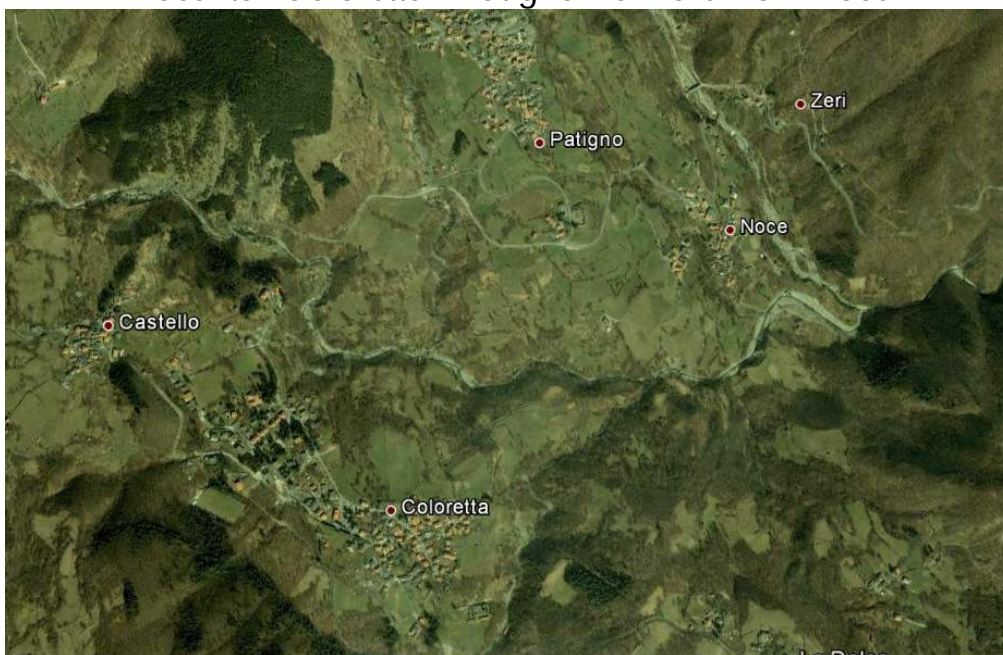


## COMUNE DI ZERI

### STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1

#### PROSPEZIONI GEOFISICHE INDAGINI SISMICHE HVSR DEI RAPPORTI SPETTRALI H/V INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE INONDE P ED SH

Località: Coloretta - Patigno - S. Lorenzo - Noce



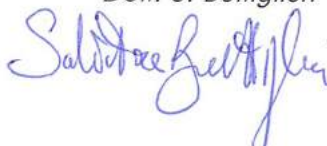
Committente: Dott. Geol. Fabrizio Alvares

### RELAZIONE TECNICA

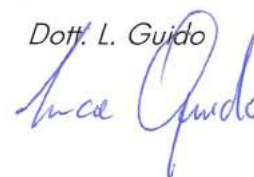
Luglio 2013

S.I.S.M.A. geo  
PROSPEZIONI SISMICHE  
Studio Associato: via Novelli, 5 - 56124 Pisa  
P. IVA: 01961590500

Dott. S. Buttiglieri



Dott. L. Guido



## Indice

1 - PREMESSA.....	2
2 - PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE .....	4
3 - CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	6
4 - PROCEDURA DI CAMPAGNA (RIFRAZIONE IN ONDE P e SH) .....	7
5 - INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI .....	10
6 - ANALISI DEI DATI.....	17
7 - HVRS - DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	22
7.1- <i>Cenni teorici</i> .....	22
7.2 - <i>Tecnica HVSR</i> .....	23
7.3 - <i>Caratteristiche della strumentazione</i> .....	24
8 - PROCEDURA DI ANALISI DEI DATI.....	25
9 - ELABORAZIONE DEI DATI DI MICROTREMORE .....	26

## 1 - PREMESSA

Su incarico del Dott. Geol. F. Alvares e per conto dell'Amministrazione Comunale di Zeri è stata eseguita una campagna geognostica nelle frazioni di Coloretta, Patigno, San Lorenzo e Noce attraverso di n° 2 prospezioni sismiche a rifrazione a mezzo di onde P ed SH e n° 22 misure di rumore sismico a stazione sismica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).

La campagna di indagini geofisiche eseguita è finalizzata alla redazione dello studio di microzonazione sismica (MS) di livello 1 nell'ambito delle indagini geologiche di supporto alla variante generale al Piano Strutturale, come previsto dal DPGR n.53/R del 27 aprile 2007 "Regolamento di Attuazione dell' Art.62 della LR n. 1/2005 in materia di indagini geologiche ", secondo le specifiche contenute Allegato A "DIRETTIVE PER LE INGAGINI GEOLOGICHE" (cfr. §2.B.1, §2.B.7.§2.C.5).

Lo studio e le indagini geofisiche sono state condotte secondo le specifiche tecniche contenute nell' OPCM n. 3907 del 13.11.2010, e in generale, negli Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale ICMS, alle Istruzioni Tecniche del Programma VEL (Valutazione Effetti Locali) della Regione Toscana, nonché alle indicazioni contenute nel Volume di Ingegneria Sismica 2/2011.

Nei capitoli successivi verranno descritte le modalità d'esecuzione delle misure sperimentali e l'interpretazione geofisica delle stesse.

Tali indagini, effettuate nel giugno 2013, sono state svolte secondo il seguente programma:

- esecuzione di n. 2 prospezioni sismiche a rifrazione con onde di compressione P e SH, tramite stendimenti di lunghezza pari a 69 metri (24 canali; distanza intergeofonica 3 m).
- esecuzione di n. 22 misure del rumore con stazione singola (HVSR); determinano in primo luogo, la **frequenza caratteristica di risonanza del sito** (picco H/V principale), al fine di definire l'entità del rapporto H/V per verificare la presenza o meno di una discontinuità stratigrafica tale da determinare un alto contrasto d'impedenza che possa generare il fenomeno dell'amplificazione sismica locale;

Nelle seguenti figure, 1a e 1b, si riporta l'ubicazione delle suddette prospezioni sismiche.



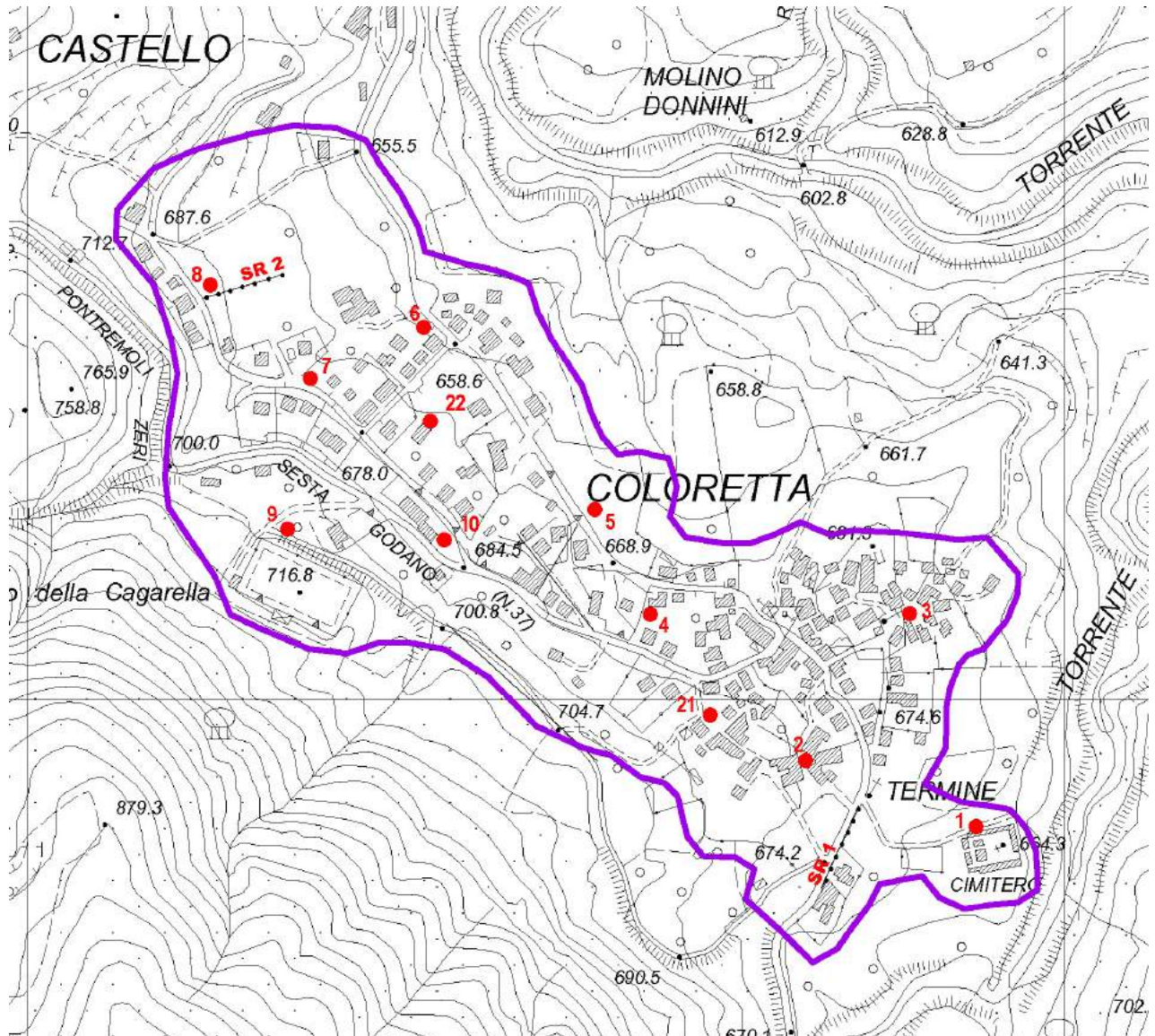


Fig. 1b

## 2 - PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE

Le onde elastiche provocate da una vibrazione si trasmettono nel suolo con velocità differenti per ogni litotipo. Nella prospezione sismica a rifrazione, si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P o "di compressione e dilatazione") o trasversali (onde SH o "di taglio") per determinare spessori e andamento dei livelli presenti.

La prospezione consiste nel generare nel terreno un'onda sismica di compressione, attraverso una determinata sorgente di energia (colpo di mazza o di maglio, esplosivo, ecc.) e nel misurare il tempo

impiegato da questa a compiere il percorso nel sottosuolo, dal punto di energizzazione fino agli apparecchi di ricezione (geofoni), seguendo le leggi di rifrazione (Legge di Snell), cioè considerando le rifrazioni che l'onda stessa subisce in corrispondenza delle superfici di separazione tra due strati sovrapposti aventi densità (ovvero moduli di elasticità) crescenti con la profondità.

L'apparecchiatura necessaria per le prospezioni è costituita da una serie di ricevitori (geofoni) che vengono spazati lungo un determinato allineamento (base sismica) e da un cronografo che registra l'istante di inizio della perturbazione elastica ed i tempi di primo arrivo delle onde a ciascun geofono. Così, osservando i primi arrivi su punti posti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, è possibile costruire una curva tempo-distanza (dromocrona) rappresentante la variazione del minimo percorso in funzione del tempo. Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali ( $V_p$ ) o trasversali ( $V_s$ ) dei mezzi attraversati ed il loro spessore.

La velocità di propagazione delle onde elastiche nel sottosuolo dipende da diversi fattori; in uno stesso tipo di roccia, ad esempio, la velocità può diminuire od aumentare con la profondità in funzione del grado di alterazione e/o fratturazione.

Sensibili variazioni, inoltre, si possono avere nei terreni incoerenti saturi; la velocità delle onde P, infatti, è fortemente influenzata dalla presenza della falda e dal grado di saturazione.

La velocità delle onde compressionali (onde P), diversamente da quelle trasversali (onde S) che non si trasmettono nell'acqua, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e dal grado di saturazione. Questo comporta che anche litotipi differenti possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali (ad esempio roccia fortemente fratturata e materiale detritico saturo con velocità  $V_p$  dell'ordine di  $1400 \div 1700$  m/sec), per cui non necessariamente l'interpretazione sismostratigrafica corrisponderà con la reale situazione geologico-stratigrafica.

Il metodo sismico a rifrazione è soggetto inoltre alle seguenti limitazioni:

- un livello può essere evidenziato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde in esso risulta superiore a quella dei livelli soprastanti (effetto della inversione di velocità);
- un livello di spessore limitato rispetto al passo dei geofoni e alla sua profondità può non risultare rilevabile;
- un livello di velocità intermedia compreso tra uno strato sovrastante a velocità minore ed uno sottostante a velocità sensibilmente maggiore può non risultare rilevabile perché mascherato dagli "arrivi" dallo strato sottostante (effetto dello strato nascosto e "zona oscura");
- aumentando la spaziatura tra i geofoni aumenta la profondità di investigazione, ma può ovviamente ridursi la precisione nella determinazione della profondità dei limiti di passaggio tra i diversi livelli individuati. In presenza di successioni di livelli con velocità (crescenti) di poco differenti tra loro, orizzonti a velocità intermedia con potenza sino anche ad  $1/3$  del passo adottato possono non essere evidenziati. Il limite tra due orizzonti può quindi in realtà passare "attraverso" un terzo intermedio non evidenziabile;
- analogamente, incrementi graduali di velocità con la profondità danno origine a dromocrone che consentono più schemi interpretativi. Il possibile errore può essere più contenuto potendo disporre di sondaggi di taratura e "cercando" sulle dromocrone delle basi sismiche i livelli che abbiano velocità il più possibile simili a quelle ottenute con le tarature.

Per contro i moderni metodi di elaborazione del dato sismico, come il Generalized Reciprocal Method (GRM: PALMER, 2001), consentono di ricostruire la morfologia sepolta di più rifrattori sovrapposti, variamente "accidentati" e con velocità variabili lungo il profilo, anche in presenza di morfologie di superficie non piane: la buona precisione raggiungibile, specie se si dispone di sondaggi di taratura, consente talora di elevare la prospezione sismica da semplice valutazione qualitativa a valido supporto quantitativo dell'indagine geognostica.

### 3 - CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Sono state effettuate n° 2 prospezioni sismiche a rifrazione a 24 geofoni, in onde P ed SH.

Il sistema di acquisizione dati è un sismografo marca M.A.E. srl, modello SYSMATRACK, sistema multicanale (12/24 canali) in grado di registrare su ciascun canale in forma digitale (24 bit) le forme d'onda.



Sismografo

#### Caratteristiche tecniche sismografo:

- Risoluzione: 24 bit	- Alimentazione: power box esterno 12V
- Numero canali: 24	- Valigia in copolimeri di polypropylene
- Campioni per canale : 20.000	- Temperatura di funzionamento da 0 a 60°C
- Campionamento : da 80 a 13.500 c/s	- Interfaccia USB su pannello interno
- Analisi del rumore ambientale pre-acquisizione	- Connettore per cavo sismico 1-12
- Test geofoni automatico	- Connettore per cavo sismico 13-24
- Funzioni Trigger e Pre-Trigger	- Dimensioni: 30 x 22,5 x 13,2 cm.
- Filtri settabili da software	

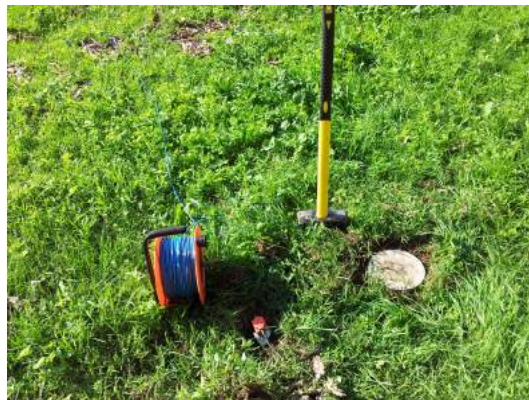
Sul pannello frontale trovano posto i due connettori 24 poli per i cavi sismici da 12 canali ciascuno, il connettore per lo starter, l'alimentazione esterna 12V e l'interfaccia USB per collegare il notebook necessario alla gestione della strumentazione.

Esso è collegato a ciascuno dei trasduttori di velocità al trigger e consente quindi di registrare in forma numerica e visualizzare come tracce su un apposito monitor le vibrazioni a partire dall'impulso inviato dal trigger. Il trigger consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave

colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e la produzione di un impulso che viene inviato a un sensore collegato al sistema di acquisizione dati; in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e parte la sollecitazione dinamica. Come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale a 14Hz.

Come sorgente energizzante per le onde P è stata utilizzata una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico.

Come sorgente energizzante per le onde SH è stata utilizzata una traversina di legno percossa alle estremità da una mazza da 8 kg.



Sistema di energizzazione  
(piattello metallico - mazza battente - geofono trigger/starter)

Per la ricezione delle onde P sono stati utilizzati 24 geofoni verticali Geospace Oyo con frequenza propria di 4,5 Hz.

Per la ricezione delle onde SH sono stati utilizzati 24 geofoni verticali Geospace Oyo con frequenza propria di 10 Hz.

Il risultato finale della fase di acquisizione è costituito da una serie di files in formato SEG-Y.

#### 4 - PROCEDURA DI CAMPAGNA (RIFRAZIONE IN ONDE P e SH)

Al fine di ottenere una migliore risoluzione della sismo-stratigrafia, i punti di energizzazione, detti punti di scoppio (shot points), vengono disposti simmetricamente e reciprocamente lungo lo stendimento: esternamente (offset), centralmente (punti di scoppio centrali) e a distanze variabili entro il profilo stesso.

La profondità di investigazione è, in linea teorica, direttamente correlata alla lunghezza del profilo, alla distanza degli offset e soprattutto al contrasto di velocità dei mezzi attraversati.

I tempi di arrivo delle onde sismiche nel terreno sono funzione della distanza tra i geofoni, delle caratteristiche meccaniche dei litotipi attraversati e della loro profondità.

Nel caso specifico l'indagine è consistita nella realizzazione due stendimenti di sismica a rifrazione, SR1 e SR2 (foto di seguito riportate), di lunghezza di 69 m, lungo i quali sono stati collegati n. 24 geofoni verticali (4,5 Hz) e orizzontali (10 Hz) in serie spazati tra loro, di 3 m.



Per la generazione di onde di compressione P e SH, per ognuno dei due stendimenti, sono stati utilizzati n. 7 punti di energizzazione disposti simmetricamente e reciprocamente lungo lo stendimento secondo quanto segue:

### **SR1 – SR2**

- 2 end-shot posti a 1,5 m dai geofoni esterni G1 e G24
- 4 intermedi posti rispettivamente tra i geofoni G4 e G5; G8 e G9; G16 e G17; G20 e G21
- 1 centrale tra i geofoni G12 e G13

L'interpretazione dei segnali rilevati e la conseguente stima del profilo di velocità delle onde P e Sh si è articolata nelle seguenti fasi fondamentali:

- Individuazione del primo arrivo delle onde P attraverso l'osservazione dei vari sismogrammi e l'operazione di *Picking* (Allegato A).
- Ricostruzione delle dromocrone in P e in onde SH e scelta del modello di sottosuolo utilizzato nell'interpretazione (Figg. 2a, 2b, 2c e 2d).
- Linearizzazione delle dromocrone e calcolo delle velocità di propagazione delle onde elastiche analizzate e dei relativi tempi di intercetta.
- Ricostruzione (attraverso il software "*Intersism*" della *Geo&Soft International*) della sezione sismostratigrafica (Figg. 3 e 4) ottenuta, al di sotto della superficie topografica: l'involuppo dei cerchi rappresenta l'interfaccia tra uno strato ed un altro. I metodi di interpretazione in sismica a rifrazione forniscono, infatti, gli spessori degli strati valutando la distanza minima tra i sensori ed il rifrattore sulla perpendicolare allo strato e non sulla sua verticale; di conseguenza la superficie rifrangente, al di sotto di ogni dato punto, può giacere ovunque su di un cerchio centrato in quel punto e con raggio uguale allo spessore dello strato. Ciò è quanto riportato nelle sezioni al di sotto della superficie topografica. L'involuppo dato da questi cerchi è una buona approssimazione della forma e posizione del rifrattore.



Sismica a rifrazione in onde P e SH: stendimento geofoni SR1



Sismica a rifrazione in onde P e SH: stendimento geofoni SR2

Sulla base di valutazioni incrociate sull'attendibilità dei risultati ottenuti dalle ricostruzioni sismiche è possibile scegliere il modello ritenuto più conforme alla situazione lito-stratigrafica presente nell'area

e di cui è sempre preferibile avere a disposizione informazioni dirette di tipo geologico, geotecnico e/o idrogeologico.

Si ricorda infine che i modelli ottenuti sono utilizzabili ai fini di valutazioni semiquantitative della risposta sismica locale, ricordando che per approssimare il più possibile gli andamenti dei rifrattori individuati con quelli reali sarebbe necessario eseguire più stendimenti disposti tra loro ortogonalmente.

## 5 - INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

Di seguito si riportano i parametri di configurazione dello stendimento e il tempo dei primi arrivi individuati su ciascun ricevitore per ogni punto di scoppio.

### ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE : Stendimento SR1 (ONDE P)

POSIZIONE DEGLI SPARI

Ascissa [m]	Quota [m]
0.00	673.90
11.50	674.25
23.50	674.87
35.50	675.20
47.50	675.22
59.50	675.24
72.00	675.12

TEMPI DI PROPAGAZIONE: POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da 0 [ms]	FBP da 11.5 [ms]	FBP da 23.5 [ms]	FBP da 35.5 [ms]	FBP da 47.5 [ms]	FBP da 59.5 [ms]	FBP da 71.5 [ms]
1	1.50	673.94	0.70	10.90	22.40	32.00	36.80	45.90	54.40
2	4.50	673.99	2.90	9.70	21.10	30.30	35.60	44.70	53.20
3	7.50	674.03	5.50	7.20	19.30	29.00	35.00	42.90	50.50
4	10.50	674.16	12.10	1.20	15.70	27.80	33.80	41.10	49.30
5	13.50	674.31	14.80	0.40	12.70	26.60	32.00	39.30	48.20
6	16.50	674.48	17.50	5.10	9.10	23.60	31.40	37.50	46.20
7	19.50	674.64	21.30	8.10	4.30	19.90	30.80	35.60	44.80
8	22.50	674.81	22.80	10.90	0.40	17.50	27.80	33.80	43.00
9	25.50	674.93	24.70	14.50	1.90	15.70	24.80	31.40	40.30
10	28.50	675.02	26.00	20.00	3.10	12.70	21.70	29.00	37.80
11	31.50	675.11	28.90	21.70	9.50	9.60	18.10	27.80	36.20
12	34.50	675.20	30.80	22.90	15.90	1.10	16.30	26.00	33.80
13	37.50	675.21	33.90	24.80	18.40	1.10	11.50	23.60	31.30
14	40.50	675.21	35.60	29.60	20.50	10.30	6.00	21.70	29.10
15	43.50	675.22	37.50	32.00	22.70	13.10	3.60	19.30	26.50
16	46.50	675.22	39.90	34.40	24.00	16.40	0.40	15.10	23.60
17	49.50	675.22	40.30	35.60	28.40	21.30	0.70	10.90	20.50
18	52.50	675.23	41.70	36.80	30.20	23.60	7.20	6.70	18.50
19	55.50	675.23	43.70	38.10	32.00	25.50	12.10	2.00	15.80
20	58.50	675.23	45.30	39.90	33.20	27.90	15.50	0.90	13.30
21	61.50	675.24	47.30	41.10	33.90	28.40	18.80	1.90	10.60
22	64.50	675.22	48.90	41.70	36.10	29.00	20.00	3.60	4.30
23	67.50	675.25	51.30	42.90	38.10	29.60	21.10	4.80	3.90
24	70.50	675.17	52.50	44.10	39.50	30.20	23.00	5.40	2.40

### ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE : Stendimento SR1 (ONDE SH)

POSIZIONE DEGLI SPARI

Ascissa [m]	Quota [m]
0.00	673.90
11.50	674.25
23.50	674.87
35.50	675.20
47.50	675.22
59.50	675.24
72.00	675.12

TEMPI DI PROPAGAZIONE: POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da 0 [ms]	FBP da 11.5 [ms]	FBP da 23.5 [ms]	FBP da 35.5 [ms]	FBP da 47.5 [ms]	FBP da 59.5 [ms]	FBP da 71.5 [ms]
1	1.50	673.94	6.70	14.50	36.20	67.70	122.00	159.50	207.20
2	4.50	673.99	9.10	10.90	34.40	64.00	119.60	157.70	200.50
3	7.50	674.03	12.10	9.70	28.40	61.60	116.60	154.70	198.80
4	10.50	674.16	19.30	3.60	21.10	59.80	110.60	150.40	190.90
5	13.50	674.31	27.20	3.10	11.50	51.30	102.70	144.90	187.90
6	16.50	674.48	35.60	3.60	8.50	44.70	95.50	134.70	184.30
7	19.50	674.64	44.10	9.70	6.00	40.50	85.80	125.60	177.10
8	22.50	674.81	54.40	24.20	3.10	34.40	79.70	117.90	172.10
9	25.50	674.93	68.90	36.20	3.10	27.80	69.50	110.00	164.90
10	28.50	675.02	77.90	45.30	7.20	18.70	56.20	99.70	160.10
11	31.50	675.11	88.80	52.00	13.90	9.10	45.90	89.40	150.40
12	34.50	675.20	99.10	58.00	27.20	3.60	36.90	81.60	140.80
13	37.50	675.21	106.30	67.70	37.50	1.80	24.80	70.70	132.30
14	40.50	675.21	114.80	73.10	52.00	7.90	17.50	59.80	121.50
15	43.50	675.22	123.90	88.20	60.40	18.10	10.30	39.90	107.60
16	46.50	675.22	132.30	96.10	72.50	27.80	4.30	27.20	87.60
17	49.50	675.22	142.00	102.70	85.20	38.10	3.10	16.90	72.50
18	52.50	675.23	149.90	106.90	95.50	46.50	12.10	9.60	59.20
19	55.50	675.23	155.20	116.60	102.70	55.60	18.10	5.50	42.30
20	58.50	675.23	160.10	124.50	108.70	64.60	27.20	2.40	33.20
21	61.50	675.24	168.50	126.90	113.00	76.10	35.00	4.80	24.20
22	64.50	675.22	174.50	132.90	116.00	82.80	42.90	7.90	16.30
23	67.50	675.25	184.80	140.20	117.80	84.00	44.70	15.70	7.90
24	70.50	675.17	193.30	143.80	120.20	87.60	47.10	16.90	3.60

### ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE : Stendimento SR2 (ONDE P)

POSIZIONE DEGLI SPARI

Ascissa [m]	Quota [m]
0.00	690.10
11.50	688.70
23.50	687.20
35.50	685.75
47.50	684.30
59.50	682.90
72.00	681.45

TEMPI DI PROPAGAZIONE: POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da 0 [ms]	FBP da 11.5 [ms]	FBP da 23.5 [ms]	FBP da 35.5 [ms]	FBP da 47.5 [ms]	FBP da 59.5 [ms]	FBP da 71.5 [ms]
1	1.50	689.92	3.20	13.90	22.40	28.40	38.10	43.50	47.10
2	4.50	689.68	7.30	12.70	20.50	27.90	36.20	42.30	45.90
3	7.50	689.21	12.10	7.90	19.30	27.20	34.40	41.70	45.30
4	10.50	688.86	14.50	1.10	18.70	26.00	33.20	41.10	44.70

5	13.50	688.50	18.10	3.10	18.10	24.30	32.60	39.30	44.10
6	16.50	688.14	21.10	11.60	16.30	23.60	30.80	37.50	43.50
7	19.50	687.78	22.90	16.90	12.70	23.10	29.60	36.90	42.30
8	22.50	687.42	25.30	18.70	4.30	18.10	29.00	34.90	41.70
9	25.50	687.06	27.20	19.70	4.30	16.30	28.40	32.70	41.10
10	28.50	686.70	28.40	22.90	10.30	10.90	27.50	31.70	38.70
11	31.50	686.34	30.80	24.10	16.30	6.00	24.80	29.60	36.30
12	34.50	685.98	32.70	26.00	19.30	2.10	21.10	28.50	34.40
13	37.50	685.61	33.90	27.20	22.40	3.10	19.10	25.40	33.20
14	40.50	685.25	35.60	29.60	24.30	6.70	14.80	24.30	28.90
15	43.50	684.89	38.10	31.40	27.50	11.50	9.50	22.40	27.70
16	46.50	684.53	38.70	32.60	28.50	16.30	3.20	21.10	26.50
17	49.50	684.17	39.90	34.40	29.00	20.50	3.20	20.50	25.30
18	52.50	683.81	41.10	35.60	30.20	22.90	8.40	15.70	24.10
19	55.50	683.45	41.70	36.20	32.60	26.00	15.10	9.50	22.90
20	58.50	683.09	42.90	37.50	33.80	27.20	19.90	2.40	21.20
21	61.50	682.73	43.50	38.70	35.00	28.90	22.30	2.40	20.00
22	64.50	682.37	44.70	39.90	36.90	30.80	25.50	10.20	17.50
23	67.50	682.01	45.90	41.10	38.70	33.20	26.40	13.30	11.50

### ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE : Stendimento SR2 (ONDE SH)

#### POSIZIONE DEGLI SPARI

Ascissa [m]	Quota [m]
0.00	690.10
11.50	688.70
23.50	687.20
35.50	685.75
47.50	684.30
59.50	682.90
72.00	681.45

#### TEMPI DI PROPAGAZIONE: POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da 0 [ms]	FBP da 11.5 [ms]	FBP da 23.5 [ms]	FBP da 35.5 [ms]	FBP da 47.5 [ms]	FBP da 59.5 [ms]	FBP da 71.5 [ms]
1	1.50	689.92	10.30	21.10	65.80	98.50	129.30	155.90	188.50
2	4.50	689.68	19.30	18.10	58.60	91.80	120.80	152.80	183.10
3	7.50	689.21	26.00	12.70	53.80	84.60	115.40	148.00	176.40
4	10.50	688.86	42.30	5.50	47.70	79.70	109.30	143.20	169.20
5	13.50	688.50	48.30	3.10	45.30	71.90	101.50	135.30	165.50
6	16.50	688.14	58.00	12.70	30.80	60.40	95.50	128.10	158.30
7	19.50	687.78	73.10	27.20	18.70	54.40	88.20	121.50	153.50
8	22.50	687.42	75.50	40.50	9.70	44.10	81.60	111.20	144.90
9	25.50	687.06	81.60	52.00	4.80	35.00	68.90	103.90	141.30
10	28.50	686.70	95.50	61.60	10.90	19.30	56.10	94.80	134.10
11	31.50	686.34	107.60	72.50	16.30	9.10	45.90	84.00	120.20
12	34.50	685.98	120.80	83.30	24.30	2.40	39.30	77.90	107.60
13	37.50	685.61	129.90	92.40	32.00	3.10	35.10	65.20	100.30
14	40.50	685.25	142.00	99.70	38.10	4.80	22.90	54.90	94.30
15	43.50	684.89	151.10	111.20	50.70	14.50	9.70	48.90	84.60
16	46.50	684.53	157.70	119.60	58.70	21.70	0.70	39.30	71.90
17	49.50	684.17	162.50	129.30	74.30	32.00	2.40	36.30	68.30
18	52.50	683.81	166.10	135.30	82.20	35.10	10.90	25.50	64.70
19	55.50	683.45	170.90	142.60	89.40	39.30	16.30	13.90	61.60
20	58.50	683.09	174.00	146.20	94.80	52.60	24.80	3.10	56.80
21	61.50	682.73	181.20	150.40	99.10	62.20	34.40	3.10	52.60
22	64.50	682.37	188.50	154.10	104.50	67.70	42.90	10.90	32.60
23	67.50	682.01	192.70	157.70	108.10	71.30	45.90	15.10	21.70
24	70.50	681.65	198.20	161.90	113.00	76.10	48.90	18.10	9.60

Riportando su un grafico spazio-tempo i tempi di arrivo rilevati in corrispondenza di ciascun geofono si ottiene il cosiddetto *grafico delle dromocrone* (Figg. 2a e 2b).

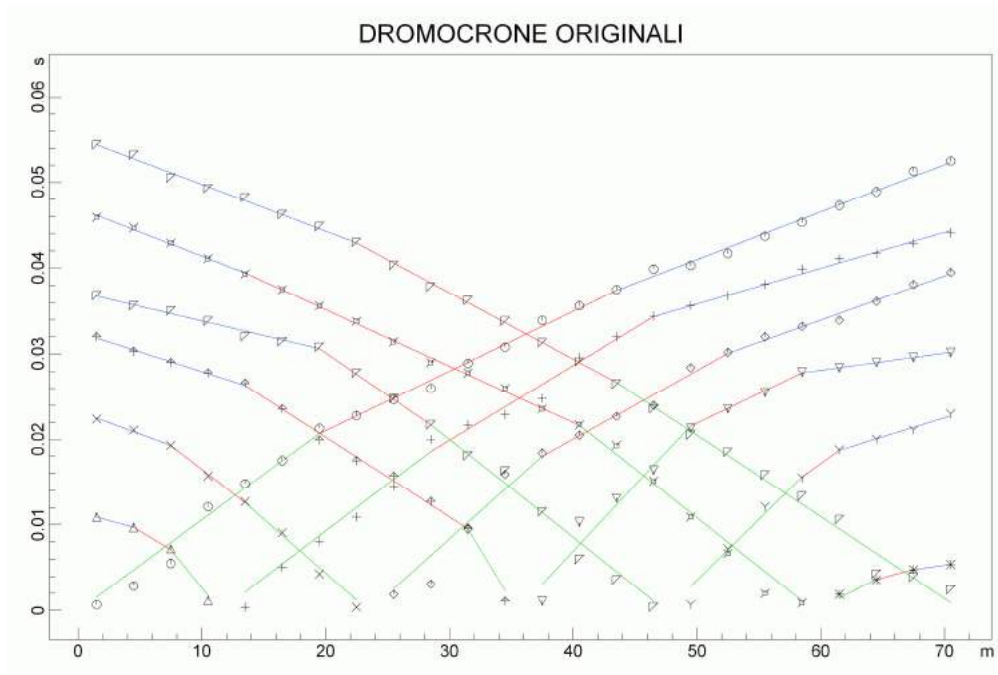


Fig. 2a - Dromocrone onde P (Stendimento SR1)

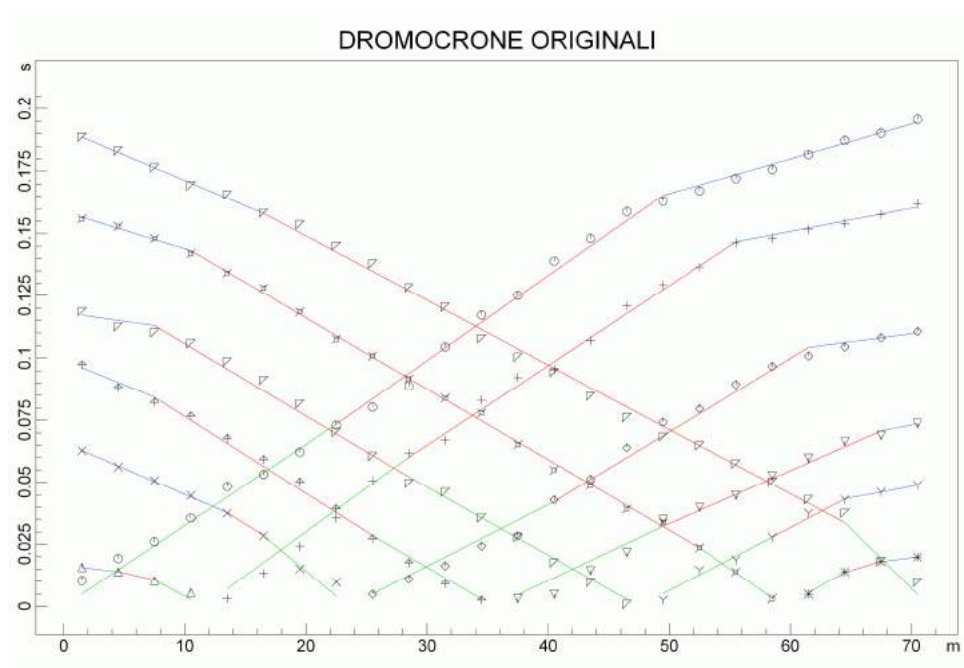


Fig. 2b - Dromocrone onde SH (Stendimento SR1)

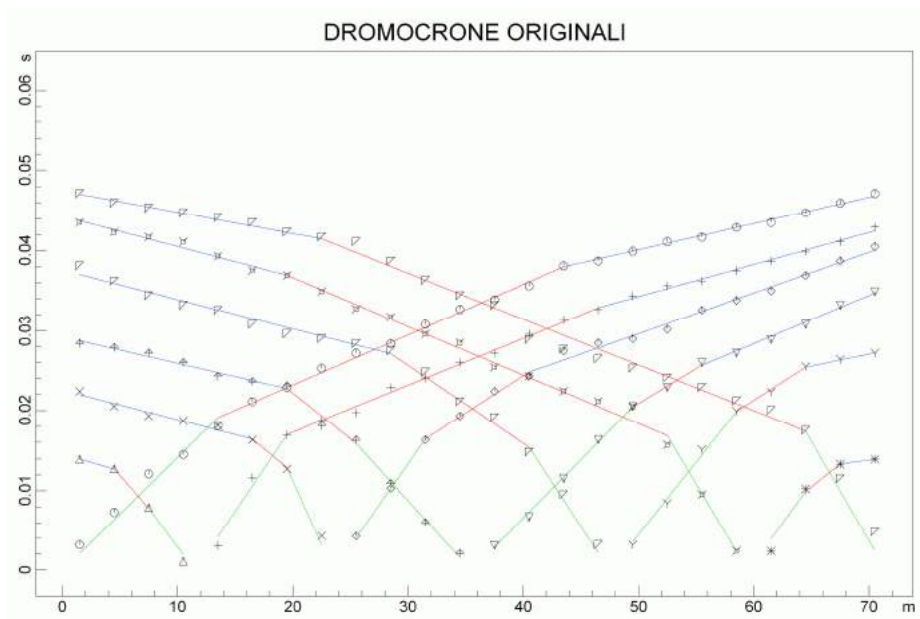


Fig. 2c – Dromocrone onde P (Stendimento SR2)

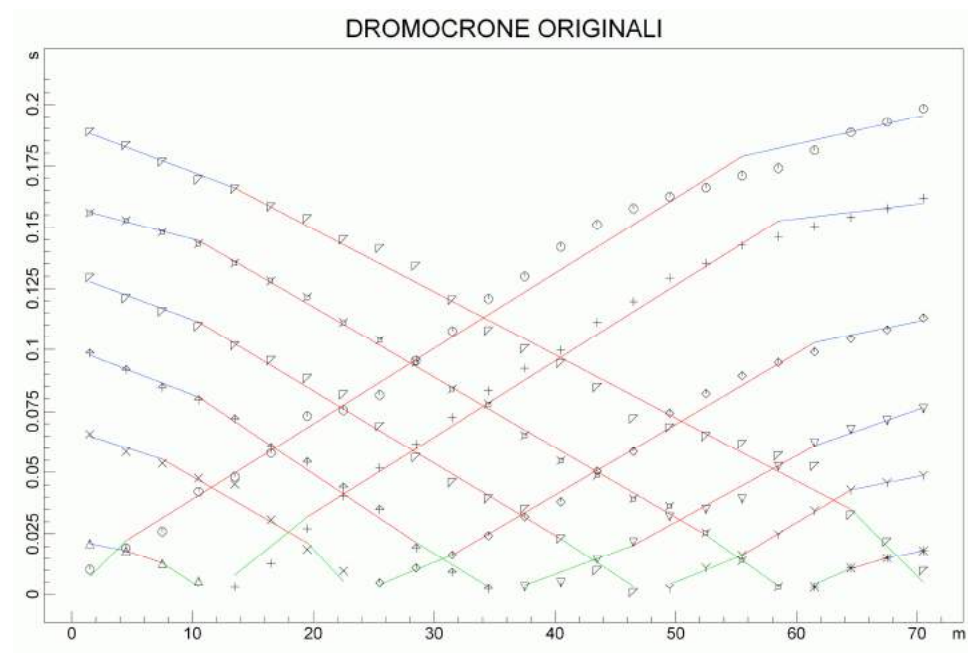


Fig. 2d – Dromocrone onde P (Stendimento SR2)

L'interpretazione delle dromocrone, nel nostro caso elaborata attraverso il software *Intersism*, ha permesso di individuare, al di sotto di ciascun punto di scoppio (shot), le profondità dei rifrattori presenti e di ricostruire la sezione sismostratigrafica interpretativa del sottosuolo, così come riportato nelle Figg. 3a-3b e 4a-4b di pagina seguente.

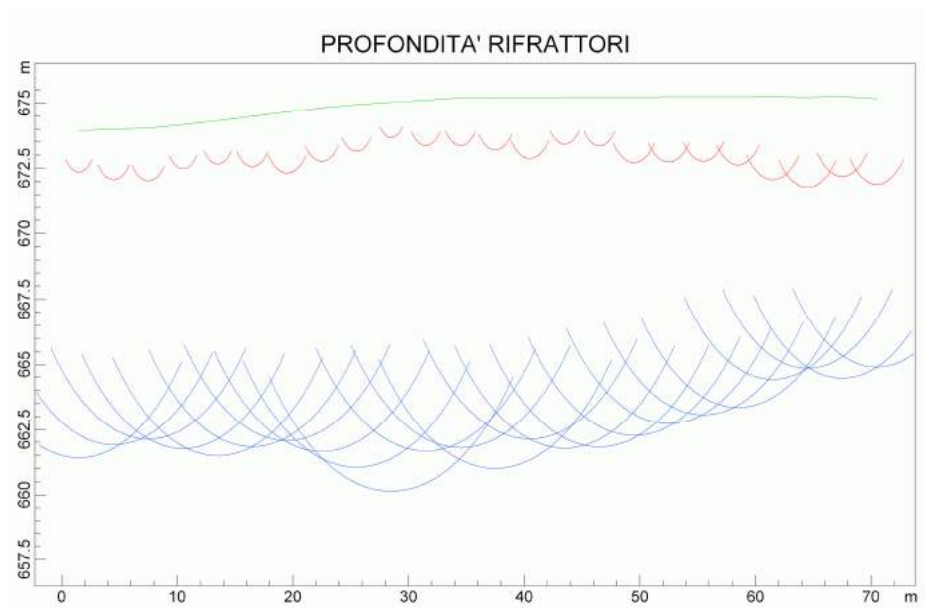


Fig. 3a - L'involuppo dei cerchi rappresenta una buona approssimazione della forma e posizione del rifrattore (Stendimento SR1)

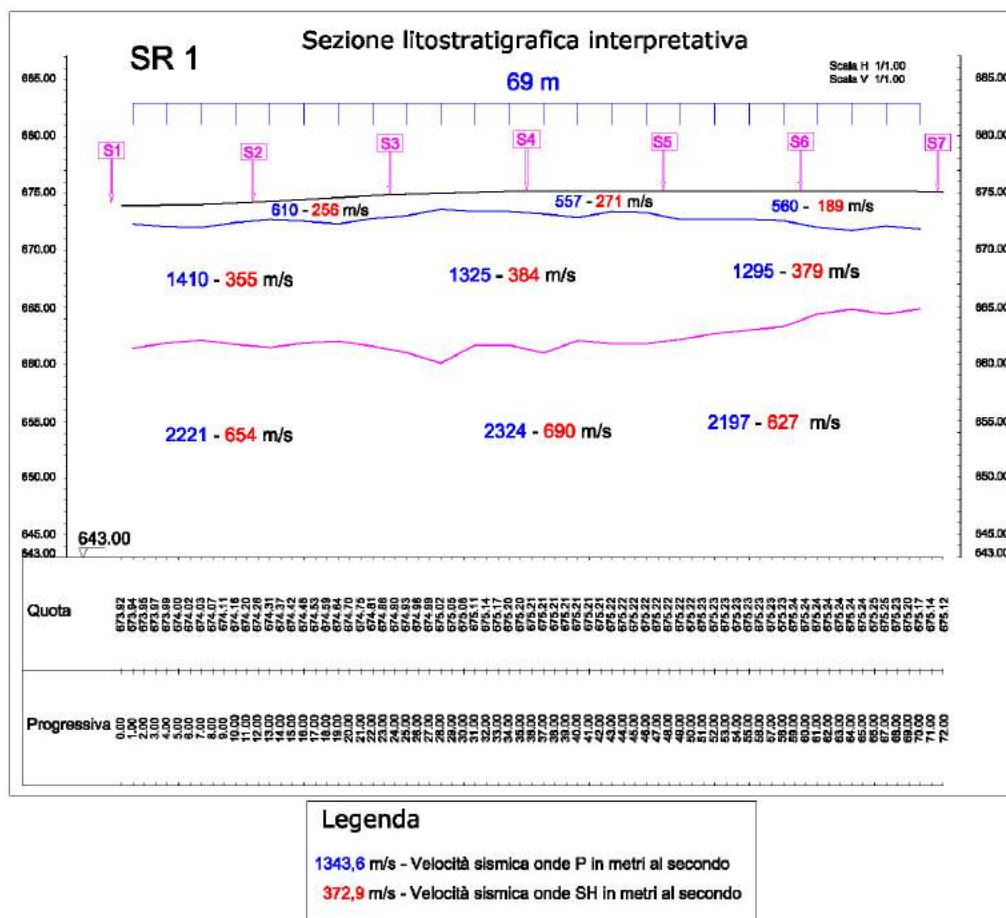


Fig. 3b - Sezione (SR1) sismostratigrafica interpretativa del sottosuolo



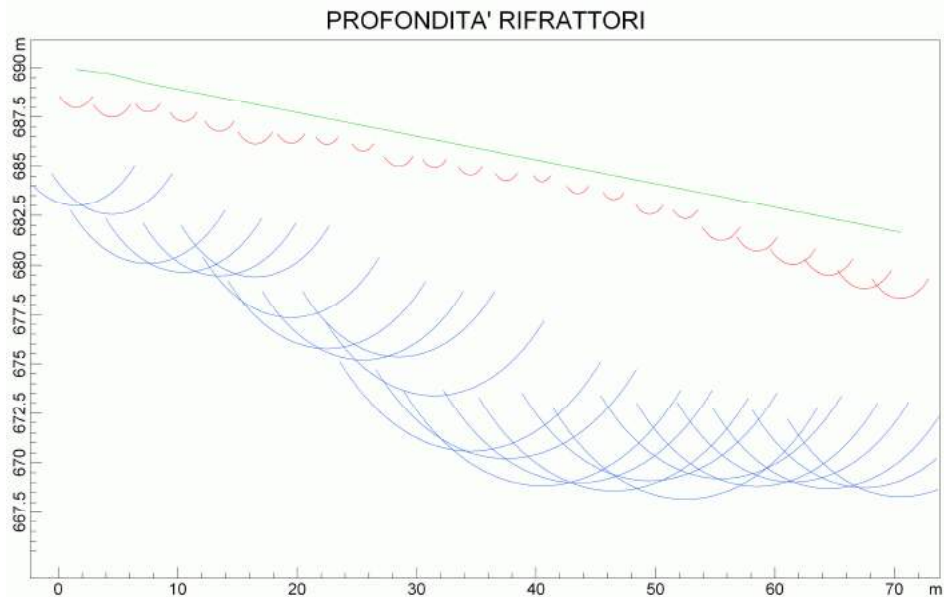


Fig. 4a - L'involuppo dei cerchi rappresenta una buona approssimazione della forma e posizione del rifrattore (Stendimento SR2)

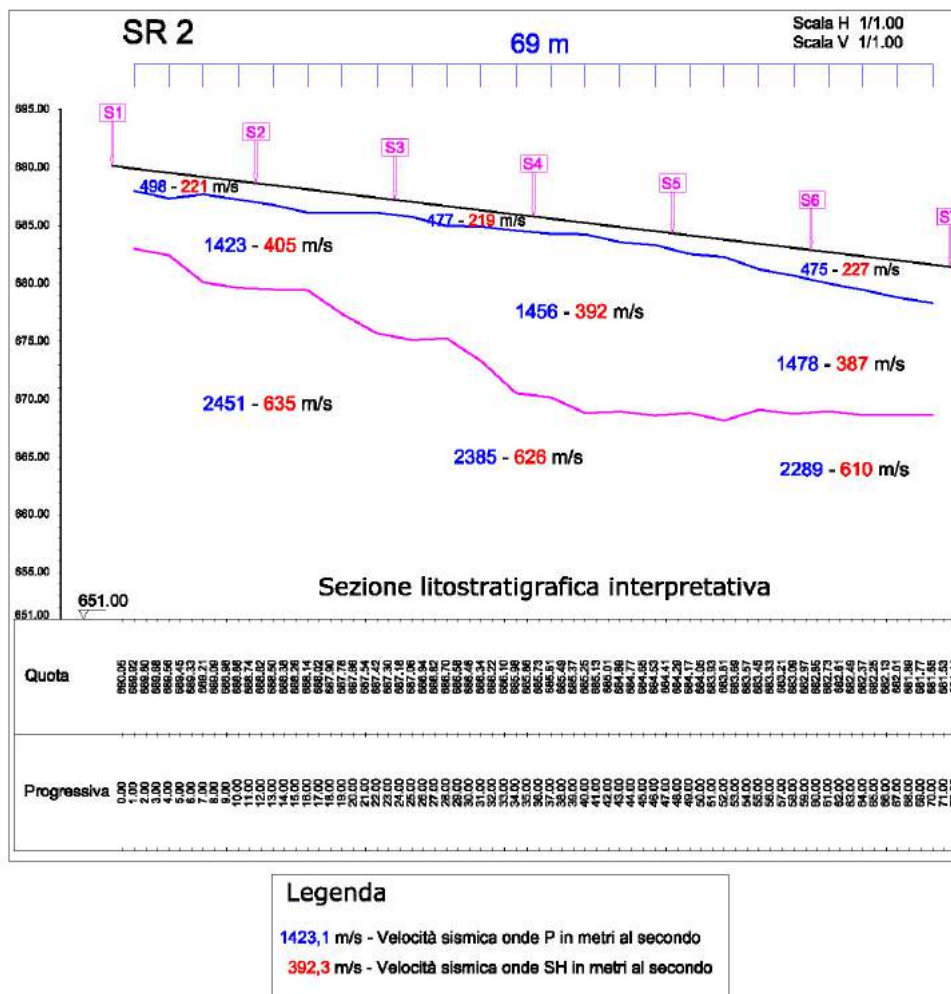


Fig. 4b - Sezione (SR2) sismostratigrafica interpretativa del sottosuolo

## 6 – ANALISI DEI DATI

L'indagine geofisica di sismica a rifrazione in onde P e onde SH condotta nelle località di Coloretta, Patigno, S. Lorenzo e Noce nel Comune di Zeri (Ms), ha permesso di caratterizzare dinamicamente i terreni del sottosuolo presenti.

