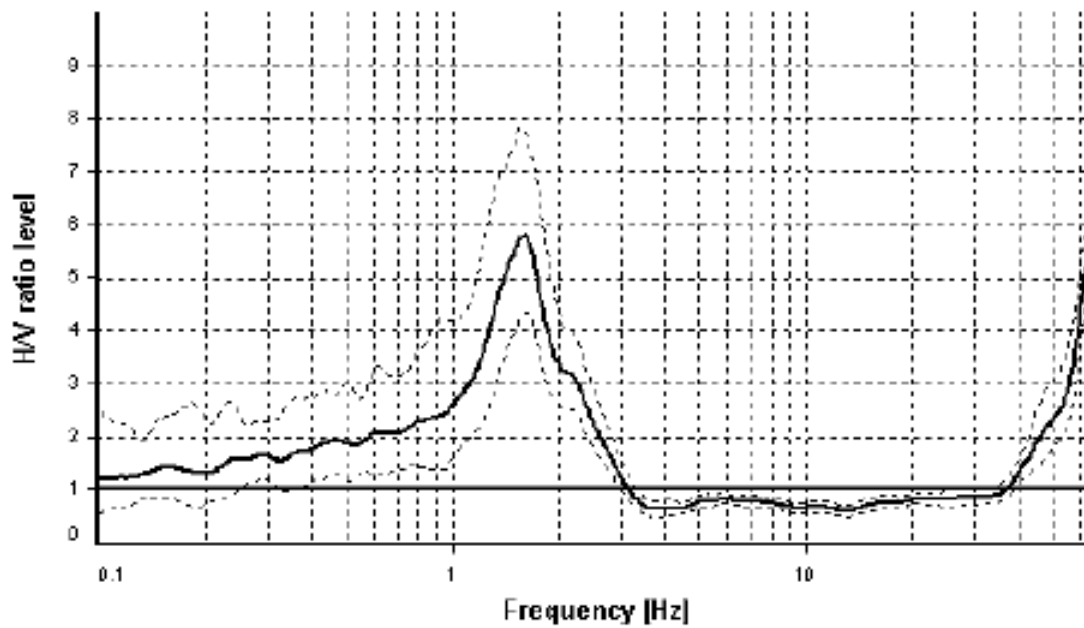
### HVSR ANALYSIS

*Tapering:* Enabled (Bandwidth = 5%)

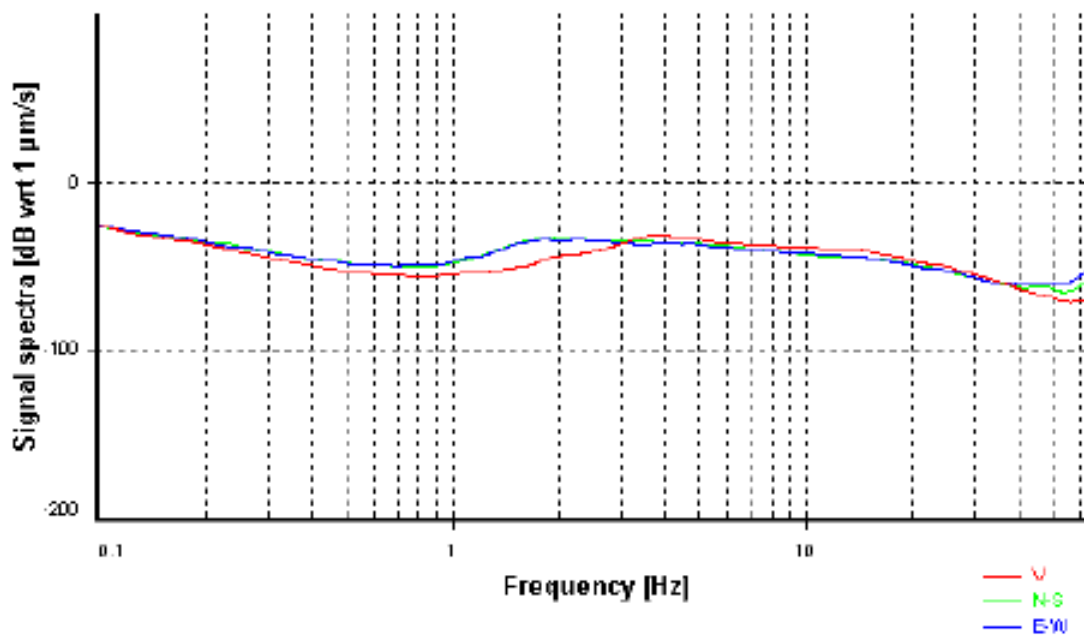
*Smoothing:* Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

*Instrumental correction:* Enabled (Water level = 0.01 Hz)

