



COMUNE DI ROSIGNANO M.MO  
PROVINCIA DI LIVORNO

# Studio di Microzonazione Sismica relativa al territorio comunale di Rosignano marittimo (LI) I livello di analisi

INDAGINI DI BASE

Q U A D R O  
C O N O S C I T I V O

AVVIO DEL PROCEDIMENTO

ai sensi dell'art. 17 L.R. 65/2014

Marzo 2019

**COMUNE DI ROSIGNANO MARITTIMO**  
**PROVINCIA DI LIVORNO**

**INDAGINE GEOFISICA**  
**DI SISMICA A RIFRAZIONE**

DATA

Maggio 2008



## RELAZIONE TECNICA

In data 21/05/2008 su incarico del Comune di Rosignano Marittimo, è stata eseguita un'indagine Geofisica di Sismica a Rifrazione in Loc. Sorbetto nel Comune di Rosignano Marittimo.

L'obiettivo era determinare l'andamento delle velocità delle onde P ed SH desumendo il grado di consistenza dei terreni costituenti il sito in esame e possibilmente individuare eventuali superfici di separazione tra "materiale" con diverse caratteristiche fisico-meccaniche.

Inoltre i risultati prodotti potranno essere utilizzati anche ai fini della classificazione dei terreni di fondazione come previsto dalla D.M. 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni)

A tale scopo sono stati eseguiti due stendimenti di sismica a rifrazione ubicati secondo la figura 1.

### **Modalità esecutive della prova.**

L'indagine sismica consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in prossimità del sito da investigare, sollecitazioni dinamiche verticali o orizzontali per la generazione di onde di volume (P) od onde di taglio (SH) e nel registrare le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate mediante sensori a componente verticale od orizzontale.

L'interpretazione dei segnali rilevati e la conseguente stima del profilo di velocità delle onde sismiche, può scomporsi nelle seguenti fasi fondamentali.

- a) individuazione del primo arrivo sui sismogrammi registrati;
- b) ricostruzione delle relative dromocrone;
- c) interpretazione delle dromocrone con conseguente ricostruzione delle geometrie del sottosuolo.

### APPARECCHIATURA USATA E SCHEMA DELLA PROVA.

L'apparecchiatura utilizzata si compone delle seguenti parti:

- Sistema sorgente;
- Sistema di ricezione;
- Sistema di acquisizione dati;
- Trigger.

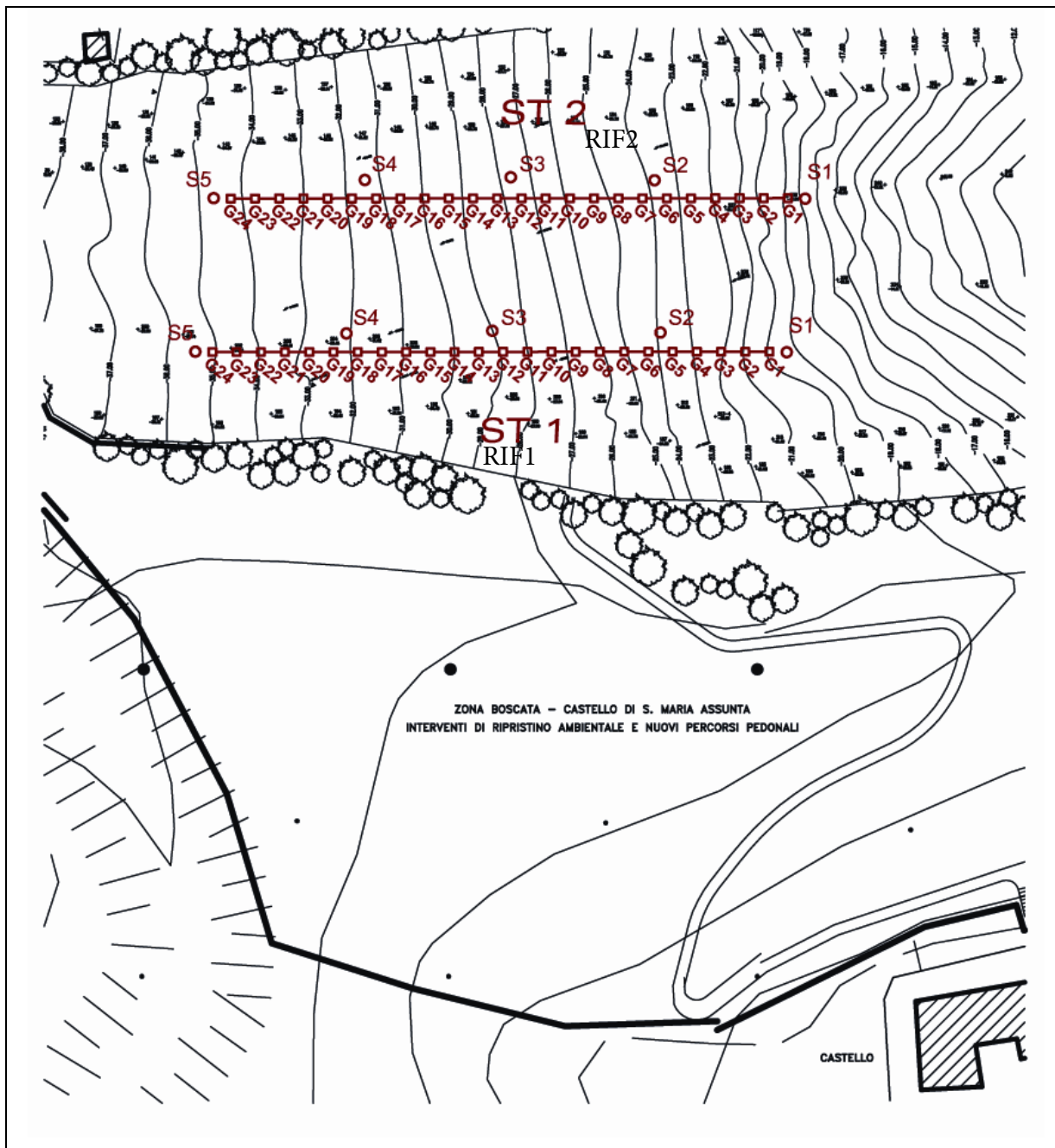


FIG. 1 : UBICAZIONE DELLE INDAGINI (SCALA 1:1000)

Sorgente onde P:

La sorgente deve essere in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme onda ripetibili, con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione, es. grave in caduta libera (massa da 110 kg), in alternativa è possibile utilizzare un cannoncino a cartucce industriali o una mazza di 8 kg adoperata per colpire una piastra di alluminio appoggiata sul terreno.

#### Sorgente onde SH:

La sorgente deve essere in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali, cioè con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di taglio polarizzate sul piano orizzontale.

Tale sorgente è costituita da un parallelepipedo di forma tale da poter essere colpita lateralmente ad entrambe le estremità con una massa pesante. È importante che il parallelepipedo venga gravato di un carico statico addizionale in modo che possa rimanere aderente al terreno sia al momento in cui viene colpito sia successivamente, affinché l'energia prodotta non venga in parte dispersa. Con questo dispositivo è possibile generare essenzialmente delle onde elastiche di taglio polarizzate orizzontalmente, con uniformità sia nella direzione di propagazione che nella polarizzazione e con una generazione di onde P trascurabile.

l'accoppiamento parallelepipedo-terreno è fatto per "contatto" e non per "infissione".

I profili sismici a rifrazione sono eseguiti energizzando ad intervalli regolari lungo stendimenti di sensori detti geofoni: ciascuno stendimento multicanale viene denominato base sismica.

#### Sistema di ricezione:

Il sistema di ricezione è costituito da 24 geofoni a componente verticale per le onde P, con frequenza propria di circa 14 Hz e da 24 geofoni a componente orizzontale per le onde SH, con frequenza propria di circa 10 Hz. Per l'acquisizione i geofoni sono accoppiati al terreno e posizionati verticalmente tramite il puntale di cui sono dotati.

#### Trigger:

Il trigger consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave o la mazza colpisce la base di battuta, consentendo 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'istante in cui la sorgente viene attivata e parte la sollecitazione dinamica.

#### Sistema di acquisizione dati:

Le registrazioni sono state acquisite mediante un sismografo digitale Echo 12-24 /2002 a 16 bit, si tratta di un sistema multicanale (24 canali) in grado di registrare su ciascun canale in modo digitale i segnali provenienti da ogni trasduttore di velocità (geofoni) a cui è collegato e conservarli su memoria di massa dinamica. Le forme d'onda acquisite sono visualizzabili come tracce a partire



dall'impulso inviato dal trigger nel computer portatile ad esso collegato e salvabili in forma numerica in modo definitivo.

### **Interpretazione dei profili sismici**

I tempi di arrivo delle onde letti in corrispondenza di ciascun geofono hanno permesso di ricostruire i diagrammi spazio-tempo, detti dromocrone. L'interpretazione delle dromocrone fatta attraverso il software Rayfract, consente di definire un modello della stratigrafia del terreno basato sulle variazioni della velocità delle onde di taglio o di compressione.

#### **RISULTATI:**

L'indagine svolta in data 21/05/2008 in Loc. Sorbetto nel Comune di Rosignano Marittimo, ha permesso di caratterizzare dinamicamente le unità litologiche presenti nell'area, tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di compressione ( $V_P$ ) e di taglio ( $V_{SH}$ ), e la determinazione della geometria nel sottosuolo (spessori e superfici di contatto).

I dati acquisiti sono stati elaborati sia in tecnica tomografica che a rifrazione.

Le elaborazioni fatte hanno messo in evidenza una distribuzione delle velocità delle onde sismiche schematizzabile secondo tre strati in onde P e secondo due strati in onde SH.

In particolare l'indagine in onde P, ha evidenziato uno strato superficiale dello spessore medio di circa 4.5 m. evidente in entrambe le sezioni, con una velocità di propagazione delle onde di compressione ( $V_p$ ) mediata tra le due sezioni di circa 620 m/sec, un secondo strato con velocità di propagazione mediata tra le due sezioni di circa 1780 m/sec. e un terzo strato con velocità di propagazione mediata tra le due sezioni di circa 1960 m/sec.

Con l'indagine in onde SH invece è stato individuato uno strato superficiale dello spessore medio di circa 3.5 m. con una velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_{sh}$ ) mediata tra le due sezioni di circa 260 m/sec, limitato inferiormente da un secondo strato con velocità  $V_{sh}$  mediata tra le due sezioni di circa 605 m/sec.

A scopo indicativo è stata calcolata la  $VS/30$  che è risultata essere pari a 525 m/sec.

Il Tecnico:

Simone Taddei

✍



## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





**LINEA ST 1**  
**INDAGINE DI TOMOGRAFIA SISMICA**  
**ONDE P E SH**

**SCHEMA DETTAGLIATO DELLA LINEA DI ACQUISIZIONE**

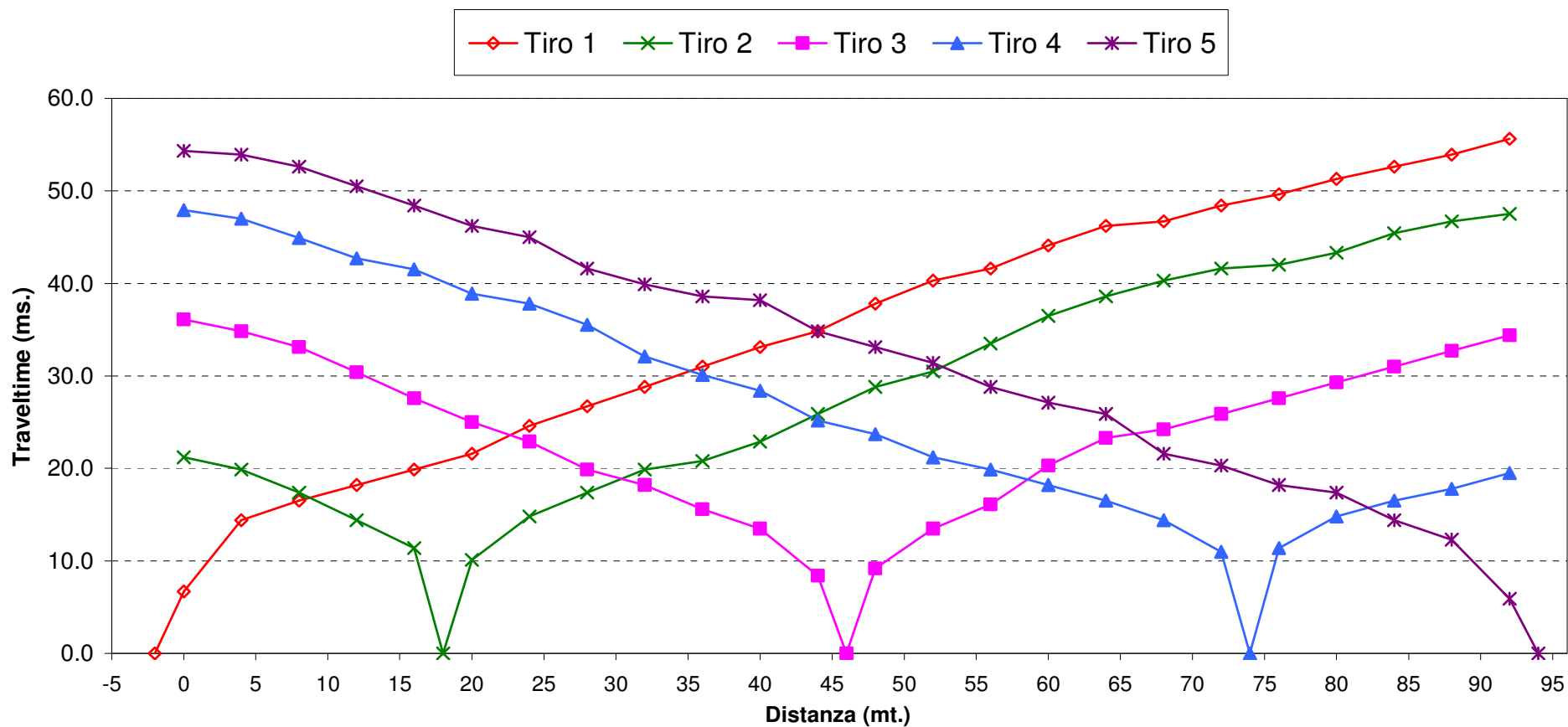
<b>Geofoni n.</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<b>Distanza progressiva (m)</b>	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92
<b>Distanza parziale (m)</b>	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
<b>Dislivello da S1 ( m.)</b>	-0.6	-1.6	-2.7	-3.5	-4.2	-4.9	-5.7	-6.7	-7.4	-8.0	-8.6	-9.5	-10.1	-10.6	-11.1	-11.5	-12.1	-12.4	-13.0	-13.4	-14.0	-14.6	-15.1	-15.7

**PUNTI DI ENERGIZZAZIONE**

	<b>SCOPPIO 1</b>	<b>SCOPPIO 2</b>	<b>SCOPPIO 3</b>	<b>SCOPPIO 4</b>	<b>SCOPPIO 5</b>
<b>POSIZ. DAL GEOF. N 1 (m)</b>	-2,0	18,0	46,0	70,0	94,0
<b>DISLIVELLO RISPETTO A S1 (m)</b>	0	-4.6	-9.5	-13.8	-16.1

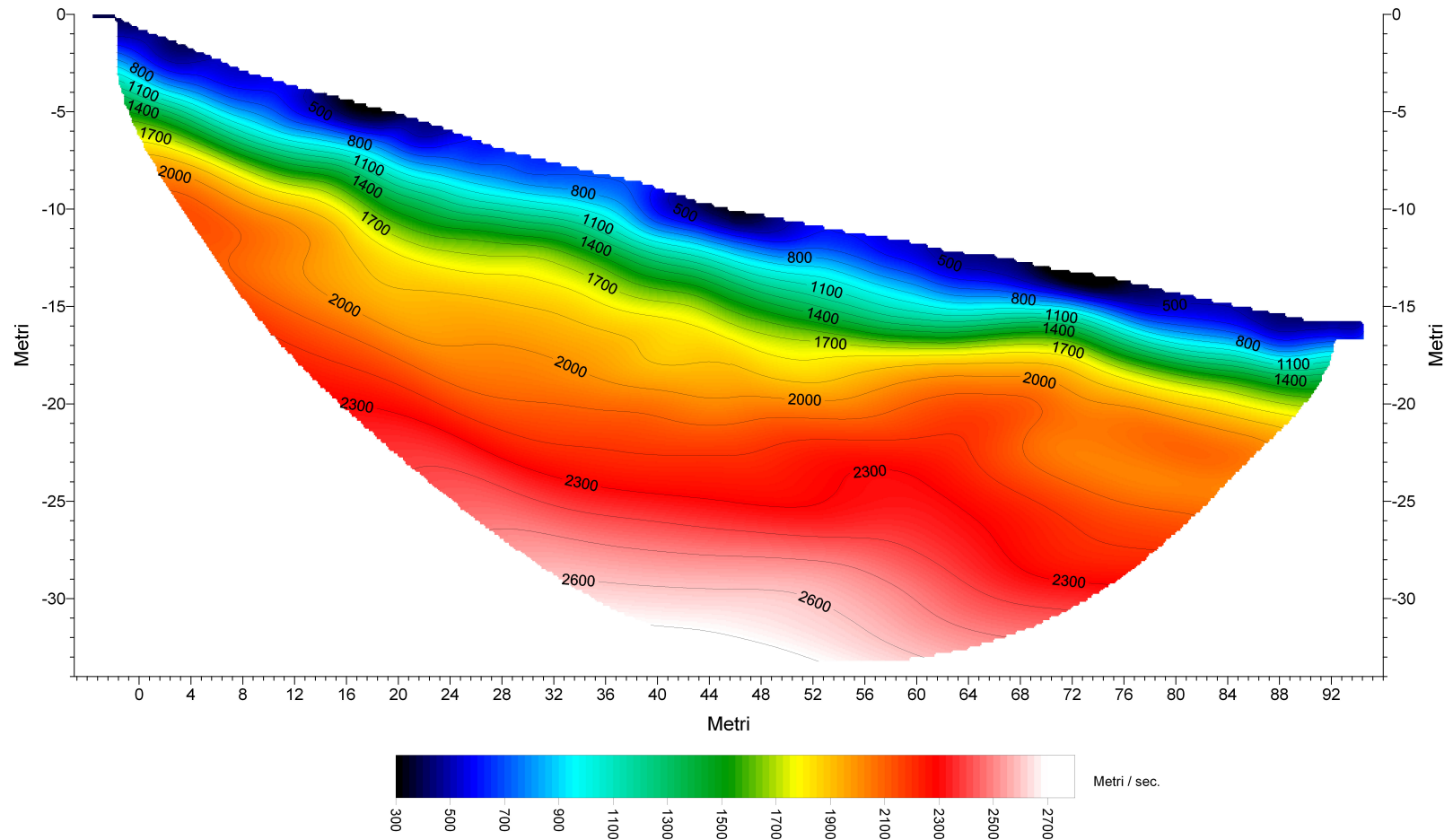


## LINEA ST 1 - DROMOCRONE ONDE P





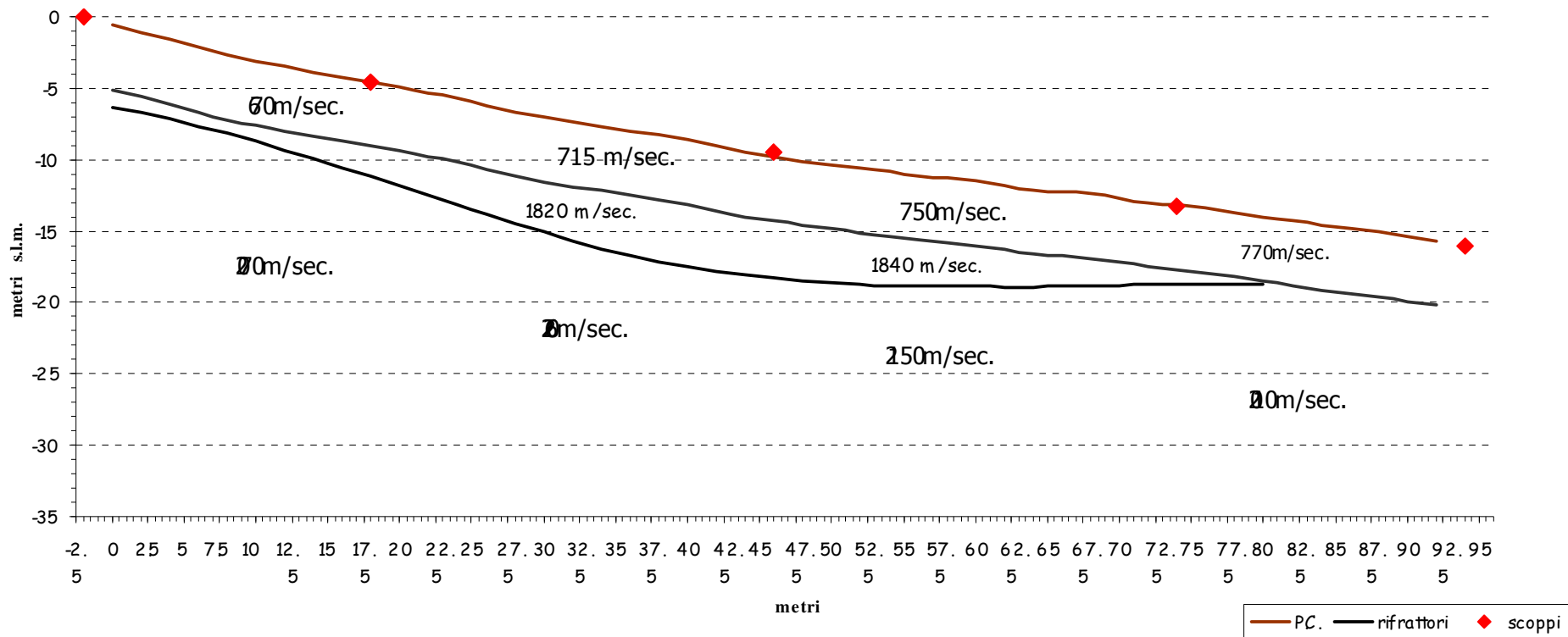
### Tomografia sismica ST1 onde P







## LINEA SISMICA ST01 SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA: ONDE P



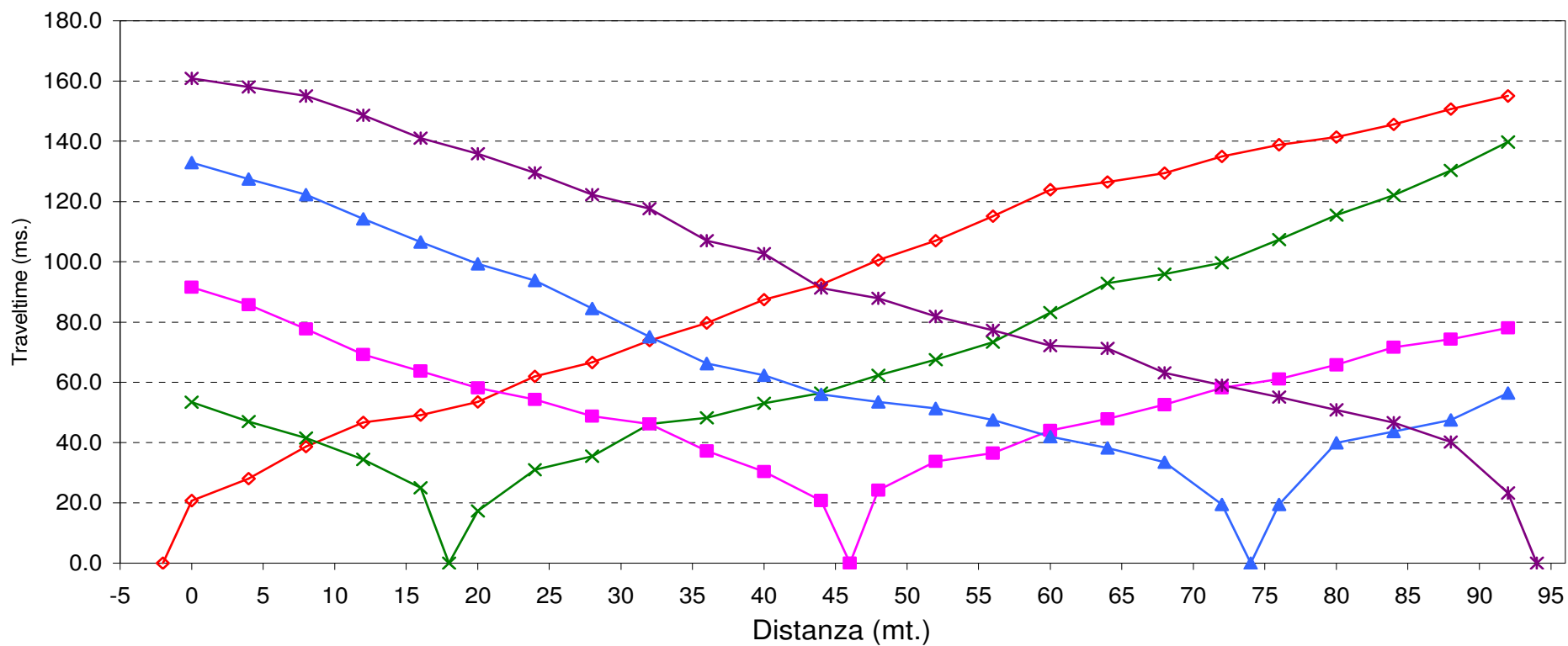
**Tabella velocità e spessori Onde P Linea ST01**

Distanza	Quota	V1	Profondità 1	V2	Profondità 2	V3
dal geof.1		m/sec	m.	m/sec	m.	m/sec
0	-0.6	655	4.5	1816	5.72	1982
2	-1.1	658	4.5	1816	5.63	1985
4	-1.6	661	4.5	1816	5.57	1990
6	-2.2	663	4.5	1816	5.50	1992
8	-2.7	664	4.5	1816	5.47	1999
10	-3.1	667	4.5	1816	5.63	2027
12	-3.5	670	4.5	1816	5.81	2062
14	-3.9	672	4.5	1816	6.07	2098
16	-4.2	675	4.5	1816	6.35	2129
18	-4.6	678	4.5	1816	6.65	2159
20	-4.9	682	4.5	1816	6.97	2185
22	-5.3	686	4.5	1816	7.23	2206
24	-5.7	691	4.5	1816	7.48	2222
26	-6.2	697	4.5	1816	7.64	2233
28	-6.7	703	4.5	1816	7.78	2241
30	-7.1	708	4.5	1816	8.05	2249
32	-7.4	714	4.5	1816	8.30	2257
34	-7.7	718	4.5	1818	8.56	2264
36	-8.0	722	4.5	1821	8.75	2269
38	-8.3	726	4.5	1823	8.87	2275
40	-8.6	730	4.5	1826	8.94	2283
42	-9.1	732	4.5	1828	8.79	2288
44	-9.5	733	4.5	1831	8.61	2289
46	-9.8	735	4.5	1833	8.52	2290
48	-10.1	738	4.5	1836	8.39	2290
50	-10.4	740	4.5	1838	8.27	2278
52	-10.6	742	4.5	1841	8.12	2247
54	-10.9	744	4.5	1843	7.95	2213
56	-11.1	745	4.5	1843	7.74	2179
58	-11.3	750	4.5	1843	7.57	2149
60	-11.5	754	4.5	1843	7.39	2120
62	-11.8	756	4.5	1843	7.10	2096
64	-12.1	758	4.5	1843	6.80	2076
66	-12.3	759	4.5	1843	6.64	2061
68	-12.4	760	4.5	1843	6.46	2050
70	-12.7	762	4.5	1843	6.11	2040
72	-13.0	763	4.5	1843	5.77	2030
74	-13.2	764	4.5	1843	5.53	2020
76	-13.4	765	4.5	1843	5.31	2010
78	-13.7	766	4.5	1843	5.00	2001
80	-14.0	766	4.5	1843	4.71	1992
82	-14.3	768	4.5	1843		
84	-14.6	769	4.5	1843		
86	-14.9	772	4.5	1843		
88	-15.1	775	4.5	1843		
90	-15.4	776	4.5	1843		
92	-15.7	777	4.5	1843		



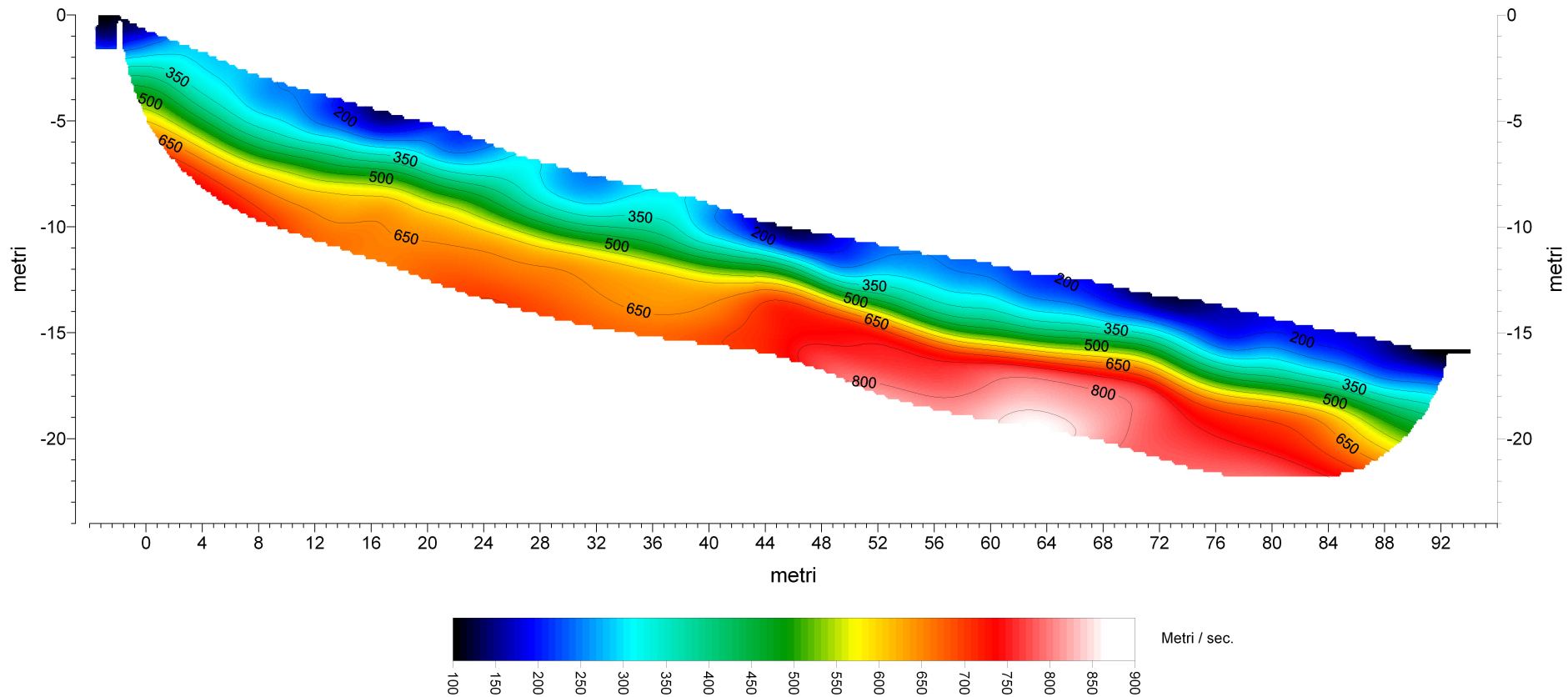
### LINEA ST 1 - DROMOCRONE ONDE SH

—◇— Tiro 1 —×— Tiro 2 —■— Tiro 3 —▲— Tiro 4 —\*— Tiro 5



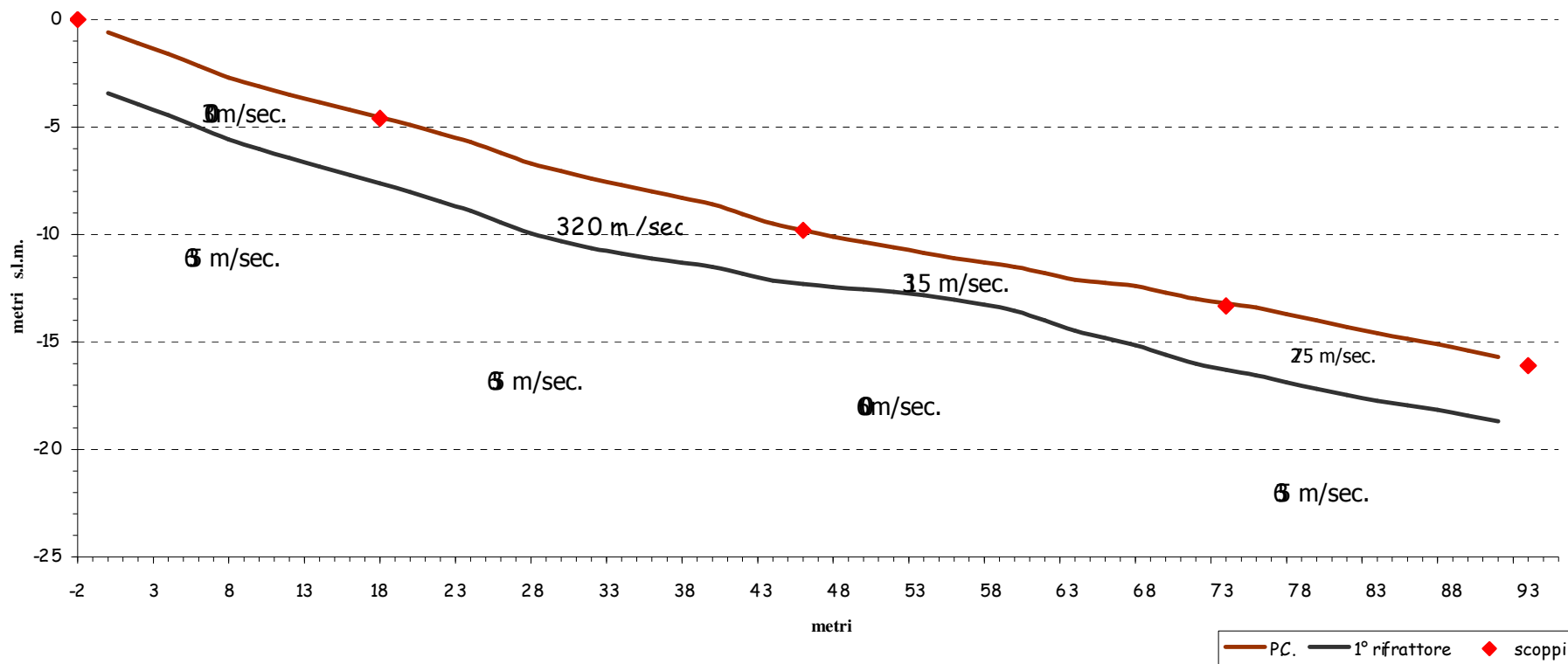


### Tomografia sismica ST1 onde SH





## LINEA SISMICA ST01 SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA: ONDE SH



**Tabella velocità e spessori Onde SH Linea ST01**

Distanza dal geof.1	Quota	V1 m/sec	Profondità 1 m.	V2 m/sec	Profondità 2 m.	V3 m/sec
0	-0.6	300	2.8	629		
2	-1.1	300	2.8	629		
4	-1.6	300	2.9	629		
6	-2.2	300	2.9	630		
8	-2.7	300	2.9	630		
10	-3.1	300	2.9	631		
12	-3.5	299	2.9	632		
14	-3.9	299	3.0	634		
16	-4.2	299	3.0	636		
18	-4.6	300	3.1	639		
20	-4.9	301	3.1	641		
22	-5.3	303	3.2	642		
24	-5.7	305	3.2	643		
26	-6.2	307	3.2	645		
28	-6.7	310	3.3	647		
30	-7.1	313	3.3	649		
32	-7.4	316	3.2	647		
34	-7.7	320	3.2	643		
36	-8.0	324	3.1	638		
38	-8.3	323	3.0	634		
40	-8.6	321	2.9	628		
42	-9.1	323	2.8	619		
44	-9.5	324	2.6	613		
46	-9.8	326	2.5	609		
48	-10.1	328	2.3	603		
50	-10.4	328	2.2	599		
52	-10.6	327	2.1	591		
54	-10.9	324	2.0	586		
56	-11.1	322	1.9	584		
58	-11.3	319	2.0	582		
60	-11.5	316	2.1	586		
62	-11.8	315	2.2	593		
64	-12.1	313	2.4	599		
66	-12.3	305	2.6	607		
68	-12.4	298	2.8	616		
70	-12.7	292	2.9	623		
72	-13.0	286	3.0	629		
74	-13.2	282	3.1	632		
76	-13.4	277	3.2	636		
78	-13.7	275	3.2	638		
80	-14.0	272	3.2	639		
82	-14.3	271	3.2	639		
84	-14.6	271	3.1	637		
86	-14.9	271	3.1	635		
88	-15.1	272	3.1	633		
90	-15.4	273	3.0	631		
92	-15.7	273	3.0	628		



