COMUNE DI VOLTERRA

INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE PER L'ANALISI DELL'ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DEL VERSANTE SUD DI VOLTERRA

GEOPROGETTI
studio associato
Via Venezia, 77
Tel. e Fax 0587-54001
56038 PONSACCO (PI)

Dott. Geol. Francesca Franchi

Dott. Geol. Emilio Pistilli

GEOSER s.c.r.l.

Dott. Geol. Luciano Giuntini

ALLEGATO 6

INDAGINI GEOGNOSTICHE 2013

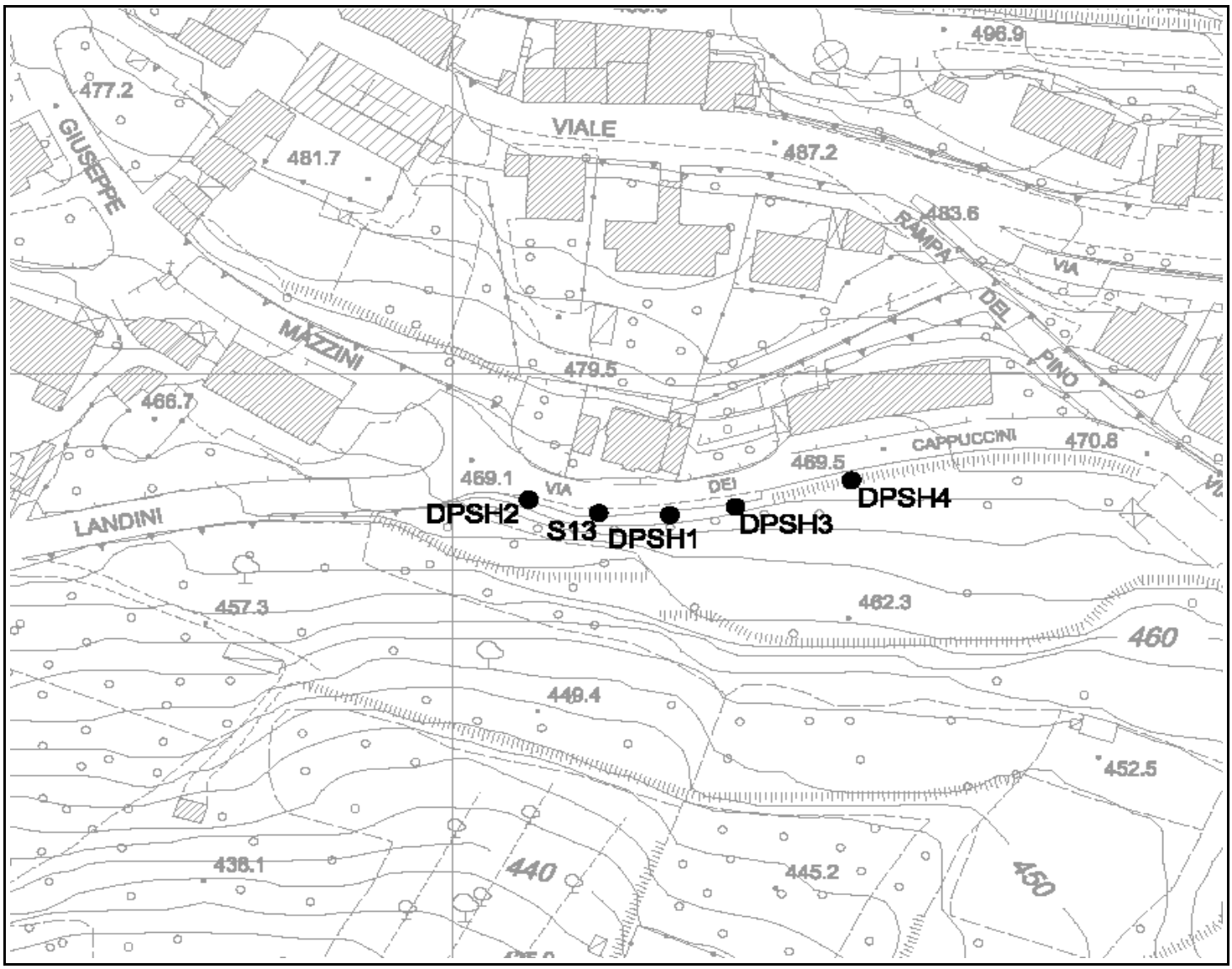
VIA DEI CAPPUCCINI

Aggiornamento novembre 2016

Mappe Geognostica
55010 loc. Biagioni, 60 Spianate (LU)
tel-fax 0583 20799 cell. 335 7215712
P.IVA 02019570460

Autorizzazione Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad effettuare e certificare prove geotecniche sui terreni n. 5021 del 24/05/2011

UBICAZIONE DELLE PROVE



il Direttore di laboratorio
Dott. geol. Massimo Benedetti

lo sperimentatore

MAPPO GEOGNOSTICA s.r.l.
Loc. Biagioni, 60 - 55011 Spianate (LU)
Tel. 0583 20799 - 335 7215712
E-mail: mappogeognostica@virgilio.it
C.F. E P. IVA 02019570460

Autorizzazione Ministero delle Infrastrutture e Trasporti ad effettuare e certificare prove geotecniche sui terreni n 5021 del 24 maggio 2011

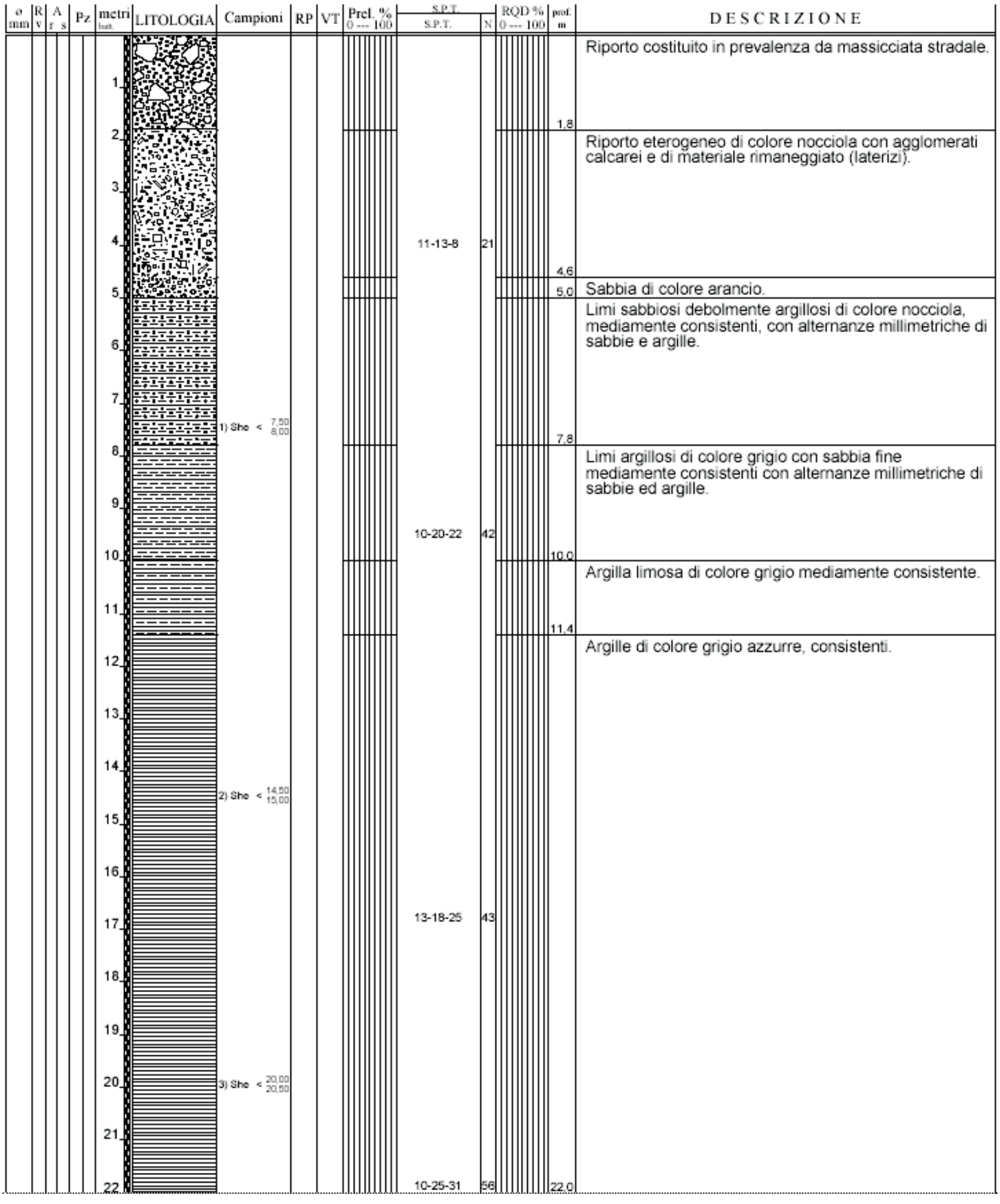
Int. Certificati:

COMUNE DI VOLTERRA

Cantiere: Via dei Cappuccini Località: Volterra Data inizio: 02/09/2013 Data fine: 02/09/2013

Sondaggio n.: 13 Metodo perfor.: A rotazione con carotaggio continuo Diamm. (mm): 101/126

Liv. falda (m da p.c.): Non ril. Quota p.c. (m s.l.m.): 469 Redattore stratigrafia Dott. Geol. Massimo Benedetti



She = Shelby Den = Denison Osl = Osterberg
Ar = Livello acqua rinvenuta
As = Livello acqua stabilizzata
P.z. = Piezometro
Rp = Penetrometro tascabile
V.T. = Vane Test (kg/cmq) max-residuo
S.P.T. = Standard Penetration Test
N = Nspt
R.Q.D. = Rock Quality Designation

Riporto
Terreno vegetale
Argilla
Limo
Sabbia
Ghiaia, ciottoli

NOTE:

Certificato n. 199/2013 del. 11/09/2013

Il Direttore di Laboratorio: dott. geol. Massimo Benedetti

SONDAGGIO S13

p.c.

1 m

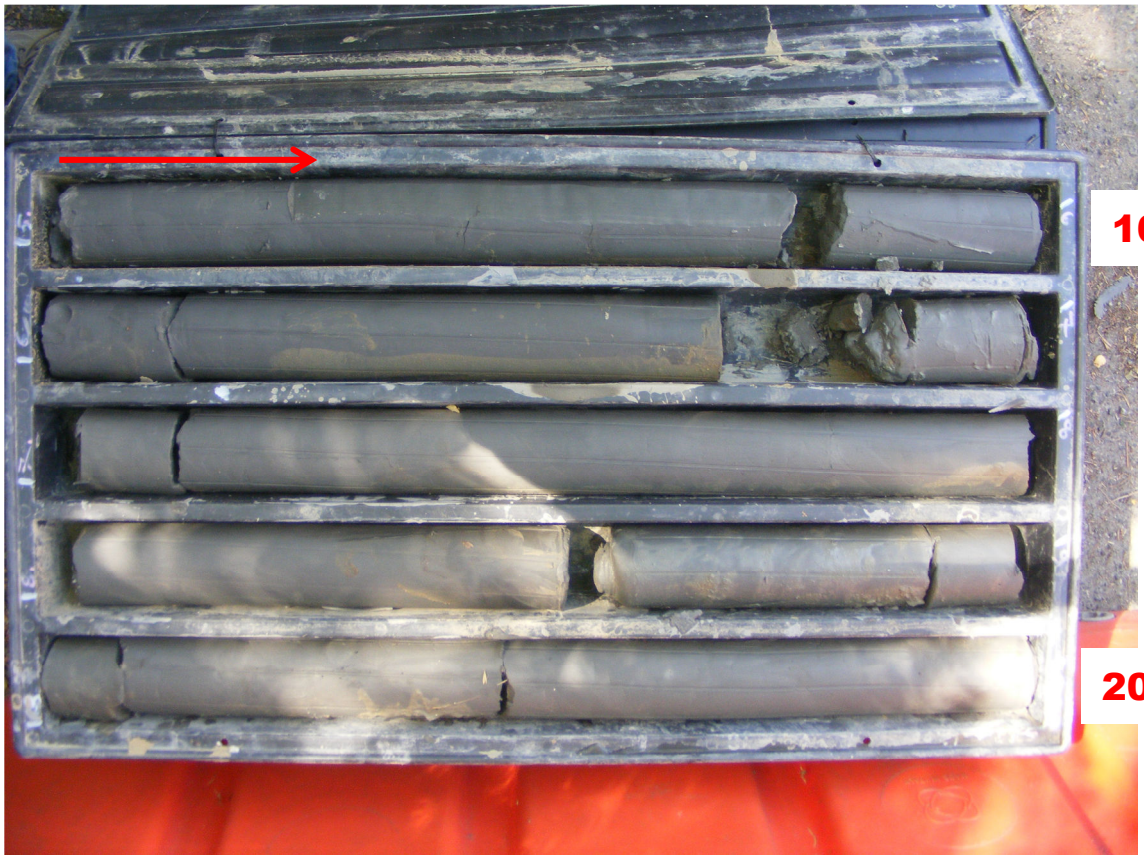
5

5

6

10

10
11
15


15
16
20

20

22

Mappo Geognostica

55010 loc. Biagioni, 60 Spianate (LU)
tel-fax 0583 20799 cell. 335 7215712
P.IVA 02019570460

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA (D.P.S.H.)

Il presente certificato è composto da n. 4 pagine

norma di riferimento: Raccomandazioni AGI 1977
deviazioni dalla norma: **Prova eseguita senza rivestimento**

verbale di accettazione n° **131/2013** del **02/09/2013**
certificato di prova n° **192/2013** del **05/09/2013**

Int. Certificati: **Comune di Volterra**
Località: **via dei Cappuccini, Volterra**
prova n° **1**

CARATTERISTICHE DEL SISTEMA

penetrometro:	Pagani TG 63-100/200 n. matricola P 001138
peso massa battente	63,5 Kg
altezza caduta libera:	0,75 m
diametro aste ϕ:	32 mm
area base punta conica:	20,43 cmq
angolo apertura punta α:	90°
lunghezza delle aste:	1,5
peso aste per metro:	7,13 Kg
prof. giunzione 1° asta:	0,40 m
avanzamento punta δ:	0,20 m
rivestimento:	NO
energia specifica per colpo:	11,66 Kg/cmq
coeff. teorico di energia:	1,489

DATI DI PROVA

data inizio lavori: 02/09/2013
data fine lavori: 02/09/2013

prof. inizio prova (m):	0	da p.c.
prof. fine prova (m):	10,40	da p.c.
totale metri prova:	10,40	
livello di falda (m):		da p.c.