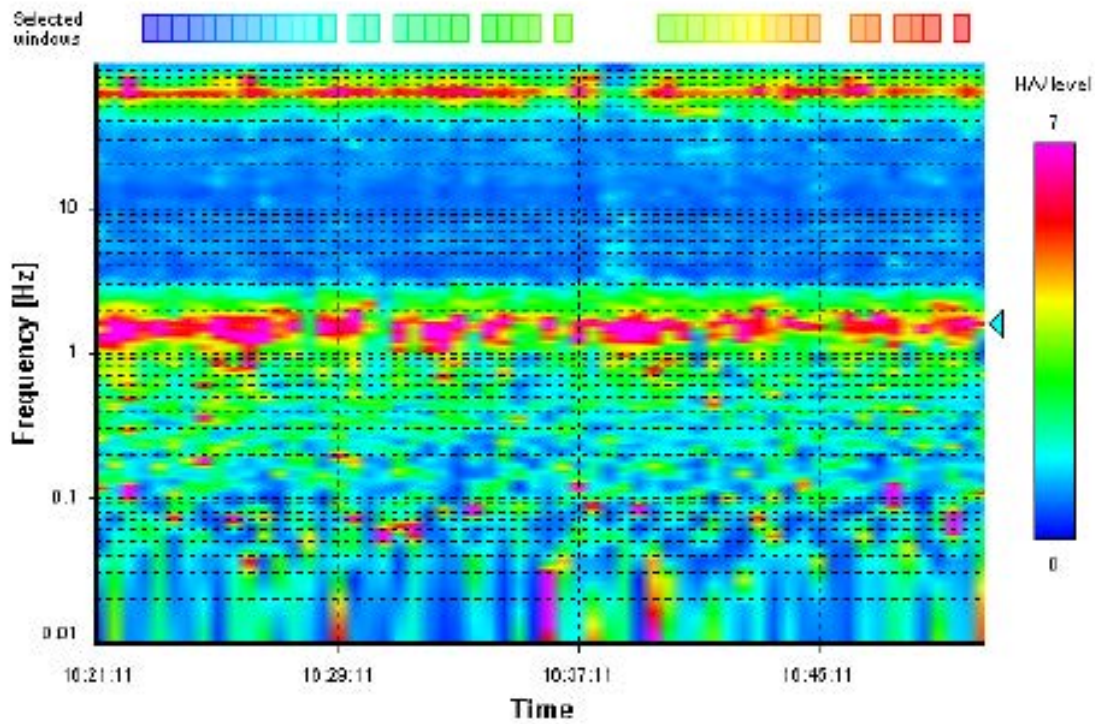
#### HVSR average



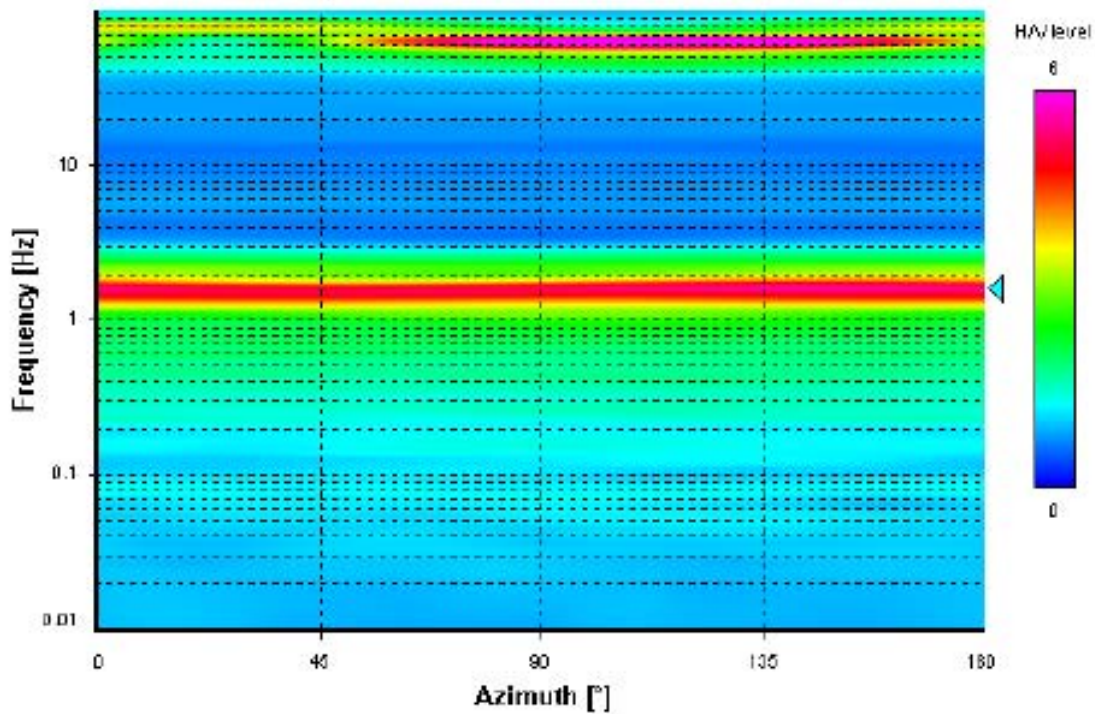
#### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



### HVSR directional analysis



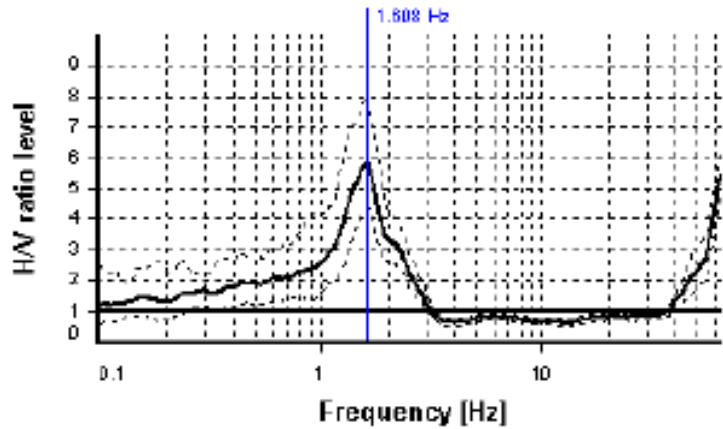
### SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**

1.608 Hz

$A_0$  amplitude = 5.800

Average  $f_0 = 1.584 \pm 0.189$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	42 valid windows (length > 6.22 s) out of 42	OK
$n_c(f_0) > 200$	2025.71 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0/2$	1.08152 Hz	OK
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	2.30336 Hz	OK
$A_0 > 2$	5.8 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	2.73% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.18876 >= 0.16077	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.33441 < 1.78	OK
<b>Overall criteria fulfillment</b>		<b>OK</b>