**LINEA ST 2**  
**INDAGINE DI TOMOGRAFIA SISMICA**  
**ONDE P E SH**

**SCHEMA DETTAGLIATO DELLA LINEA DI ACQUISIZIONE**

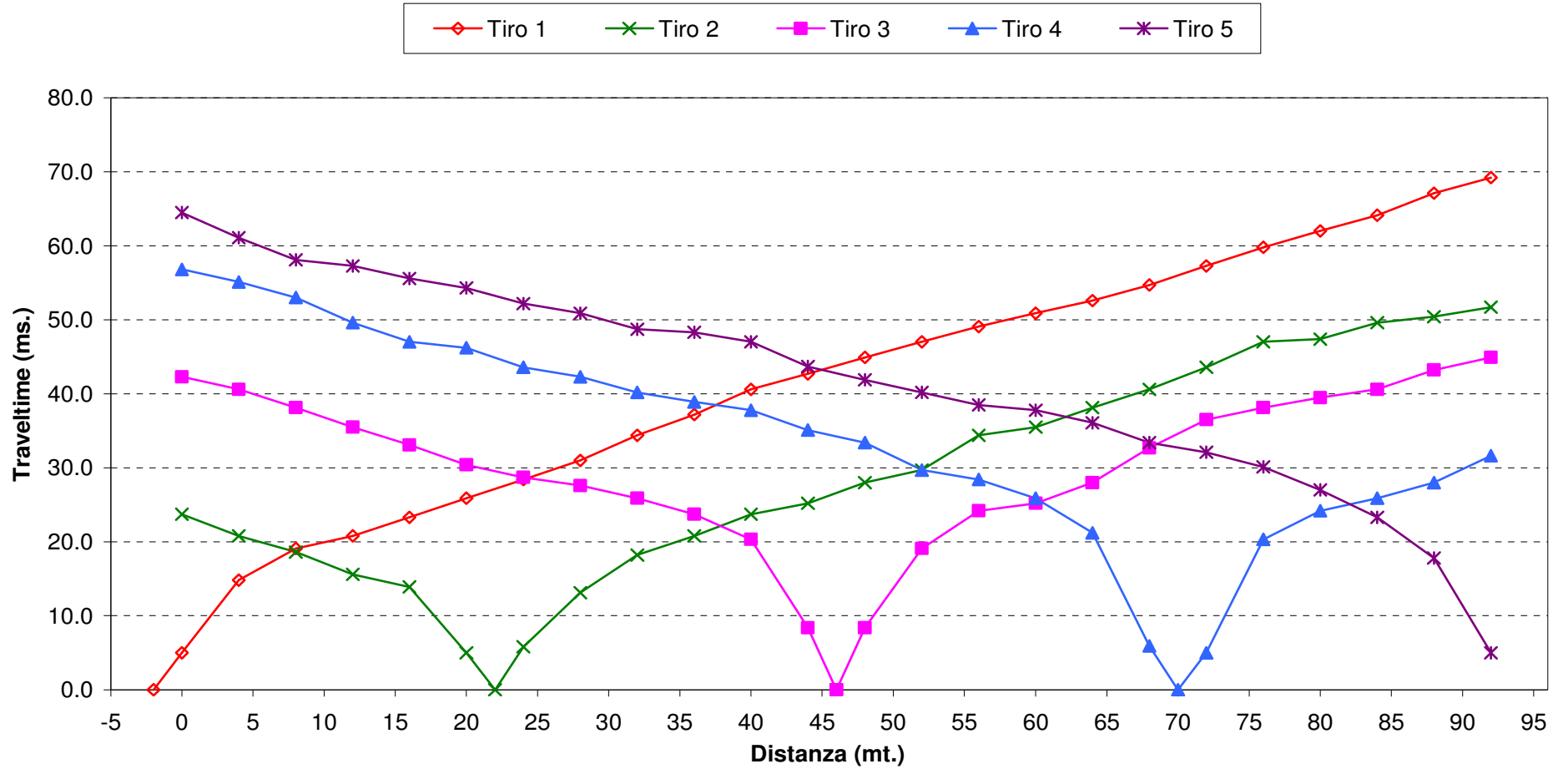
<b>Geofoni n.</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<b>Distanza progressiva (m)</b>	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92
<b>Distanza parziale (m)</b>	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
<b>Dislivello da S1 ( m.)</b>	-1.1	-2.0	-3.3	-4.2	-4.9	-5.8	-6.6	-7.1	-7.7	-8.1	-9.0	-9.8	-10.5	-11.1	-11.7	-12.3	-12.9	-13.6	-14.2	-14.8	-15.3	-15.7	-16.1	-16.7

**PUNTI DI ENERGIZZAZIONE**

	<b>SCOPPIO 1</b>	<b>SCOPPIO 2</b>	<b>SCOPPIO 3</b>	<b>SCOPPIO 4</b>	<b>SCOPPIO 5</b>
<b>POSIZ. DAL GEOF. N 1 (m)</b>	-2.0	22.0	46.0	70.0	94.0
<b>DISLIVELLO RISPETTO A S1 (m)</b>	0	-5.3	-10.1	-13.9	-17



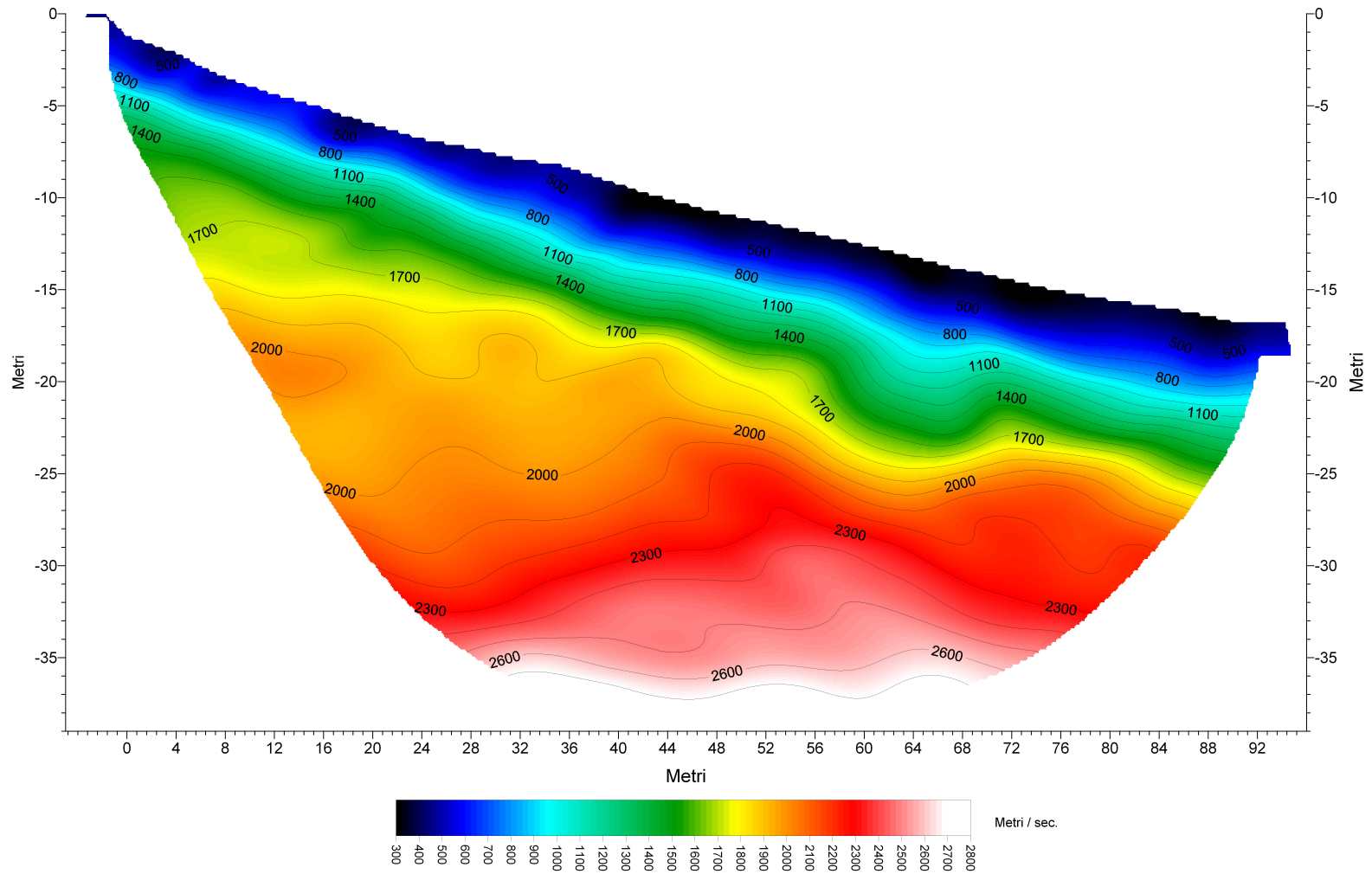
## LINEA ST 2 - DROMOCRONE ONDE P





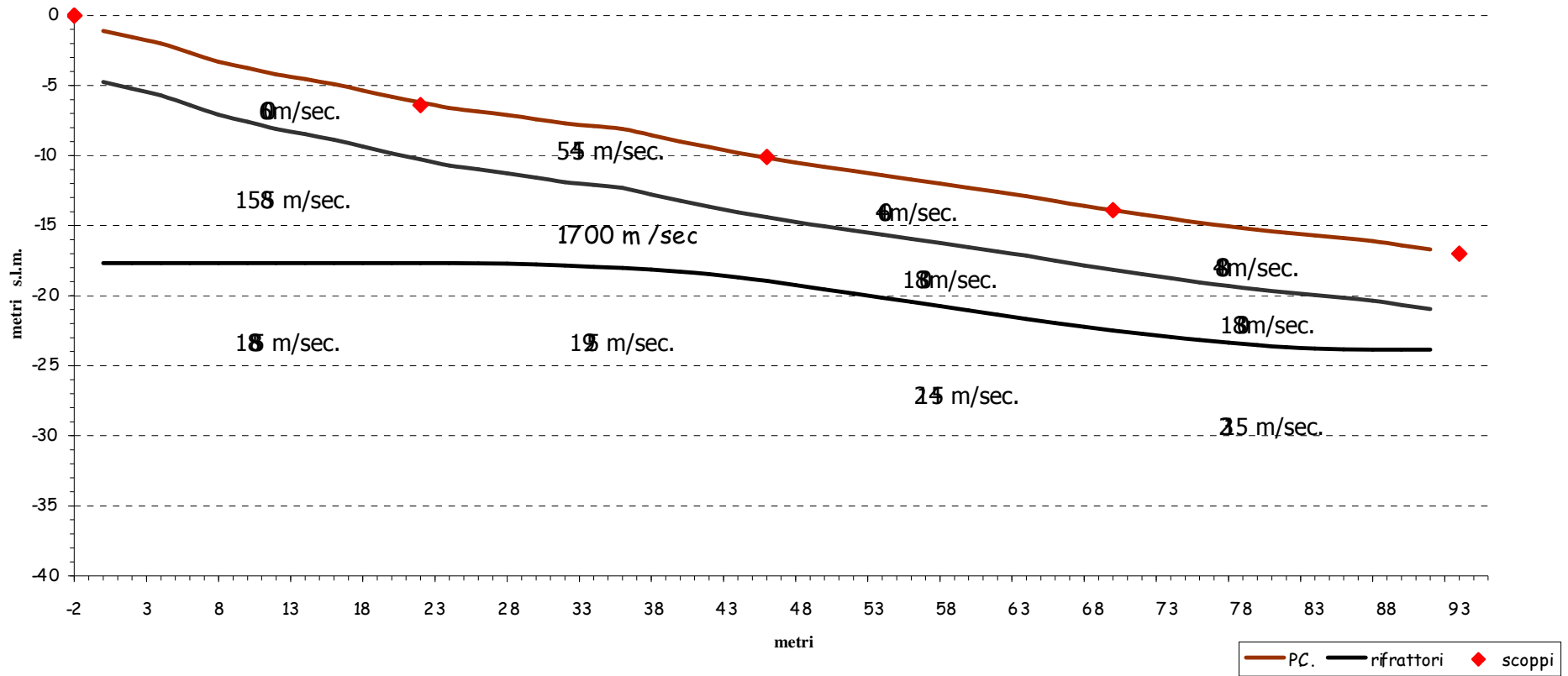


### Tomografia sismica ST2 onde P





## LINEA SISMICA ST02 SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA: ONDE P

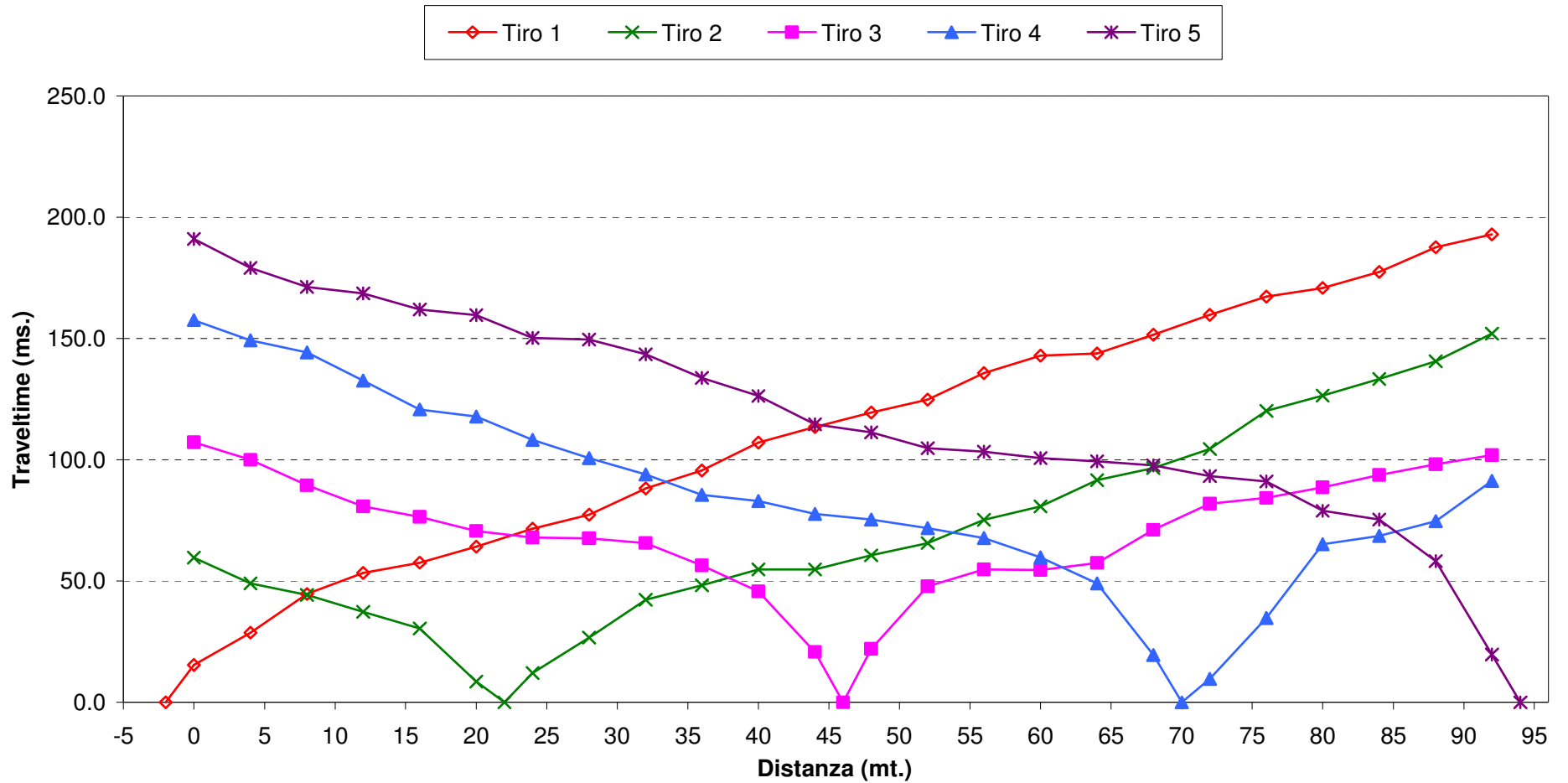


**Tabella velocità e spessori Onde P Linea ST02**

Distanza dal geof.1	Quota	V1 m/sec	Profondità 1 m.	V2 m/sec	Profondità 2 m.	V3 m/sec
0	-1.1	575	3.6	1580	16.57	1886
2	-1.6	582	3.7	1579	16.12	1886
4	-2.0	589	3.7	1579	15.67	1886
6	-2.7	596	3.8	1580	15.02	1886
8	-3.3	602	3.8	1581	14.37	1886
10	-3.8	607	3.8	1581	13.92	1886
12	-4.2	612	3.9	1582	13.47	1886
14	-4.6	614	3.9	1583	13.12	1886
16	-4.9	617	4.0	1584	12.77	1886
18	-5.4	617	4.0	1588	12.32	1886
20	-5.8	616	4.0	1592	11.87	1886
22	-6.2	609	4.1	1598	11.47	1886
24	-6.6	602	4.1	1604	11.07	1886
26	-6.9	591	4.1	1612	10.84	1884
28	-7.1	580	4.2	1623	10.62	1892
30	-7.4	570	4.2	1638	10.38	1897
32	-7.7	559	4.2	1661	10.15	1900
34	-7.9	548	4.2	1685	10.03	1914
36	-8.1	537	4.2	1709	9.93	1929
38	-8.6	524	4.2	1731	9.59	1934
40	-9.0	512	4.2	1750	9.28	1945
42	-9.4	502	4.3	1770	9.06	1955
44	-9.8	492	4.3	1787	8.89	1977
46	-10.2	484	4.3	1804	8.80	2005
48	-10.5	477	4.3	1817	8.75	2028
50	-10.8	471	4.3	1826	8.75	2049
52	-11.1	465	4.3	1830	8.75	2071
54	-11.4	460	4.3	1830	8.75	2092
56	-11.7	455	4.3	1830	8.75	2114
58	-12.0	451	4.3	1830	8.75	2135
60	-12.3	448	4.3	1830	8.75	2157
62	-12.6	453	4.3	1830	8.76	2178
64	-12.9	458	4.3	1830	8.76	2200
66	-13.3	457	4.3	1830	8.70	2222
68	-13.6	456	4.3	1830	8.63	2242
70	-13.9	456	4.3	1830	8.58	2255
72	-14.2	457	4.3	1830	8.52	2274
74	-14.5	466	4.3	1830	8.45	2289
76	-14.8	475	4.3	1830	8.36	2293
78	-15.1	479	4.3	1830	8.30	2304
80	-15.3	483	4.3	1830	8.23	2321
82	-15.5	480	4.3	1830	8.18	2329
84	-15.7	477	4.3	1830	8.07	2337
86	-15.9	481	4.3	1830	7.93	2332
88	-16.1	485	4.3	1830	7.75	2327
90	-16.4	488	4.3	1830	7.45	2327
92	-16.7	490	4.3	1830	7.15	2327

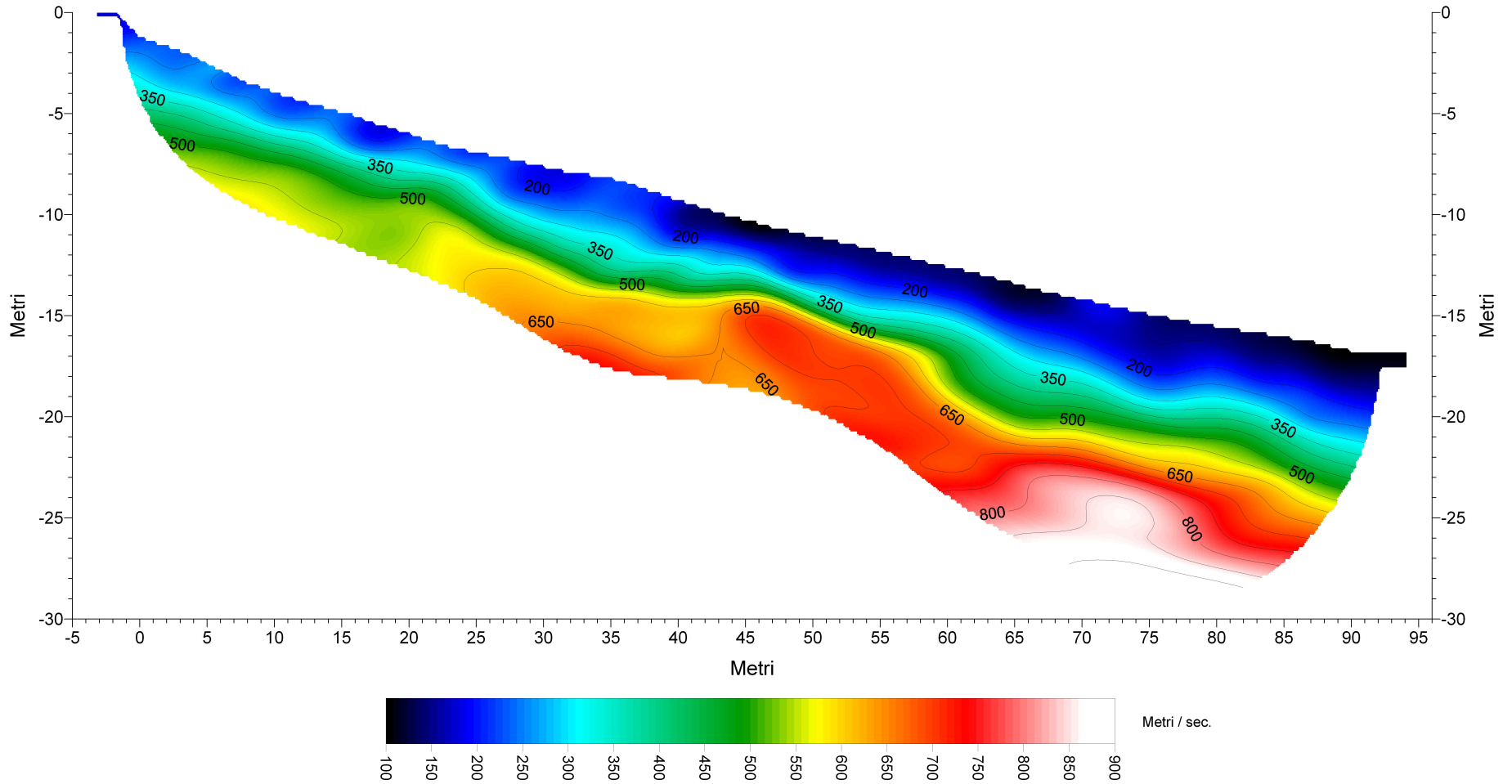


## LINEA ST 2 - DROMOCRONE ONDE SH



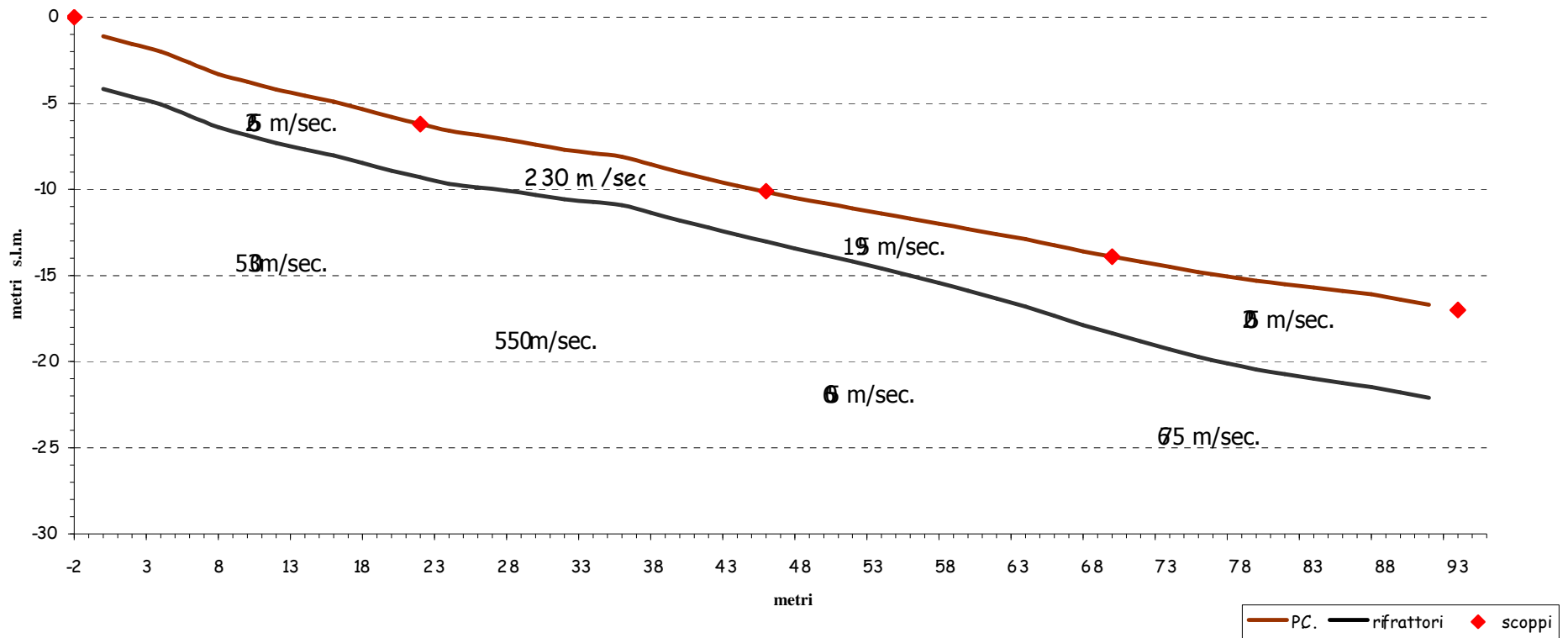


### Tomografia sismica ST2 onde SH





## LINEA SISMICA ST02 SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA: ONDE SH



**Tabella velocità e spessori Onde SH Linea ST02**

Distanza dal geof.1	Quota	V1 m/sec	Profondità 1 m.	V2 m/sec	Profondità 2 m.	V3 m/sec
0	-1.1	258	3.1	531		
2	-1.6	260	3.1	528		
4	-2.0	262	3.1	526		
6	-2.7	264	3.1	523		
8	-3.3	266	3.1	521		
10	-3.8	266	3.1	520		
12	-4.2	267	3.1	524		
14	-4.6	266	3.1	527		
16	-4.9	266	3.1	531		
18	-5.4	264	3.1	535		
20	-5.8	263	3.1	538		
22	-6.2	259	3.1	540		
24	-6.6	255	3.1	542		
26	-6.9	249	3.0	544		
28	-7.1	244	3.0	546		
30	-7.4	239	2.9	548		
32	-7.7	234	2.9	550		
34	-7.9	229	2.8	550		
36	-8.1	225	2.8	551		
38	-8.6	220	2.8	552		
40	-9.0	215	2.8	554		
42	-9.4	211	2.8	556		
44	-9.8	207	2.8	559		
46	-10.2	204	2.9	562		
48	-10.5	201	2.9	567		
50	-10.8	199	3.0	572		
52	-11.1	196	3.1	578		
54	-11.4	194	3.2	583		
56	-11.7	192	3.3	588		
58	-12.0	191	3.4	596		
60	-12.3	190	3.6	604		
62	-12.6	191	3.8	611		
64	-12.9	192	3.9	620		
66	-13.3	193	4.1	630		
68	-13.6	193	4.3	640		
70	-13.9	195	4.5	648		
72	-14.2	196	4.6	655		
74	-14.5	198	4.8	663		
76	-14.8	200	4.9	670		
78	-15.1	203	5.1	675		
80	-15.3	205	5.2	677		
82	-15.5	205	5.2	679		
84	-15.7	205	5.3	680		
86	-15.9	206	5.4	680		
88	-16.1	206	5.4	679		
90	-16.4	207	5.4	678		
92	-16.7	208	5.4	677		

# **INDAGINE GEOFISICA DI SISMICA A RIFRAZIONE**

**Committente: Dott. Geol. Massimo Melani  
per Società Marno**

**Comune di Rosignano Marittimo**

**Poggibonsi 3/07/2009**



## **Relazione Tecnica**

### **1 - Premessa**

In data 12/06/2009 su incarico del Dott. Geol. Massimo Melani e per conto della società Marno, è stata eseguita un'indagine Geofisica di Sismica a Rifrazione in località Castelnuovo della Misericordia nel Comune di Rosignano Marittimo per la realizzazione di alcuni fabbricati.

L'obiettivo è stato determinare l'andamento delle velocità delle onde sismiche, desumendo il grado di consistenza dei terreni costituenti il sito in esame e possibilmente individuare eventuali superfici di separazione tra "materiale" con diverse caratteristiche fisico-meccaniche. Inoltre è stata determinata la velocità media delle onde S nei primi trenta metri.

A tale scopo sono stati eseguiti tre stendimenti di sismica a rifrazione, ubicate secondo lo schema presente in allegato.

### **2 - Metodologia di esecuzione delle indagini**

La linee sismiche, sono state realizzate con un gruppo di 24 geofoni spaziate tra loro di 4 m. per le linee ST01 e ST02, mentre la linea ST03 è stata acquisita con spaziatura di 3 m. Questa spaziatura geofonica ha permesso di realizzare linee da 96 e 72 metri ed indagare in profondità per circa 30 metri con risoluzioni elevate. Le linee di sismica ST01 e ST03 sono state acquisite in onde P ed SH mentre ST02 solo in onde P.