NOTE

il Direttore di laboratorio
Dott. geol. Massimo Benedetti

lo sperimentatore

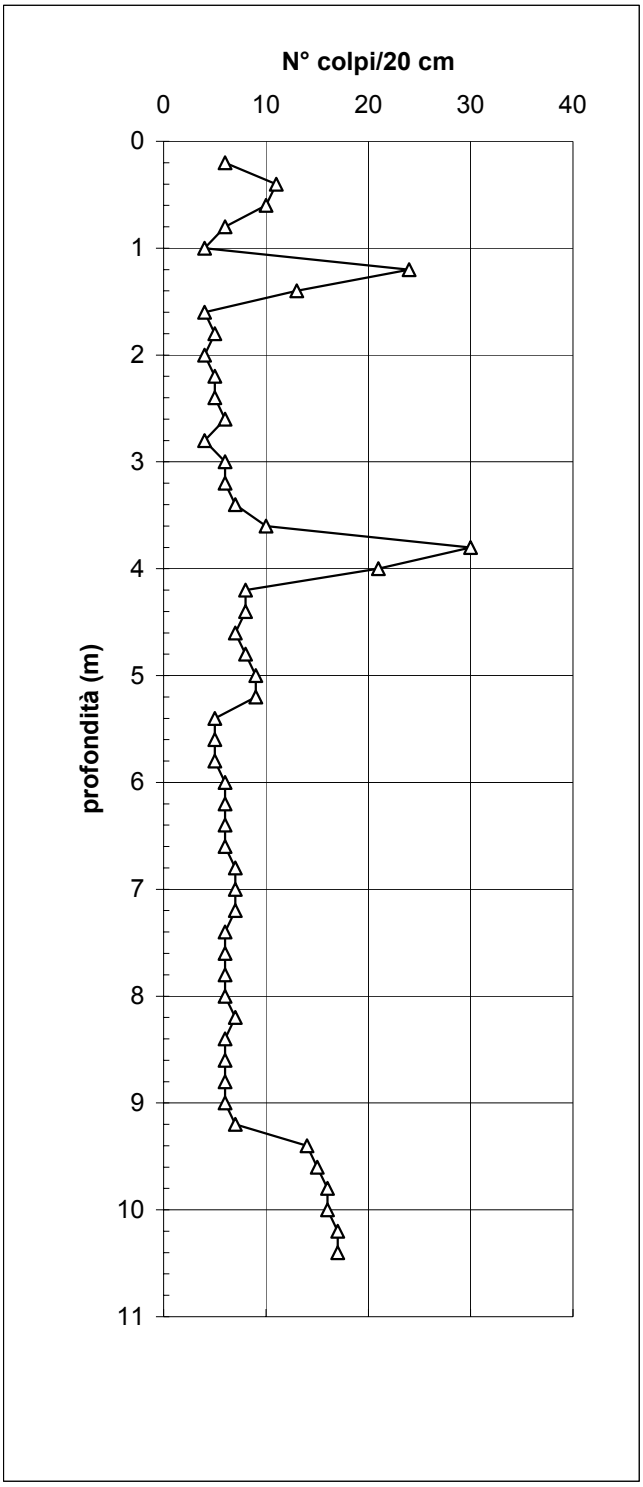
Mappo Geognostica
55010 loc. Biagioni, 60 Spianate (LU)
tel-fax 0583 20799 cell. 335 7215712
P.IVA 02019570460

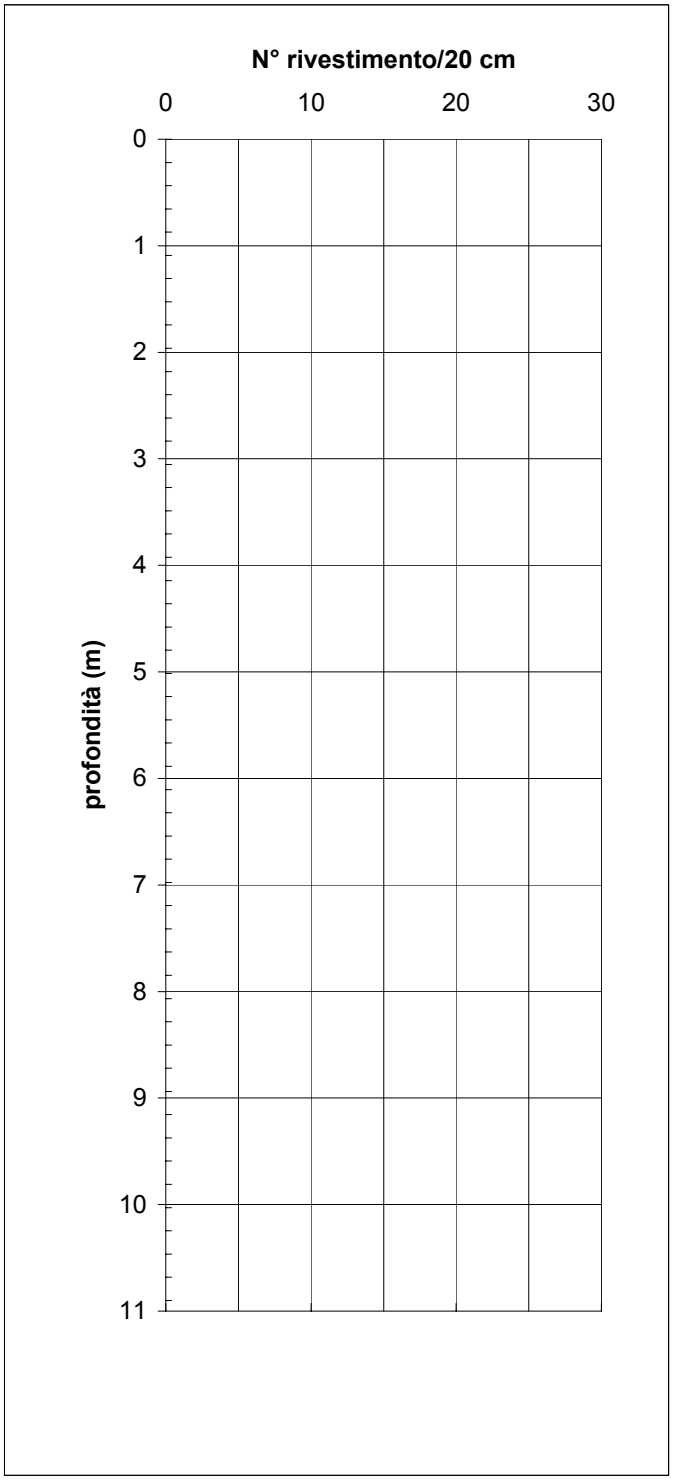
profondità base strato da p.c. (m)	*N° colpi/20 cm*	*N° colpi rivestimento*
0,20	6	
0,40	11	
0,60	10	
0,80	6	
1,00	4	
1,20	24	
1,40	13	
1,60	4	
1,80	5	
2,00	4	
2,20	5	
2,40	5	
2,60	6	
2,80	4	
3,00	6	
3,20	6	
3,40	7	
3,60	10	
3,80	30	
4,00	21	
4,20	8	
4,40	8	
4,60	7	
4,80	8	
5,00	9	
5,20	9	
5,40	5	
5,60	5	
5,80	5	
6,00	6	
6,20	6	
6,40	6	
6,60	6	
6,80	7	
7,00	7	
7,20	7	
7,40	6	
7,60	6	
7,80	6	
8,00	6	

profondità base strato da p.c. (m)	*N° colpi/20 cm*	*N° colpi rivestimento*
8,20	7	
8,40	6	
8,60	6	
8,80	6	
9,00	6	
9,20	7	
9,40	14	
9,60	15	
9,80	16	
10,00	16	
10,20	17	
10,40	17	
10,60		
10,80		
11,00		
11,20		
11,40		
11,60		
11,80		
12,00		
12,20		
12,40		
12,60		
12,80		
13,00		
13,20		
13,40		
13,60		
13,80		
14,00		
14,20		
14,40		
14,60		
14,80		
15,00		
15,20		
15,40		
15,60		
15,80		
16,00		

55010 loc. Biagioni, 60 Spianate (LU)
tel-fax 0583 20799 cell. 335 7215712
P.IVA 02019570460

DIAGRAMMI





il Direttore di laboratorio
Dott. geol. Massimo Benedetti

lo sperimentatore

Mappo Geognostica

55010 loc. Biagioni, 60 Spianate (LU)
tel-fax 0583 20799 cell. 335 7215712
P.IVA 02019570460

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA (D.P.S.H.)

Il presente certificato è composto da n. 4 pagine

norma di riferimento: Raccomandazioni AGI 1977
deviazioni dalla norma: **Prova eseguita senza rivestimento**

verbale di accettazione n° **131/2013** del **02/09/2013**
certificato di prova n° **193/2013** del **05/09/2013**

Int. Certificati: **Comune di Volterra**
Località: **via dei Cappuccini, Volterra**
prova n° **2**

CARATTERISTICHE DEL SISTEMA

penetrometro:	Pagani TG 63-100/200 n. matricola P 001138
peso massa battente	63,5 Kg
altezza caduta libera:	0,75 m
diametro aste ϕ:	32 mm
area base punta conica:	20,43 cmq
angolo apertura punta α:	90°
lunghezza delle aste:	1,5
peso aste per metro:	7,13 Kg
prof. giunzione 1° asta:	0,40 m
avanzamento punta δ:	0,20 m
rivestimento:	NO
energia specifica per colpo:	11,66 Kg/cmq
coeff. teorico di energia:	1,489

DATI DI PROVA

data inizio lavori: 02/09/2013
data fine lavori: 02/09/2013

prof. inizio prova (m):	0	da p.c.
prof. fine prova (m):	14,40	da p.c.
totale metri prova:	14,40	
livello di falda (m):		da p.c.

NOTE

il Direttore di laboratorio
Dott. geol. Massimo Benedetti

lo sperimentatore

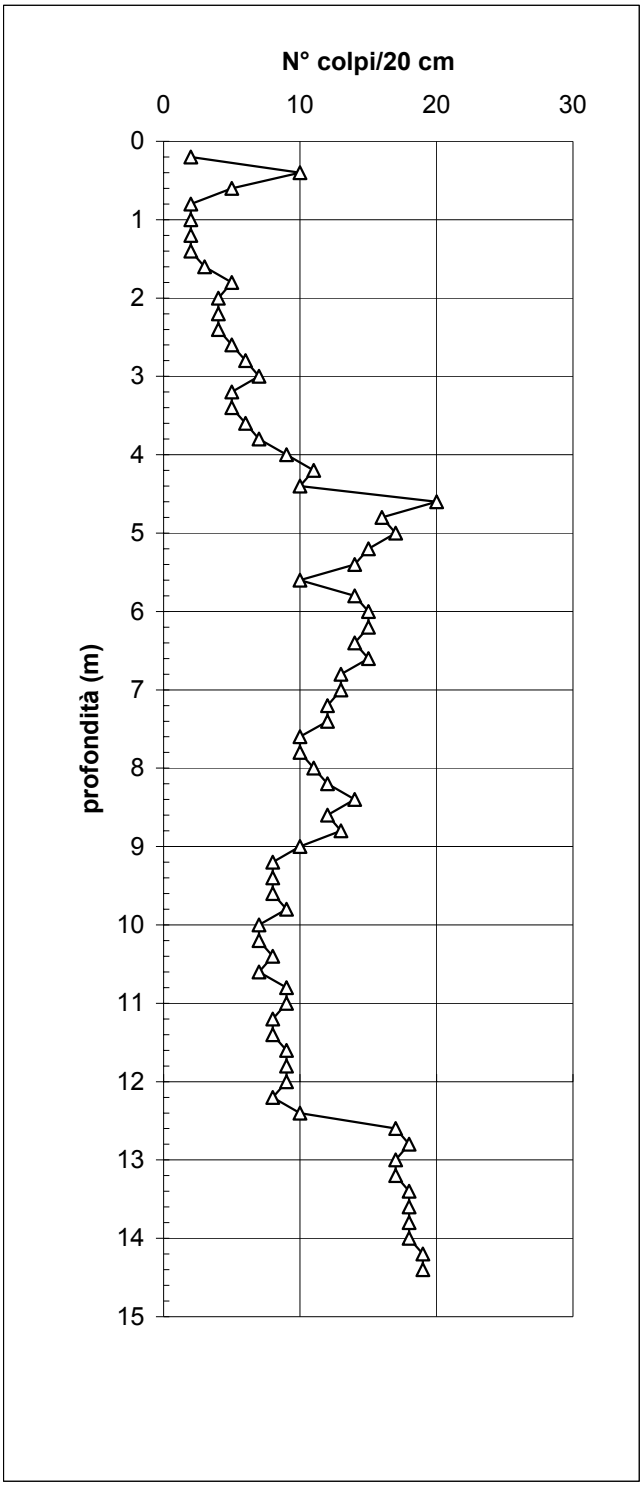
Mappo Geognostica
55010 loc. Biagioni, 60 Spianate (LU)
tel-fax 0583 20799 cell. 335 7215712
P.IVA 02019570460