Dall'indagine eseguita attraverso i due stendimenti sismici SR1 e SR2, sono stati riconosciuti, nell'area oggetto di studio, n. 3 sismostrati a velocità  $V_P/V_{SH}$  delle onde sismiche crescenti con la profondità (Allegato B).

In particolare si nota:

### Linea sismica SR1:

Il primo orizzonte sismico è caratterizzato da velocità  $V_P$  mediamente di 575 m/s ( $V_{SH}$ = 238 m/s): ha uno spessore medio di 2 m.

Il secondo orizzonte sismico è caratterizzato da velocità  $V_P$  mediamente di 1343 m/s ( $V_{SH}$ = 372 m/s): ha uno spessore medio di 10 m.

Il terzo orizzonte sismico è caratterizzato da velocità  $V_P$  mediamente di 2247m/s ( $V_{SH}$ = 657 m/s).

### Linea sismica SR2:

Il primo orizzonte sismico è caratterizzato da velocità  $V_P$  mediamente di 486 m/s ( $V_{SH}$ = 222 m/s): ha uno spessore medio di 2,5 m.

Il secondo orizzonte sismico è caratterizzato da velocità  $V_P$  mediamente di 14524 m/s ( $V_{SH}$ = 395 m/s): ha uno spessore medio di 12 m.

Il terzo orizzonte sismico è caratterizzato da velocità  $V_P$  mediamente di 2375 m/s ( $V_{SH}$ = 624 m/s).

Concludendo si ribadisce che i modelli ottenuti dai risultati geofisici non invasivi, in generale, sono utilizzabili ai fini di valutazioni semiquantitative della risposta sismica locale e devono essere accertati mediante indagini dirette di tipo geologico, geotecnico e/o idrogeologico; infatti, le indagini geofisiche non invasive devono considerarsi conoscitive e non esaustive per la definizione della reale situazione litostratigrafica del sottosuolo.

In ragione di ciò, la S.I.S.M.A. geo declina ogni responsabilità relativamente alle attività che si basano esclusivamente sui risultati geofisici e poste in essere dal committente o da terzi incaricati sui luoghi oggetto dell'indagine.

## ALLEGATO A

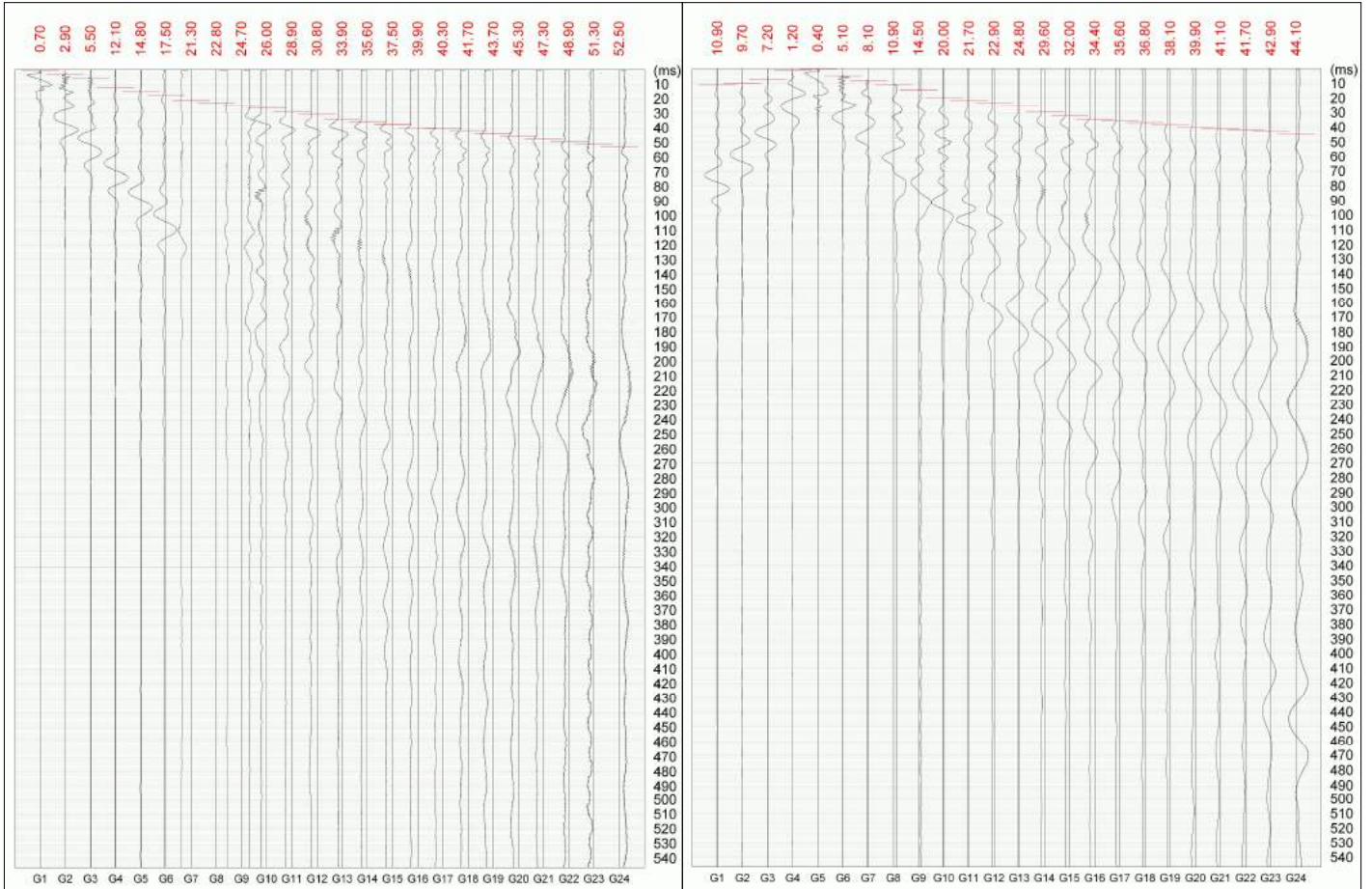
DETERMINAZIONE PRIMI ARRIVI ONDE P DEI SISMOGRAMMI  
RELATIVI ALLE 7 ENERGIZZAZIONI DEL PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE

# SR1: STAMPA REGISTRAZIONI DI CAMPAGNA

## DETERMINAZIONE PRIMI ARRIVI ONDE P DEI SISMOGRAMMI RELATIVI ALLE 7 ENERGIZZAZIONI DEL PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE

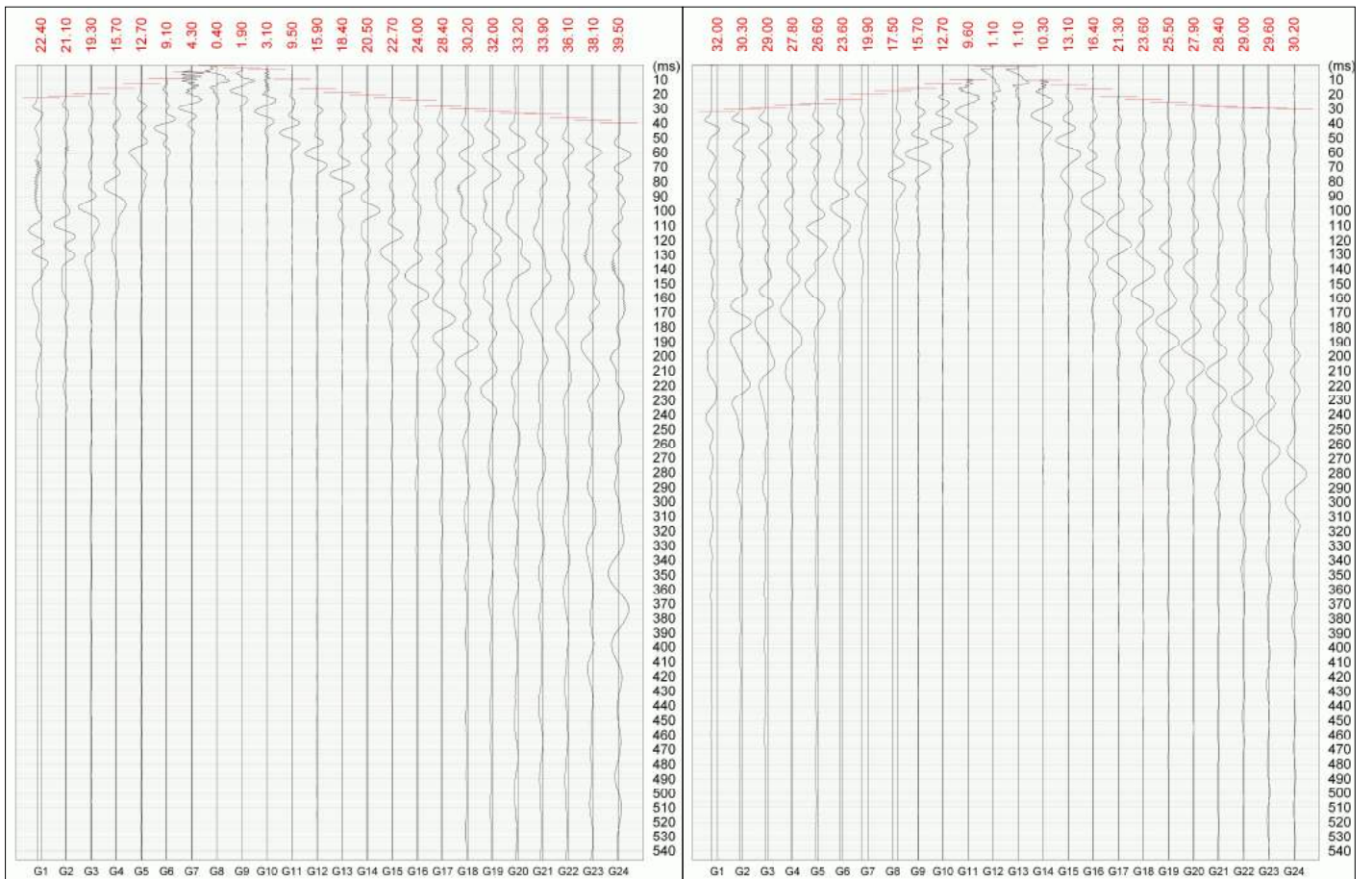
shot 1

shot 2



shot 3

shot 4

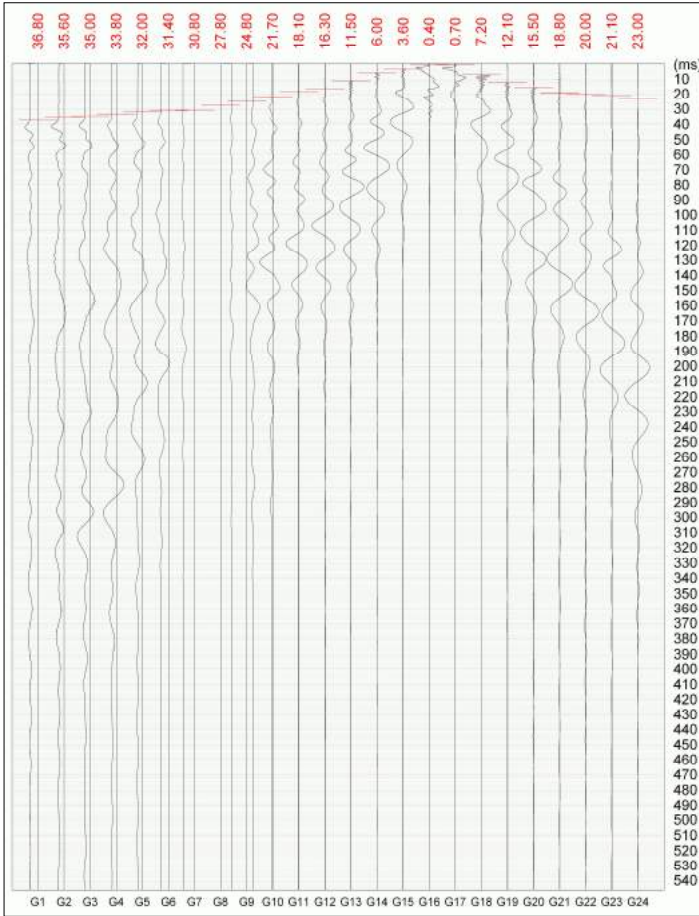


# SR1: STAMPA REGISTRAZIONI DI CAMPAGNA

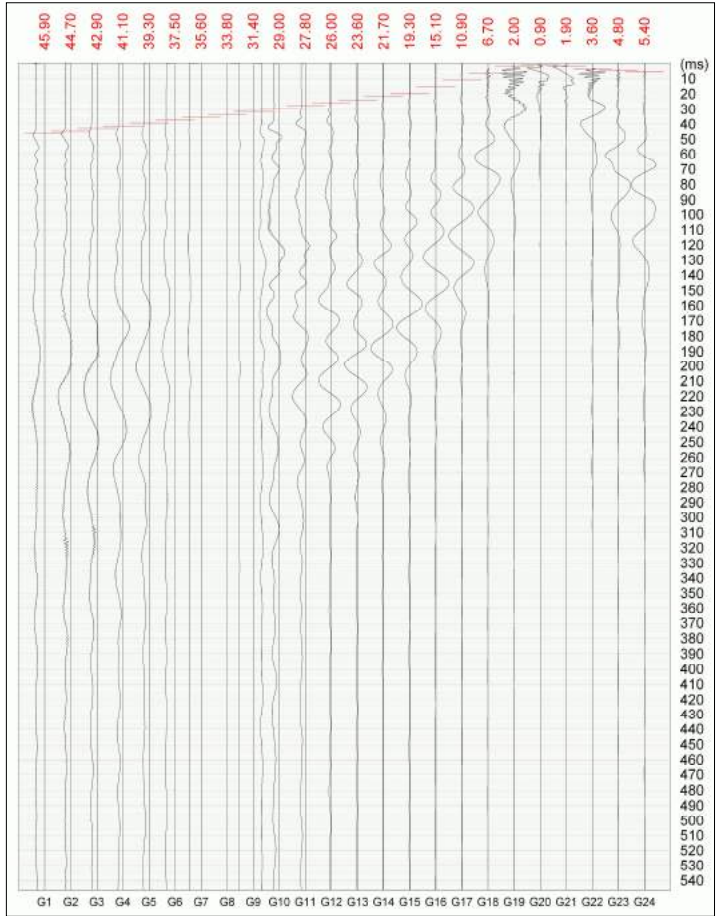
## DETERMINAZIONE PRIMI ARRIVI ONDE P DEI SISMOGRAMMI

### RELATIVI ALLE 7 ENERGIZZAZIONI DEL PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE

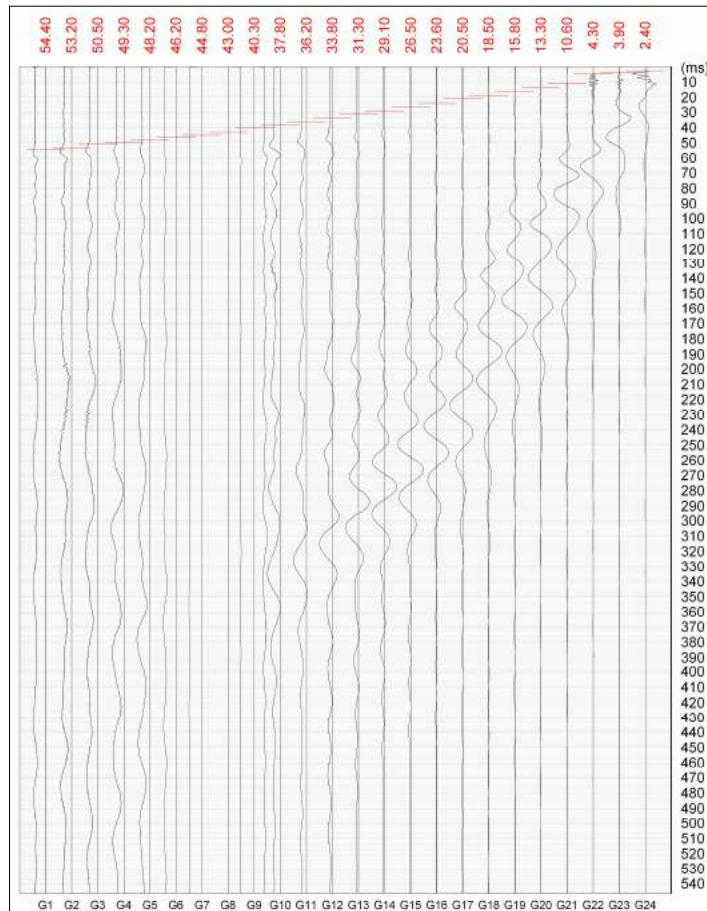
shot 5



shot 6



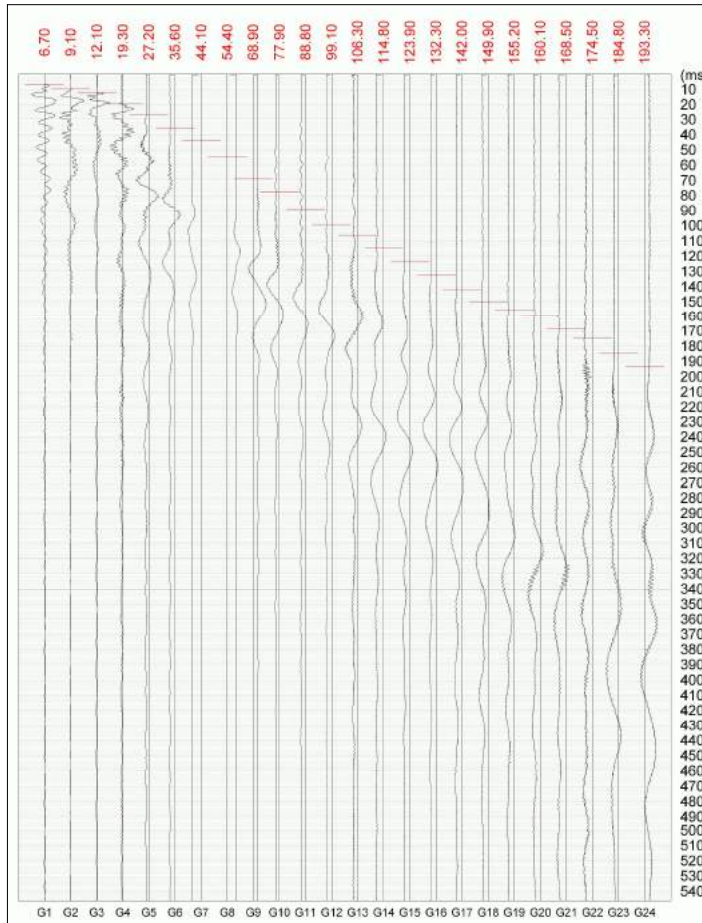
shot 7



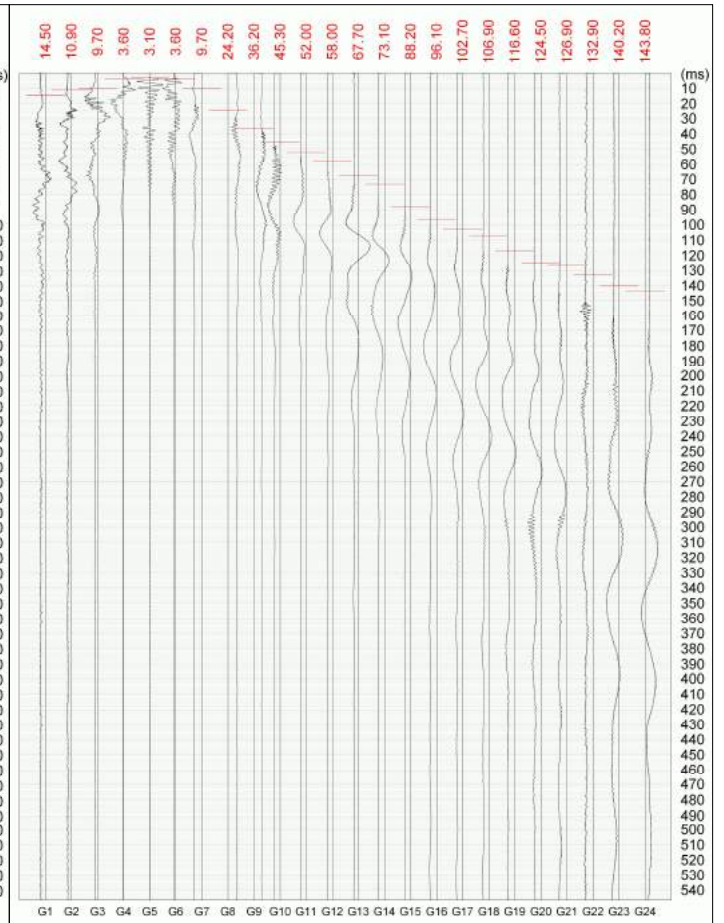
# SR1: STAMPA REGISTRAZIONI DI CAMPAGNA

## DETERMINAZIONE PRIMI ARRIVI ONDE SH DEI SISMOGRAMMI RELATIVI ALLE 7 ENERGIZZAZIONI DEL PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE

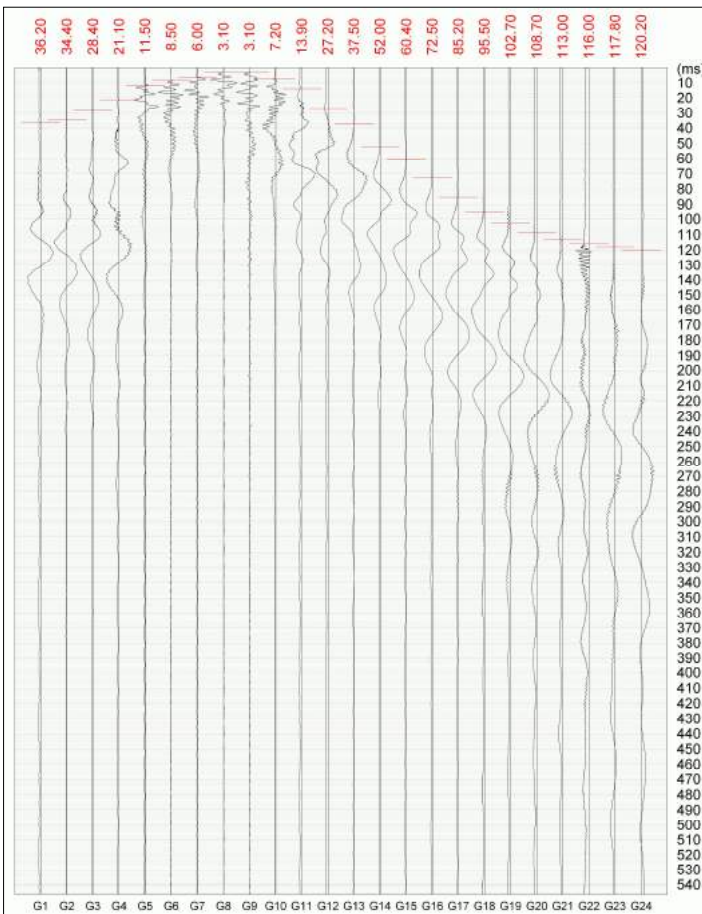
shot 1



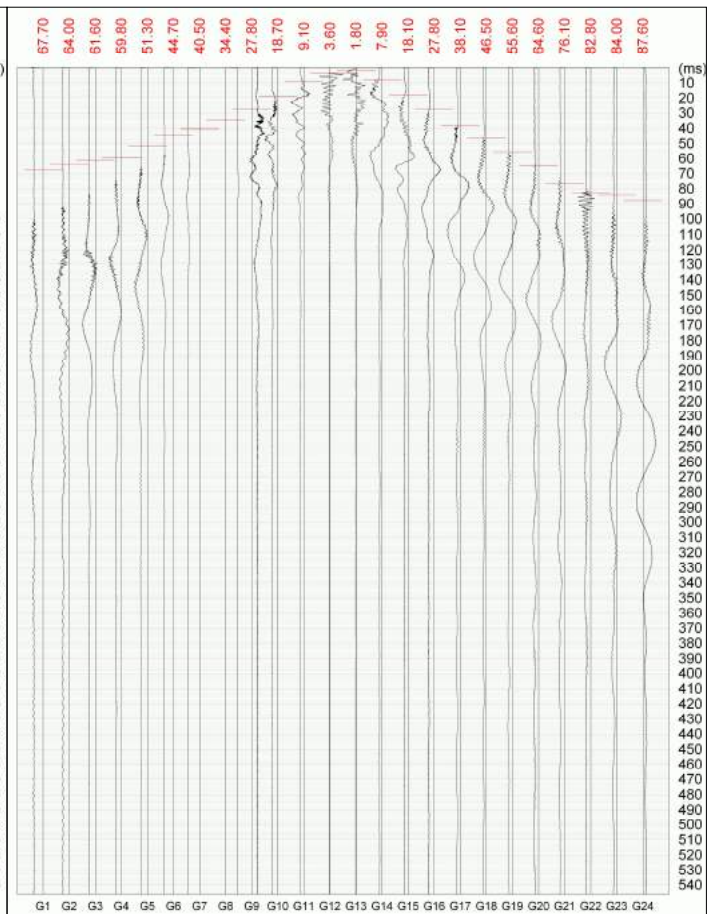
shot 2



shot 3



shot 4

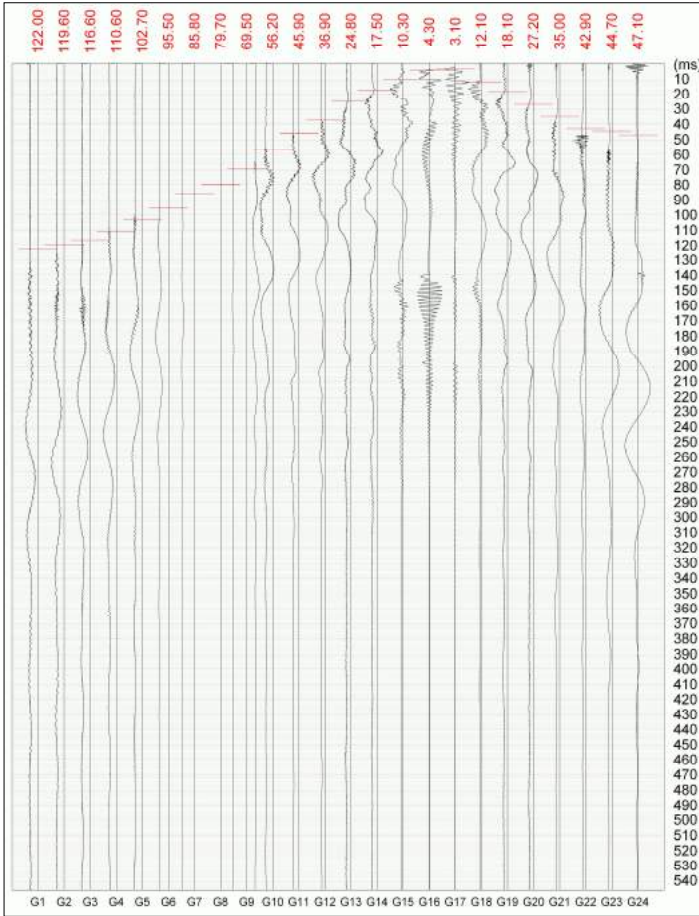


# SR1: STAMPA REGISTRAZIONI DI CAMPAGNA

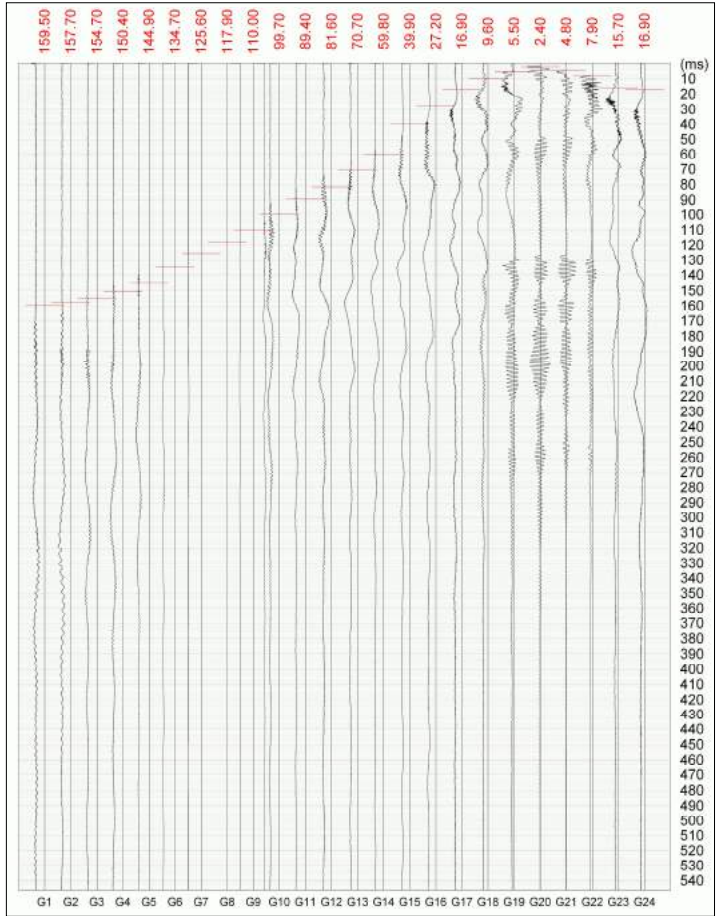
## DETERMINAZIONE PRIMI ARRIVI ONDE SH DEI SISMOGRAMMI

### RELATIVI ALLE 7 ENERGIZZAZIONI DEL PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE

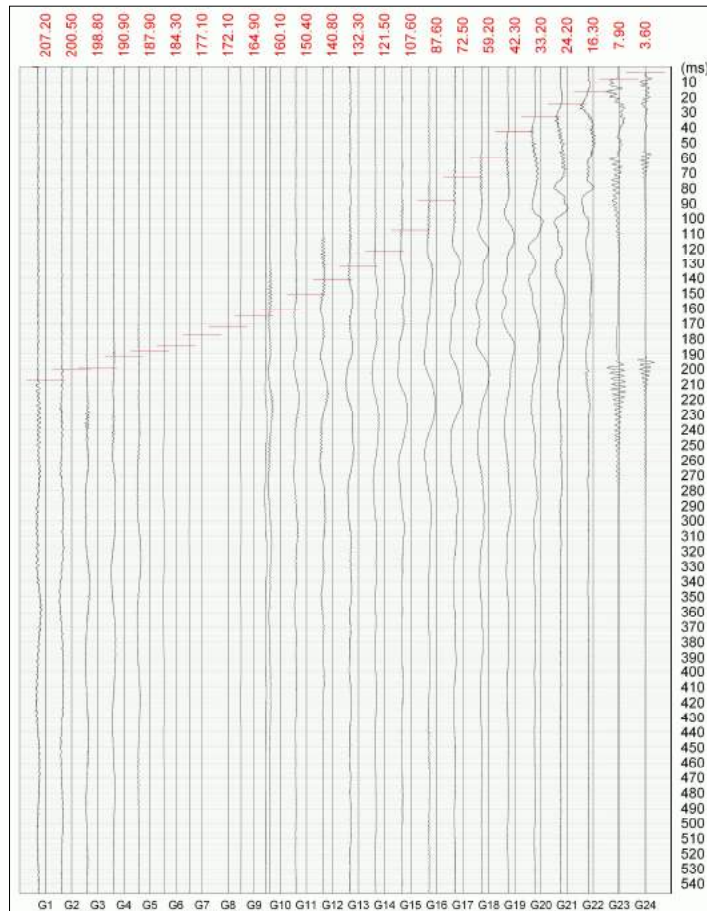
shot 5



shot 6



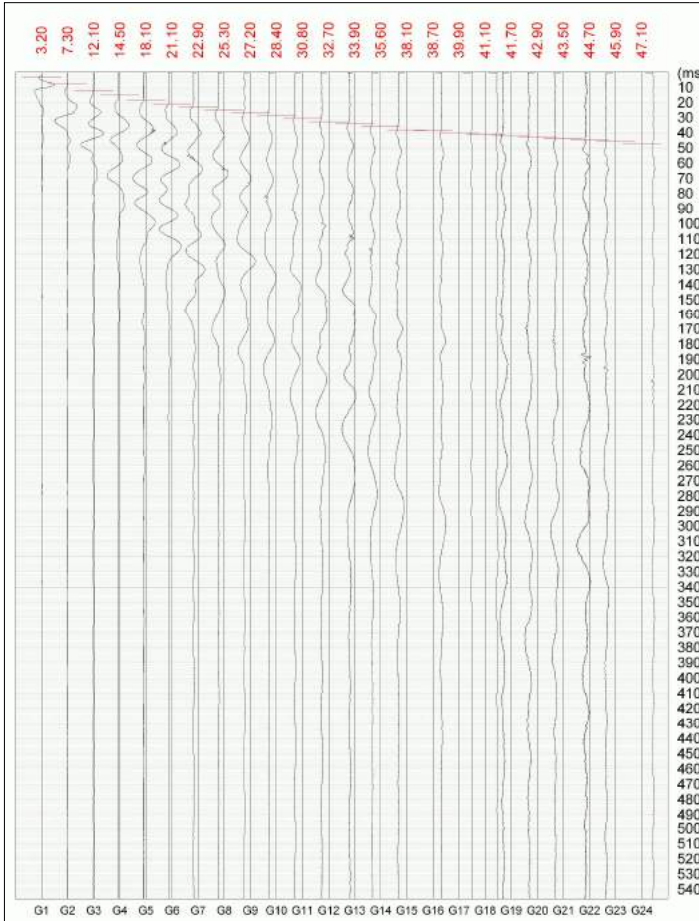
shot 7



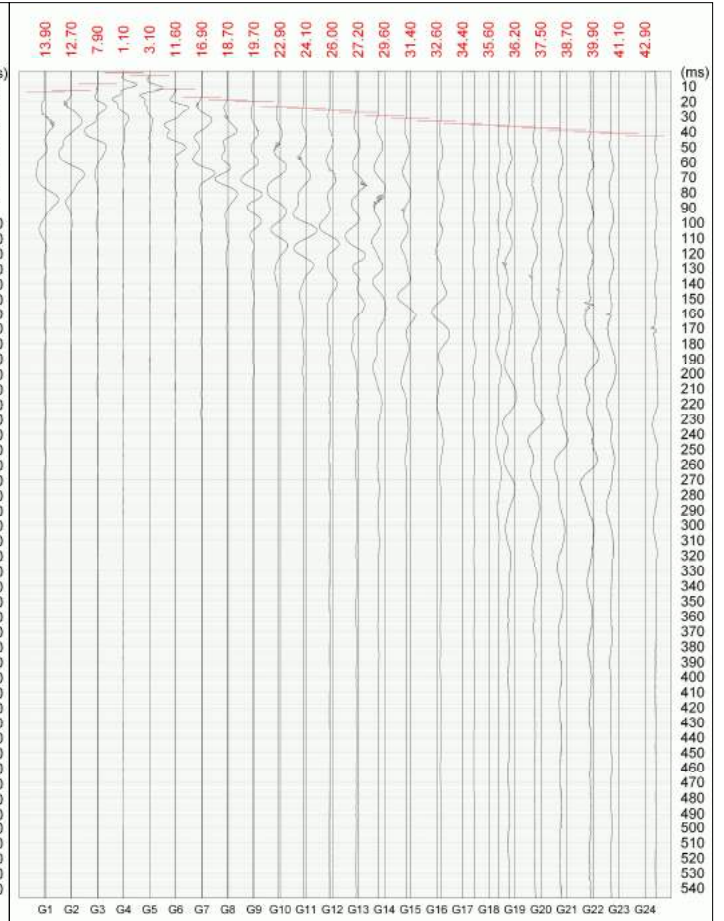
# SR 2: STAMPA REGISTRAZIONI DI CAMPAGNA

## DETERMINAZIONE PRIMI ARRIVI ONDE P DEI SISMOGRAMMI RELATIVI ALLE 7 ENERGIZZAZIONI DEL PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE

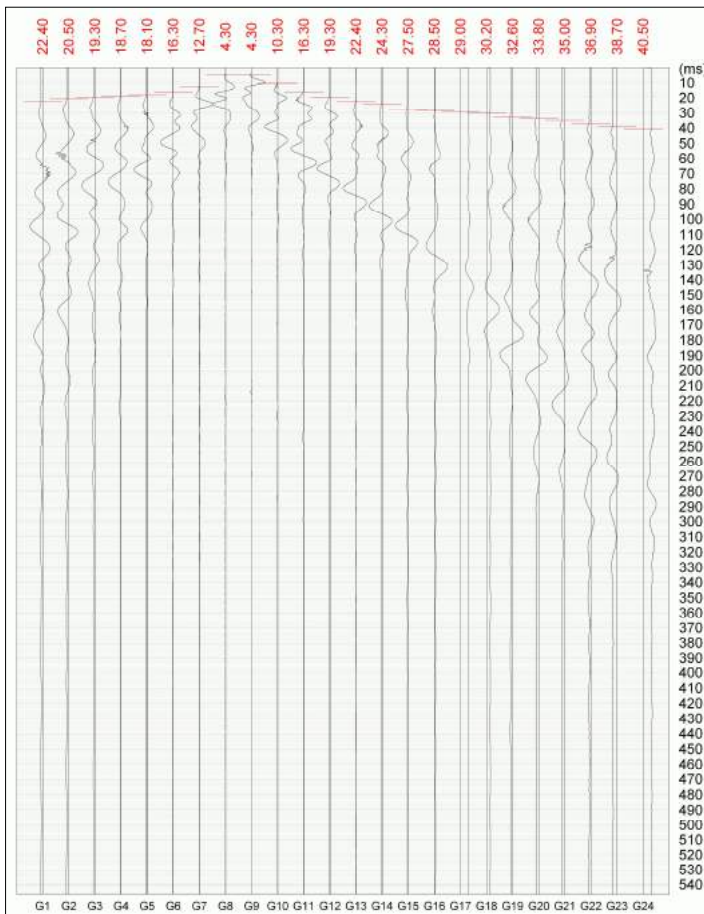
shot 1



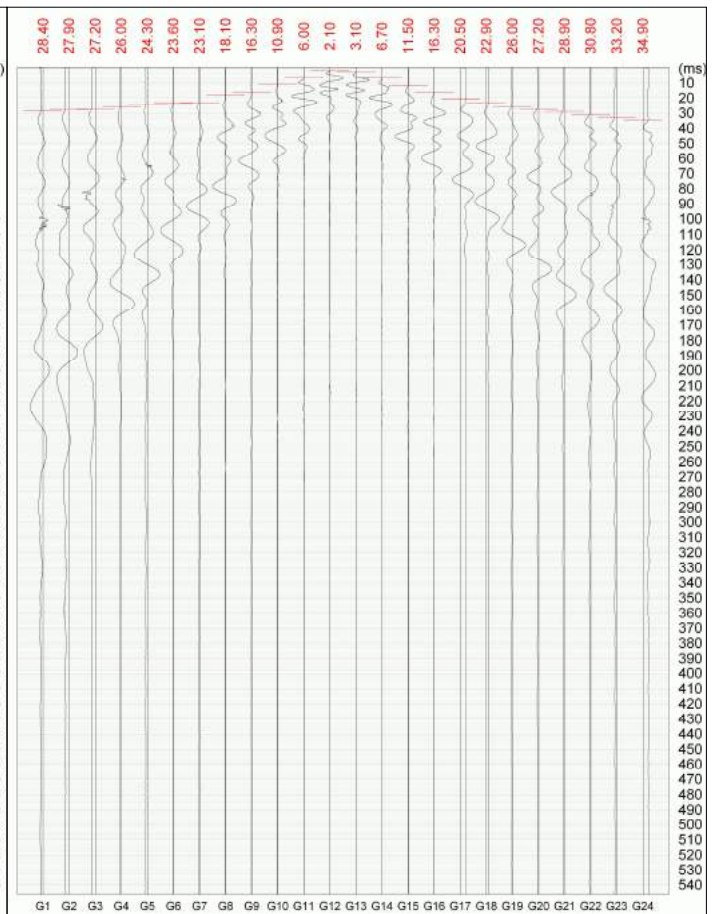
shot 2



shot 3



shot 4

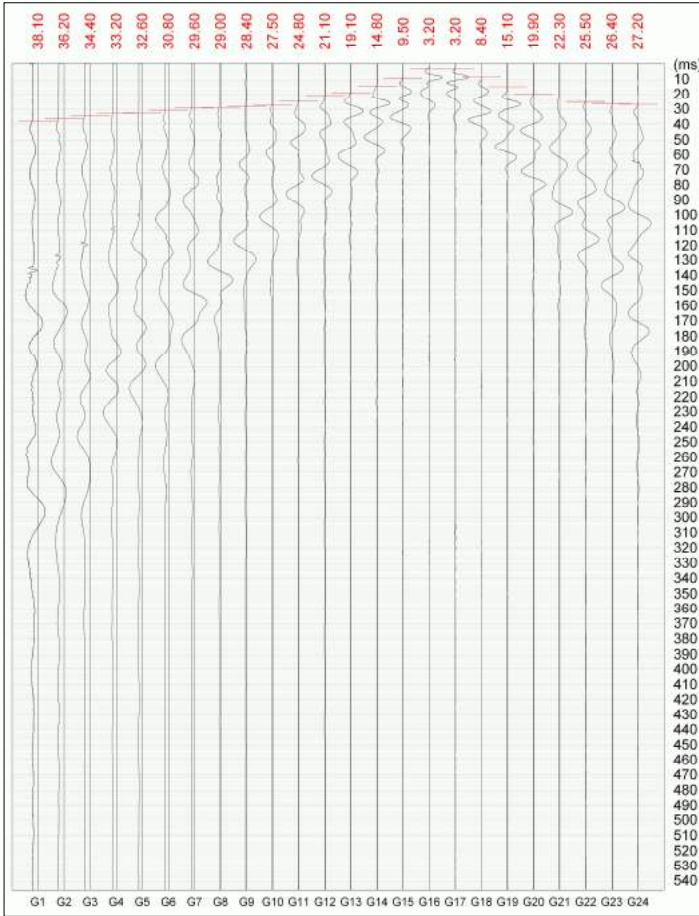




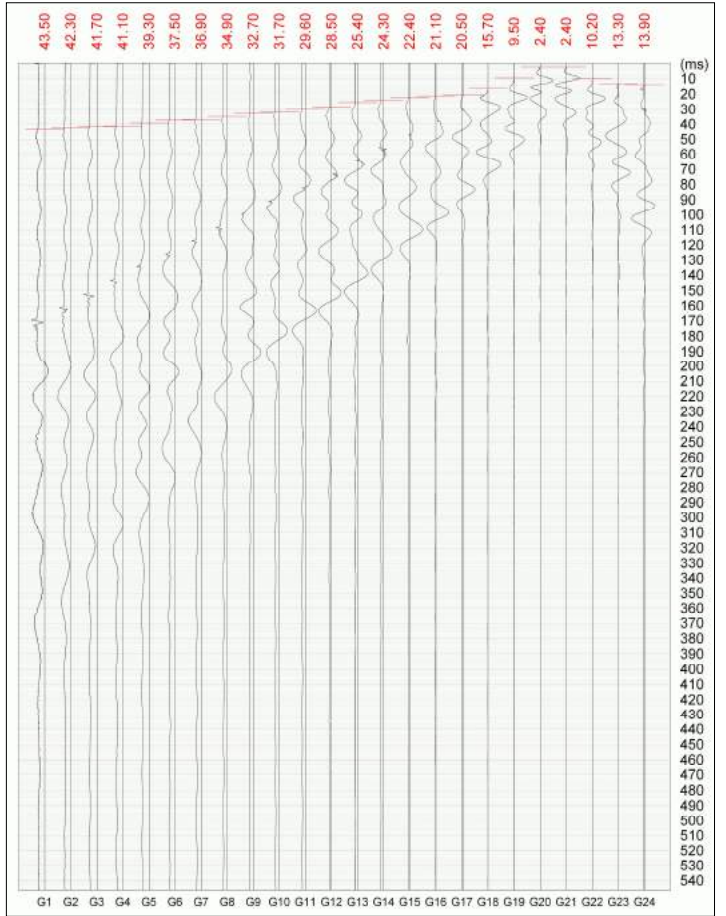
# SR2: STAMPA REGISTRAZIONI DI CAMPAGNA

## DETERMINAZIONE PRIMI ARRIVI ONDE P DEI SISMOGRAMMI RELATIVI ALLE 7 ENERGIZZAZIONI DEL PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE

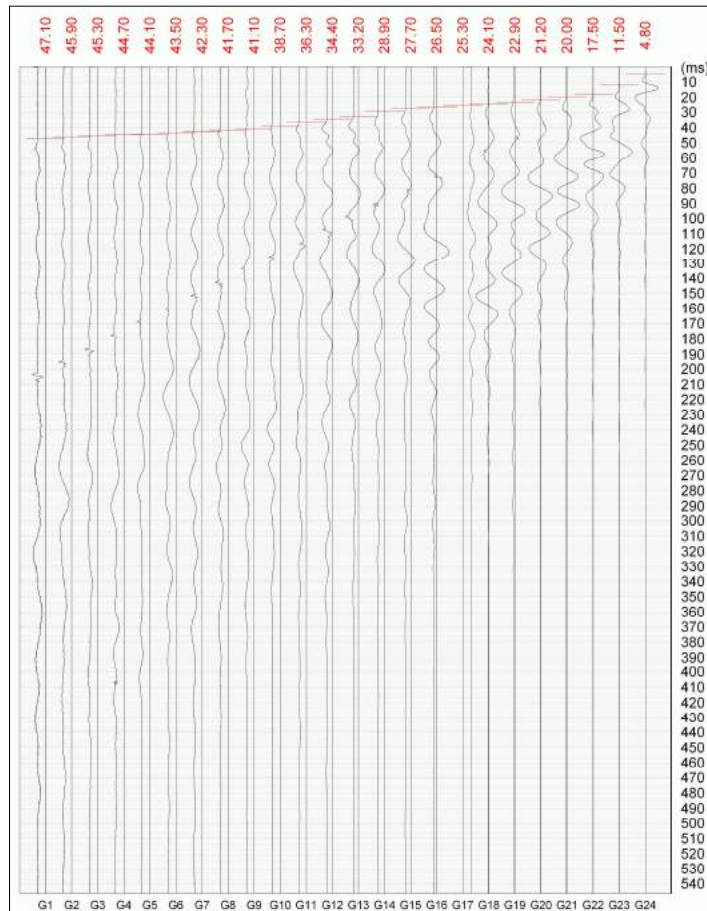
shot 5



shot 6



shot 7

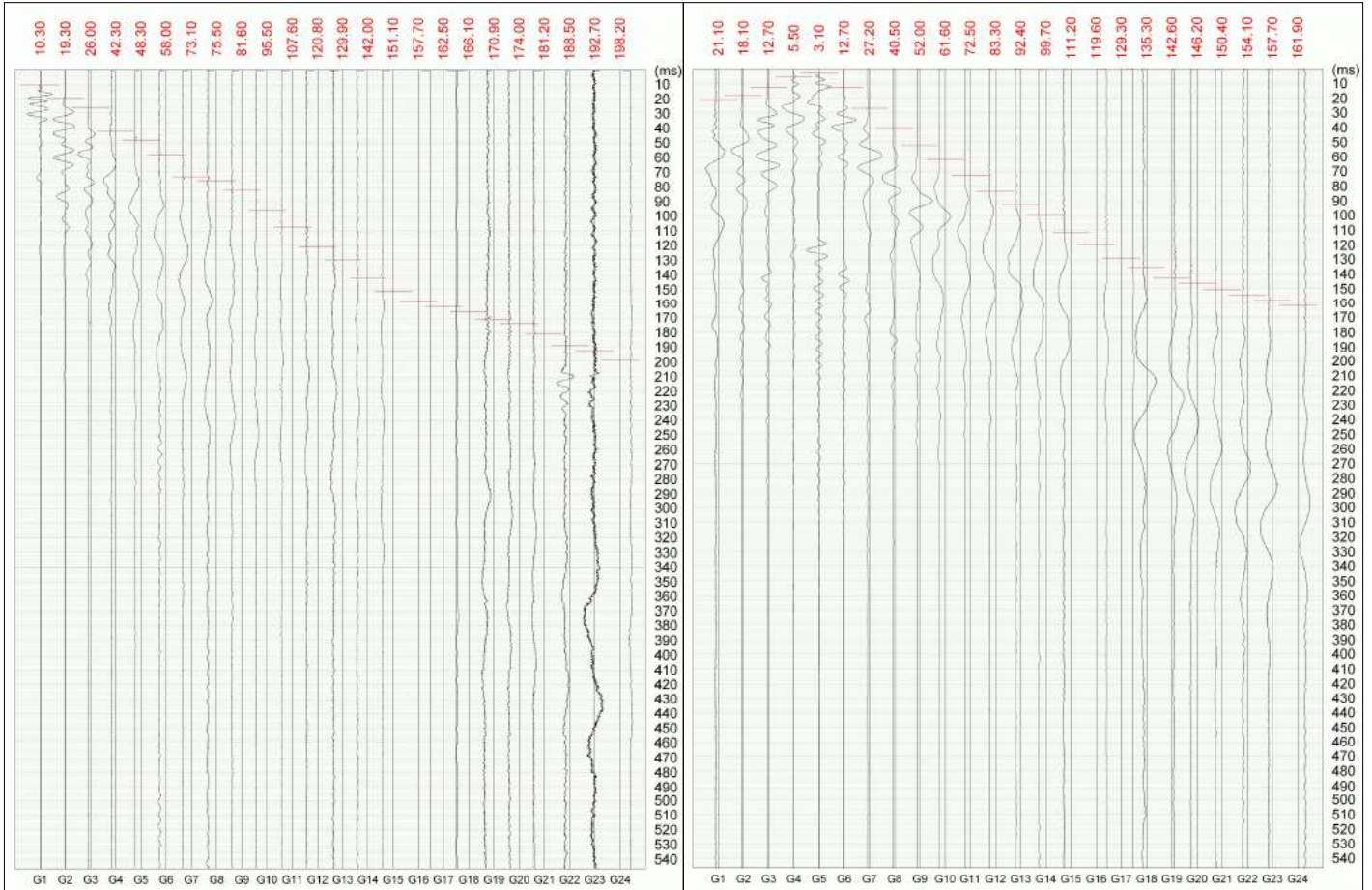


# SR 2: STAMPA REGISTRAZIONI DI CAMPAGNA

## DETERMINAZIONE PRIMI ARRIVI ONDE SH DEI SISMOGRAMMI RELATIVI ALLE 7 ENERGIZZAZIONI DEL PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE

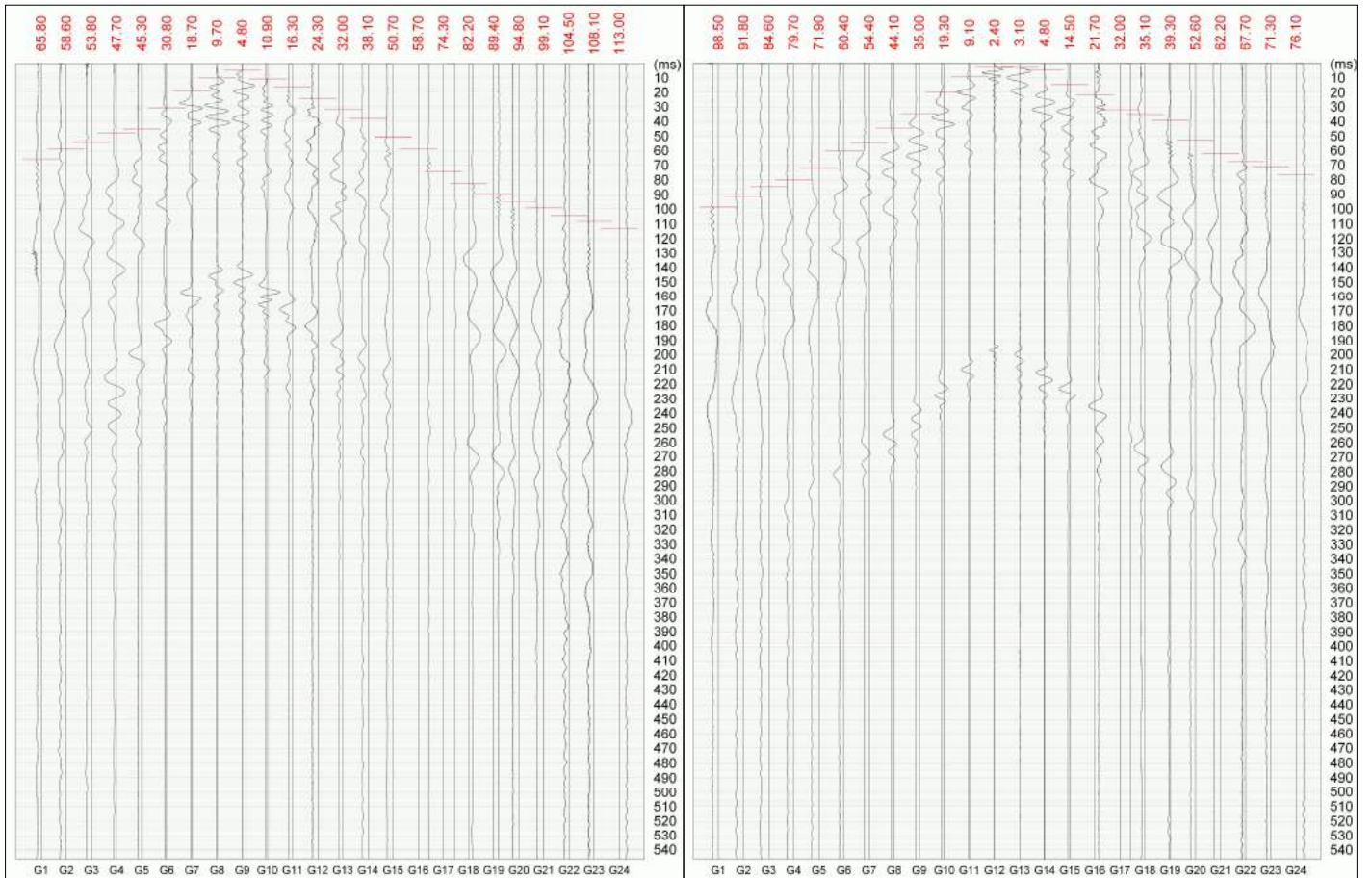
shot 1

shot 2



shot 3

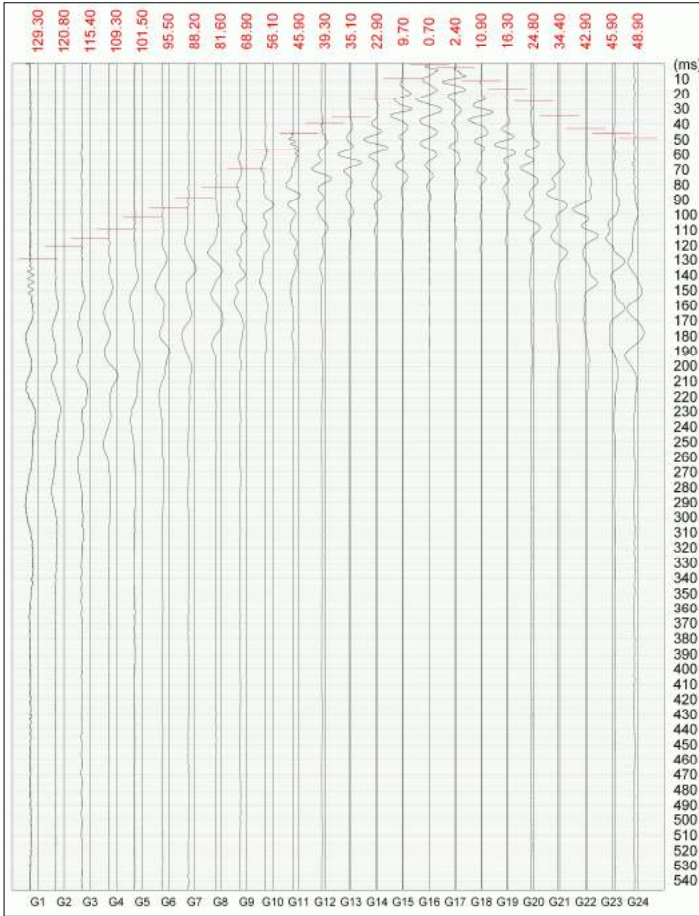
shot 4



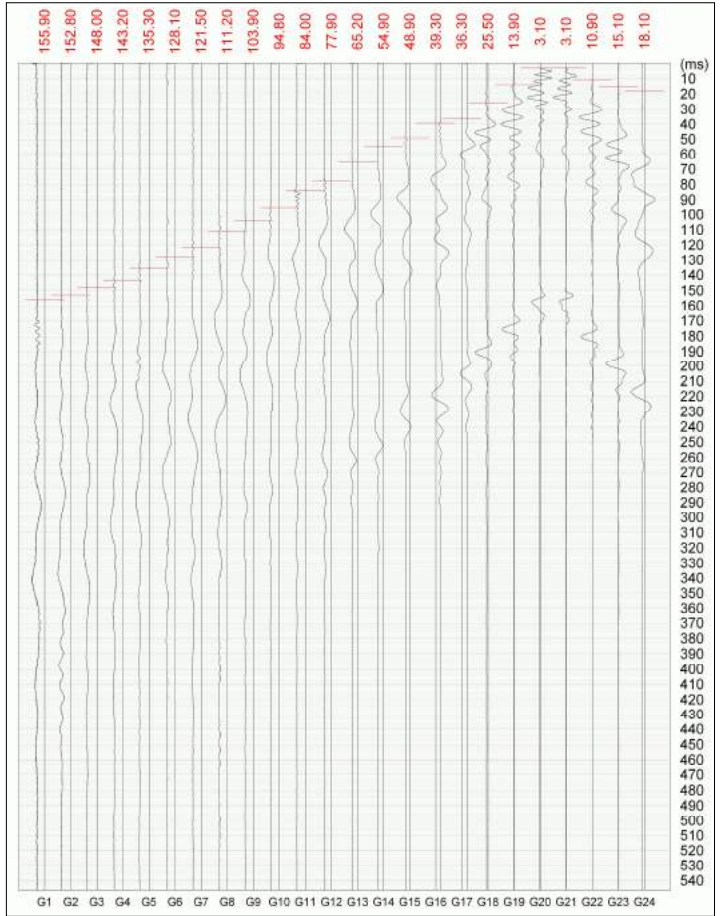
# SR2: STAMPA REGISTRAZIONI DI CAMPAGNA

## DETERMINAZIONE PRIMI ARRIVI ONDE SH DEI SISMOGRAMMI RELATIVI ALLE 7 ENERGIZZAZIONI DEL PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE

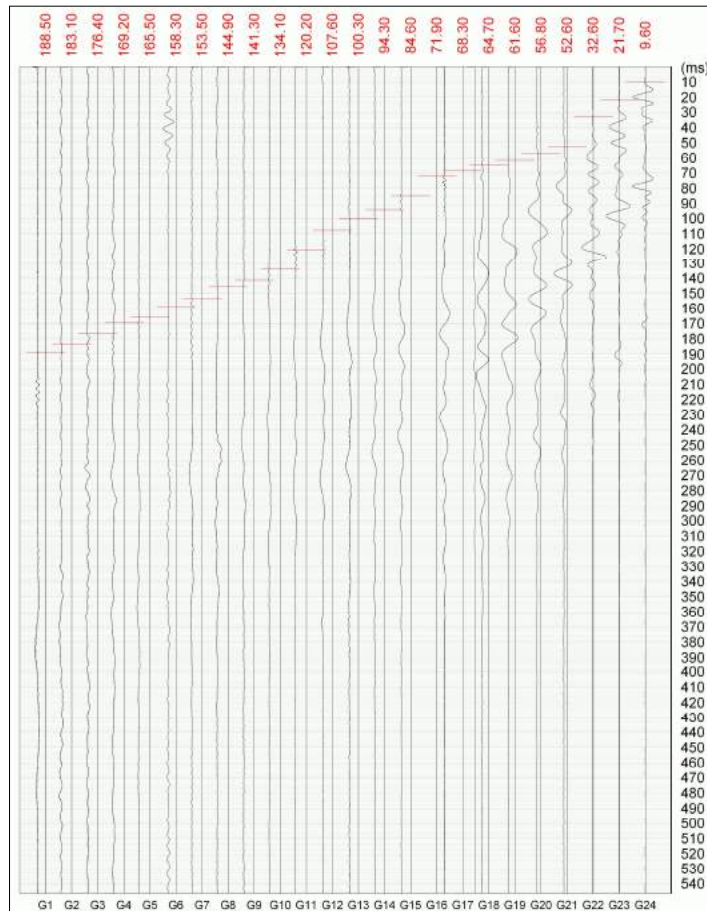
shot 5



shot 6



shot 7



## ALLEGATO B

TABELLE CON LE PROFONDITÀ DEI VARI RIFRATTORI INDIVIDUATI  
E LE RELATIVE VELOCITÀ SISMICHE

**Stendimento SR1 (ONDE P)**

PROFONDITA': DISTANZA DEI RIFRATTORI DAI GEOFONI			VELOCITA' DEGLI STRATI (VP)	
N. Geof.	Dist. Rifr. 1 [m]	Dist. Rifr. 2 [m]	N. Strato	Velocità [m/s]
1	1.6	12.5	1	575
2	1.9	12.1		557
3	2.0	11.9		610
4	1.7	12.4		560
5	1.6	12.8	2	1343
6	1.9	12.6		1410
7	2.3	12.6		1325
8	2.0	13.2		1295
9	1.8	13.9	3	2247
10	1.4	14.9		2221
11	1.7	13.4		2197
12	1.8	13.4		2324
13	2.0	14.2		
14	2.3	13.1		
15	1.8	13.4		
16	1.9	13.4		
17	2.5	13.0		
18	2.5	12.5		
19	2.5	12.2		
20	2.6	11.9		
21	3.2	10.8		
22	3.5	10.4		
23	3.1	10.8		
24	3.3	10.3		

**Stendimento SR1 (ONDE SH)**

PROFONDITA': DISTANZA DEI RIFRATTORI DAI GEOFONI			VELOCITA' DEGLI STRATI (VS)	
N. Geof.	Dist. Rifr. 1 [m]	Dist. Rifr. 2 [m]	N. Strato	Velocità [m/s]
1	1.6	12.5	1	238
2	1.9	12.1		256
3	2.0	11.9		271
4	1.7	12.4		189
5	1.6	12.8	2	372.9
6	1.9	12.6		384
7	2.3	12.6		379
8	2.0	13.2		355
9	1.8	13.9	3	657
10	1.4	14.9		627
11	1.7	13.4		690
12	1.8	13.4		654
13	2.0	14.2		
14	2.3	13.1		
15	1.8	13.4		
16	1.9	13.4		
17	2.5	13.0		
18	2.5	12.5		
19	2.5	12.2		
20	2.6	11.9		
21	3.2	10.8		
22	3.5	10.4		
23	3.1	10.8		
24	3.3	10.3		

**Stendimento SR2 (ONDE P)**

PROFONDITA': DISTANZA DEI RIFRATTORI DAI GEOFONI			VELOCITA' DEGLI STRATI (VP)	
N. Geof.	Dist. Rifr. 1 [m]	Dist. Rifr. 2 [m]	N. Strato	Velocità [m/s]
1	1.9	6.9	1	486
2	2.2	7.1		498
3	1.5	9.1		477
4	1.6	9.2		475
5	1.7	9.0	2	1452
6	2.0	8.7		1423
7	1.6	10.4		1456
8	1.3	11.7		1478
9	1.3	11.9	3	2375
10	1.7	11.4		2289
11	1.4	13.0		2385
12	1.4	15.4		2451
13	1.3	15.4		
14	1.0	16.4		
15	1.3	15.9		
16	1.2	15.9		
17	1.6	15.1		
18	1.5	15.6		
19	2.2	14.3		
20	2.4	14.3		
21	2.7	13.7		
22	2.9	13.7		
23	3.2	13.3		
24	3.3	13.4		

**Stendimento SR2 (ONDE SH)**

PROFONDITA': DISTANZA DEI RIFRATTORI DAI GEOFONI			VELOCITA' DEGLI STRATI (VS)	
N. Geof.	Dist. Rifr. 1 [m]	Dist. Rifr. 2 [m]	N. Strato	Velocità [m/s]
1	1.9	6.9	1	222
2	2.2	7.1		221
3	1.5	9.1		219
4	1.6	9.2		227
5	1.7	9.0	2	395
6	2.0	8.7		392
7	1.6	10.4		387
8	1.3	11.7		405
9	1.3	11.9	3	624
10	1.7	11.4		635
11	1.4	13.0		626
12	1.4	15.4		610
13	1.3	15.4		
14	1.0	16.4		
15	1.3	15.9		
16	1.2	15.9		
17	1.6	15.1		
18	1.5	15.6		
19	2.2	14.3		
20	2.4	14.3		
21	2.7	13.7		
22	2.9	13.7		
23	3.2	13.3		
24	3.3	13.4		

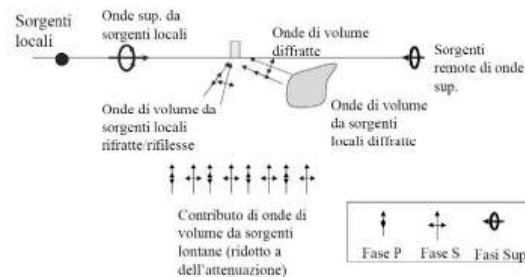
## 7 - HVRS - DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

### 7.1- Cenni teorici

Le vibrazioni sismiche ambientali (rumore sismico) sono onde sismiche di bassa energia con ampiezze dell'ordine di  $10^{-4}$  -  $10^{-2}$  mm (Okada, 2003). In riferimento al contenuto in frequenza, il rumore sismico è anche chiamato microtremore se contiene alte frequenze (in genere maggiori di 0.5 Hz) e microsisma per ciò che concerne le basse frequenze.

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento ecc.) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni con ampiezze minime, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il segnale da acquisire non è generato con strumenti o tecniche attive, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nel tragitto dalla sorgente **s** al sito **x** le onde elastiche (sia di origine sismiche che dovute al microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, canalizzazioni per fenomeni di guida d'onda ed attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte di informazioni correlata al contenuto frequenziale del segnale che può essere estratta e che permette di ottenere informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore.



Modalità di generazione e propagazione microtremore

Pertanto, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartato dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però correlata alle caratteristiche frequenziale e spettrali del cosiddetto "rumore casuale" o microtremore, e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la tecnica di analisi dei rapporti spettrali o, semplicemente, **HVSR** e che è in grado di fornire stime affidabili sul comportamento frequenziale dei sottosuoli, informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Le misure puntuali di rumore sismico possono essere utilizzate per la stima sia degli effetti di sito (funzione di amplificazione), sia degli effetti sulle costruzioni nel rispetto della normativa che ne stabilisce la soglia massima (UNI9916).

In relazione agli effetti di sito, l'analisi delle misure di rumore sismico può essere condotta con tre metodi:

- Spettri di Fourier
- Rapporti spettrali

- Rapporti spettrali H/V

Tra questi quello che sembra fornire i risultati migliori è quello dei **Rapporti spettrali H/V** o, come prima accennato, noto anche come **metodo HVSR** (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) conosciuto anche come **metodo di Nakamura**.

La tecnica dei rapporti spettrali H/V consiste nel calcolo del rapporto degli spettri di Fourier del rumore nel piano orizzontale H (generalmente lo spettro H viene calcolato come media degli spettri di Fourier delle componenti orizzontali NS ed EW ) e della componente verticale V. Il metodo è applicabile alle misure di rumore registrate in una singola stazione posta su sedimenti. Il metodo è stato introdotto da scienziati giapponesi agli inizi degli anni '70, tra i quali Nogoshi e Igarashi (1971) e Shiono et al. (1979), che indagarono sul significato fisico del rapporto H/V e mostrarono la sua relazione diretta con la curva di ellitticità delle onde di Rayleigh. Essi conclusero che il picco massimo di ampiezza si verifica alla frequenza di risonanza fondamentale della copertura di terreni. Nel 1989, Nakamura propose in inglese il rapporto H/V come stima affidabile della funzione di trasferimento delle onde S per un dato sito. Le argomentazioni usate da Nakamura sono estremamente qualitative e si basano sull'ipotesi che i microtremori siano originati da sorgenti molto locali, come il traffico vicino al sismometro, e siano onde di Rayleigh che si propagano in un solo strato su un semispazio.

## 7.2 - Tecnica HVSR

La tecnica di acquisizione ed analisi dei rapporti spettrali o **HVSR** (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è del tutto non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque.

Le conoscenze e le informazioni che si possono ottenere dall'analisi ed interpretazione di una registrazione di questo tipo, in generale, sono:

- ove determinabile, la **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale ai fini dell'individuazione di adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- la **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso, a seguito di analisi correlate sarà possibile confrontare le frequenze di sito e dell'edificio, e valutare se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la **stratigrafia del sottosuolo** con un ampio range di profondità di indagine, e secondo il principio che in termini di stratigrafia del sottosuolo, uno strato è inteso come unità distinta, in termini di contrasto d'impedenza sismica.

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 sito oggetto di indagine è funzione di quanto segue:

1. dalla forma dell'onda prodotta dall'insieme delle sorgenti s dei microtrempi;
2. dal percorso dell'onda dalle sorgenti s fino alla posizione  $x$  del sito oggetto di indagine e funzione dei processi di attenuazione, riflessione, rifrazione e canalizzazione di guida d'onda;
3. dalla modalità di acquisizione dello strumento in funzione dei parametri e delle caratteristiche strumentali.

### 7.3 - Caratteristiche della strumentazione

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sensore 3D a stazione singola che racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz (vedi foto seguente).



Strumentazione

Sensore 3D

Il sensore è collegato ad un sismografo alimentato a batteria esterna ed ad un netbook in cui trasferisce i dati acquisiti, memorizzati e convertiti in file ASCII mediante il software "Sysmatrack" fornito a supporto dello strumento utilizzato, quindi elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza.

In fase operativa si sono seguite le seguenti operazioni:

1. il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo paria 30 minuti;
2. la registrazione è stata suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno;
3. per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti;
4. per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale;
5. vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Per considerare la misura ottenuta come una stima dell'ellitticità delle onde di Rayleigh è necessario che:

- i rapporti H/V ottenuti sperimentalmente siano "stabili" ovvero frutto di un campionamento statistico adeguato;
- gli effetti di sorgente siano stati effettivamente mediati ovvero non ci siano state sorgenti "dominanti";
- la misura non contenga errori sistematici (per es. dovuti ad un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno).

## 8 - PROCEDURA DI ANALISI DEI DATI

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

1. la curva HVSR, ottenuta col software WinMasw Pro, con parametri:
  - larghezza delle finestre d'analisi da 20 a 30 s;
  - lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale;
  - rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore ad 2;
  - rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.
2. le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto (ottenute dopo analisi con gli stessi parametri del punto 1).

Nei casi particolarmente semplici (copertura + bedrock o bedrock like) le profondità  $h$  delle discontinuità sismiche sono state stimate tramite la formula seguente:

$$H = \left[ \frac{V_0(1-a)}{4\hat{v}_1} + 1 \right]^{1/(1-a)} - 1$$

dove:

$V_0$  = velocità al tetto dello strato;

$a$  = fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.)

$v$  = frequenza fondamentale di risonanza.

Nei casi più complessi (la maggioranza) si sono invertite le curve HVSR creando una serie di modelli teorici da confrontare con quello sperimentale, fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali.

## 9 - ELABORAZIONE DEI DATI DI MICROTREMORE

L'interpretazione consente di correlare il valore di un eventuale picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità relativa della rispettiva discontinuità sismica e i cambi litologici presenti nel sottosuolo. Interpretando 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 possono ricavare il valore di frequenza caratteristica del sito ( $f_0$ ).

Sapendo che ad ogni picco in frequenza corrisponde una profondità dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare per grandi linee una stratigrafia geofisica del sottosuolo.

Al fine di una valutazione relativa alla qualità statistica del risultato di una misura, è stata definita una check-list, proposta dal **progetto SESAME** (vedi tabella seguente), ove si evidenzia che, per la misura effettuata, sono stati rispettati i criteri di acquisizione per l'ottenimento di una curva H/V affidabile e che vengono soddisfatti i criteri per la determinazione di un picco certo del rapporto H/V e quindi la determinazione della presenza di una discontinuità stratigrafica.

### CRITERI DEL PROGETTO SESAME

<b>CRITERI PER UNA CURVA H/V AFFIDABILE</b> <i>(tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti)</i>	
#1.	$[f_0 > 10/L_w]$
#2.	$[n_c > 200]$
#3.	$[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$
<b>CRITERI PER UN PICCO H/V CHIARO</b> <i>(almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti)</i>	
#1.	$[\text{exists } f \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2]$
#2.	$[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2]$
#3.	$[A_0 > 2]$
#4.	$[f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$
#5.	$[\sigma_f < \varepsilon(f_0)]$
#6.	$[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$

dove:

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

In appendice, per ognuna delle misure HVSR effettate viene riportata una scheda riassuntiva dove sono descritte, oltre alla suddetta check-list dei criteri **SESAME**, tutte le informazioni sulla localizzazione della misura stessa e le caratteristiche principali dell'analisi

Pisa, luglio 2013

S.I.S.M.A. geo  
**PROSPEZIONI SISMICHE**  
Studio Associato: via Novelli, 5 - 56124 Pisa  
P. IVA: 01961590500

Dott. S. Buttiglieri  


Dott. L. Guido  


# APPENDICE

SCHEDE RIASSUNTIVE DELLE MISURE HVRS

Date: 6 5 2013 - **COLORETTA**

Dataset: **1\_HVSR\_03052013.saf**

Sampling frequency (Hz): 64 (reampled)

Window length (sec): 30

Length of analysed temporal sequence (min): 30

Tapering (%): 10

Coordinate Gauss-Boaga: 1560914 4909878



In the following the results considering the data in the 0.1-20.0 Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 5.9 ( $\pm 5.5$ )

Peak HVSR value: 2.8 ( $\pm 0.6$ )

==Criteria for a reliable H/V curve ==

#1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 5.9 > 0.33333 (**OK**)

#2. [ $n_c > 200$ ]: 12415 > 200 (**OK**)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (**OK**)

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

#1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 5.1Hz (**OK**)

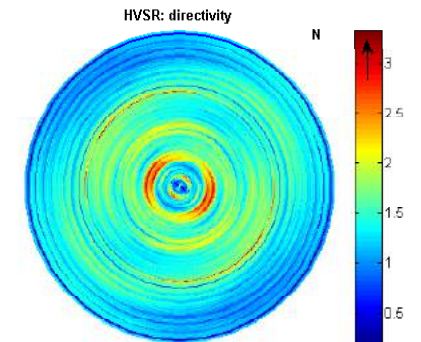
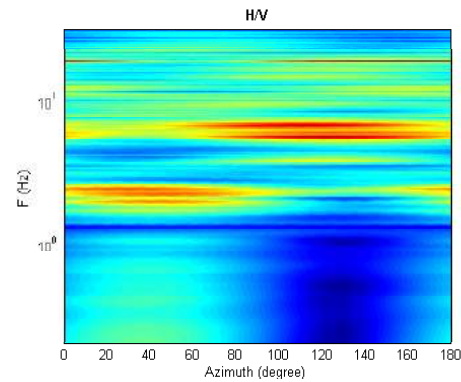
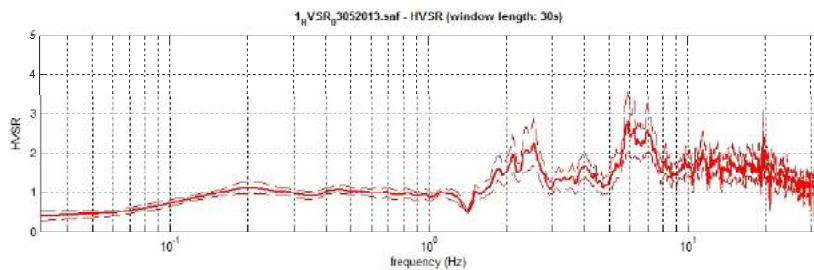
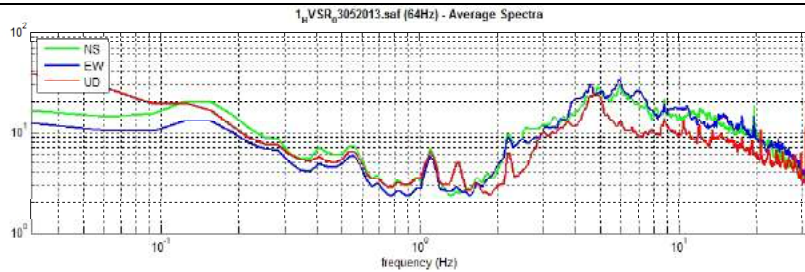
#2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 8.7Hz (**OK**)