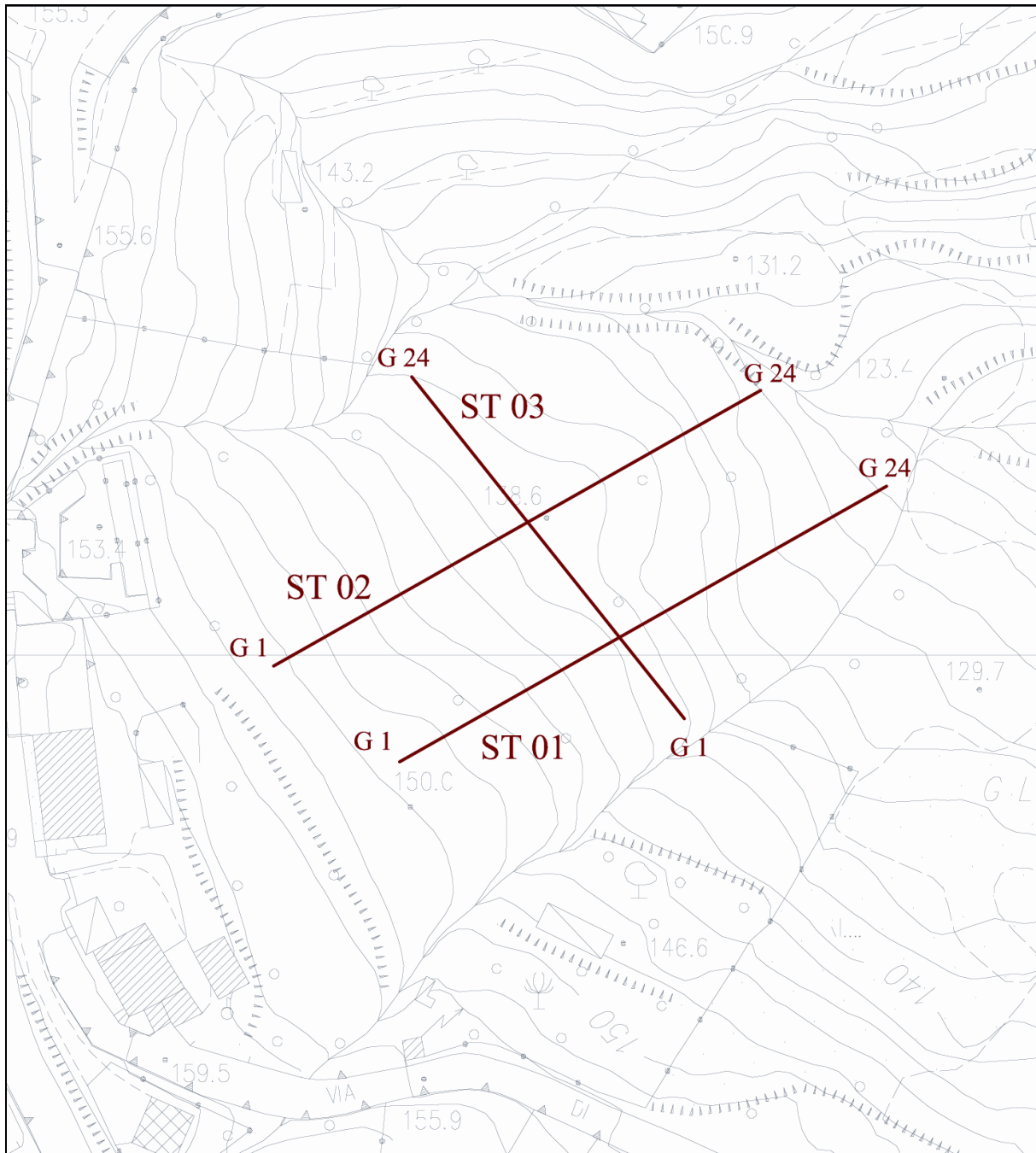
### **3 - Caratteristiche delle apparecchiature e principi generali dell'indagine**

#### **Modalità esecutive della prova.**

L'indagine sismica consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in prossimità del sito da investigare, sollecitazioni dinamiche verticali per la generazione di onde di volume (P) ed orizzontali per la generazione di onde di taglio (SH) e nel registrare le oscillazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate mediante sensori a componente verticale e orizzontale.

L'interpretazione dei segnali rilevati e la conseguente stima del profilo di velocità delle onde sismiche, può scomporsi nelle seguenti fasi fondamentali.

- a) individuazione del primo arrivo sui sismogrammi registrati;
- b) ricostruzione delle relative dromocrone;
- c) interpretazione delle dromocrone con conseguente ricostruzione delle geometrie del sottosuolo ;



**UBICAZIONE INDAGINI**

**SCALA 1:1000**

#### APPARECCHIATURA USATA E SCHEMA DELLA PROVA.

L'apparecchiatura utilizzata si compone delle seguenti parti:

- Sistema sorgente;
- Sistema di ricezione;
- Sistema di acquisizione dati;
- Trigger.

#### Sorgente onde P:

La sorgente deve essere in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili, con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione, es. grave in caduta libera (massa da 110 kg), in alternativa è possibile utilizzare un cannoncino a cartucce industriali o una mazza di 8 kg adoperata per colpire una piastra di alluminio appoggiata sul terreno.

#### Sorgente onde SH:

La sorgente deve essere in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali, cioè con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di taglio polarizzate sul piano orizzontale.

Tale sorgente è costituita da un parallelepipedo di forma tale da poter essere colpita lateralmente ad entrambe le estremità con una massa pesante. È importante che il parallelepipedo venga gravato di un carico statico addizionale in modo che possa rimanere aderente al terreno sia al momento in cui viene colpito sia successivamente, affinché l'energia prodotta non venga in parte dispersa. Con questo dispositivo è possibile generare essenzialmente delle onde elastiche di taglio polarizzate orizzontalmente, con uniformità sia nella direzione di propagazione che nella polarizzazione e con una generazione di onde P trascurabile.

L'accoppiamento parallelepipedo-terreno è fatto per "contatto" e non per "infissione".

I profili sismici a rifrazione sono realizzati energizzando ad intervalli regolari lungo stendimenti di sensori detti geofoni: ciascuno stendimento multicanale viene denominato base sismica.

I tiri esterni sono disposti in modo da ottenere un compromesso tra la necessità di avere due dromocrone (tempi di arrivo ai vari geofoni) corrispondenti all'orizzonte rifratore più profondo, lo spazio disponibile, e la necessità di avere degli arrivi chiaramente leggibili, poiché l'attenuazione degli impulsi con la distanza è abbastanza pronunciata.

#### Sistema di ricezione:

Il sistema di ricezione è costituito da 24 geofoni a componente verticale per le onde P, con frequenza propria di circa 14 Hz e da 24 geofoni a componente orizzontale per le onde SH, con frequenza propria di circa 10 Hz. Per acquisizione i geofoni sono accoppiati al terreno e posizionati verticalmente tramite il puntale di cui sono dotati.

#### Sistema di acquisizione dati:

Le registrazioni sono state acquisite mediante un sismografo digitale con 24 canali a 16 bit, si tratta di un sistema multicanale in grado di registrare su ciascun canale in modo digitale i segnali provenienti da ogni trasduttore di velocità (geofoni) a cui è collegato e conservarli su memoria di massa dinamica. Le forme d'onda acquisite sono visualizzabili come tracce a partire dall'impulso inviato dal trigger nel computer portatile ad esso collegato e salvabili in forma numerica in modo definitivo.

#### Trigger:

Il trigger consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave o la mazza colpisce la base di battuta, consentendo 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'istante in cui la sorgente viene attivata e parte la sollecitazione dinamica.

#### **Interpretazione dei profili sismici**

I tempi di arrivo delle onde letti in corrispondenza di ciascun geofono hanno permesso di ricostruire i diagrammi spazio-tempo, detti dromocrone. Interpretazione delle dromocrone fatta attraverso il software Rayfract, ha permesso di definire un modello della stratigrafia del terreno basato sulle variazioni della velocità delle onde di taglio, inoltre con l'analisi del gradiente di velocità effettuata sulla sezione tomografica, è stato possibile evidenziare i principali passaggi stratigrafici e/o di consistenza.

## **Risultati:**

L'indagine geofisica di sismica a rifrazione svolta per conto del Dott. Geol. Massimo Melani, in località Castelnuovo della Misericordia, nel Comune di Rosignano Marittimo, ha permesso di caratterizzare dinamicamente le unità litologiche presenti nell'area, tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di volume ( $V_p$ ) e di taglio ( $V_s$ ), e la determinazione della geometria nel sottosuolo (spessori e superfici di contatto).

I dati acquisiti sono stati elaborati in tecnica tomografica, utilizzando il software Rayfract.

In particolare per il profilo **ST1** che ha raggiunto la profondità di circa 30 m., le elaborazioni hanno messo in evidenza una distribuzione delle velocità delle onde sismiche schematizzabile secondo due sismostrati. Dalle sezioni tomografiche sia in onde P che SH, si osserva un livello superficiale con velocità medie di circa  $V_p$  500 m/s e  $V_s$  275 m/s, corrispondente alla coltre di areato superficiale e materiali alterati e un rifrattore che segna il passaggio allo strato più profondo con velocità media di  $V_p$  2200 m/s e  $V_s$  595 m/s, dove le velocità continuano ad aumentare con la profondità e il gradiente è abbastanza omogeneo, corrispondente probabilmente ai materiali compatti del substrato.

Per il profilo **ST2** che ha raggiunto la profondità di circa 25 m., l'elaborazione ha messo in evidenza una distribuzione delle velocità delle onde sismiche schematizzabile secondo due sismostrati. Dalle sezione tomografica in onde P, si osserva un livello superficiale con velocità medie di circa  $V_p$  575 m/s, corrispondente alla coltre di areato superficiale e materiali alterati e un rifrattore che segna il passaggio allo strato più profondo con velocità media di  $V_p$  2530 m/s, dove le velocità continuano ad aumentare con la profondità e il gradiente è abbastanza omogeneo, corrispondente probabilmente ai materiali compatti del substrato.

Anche per il profilo **ST3** che ha raggiunto la profondità di circa 25 m., le elaborazioni hanno messo in evidenza una distribuzione delle velocità delle onde sismiche schematizzabile secondo due sismostrati. Dalle sezioni tomografiche sia in onde P che SH, si osserva un livello superficiale con velocità medie di circa  $V_p$  510 m/s e  $V_s$  215 m/s, corrispondente alla coltre di areato superficiale e materiali alterati e un rifrattore che segna il passaggio allo strato più profondo con velocità media di  $V_p$  2230 m/s e  $V_s$  630 m/s, dove le velocità continuano ad aumentare con la profondità e il gradiente è abbastanza omogeneo, corrispondente probabilmente ai materiali compatti del substrato.

Le sezioni del gradiente di velocità confermano e danno risalto allo schema sopra descritto.

Inoltre, sulla linea ST01 e ST03, in corrispondenza della zona evidenziata dal tratteggio utilizzando i dati delle elaborazioni tomografiche, è stata calcolata la  $V_{S/30}$ , (velocità media onde di taglio nei 30 m. più superficiali) che è risultata pari a **700** m/s.

Con tale parametro, a scopo indicativo, possiamo classificare il terreno di fondazione in CATEGORIA B ( $360 \text{ m/s} < \underline{V_{S/30}} < 800 \text{ m/s}$ ) secondo il D.M. 14/09/2005 (Norme tecniche per le costruzioni).

Da notare che la sezione tomografica ST03 in onde SH mostra una marcata eterogeneità laterale con un aumento degli spessori dei materiali più lenti su un substrato notevolmente più veloce. ( Lato destro della sezione, ovvero lato Nord-Ovest.)

Questo aspetto potrebbe far ricadere il terreno di fondazione in CATEGORIA E . Anche la parte Sud-Ovest e Nord-Est della Sezione ST01 SH mostra un fenomeno analogo.

Il Tecnico:  
**GeoEcho s.n.c.**

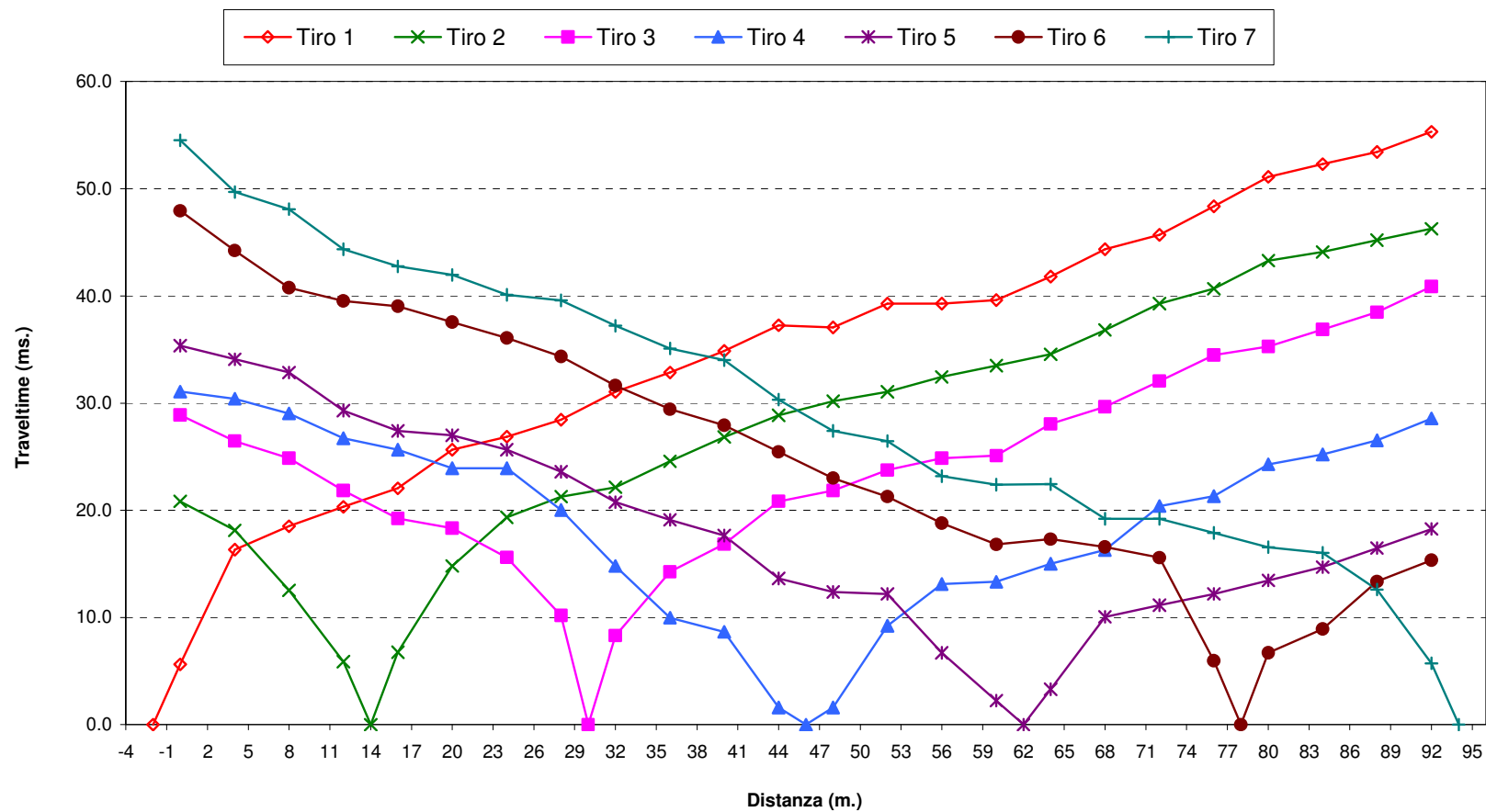
**INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE ST1 ONDE P ED SH  
SCHEMA DETTAGLIATO DELLA LINEA DI ACQUISIZIONE**

Geofoni n.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Distanza progressiva (m)	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92
Distanza parziale (m)	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Quote geof. (m)	150.0	148.5	148.0	147.0	146.0	145.0	144.0	142.7	141.8	141.0	140.0	138.6	137.0	135.6	134.4	133.3	132.0	131.0	129.8	129.2	128.4	127.5	126.6	125.8

**PUNTI DI ENERGIZZAZIONE ONDE P ED SH**

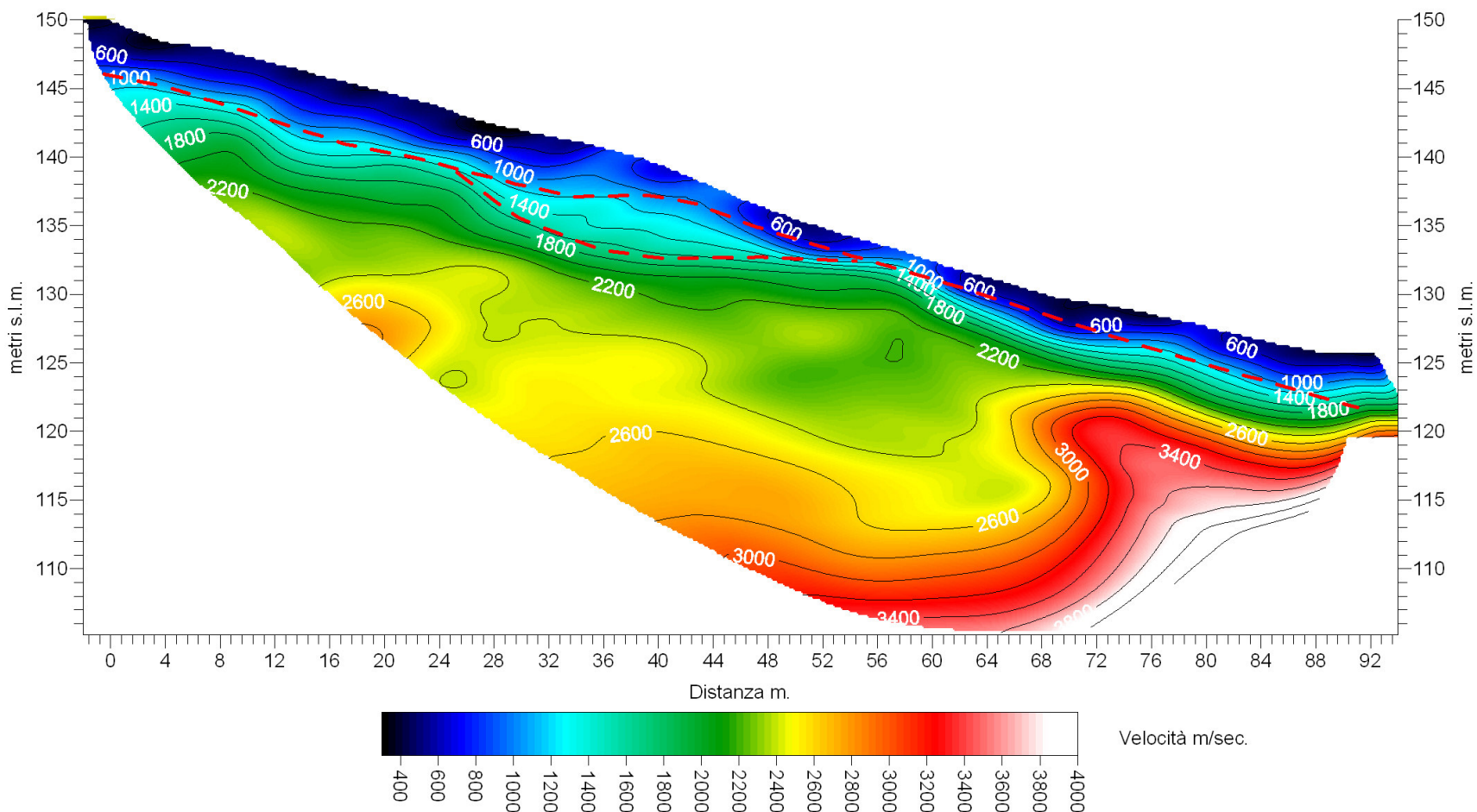
	SCOPPIO 1	SCOPPIO 2	SCOPPIO 3	SCOPPIO 4	SCOPPIO 5	SCOPPIO 6	SCOPPIO 7
POSIZ. DAL GEOF. N 1 (m)	-20	140	300	460	620	780	940
QUOTA (m s.l.m.)	150.0	146.5	142.3	137.8	132.7	128.8	125.8

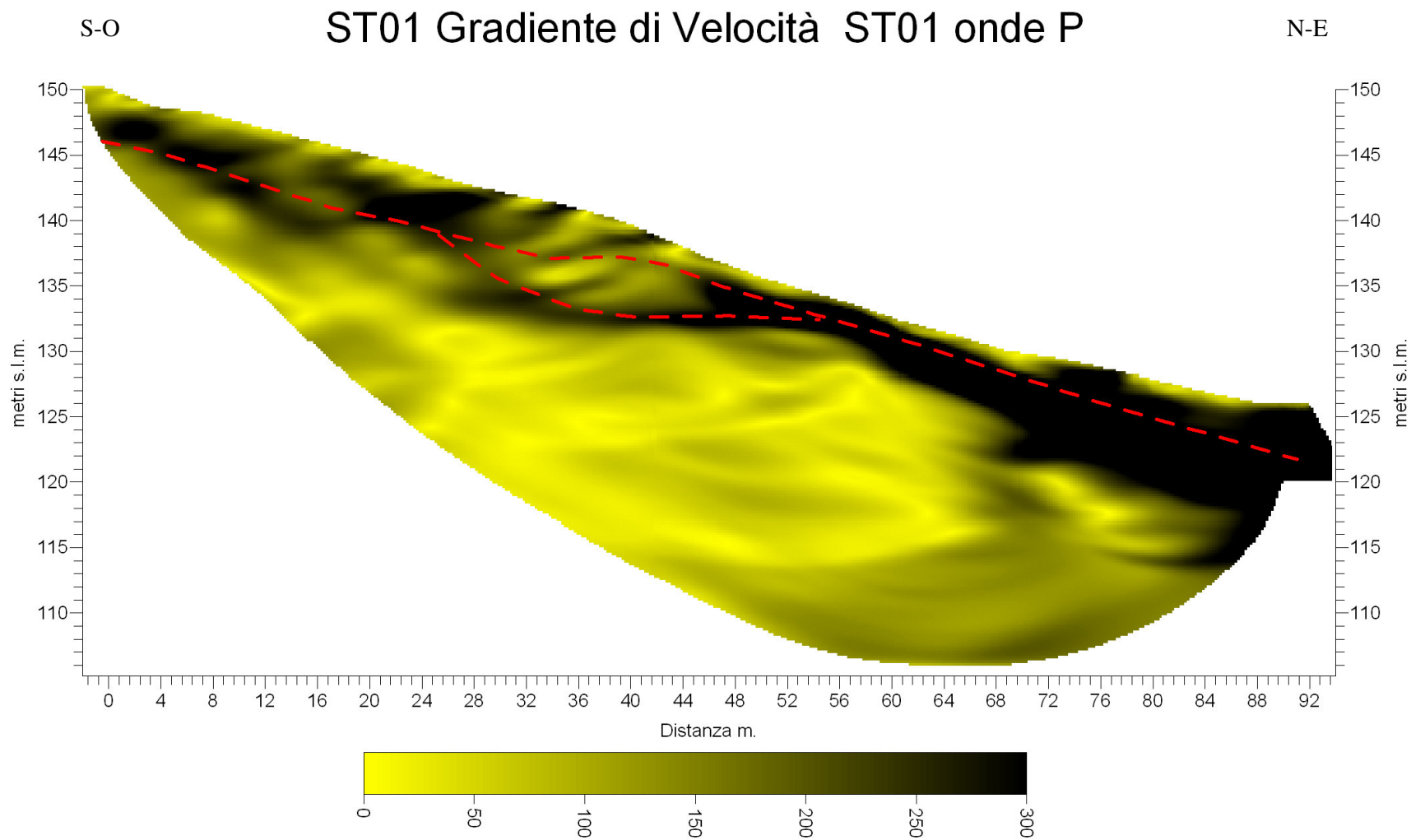
### DROMOCRONE ST01 ONDE P





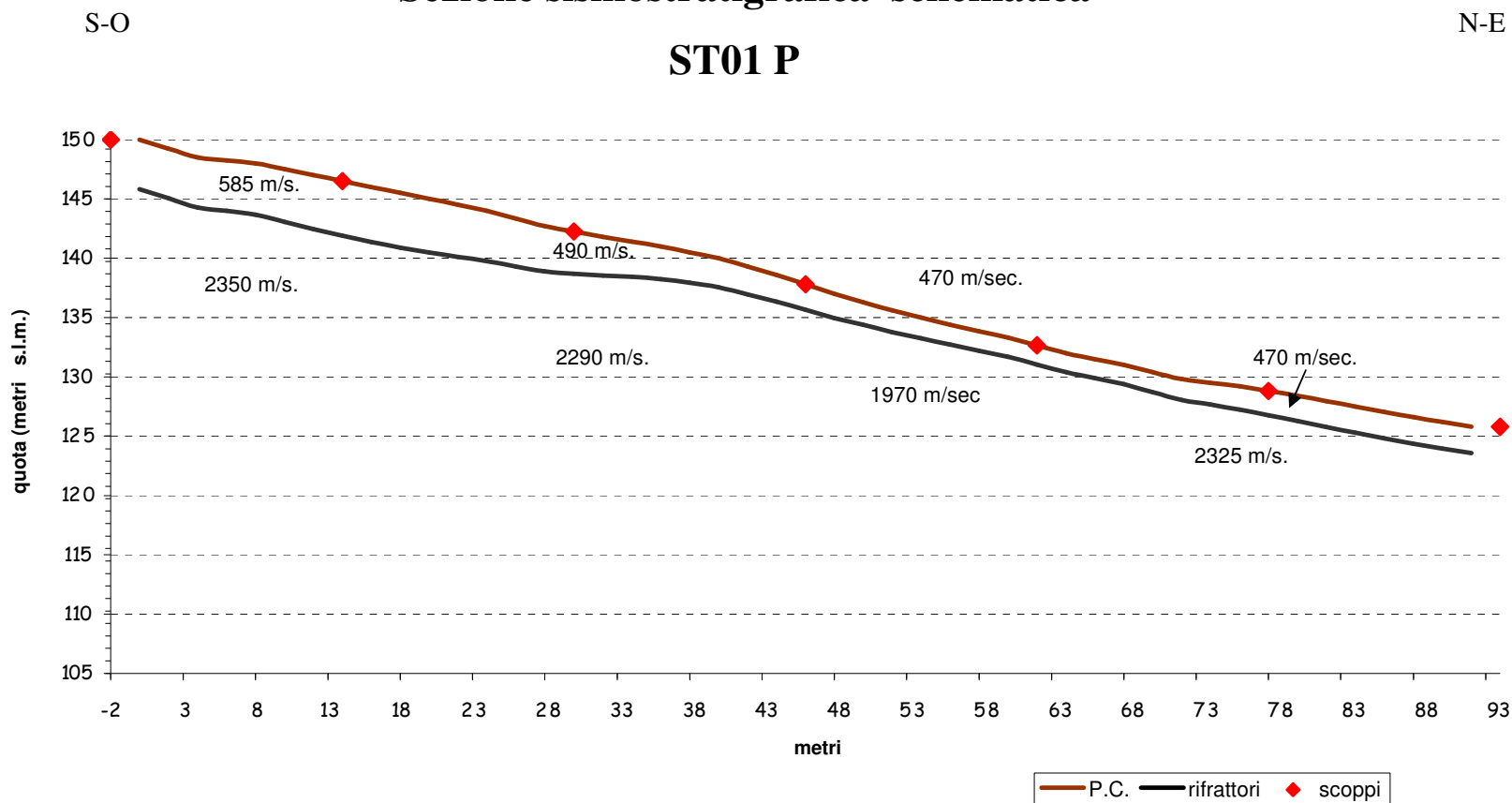
# ST01 Tomografia Sismica onde P





## Sezione sismostratigrafica schematica

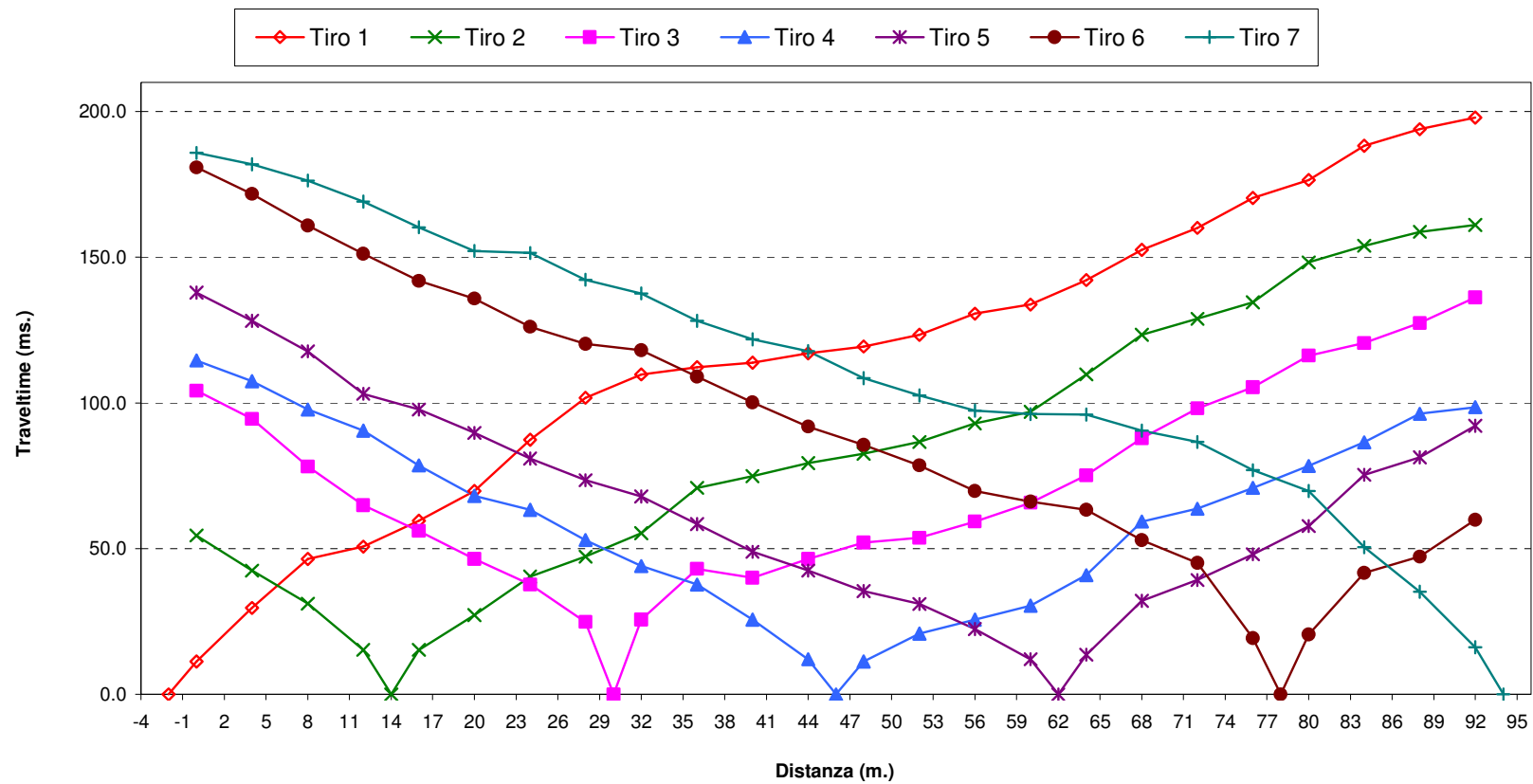
### ST01 P



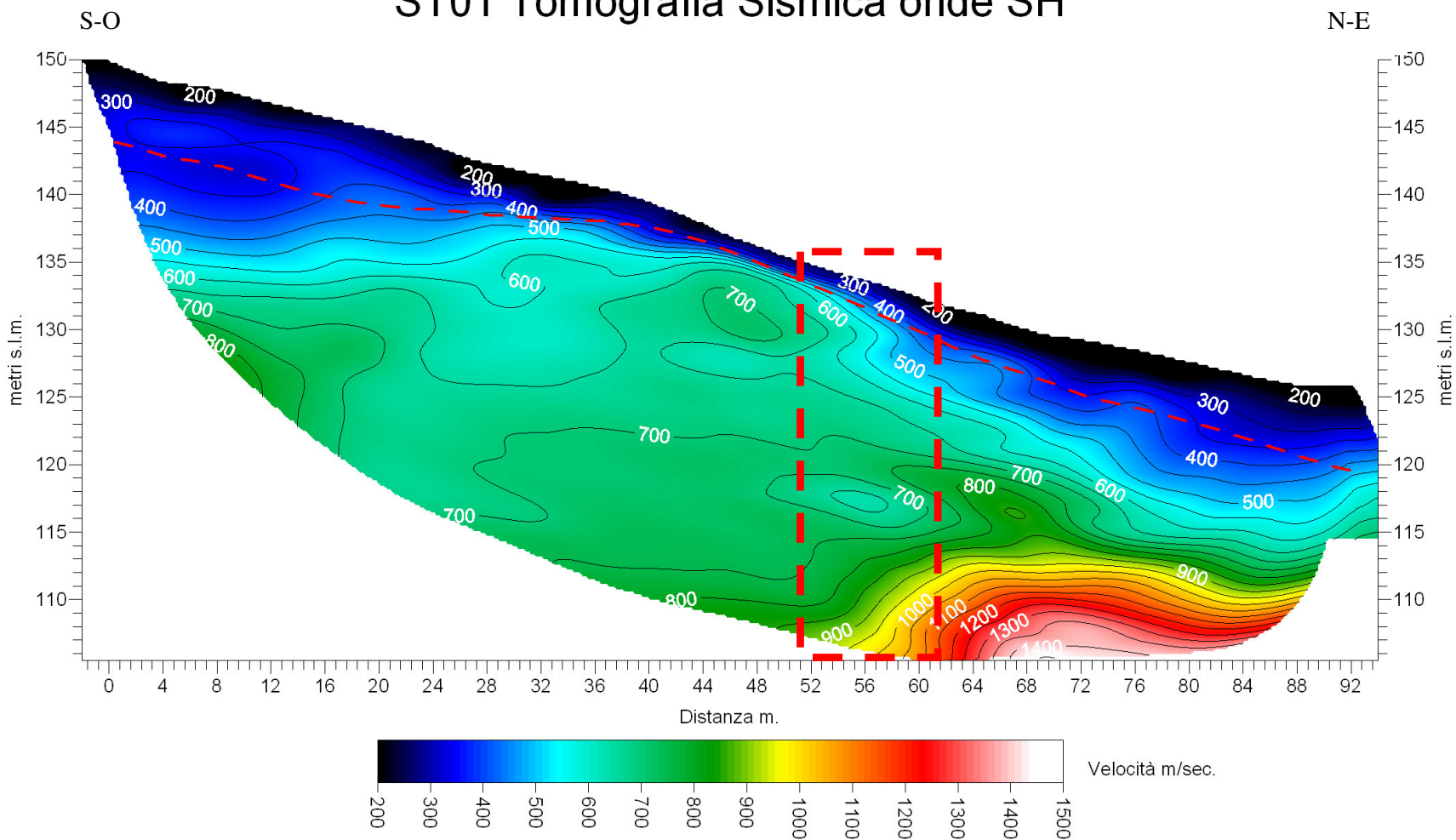
ST 01 - TABELLA VELOCITA' E SPESSORI ONDE P