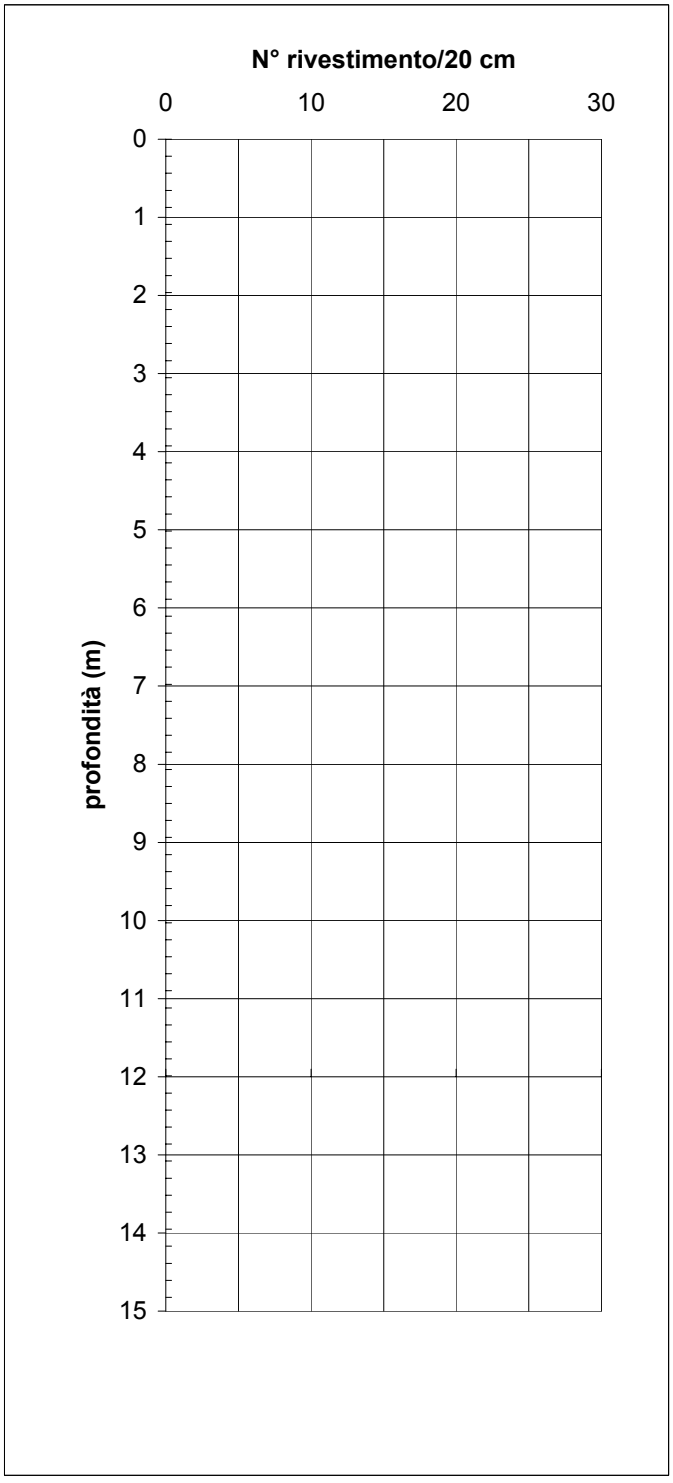
profondità base strato da p.c. (m)	*N° colpi/20 cm*	*N° colpi rivestimento*
0,20	2	
0,40	10	
0,60	5	
0,80	2	
1,00	2	
1,20	2	
1,40	2	
1,60	3	
1,80	5	
2,00	4	
2,20	4	
2,40	4	
2,60	5	
2,80	6	
3,00	7	
3,20	5	
3,40	5	
3,60	6	
3,80	7	
4,00	9	
4,20	11	
4,40	10	
4,60	20	
4,80	16	
5,00	17	
5,20	15	
5,40	14	
5,60	10	
5,80	14	
6,00	15	
6,20	15	
6,40	14	
6,60	15	
6,80	13	
7,00	13	
7,20	12	
7,40	12	
7,60	10	
7,80	10	
8,00	11	

profondità base strato da p.c. (m)	*N° colpi/20 cm*	*N° colpi rivestimento*
8,20	12	
8,40	14	
8,60	12	
8,80	13	
9,00	10	
9,20	8	
9,40	8	
9,60	8	
9,80	9	
10,00	7	
10,20	7	
10,40	8	
10,60	7	
10,80	9	
11,00	9	
11,20	8	
11,40	8	
11,60	9	
11,80	9	
12,00	9	
12,20	8	
12,40	10	
12,60	17	
12,80	18	
13,00	17	
13,20	17	
13,40	18	
13,60	18	
13,80	18	
14,00	18	
14,20	19	
14,40	19	
14,60		
14,80		
15,00		
15,20		
15,40		
15,60		
15,80		
16,00		

55010 loc. Biagioni, 60 Spianate (LU)
tel-fax 0583 20799 cell. 335 7215712
P.IVA 02019570460

DIAGRAMMI





il Direttore di laboratorio
Dott. geol. Massimo Benedetti

lo sperimentatore

Mappo Geognostica

55010 loc. Biagioni, 60 Spianate (LU)
tel-fax 0583 20799 cell. 335 7215712
P.IVA 02019570460

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA (D.P.S.H.)

Il presente certificato è composto da n. 4 pagine

norma di riferimento: Raccomandazioni AGI 1977
deviazioni dalla norma: **Prova eseguita senza rivestimento**

verbale di accettazione n° **131/2013** del **02/09/2013**
certificato di prova n° **194/2013** del **05/09/2013**

Int. Certificati: **Comune di Volterra**
Località: **via dei Cappuccini, Volterra**
prova n° **3**

CARATTERISTICHE DEL SISTEMA

penetrometro:	Pagani TG 63-100/200 n. matricola P 001138
peso massa battente	63,5 Kg
altezza caduta libera:	0,75 m
diametro aste ϕ:	32 mm
area base punta conica:	20,43 cmq
angolo apertura punta α:	90°
lunghezza delle aste:	1,5
peso aste per metro:	7,13 Kg
prof. giunzione 1° asta:	0,40 m
avanzamento punta δ:	0,20 m
rivestimento:	NO
energia specifica per colpo:	11,66 Kg/cmq
coeff. teorico di energia:	1,489

DATI DI PROVA

data inizio lavori: 02/09/2013
data fine lavori: 02/09/2013

prof. inizio prova (m):	0	da p.c.
prof. fine prova (m):	11,00	da p.c.
totale metri prova:	11,00	
livello di falda (m):		da p.c.

NOTE

il Direttore di laboratorio
Dott. geol. Massimo Benedetti

lo sperimentatore

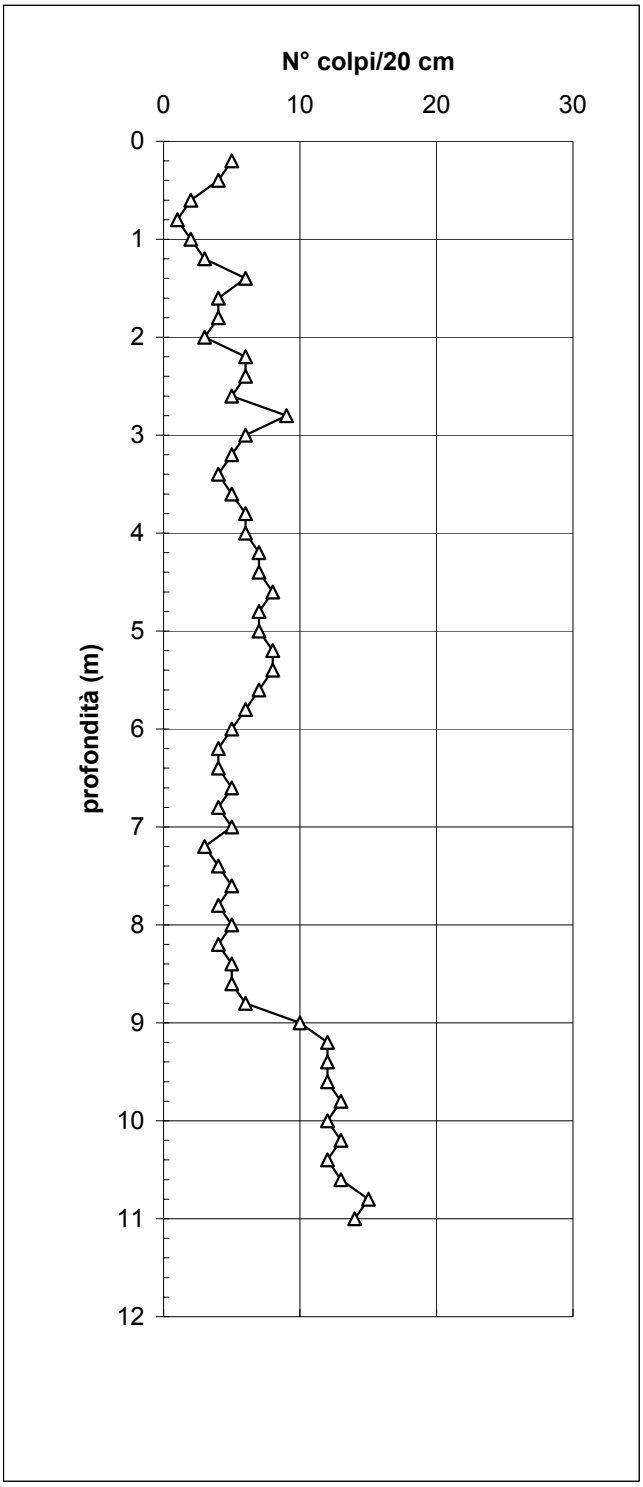
Mappo Geognostica
55010 loc. Biagioni, 60 Spianate (LU)
tel-fax 0583 20799 cell. 335 7215712
P.IVA 02019570460

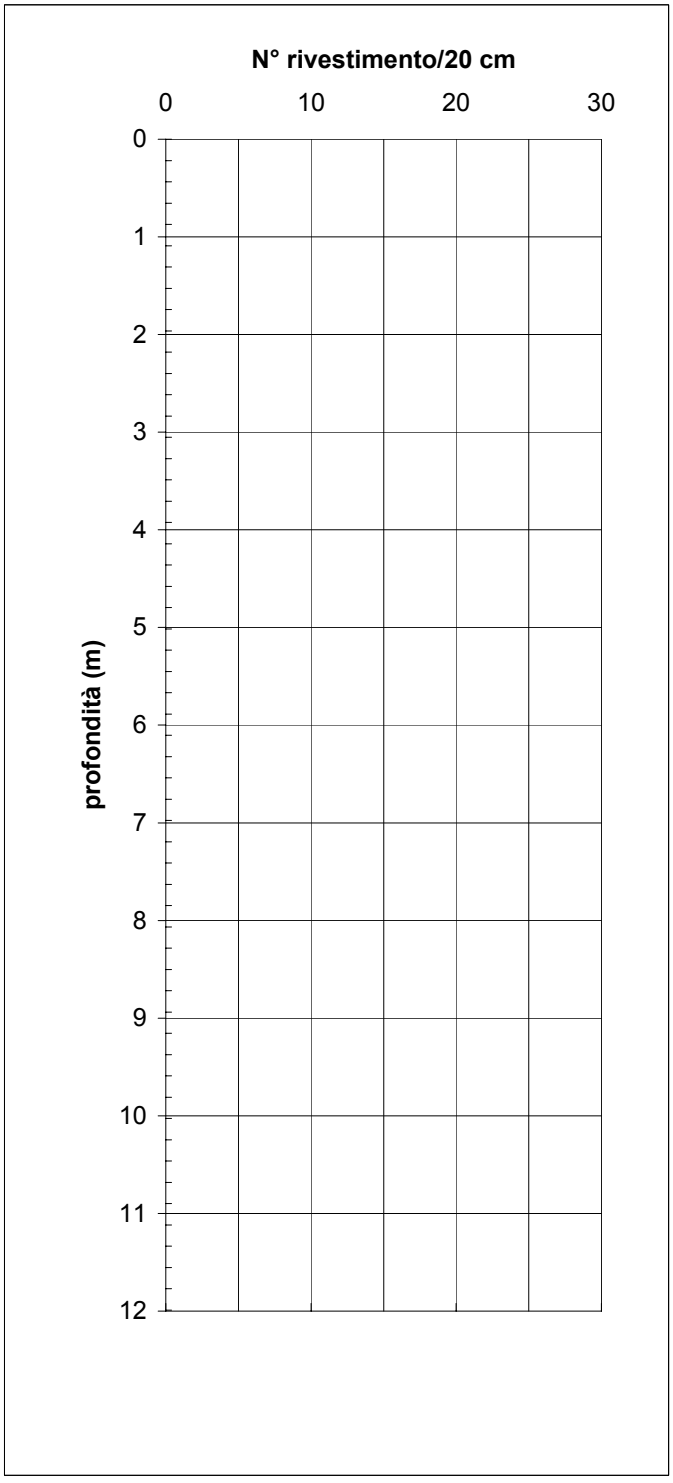
profondità base strato da p.c. (m)	*N° colpi/20 cm*	*N° colpi rivestimento*
0,20	5	
0,40	4	
0,60	2	
0,80	1	
1,00	2	
1,20	3	
1,40	6	
1,60	4	
1,80	4	
2,00	3	
2,20	6	
2,40	6	
2,60	5	
2,80	9	
3,00	6	
3,20	5	
3,40	4	
3,60	5	
3,80	6	
4,00	6	
4,20	7	
4,40	7	
4,60	8	
4,80	7	
5,00	7	
5,20	8	
5,40	8	
5,60	7	
5,80	6	
6,00	5	
6,20	4	
6,40	4	
6,60	5	
6,80	4	
7,00	5	
7,20	3	
7,40	4	
7,60	5	
7,80	4	
8,00	5	

profondità base strato da p.c. (m)	*N° colpi/20 cm*	*N° colpi rivestimento*
8,20	4	
8,40	5	
8,60	5	
8,80	6	
9,00	10	
9,20	12	
9,40	12	
9,60	12	
9,80	13	
10,00	12	
10,20	13	
10,40	12	
10,60	13	
10,80	15	
11,00	14	
11,20		
11,40		
11,60		
11,80		
12,00		
12,20		
12,40		
12,60		
12,80		
13,00		
13,20		
13,40		
13,60		
13,80		
14,00		
14,20		
14,40		
14,60		
14,80		
15,00		
15,20		
15,40		
15,60		
15,80		
16,00		

55010 loc. Biagioni, 60 Spianate (LU)
tel-fax 0583 20799 cell. 335 7215712
P.IVA 02019570460

DIAGRAMMI





il Direttore di laboratorio
Dott. geol. Massimo Benedetti

lo sperimentatore

Mappo Geognostica

55010 loc. Biagioni, 60 Spianate (LU)
tel-fax 0583 20799 cell. 335 7215712
P.IVA 02019570460

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA (D.P.S.H.)

Il presente certificato è composto da n. 4 pagine

norma di riferimento: Raccomandazioni AGI 1977
deviazioni dalla norma: **Prova eseguita senza rivestimento**

verbale di accettazione n° **131/2013** del **02/09/2013**
certificato di prova n° **195/2013** del **05/09/2013**

Int. Certificati: **Comune di Volterra**
Località: **via dei Cappuccini, Volterra**
prova n° **4**

CARATTERISTICHE DEL SISTEMA

penetrometro:	Pagani TG 63-100/200 n. matricola P 001138
peso massa battente	63,5 Kg
altezza caduta libera:	0,75 m
diametro aste ϕ:	32 mm
area base punta conica:	20,43 cmq
angolo apertura punta α:	90°
lunghezza delle aste:	1,5
peso aste per metro:	7,13 Kg
prof. giunzione 1° asta:	0,40 m
avanzamento punta δ:	0,20 m
rivestimento:	NO
energia specifica per colpo:	11,66 Kg/cmq
coeff. teorico di energia:	1,489

DATI DI PROVA

data inizio lavori: 02/09/2013
data fine lavori: 02/09/2013

prof. inizio prova (m):	0	da p.c.
prof. fine prova (m):	6,80	da p.c.
totale metri prova:	6,80	
livello di falda (m):		da p.c.

