



**IGETECMA s.n.c. Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali**

Laboratorio autorizzato con D.M. n. 54143 del 07/11/2005 ai sensi della Circolare 08/09/10 n. 7618/STC

Esecuzione e certificazione prove geotecniche – settore A

Laboratorio autorizzato con D.M. n. 162 del 19/04/2011 ai sensi dell'art. 20 della L. n. 1086/71

Prove e controlli su strutture e materiali da costruzione – settore A

## **Rapporto di Prova n°153-20-S**

Montelupo Fiorentino 22/05/2020

**SETTORE:** Geofisica

**COMMITTENTE:** MACCIONE IMMOBILIARE S.P.A.

**RICHIEDENTE:** Geol. Francesco barellini

**CANTIERE:** via Lucchese, firenze (FI)

**RIFERIMENTO:** R.P.E. n°143-20

### **Indice generale:**

- 1 Scopo dell'indagine (Pag.2)
- 2 Indagine mediante sismica a rifrazione (Pag.2)
  - 2.1 Procedure di campagna (Pag.2)
  - 2.2 Metodo di elaborazione dei dati (Pag.2)
- 3 Presentazione dei dati (Pag.4)
- 4 Risultati dell'indagine (Pag.4)
- 5 Normativa sismica e calcolo del parametro VSeq (Pag.4)
- 6 Caratteristiche della strumentazione (Pag.5)

Il Direttore del Laboratorio

Ing. F. Politi

Il Tecnico

Geol. A. Farolfi

## **1 Scopo dell'indagine**

Su incarico di MACCIONE IMMOBILIARE S.P.A., il giorno 21/05/2020, è stata eseguita una indagine geofisica mediante sismica a rifrazione con onde Sh in Via Lucchese, Firenze (FI). E' stato eseguito n°1 profilo di sismica a rifrazione con onde SH, utilizzando 24 canali con una spaziatura di 5 m, per un totale di 115 m di rilievo.

Scopo dell'indagine è stata la caratterizzazione sismostratigrafica dei terreni e del parametro VsEQ per i fini previsti dalla normativa sismica.

## **2 Indagine mediante sismica a rifrazione**

### **2.1 Procedure di campagna**

Vengono stesi i cavi sismici lungo la zona di interesse e ad essi vengono collegati i geofoni precedentemente infissi nel terreno alle equidistanze prestabilite.

La produzione di onde di taglio viene effettuata ponendo una trave di legno a diretto contatto con il terreno in senso trasversale al profilo ed energizzando su entrambi i lati dopo averla adeguatamente caricata, l'impatto rende operativo, tramite un accelerometro reso solidale con la fonte di energizzazione (*trigger*), il sistema di acquisizione dati, permettendo così la registrazione ai geofoni della forma d'onda rappresentativa della velocità di spostamento del suolo. Le energizzazioni vengono effettuate alternativamente su entrambi i lati, mediante massa battente, e sommate con polarità scambiata in modo da migliorare l'individuazione dell'onda di taglio polarizzata orizzontalmente che viene generata. Al fine di ottenere una migliore risoluzione della sismo-stratigrafia, i punti di energizzazione, detti punti di scoppio (*shot points*), vengono disposti simmetricamente rispetto al profilo: ai suoi estremi (*end*), esternamente (*offset*) ed a distanze variabili entro il profilo stesso (punti di scoppio centrali). 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.

### **2.2 Metodo di elaborazione dei dati**

La procedura d'elaborazione dati consiste di due fasi: la lettura dei tempi d'arrivo ai vari geofoni dello stendimento per ciascuna energizzazione effettuata e la loro successiva elaborazione mediante metodi di calcolo.

I tempi di primo arrivo delle onde sismiche vengono riportati su diagrammi spazio-tempo (dromocrone) nei quali l'asse dei tempi ha l'origine coincidente con l'istante in cui viene prodotta l'onda sismica (*t<sub>0</sub>*), mentre nelle ascisse si hanno le distanze relative fra i geofoni dello stendimento. Tali diagrammi consentono di determinare, nei punti di flesso, le variazioni di velocità fra i vari strati attraversati dai raggi sismici e, tramite elaborazioni, le profondità a cui si verificano

tali variazioni. In Tabella I sono riportate le relazioni tra le velocità medie delle onde sismiche di compressione P e di taglio SH (esprese in m/sec) e le principali litologie, desunte da letteratura. Il procedimento di elaborazione dei tempi d'arrivo per ottenere le profondità dei rifrattori, utilizza più metodi: il Metodo del tempo di ritardo (*delay time*), il Metodo del tempo di intercetta ed il Metodo reciproco generalizzato (G.R.M.) proposto da Palmer (1980). Il G.R.M. è un metodo interpretativo che si basa su tempi d'arrivo da energizzazioni coniugate, effettuate cioè da parti opposte del profilo sismico: tramite la determinazione di due funzioni (analisi della velocità e tempo-profondità) si determinano le velocità e quindi le profondità dei rifrattori individuati sulle dromocrone.