#3. [ $A_0 > 2$ ]: 2.8 > 2 (**OK**)

#4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (**OK**)

#5. [ $\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$ ]: 5.502 > 0.296 (**NO**)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0.773 < 1.58 (**OK**)



Date: 7 5 2013 - COLORETTA

Dataset: 2\_HVSR\_03052013.saf

Sampling frequency (Hz): 64 (reampled)

Window length (sec): 25

Length of analysed temporal sequence (min): 30.0

Tapering (%): 10

Coordinate Gauss-Boaga: 1560749 4909941



In the following the results considering the data in the 0.1-20.0 Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 14.0 ( $\pm 5.3$ )

Peak HVSR value: 4.2 ( $\pm 1.3$ )

==Criteria for a reliable H/V curve ==

#1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 14.0 > 0.4 (OK)

#2. [ $nc > 200$ ]: 24524 > 200 (OK)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

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

#1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 13.6Hz (OK)

#2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 16.1Hz (OK)

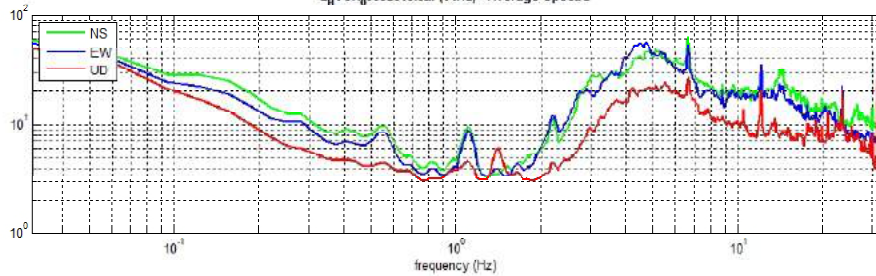
#3. [ $A_0 > 2$ ]: 4.2 > 2 (OK)

#4. [ $f_{\text{peak}}[A_h/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)

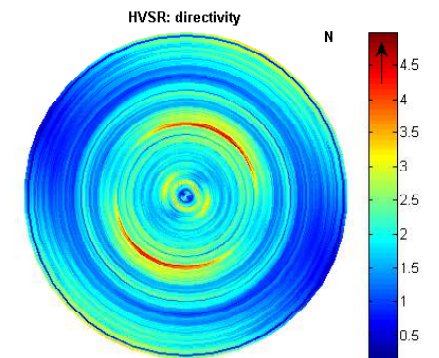
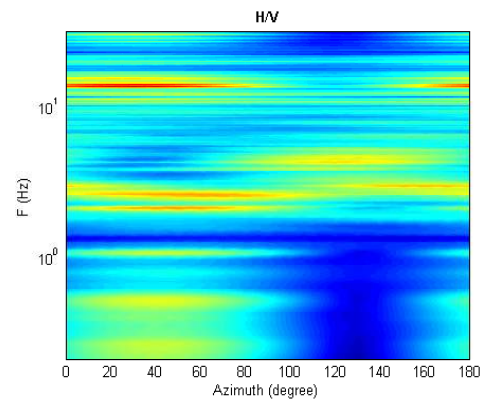
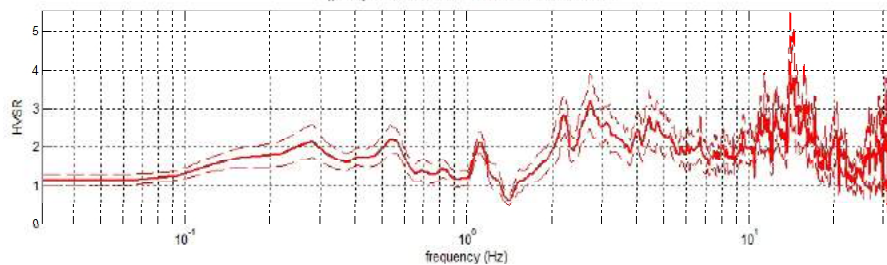
#5. [ $\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$ ]: 5.270 > 0.701 (NO)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 1.339 < 1.58 (OK)

Z<sub>H</sub>VSR<sub>03052013.saf</sub> (64Hz) - Average Spectra



Z<sub>H</sub>VSR<sub>03052013.saf</sub> - HVSR (window length: 25s)



Date: 7 5 2013 - **COLORETTA**

Dataset: **3\_HVSR\_03052013.saf**

Sampling frequency (Hz): 64 (reampled)

Window length (sec): 25

Length of analysed temporal sequence (min): 30.0

Tapering (%): 10

Coordinate Gauss-Boaga: 1560850 4910084



In the following the results considering the data in the 0.1-20.0 Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 5.0 ( $\pm 3.6$ )

Peak HVSR value: 2.4 ( $\pm 0.7$ )

==Criteria for a reliable H/V curve ==

#1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 5.0 > 0.4 (OK)

#2. [ $nc > 200$ ]: 15294 > 200 (OK)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\text{sigmaA}(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

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

#1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 1.9Hz (OK)

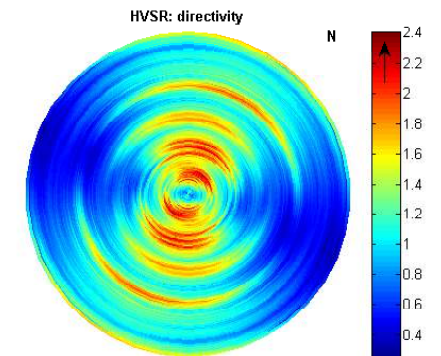
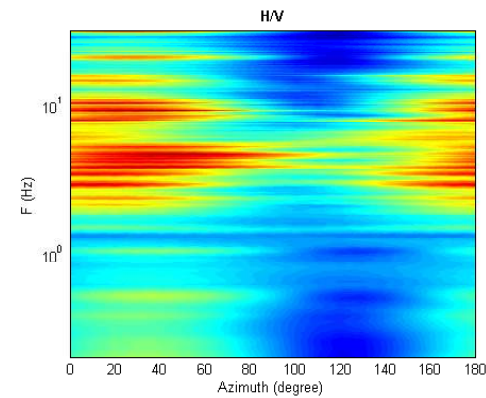
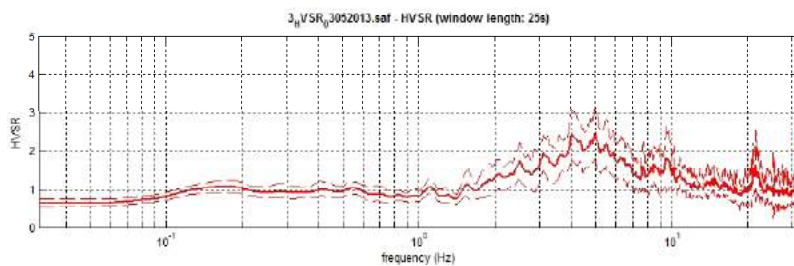
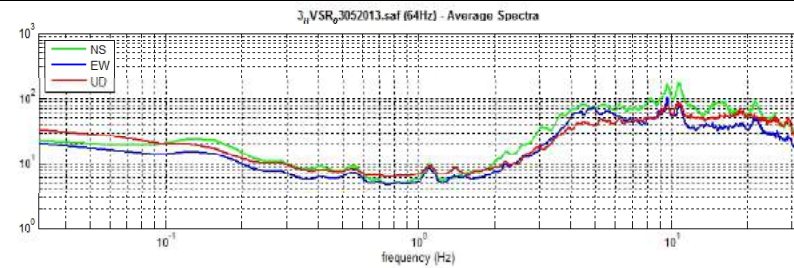
#2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 10.4Hz (OK)

#3. [ $A_0 > 2$ ]: 2.4 > 2 (OK)

#4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \text{sigmaA}(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)

#5. [ $\text{sigma}_f < \text{epsilon}(f_0)$ ]: 3.571 > 0.249 (NO)

#6. [ $\text{sigmaA}(f_0) < \text{theta}(f_0)$ ]: 0.642 < 1.58 (OK)





Date: 7 5 2013 - **COLORETTA**

Dataset: **4\_HVSR\_03052013.saf**  
Sampling frequency (Hz): 64 (reampled)  
Window length (sec): 20  
Length of analysed temporal sequence (min): 25.4  
Tapering (%): 10

Coordinate Gauss-Boaga: 1560600 4910083



**In the following the results considering the data in the 0.1-20.0 Hz frequency range**

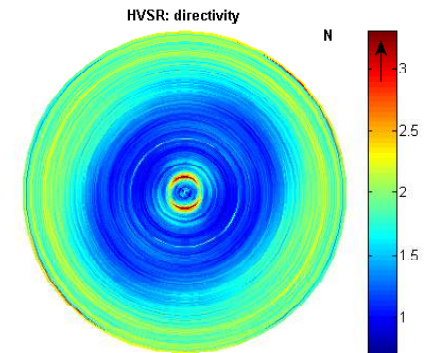
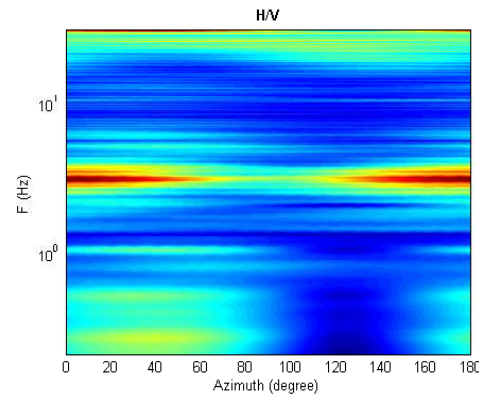
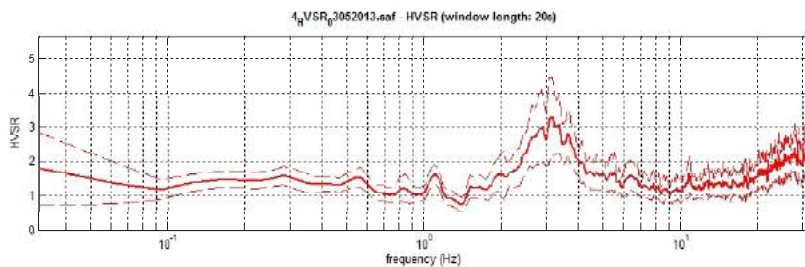
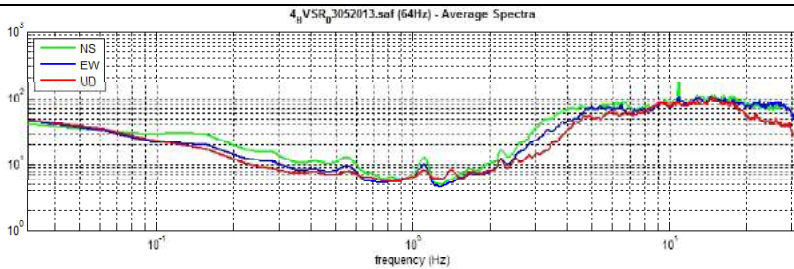
Peak frequency (Hz): 3.2 ( $\pm 5.3$ )  
Peak HVSR value: 3.3 ( $\pm 1.1$ )

**==Criteria for a reliable H/V curve ==**

- #1.  $[f_0 > 10/Lw]$ :  $3.2 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[nc > 200]$ :  $9636 > 200$  (OK)
- #3.  $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

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

- #1.  $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f_-) < A_0/2]$ : yes, at frequency 2.2Hz (OK)
- #2.  $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f_+) < A_0/2]$ : yes, at frequency 4.3Hz (OK)
- #3.  $[A_0 > 2]$ :  $3.3 > 2$  (OK)
- #4.  $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$ : (OK)
- #5.  $[\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)]$ :  $5.312 > 0.160$  (NO)
- #6.  $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$ :  $1.194 < 1.58$  (OK)



Date: 7 5 2013 - **COLORETTA**

Dataset: **5\_HVSR\_03052013.saf**  
Sampling frequency (Hz): 64 (reampled)  
Window length (sec): 20  
Length of analysed temporal sequence (min): 24.6  
Tapering (%): 10

Coordinate Gauss-Boaga: 1560546 4910184



**In the following the results considering the data in the 0.1-20.0 Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 4.6 ( $\pm 4.7$ )  
Peak HVSR value: 1.9 ( $\pm 0.4$ )

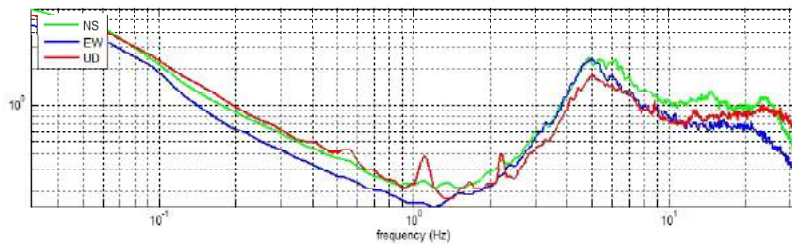
**==Criteria for a reliable H/V curve ==**

- #1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 4.6 > 0.5 (**OK**)
- #2. [ $nc > 200$ ]: 13427 > 200 (**OK**)
- #3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (**OK**)

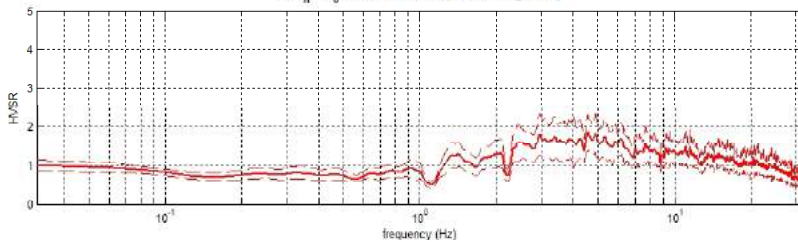
**==Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) ==**

- #1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 2.3Hz (**OK**)
- #2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: (**NO**)
- #3. [ $A_0 > 2$ ]: 1.9 < 2 (**NO**)
- #4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (**NO**)
- #5. [ $\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$ ]: 4.677 > 0.230 (**NO**)
- #6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0.452 < 1.58 (**OK**)

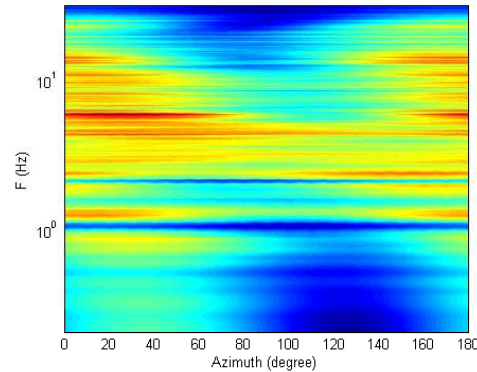
5 bis\_VSR\_03052013.saf (64Hz) - Average Spectra



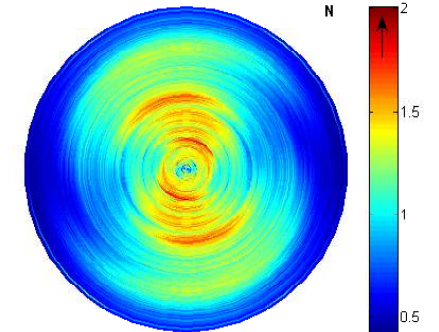
5 bis\_VSR\_03052013.saf - HVSR (window length: 20s)



H/V



HVSR: directivity



Date: 7 5 2013 - **COLORETTA**

Dataset: **6\_HVSR\_03052013.saf**  
Sampling frequency (Hz): 64 (reampled)  
Window length (sec): 20  
Length of analysed temporal sequence (min): 25.5  
Tapering (%): 10

Coordinate Gauss-Boaga: 1560382 4910361



**In the following the results considering the data in the 0.1-20.0 Hz frequency range**

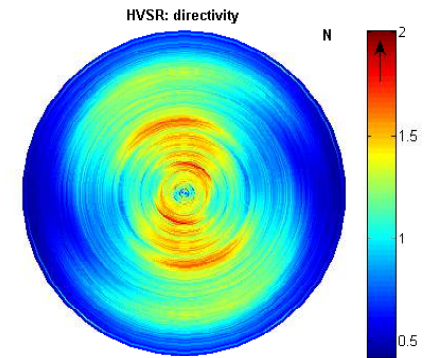
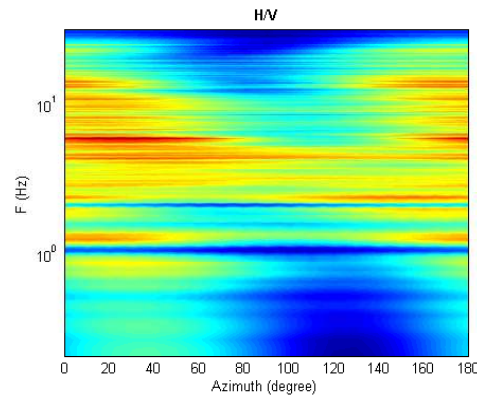
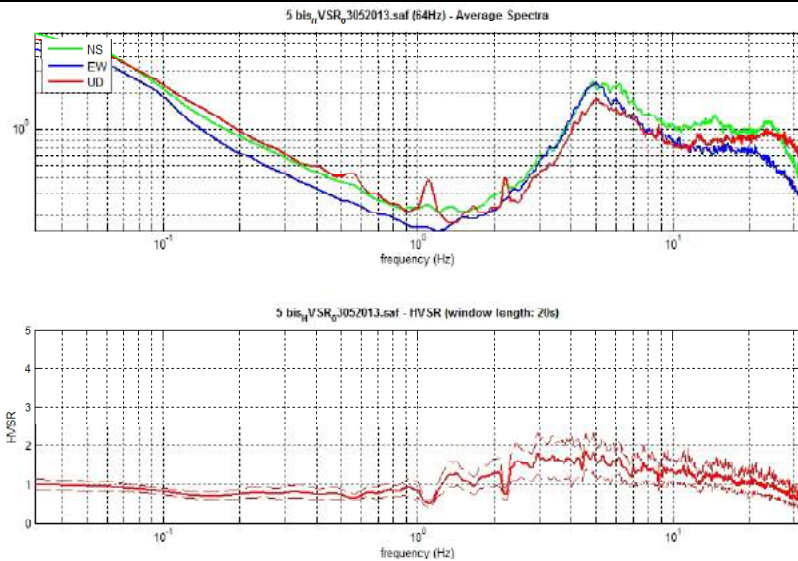
Peak frequency (Hz): 9.0 ( $\pm 4.0$ )  
Peak HVSR value: 2.6 ( $\pm 0.7$ )

**==Criteria for a reliable H/V curve ==**

- #1.  $[f_0 > 10/Lw]$ : 9.0 > 0.5 (OK)
- #2.  $[nc > 200]$ : 27301 > 200 (OK)
- #3.  $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

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

- #1.  $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f_-) < A_0/2]$ : yes, at frequency 7.9Hz (OK)
- #2.  $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f_+) < A_0/2]$ : yes, at frequency 12.2Hz (OK)
- #3.  $[A_0 > 2]$ : 2.6 > 2 (OK)
- #4.  $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$ : (OK)
- #5.  $[\sigma_{\text{f}} < \epsilon(f_0)]$ : 3.963 > 0.452 (NO)
- #6.  $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$ : 0.703 < 1.58 (OK)



Date: 7 5 2013 - COLORETTA

Dataset: 7\_HVSR\_03052013.saf  
Sampling frequency (Hz): 64 (reampled)  
Window length (sec): 20  
Length of analysed temporal sequence (min): 24.6  
Tapering (%): 10

Coordinate Gauss-Boaga: 1560272 4910310



In the following the results considering the data in the 0.1-20.0 Hz frequency range

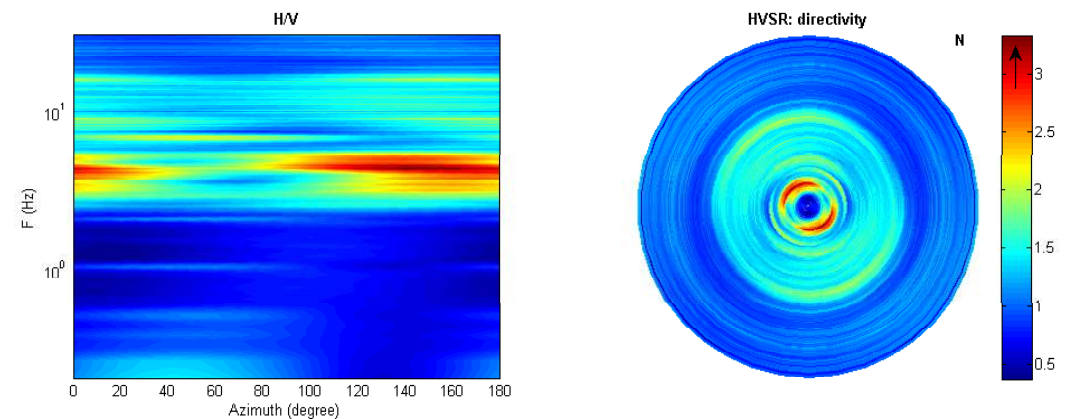
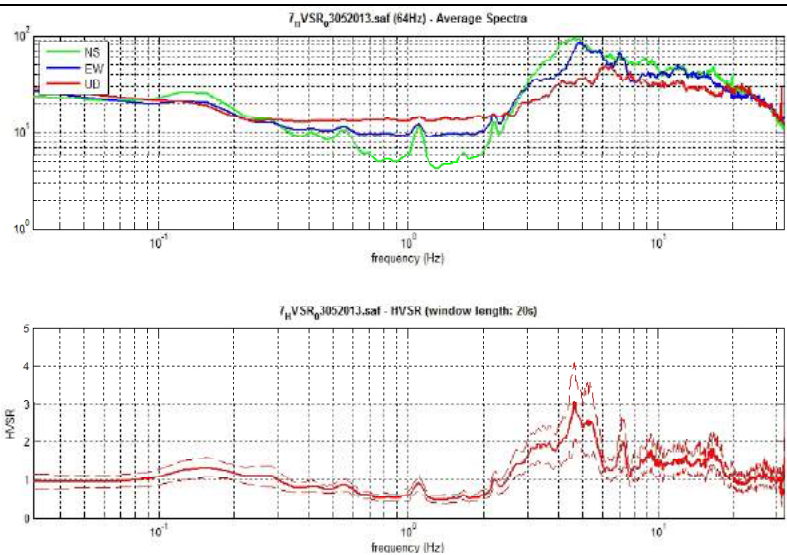
Peak frequency (Hz): 4.7 ( $\pm 4.8$ )  
Peak HVSR value: 3.1 ( $\pm 0.9$ )

==Criteria for a reliable H/V curve ==

- #1.  $[f_0 > 10/Lw]$ : 4.7 > 0.5 (OK)
- #2.  $[nc > 200]$ : 13610 > 200 (OK)
- #3.  $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

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

- #1.  $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f_-) < A_0/2]$ : yes, at frequency 2.9Hz (OK)
- #2.  $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f_+) < A_0/2]$ : yes, at frequency 6.0Hz (OK)
- #3.  $[A_0 > 2]$ : 3.1 > 2 (OK)
- #4.  $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$ : (OK)
- #5.  $[\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)]$ : 4.771 > 0.233 (NO)
- #6.  $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$ : 1.003 < 1.58 (OK)



Date: 8 5 2013 - **COLORETTA**

Dataset: **8\_HVSR\_03052013.saf**

Sampling frequency (Hz): 64 (reampled)

Window length (sec): 30

Length of analysed temporal sequence (min): 25.9

Tapering (%): 10

Coordinate Gauss-Boaga: 1560176 4910401



**In the following the results considering the data in the 0.1-20.0 Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 5.3 ( $\pm 2.4$ )

Peak HVSR value: 3.9 ( $\pm 1.1$ )

**==Criteria for a reliable H/V curve ==**

#1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 5.3 > 0.33333 (**OK**)

#2. [ $nc > 200$ ]: 16272 > 200 (**OK**)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (**OK**)

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

#1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 2.4Hz (**OK**)

#2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 9.2Hz (**OK**)

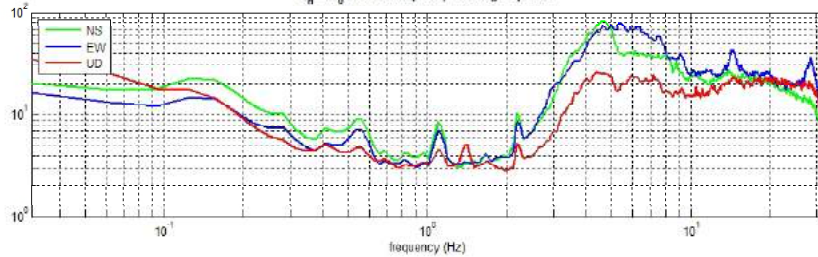
#3. [ $A_0 > 2$ ]: 3.9 > 2 (**OK**)

#4. [ $f_{\text{peak}}[A_h/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (**OK**)