NOTE

Rifiuto strumentale

Mappo Geognostica
55010 loc. Biagioni, 60 Spianate (LU)
tel-fax 0583 20799 cell. 335 7215712
P.IVA 02019570460

profondità base strato da p.c. (m)	*N° colpi/20 cm*	*N° colpi rivestimento*
0,20	10	
0,40	16	
0,60	7	
0,80	5	
1,00	4	
1,20	3	
1,40	2	
1,60	2	
1,80	2	
2,00	1	
2,20	3	
2,40	2	
2,60	1	
2,80	4	
3,00	4	
3,20	4	
3,40	5	
3,60	5	
3,80	6	
4,00	6	
4,20	6	
4,40	6	
4,60	6	
4,80	6	
5,00	4	
5,20	4	
5,40	4	
5,60	4	
5,80	3	
6,00	3	
6,20	4	
6,40	12	
6,60	9	
6,80	>50	
7,00		
7,20		
7,40		
7,60		
7,80		
8,00		

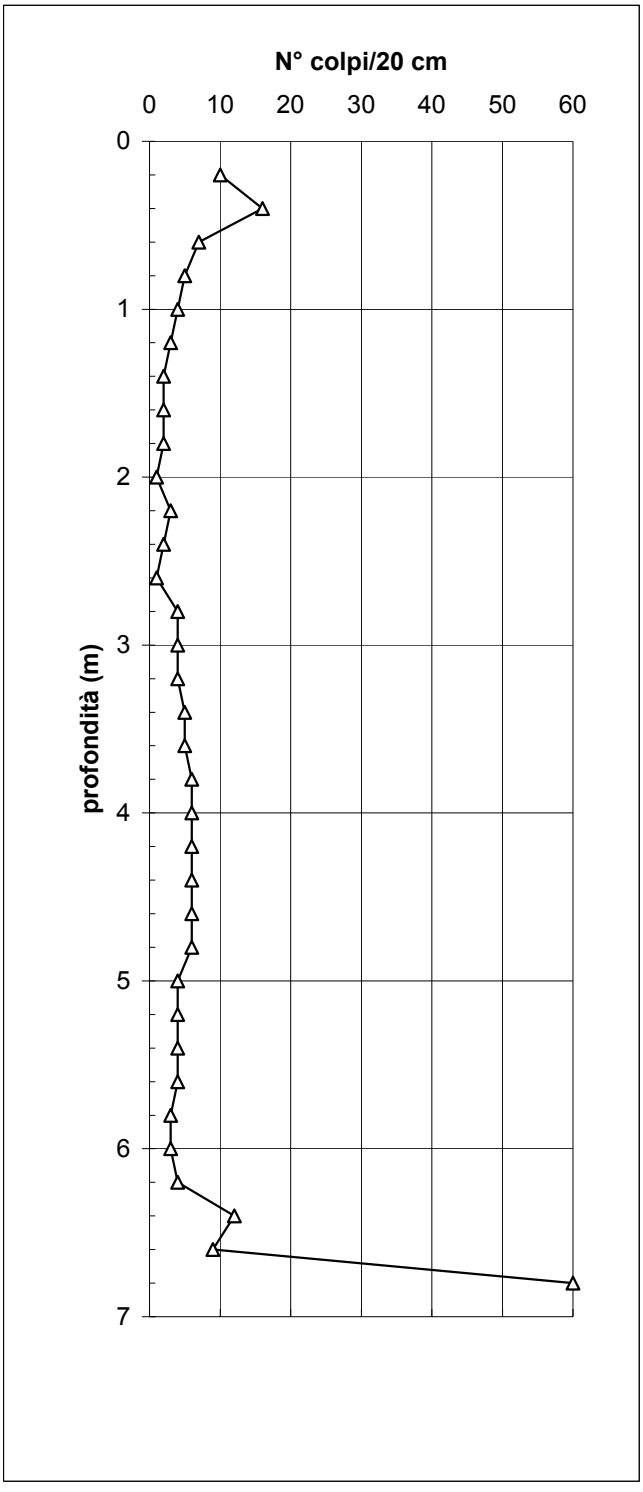
profondità base strato da p.c. (m)	*N° colpi/20 cm*	*N° colpi rivestimento*
8,20		
8,40		
8,60		
8,80		
9,00		
9,20		
9,40		
9,60		
9,80		
10,00		
10,20		
10,40		
10,60		
10,80		
11,00		
11,20		
11,40		
11,60		
11,80		
12,00		
12,20		
12,40		
12,60		
12,80		
13,00		
13,20		
13,40		
13,60		
13,80		
14,00		
14,20		
14,40		
14,60		
14,80		
15,00		
15,20		
15,40		
15,60		
15,80		
16,00		

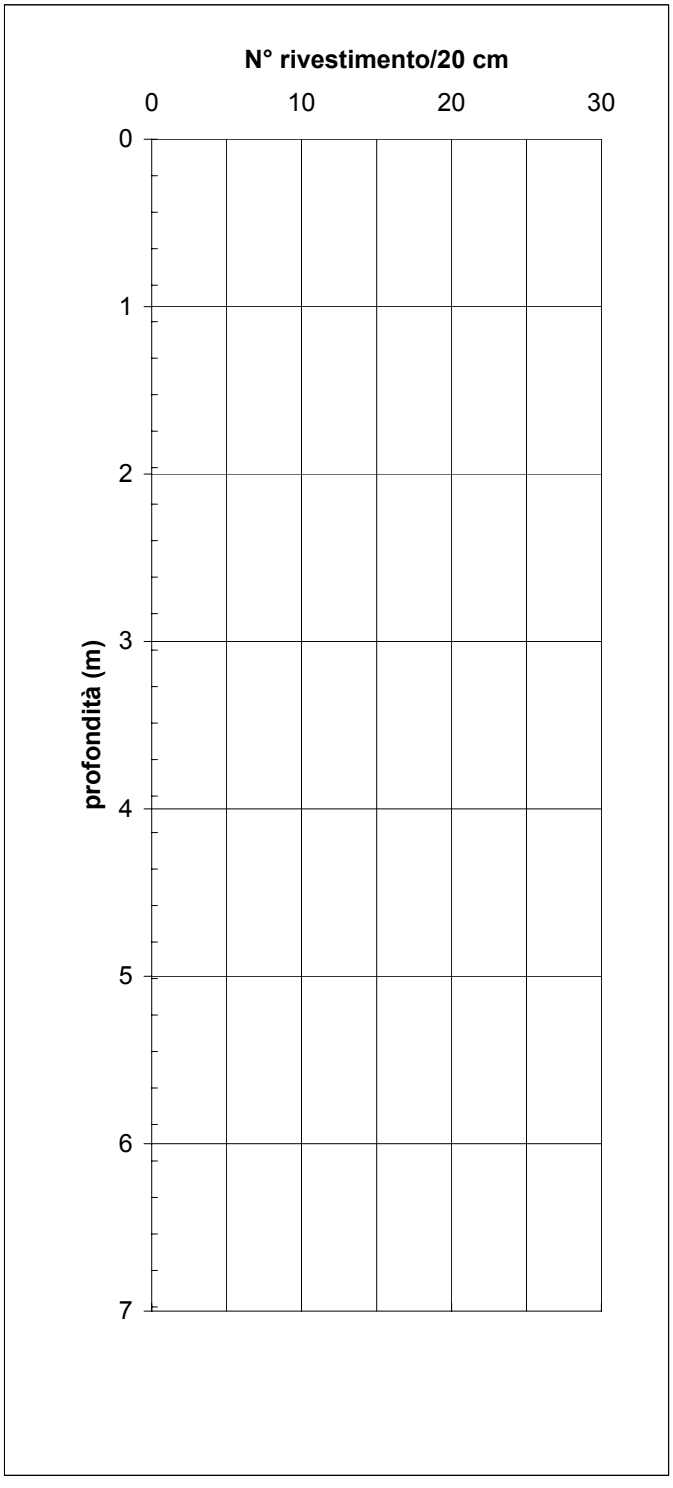
il Direttore di laboratorio
Dott. geol. Massimo Benedetti

lo sperimentatore

55010 loc. Biagioni, 60 Spianate (LU)
tel-fax 0583 20799 cell. 335 7215712
P.IVA 02019570460

DIAGRAMMI





il Direttore di laboratorio
Dott. geol. Massimo Benedetti

lo sperimentatore

S.I.S.M.A. geo
Dott. S. Buttiglieri e Dott. L. Guido

Geofisica applicata

PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE IN ONDE P E SH ELABORATE CON TECNICA TOMOGRAFICA E INDAGINI SISMICHE HVSR DEI RAPPORTI SPETTRALI H/V

Via dei Cappuccini - Comune di Volterra (Pi)

Committente: Geoprogetti Studio Associato – Società Geoser scrl

RELAZIONE TECNICA

Ottobre 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*

Studio Associato: Via Novelli, 5 - 56124 Pisa
Tel./Fax: 050/3869121 - cell.: 338/6218809 - 347/6177484 e-mail: sismageo@libero.it P.VA: 01961590500

Indice

1 - PREMESSA 2
2 - METODO DELLA TOMOGRAFIA SISMICA 4
3 - CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA 4
4 - PROCEDURA DI CAMPAGNA (RIFRAZIONE IN ONDE P e SH) 6
5 - ELABORAZIONE DEI DATI DELLA TOMOGRAFIA SISMICA 7
6 - INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DELLA TOMOGRAFIA SISMICA 7
7 - HVRS - DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA 12
7.1- Cenni teorici 12
7.2 - Tecnica HVSR 13
7.3 - Caratteristiche della strumentazione 14
8 - PROCEDURA DI ANALISI DEI DATI 15
9 - ELABORAZIONE DEI DATI DI MICROTREMORE 16

Studio Associato: Via Novelli, 5 - 56124 Pisa
Tel./Fax: 050/3869121 - cell.: 338/6218809 - 347/6177484 e-mail: sismageo@libero.it P.VA: 01961590500

1 - PREMESSA

Su incarico dello Studio Associato Geoprogetti e della Società Geoser scrl e per conto dell' Amministrazione Comunale di Volterra è stata eseguita una campagna geognostica in via dei Cappuccini attraverso due prospezioni sismiche a rifrazione a mezzo di onde P ed SH con elaborazione tomografica e tre misure di rumore sismico a stazione sismica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) con lo scopo di dare una caratterizzazione sismostratigrafica dei terreni, in relazione ad un dissesto del terreno che ha coinvolto la sede stradale.

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

Tali indagini, effettuate il 5 agosto 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 80.5 metri (24 canali; distanza intergeofonica 3,5 m);
- esecuzione di n. 3 misure del rumore con stazione singola (HVSR).

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

Fig. 1a

Studio Associato: Via Novelli, 5 - 56124 Pisa
Tel./Fax: 050/3869121 - cell.: 338/6218809 - 347/6177484 e-mail: sismageo@libero.it P.VA: 01961590500

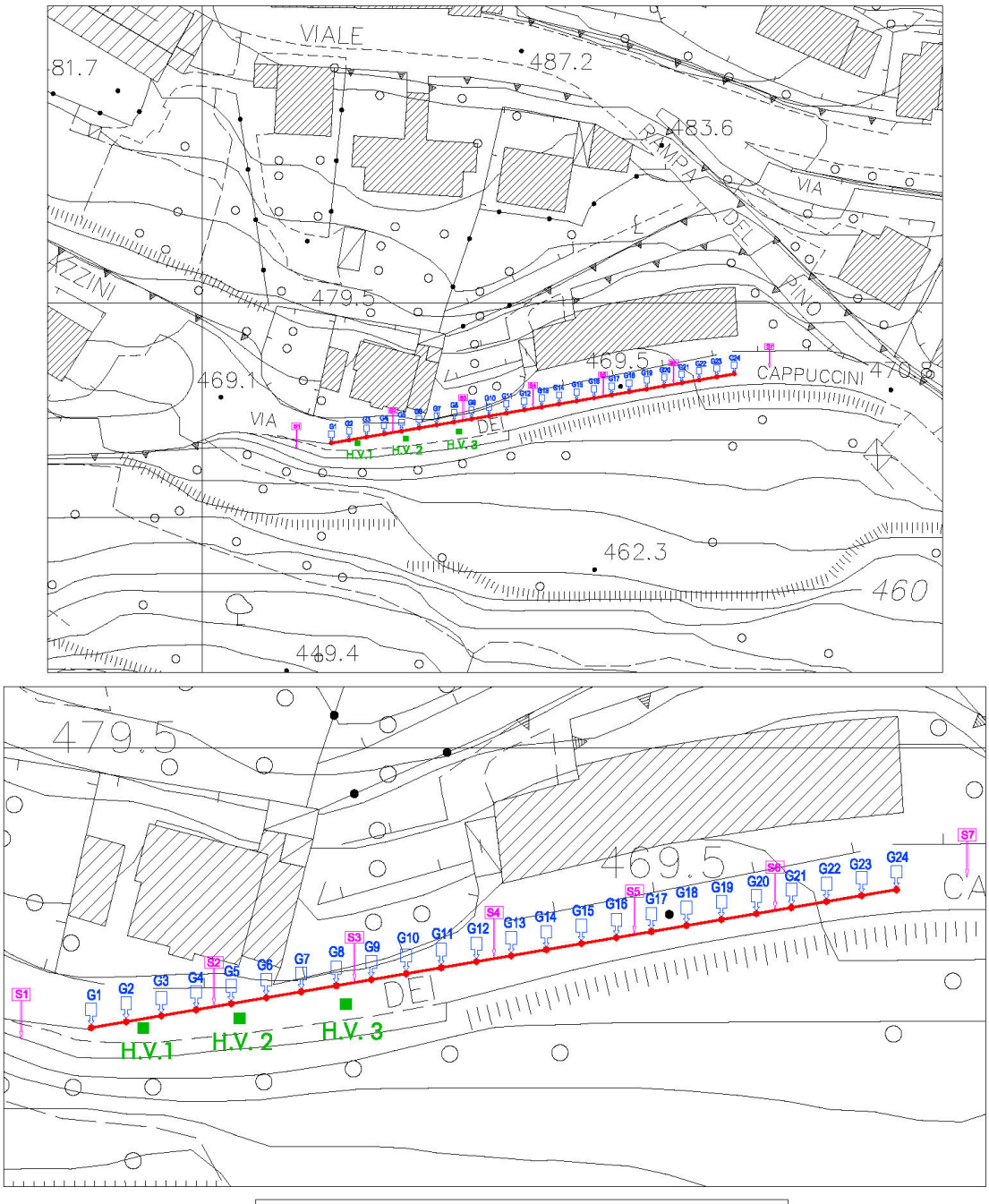


Fig. 1b

Studio Associato: Via Novelli, 5 - 56124 Pisa
Tel./Fax: 050/3869121 - cell.: 338/6218809 - 347/6177484 e-mail: sismageo@libero.it P.VA: 01961590500

2 - METODO DELLA TOMOGRAFIA SISMICA

Il metodo della tomografia sismica è una tecnica di indagine che permette l'individuazione di anomalie di propagazione delle onde sismiche con un alto potere risolutivo, offrendo la possibilità di ricostruire anomalie e discontinuità stratigrafiche anche particolarmente complesse.

