

**IGETECMA s.a.s.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione Ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

Rapporto di Prova n°192/10/S

SETTORE: Geofisica - sismica a rifrazione con onde SH
COMMITTENTE:
D.L.: Geol. C. Begliomini
CANTIERE: Via Cassia, San Casciano in Val di Pesa, (FI)
RIFERIMENTO: R.P.E. n°227/10

Indice:

1. Scopo dell'indagine
2. Indagine mediante sismica a rifrazione
 - 2.1. Procedure di campagna
 - 2.2. Metodo di elaborazione dei dati
3. Presentazione dei dati
4. Risultati dell'indagine
5. Normativa sismica e calcolo del VS30
6. Caratteristiche della strumentazione

Il Direttore del Laboratorio
Ing. F. Politi

Il Tecnico
Geol. A. Farolfi

1 Scopo dell'indagine

Per conto del Sig. Coddi, su incarico del Geol. C. Begliomini, è stata eseguita una indagine geofisica mediante sismica a rifrazione con onde SH in località Via Cassia, San Casciano in Val di Pesa, (FI).

E' stato eseguito n°1 profilo di sismica a rifrazione con onde SH, utilizzando 24 canali con una spaziatura di 2.5 m, per un totale di 57.5 m di rilievo. L'ubicazione è stata decisa in accordo con la D.L.

Scopo dell'indagine è stata la caratterizzazione sismostratigrafica dei terreni ed il calcolo del parametro Vs30.

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 registrazioni 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_0), 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 (espresse 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 sovraestimare 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/SH 1.9 - 3.5	VP/SH 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:

$$V1 = 133 - 228 \text{ m/s}$$

$$V2 = 468 \text{ m/s}$$

$$V3 = 1049 - 1565 \text{ m/s}$$

Il primo orizzonte sismico ha uno spessore compreso fra 0.7 m e 2.9 m e può essere riferito al terreno naturale ed ai materiali di riporto. Il secondo orizzonte sismico, con uno spessore

variabile fra 3.3 m e 15.4 m, raggiunge profondità comprese fra 4.3 m e 17.1 m e può essere riferito ai depositi mediamente consolidati. Le velocità del terzo orizzonte sono correlabili con i conglomerati cementati.

5 Normativa sismica e calcolo del parametro V_{s30}

L'Ordinanza P.C.M. n°3274/03 istituisce diverse categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto. Tali categorie vengono definite in base al calcolo del parametro V_{s30} che è dato da:

$$V_{s30} = 30 / \sum_{i=1,N} (h_i/V_i)$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio SH (in m/sec.) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori. I valori di V_{s30} calcolati lungo il profilo variano fra 495 m/s e 1003 m/s, con un valore medio di 761 m/s. Essendo in presenza di un'orizzonte sismico, il terzo, con velocità superiore ad 800 m/s, deve essere valutata la velocità dei depositi superiori che ha un valore medio di 341 m/s, quindi per i contrasti di velocità ed i rapporti stratigrafici la zona in esame rientra nella categoria E dei suoli di fondazione. Si ricorda che i calcoli per l'attribuzione della categoria sono stati effettuati rispetto al piano campagna e che una eventuale asportazione dei terreni superficiali aumenterebbe il valore del parametro V_{s30} diminuendo lo spessore dei terreni a velocità più bassa.

Categorie di Suolo di Fondazione	$V_s 30$ m/s	$N_{spt} - C_u$
A Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione; con spessore massimo pari a 3 m.	$V_{s30} > 800$	
B Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero $N_{spt30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fine)	$360 < V_{s30} < 800$	$N_{spt} > 50$ $C_u > 250$ kPa
C Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec (ovvero $15 < N_{spt} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina)	$180 < V_{s30} < 360$	$15 < N_{spt} < 50$ $70 < C_u < 250$ kPa
D Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o a	$V_{s30} < 180$	$N_{spt} < 15$

grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/sec (ovvero $N_{spt} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fina)		$C_u < 70$ kPa
E Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento con $V_s > 800$ m/sec.	$V_{s30} < 360$	
S1 Depositi costituiti da V_{s30} inferiori a 100m/s (ovvero $10 < c_u < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche	$V_{s30} < 100$	$10 < C_u < 20$ kPa
S2 Depositi di terreni suscettibili a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.		