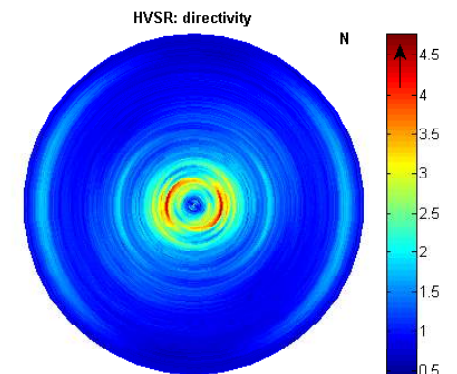
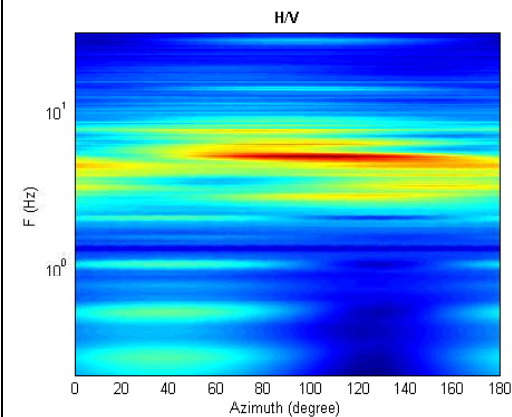
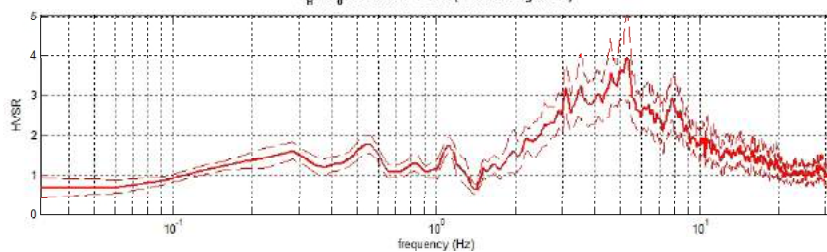
#5. [ $\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$ ]: 2.378 > 0.266 (**NO**)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 1.103 < 1.58 (**OK**)

8\_HVSR\_03052013.saf (64Hz) - Average Spectra



8\_HVSR\_03052013.saf HVSR (window length: 30s)



Date: 8 5 2013 - **COLORETTA**

Dataset: **9\_HVSR\_03052013.saf**

Sampling frequency (Hz): 64 (reampled)

Window length (sec): 30

Length of analysed temporal sequence (min): 26.2

Tapering (%): 10

Coordinate Gauss-Boaga: 1560250 4910165



**In the following the results considering the data in the 0.1-20.0 Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 4.1 ( $\pm 0.7$ )

Peak HVSR value: 3.1 ( $\pm 0.6$ )

**==Criteria for a reliable H/V curve ==**

#1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 4.1 > 0.33333 (**OK**)

#2. [ $nc > 200$ ]: 12565 > 200 (**OK**)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (**OK**)

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

#1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 2.4Hz (**OK**)

#2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: (**NO**)

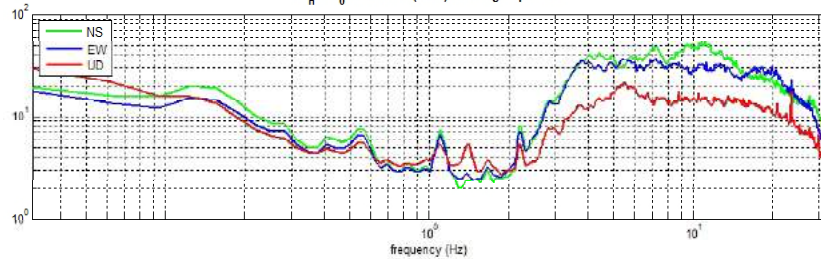
#3. [ $A_0 > 2$ ]: 3.1 > 2 (**OK**)

#4. [ $f_{\text{peak}}[A_h/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (**OK**)

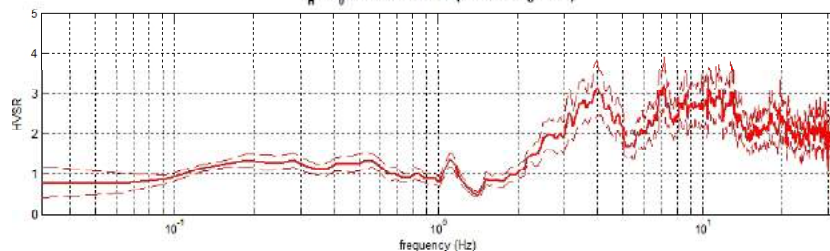
#5. [ $\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$ ]: 0.704 > 0.203 (**NO**)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0.664 < 1.58 (**OK**)

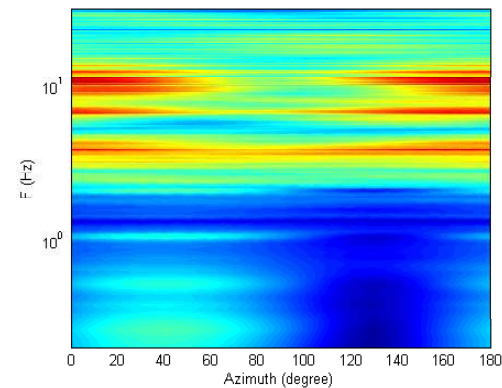
9\_HVSR\_03052013.saf (64Hz) - Average Spectra



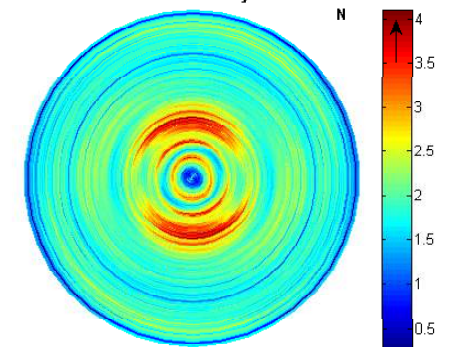
9\_HVSR\_03052013.saf - HVSR (window length: 30s)



H/V



HVSR: directivity



Date: 8 5 2013 - **COLORETTA**

Dataset: **10\_HVSR\_03052013.saf**  
Sampling frequency (Hz): 64 (reampled)  
Window length (sec): 20  
Length of analysed temporal sequence (min): 28.1  
Tapering (%): 10

Coordinate Gauss-Boaga: 1560401 4910155



**In the following the results considering the data in the 0.1-20.0 Hz frequency range**

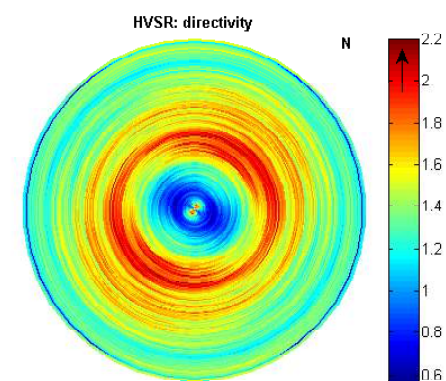
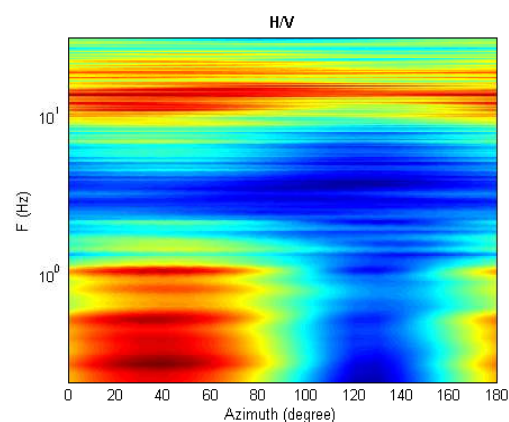
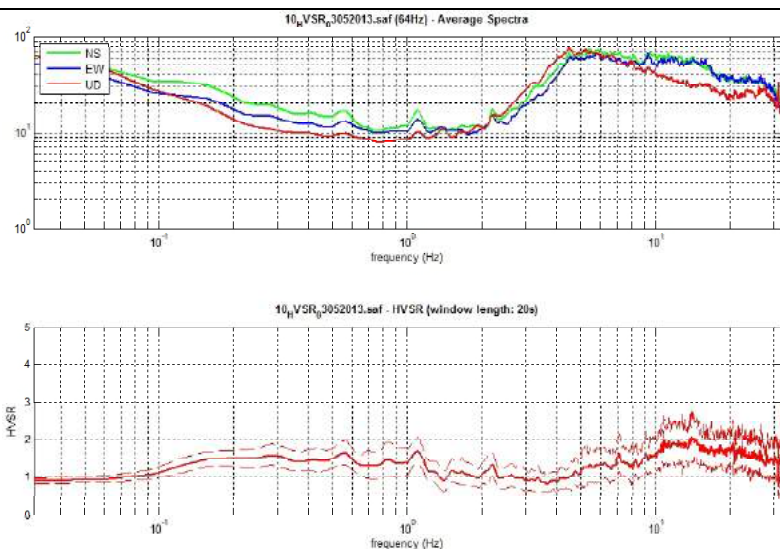
Peak frequency (Hz): 14.0 ( $\pm 5.0$ )  
Peak HVSR value: 2.1 ( $\pm 0.7$ )

**==Criteria for a reliable H/V curve ==**

- #1.  $[f_0 > 10/Lw]$ :  $14.0 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[nc > 200]$ :  $46597 > 200$  (OK)
- #3.  $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

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

- #1.  $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f_-) < A_0/2]$ : yes, at frequency 4.6Hz (OK)
- #2.  $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f_+) < A_0/2]$ : (NO)
- #3.  $[A_0 > 2]$ :  $2.1 > 2$  (OK)
- #4.  $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$ : (OK)
- #5.  $[\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)]$ :  $5.025 > 0.698$  (NO)
- #6.  $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$ :  $0.689 < 1.58$  (OK)



Date: 9 5 2013 - PATIGNO

Dataset: 11\_HVSR\_04052013.saf

Sampling frequency (Hz): 64 (reampled)

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 16.2

Tapering (%): 10

Coordinate Gauss-Boaga: 1560947 4911410



In the following the results considering the data in the 0.1-20.0 Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 4.7 ( $\pm 5.7$ )

Peak HVSR value: 2.7 ( $\pm 0.8$ )

==Criteria for a reliable H/V curve ==

#1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 4.7 > 0.5 (OK)

#2. [ $nc > 200$ ]: 9009 > 200 (OK)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

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

#1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 2.3Hz (OK)

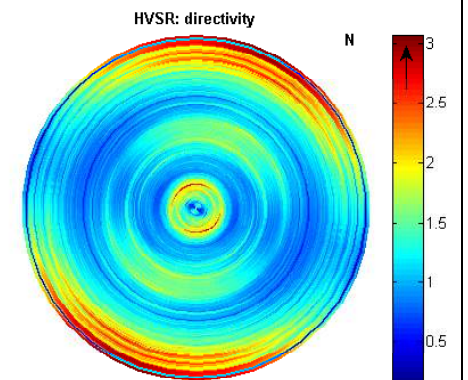
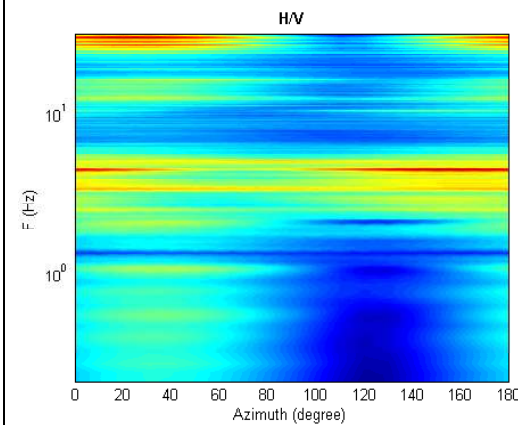
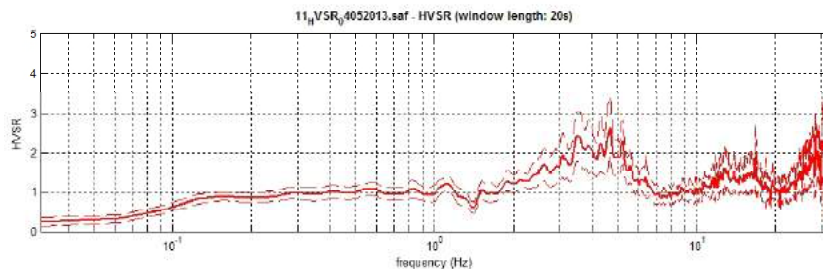
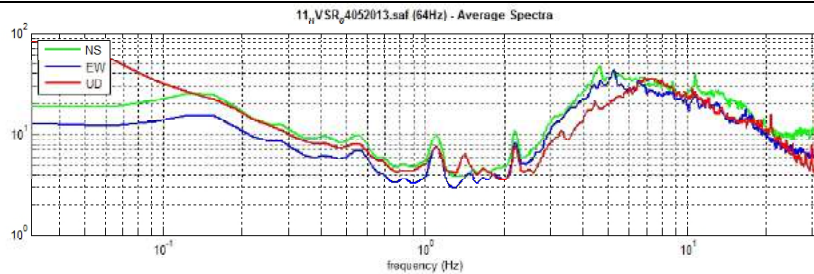
#2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 5.8Hz (OK)

#3. [ $A_0 > 2$ ]: 2.7 > 2 (OK)

#4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)

#5. [ $\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$ ]: 5.701 > 0.235 (NO)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0.717 < 1.58 (OK)





Date: 9 5 2013 - PATIGNO

Dataset: 12\_HVSR\_04052013.saf

Sampling frequency (Hz): 64 (reampled)

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 18.3

Tapering (%): 10

Coordinate Gauss-Boaga: 1560790 4911522



In the following the results considering the data in the 0.1-20.0 Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 5.5 ( $\pm 5.0$ )

Peak HVSR value: 1.9 ( $\pm 0.5$ )

==Criteria for a reliable H/V curve ==

#1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 5.5 > 0.5 (OK)

#2. [ $nc > 200$ ]: 11959 > 200 (OK)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

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

#1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 1.5Hz (OK)

#2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 10.5Hz (OK)

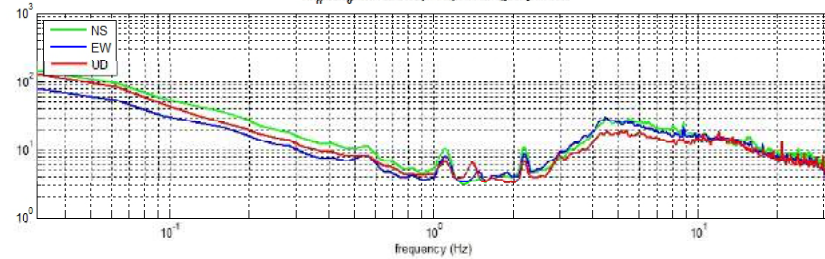
#3. [ $A_0 > 2$ ]: 1.9 < 2 (NO)

#4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (NO)

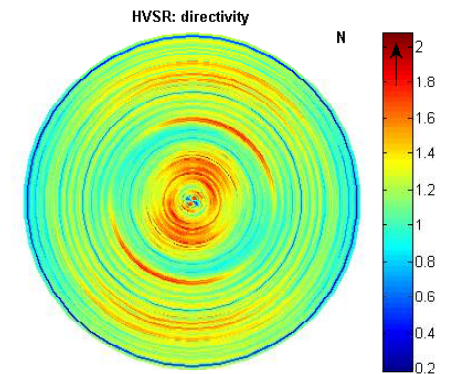
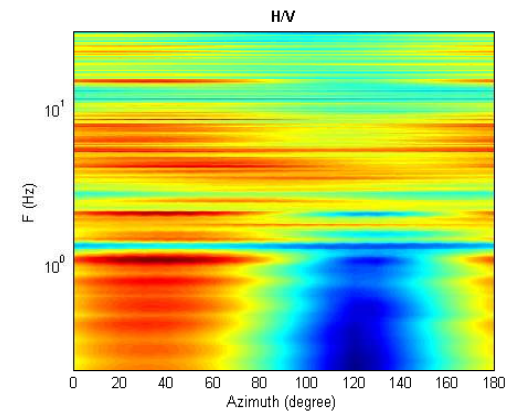
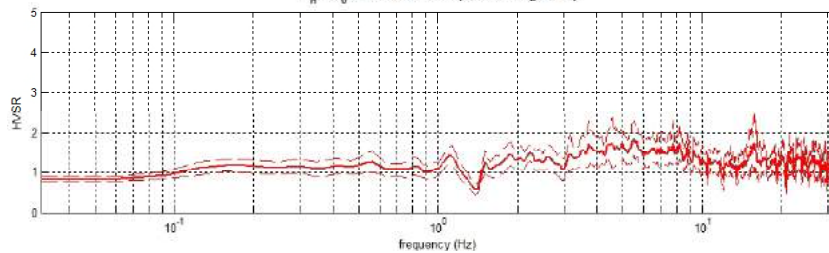
#5. [ $\sigma_{\text{f}} < \epsilon(f_0)$ ]: 4.993 > 0.277 (NO)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0.413 < 1.58 (OK)

12\_HVSR\_04052013.saf (64Hz) - Average Spectra



12\_HVSR\_04052013.saf - HVSR (window length: 20s)



Date: 9 5 2013 - PATIGNO

Dataset: 13\_HVSR\_04052013.saf  
Sampling frequency (Hz): 64 (reampled)  
Window length (sec): 20  
Length of analysed temporal sequence (min): 20.1  
Tapering (%): 10

Coordinate Gauss-Boaga: 1560723 4911690



In the following the results considering the data in the 0.1-20.0 Hz frequency range

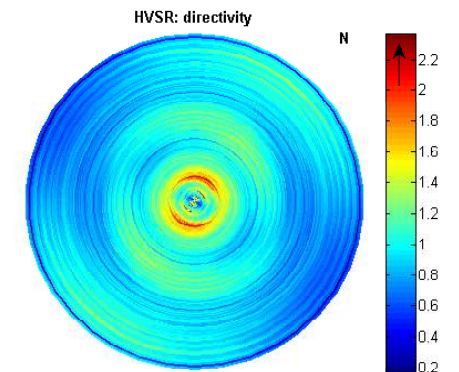
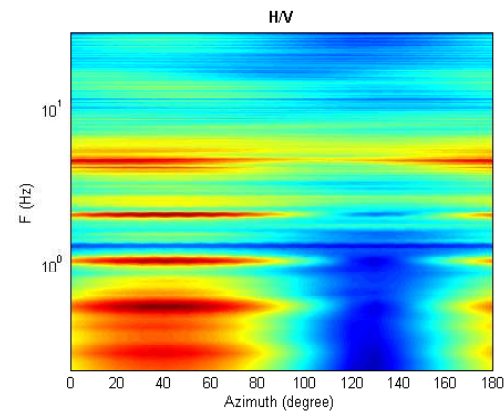
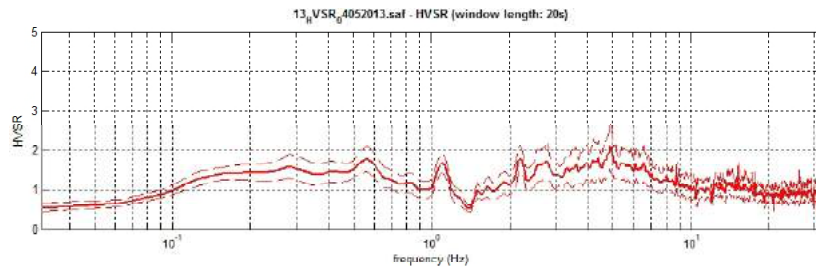
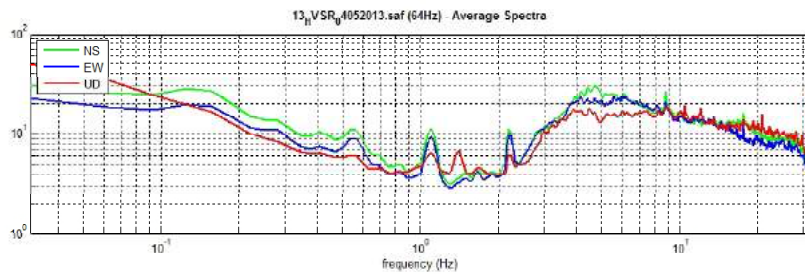
Peak frequency (Hz): 4.9 ( $\pm 4.4$ )  
Peak HVSR value: 2.1 ( $\pm 0.6$ )

==Criteria for a reliable H/V curve ==

- #1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 4.9 > 0.5 (OK)
- #2. [ $nc > 200$ ]: 11688 > 200 (OK)
- #3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

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

- #1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 1.8Hz (OK)
- #2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 9.8Hz (OK)
- #3. [ $A_0 > 2$ ]: 2.1 > 2 (OK)
- #4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)
- #5. [ $\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$ ]: 4.448 > 0.246 (NO)
- #6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0.601 < 1.58 (OK)



Date: 9 5 2013 - PATIGNO

Dataset: 14\_HVSR\_04052013.saf

Sampling frequency (Hz): 64 (reampled)

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 30.0

Tapering (%): 10

Coordinate Gauss-Boaga: 1560752 4911376



In the following the results considering the data in the 0.1-20.0 Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 4.3 ( $\pm 5.6$ )

Peak HVSR value: 2.3 ( $\pm 0.6$ )

==Criteria for a reliable H/V curve ==

#1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 4.3 > 0.5 (OK)

#2. [ $nc > 200$ ]: 5044 > 200 (OK)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

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

#1. [exists f- in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 3.1Hz (OK)

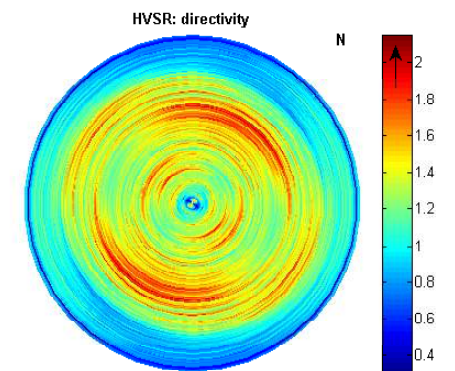
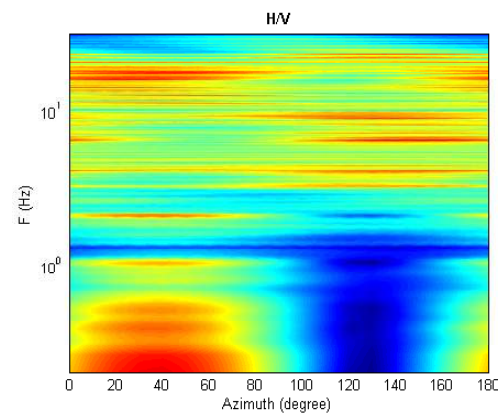
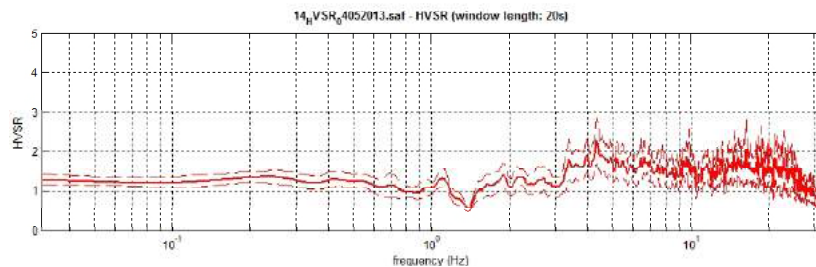
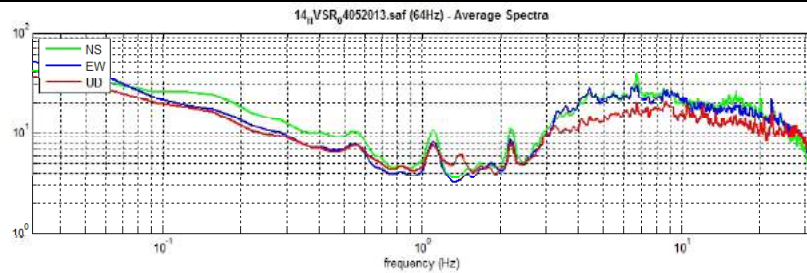
#2. [exists f+ in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 10.4Hz (OK)

#3. [ $A_0 > 2$ ]: 2.3 > 2 (OK)

#4. [ $f_{\text{peak}}[A_h/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)

#5. [ $\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$ ]: 5.602 > 0.217 (NO)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0.575 < 1.58 (OK)



Date: 9 5 2013 - PATIGNO

Dataset: 15\_HVSR\_04052013.saf

Sampling frequency (Hz): 64 (reampled)

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 30.0

Tapering (%): 10

Coordinate Gauss-Boaga: 1560920 4911265



In the following the results considering the data in the 0.1-20.0 Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 6.7 ( $\pm 4.1$ )

Peak HVSR value: 1.8 ( $\pm 0.4$ )

==Criteria for a reliable H/V curve ==

#1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 6.7 > 0.5 (OK)

#2. [ $nc > 200$ ]: 11568 > 200 (OK)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

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

#1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 2.9Hz (OK)

#2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 16.5Hz (OK)

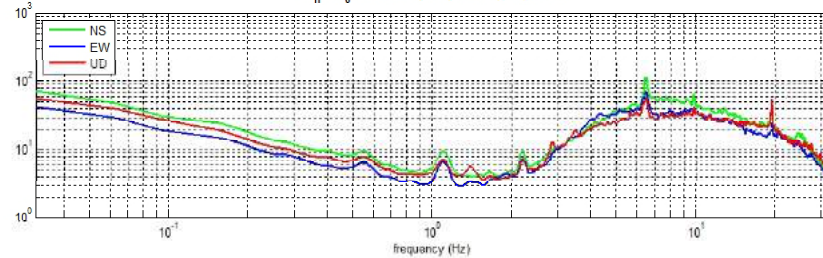
#3. [ $A_0 > 2$ ]: 1.8 < 2 (NO)