Questa tecnica fornisce l'immagine della distribuzione delle onde sismiche sotto la superficie, basate sui tempi di arrivo (come nella normale sismica a rifrazione) e sulla geometria di acquisizione.

Si costruisce in tal modo un modello di distribuzione di velocità del terreno che ottimizza i tempi di arrivo attraverso successive iterazioni: la fase di calcolo si conclude quando si ha la migliore sovrapposizione tra i tempi di arrivo calcolati e quelli misurati.

Il processing dei dati, eseguito con il software "Rayfract" (distribuito dalla Intelligent Resource Inc.), prosegue con la fase di inversione tomografica detta WET (Wavepath Eikonal Traveltime), che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un onda in un mezzo isotropo.

Il modello iniziale e la soluzione finale sono costituiti da una serie di celle all'interno delle quali il valore di velocità rimane costante: tale valore viene aggiornato ad ogni iterazione del procedimento di calcolo per raggiungere il miglior risultato. Le dimensioni delle celle utilizzate e quindi il dettaglio finale ottenuto sono fortemente dipendenti dalla spaziatura dei geofoni e dal numero degli shot effettuati: aumentando la spaziatura dei geofoni si deve aumentare il numero degli shot per mantenere costante il dettaglio. Infine i valori del risultato vengono interpolati fra loro per ottenere una distribuzione continua di velocità.

Successivamente, con la fase di imaging, si otterrà con un software dedicato (GOLDEN SOFTWARE SUFER 8) l'immagine della sezione tomografica.

3 - CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

E' stata effettuata una prospezione sismica 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.

Caratteristiche tecniche sismografo:

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

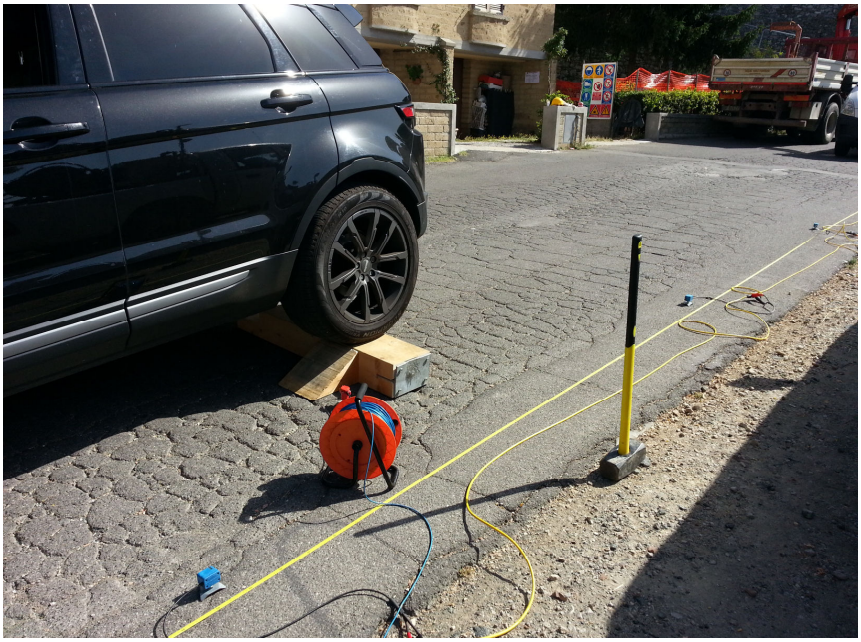
Studio Associato: Via Novelli, 5 - 56124 Pisa
Tel./Fax: 050/3869121 - cell.: 338/6218809 - 347/6177484 e-mail: sismageo@libero.it P.VA: 01961590500

Sismografo

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 *(traversina di legno - mazza battente - geofono trigger/starter)*

Studio Associato: Via Novelli, 5 - 56124 Pisa
Tel./Fax: 050/3869121 - cell.: 338/6218809 - 347/6177484 e-mail: sismageo@libero.it P.VA: 01961590500

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 SEGY.

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 uno stendimento di sismica a rifrazione SR1 (foto di seguito riportate), di lunghezza di 80,5 m, lungo i quali sono stati collegati n. 24 geofoni verticali (4,5 Hz) e orizzontali (10 Hz) in serie spaziati tra loro di 3,5 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

Studio Associato: Via Novelli, 5 - 56124 Pisa
Tel./Fax: 050/3869121 - cell.: 338/6218809 - 347/6177484 e-mail: sismageo@libero.it P.VA: 01961590500

- 2 end-shot posti a 7 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

5 - ELABORAZIONE DEI DATI DELLA TOMOGRAFIA SISMICA

Per la tomografia sismica, l'elaborazione dei dati si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

1) - Determinazione dei tempi di primo arrivo attraverso il software RAYFRACT, operata prima in automatico e successivamente con aggiustamenti manuali, con particolare attenzione alle fasi d'onda ed alla loro evoluzione.
2) - Formazione di un database contenente la geometria della linea sismica (posizione altimetrica e planimetrica dei geofoni e degli scoppi) ed i tempi di primo arrivo di ciascun scoppio.
3) - Conversione dei dati in formato ASCII.
4) - Inversione Delta t-V che permette di ottenere profili monodimensionali (1D) di tipo profondità/velocità.
5) - Ottimizzazione del profilo, per iterazioni successive, mediante inversione tomografica WET (Wavepath Eikonal Traveltime), che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un onda in un mezzo isotropo.
6) - Controllo del "fitting" tra i tempi misurati e tempi calcolati ed eventuale reiterazione del processo di inversione.
7) - Output grafico della sezione tomografica in formato Srf

6 - INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DELLA TOMOGRAFIA SISMICA

Di seguito si riportano i parametri di configurazione dello stendimento per ciascun ricevitore e per ogni punto di scoppio.

Sismica a rifrazione - schema dettagliato della linea di acquisizione

POSIZIONE DEI GEOFONI

N. Geof.	Ascissa (m)	Quota (m)
1	7.00	468.98
2	10.50	469.12
3	14.00	469.22
4	17.50	469.32
5	21.00	469.47
6	24.50	469.62
7	28.00	469.74
8	31.50	469.71
9	35.00	469.72

PUNTI DI ENERGIZZAZIONE ONDE P E SH

Ascissa [m]	Quota [m]
0.00	468.41
19.25	469.40
33.25	469.70
47.25	469.10
61.25	469.20
75.25	469.80
94.50	470.87

Studio Associato: Via Novelli, 5 - 56124 Pisa
Tel./Fax: 050/3869121 - cell.: 338/6218809 - 347/6177484 e-mail: sismageo@libero.it P.VA: 01961590500

10	38.50	469.64
11	42.00	469.50
12	45.50	469.24
13	49.00	469.02
14	52.50	469.05
15	56.00	469.11
16	59.50	469.17
17	63.00	469.23
18	66.50	469.29
19	70.00	469.52
20	73.50	469.76
21	77.00	469.93
22	80.50	470.00
23	84.00	470.29
24	87.50	470.59

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).

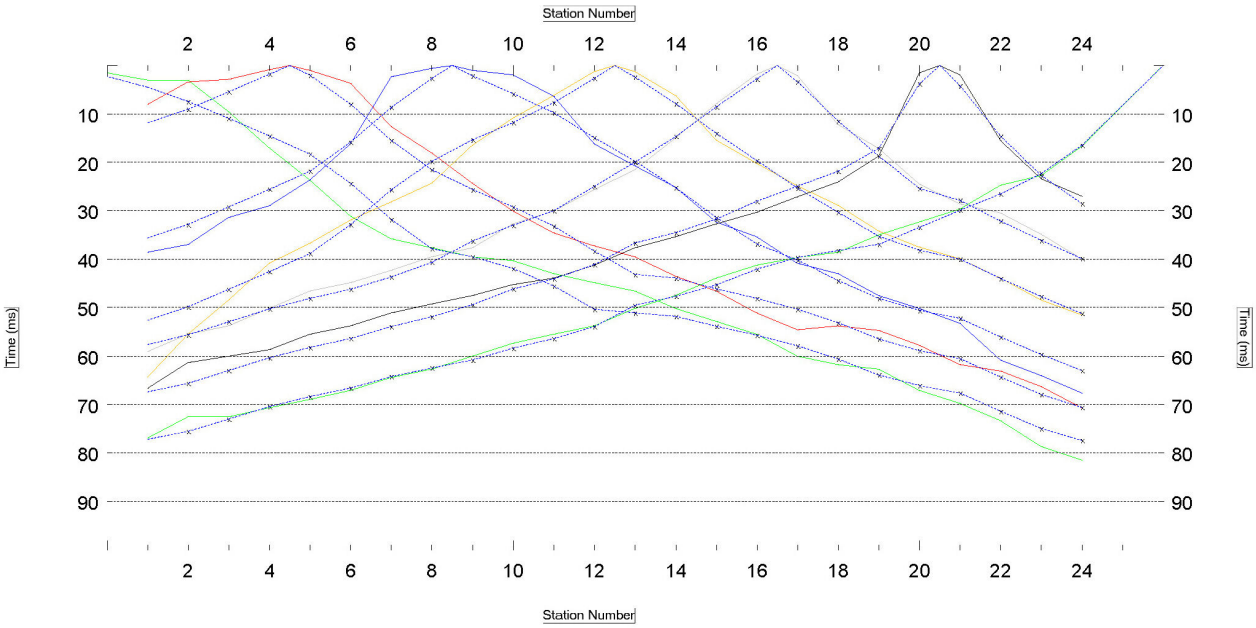


Fig. 2a - Dromocrone onde P

Studio Associato: Via Novelli, 5 - 56124 Pisa
Tel./Fax: 050/3869121 - cell.: 338/6218809 - 347/6177484 e-mail: sismageo@libero.it P.VA: 01961590500

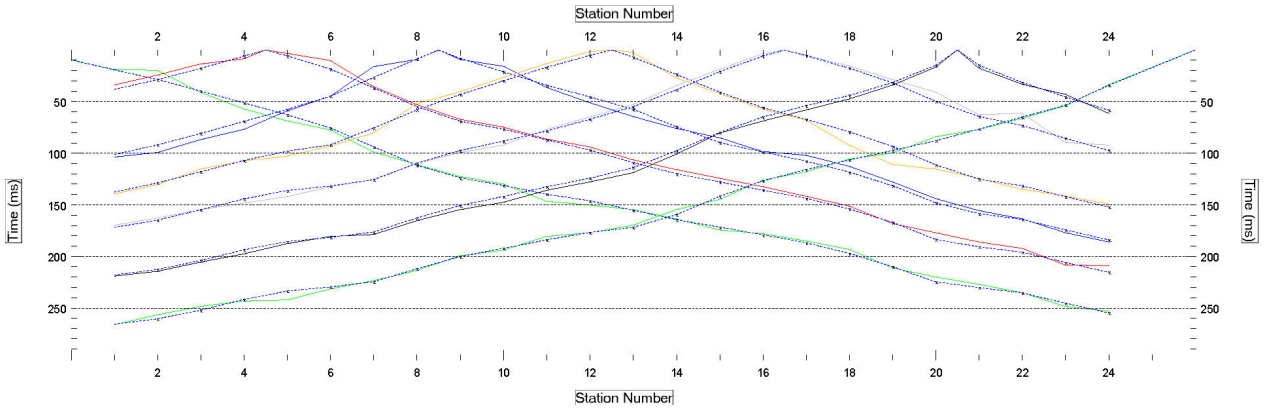


Fig. 2b - Dromocrone onde SH

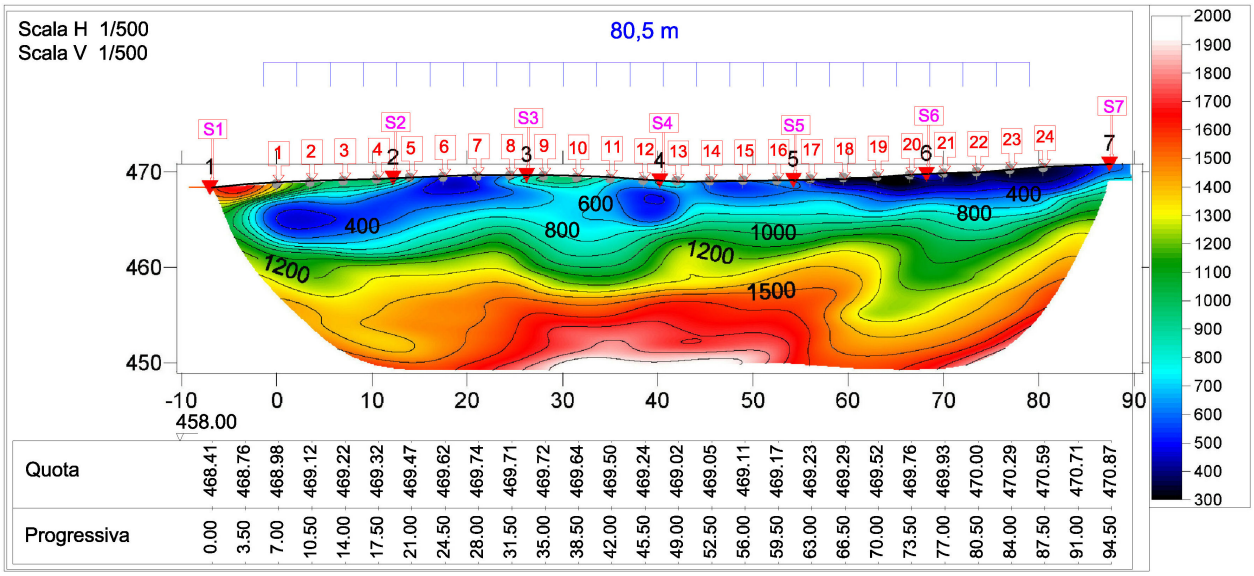
Nelle sezioni tomografiche SR di seguito riportate (in onde P e in Sh) si nota un'inversione di velocità a quote superficiali nel settore più a nord (tra i geofoni 1-10), in cui le velocità sismiche Vp/Vsh da valori mediamente di 900/350 m/s passano, entro i primi 1.5-2 metri di profondità, a valori di 400/200 m/s, ritornando poi ad aumentare da circa 5-8 m di profondità.