La funzione di analisi della velocità corrisponde al tempo necessario al raggio sismico a percorrere un tratto di lunghezza nota sul rifrattore (distanza intergeofonica), per cui la sua determinazione permette di ottenere una precisa stima della velocità delle onde sismiche nel rifrattore stesso. Tramite un procedimento di migrazione dei dati, sia la funzione tempo-profondità che quella di analisi della velocità vengono calcolate per distanze intergeofoniche crescenti (da 0 a multipli interi dell'equidistanza dei geofoni): viene scelta poi quella distanza per la quale le curve presentano il miglior andamento rettilineo. I limiti del metodo a rifrazione risiedono nella impossibilità teorica di rilevare successioni stratigrafiche composte da strati a velocità decrescente con la profondità, in tal caso lo strato o gli strati non possono essere messi in evidenza dalle onde rifratte in quanto l'energia incidente, al contatto fra la sommità dello strato e la base dello strato sovrastante a più alta velocità, subisce una flessione verso il basso e non può venire di conseguenza rifratta; tale situazione è nota come "orizzonte nascosto". Altra limitazione consiste nella presenza di uno strato a velocità intermedia ma di ridotto spessore; anche in questo caso l'orizzonte non produce alcun cambiamento di pendenza sulle dromocrone, e non è quindi sismicamente rilevabile. Ambedue le situazioni stratigrafiche portano a sovrastimare o sottostimare lo spessore delle coperture. Quando da altri rilievi si è a conoscenza della possibile presenza di orizzonti sismici nascosti è possibile, in fase di elaborazione dei dati con il metodo G.R.M., la verifica dello spessore di tali zone, poiché negli strati nascosti si ha sempre un aumento di velocità con la profondità, ma il loro spessore è sottile e/o il contrasto di velocità con lo strato sottostante è così piccolo, per cui i raggi sismici che partono da questi strati vengono oscurati dai raggi che partono dallo strato sottostante. Gli strati a bassa velocità presentano invece una velocità sismica minore rispetto allo strato sovrastante (inversione di velocità), per cui alla loro interfaccia non si verifica una rifrazione critica e così non vengono evidenziati sul grafico tempo-distanza. L'individuazione di eventuali strati nascosti e/o inversioni di velocità viene effettuata attraverso il confronto fra i valori delle funzioni tempo-velocità misurate e quelle ricalcolate in base al valore di XY utilizzata per l'elaborazione (Palmer 1980).

Materiale	V P m/s	V SH m/s	
		VP/VSH 1.9 - 3.5	VP/VSH 1.9 - 3.5

Detrito superficiale alterato	300 - 600	86 - 158	171 – 316
Ghiaia, pietrisco, sabbia asciutta	500 - 900	143 - 263	257 – 474
Sabbia bagnata	600 - 1800	171 - 316	514 – 947
Argilla	900 - 2700	257 - 474	771 – 1421
Acqua	1430 - 1680	-	-
Arenaria	1800 - 4000	514 - 947	1143 – 2105
Scisti argillosi	2500 - 4200	714 - 1316	1200 – 2211
Calcere	2000 - 6000	571 - 1053	1714 – 3158
Sale	4200 - 5200	1200 - 2211	1486 – 2737
Granito	4000 - 6000	1143 - 2105	1714 - 3158
Rocce metamorfiche	3000 - 7000	857 - 1579	2000 - 3684

Tabella I – Velocità dei principali materiali.

### 3 Presentazione dei dati

Nella presente relazione vengono forniti i seguenti elaborati:

- planimetria con ubicazioni delle indagini
- sezioni sismiche interpretate, rappresentazioni bidimensionali delle velocità sismiche e degli spessori degli strati individuati lungo il profilo
- tabulati numerici delle velocità delle onde sismiche e degli spessori relativi ad ogni strato rilevato per ciascuna sezione sismica
- registrazioni di campagna e dromocrone relative.