Tabella III – Categorie di suolo di fondazione

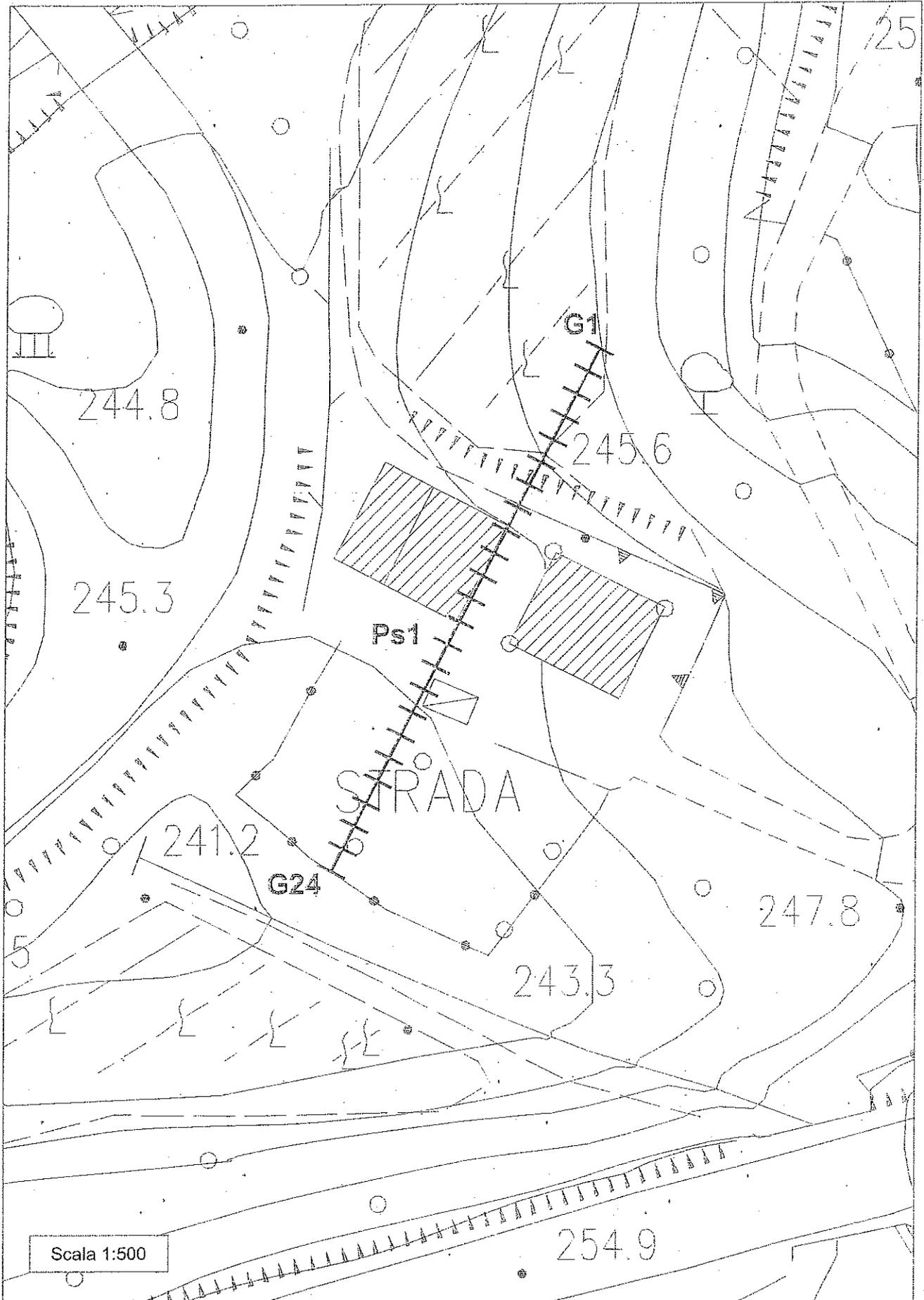
6 Caratteristiche della strumentazione

Il sistema di acquisizione usato nella presente campagna d'indagini è composto da un sistema modulare della Geometrics così configurato:

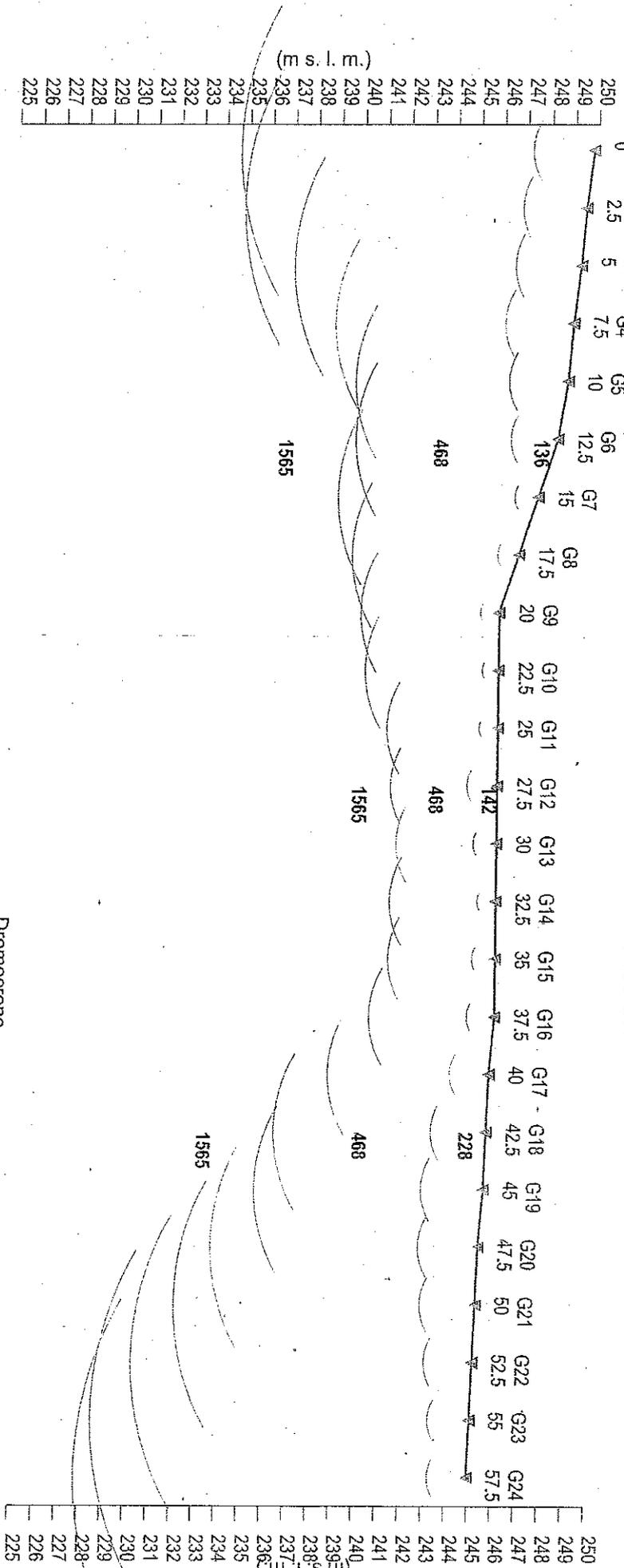
Sismografo GEODE 48 canali (2 moduli a 24 canali) con Controller Stratavisor NZC:

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

Ubicazione delle indagini

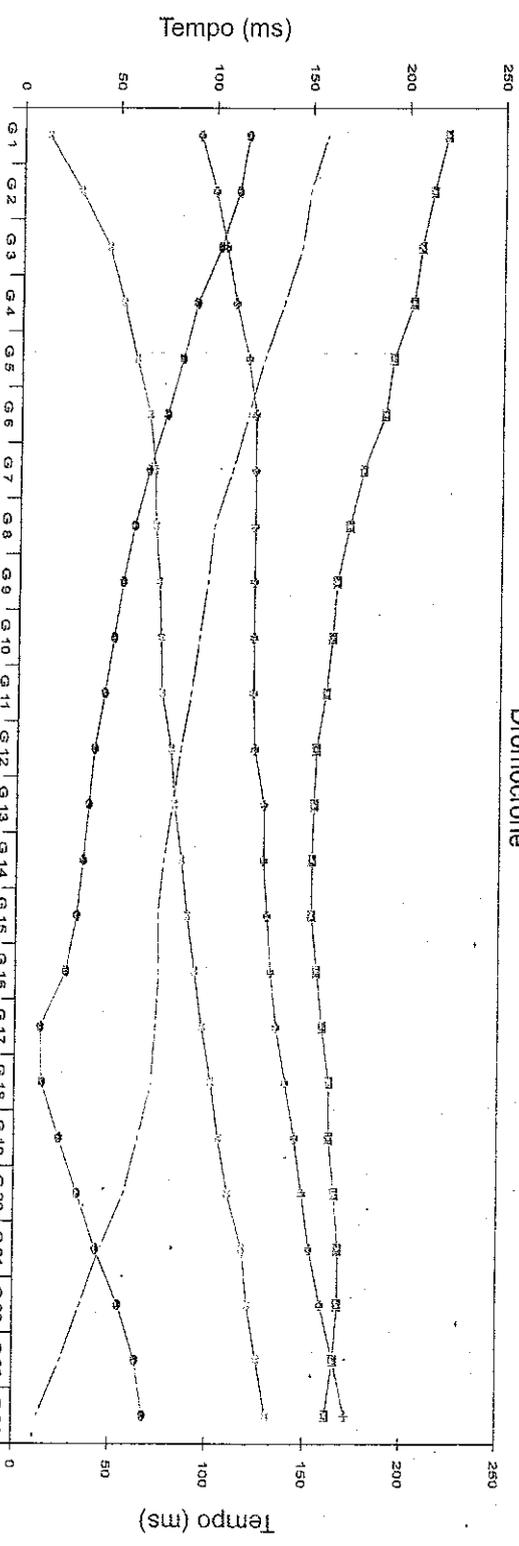


Profilo di sismica a Rifrazione Ps1 - onde SH

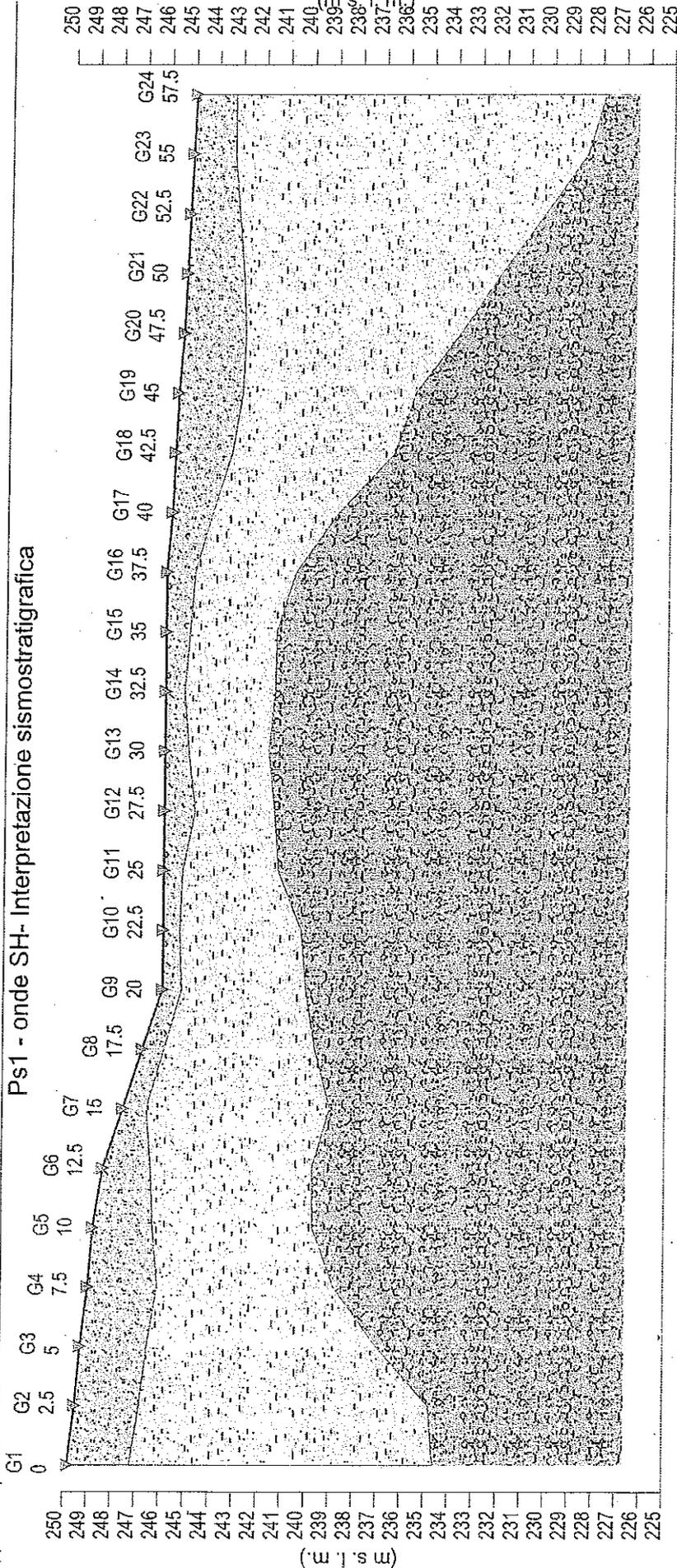


Legenda

- ▽ Geofono
- Distanza dalla superficie topografica del limite di strato
- 1326 Velocità in m/sec.
- Contatti tettonici
- Faglie presunte
- Scala 1:250
- ← A Estremo sinistro
- ← B Estremo sinistro
- ← C Centrale
- ← D Estremo destro
- ← E Estremo destro



Ps1 - onde SH- Interpretazione sismostratigrafica



Z1 (m)	2.6	2.7	2.8	2.9	2.5	2.0	1.0	0.9	0.8	0.7	0.8	1.3	1.0	0.8	1.0	1.2	1.7	2.4	2.7	2.6	2.4	2.1	1.8	1.7
Z2 (m)	12.6	12.0	9.5	7.3	6.6	6.7	7.6	6.3	5.2	5.0	4.0	3.3	3.3	3.8	3.6	4.2	5.3	6.8	7.2	9.0	10.7	12.7	14.7	15.4
H2 (m)	15.2	14.7	12.3	10.2	9.1	8.7	8.6	7.2	6.0	5.7	4.8	4.6	4.3	4.6	4.6	5.4	7.0	9.2	9.9	11.6	13.1	14.8	16.5	17.1
V1 (m/s)	133	133	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	187	228	222	216	209	203	203	203
V2 (m/s)	468	468	468	468	468	468	468	468	468	468	468	468	468	468	468	468	468	468	468	468	468	468	468	468
V3 (m/s)	1049	1049	1049	1049	1049	1049	1565	1565	1565	1565	1565	1565	1565	1565	1565	1565	1565	1565	1565	1565	1565	1565	1565	1565

Scala 1:250

Legenda:

- Terreno naturale, materiali di riporto
- Depositi sedimentari
- Conglomerati cementati

Z1 = Spessore del primo orizzonte
 Z2 = Spessore del secondo orizzonte
 H2 = Profondità del secondo orizzonte
 V1 = Velocità del primo orizzonte sismico
 V2 = Velocità del secondo orizzonte sismico
 V3 = Velocità del terzo orizzonte sismico