Tale inversione, a quote superficiali e localizzata ad un solo settore, potrebbe essere associata alla presenza di terreni rimaneggiati per infiltrazioni d'acqua o altro.

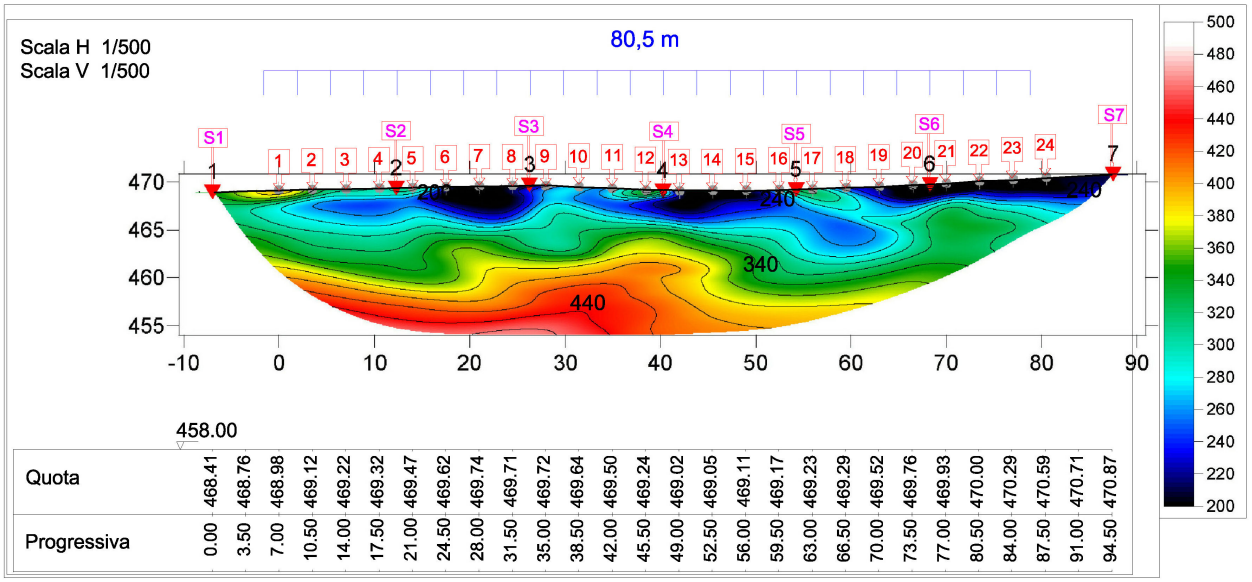
Nella parte restante del profilo, invece, non sono presenti inversioni di velocità significative; le velocità sismiche (Vp e Vsh) mostrano un trend crescente con incrementi più pronunciati mediamente intorno a 3 m e 8 m dal p.c.

Studio Associato: Via Novelli, 5 - 56124 Pisa
Tel./Fax: 050/3869121 - cell.: 338/6218809 - 347/6177484 e-mail: sismageo@libero.it P.VA: 01961590500

Stendimento SR - Tomografia sismica in onde P



Stendimento SR - Tomografia sismica in onde Sh



Studio Associato: Via Novelli, 5 - 56124 Pisa
Tel./Fax: 050/3869121 - cell.: 338/6218809 - 347/6177484 e-mail: sismageo@libero.it P.VA: 01961590500

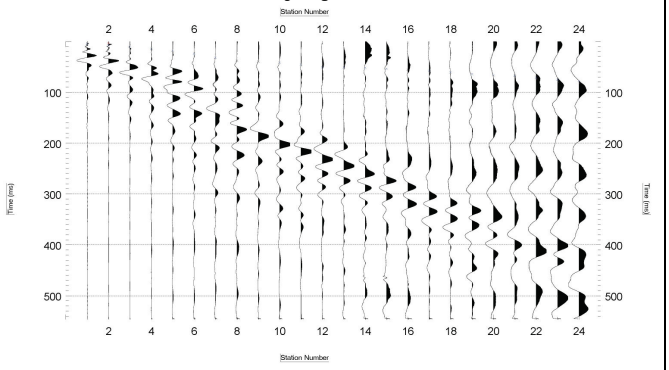
ALLEGATO A

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

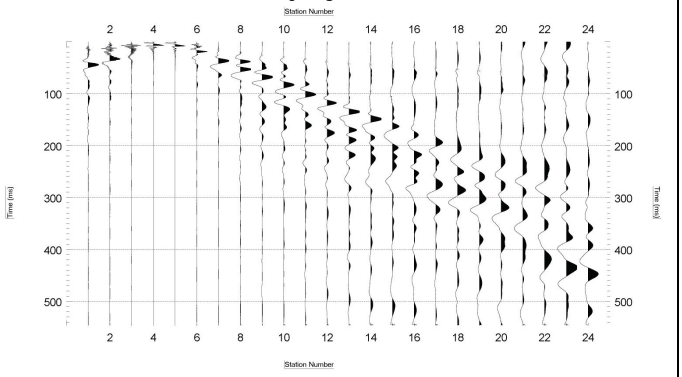
Studio Associato: Via Novelli, 5 - 56124 Pisa
Tel./Fax: 050/3869121 - cell.: 338/6218809 - 347/6177484 e-mail: sismageo@libero.it P.VA: 01961590500