Distanza dal geof. 1	Quota (metri s.l.m.)	V1 vel. 1° strato (metri/sec)	profondità rifrattore 1	V2 vel. rifrattore 1 (metri/sec)
0	150.0	585	4.2	2224
2	149.3	586	4.2	2216
4	148.5	588	4.2	2210
6	148.3	591	4.3	2211
8	148.0	594	4.3	2219
10	147.5	600	4.4	2236
12	147.0	605	4.5	2328
14	146.5	596	4.6	2419
16	146.0	587	4.6	2489
18	145.5	575	4.6	2544
20	145.0	564	4.5	2574
22	144.5	552	4.4	2537
24	144.0	540	4.2	2539
26	143.4	527	4.0	2544
28	142.7	514	3.8	2523
30	142.3	498	3.6	2468
32	141.8	483	3.3	2383
34	141.4	477	3.0	2296
36	141.0	470	2.8	2212
38	140.5	470	2.6	2155
40	140.0	470	2.4	2129
42	139.3	470	2.4	2117
44	138.6	470	2.3	2091
46	137.8	470	2.2	2068
48	137.0	470	2.0	2033
50	136.3	470	1.9	1993
52	135.6	470	1.8	1957
54	135.0	470	1.7	1932
56	134.4	470	1.7	1931
58	133.9	470	1.7	1932
60	133.3	470	1.6	1948
62	132.7	470	1.6	1955
64	132.0	470	1.6	1966
66	131.5	470	1.6	1984
68	131.0	470	1.6	2008
70	130.4	470	1.7	2029
72	129.8	470	1.8	2092
74	129.5	470	1.8	2155
76	129.2	470	1.9	2219
78	128.8	470	2.0	2289
80	128.4	470	2.1	2350
82	128.0	470	2.2	2381
84	127.5	470	2.2	2408
86	127.1	470	2.2	2423
88	126.6	470	2.2	2422
90	126.2	470	2.2	2416
92	125.8	470	2.2	2407

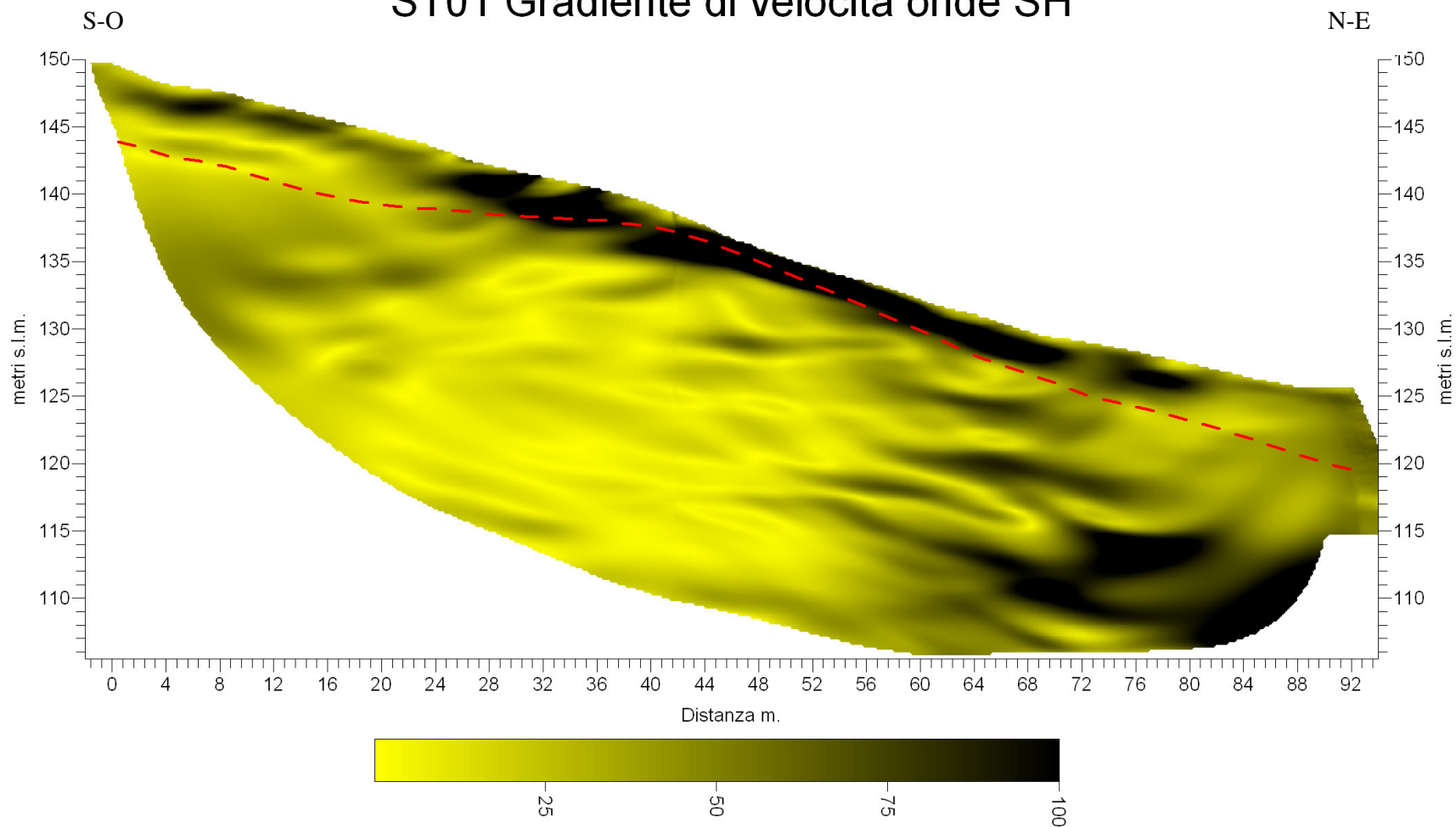
### DROMOCRONE ST01 ONDE SH



# ST01 Tomografia Sismica onde SH



# ST01 Gradiente di velocità onde SH

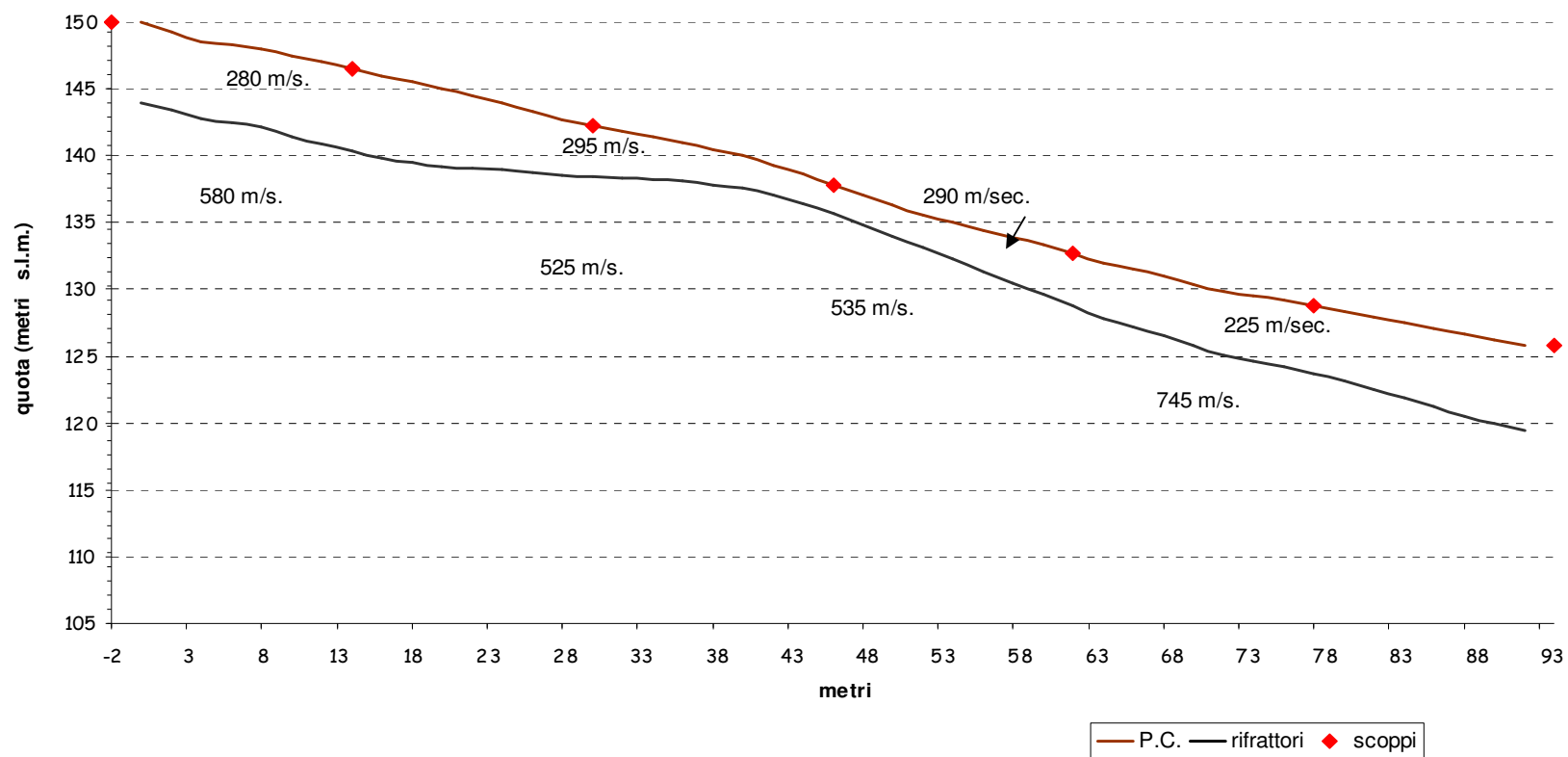


## Sezione sismostratigrafica schematica

S-O

N-E

### ST01 SH





ST 01 - TABELLA VELOCITA' E SPESSORI ONDE SH

Distanza dal geof. 1	Quota (metri s.l.m.)	V1 vel. 1° strato (metri/sec)	profondità rifrattore 1	V2 vel. rifrattore 1 (metri/sec)
0	150.0	283	6.1	611
2	149.3	283	5.9	568
4	148.5	284	5.7	538
6	148.3	286	5.8	548
8	148.0	288	5.9	561
10	147.5	286	6.1	571
12	147.0	285	6.2	578
14	146.5	284	6.2	587
16	146.0	283	6.2	598
18	145.5	281	6.0	608
20	145.0	280	5.8	611
22	144.5	279	5.5	605
24	144.0	277	5.1	588
26	143.4	277	4.6	570
28	142.7	277	4.2	553
30	142.3	281	3.8	544
32	141.8	285	3.5	536
34	141.4	291	3.2	529
36	141.0	298	2.9	518
38	140.5	304	2.7	508
40	140.0	309	2.4	500
42	139.3	314	2.3	495
44	138.6	318	2.2	489
46	137.8	320	2.2	487
48	137.0	322	2.2	488
50	136.3	321	2.3	489
52	135.6	320	2.5	493
54	135.0	314	2.7	500
56	134.4	309	3.0	511
58	133.9	300	3.3	524
60	133.3	292	3.6	540
62	132.7	283	3.9	553
64	132.0	274	4.1	565
66	131.5	266	4.3	579
68	131.0	258	4.5	593
70	130.4	250	4.6	605
72	129.8	243	4.8	621
74	129.5	237	4.9	636
76	129.2	231	5.0	650
78	128.8	227	5.2	663
80	128.4	223	5.3	676
82	128.0	221	5.5	688
84	127.5	219	5.6	741
86	127.1	218	5.8	804
88	126.6	217	6.1	861
90	126.2	217	6.2	915
92	125.8	217	6.3	953

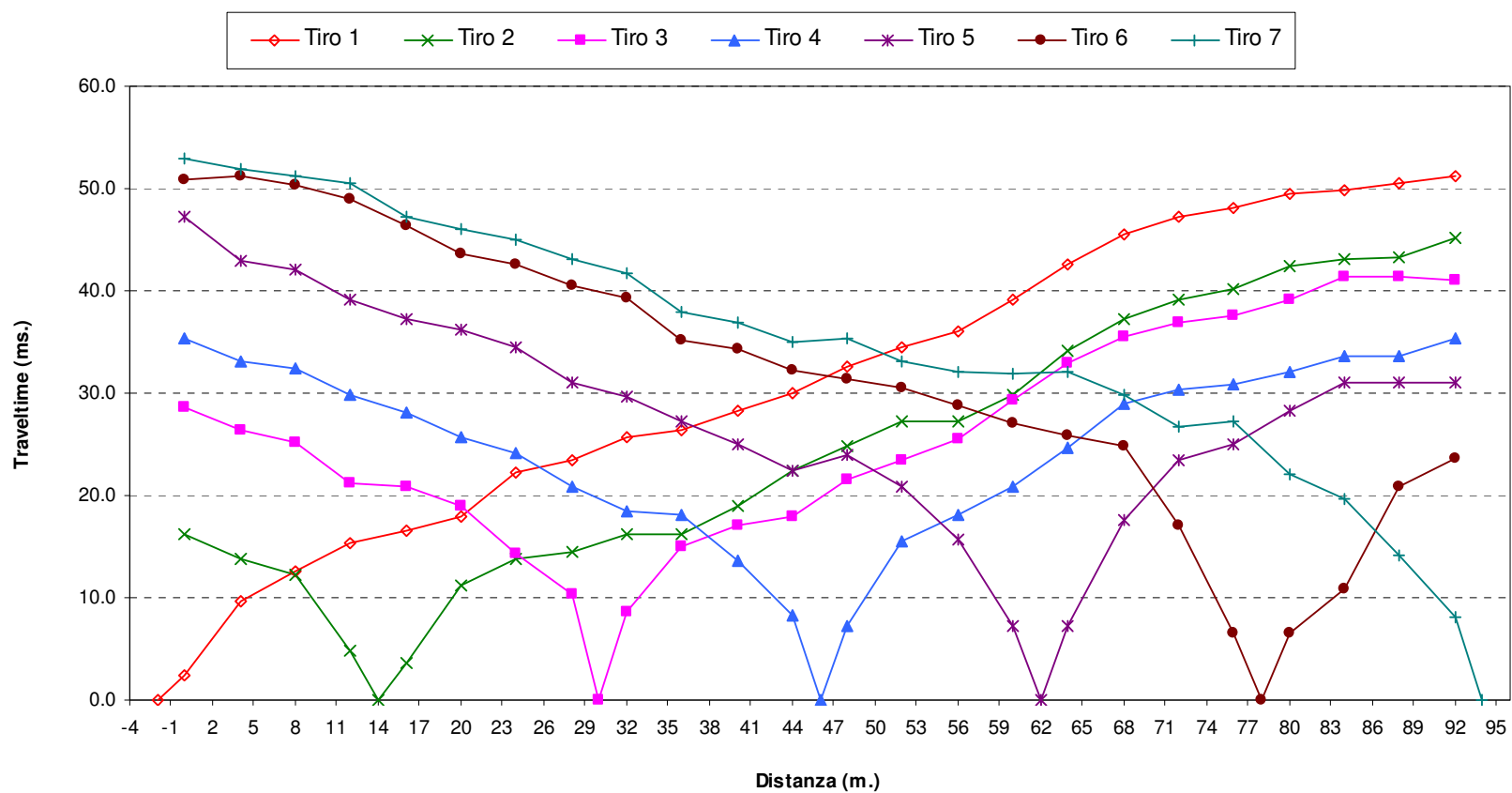
**INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE ST2 ONDE P**  
**SCHEMA DETTAGLIATO DELLA LINEA DI ACQUISIZIONE**

Geofoni n.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Distanza progressiva (m)	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92
Distanza parziale (m)	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Quote geof. (m)	151.00	149.50	148.50	147.50	146.50	145.20	144.00	143.20	142.30	141.50	140.50	139.70	139.00	138.60	138.40	138.20	137.70	136.50	135.80	134.20	132.00	131.00	130.00	129.00

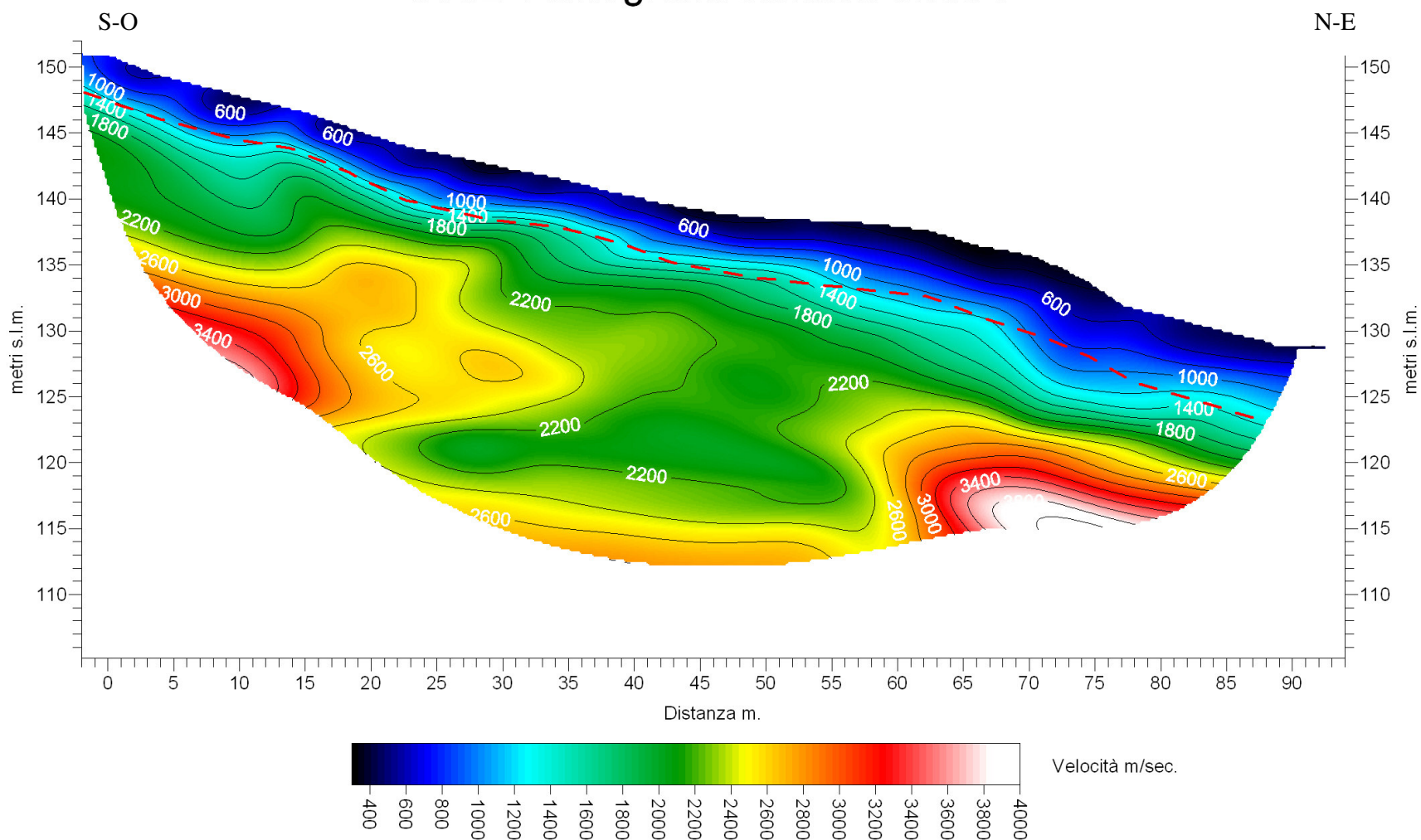
**PUNTI DI ENERGIZZAZIONE ONDE P**

	SCOPPIO 1	SCOPPIO 2	SCOPPIO 3	SCOPPIO 4	SCOPPIO 5	SCOPPIO 6	SCOPPIO 7
POSIZ. DAL GEOF. N 1 (m)	-20	140	300	460	620	780	940
QUOTA (m s.l.m.)	151.0	147.0	142.8	139.4	138.0	133.1	129.0

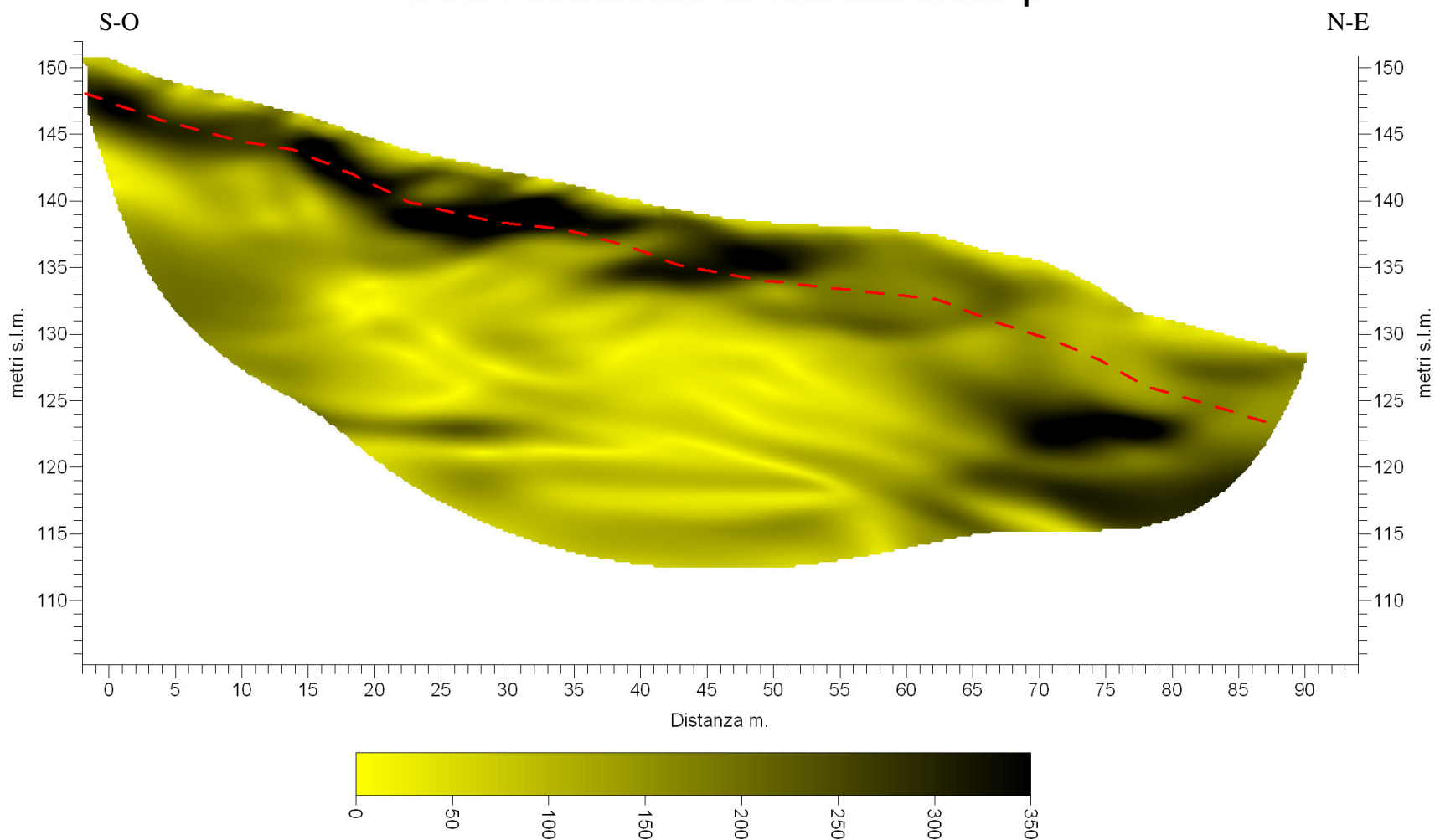
## DROMOCRONE ST02 ONDE P



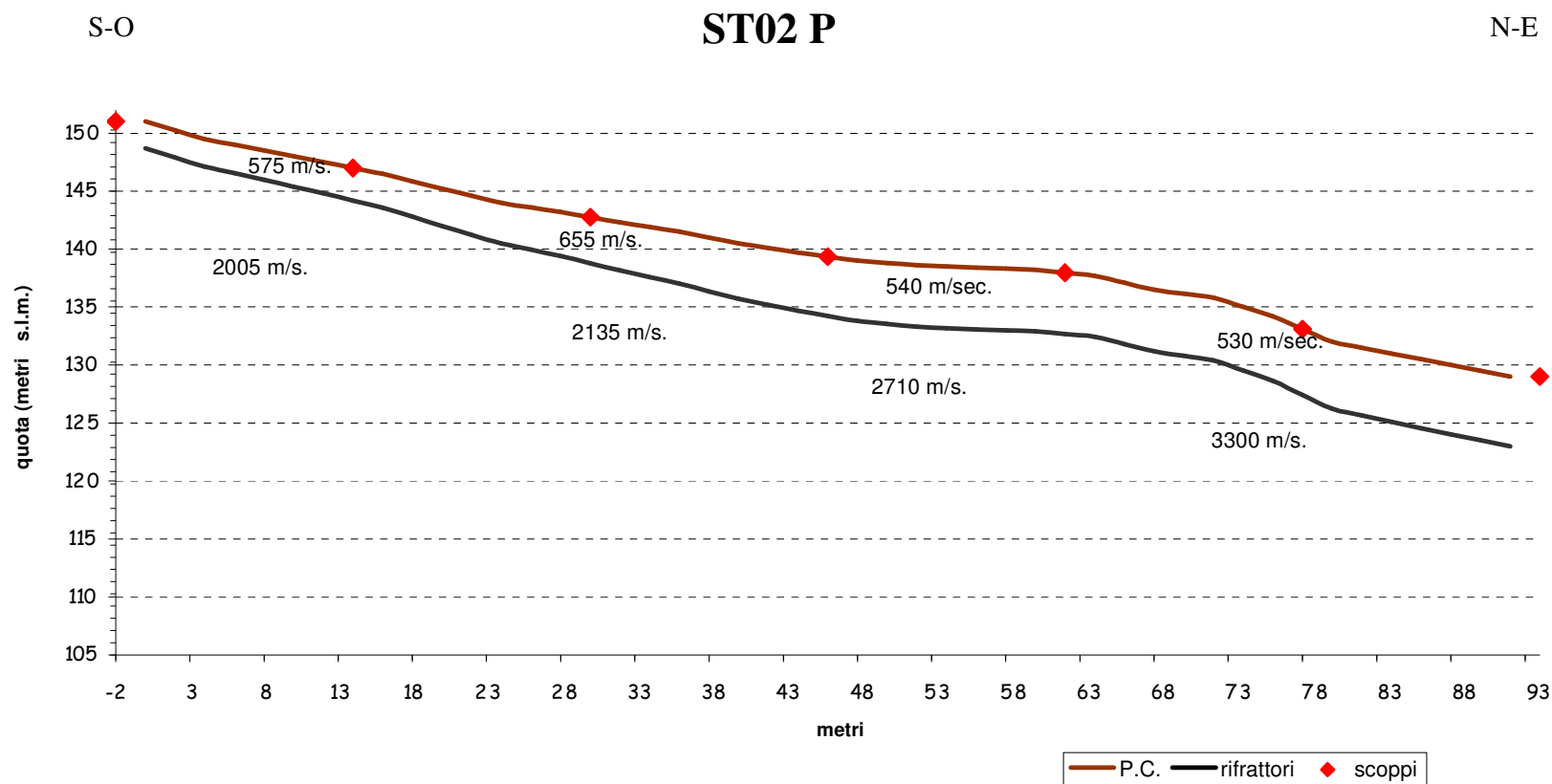
# ST02 Tomografia sismica onde P



# ST02 Gradiente di velocità onde p



## Sezione sismostratigrafica schematica



ST 02 - TABELLA VELOCITA' E SPESSORI ONDE P

Distanza dal geof. 1	Quota (metri s.l.m.)	V1 vel. 1° strato (metri/sec)	profondità rifrattore 1	V2 vel. rifrattore 1 (metri/sec)
0	151.0	554	2.3	1881
2	150.3	554	2.3	1914
4	149.5	554	2.4	1951
6	149.0	554	2.5	1987
8	148.5	554	2.5	2018
10	148.0	559	2.6	2044
12	147.5	564	2.7	2049
14	147.0	577	2.8	2048
16	146.5	591	2.9	2043
18	145.9	604	3.1	2042
20	145.2	618	3.2	2035
22	144.6	633	3.4	2040
24	144.0	648	3.5	2040
26	143.6	658	3.7	2034
28	143.2	668	3.8	2019
30	142.8	675	4.0	2034
32	142.3	681	4.1	2055
34	141.9	675	4.3	2075
36	141.5	669	4.5	2118
38	141.0	659	4.6	2170
40	140.5	650	4.8	2202
42	140.1	636	4.9	2240
44	139.7	623	5.0	2293
46	139.4	609	5.1	2340
48	139.0	596	5.2	2399
50	138.8	583	5.3	2476
52	138.6	570	5.3	2540
54	138.5	558	5.3	2588
56	138.4	546	5.3	2652
58	138.3	536	5.3	2706
60	138.2	525	5.3	2752
62	138.0	518	5.3	2792
64	137.7	511	5.3	2852
66	137.1	509	5.3	2893
68	136.5	507	5.3	2934
70	136.2	509	5.3	2976
72	135.8	511	5.4	3006
74	135.0	515	5.5	3087
76	134.2	518	5.6	3196
78	133.1	522	5.7	3302
80	132.0	526	5.8	3408
82	131.5	530	5.8	3491
84	131.0	534	5.9	3477
86	130.5	537	6.0	3473
88	130.0	540	6.0	3479
90	129.5	541	6.0	3489
92	129.0	543	6.0	3502

**INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE ST3 ONDE P ED SH  
SCHEMA DETTAGLIATO DELLA LINEA DI ACQUISIZIONE**

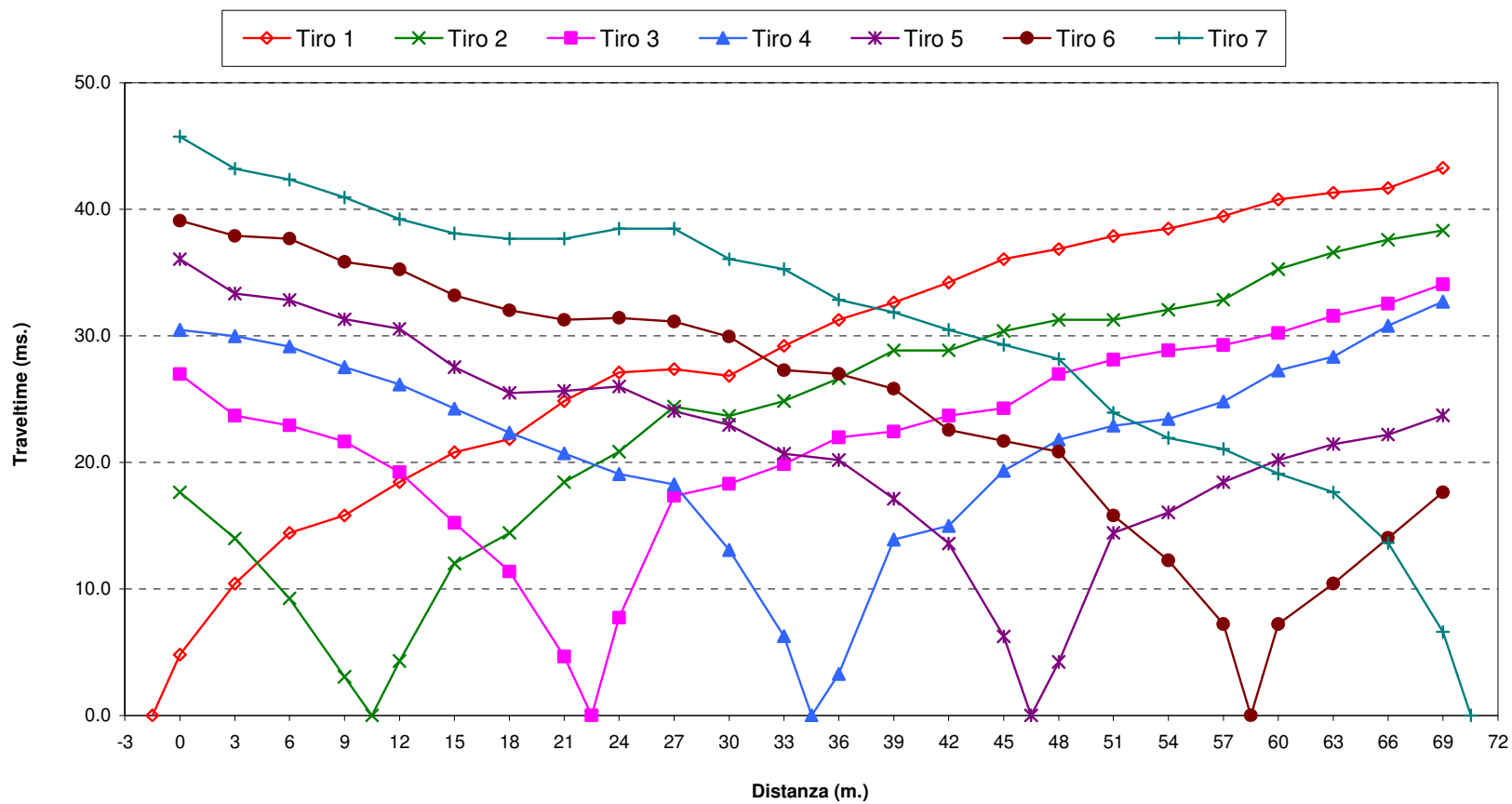
Geofoni n.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Distanza progressiva (m)	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69
Distanza parziale (m)	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Quote geof. (m)	138.20	138.47	138.73	139.00	139.27	139.53	139.80	139.69	139.57	139.46	139.34	139.23	139.11	139.00	139.00	138.89	138.78	138.67	138.56	138.44	138.33	138.22	138.11	138.00