### 4 Risultati dell'indagine

L'indagine ha messo in evidenza la presenza di tre orizzonti sismici con le seguenti classi di velocità delle onde di taglio SH:

$$V1 = 174 - 176 \text{ m/s}$$

$$V2 = 226 \text{ m/s}$$

$$V3 = 354 - 362 \text{ m/s}$$

Il primo orizzonte sismico ha uno spessore compreso fra 4.2 m e 6.8 m e può essere riferito, a terreno naturale, materiali di riporto e depositi molto allentati. Il secondo orizzonte sismico, con spessori compresi fra 15.8 m e 21.2 m, raggiunge profondità da 22.2 m a 25.8 m ed è riferibile a depositi sedimentari allentati. Le velocità del terzo orizzonte sismico sono riferibili ad un lieve aumento nella compattazione dei depositi.

## 5 Normativa sismica e calcolo del parametro $V_{seq}$

Le norme NTC 2018 definiscono i criteri di classificazione del sottosuolo, che devono essere effettuati sulla base delle condizioni stratigrafiche (spessori e caratteristiche dei materiali) ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{seq} = H / S_{i=1,N} (h_i/V_{s,i})$$

$h_i$  spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

$N$  numero di strati;

$H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Le categorie di suolo sono riportate in tabella II.

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

Tabella II – Categorie di suolo di fondazione

“Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche” (NTC 2018).

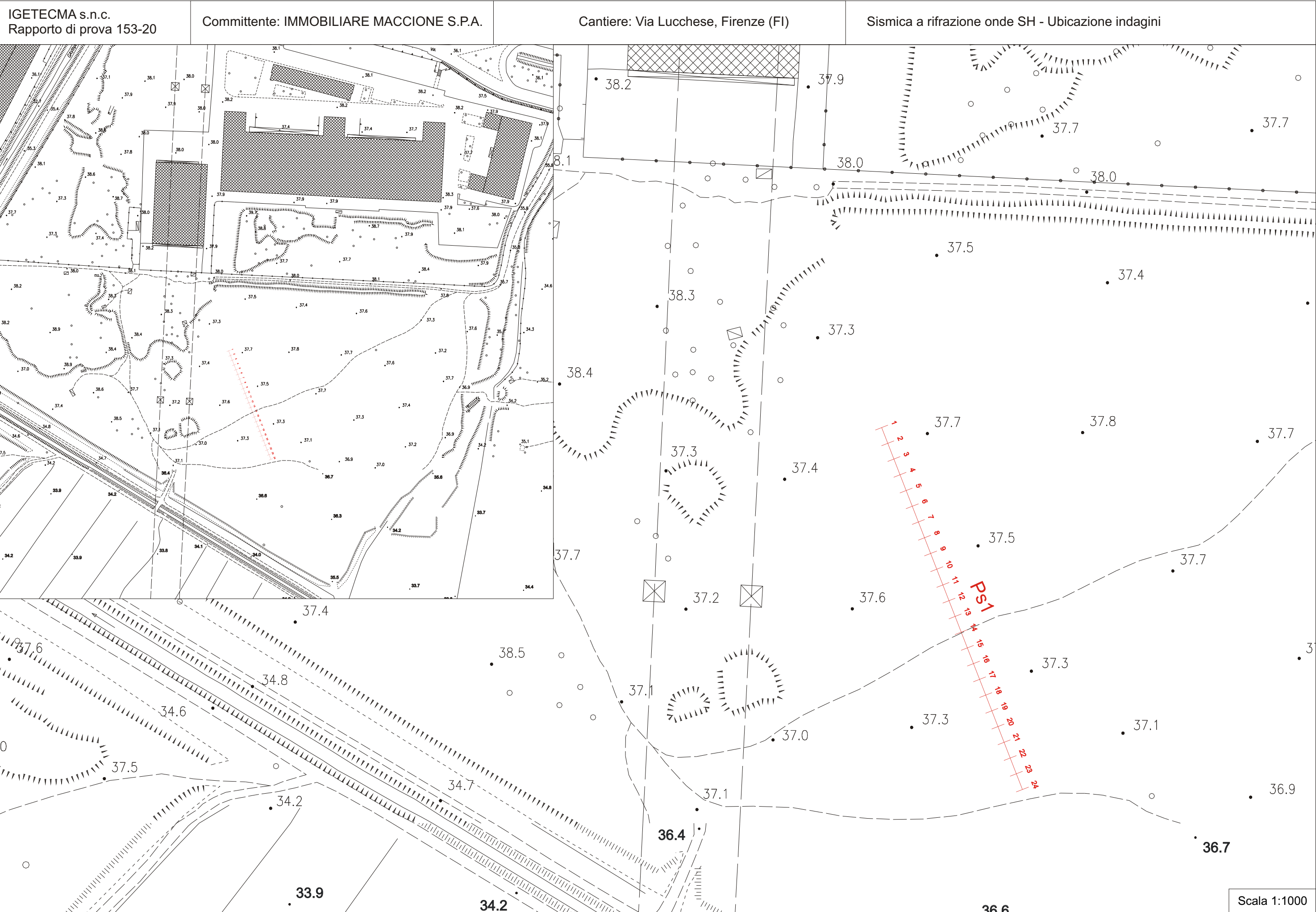
Il valore di  $V_{seq}$  medio, calcolato da piano campagna fino alla profondità di 30 m è 232 m/s.