REGISTRAZIONI ONDE P

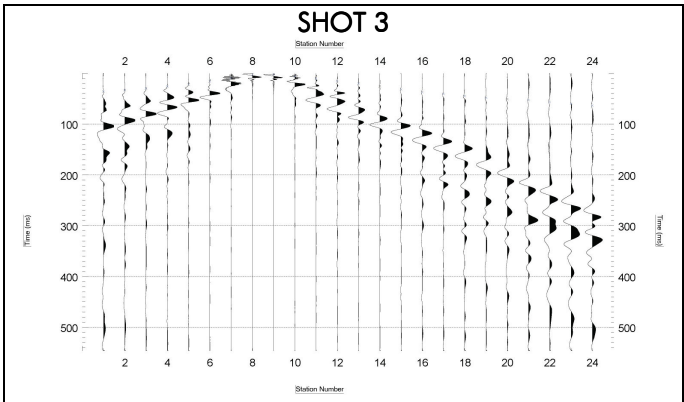
SHOT 1



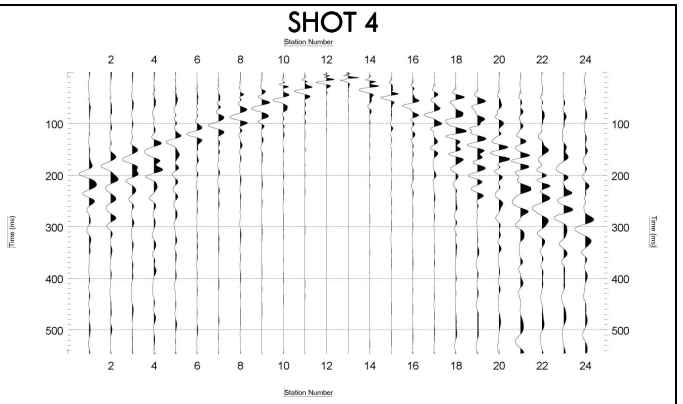
SHOT 2



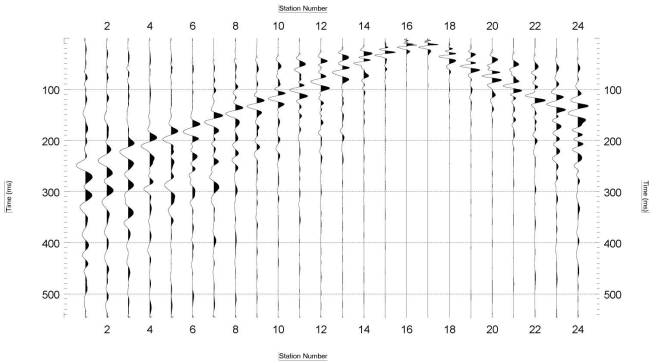
SHOT 3



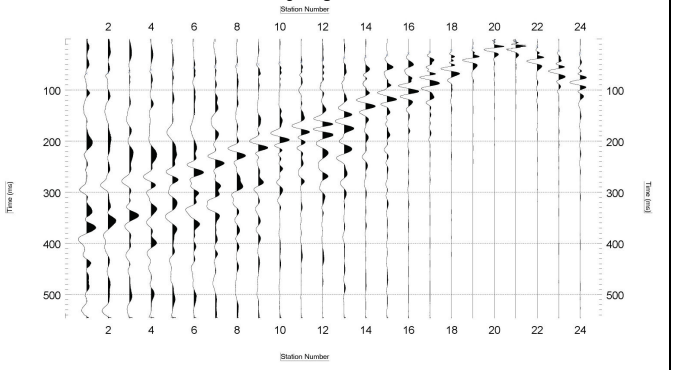
SHOT 4



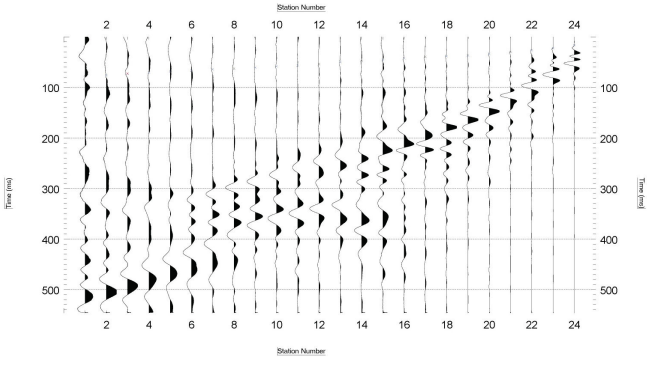
SHOT 5



SHOT 6

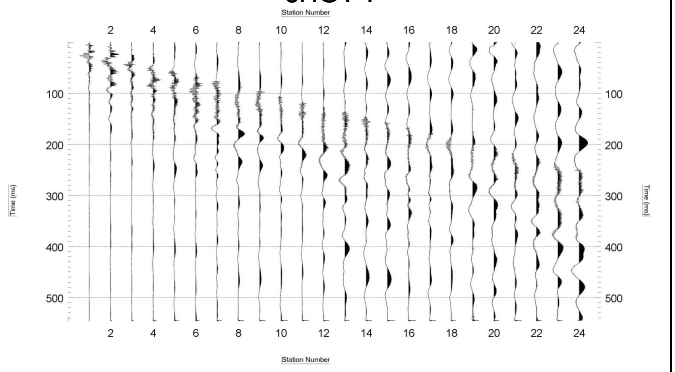


SHOT 7

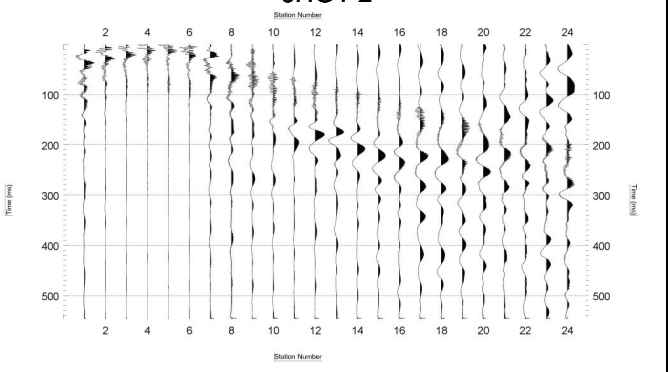


REGISTRAZIONI ONDE SH

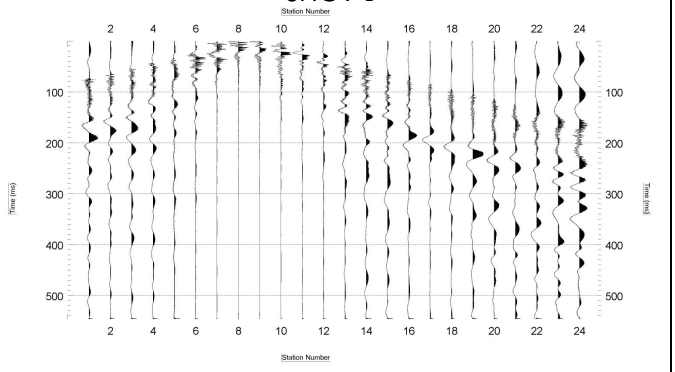
SHOT 1



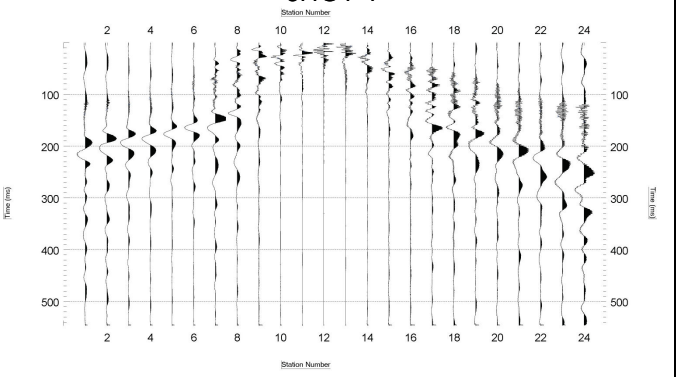
SHOT 2



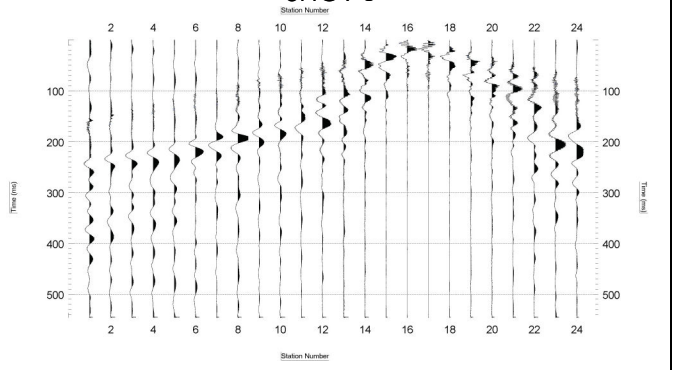
SHOT 3



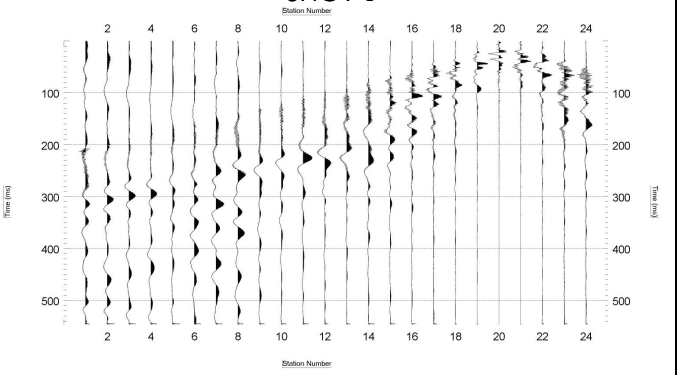
SHOT 4



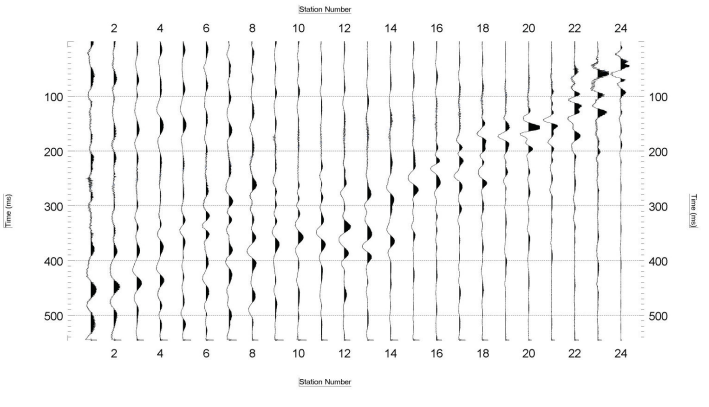
SHOT 5



SHOT 6



SHOT 7



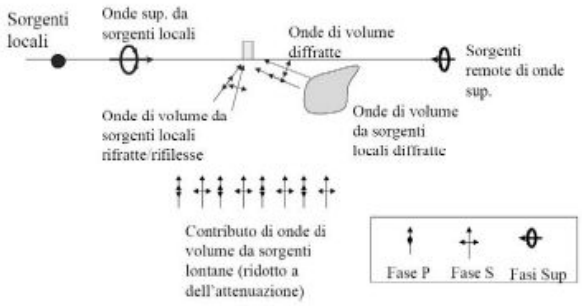
7 - HVRS - DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

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).

Studio Associato: Via Novelli, 5 - 56124 Pisa
Tel./Fax: 050/3869121 - cell.: 338/6218809 - 347/6177484 e-mail: sismageo@libero.it P.VA: 01961590500

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 molto rapida, totalmente non invasiva, 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 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.

Studio Associato: Via Novelli, 5 - 56124 Pisa
Tel./Fax: 050/3869121 - cell.: 338/6218809 - 347/6177484 e-mail: sismageo@libero.it P.VA: 01961590500

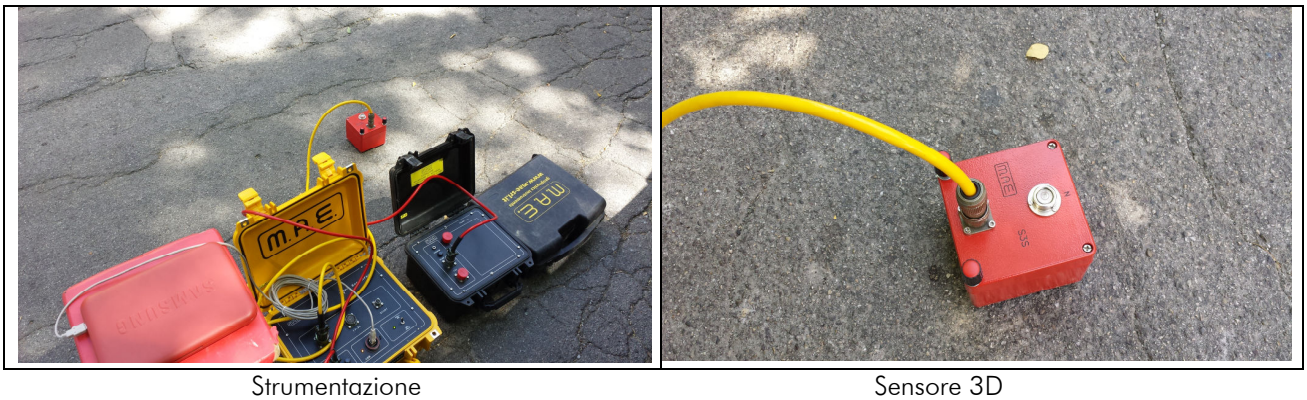
Le basi teoriche della tecnica **HVSR** si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori.

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 microtremori;*
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.

Studio Associato: Via Novelli, 5 - 56124 Pisa
Tel./Fax: 050/3869121 - cell.: 338/6218809 - 347/6177484 e-mail: sismageo@libero.it P.VA: 01961590500

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 20 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 ricavate tramite la formula seguente:

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

dove:

V_0 = velocità al tetto dello strato;
α = fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.)
ν = 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.

Studio Associato: Via Novelli, 5 - 56124 Pisa
Tel./Fax: 050/3869121 - cell.: 338/6218809 - 347/6177484 e-mail: sismageo@libero.it P.VA: 01961590500

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 (fo).

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 DI VALIDAZIONE DEL PROGETTO SESAME

CRITERI PER UNA CURVA H/V AFFIDABILE *(tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti)*
#1. [$f_0 > 10/Lw$]
#2. [nc > 200
#3. [f_0>0.5Hz; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$]
CRITERI PER UN PICCO H/V CHIARO *(almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti)*
#1. [exists f^- in the range [$f_0/4$, f_0] | $AH/V(f-) < A_0/2$]
#2. [exists f^+ in the range [f_0, $4f_0$] | $AH/V(f^+) < A_0/2$]
#3. [$A_0 > 2$]
#4. [fpeak[Ah/v(f) ± $\sigma_A(f)$] = f_0 ± 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
σ_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 $\sigma_A(f) < \theta\ (f_0)$

Studio Associato: Via Novelli, 5 - 56124 Pisa
Tel./Fax: 050/3869121 - cell.: 338/6218809 - 347/6177484 e-mail: sismageo@libero.it P.VA: 01961590500

Di seguito, per le misure HVSR effettate viene riportata una scheda tecnica 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.

Studio Associato: Via Novelli, 5 - 56124 Pisa
Tel./Fax: 050/3869121 - cell.: 338/6218809 - 347/6177484 e-mail: sismageo@libero.it P.VA: 01961590500

Date: 5 8 2013 - **VOLTERRA**

Dataset: **1_HV** Volterra 05082013.saf
Sampling frequency (Hz): 64 (resempled)
Window length (sec): 20
Length of analysed temporal sequence (min): 26.8
Tapering (%): 10
Spectral smoothing (triangular window): 5%

Coordinate Gauss-Boaga: 1650615,63 4806775,33

In the following the results considering the data in the 0.2-20.0 Hz frequency range

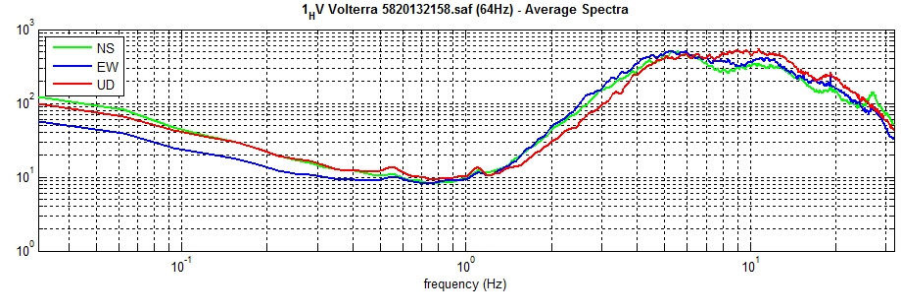
Peak frequency (Hz): **2.1** (±3.1)
Peak HVSR value: **2.0** (±0.5)

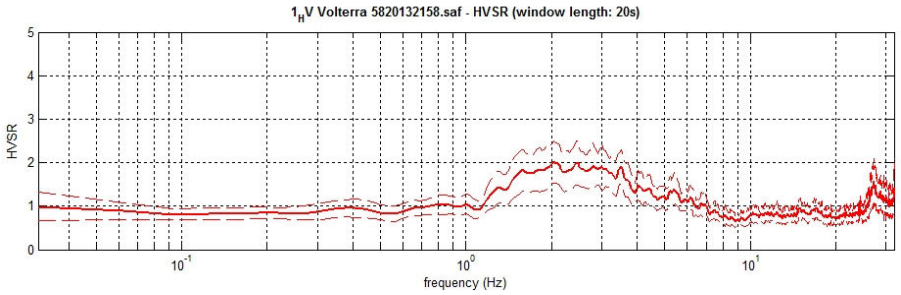
==Criteria for a reliable H/V curve ==========

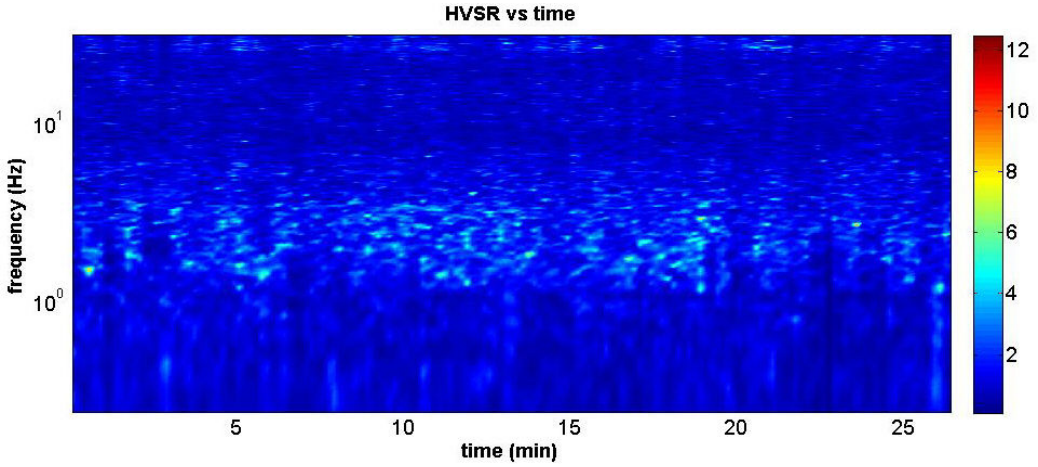
#1. [f0 > 10/Lw]: 2.1 > 0.5 (**OK**)
#2. [nc > 200]: 6565 > 200 (**OK**)
#3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (**OK**)

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

#1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes, at frequency 1.2Hz (**OK**)
#2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes, at frequency 6.4Hz (**OK**)
#3. [A0 > 2]: 2.0 > 2 (**OK**)
#4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]: (**NO**)
#5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 3.074 > 0.103 (**NO**)
#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.491 < 1.58 (**OK**)







Date: 5 8 2013 - **VOLTERRA**

Dataset: **2_HV** Volterra 05082013.saf
Sampling frequency (Hz): 64 (resempled)
Window length (sec): 20
Length of analysed temporal sequence (min): 22.1
Tapering (%): 10
Spectral smoothing (triangular window): 5%

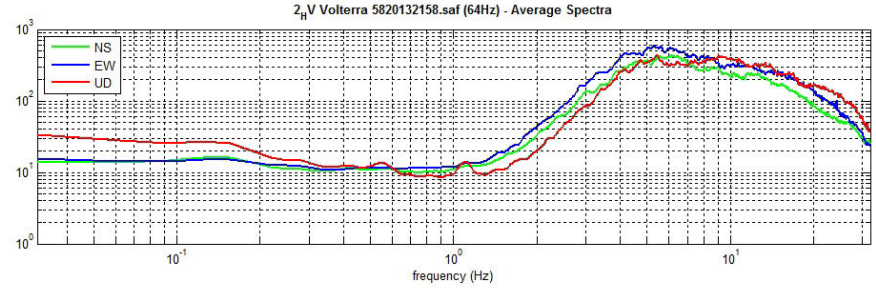
Coordinate Gauss-Boaga: 1650633,06 4806771,33

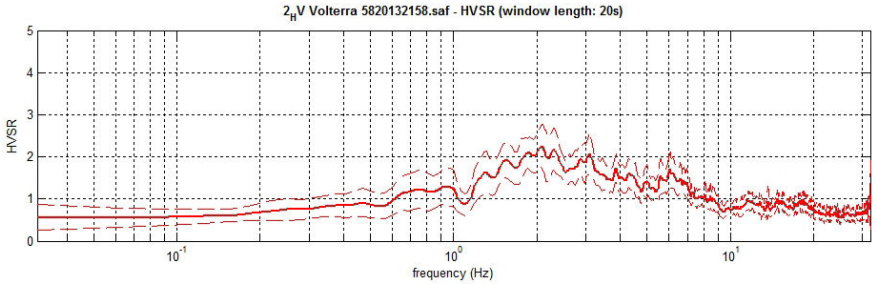
In the following the results considering the data in the 0.2-50.0 Hz frequency range

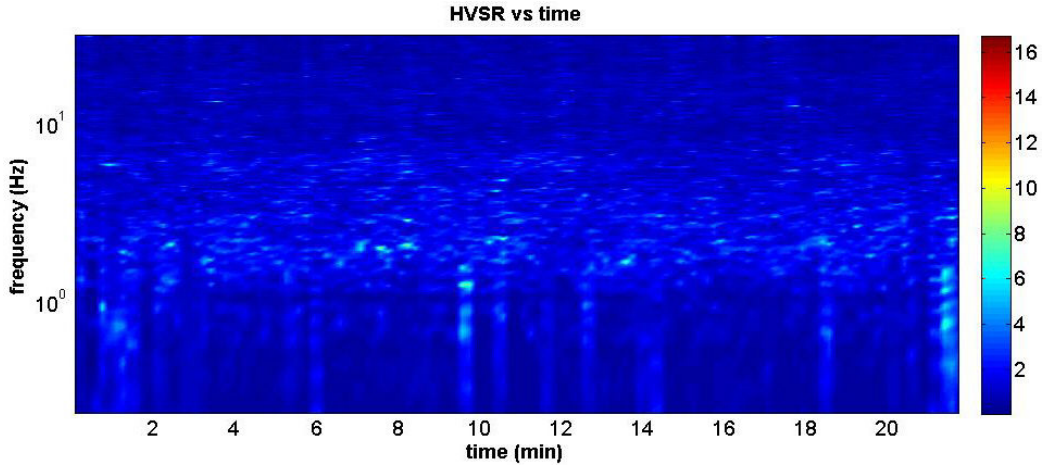
Peak frequency (Hz): **2.1** (±7.4)
Peak HVSR value: **2.3** (±0.5)