**PUNTI DI ENERGIZZAZIONE ONDE P ED SH**

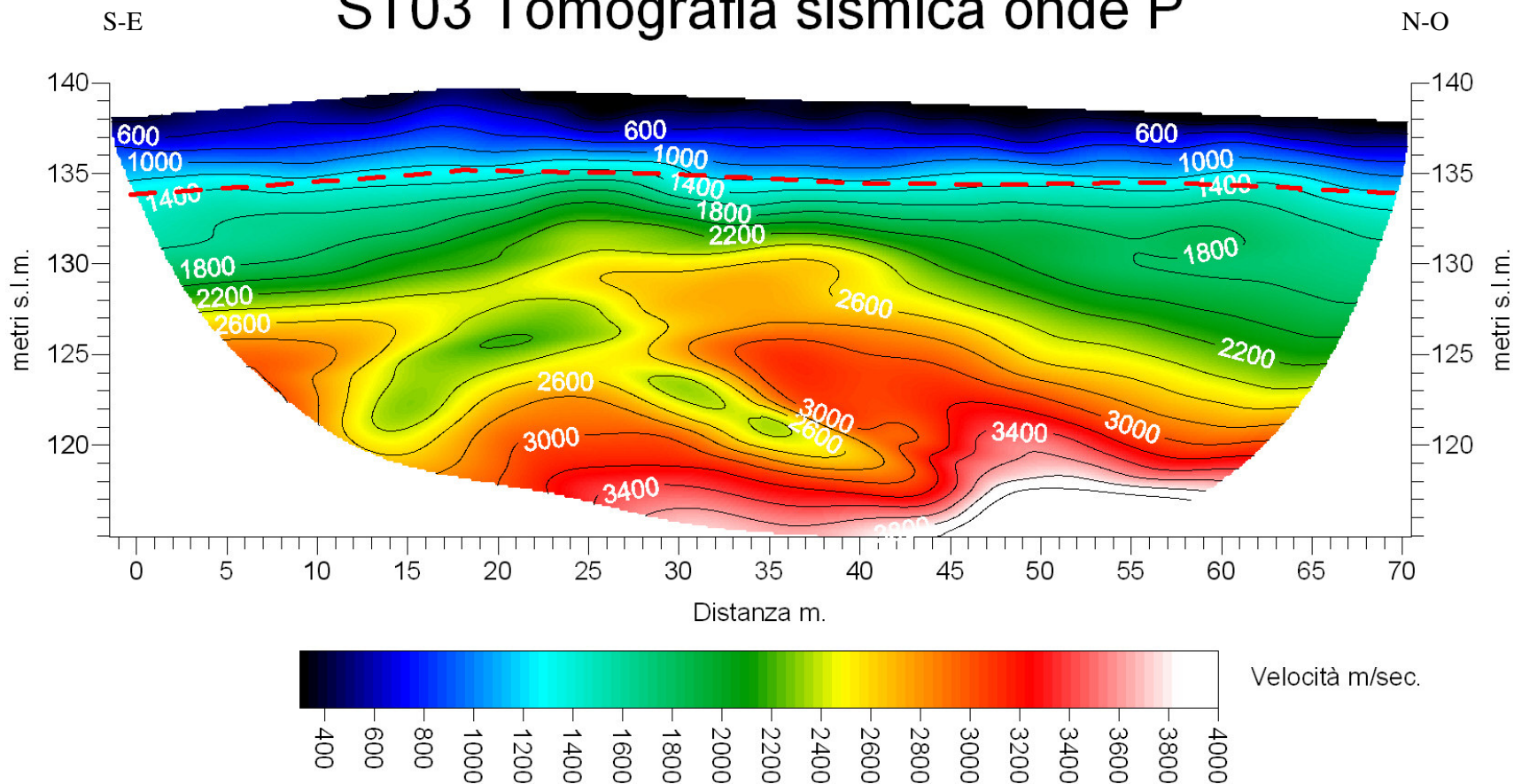
	SCOPPIO 1	SCOPPIO 2	SCOPPIO 3	SCOPPIO 4	SCOPPIO 5	SCOPPIO 6	SCOPPIO 7
POSIZ. DAL GEOF. N 1 (m)	-15	105	225	345	465	585	705
QUOTA (m s.l.m.)	138.2	139.1	139.6	139.2	138.8	138.4	138.0

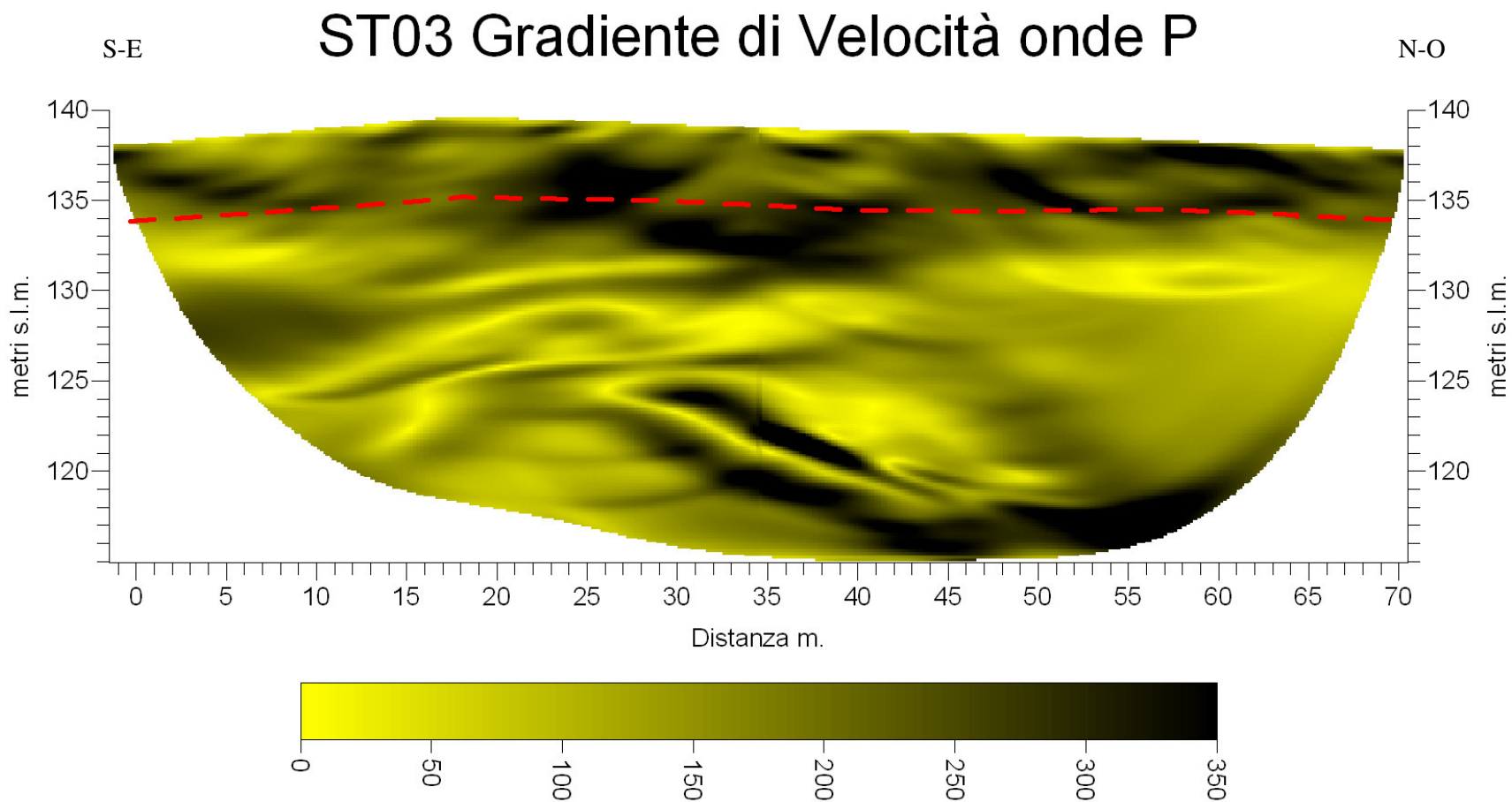


### DROMOCRONE ST03 ONDE P



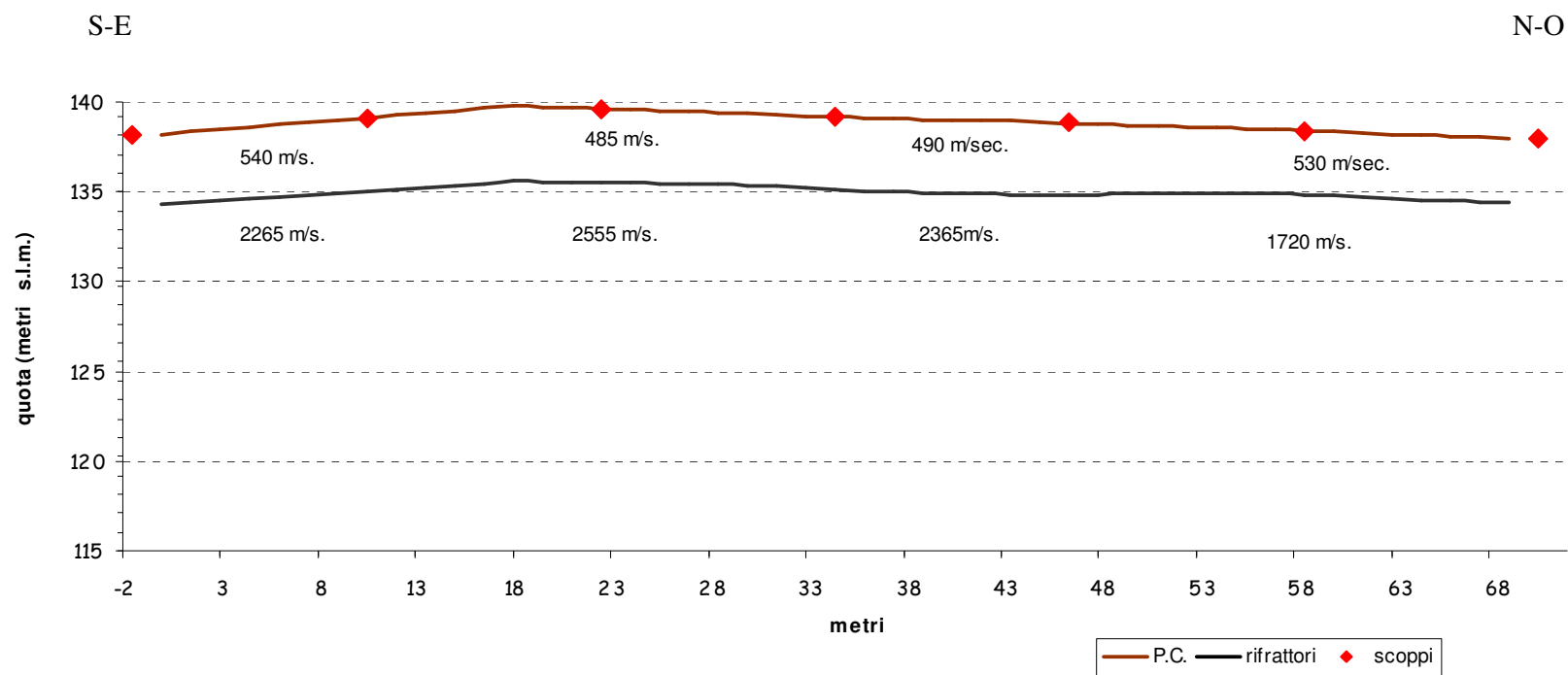
# ST03 Tomografia sismica onde P





## Sezione sismostratigrafica schematica

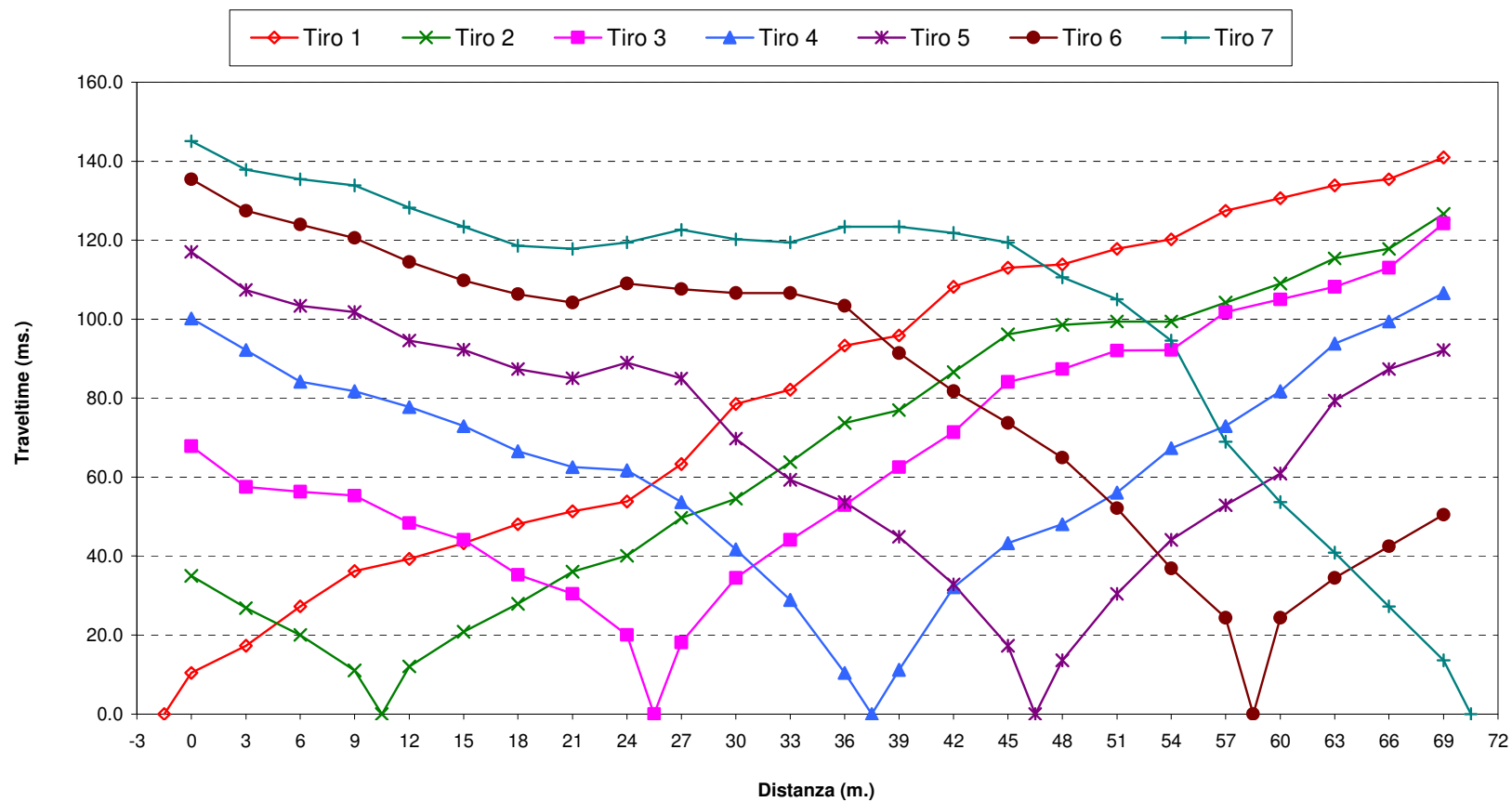
### ST03 P



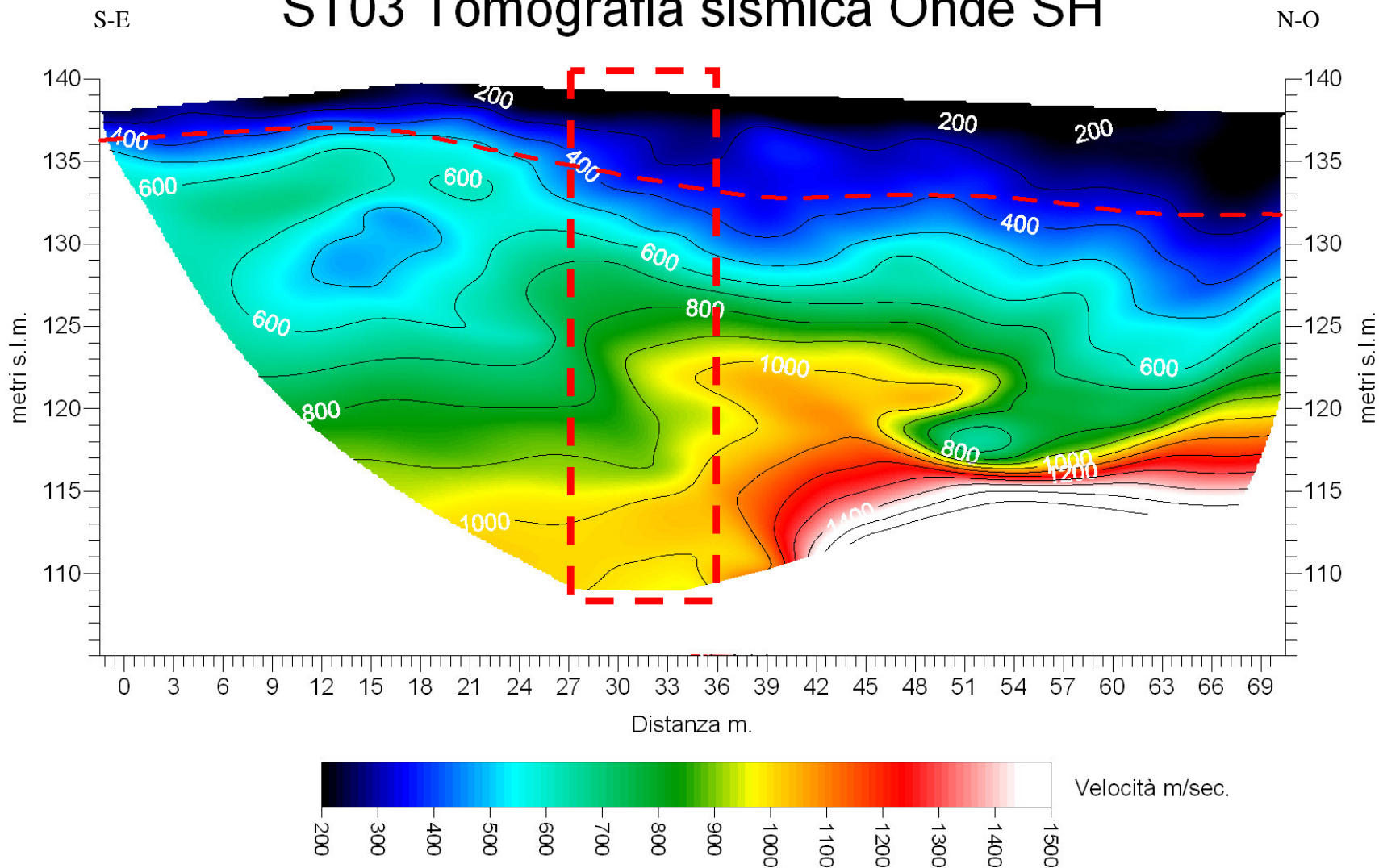
ST 03 - TABELLA VELOCITA' E SPESSORI ONDE P

Distanza dal geof. 1	Quota (metri s.l.m.)	V1 vel. 1° strato (metri/sec)	profondità rifrattore 1	V2 vel. rifrattore 1 (metri/sec)
0	138.2	550	3.9	2162
1.5	138.3	549	3.9	2173
3	138.5	549	4.0	2184
4.5	138.6	548	4.0	2192
6	138.7	547	4.0	2208
7.5	138.9	544	4.1	2224
9	139.0	541	4.1	2230
10.5	139.1	536	4.1	2271
12	139.3	531	4.2	2316
13.5	139.4	526	4.2	2369
15	139.5	520	4.2	2422
16.5	139.7	514	4.2	2462
18	139.8	508	4.2	2492
19.5	139.7	502	4.2	2528
21	139.7	495	4.2	2546
22.5	139.6	490	4.1	2567
24	139.6	485	4.1	2572
25.5	139.5	482	4.0	2547
27	139.5	480	4.0	2545
28.5	139.4	478	4.0	2547
30	139.3	477	4.0	2554
31.5	139.3	478	4.0	2573
33	139.2	478	4.0	2585
34.5	139.2	479	4.0	2589
36	139.1	480	4.0	2599
37.5	139.1	481	4.1	2596
39	139.0	482	4.1	2579
40.5	139.0	483	4.1	2560
42	139.0	484	4.1	2518
43.5	138.9	487	4.1	2486
45	138.9	489	4.0	2441
46.5	138.8	492	4.0	2346
48	138.8	495	3.9	2232
49.5	138.7	499	3.8	2123
51	138.7	504	3.8	2008
52.5	138.6	509	3.7	1902
54	138.6	515	3.6	1833
55.5	138.5	520	3.6	1768
57	138.4	526	3.6	1710
58.5	138.4	529	3.5	1673
60	138.3	533	3.6	1675
61.5	138.3	536	3.6	1682
63	138.2	538	3.6	1694
64.5	138.2	539	3.6	1700
66	138.1	539	3.6	1701
67.5	138.1	539	3.6	1700
69	138.0	539	3.6	1699

### DROMOCRONE ST03 ONDE SH



# ST03 Tomografia sismica Onde SH

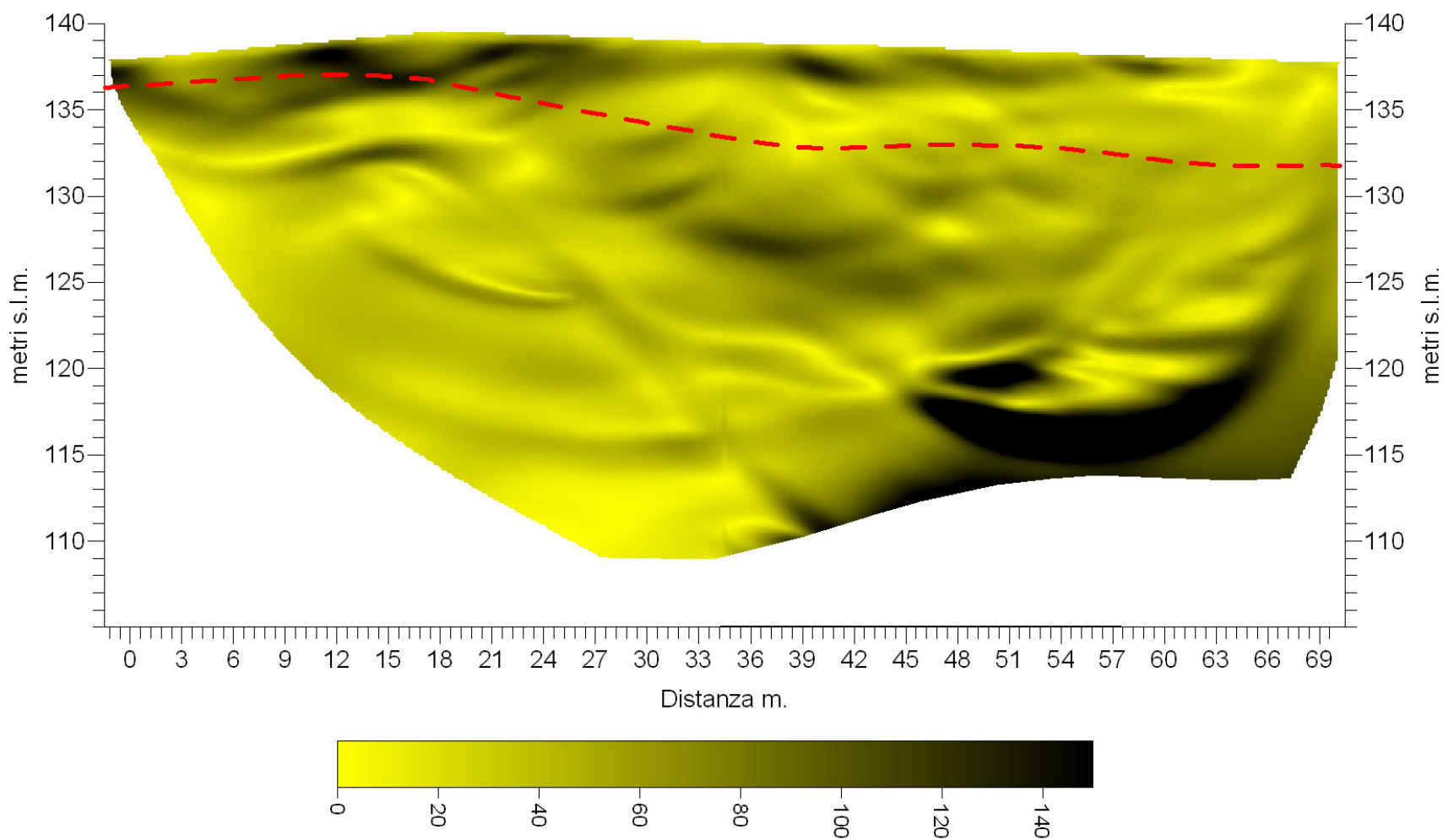




S-E

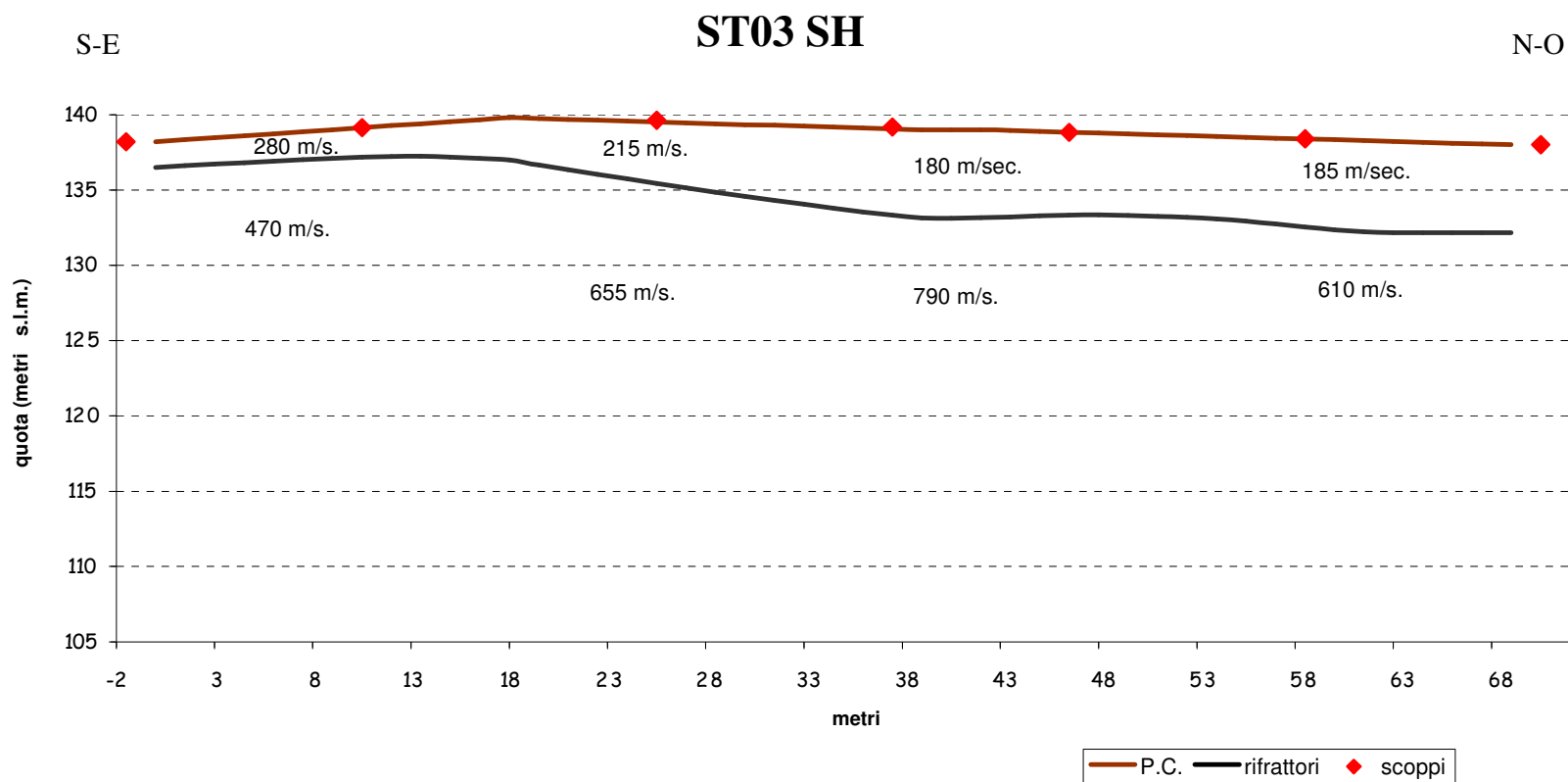
# ST03 Gradiente di velocità onde SH

N-O





## Sezione sismostratigrafica schematica



ST 03 - TABELLA VELOCITA' E SPESSORI ONDE SH

Distanza dal geof. 1	Quota (metri s.l.m.)	V1 vel. 1° strato (metri/sec)	profondità rifrattore 1	V2 vel. rifrattore 1 (metri/sec)
0	138.2	287	1.7	462
1.5	138.3	287	1.7	463
3	138.5	287	1.8	464
4.5	138.6	287	1.8	465
6	138.7	287	1.8	466
7.5	138.9	286	1.9	466
9	139.0	286	1.9	466
10.5	139.1	282	1.9	468
12	139.3	279	2.0	471
13.5	139.4	274	2.2	474
15	139.5	268	2.3	483
16.5	139.7	262	2.6	495
18	139.8	255	2.8	511
19.5	139.7	247	3.1	532
21	139.7	238	3.3	554
22.5	139.6	229	3.6	577
24	139.6	221	3.8	602
25.5	139.5	213	4.1	630
27	139.5	206	4.3	663
28.5	139.4	202	4.5	697
30	139.3	197	4.8	730
31.5	139.3	194	5.0	760
33	139.2	190	5.2	793
34.5	139.2	188	5.4	827
36	139.1	186	5.6	864
37.5	139.1	184	5.7	895
39	139.0	182	5.8	918
40.5	139.0	181	5.9	920
42	139.0	180	5.8	887
43.5	138.9	180	5.7	840
45	138.9	179	5.6	784
46.5	138.8	179	5.5	752
48	138.8	179	5.4	717
49.5	138.7	179	5.4	692
51	138.7	179	5.4	671
52.5	138.6	180	5.4	648
54	138.6	181	5.5	606
55.5	138.5	182	5.6	600
57	138.4	183	5.7	603
58.5	138.4	184	5.8	614
60	138.3	185	6.0	631
61.5	138.3	185	6.1	640
63	138.2	186	6.1	635
64.5	138.2	186	6.0	624
66	138.1	187	6.0	605
67.5	138.1	187	5.9	593
69	138.0	187	5.8	586

## Documentazione Fotografica







**COMUNE DI ROSIGNANO MARITTIMO**  
**PROVINCIA DI LIVORNO**

**INDAGINE GEOFISICA**  
**DI SISMICA A RIFRAZIONE**

REALIZZAZIONE DELLA NUOVA BIBLIOTECA COMUNALE

DATA

Dicembre 2008

## RELAZIONE TECNICA

In data 23/12/2008 su incarico del Comune di Rosignano Marittimo, è stata eseguita un'indagine Geofisica di Sismica a Rifrazione in via della Costituzione nel Comune di Rosignano Marittimo per la realizzazione della nuova biblioteca comunale.

L'obiettivo era determinare l'andamento delle velocità delle onde P ed SH desumendo il grado di consistenza dei terreni costituenti il sito in esame e possibilmente individuare eventuali superfici di separazione tra "materiale" con diverse caratteristiche fisico-meccaniche.

Inoltre i risultati prodotti potranno essere utilizzati anche ai fini della classificazione dei terreni di fondazione come previsto dalla D.M. 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni)

A tale scopo sono stati eseguiti due stendimenti di sismica a rifrazione ubicati secondo la figura 1.

### **Modalità esecutive della prova.**

L'indagine sismica consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in prossimità del sito da investigare, sollecitazioni dinamiche verticali o orizzontali per la generazione di onde di volume (P) od onde di taglio (SH) e nel registrare le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate mediante sensori a componente verticale od orizzontale.

L'interpretazione dei segnali rilevati e la conseguente stima del profilo di velocità delle onde sismiche, può scomporsi nelle seguenti fasi fondamentali.

- a) individuazione del primo arrivo sui sismogrammi registrati;
- b) ricostruzione delle relative dromocrone;
- c) interpretazione delle dromocrone con conseguente ricostruzione delle geometrie del sottosuolo.

### APPARECCHIATURA USATA E SCHEMA DELLA PROVA.

L'apparecchiatura utilizzata si compone delle seguenti parti:

- Sistema sorgente;
- Sistema di ricezione;
- Sistema di acquisizione dati;
- Trigger.



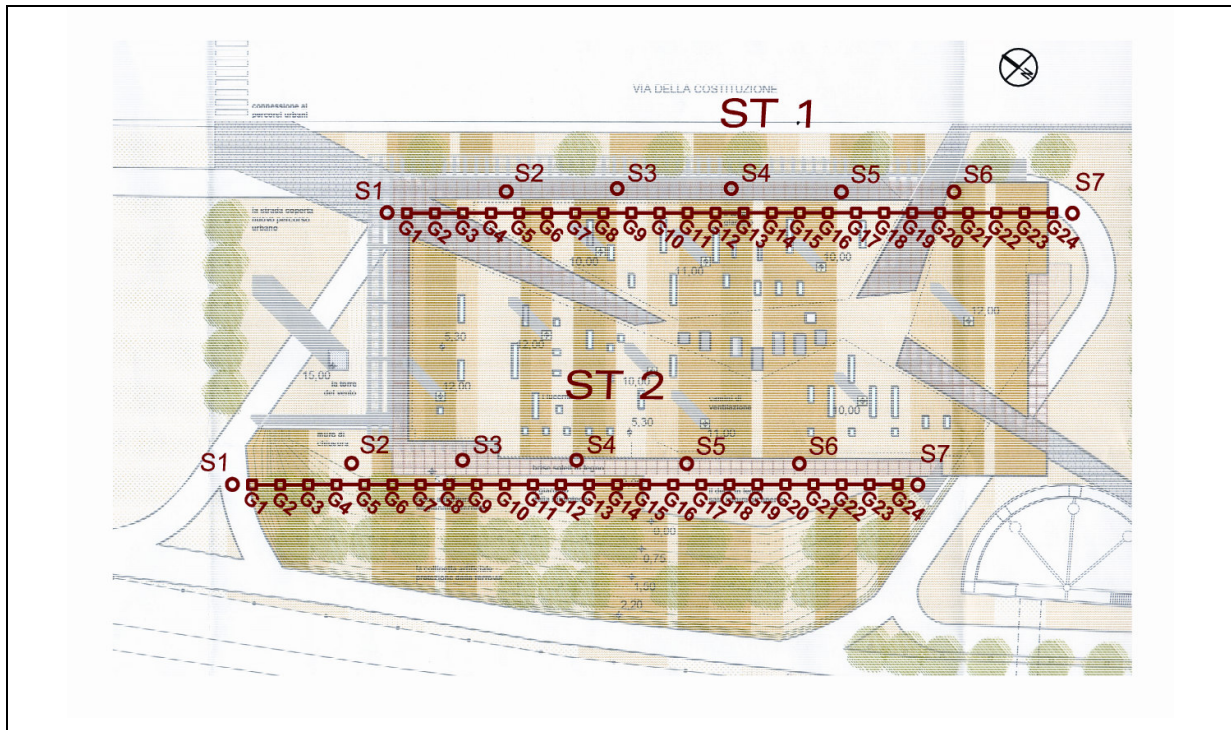


FIG. 1 : UBICAZIONE DELLE INDAGINI (SCALA 1:1000)

#### Sorgente onde P:

La sorgente deve essere in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili, con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione, es. grave in caduta libera (massa da 110 kg), in alternativa è possibile utilizzare un cannone a cartucce industriali o una mazza di 8 kg adoperata per colpire una piastra di alluminio appoggiata sul terreno.