Dati Ps1 - onde SH

Tempi di arrivo

Geo. N°	Dist. m	ShoTA ms	ShoTB ms	ShoTC ms	ShoTD ms	ShoTE ms
1	0.0	92.00	13.00	117.00	158.00	220.00
2	2.5	100.00	30.00	112.00	149.00	213.00
3	5.0	106.00	45.00	103.00	145.00	207.00
4	7.5	111.00	53.00	91.00	136.00	203.00
5	10.0	118.00	60.00	84.00	126.00	193.00
6	12.5	122.00	67.00	76.00	118.00	189.00
7	15.0	122.00	70.00	67.00	110.00	178.00
8	17.5	122.00	70.80	59.80	101.00	171.00
9	20.0	122.00	73.00	54.10	98.00	165.00
10	22.5	122.00	74.00	49.80	94.00	163.00
11	25.0	122.00	75.00	45.10	90.00	160.00
12	27.5	123.00	80.00	40.30	85.00	155.00
13	30.0	128.00	82.00	37.50	81.00	154.00
14	32.5	128.00	86.00	34.80	76.70	153.00
15	35.0	130.00	89.00	31.60	73.80	153.00
16	37.5	132.00	93.00	26.10	74.60	156.00
17	40.0	135.00	97.00	13.00	73.00	159.00
18	42.5	140.00	102.00	14.00	71.10	163.00
19	45.0	145.00	106.00	23.00	64.50	163.00
20	47.5	149.00	111.00	33.00	57.50	166.00
21	50.0	153.00	118.00	43.00	45.20	168.00
22	52.5	159.00	121.00	55.00	35.10	168.00
23	55.0	166.00	126.00	64.00	24.70	166.00
24	57.5	172.00	131.00	68.00	12.80	162.00

Q m slm	V1 m/s	Z1 m	Q1 m slm	V2 m/s	Z2 m	H2 m	Q2 m slm	V3 m/s	Vs30 m/s
249.8	133	2.6	247.2	468	12.6	15.2	234.6	1049	495
249.5	133	2.7	246.8	468	12.0	14.7	234.8	1049	496
249.3	133	2.8	246.5	468	9.5	12.3	237.0	1049	515
249.0	134	2.9	246.1	468	7.3	10.2	238.8	1049	535
248.8	135	2.5	246.3	468	6.6	9.1	239.7	1049	571
248.4	136	2.0	246.4	468	6.7	8.7	239.7	1049	704
247.6	137	1.0	246.6	468	7.6	8.6	239.0	1565	806
246.8	138	0.9	245.9	468	6.3	7.2	239.6	1565	868
246.0	139	0.8	245.2	468	5.2	6.0	240.0	1565	932
246.0	140	0.7	245.3	468	5.0	5.7	240.3	1565	961
246.0	141	0.8	245.2	468	4.0	4.8	241.2	1565	989
246.0	142	1.3	244.7	468	3.3	4.6	241.4	1565	925
246.0	143	1.0	245.0	468	3.3	4.3	241.7	1565	985
246.0	144	0.8	245.2	468	3.8	4.6	241.4	1565	1003
246.0	145	1.0	245.0	468	3.6	4.6	241.4	1565	973
246.0	146	1.2	244.8	468	4.2	5.4	240.6	1565	912
245.8	146	1.7	244.1	468	5.3	7.0	238.8	1565	854
245.7	187	1.7	244.1	468	5.3	7.0	238.8	1565	782
245.6	228	2.4	243.3	468	6.8	9.2	236.5	1565	743
245.6	222	2.7	242.9	468	7.2	9.9	235.7	1565	697
245.4	216	2.6	242.8	468	9.0	11.6	233.8	1565	665
245.3	209	2.4	242.9	468	10.7	13.1	232.2	1565	636
245.2	203	2.1	243.1	468	12.7	14.8	230.4	1565	613
245.1	203	1.8	243.3	468	14.7	16.5	228.6	1565	606
245.0	203	1.7	243.3	468	15.4	17.1	227.9	1565	761

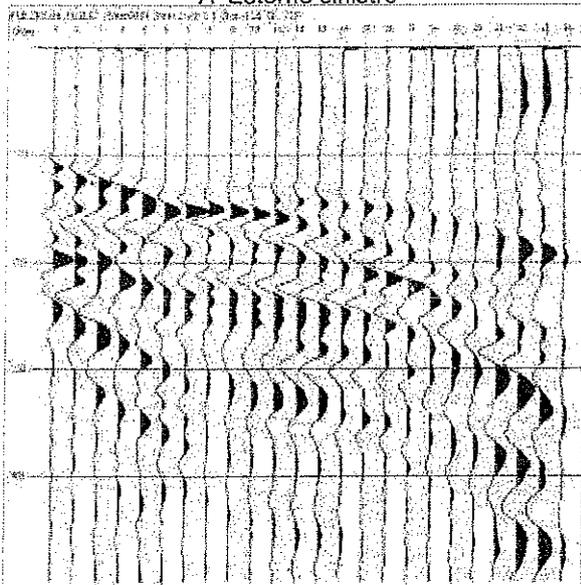
Vs 30 medio

Legenda:

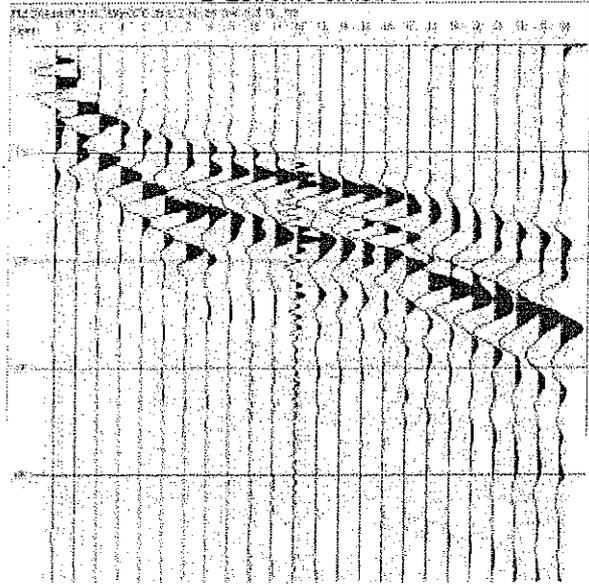
- Z1 = Spessore del primo orizzonte
- Z2 = Spessore del secondo orizzonte
- H2 = Profondità del secondo orizzonte
- V1 = Velocità del primo orizzonte sismico
- V2 = Velocità del secondo orizzonte sismico
- V3 = Velocità del terzo orizzonte sismico
- Q = Quota del geofono in m s.l.m.
- Q1 = Quota della profondità primo orizzonte sismico
- Q2 = Quota della profondità secondo orizzonte sismico

Registrazioni P1 - onde SH

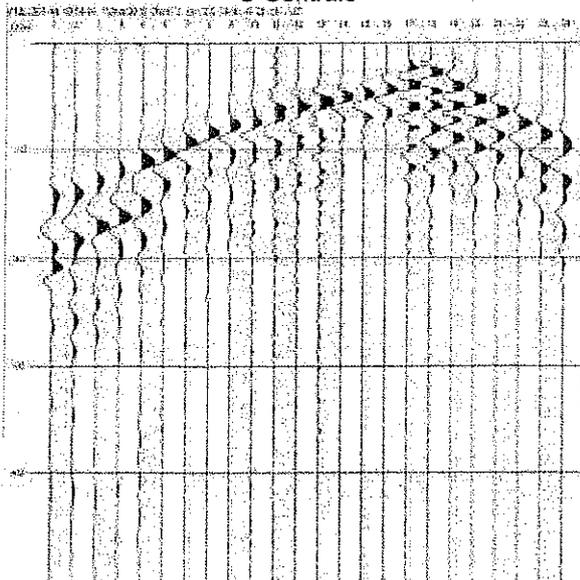
A Esterno sinistro



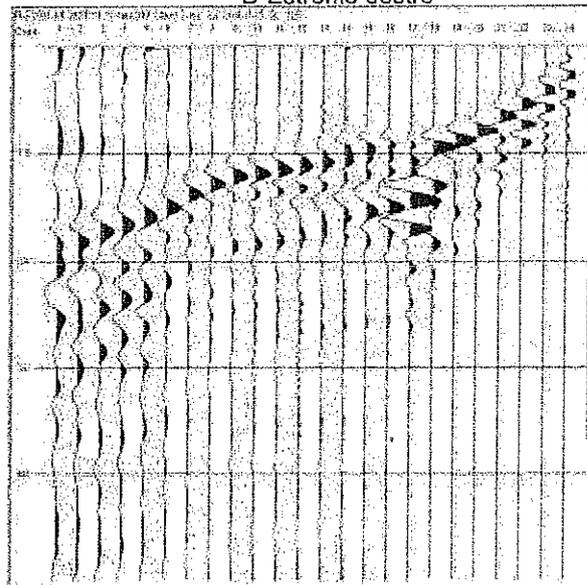
B Estremo sinistro



C Centrale



D Estremo destro



E Esterno destro