==Criteria for a reliable H/V curve ==========
#1. [f0 > 10/Lw]: 2.1 > 0.5 (**OK**)
#2. [nc > 200]: 5491 > 200 (**OK**)
#3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (**OK**)

==Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fullfilled) ==========
#1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes, at frequency 1.2Hz (**OK**)
#2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes, at frequency 7.2Hz (**OK**)
#3. [A0 > 2]: 2.3 > 2 (**OK**)
#4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]: (**OK**)
#5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 7.362 > 0.105 (**NO**)
#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.499 < 1.58 (**OK**)







Date: 5 8 2013 - **VOLTERRA**

Dataset: **3_HV** Volterra 05082013.saf
Sampling frequency (Hz): 64 (resempled)
Window length (sec): 20
Length of analysed temporal sequence (min): 20.9
Tapering (%): 10
Spectral smoothing (triangular window): 5%

Coordinate Gauss-Boaga: 1650648,60 4806772,27

In the following the results considering the data in the 0.2-60.0 Hz frequency range

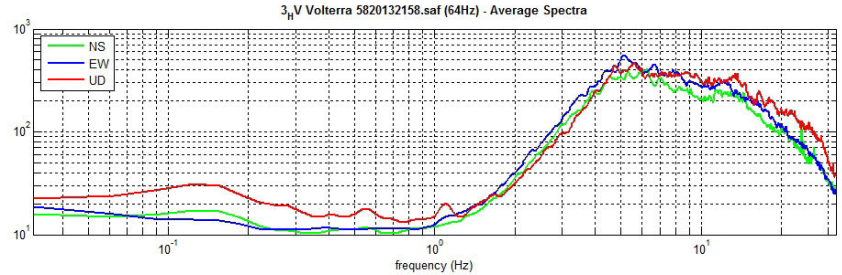
Peak frequency (Hz): **3.3** (±8.8)
Peak HVSR value: **1.6** (±0.3)

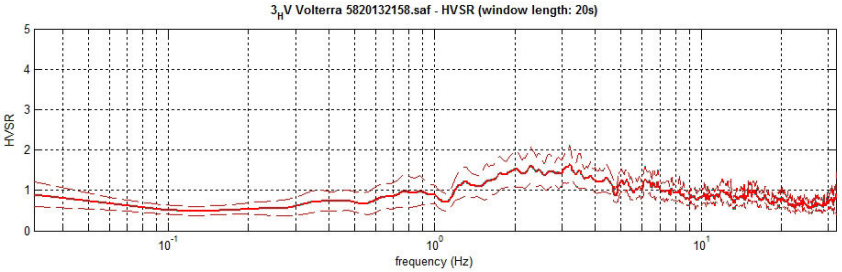
==Criteria for a reliable H/V curve ==========

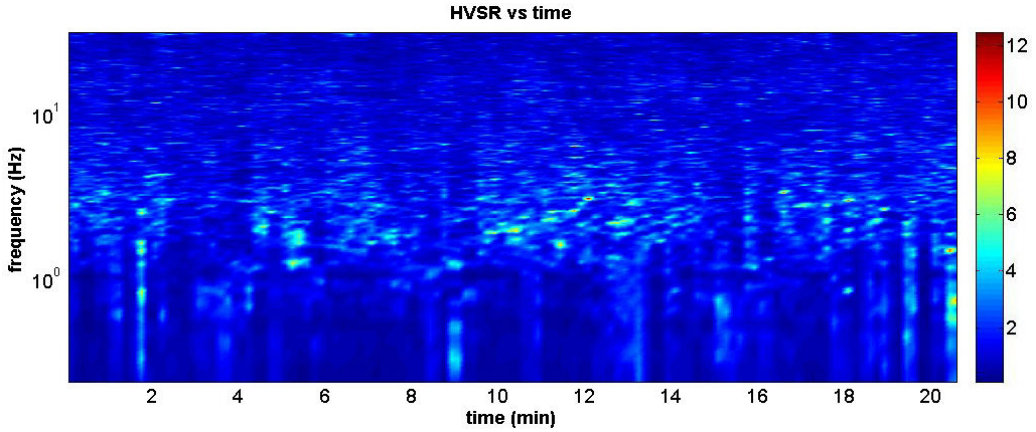
#1. [f0 > 10/Lw]: 3.3 > 0.5 (**OK**)
#2. [nc > 200]: 8068 > 200 (**OK**)
#3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (**OK**)

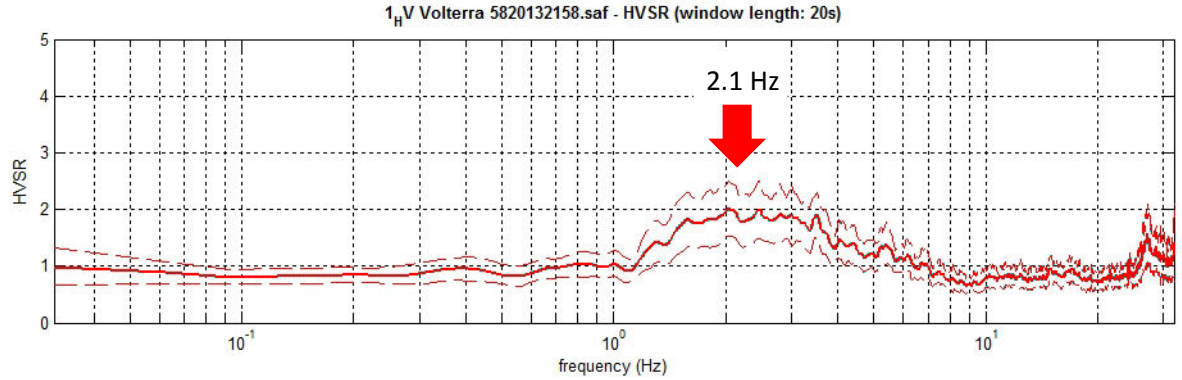
==Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fullfilled) ==========

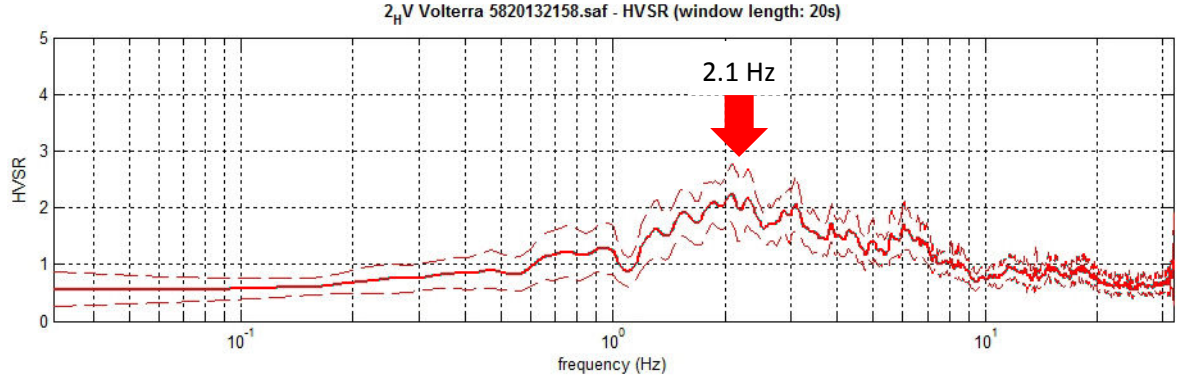
#1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes, at frequency 1.2Hz (**OK**)
#2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes, at frequency 8.7Hz (**OK**)
#3. [A0 > 2]: 1.6 < 2 (**NO**)
#4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]: (**OK**)
#5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 8.786 > 0.163 (**NO**)
#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.436 < 1.58 (**OK**)

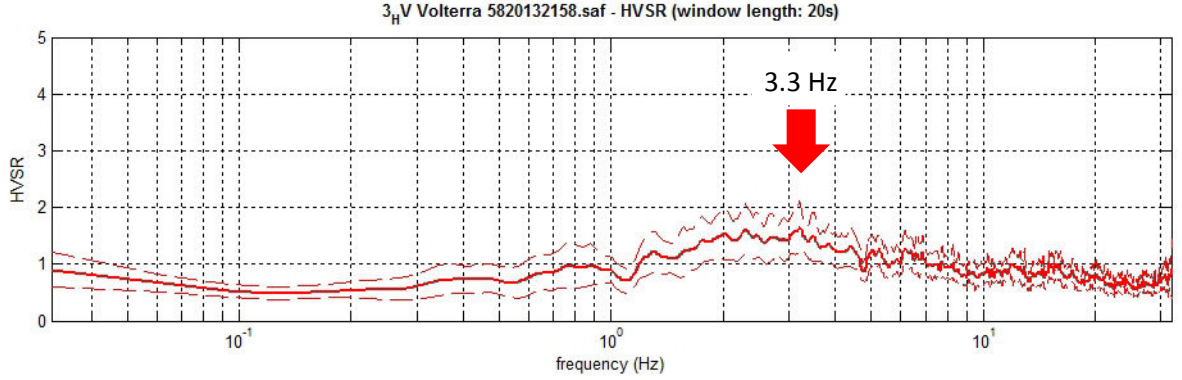







1H V Volterra 5820132158.saf - HVSR (window length: 20s)
2.1 Hz
HVSR
frequency (Hz)


2H V Volterra 5820132158.saf - HVSR (window length: 20s)
2.1 Hz
HVSR
frequency (Hz)

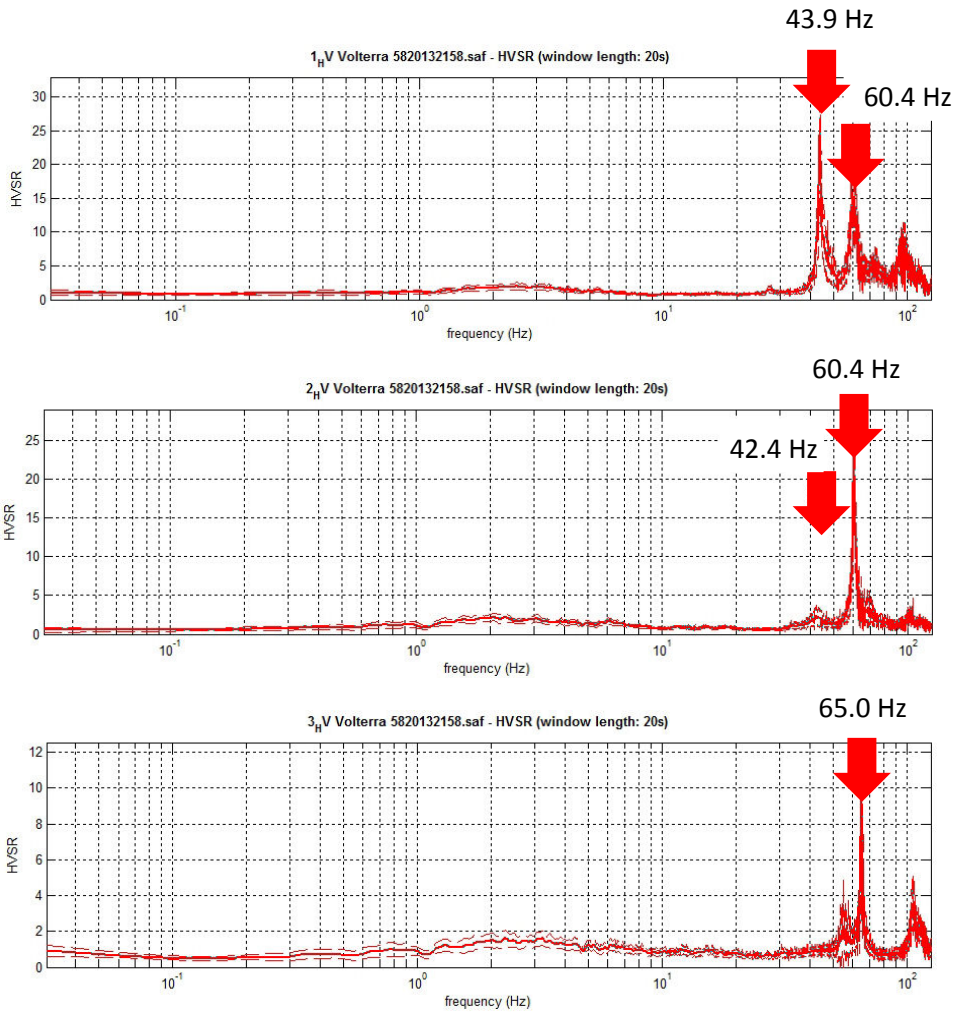

3H V Volterra 5820132158.saf - HVSR (window length: 20s)
3.3 Hz
HVSR
frequency (Hz)

Commento ai risultati:

Dall'osservazione dei grafici delle misure effettuate (HV1, HV2, HV3) sopra riportati, si rileva la presenza di un'ampia zona di frequenze (da circa 1.2 Hz a circa 6 Hz) con picchi massimi variabili da 2.1 Hz (HV1 e HV2) a 3.3 Hz (nella misura HV3) e di ampiezza relativamente bassa (valori di H/V variabili da 1.6 a 2.3).

Pur non essendo rappresentata da picchi di frequenza ben distinti (soddisfano comunque quasi tutti i criteri di validazione SESAME), questa zona è presente in tutte e tre le misure effettuate e può essere attribuita ad una transizione litologica graduale stimata intorno ai 30-40 m di profondità.

Sono infine da segnalare, in un range di frequenze elevate variabili da 42.4 Hz a 65.0 Hz (vedi grafici seguenti), una serie di picchi certi (soddisfano quasi tutti i criteri di validazione SESAME) caratterizzati da ampiezze molto elevate i quali, pur non escludendo una qualche componente antropica (direzionalità che indica la probabile origine nel traffico veicolare continuo della vicina S.R. 68), sarebbero riconducibili ad un passaggio litologico molto superficiale, variabile da 1 m a 1.5 m di profondità (possibile base del rilevato stradale).



Concludendo, si vuole puntualizzare 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.

Pisa, Ottobre 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*