#### Sorgente onde SH:

La sorgente deve essere in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali, cioè con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di taglio polarizzate sul piano orizzontale.

Tale sorgente è costituita da un parallelepipedo di forma tale da poter essere colpita lateralmente ad entrambe le estremità con una massa pesante. È importante che il parallelepipedo venga gravato di un carico statico addizionale in modo che possa rimanere aderente al terreno sia al momento in cui viene colpito sia successivamente, affinché l'energia prodotta non venga in parte dispersa. Con questo dispositivo è possibile generare essenzialmente delle onde elastiche di taglio polarizzate orizzontalmente, con uniformità sia nella direzione di propagazione che nella polarizzazione e con una generazione di onde P trascurabile.



l'accoppiamento parallelepipedo-terreno è fatto per "contatto" e non per "infissione".

I profili sismici a rifrazione sono eseguiti energizzando ad intervalli regolari lungo stendimenti di sensori detti geofoni: ciascuno stendimento multicanale viene denominato base sismica.

Sistema di ricezione:

Il sistema di ricezione è costituito da 24 geofoni a componente verticale per le onde P, con frequenza propria di circa 14 Hz e da 24 geofoni a componente orizzontale per le onde SH, con frequenza propria di circa 10 Hz. Per l'acquisizione i geofoni sono accoppiati al terreno e posizionati verticalmente tramite il puntale di cui sono dotati.

Trigger:

Il trigger consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave o la mazza colpisce la base di battuta, consentendo 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'istante in cui la sorgente viene attivata e parte la sollecitazione dinamica.

Sistema di acquisizione dati:

Le registrazioni sono state acquisite mediante un sismografo digitale Echo 12-24 /2002 a 16 bit, si tratta di un sistema multicanale (24 canali) in grado di registrare su ciascun canale in modo digitale i segnali provenienti da ogni trasduttore di velocità (geofoni) a cui è collegato e conservarli su memoria di massa dinamica. Le forme d'onda acquisite sono visualizzabili come tracce a partire dall'impulso inviato dal trigger nel computer portatile ad esso collegato e salvabili in forma numerica in modo definitivo.

### **Interpretazione dei profili sismici**

I tempi di arrivo delle onde letti in corrispondenza di ciascun geofono hanno permesso di ricostruire i diagrammi spazio-tempo, detti dromocrone. L'interpretazione delle dromocrone fatta attraverso il software Rayfract, consente di definire un modello della stratigrafia del terreno basato sulle variazioni della velocità delle onde di taglio o di compressione.

RISULTATI:

L'indagine svolta in data 23/12/2008 ha permesso di caratterizzare dinamicamente le unità litologiche presenti nell'area, tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di compressione ( $V_P$ ) e di taglio ( $V_{SH}$ ) e la determinazione della geometria nel sottosuolo (spessori e superfici di contatto).





I dati acquisiti sono stati elaborati sia in tecnica tomografica che a rifrazione.

Le elaborazioni fatte hanno messo in evidenza una distribuzione delle velocità delle onde sismiche schematizzabile secondo due strati.

In particolare l'indagine ha evidenziato uno strato superficiale dello spessore medio di circa 4.2 m. sulla linea ST 1 e 3,7 m. sulla linea ST 2, con una velocità di propagazione delle onde di compressione ( $V_p$ ) mediata tra le due sezioni di circa 590 m/sec e delle onde di taglio ( $V_{sh}$ ) di circa 310 m/sec, e un secondo strato con velocità di propagazione media delle onde di compressione ( $V_p$ ) di circa 1550 m/sec e delle onde di taglio ( $V_{sh}$ ) di circa 670 m/sec.

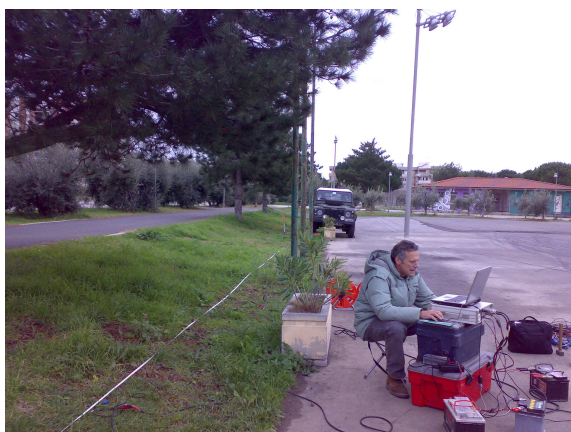
L'indagine ha inoltre permesso di determinare la VS/30 che è risultata pari a 755 m/sec.

Il Tecnico:

Andrea Marini

✍

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





**LINEA ST 1**  
**INDAGINE DI TOMOGRAFIA SISMICA**  
**ONDE P E SH**

**SCHEMA DETTAGLIATO DELLA LINEA DI ACQUISIZIONE**

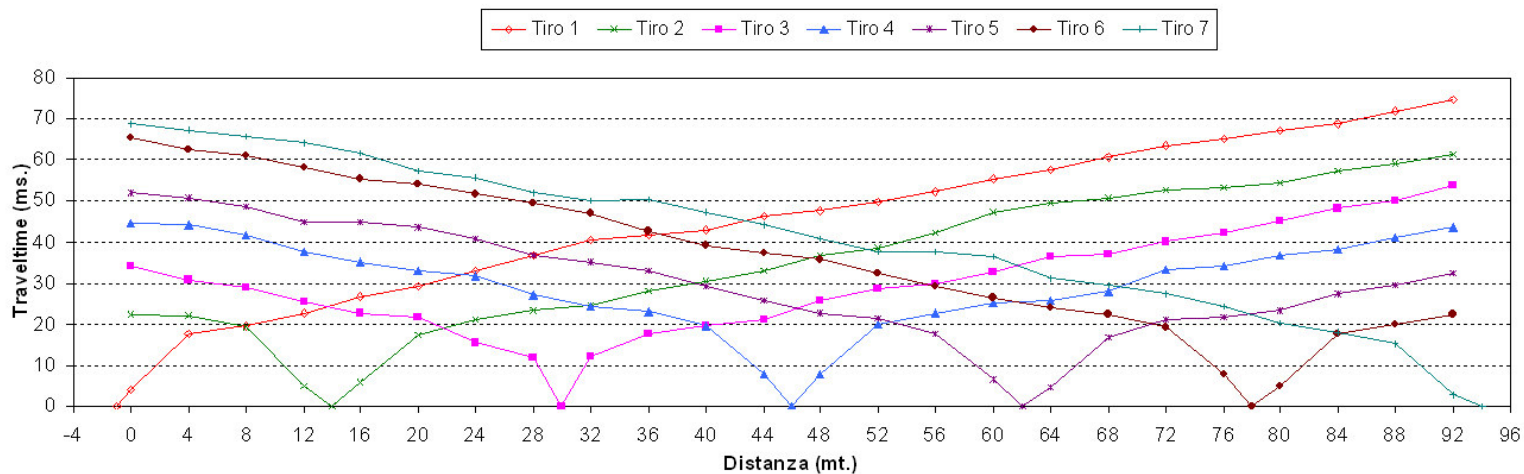
<b>Geofoni n.</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<b>Distanza progressiva (m)</b>	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92
<b>Distanza parziale (m)</b>	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
<b>Dislivello da S1 ( m.)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**PUNTI DI ENERGIZZAZIONE**

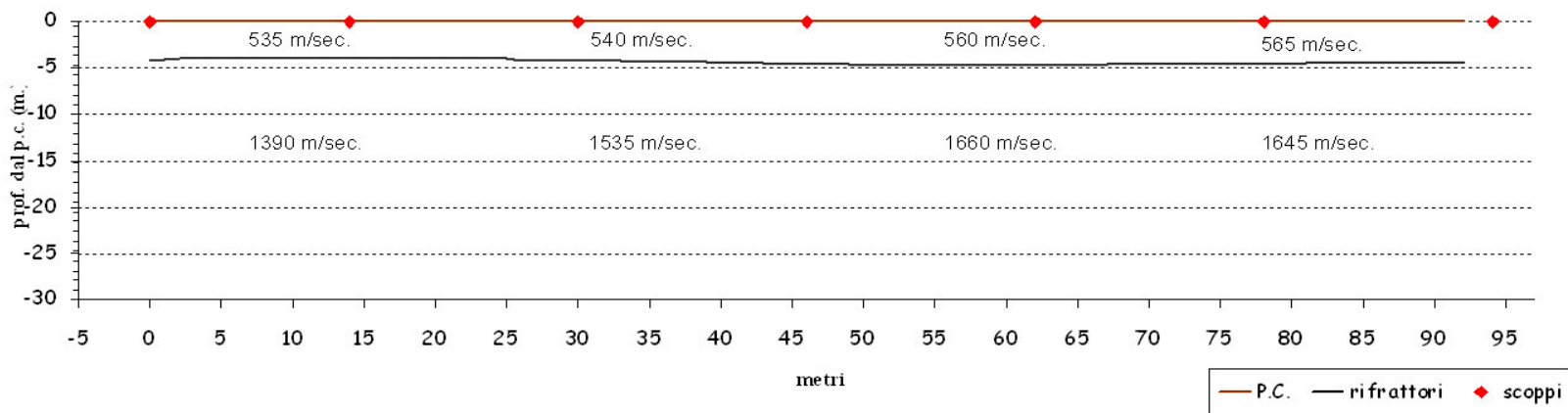
	<b>SCOPPIO 1</b>	<b>SCOPPIO 2</b>	<b>SCOPPIO 3</b>	<b>SCOPPIO 4</b>	<b>SCOPPIO 5</b>	<b>SCOPPIO 6</b>	<b>SCOPPIO 7</b>
<b>POSIZ. DAL GEOF. N 1 (m)</b>	0,0	14.0	30.0	46.0	62.0	78.0	94.0
<b>DISLIVELLO RISPETTO A S1 (m)</b>	0	0	0	0	0	0	0



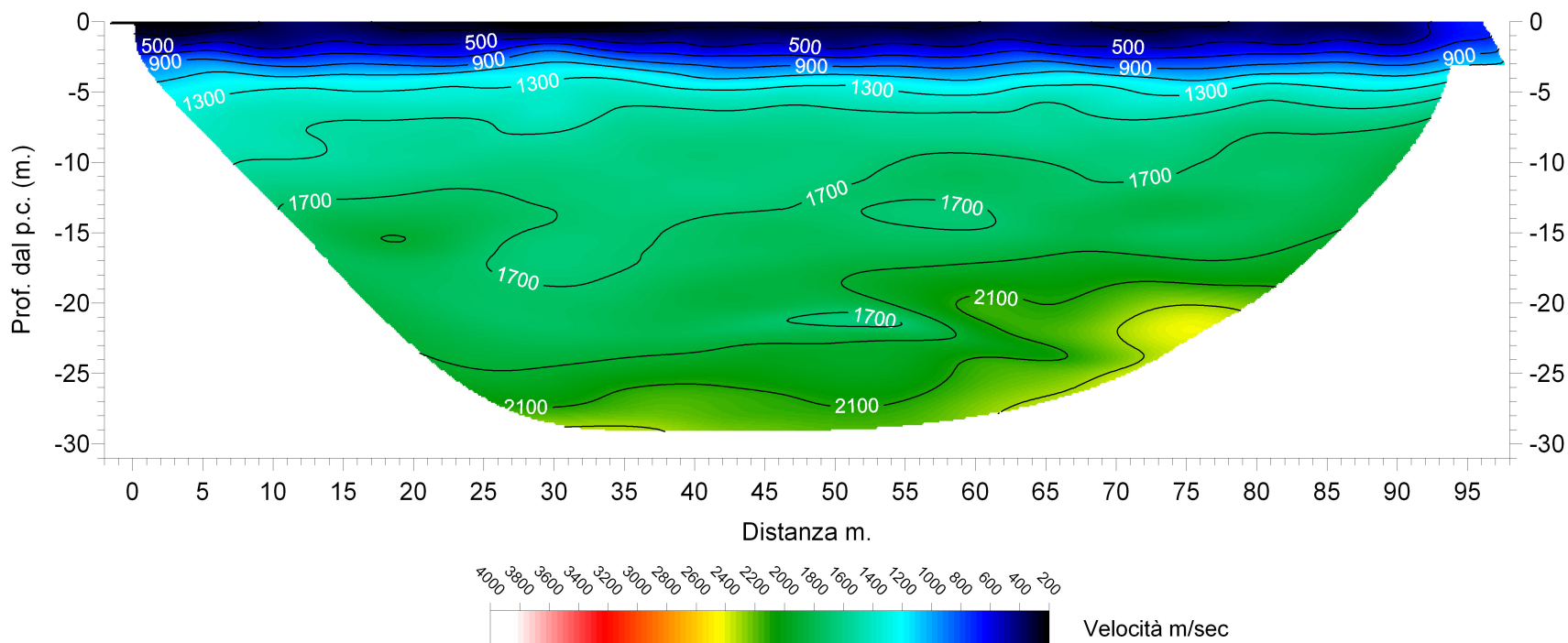
### LINEA ST 1 - DROMOCRONE ONDE P



### LINEA ST 1 – SEZ. SISMOSTRATIGRAFICA ONDE P



## Linea sismica ST01 - Tomografia sismica onde P

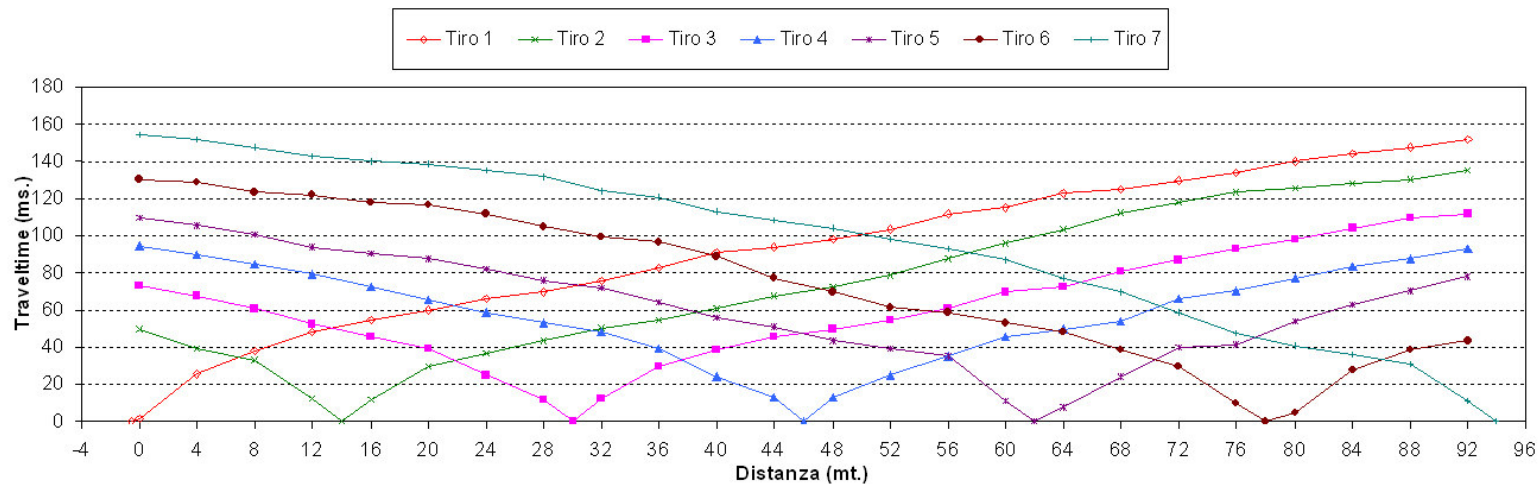


## ST 1 - TABELLA VELOCITA' E SPESSORI ONDE P

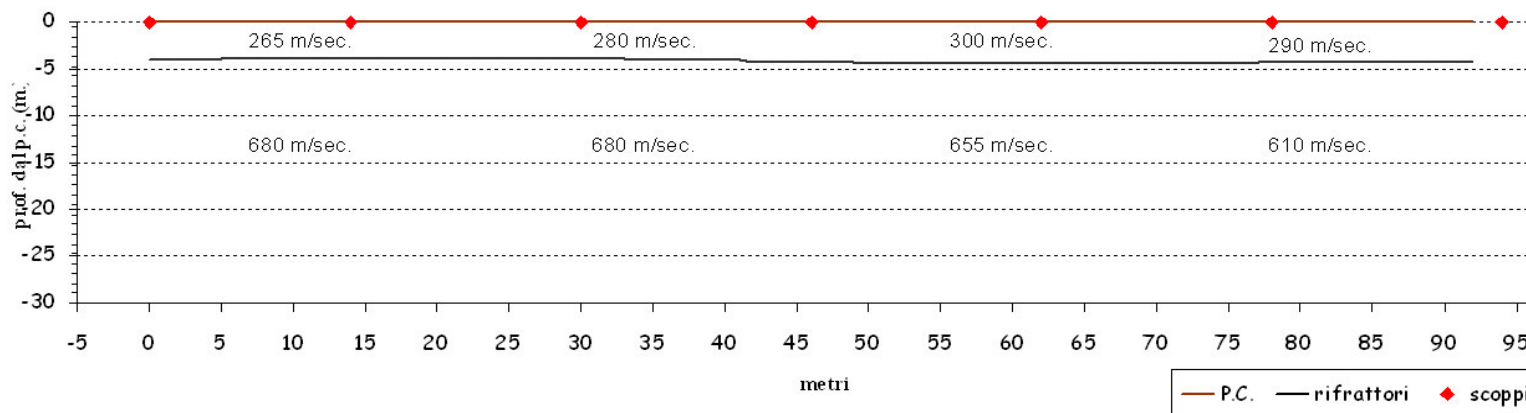
Distanza dal geof. 1	Quota	V1 (metri/sec)	Profondità rifrattore 1	V2 (metri/sec)
0	0	573.7	-4.1	1374.4
2	0	570.8	-4.1	1375.4
4	0	567.9	-4.1	1377.7
6	0	564.1	-4.0	1380.0
8	0	560.3	-4.0	1382.7
10	0	544.2	-4.0	1385.7
12	0	528.1	-4.0	1389.9
14	0	515.9	-4.0	1394.7
16	0	503.7	-4.0	1400.0
18	0	501.4	-4.0	1406.5
20	0	499.1	-4.0	1413.8
22	0	491.2	-4.1	1423.4
24	0	483.2	-4.1	1438.3
26	0	490.7	-4.1	1453.6
28	0	498.1	-4.2	1469.2
30	0	512.8	-4.2	1486.3
32	0	527.6	-4.2	1505.7
34	0	545.1	-4.3	1525.1
36	0	562.6	-4.3	1545.7
38	0	565.9	-4.4	1565.1
40	0	569.2	-4.4	1581.4
42	0	573.1	-4.5	1595.6
44	0	576.9	-4.5	1607.8
46	0	574.9	-4.6	1618.2
48	0	572.9	-4.6	1628.3
50	0	565.5	-4.7	1638.0
52	0	558.2	-4.7	1648.0
54	0	554.0	-4.7	1656.8
56	0	549.7	-4.7	1665.0
58	0	550.3	-4.7	1668.9
60	0	550.9	-4.7	1671.0
62	0	558.1	-4.7	1672.8
64	0	565.2	-4.7	1674.3
66	0	566.9	-4.7	1675.4
68	0	568.7	-4.6	1675.9
70	0	568.3	-4.6	1675.0
72	0	568.0	-4.6	1671.5
74	0	570.6	-4.6	1666.2
76	0	573.2	-4.5	1661.2
78	0	568.4	-4.5	1655.8
80	0	563.7	-4.5	1650.9
82	0	562.8	-4.5	1644.4
84	0	561.8	-4.5	1638.1
86	0	560.2	-4.5	1632.2
88	0	558.5	-4.4	1627.3
90	0	561.2	-4.4	1622.6
92	0	563.8	-4.4	1617.4



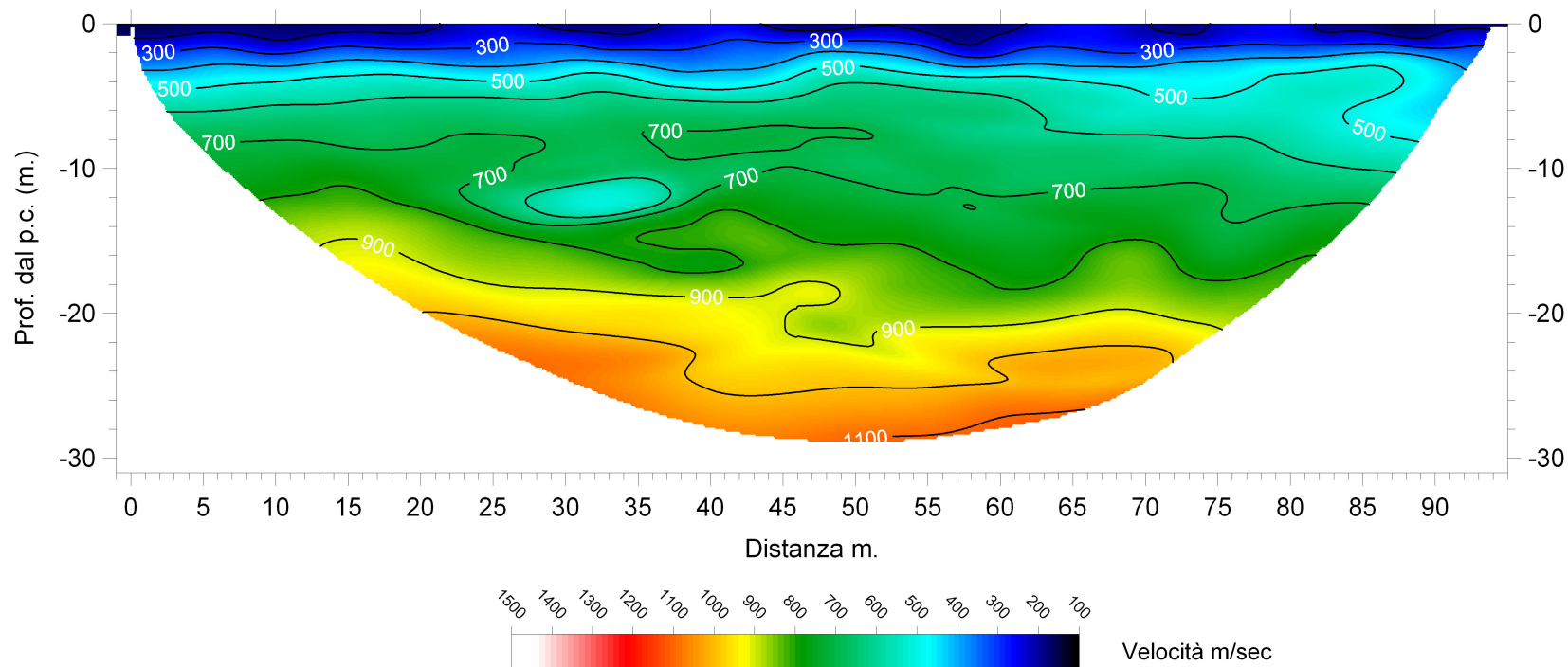
### LINEA ST 1 - DROMOCRONE ONDE SH



### LINEA ST 1 – SEZ. SISMOSTRATIGRAFICA ONDE SH



## Linea sismica ST01 - Tomografia sismica onde SH





ST 1 - TABELLA VELOCITA' E SPESSORI ONDE SH

Distanza dal geof. 1	Quota	V1 (metri/sec)	Profondità rifrattore 1	V2 (metri/sec)
0	0	270.1	-4.1	686.1
2	0	270.1	-4.1	685.4
4	0	270.1	-4.1	685.2
6	0	270.0	-4.0	684.1
8	0	270.0	-4.0	683.3
10	0	266.1	-4.0	682.3
12	0	262.2	-4.0	680.9
14	0	259.5	-4.0	680.3
16	0	256.7	-3.9	680.8
18	0	256.4	-3.9	680.4
20	0	256.2	-3.9	679.7
22	0	254.1	-3.9	679.5
24	0	252.1	-4.0	680.4
26	0	254.6	-4.0	680.7
28	0	257.2	-4.0	680.7
30	0	262.9	-4.0	680.3
32	0	268.6	-4.0	679.9
34	0	275.9	-4.0	679.4
36	0	283.2	-4.1	679.2
38	0	287.1	-4.1	678.4
40	0	291.1	-4.1	677.7
42	0	295.7	-4.2	677.1
44	0	300.4	-4.2	677.0
46	0	302.6	-4.2	675.3
48	0	304.7	-4.3	674.0
50	0	304.2	-4.3	670.9
52	0	303.6	-4.3	668.5
54	0	302.6	-4.4	666.4
56	0	301.5	-4.4	663.0
58	0	300.5	-4.4	657.1
60	0	299.6	-4.4	652.4
62	0	299.4	-4.4	647.9
64	0	299.2	-4.4	643.5
66	0	297.8	-4.4	639.4
68	0	296.3	-4.4	635.6
70	0	294.5	-4.3	631.6
72	0	292.7	-4.3	627.8
74	0	292.4	-4.3	624.0
76	0	292.2	-4.3	620.2
78	0	290.3	-4.3	616.7
80	0	288.4	-4.3	613.7
82	0	288.4	-4.3	609.7
84	0	288.5	-4.3	605.2
86	0	288.3	-4.2	600.8
88	0	288.2	-4.2	598.0
90	0	289.6	-4.2	595.5
92	0	291.0	-4.2	594.1



**LINEA ST 2**  
**INDAGINE DI TOMOGRAFIA SISMICA**  
**ONDE P E SH**

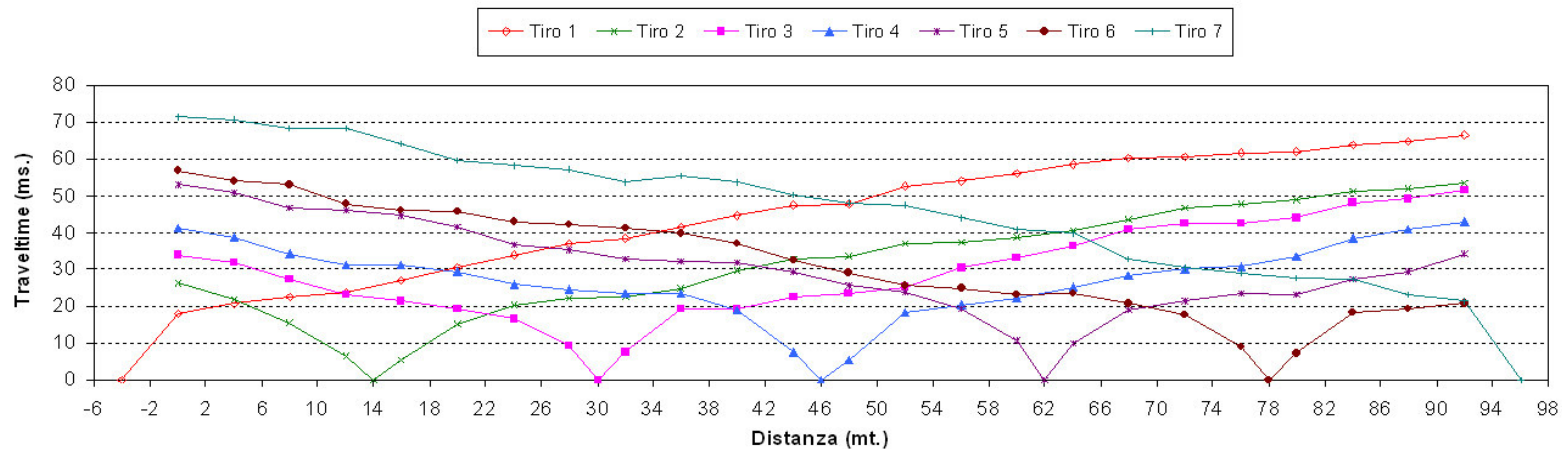
**SCHEMA DETTAGLIATO DELLA LINEA DI ACQUISIZIONE**

<b>Geofoni n.</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<b>Distanza progressiva (m)</b>	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92
<b>Distanza parziale (m)</b>	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
<b>Dislivello da S1 ( m.)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

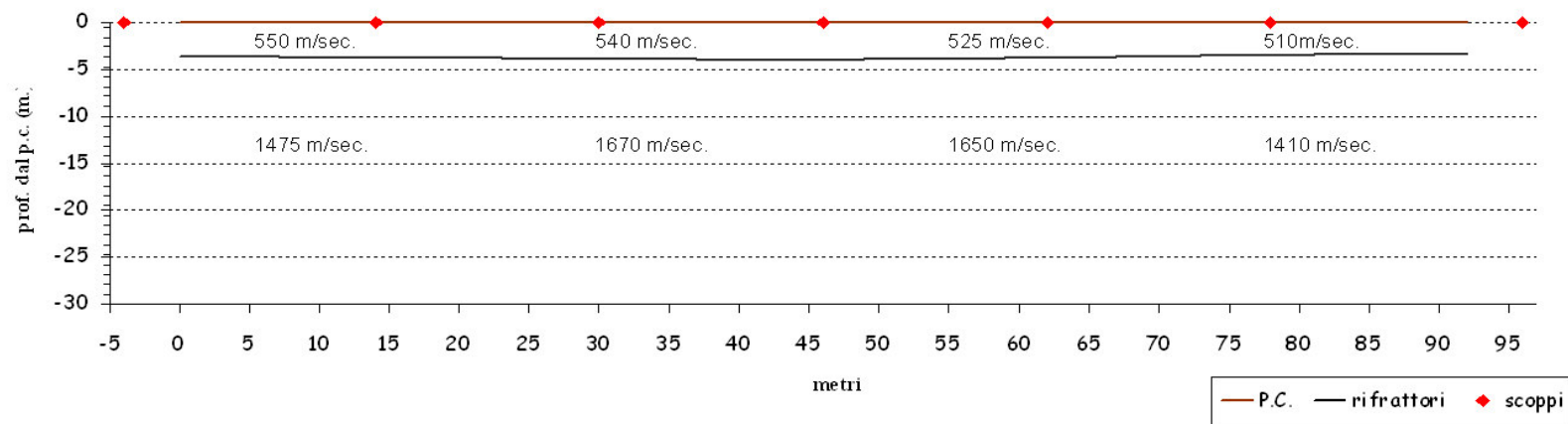
**PUNTI DI ENERGIZZAZIONE**

	<b>SCOPPIO 1</b>	<b>SCOPPIO 2</b>	<b>SCOPPIO 3</b>	<b>SCOPPIO 4</b>	<b>SCOPPIO 5</b>	<b>SCOPPIO 6</b>	<b>SCOPPIO 7</b>
<b>POSIZ. DAL GEOF. N 1 (m)</b>	-4,0	14.0	30.0	46.0	62.0	78.0	96.0
<b>DISLIVELLO RISPETTO A S1 (m)</b>	0	0	0	0	0	0	0