## **6 Caratteristiche della strumentazione**

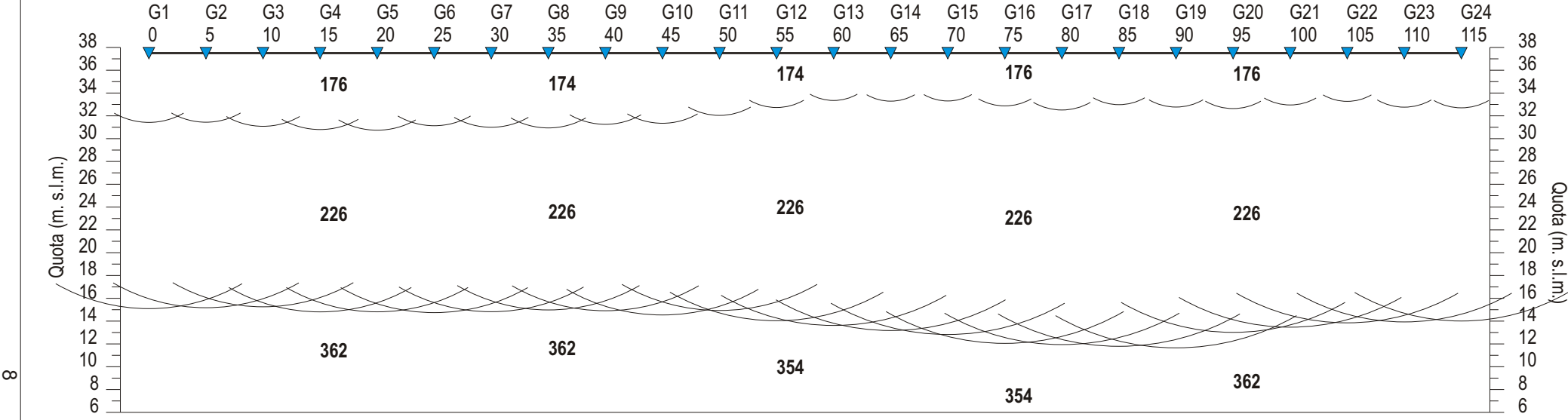
Il sistema di acquisizione usato nella presente campagna d'indagini è così configurato:

Sismografo GEODE 48 canali (2 moduli a 24 canali) con Controller Stratavisor NZC:

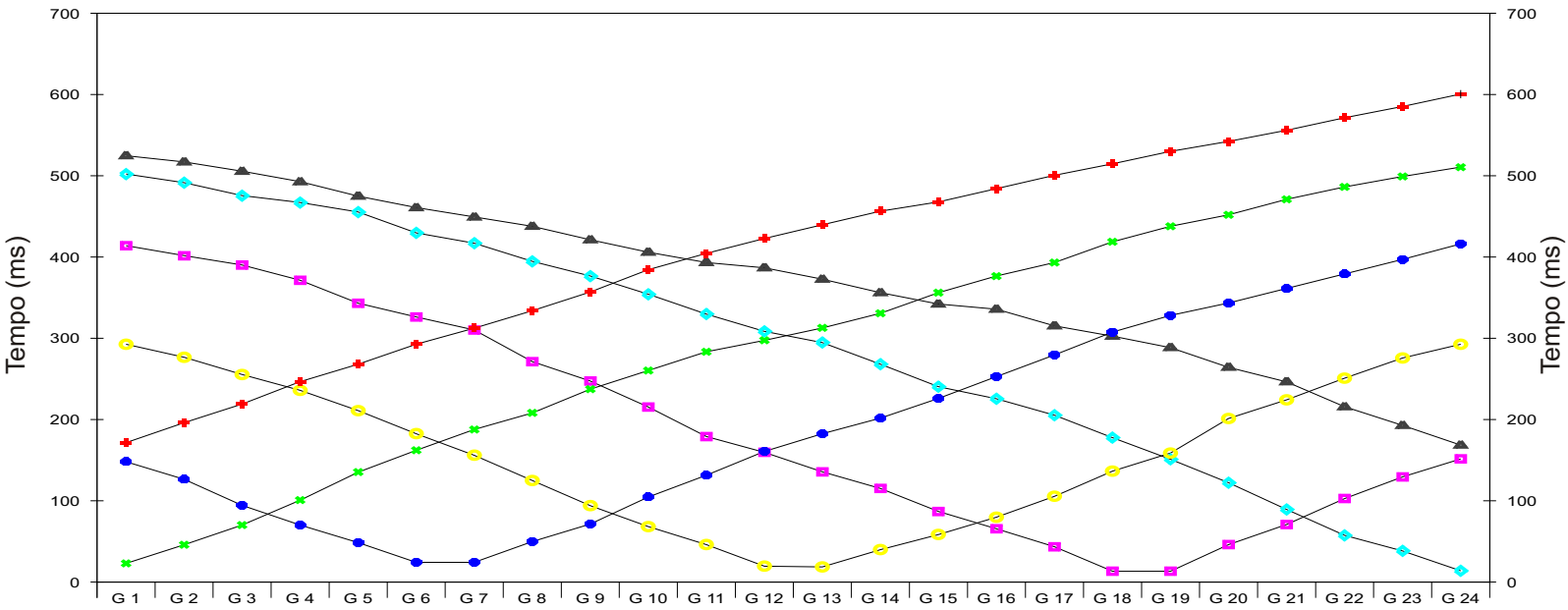
- 1 risoluzione segnale A/D 24 bit;
- 2 escursione dinamica 144 dB, 110 dB istantanea a 2 ms;
- 3 passo di campionamento da 0.02 a 16 ms indipendente dal tempo d'acquisizione;
- 4 fino a 64.000 campioni per traccia;
- 5 distorsione 0.0005% a 2ms, 1.75 – 208 Hz;
- 6 amplificazione del segnale da 0 a 36 dB;
- 7 filtri anti-aliasing a 90 dB della frequenza di Nyquist;
- 8 filtri digitali low-cut, high-cut, notch;
- 9 precisione trigger in sommatoria 1/32 del passo di campionamento;
- 10 pre-trigger fino a 4096 campioni, delay sino a 1.000 ms;
- 11 salvataggio dati in formato SEG-2 su hard-disk incorporato;
- 12 24 geofoni verticali con frequenza propria di 14 Hz;
- 13 24 geofoni orizzontali con frequenza propria di 4.5 Hz;
- 14 sistema di starter (trigger) mediante accelerometro;
- 15 energizzazione mediante mazza da 5 Kg, minibang calibro 8, grave da 30/60 kg.



Profilo di sismica a Rifrazione Ps1 - onde SH



Dromocrone

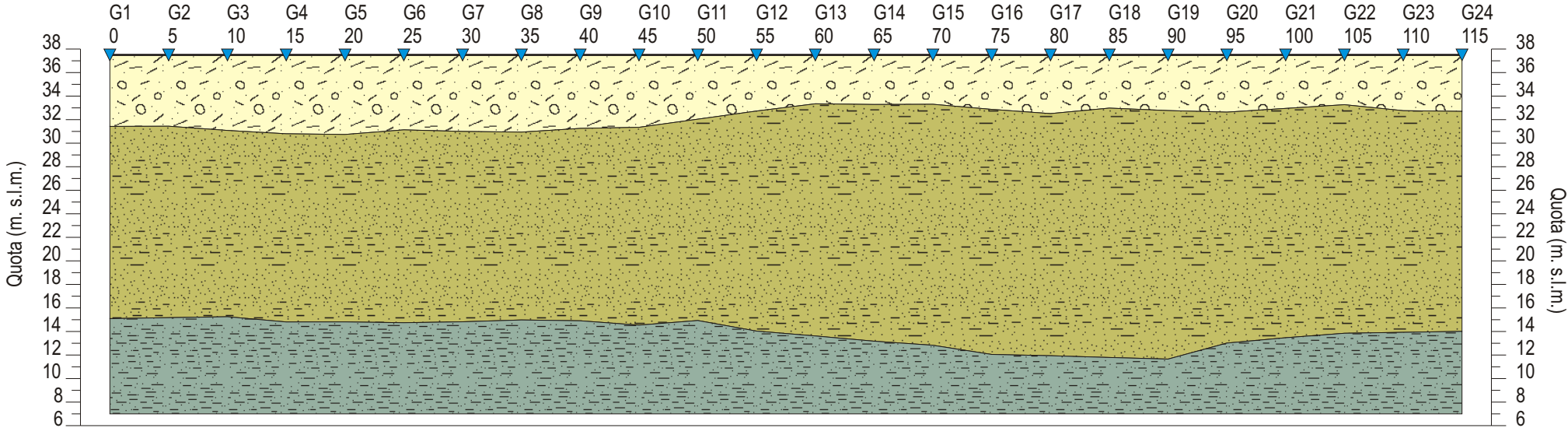


**Legenda**

- Geofono
- Distanza dalla superficie topografica del limite di strato
- 1326 Velocità in m/sec.
- Contatti tettonici
- Faglie presunte
- Scala 1:500