#4. [ $f_{\text{peak}}[A_h/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)

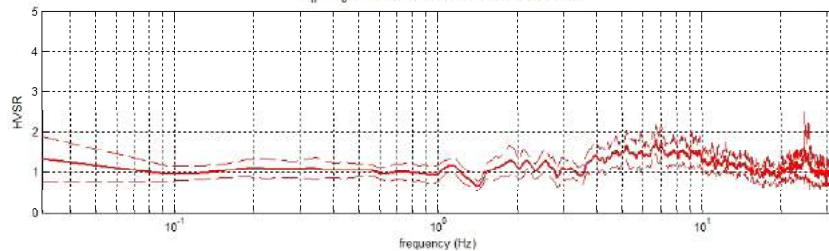
#5. [ $\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$ ]: 4.120 > 0.336 (NO)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0.362 < 1.58 (OK)

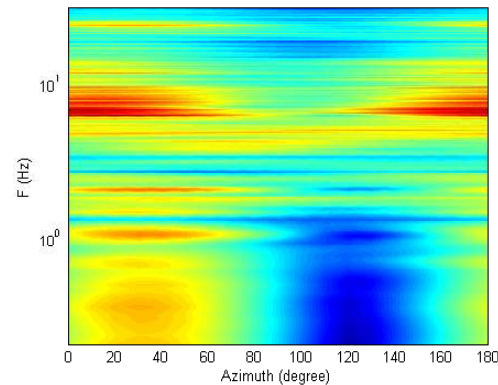
15\_HVSR\_04052013.saf (64Hz) - Average Spectra



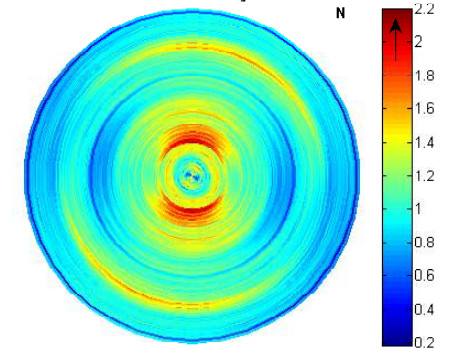
15\_HVSR\_04052013.saf - HVSR (window length: 20s)



H/V



HVSR: directivity



Date: 9 5 2013 - PATIGNO

Dataset: 16\_HVSR\_04052013.saf

Sampling frequency (Hz): 64 (reampled)

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 30.0

Tapering (%): 10

Coordinate Gauss-Boaga: 1560938 4911011



In the following the results considering the data in the 0.1-20.0 Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 3.8 ( $\pm 5.6$ )

Peak HVSR value: 2.9 ( $\pm 0.7$ )

==Criteria for a reliable H/V curve ==

#1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 3.8 > 0.5 (OK)

#2. [ $nc > 200$ ]: 7418 > 200 (OK)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

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

#1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 2.4Hz (OK)

#2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 6.5Hz (OK)

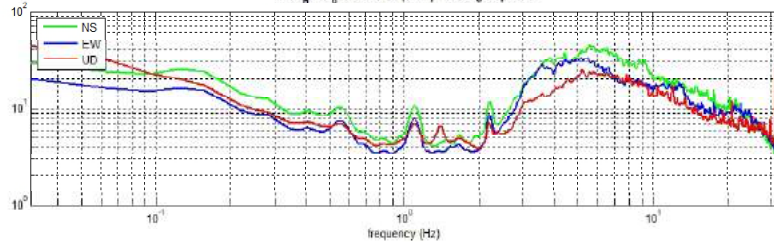
#3. [ $A_0 > 2$ ]: 2.9 > 2 (OK)

#4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)

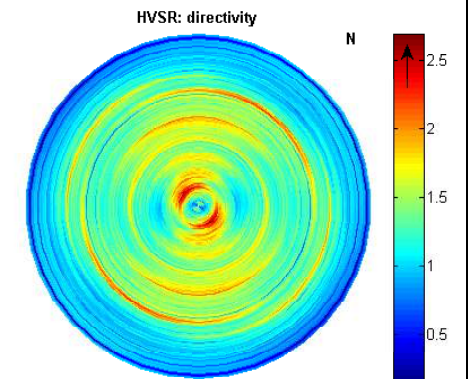
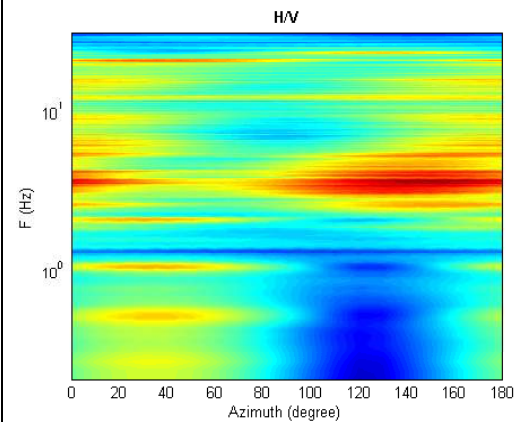
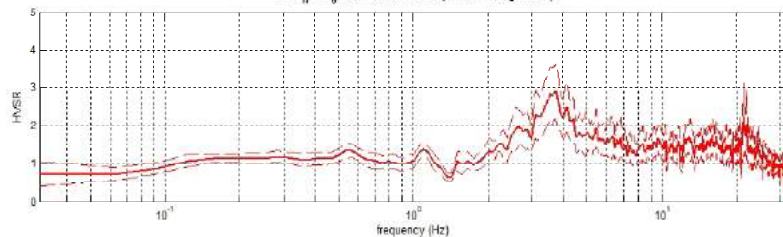
#5. [ $\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$ ]: 5.591 > 0.189 (NO)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0.728 < 1.58 (OK)

16 bis\_VSR\_04052013.saf (64Hz) - Average Spectra



16 bis\_VSR\_04052013.saf - HVSR (window length: 20s)



Date: 9 5 2013 - PATIGNO

Dataset: 17\_HVSR\_04052013.saf

Sampling frequency (Hz): 64 (reampled)

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 20.0

Tapering (%): 10

Coordinate Gauss-Boaga: 1561048 4911170



In the following the results considering the data in the 0.1-20.0 Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 10.3 ( $\pm 4.6$ )

Peak HVSR value: 3.0 ( $\pm 0.6$ )

==Criteria for a reliable H/V curve ==

#1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]:  $10.3 > 0.5$  (OK)

#2. [ $nc > 200$ ]:  $24214 > 200$  (OK)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

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

#1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 5.3Hz (OK)

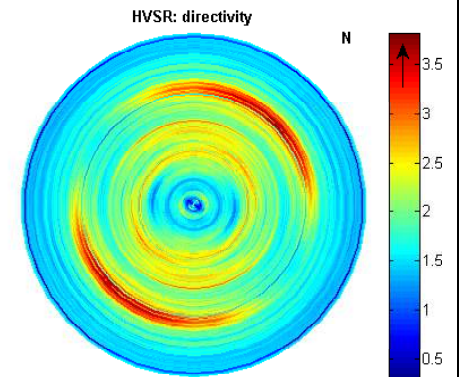
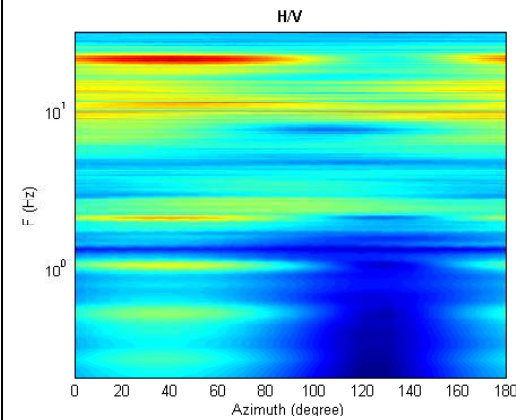
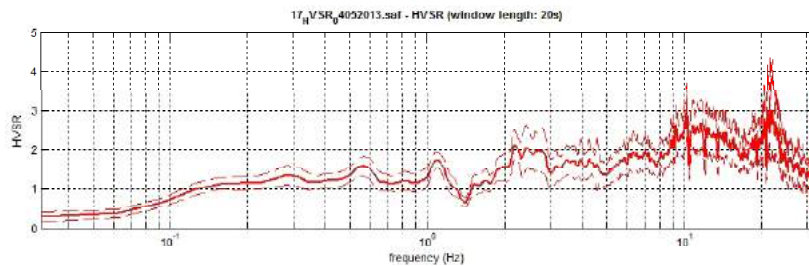
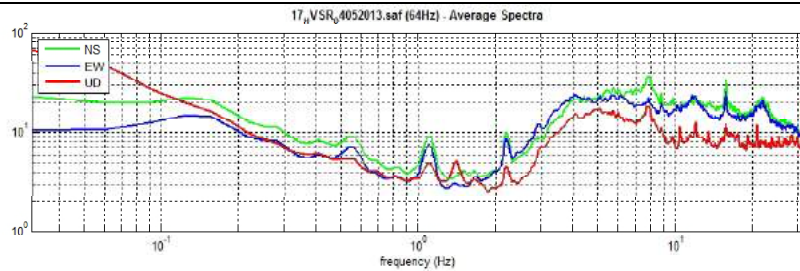
#2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: (NO)

#3. [ $A_0 > 2$ ]:  $3.0 > 2$  (OK)

#4. [ $f_{\text{peak}}[A_h/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)

#5. [ $\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$ ]:  $4.625 > 0.513$  (NO)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]:  $0.699 < 1.58$  (OK)



Date: 9 5 2013 – **SAN LORENZO**

Dataset: **18\_HVSR\_04052013.saf**

Sampling frequency (Hz): 64 (reampled)

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 19.5

Tapering (%): 10

Coordinate Gauss-Boaga: 1561037 4910971



**In the following the results considering the data in the 0.1-20.0 Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 3.4 ( $\pm 5.2$ )

Peak HVSR value: 2.3 ( $\pm 0.5$ )

**==Criteria for a reliable H/V curve ==**

#1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 3.4 > 0.5 (**OK**)

#2. [ $nc > 200$ ]: 7914 > 200 (**OK**)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (**OK**)

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

#1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 2.0Hz (**OK**)

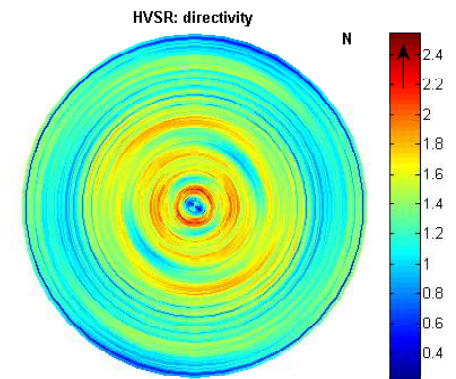
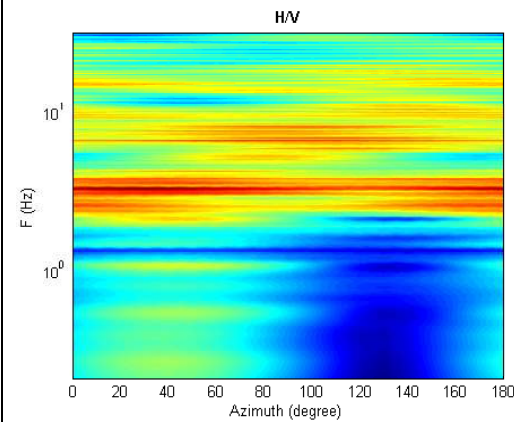
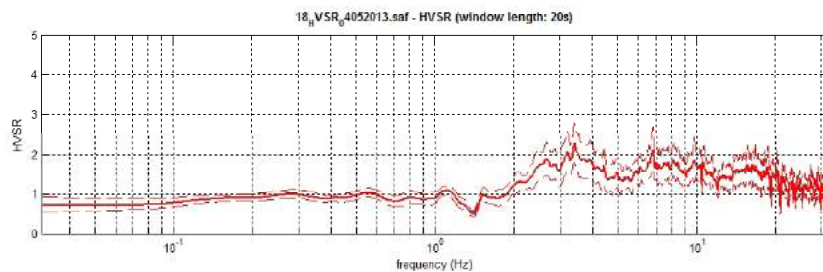
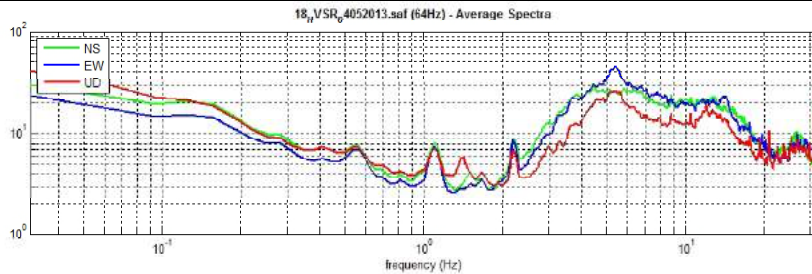
#2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 12.0Hz (**OK**)

#3. [ $A_0 > 2$ ]: 2.3 > 2 (**OK**)

#4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (**OK**)

#5. [ $\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$ ]: 5.179 > 0.172 (**NO**)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0.499 < 1.58 (**OK**)



Date: 9 5 2013 – **SAN LORENZO**

Dataset: **19\_HVSR\_04052013.saf**

Sampling frequency (Hz): 64 (reampled)

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 18.3

Tapering (%): 10

Coordinate Gauss-Boaga: 1561219 4910886



**In the following the results considering the data in the 0.1-20.0 Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 3.9 ( $\pm 3.8$ )

Peak HVSR value: 3.2 ( $\pm 0.7$ )

**==Criteria for a reliable H/V curve ==**

#1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 3.9 > 0.5 (**OK**)

#2. [ $nc > 200$ ]: 8513 > 200 (**OK**)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (**OK**)

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

#1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 3.0Hz (**OK**)

#2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 6.0Hz (**OK**)

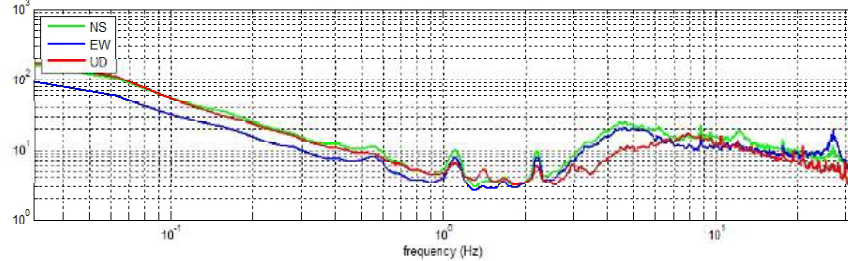
#3. [ $A_0 > 2$ ]: 3.2 > 2 (**OK**)

#4. [ $f_{\text{peak}}[A_h/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (**OK**)

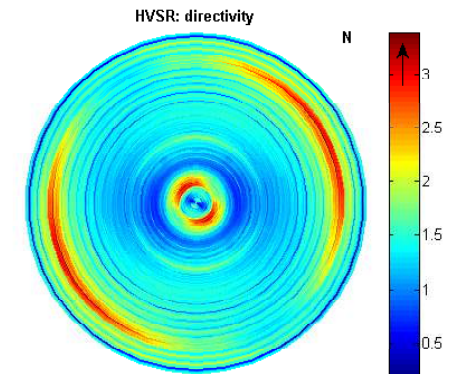
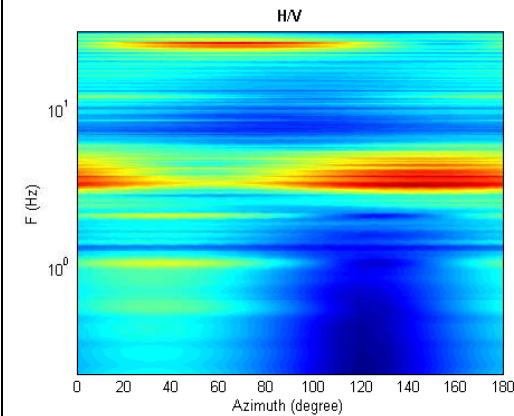
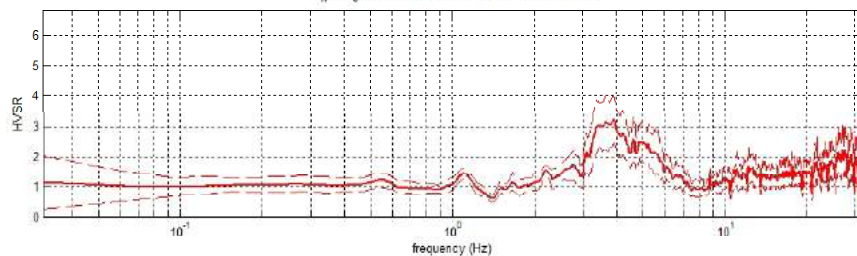
#5. [ $\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$ ]: 3.843 > 0.197 (**NO**)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0.796 < 1.58 (**OK**)

19\_HVSR\_04052013.saf (64Hz) - Average Spectra



19\_HVSR\_04052013.saf - HVSR (window length: 20s)





Date: 9 5 2013 - NOCE

Dataset: 20\_HVSR\_04052013.saf

Sampling frequency (Hz): 64 (reampled)

Window length (sec): 25

Length of analysed temporal sequence (min): 20.3

Tapering (%): 10

Coordinate Gauss-Boaga: 1561369 4910837



In the following the results considering the data in the 0.1-20.0 Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 5.3 ( $\pm 3.3$ )

Peak HVSR value: 4.0 ( $\pm 0.9$ )

==Criteria for a reliable H/V curve ==

#1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 5.3 > 0.4 (OK)

#2. [ $nc > 200$ ]: 12612 > 200 (OK)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

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

#1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 3.3Hz (OK)

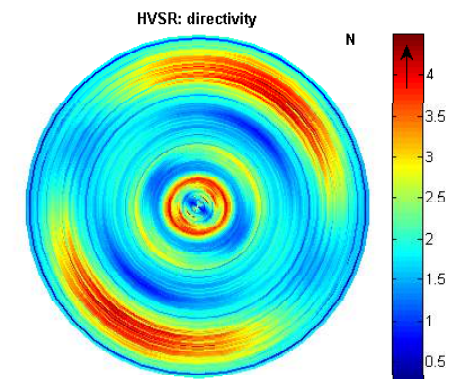
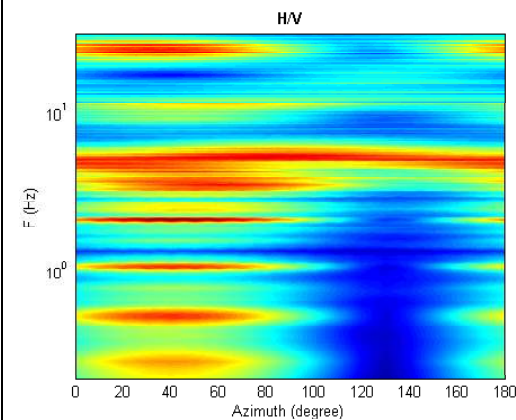
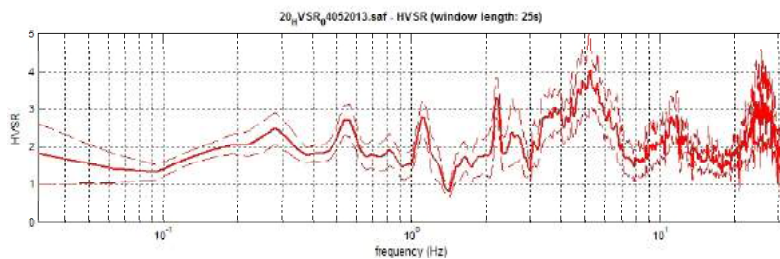
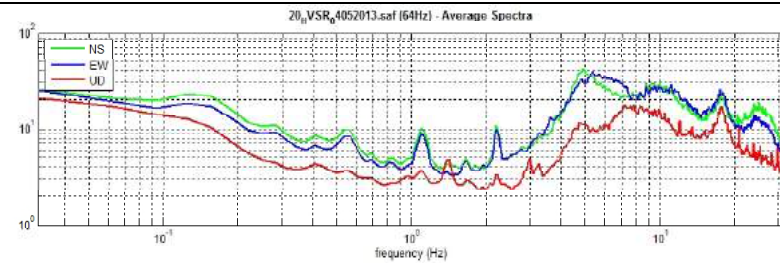
#2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 6.9Hz (OK)

#3. [ $A_0 > 2$ ]: 4.0 > 2 (OK)

#4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)

#5. [ $\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$ ]: 3.323 > 0.263 (NO)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0.967 < 1.58 (OK)



Date: 6 6 2013 - COLORETTA

Dataset: 21\_HVSR\_04062013.saf

Sampling frequency (Hz): 64 (reampled)

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 21.6

Tapering (%): 10

Coordinate Gauss-Boaga: 1560658 4909985



In the following the results considering the data in the 0.1-20.0 Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 3.9 ( $\pm 4.5$ )

Peak HVSR value: 3.1 ( $\pm 0.8$ )

==Criteria for a reliable H/V curve ==

#1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 3.9 > 0.5 (OK)

#2. [ $nc > 200$ ]: 10090 > 200 (OK)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

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

#1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 3.1Hz (OK)

#2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 5.8Hz (OK)

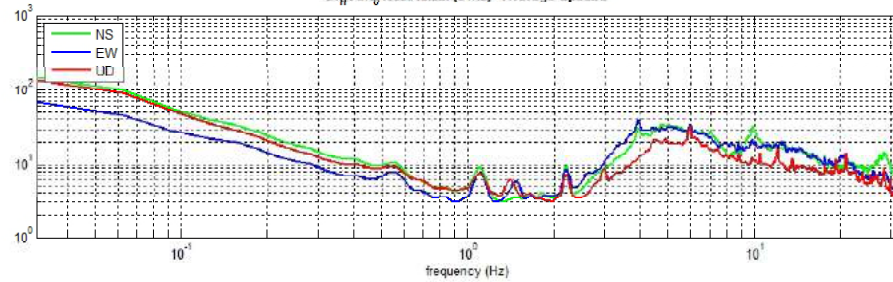
#3. [ $A_0 > 2$ ]: 3.1 > 2 (OK)

#4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)

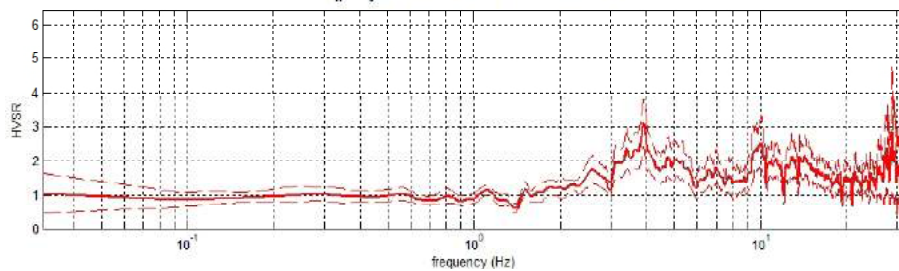
#5. [ $\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$ ]: 4.457 > 0.197 (NO)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0.684 < 1.58 (OK)

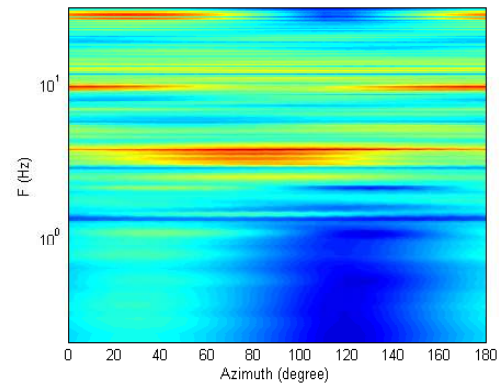
21\_H\_VSR\_04062013.saf (64Hz) - Average Spectra



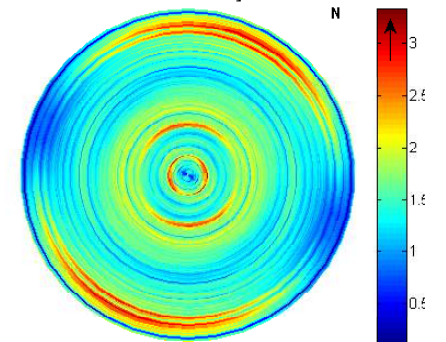
21\_H\_VSR\_04062013.saf - HVSR (window length: 20s)



H/V



HVSR: directivity



Date: 5 6 2013 - **COLORETTA**

Dataset: **22\_HVSR\_04062013.saf**  
Sampling frequency (Hz): 64 (reampled)  
Window length (sec): 20  
Length of analysed temporal sequence (min): 30.0  
Tapering (%): 10

Coordinate Gauss-Boaga: 1560388 4910269



**In the following the results considering the data in the 0.1-20.0 Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 13.4 ( $\pm 4.0$ )  
Peak HVSR value: 3.2 ( $\pm 0.9$ )

**==Criteria for a reliable H/V curve ==**

- #1.  $[f_0 > 10/Lw]$ :  $13.4 > 0.5$  (O **OK** K)
- #2.  $[nc > 200]$ :  $25228 > 200$  (**OK**)
- #3.  $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (**OK**)

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

- #1.  $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f_-) < A_0/2]$ : yes, at frequency 12.1Hz (**OK**)
- #2.  $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f_+) < A_0/2]$ : yes, at frequency 19.2Hz (**OK**)
- #3.  $[A_0 > 2]$ :  $3.2 > 2$  (**OK**)
- #4.  $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$ : (**OK**)
- #5.  $[\sigma_{\text{f}} < \epsilon(f_0)]$ :  $4.045 > 0.671$  (**NO**)
- #6.  $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$ :  $1.017 < 1.58$  (**OK**)