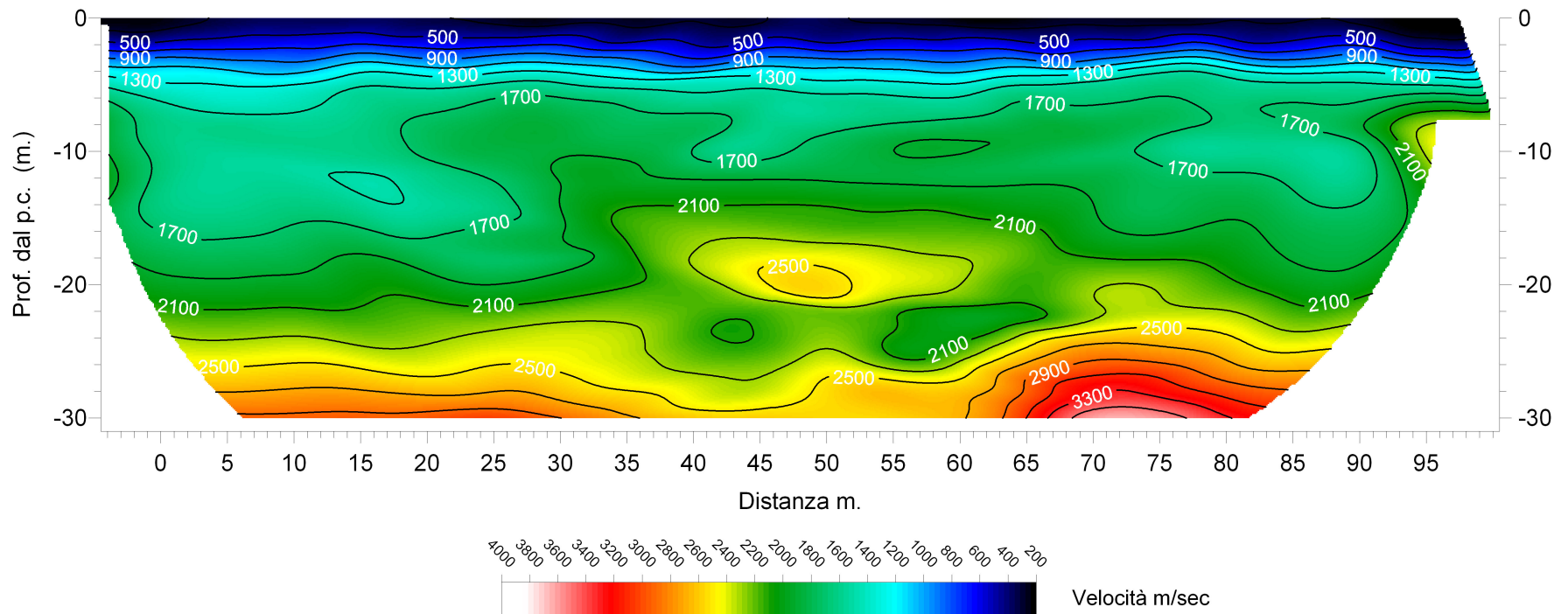
### LINEA ST 2 - DROMOCRONE ONDE P



### LINEA ST 2 – SEZ. SISMOSTRATIGRAFICA ONDE P



## Linea sismica ST02 - Tomografia sismica onde P

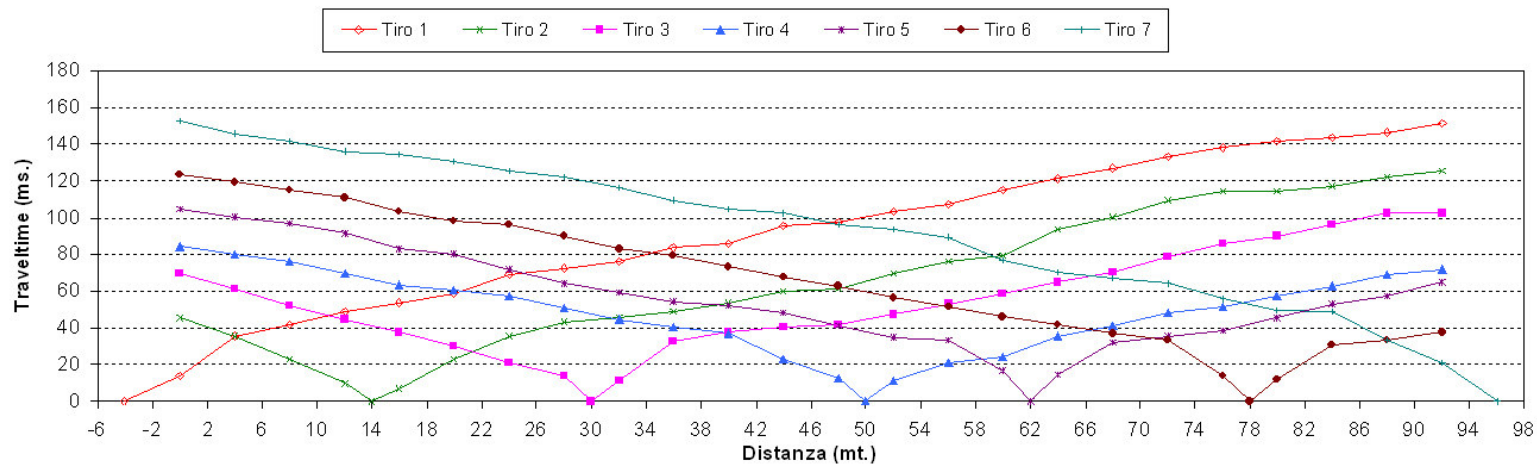




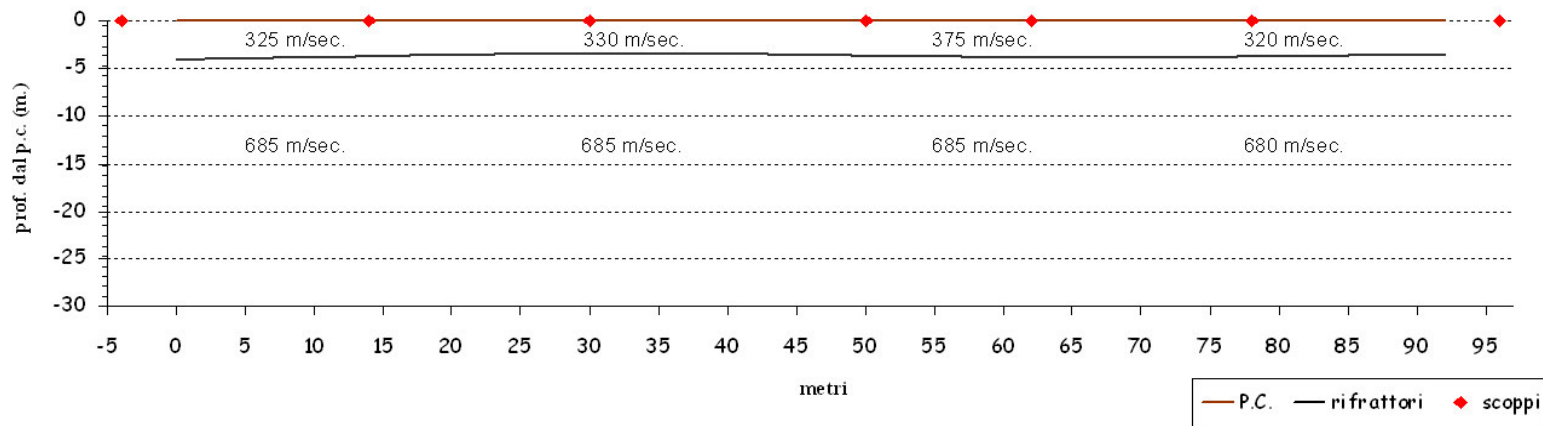
ST 2 - TABELLA VELOCITA' E SPESSORI ONDE P

Distanza dal geof. 1	Quota	V1 (metri/sec)	Profondità rifrattore 1	V2 (metri/sec)
0	0	553.1	-3.7	1435.4
2	0	551.9	-3.7	1435.5
4	0	550.6	-3.7	1436.2
6	0	550.0	-3.7	1441.7
8	0	549.5	-3.7	1449.0
10	0	548.7	-3.7	1458.1
12	0	547.9	-3.8	1467.7
14	0	548.1	-3.8	1478.3
16	0	548.3	-3.8	1492.1
18	0	549.3	-3.8	1507.9
20	0	550.3	-3.8	1526.7
22	0	551.1	-3.9	1545.9
24	0	551.9	-3.9	1566.4
26	0	551.2	-3.9	1588.3
28	0	550.4	-3.9	1609.3
30	0	548.4	-3.9	1629.1
32	0	546.4	-4.0	1651.1
34	0	543.4	-4.0	1672.8
36	0	540.3	-4.0	1691.7
38	0	537.0	-4.0	1708.8
40	0	533.7	-4.0	1721.3
42	0	530.0	-4.0	1729.8
44	0	526.4	-4.0	1734.8
46	0	523.9	-4.0	1735.7
48	0	521.5	-4.0	1732.2
50	0	520.5	-4.0	1725.2
52	0	519.5	-4.0	1715.5
54	0	520.2	-3.9	1707.2
56	0	520.9	-3.9	1693.7
58	0	522.0	-3.9	1675.5
60	0	523.1	-3.8	1653.4
62	0	524.1	-3.8	1628.9
64	0	525.2	-3.8	1605.3
66	0	525.2	-3.7	1580.3
68	0	525.2	-3.7	1554.4
70	0	523.6	-3.7	1529.3
72	0	522.1	-3.6	1506.2
74	0	519.3	-3.6	1482.0
76	0	516.5	-3.5	1460.0
78	0	513.6	-3.5	1440.2
80	0	510.8	-3.5	1421.9
82	0	508.2	-3.4	1407.1
84	0	505.6	-3.4	1396.0
86	0	503.5	-3.4	1388.0
88	0	501.3	-3.4	1380.8
90	0	500.7	-3.3	1374.0
92	0	500.1	-3.3	1369.9

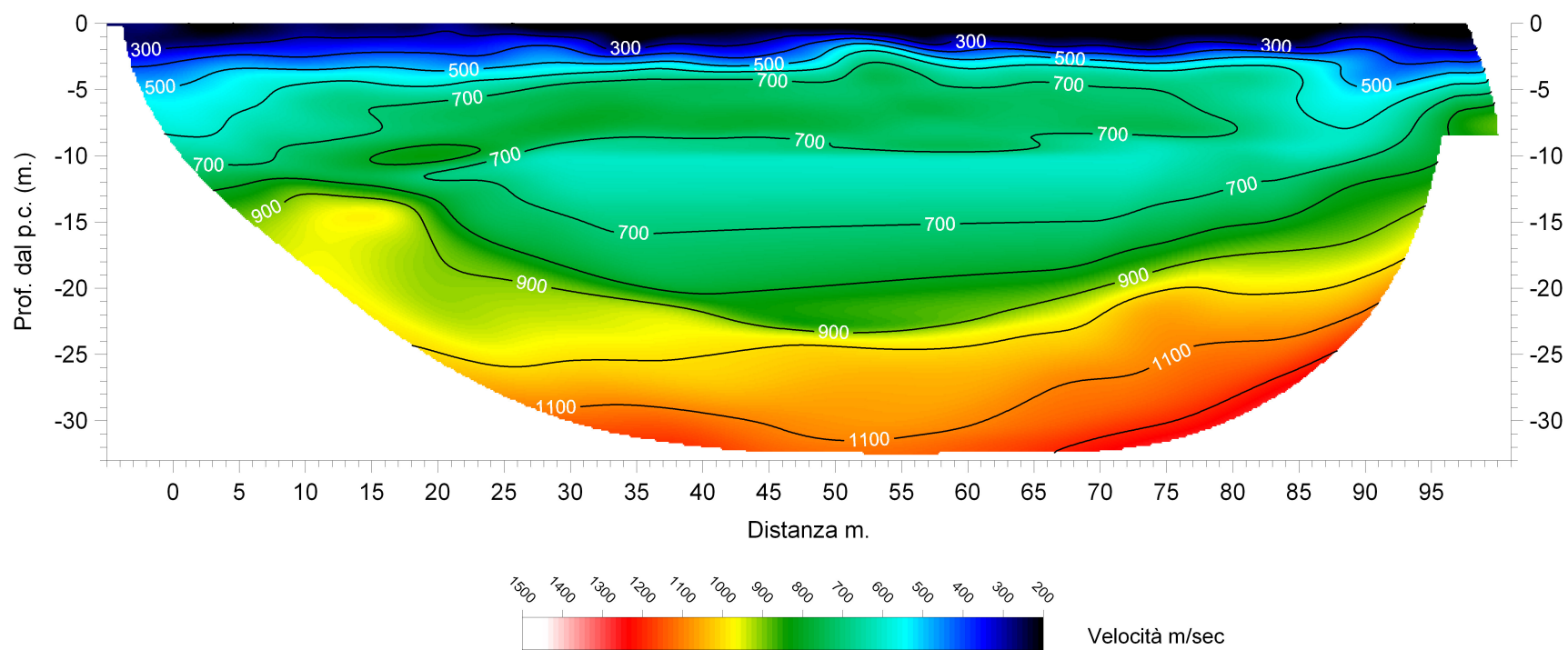
### LINEA ST 2 - DROMOCRONE ONDE SH



### LINEA ST 2 – SEZ. SISMOSTRATIGRAFICA ONDE SH



## Linea sismica ST02 - Tomografia sismica onde SH





## ST 2 - TABELLA VELOCITA' E SPESSORI ONDE SH

Distanza dal geof. 1	Quota	V1 (metri/sec)	Profondità rifrattore 1	V2 (metri/sec)
0	0	331.4	-4.1	693.7
2	0	332.4	-4.1	692.8
4	0	333.4	-4.0	692.3
6	0	331.3	-4.0	691.8
8	0	329.2	-3.9	689.9
10	0	328.4	-3.9	687.6
12	0	327.5	-3.8	686.0
14	0	325.4	-3.8	684.7
16	0	323.3	-3.7	684.0
18	0	322.0	-3.7	683.2
20	0	320.7	-3.6	682.2
22	0	317.6	-3.6	681.1
24	0	314.6	-3.6	681.0
26	0	316.3	-3.5	680.8
28	0	317.9	-3.5	680.6
30	0	319.1	-3.5	681.0
32	0	320.3	-3.5	681.9
34	0	323.0	-3.5	682.4
36	0	325.7	-3.5	682.6
38	0	331.9	-3.5	683.4
40	0	338.2	-3.5	684.2
42	0	343.2	-3.6	684.7
44	0	348.2	-3.6	685.4
46	0	354.3	-3.6	685.7
48	0	360.4	-3.7	685.4
50	0	365.8	-3.7	686.3
52	0	371.1	-3.8	686.8
54	0	376.5	-3.8	687.2
56	0	381.9	-3.8	687.7
58	0	383.4	-3.9	686.9
60	0	385.0	-3.9	686.3
62	0	380.9	-3.9	686.4
64	0	376.7	-3.9	686.4
66	0	374.7	-3.9	685.5
68	0	372.7	-3.9	685.1
70	0	365.9	-3.9	684.5
72	0	359.0	-3.9	683.3
74	0	348.1	-3.9	682.0
76	0	337.2	-3.8	681.5
78	0	330.3	-3.8	680.9
80	0	323.5	-3.8	679.9
82	0	317.0	-3.7	679.1
84	0	310.4	-3.7	678.5
86	0	302.6	-3.7	677.8
88	0	294.9	-3.6	677.5
90	0	290.1	-3.6	678.4
92	0	285.3	-3.6	679.0



P.E. 1059/09

COMUNE ROSIGNANO M.MO

PROVINCIA DI LIVORNO

**REALIZZAZIONE DI AMPLIAMENTO DELL'ISTITUTO SCOLASTICO  
"I.T.I. MATTEI" DI ROSIGNANO SOLVAY  
VIA DELLA REPUBBLICA**

**RELAZIONE GEOLOGICA  
(DM 14/01/2008 - NTC)**

COMMITTENZA: PROVINCIA DI LIVORNO

MAGGIO 2009

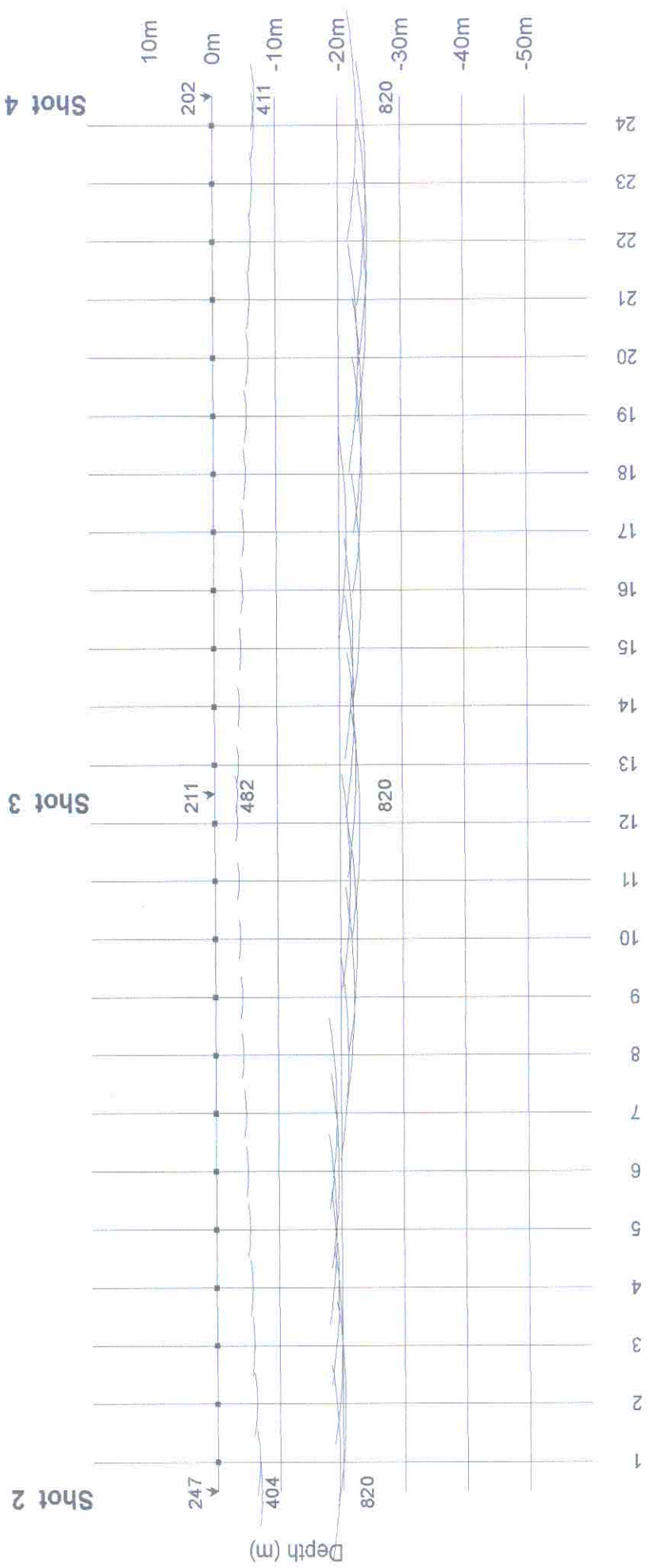
Dott. Geol. MONICA LAQUIDARA  
Via Vecchia Fiorentina, 254  
Loc. Montidone - Cascina (Pisa) - Cell. 339.3197224  
e-mail: monlaq@libero.it



# PROFILO SISMICO (metodo ABC)

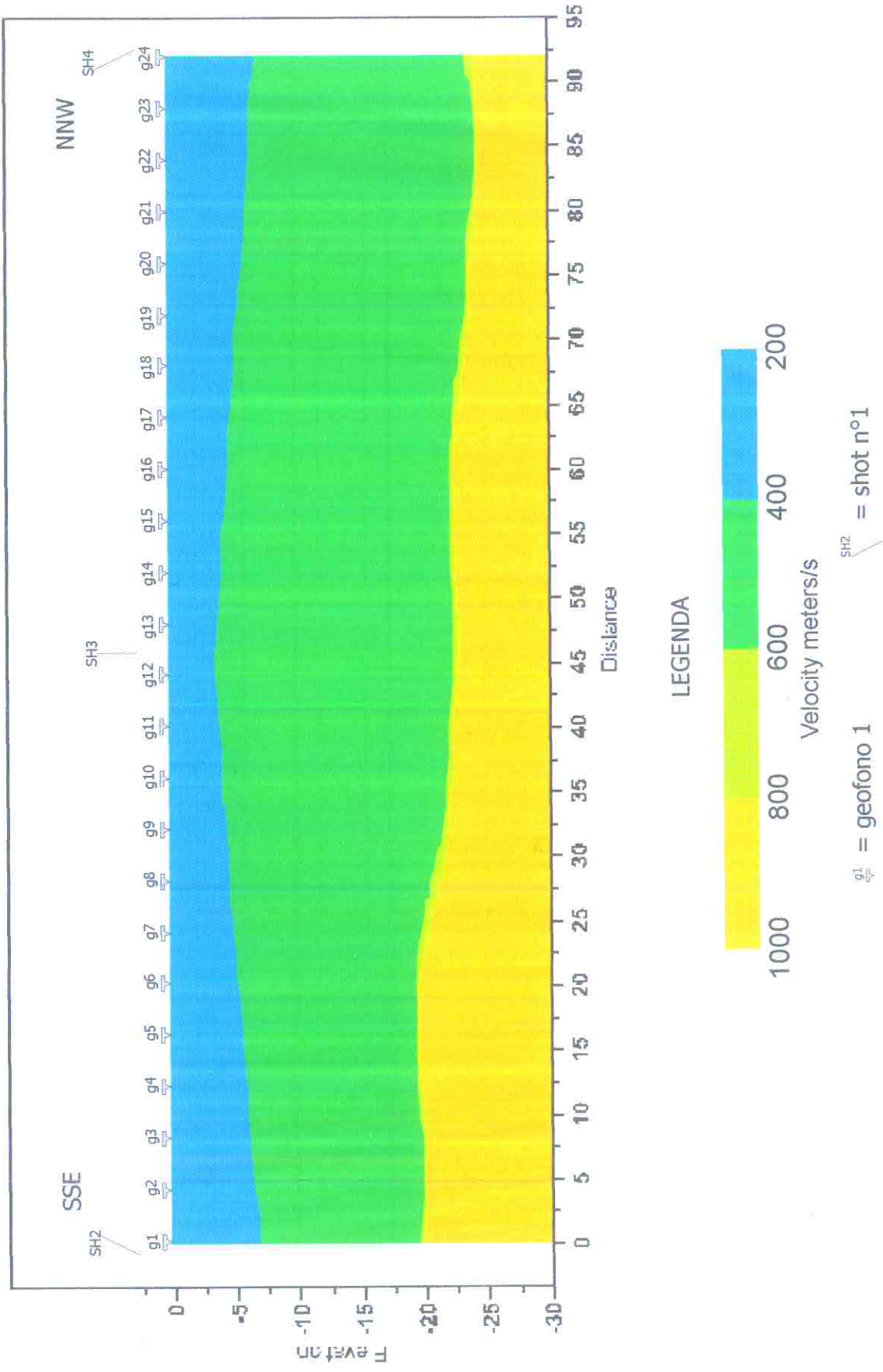
SSE

NNW



# SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA

(stesa ONDE Sh - metodo ABC)



**IGETECMA**s.a.s.  
 Istituto Sperimentale  
 Di Geotecnica e Tecnologie dei Materiali  
 Via di Ugnano, 41/b - Firenze  
 Tel. 055780705 - Fax 0557320415



**Prospezione Sismica a Rifrazione con onde P**

Committente: REGIONE TOSCANA  
 Dir. Gen. Politiche Territoriali e Ambientali  
 Area di Coordinamento Difesa del Suolo e Protezione della Natura  
 Settore Servizio Sismico Regionale

Località: Rosignano Solvay (LI)

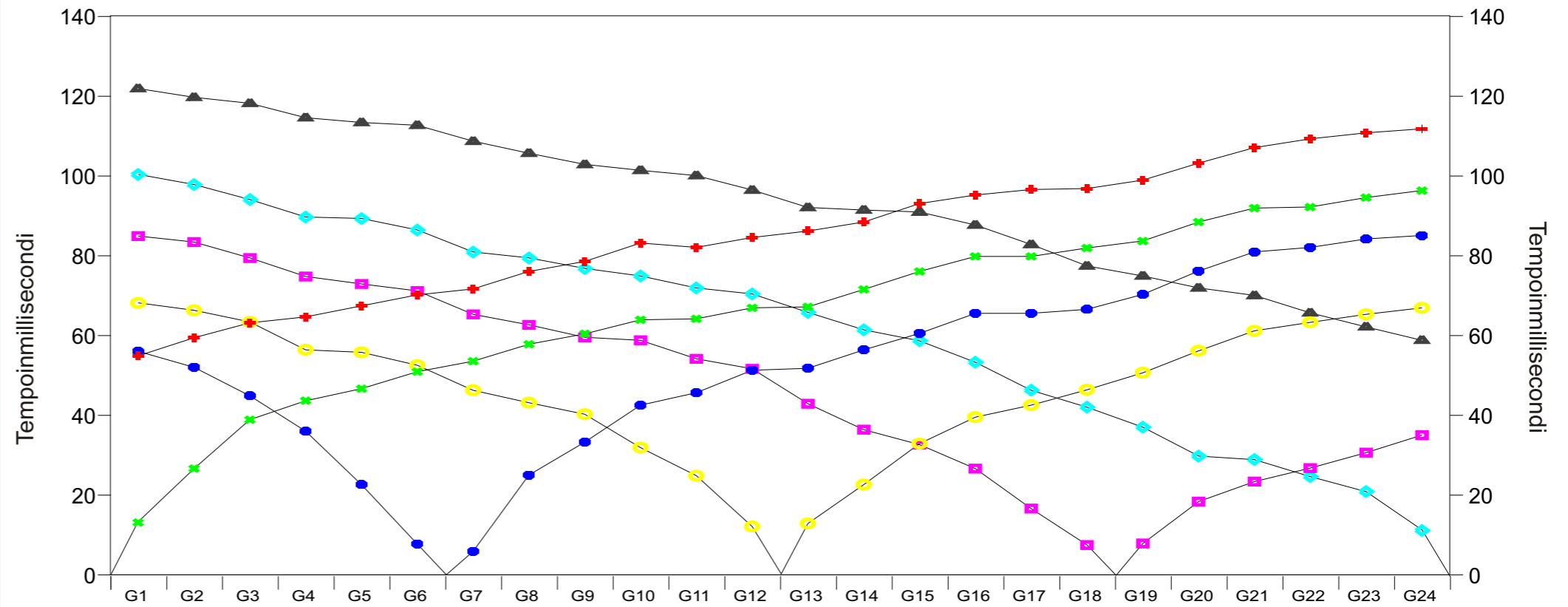
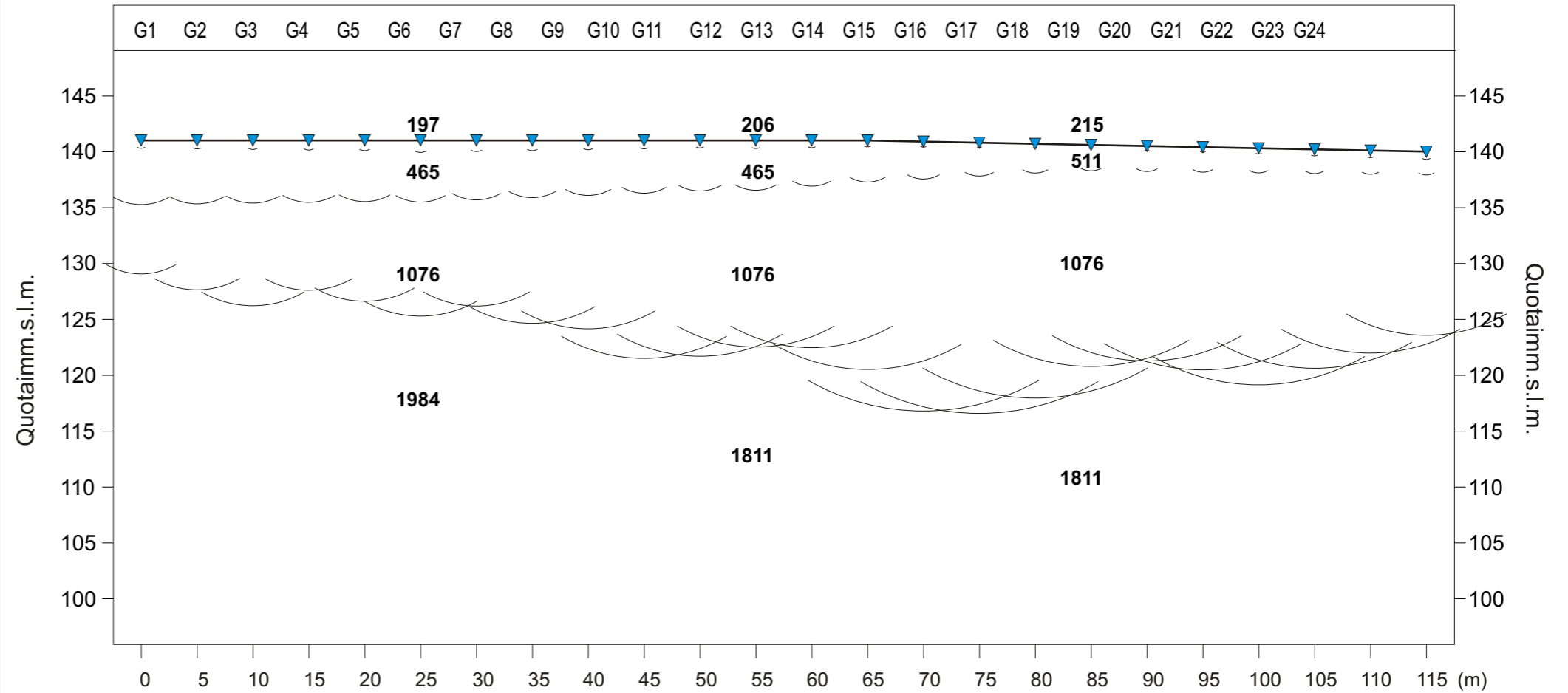
Linea: ST8

Legenda

Scala 1:500

- ▼ G1 Geofono
- Distanza dalla superficie topografica del limite di strato
- 1250 Velocità in m/sec.
- AE Esterno sinistro
- BE Estremo sinistro
- CI Intermedio sinistro
- DC Centrale
- EI Intermedio destro
- FE Estremo destro
- GE Esterno destro
- ☆ Puntodi energizzazione

Sezione Sismica



Geometria della linea





**IGETECMA** s.a.s.  
Istituto Sperimentale  
Di Geotecnica e Tecnologie dei Materiali  
Via di Ugnano, 41/b - Firenze  
Tel. 055780705-Fax 0557320415



## Prospezione Sismica a Rifrazione con onde SH

Committente: REGIONE TOSCANA  
Dir. Gen. Politiche Territoriali e Ambientali  
Area di Coordinamento Difesa del Suolo e Protezione della Natura  
Settore Servizio Sismico Regionale

Località: Rosignano Solvay (LI)

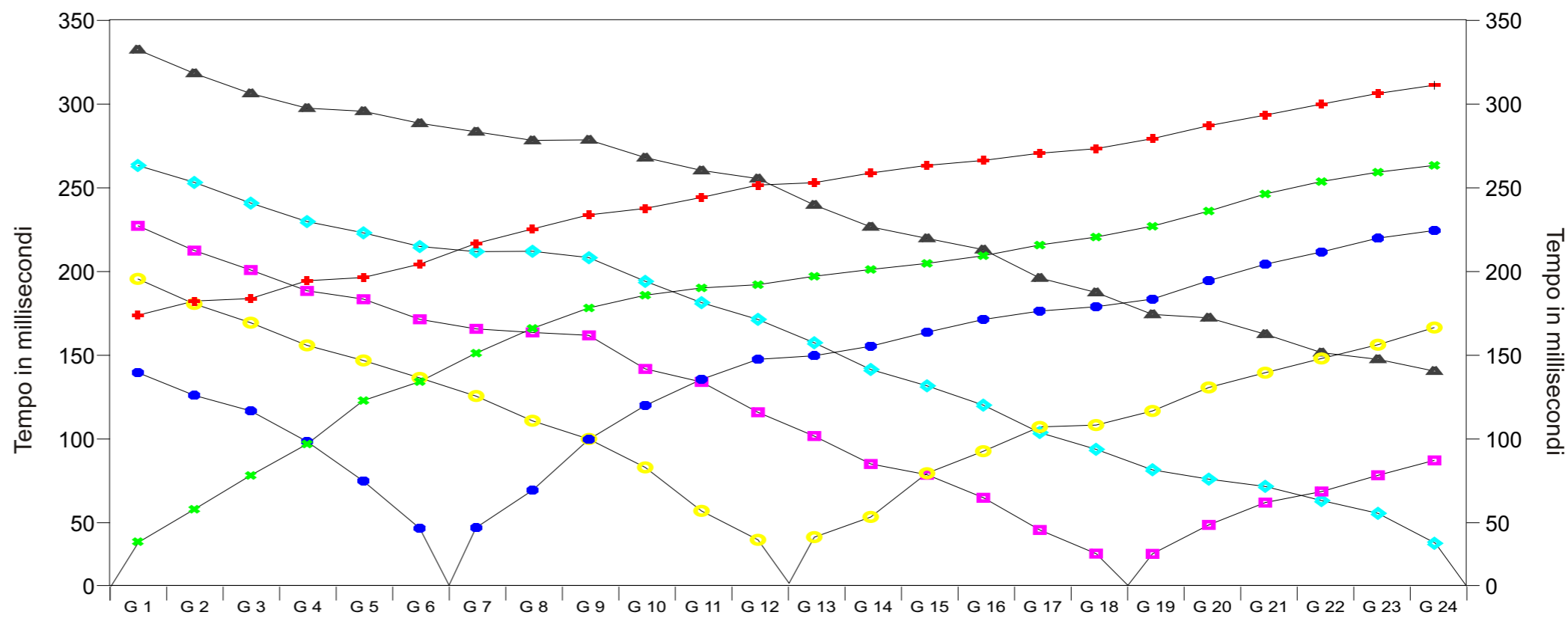
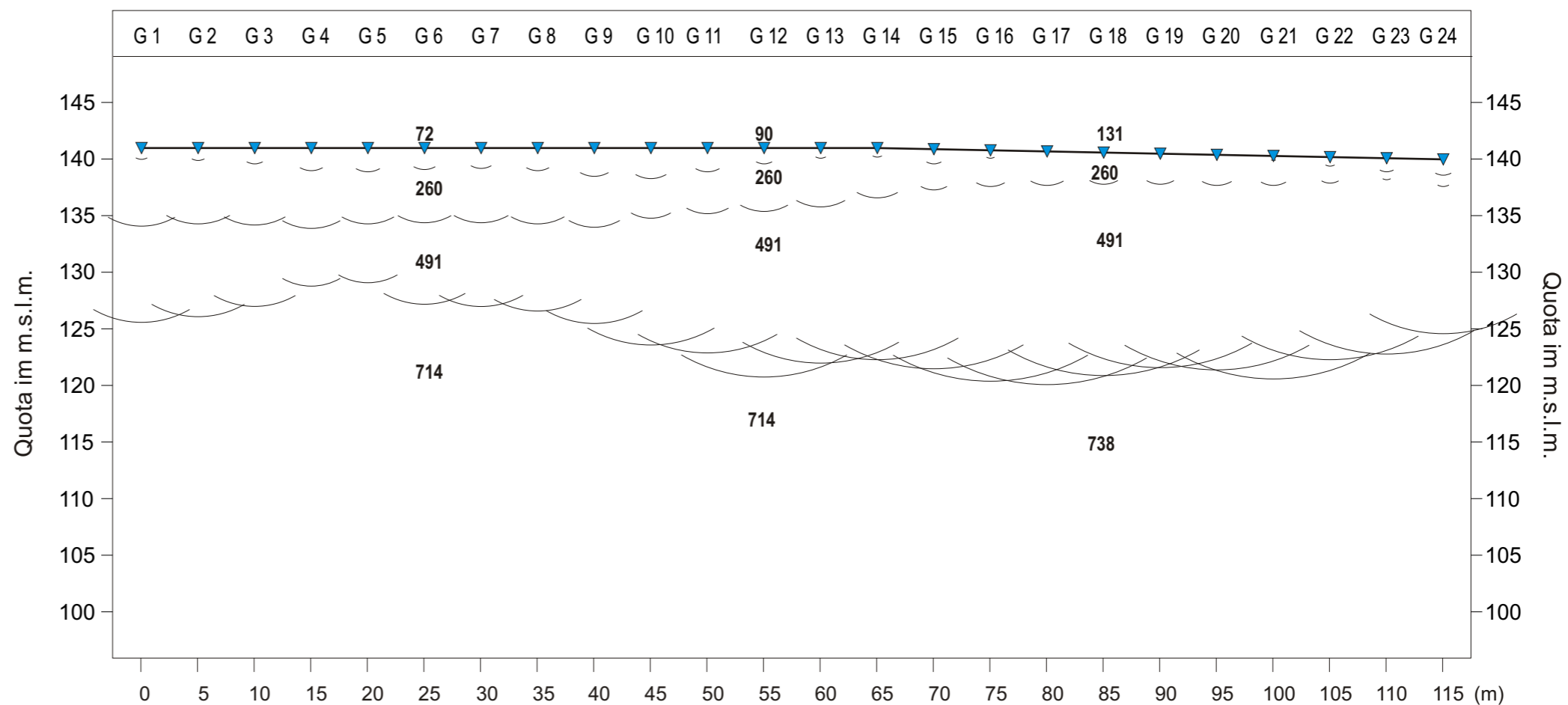
Linea: ST 8

### Legenda

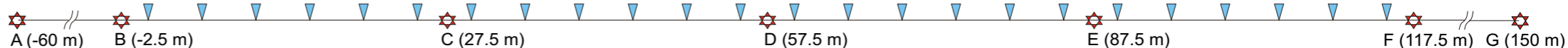
Scala 1:500

- ▼ G1 Geofono
- Distanza dalla superficie topografica del limite di strato
- 1250** Velocità in m/sec.
- + A Esterno sinistro
- \* B Estremo sinistro
- C Intermedio sinistro
- D Centrale
- E Intermedio destro
- ◆ F Estremo destro
- ▲ G Esterno destro
- ☆ Punto di energizzazione

### Sezione Sismica



### Geometria della linea





Dir. G. en. de lle Politiche Territoriali e Ambientali  
**Coordinamento regionale Prevenzione sismica**

COMMITTENTE: Regione Toscana  
 Ente finanziatore: Regione Toscana  
 DITTA ESECUTRICE: Igetecma s.a.s.