Ps1 - onde SH - Interpretazione sismostratigrafica




Z1 (m)	6.1	6.1	6.4	6.7	6.8	6.4	6.5	6.6	6.2	6.2	5.5	4.8	4.2	4.2	4.2	4.6	5.0	4.5	4.7	4.9	4.5	4.2	4.7	4.8
Z2 (m)	16.3	16.3	15.8	16.0	15.9	16.4	16.2	16.0	16.3	16.8	17.1	18.7	19.7	20.1	20.5	20.8	20.6	21.2	21.1	19.6	19.5	19.4	18.8	18.7
H2 (m)	22.4	22.3	22.2	22.7	22.7	22.8	22.7	22.5	22.6	23.0	22.6	23.5	23.9	24.3	24.7	25.5	25.6	25.7	25.8	24.5	24.0	23.7	23.6	23.5
V1 (m/s)	176	176	176	176	174	174	174	174	174	174	174	174	174	175	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
V2 (m/s)	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226
V3 (m/s)	362	362	362	362	362	362	362	362	362	362	354	354	354	354	354	354	354	354	354	362	362	362	362	362


Legenda:



Terreno naturale, depositi allentati



Depositi addensati



Depositi consolidati

Scala 1:500

Z = Spessore dell'orizzonte  
H = Profondità dell'orizzonte  
V = Velocità dell'orizzonte  
Q = Quota del geofono in m s. l. m.

## Dati Ps1 - Onde SH

## Tempi di arrivo

Geo. N°	Dist. m	ShotA ms	ShotB ms	ShotC ms	ShotD ms	ShotE ms	ShotF ms	ShotG ms
1	0.0	171.6	22.9	148.1	292.6	414.1	502.2	524.7
2	5.0	196.1	45.9	126.4	276.6	401.7	491.6	517.1
3	10.0	219.1	70.2	94.4	255.4	390.2	475.6	505.6
4	15.0	246.6	100.8	70.2	235.9	371.5	467.1	492.8
5	20.0	268.1	135.3	48.5	211.0	343.2	455.4	474.9
6	25.0	292.6	162.1	24.2	182.6	326.3	429.8	460.9
7	30.0	312.5	187.7	24.2	156.0	310.3	417.1	449.4
8	35.0	334.0	208.1	49.8	125.0	271.3	394.7	437.9
9	40.0	357.0	237.4	71.5	94.0	247.4	376.6	421.3
10	45.0	384.5	260.4	104.7	68.2	215.5	354.3	406.0
11	50.0	404.5	283.4	131.5	46.1	179.1	329.8	393.2
12	55.0	422.8	297.5	160.8	19.5	159.6	308.5	386.8
13	60.0	439.7	312.8	182.5	18.6	135.6	294.7	372.8
14	65.0	456.5	330.7	201.7	39.9	115.2	268.1	356.2
15	70.0	467.9	356.2	226.0	58.5	86.9	240.4	342.2
16	75.0	484.1	376.6	252.8	79.8	65.6	225.5	335.8
17	80.0	500.6	393.2	279.6	105.5	43.4	205.3	315.3
18	85.0	514.8	418.8	307.7	136.5	13.3	177.7	302.6
19	90.0	530.1	437.9	328.1	158.7	13.3	151.1	288.5
20	95.0	542.3	452.0	343.4	201.3	46.1	122.3	264.3
21	100.0	556.1	471.1	361.3	224.3	70.9	89.3	246.4
22	105.0	571.5	486.4	379.2	250.9	102.8	57.4	215.7
23	110.0	585.3	499.2	397.1	275.8	129.4	38.3	192.8
24	115.0	600.6	510.7	416.2	292.6	151.6	13.8	168.5

Geo. N°	Q m slm	V1 m/s.	Z1 m	Q1 m slm	V2 m/s.	Z2 m	H2 m	Q2 m slm	V3 m/s.
1	37.5	176	6.10	31.4	226	16.3	22.4	15.1	362
2	37.5	176	6.10	31.4	226	16.3	22.3	15.2	362
3	37.5	176	6.40	31.1	226	15.8	22.2	15.3	362
4	37.5	176	6.70	30.8	226	16.0	22.7	14.8	362
5	37.5	174	6.80	30.7	226	15.9	22.7	14.8	362
6	37.5	174	6.40	31.1	226	16.4	22.8	14.7	362
7	37.5	174	6.50	31.0	226	16.2	22.7	14.8	362
8	37.5	174	6.60	30.9	226	16.0	22.5	15.0	362
9	37.5	174	6.20	31.3	226	16.3	22.6	14.9	362
10	37.5	174	6.20	31.3	226	16.8	23.0	14.5	362
11	37.5	174	5.50	32.0	226	17.1	22.6	14.9	354
12	37.5	174	4.80	32.7	226	18.7	23.5	14.0	354
13	37.5	174	4.20	33.3	226	19.7	23.9	13.6	354
14	37.5	175	4.20	33.3	226	20.1	24.3	13.2	354
15	37.5	176	4.20	33.3	226	20.5	24.7	12.8	354
16	37.5	176	4.60	32.9	226	20.8	25.5	12.0	354
17	37.5	176	5.00	32.5	226	20.6	25.6	11.9	354
18	37.5	176	4.50	33.0	226	21.2	25.7	11.8	354
19	37.5	176	4.70	32.8	226	21.1	25.8	11.7	354
20	37.5	176	4.90	32.6	226	19.6	24.5	13.0	362
21	37.5	176	4.50	33.0	226	19.5	24.0	13.5	362
22	37.5	176	4.20	33.3	226	19.4	23.7	13.8	362
23	37.5	176	4.70	32.8	226	18.8	23.6	13.9	362
24	37.5	176	4.80	32.7	226	18.7	23.5	14.0	362

Legenda:

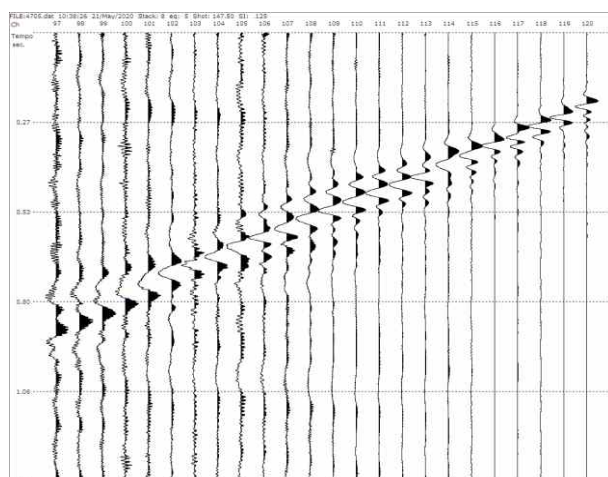
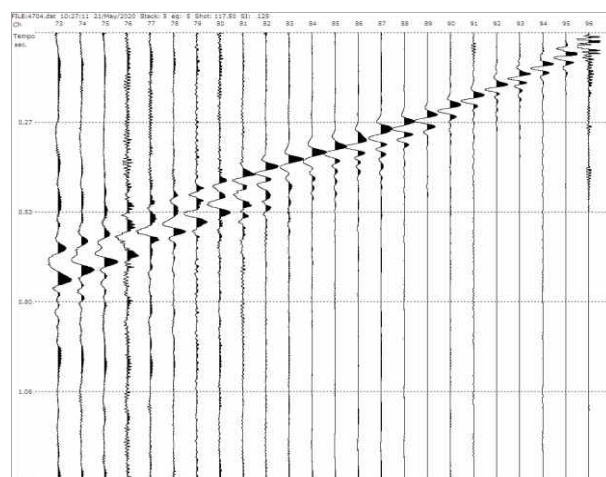
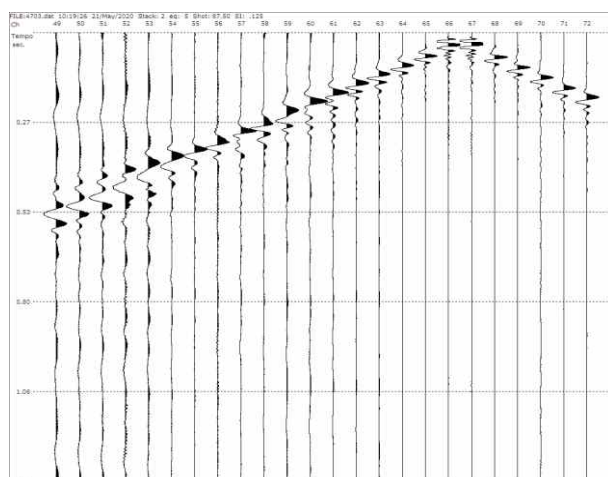
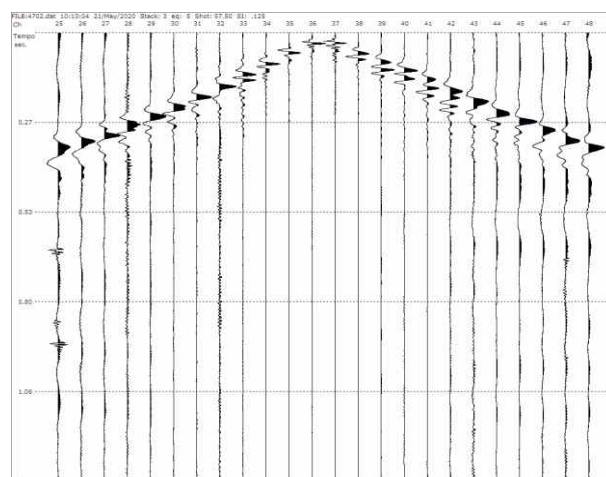
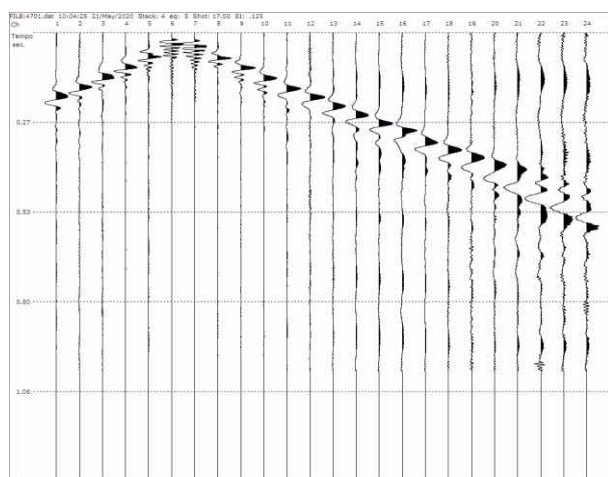
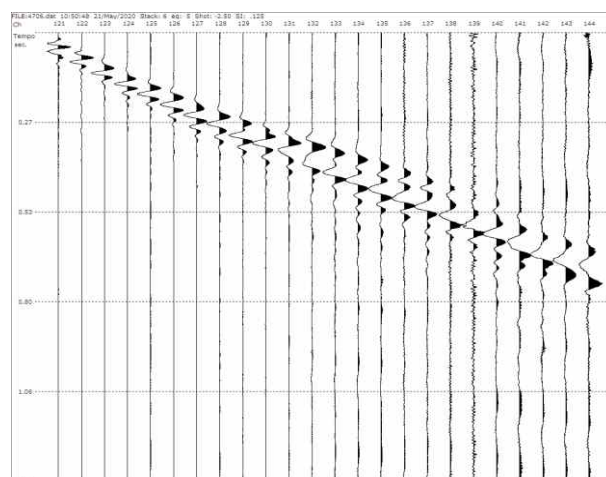
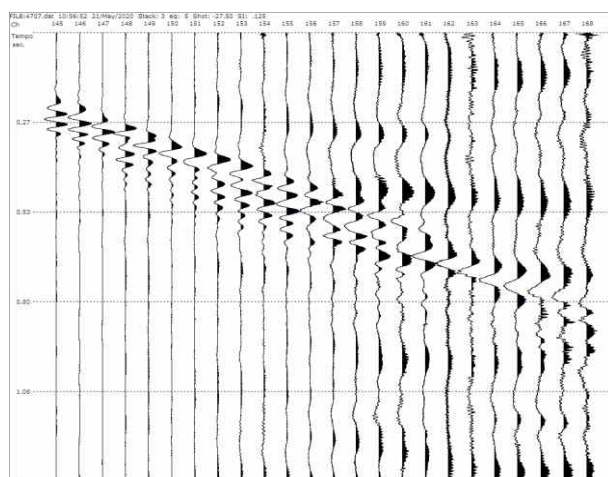
Z = Spessore dell'orizzonte

H = profondità dell'orizzonte

V = Velocità dell'orizzonte

Q = Quota del geofono in m s. l. m.

## Registrazioni Ps1 - Onde SH



## Documentazione fotografica