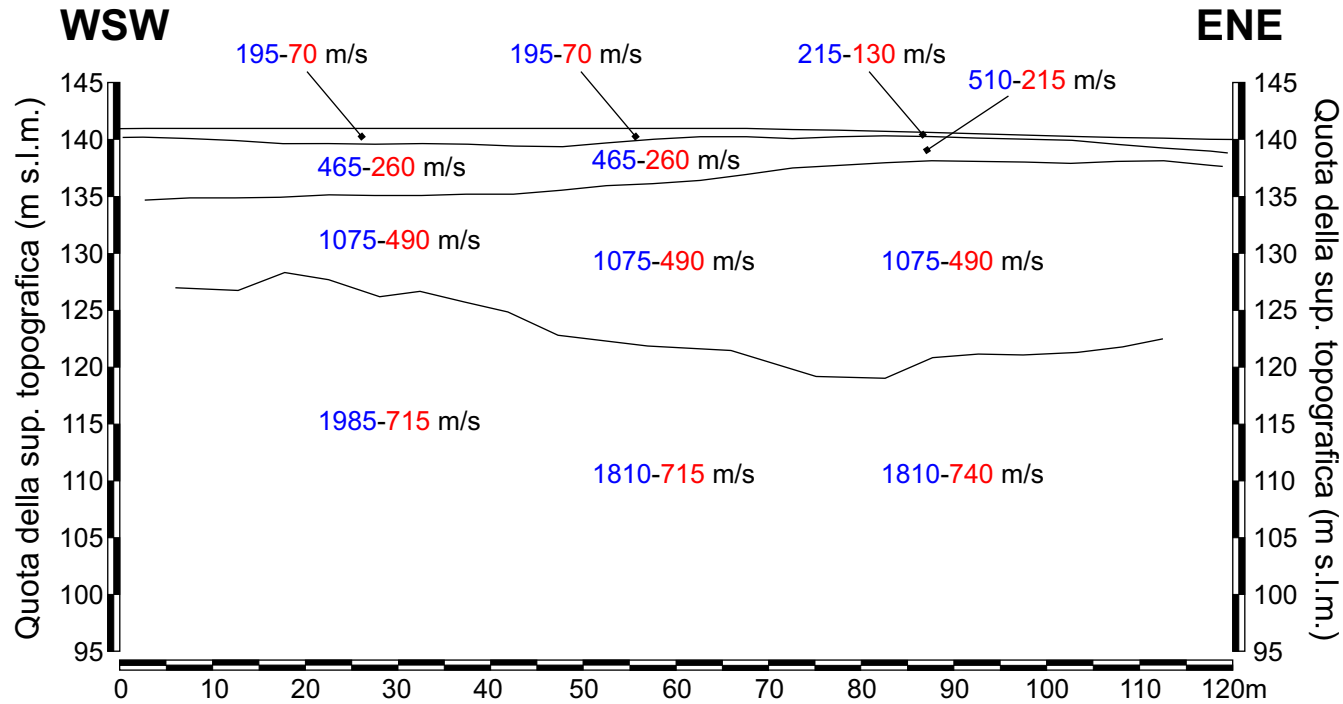
DATA CONSEGNA: novembre 2005  
 PROGRAMMA: DOCUP2000-2006

RIELABORAZIONE E REVISIONE DATI: Vittorio D'Intinosante (11/2008)  
 REVISIONE ESEGUITA: confermata dalla revisione fornita dalla Ditta



**UNIONE EUROPEA**

## STESASISMICA ARIFRAZIONES t8-ONDE P ed SH Rosignano Marittimo (LI)-Loc. Castelnuovo Ovest



Legenda

195 m/s Velocità sismica onde P in metri al secondo

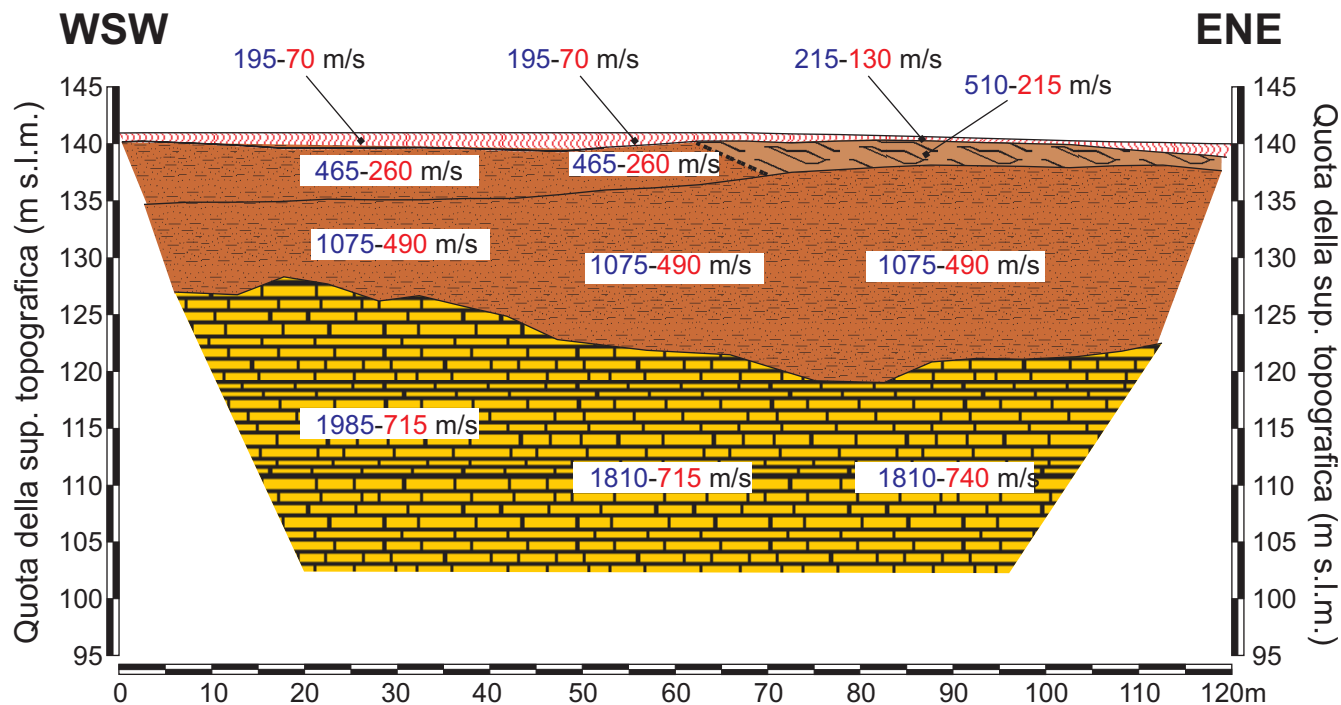
70 m/s Velocità sismica onde SH in metri al secondo

**NOTE:** L'elaborazione delle sismostratigrafie porta a due sezioni sismostratigrafiche, in onde P ed in onde SH, congruenti. Pertanto viene utilizzata un'unica sezione grafica, valida per entrambe le energizzazioni. Nella sezione vengono rappresentati i sismostrati individuati, indicandole rispettive velocità di propagazione delle onde P (in blu) e delle onde SH (in rosso).

**VALIDAZIONE DATI:** La ricostruzione della sezione, elaborata nella fase di omogeneizzazione, considerando il quadro geologico di riferimento, ha confermato, per quanto attiene alla sezione sismostratigrafica, la versione fornita dalla Ditta esecutrice dell'indagine. Pertanto, in questo caso si è provveduto soltanto all'omogeneizzazione del formato grafico della sezione.



## REVISIONE SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA St8 - onde P e SH Rosignano Marittimo (LI) - Loc. Castelnuovo Ovest



### Legenda

200 m/s Velocità sismica onde P in metri al secondo

110 m/s Velocità sismica onde SH in metri al secondo

--- Discontinuità stratigrafica

Terreno naturale areato (ar)

Tripoli di Paltratico (TRP= $m_5$ =ROS3) diatomiti, marne e marne-sabbiose

Formazione del Torrente Raquese (RAQ)

Calcare di Rosignano  
Membro dei Calcari di Castelnuovo (ROS5 =  $m_4$ )

**NOTE:** La caratterizzazione geometrica delle formazioni in termini di spessori risulta congruente con le informazioni geologiche dell'area desunte dal rilievo geologico. L'attribuzione litostratigrafica risulta coerente con i valori di velocità sismiche rilevati.

Il dato sismico discretizza quattro sismostrati, individuando così, al di sotto del terreno naturale e/o areato, tre facies sismiche; la prima con velocità delle onde di taglio molto basse (intorno ai 200-250m/sec) che potrebbe rappresentare la formazione di tripoli di Paltratico (TRP) e la parte più alterata della formazione del T. Raquese (RAQ) come da indicazioni desunte dalla carta geologica dell'area.

La seconda facies con velocità delle onde di taglio intorno ai 500m/sec potrebbe essere assimilata alla formazione del T. Raquese (RAQ) in condizioni sane, mentre la facies più profonda con velocità superiori ai 700m/sec potrebbe rappresentare il passaggio ai Calcari di Rosignano (ROS5) nel Membro dei Calcari di Castelnuovo.

Si evidenzia che il simbolismo grafico è solamente indicativo della natura litologica, ma non dell'effettiva giacitura.

# **INDAGINE GEOFISICA DI SISMICA A RIFRAZIONE**

**Committente: Comune di Rosignano Marittimo**

**Indagini geofisiche per la realizzazione di una condotta**

**Loc. Vada**

**Comune di Rosignano Marittimo**

**Poggibonsi 20/07/2009**



## Relazione Tecnica

### 1 - Premessa

In data 07/07/2009 su incarico del Comune di Rosignano Marittimo, è stata eseguita un'indagine Geofisica di Sismica a Rifrazione in località Vada presso il cimitero per la realizzazione di una condotta di sale.

L'obiettivo è stato determinare l'andamento delle velocità delle onde sismiche, desumendo il grado di consistenza dei terreni costituenti il sito in esame e possibilmente individuare eventuali superfici di separazione tra "materiale" con diverse caratteristiche fisico-meccaniche.

Inoltre è stata determinata la velocità media delle onde S nei primi trenta metri.

A tale scopo è stato eseguito uno stendimento di sismica a rifrazione in onde SH ubicato secondo lo schema presente in allegato.

### 2 - Metodologia di esecuzione delle indagini

La linea di sismica, è stata realizzata con un gruppo di 24 geofoni spaziati tra loro di 4 m.

Questa spaziatura geofonica ha permesso di realizzare una linea da 96 metri ed indagare in profondità per circa 30 metri con risoluzioni elevate. La linea di sismica è stata acquisita con onde di taglio SH.

### 3 - Caratteristiche delle apparecchiature e principi generali dell'indagine



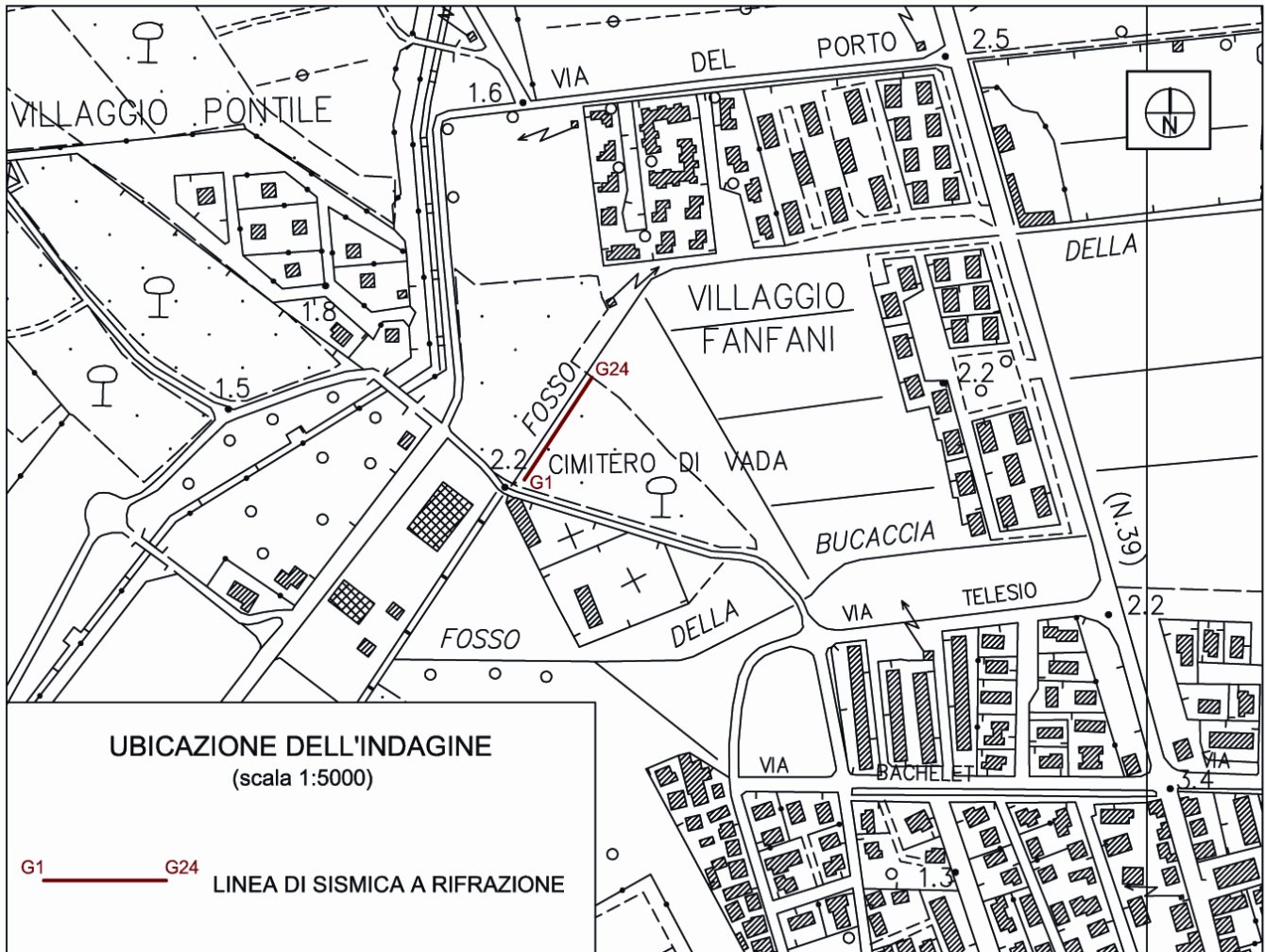
#### Modalità esecutive della prova.

L'indagine sismica consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in prossimità del sito da investigare, sollecitazioni dinamiche orizzontali per la generazione di onde di taglio (SH) e nel registrare le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e

prefissate mediante sensori a componente orizzontale.

L'interpretazione dei segnali rilevati e la conseguente stima del profilo di velocità delle onde sismiche, può scomporsi nelle seguenti fasi fondamentali.

- a) individuazione del primo arrivo sui sismogrammi registrati;
- b) ricostruzione delle relative dromocrone;
- c) interpretazione delle dromocrone con conseguente ricostruzione delle geometrie del sottosuolo ;



APPARECCHIATURA USATA E SCHEMA DELLA PROVA.

L'apparecchiatura utilizzata si compone delle seguenti parti:

- Sistema sorgente;
- Sistema di ricezione;
- Sistema di acquisizione dati;
- Trigger.

#### Sorgente onde SH:

La sorgente deve essere in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali, cioè con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di taglio polarizzate sul piano orizzontale.

Tale sorgente è costituita da un parallelepipedo di forma tale da poter essere colpita lateralmente ad entrambe le estremità con una massa pesante.

È importante che il parallelepipedo venga gravato di un carico statico addizionale in modo che possa rimanere aderente al terreno sia al momento in cui viene colpito sia successivamente, affinché l'energia prodotta non venga in parte dispersa. Con questo dispositivo è possibile generare essenzialmente delle onde elastiche di taglio polarizzate orizzontalmente, con uniformità sia nella direzione di propagazione che nella polarizzazione e con una generazione di onde P trascurabile.

L'accoppiamento parallelepipedo-terreno è fatto per "contatto" e non per "infrangimento".

I profili sismici a rifrazione sono realizzati energizzando ad intervalli regolari lungo stendimenti di sensori detti geofoni: ciascuno stendimento multicanale viene denominato base sismica.

I tiri esterni sono disposti in modo da ottenere un compromesso tra la necessità di avere due cromocroni (tempi di arrivo ai vari geofoni) corrispondenti all'orizzonte rifrattore più profondo, lo spazio disponibile, e la necessità di avere degli arrivi chiaramente leggibili, poiché l'attenuazione degli impulsi con la distanza è abbastanza pronunciata.

#### Sistema di ricezione:

Il sistema di ricezione è costituito da 24 geofoni a componente orizzontale per le onde SH, con frequenza propria di circa 10 Hz. Per l'acquisizione i geofoni sono accoppiati al terreno e posizionati verticalmente tramite il puntale di cui sono dotati.

#### Sistema di acquisizione dati:

Le registrazioni sono state acquisite mediante un sismografo digitale con 24 canali a 16 bit, si tratta di un sistema multicanale in grado di registrare su ciascun canale in modo digitale i segnali provenienti da ogni trasduttore di velocità (geofoni) a cui è collegato e conservarli su memoria di massa dinamica.

Le forme d'onda acquisite sono visualizzabili come tracce a partire dall'impulso inviato dal trigger nel computer portatile ad esso collegato e salvabili in forma numerica in modo definitivo.

Trigger:

Il trigger consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave o la mazza colpisce la base di battuta, consentendo 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'istante in cui la sorgente viene attivata e parte la sollecitazione dinamica.

### **Interpretazione dei profili sismici**

I tempi di arrivo delle onde letti in corrispondenza di ciascun geofono hanno permesso di ricostruire i diagrammi spazio-tempo, detti dromocrone. L'interpretazione delle dromocrone fatta attraverso il software Rayfract, ha permesso di definire un modello della stratigrafia del terreno basato sulle variazioni della velocità delle onde di taglio, inoltre con l'analisi del gradiente di velocità effettuata sulla sezione tomografica, è stato possibile evidenziare i principali passaggi stratigrafici e/o di consistenza.

### **Risultati:**

L'indagine geofisica di sismica a rifrazione svolta per conto del del Comune di Rosignano Marittimo, in località Vada per la realizzazione di una condotta di sale, ha permesso di caratterizzare dinamicamente le unità litologiche presenti nell'area, tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ), e la determinazione della geometria nel sottosuolo (spessori e superfici di contatto).

I dati acquisiti sono stati elaborati in tecnica tomografica, utilizzando il software Rayfract.

Sul profilo, che ha raggiunto la profondità di circa 33 m., l'elaborazione ha messo in evidenza una distribuzione delle velocità delle onde sismiche schematizzabile secondo due sismostrati.

Dalla sezione sismostratigrafica in onde SH, si osserva un livello superficiale, dello spessore variabile dai 2 ai 6 metri circa, con  $V_s$  media di circa 305 m/s.

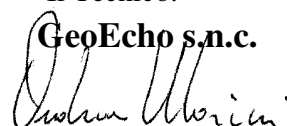
Il rifratore che segna il passaggio allo strato più profondo ha una velocità media di 415 m/s.

La  $V_{S/30}$  (velocità media delle onde di taglio nei 30 m. più superficiali) calcolata nel settore centrale del profilo è risultata pari a 480 m/s.

Secondo il D.M. 14/09/2005 (Norme tecniche per le costruzioni), possiamo classificare il terreno di fondazione in CATEGORIA B ( $360 \text{ m/s} < V_{S/30} < 800 \text{ m/s}$ ).

Il Tecnico:

**GeoEcho s.n.c.**



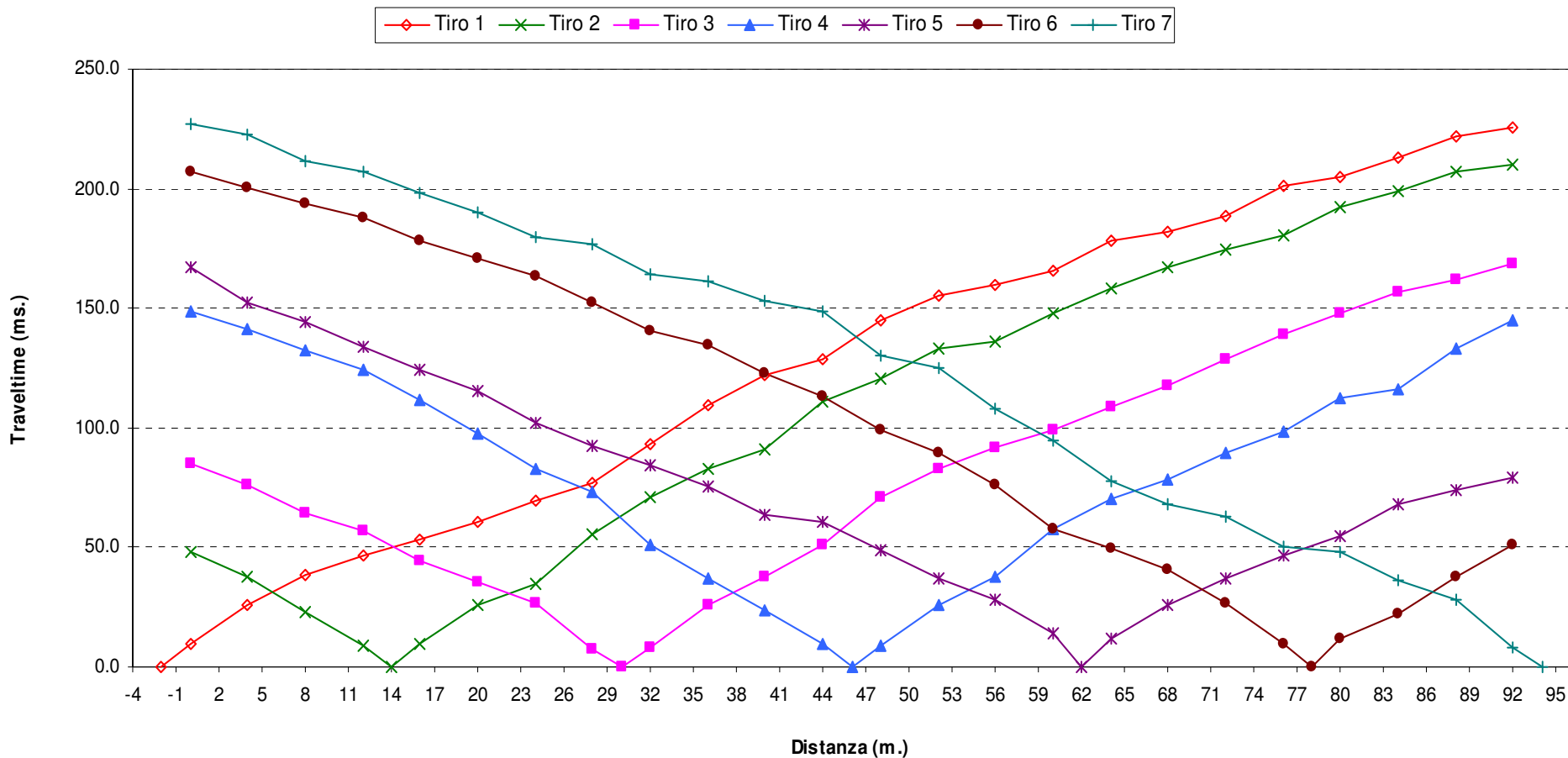
**INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE - ONDE SH  
SCHEMA DETTAGLIATO DELLA LINEA DI ACQUISIZIONE**

Geofoni n.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Distanza progressiva (m)	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92
Distanza parziale (m)	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Quote geof. (m)	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2

**PUNTI DI ENERGIZZAZIONE ONDE SH**

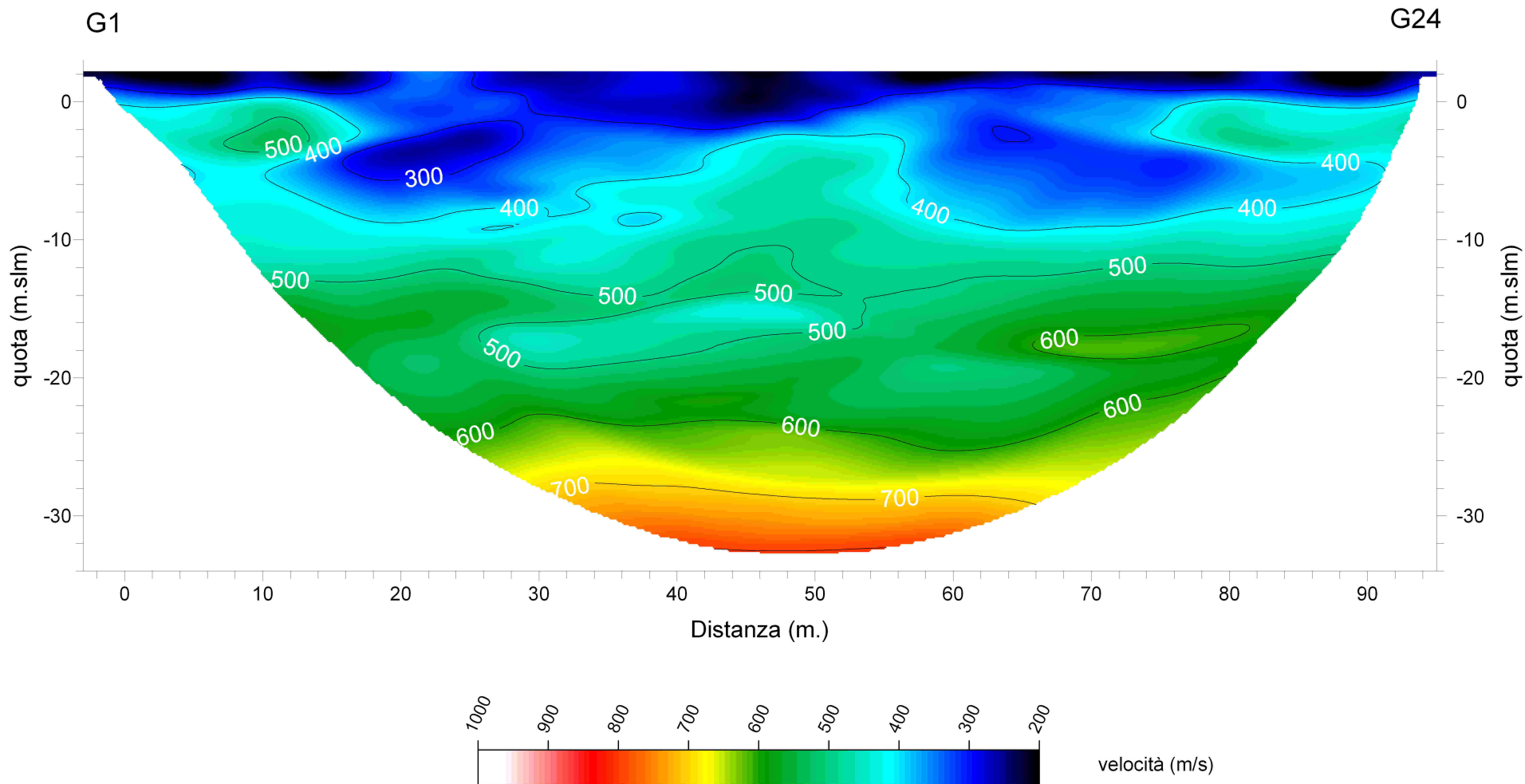
	SCOPPIO 1	SCOPPIO 2	SCOPPIO 3	SCOPPIO 4	SCOPPIO 5	SCOPPIO 6	SCOPPIO 7
POSIZ. DAL GEOF. N 1 (m)	-2,0	14,0	30,0	46,0	62,0	78,0	94,0
QUOTA (m s.l.m.)	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2

## DROMOCRONE - ONDE SH





# Tomografia sismica onde SH



### SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA - ONDE SH

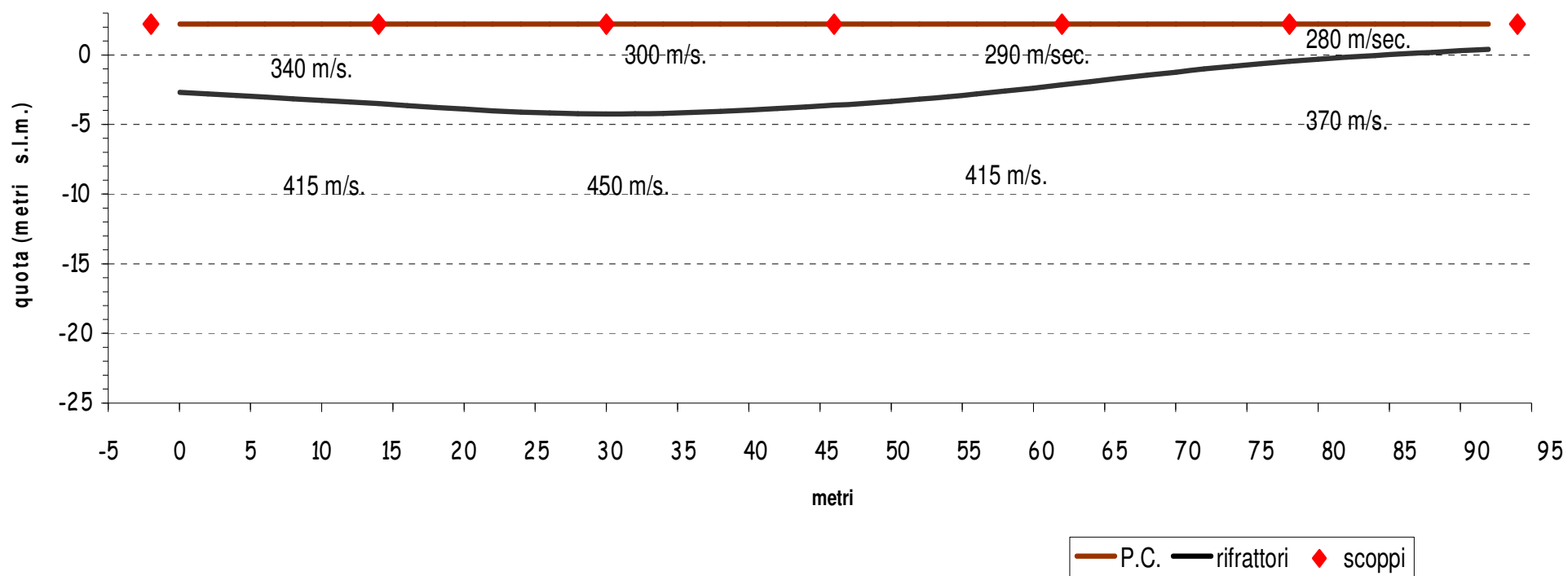




TABELLA VELOCITA' E SPESSORI ONDE SH

Distanza dal geof. 1	Quota (metri s.l.m.)	V1 vel. 1° strato (metri/sec)	profondità rifrattore 1	V2 vel. rifrattore 1 (metri/sec)
0	2.2	347	4.9	386
2	2.2	347	5.0	389
4	2.2	348	5.1	395
6	2.2	348	5.2	401
8	2.2	347	5.3	407
10	2.2	345	5.5	413
12	2.2	343	5.6	418
14	2.2	339	5.7	423
16	2.2	336	5.8	427
18	2.2	331	6.0	431
20	2.2	327	6.1	435
22	2.2	321	6.2	439
24	2.2	315	6.3	443
26	2.2	311	6.4	445
28	2.2	307	6.4	447
30	2.2	306	6.4	449
32	2.2	304	6.4	451
34	2.2	304	6.4	453
36	2.2	303	6.3	455
38	2.2	301	6.3	457
40	2.2	298	6.2	457
42	2.2	298	6.1	457
44	2.2	297	5.9	454
46	2.2	298	5.8	449
48	2.2	298	5.7	443
50	2.2	297	5.5	437
52	2.2	296	5.4	431
54	2.2	294	5.2	426
56	2.2	293	5.0	421
58	2.2	293	4.8	415
60	2.2	293	4.6	409
62	2.2	292	4.4	405
64	2.2	292	4.1	401
66	2.2	290	3.9	397
68	2.2	289	3.7	393
70	2.2	288	3.4	390
72	2.2	286	3.2	386
74	2.2	285	3.0	383
76	2.2	283	2.8	378
78	2.2	283	2.7	374
80	2.2	284	2.5	369
82	2.2	284	2.4	366
84	2.2	285	2.2	362
86	2.2	285	2.1	359
88	2.2	286	2.0	357
90	2.2	286	1.9	355
92	2.2	286	1.8	353

# **INDAGINE GEOFISICA DI SISMICA A RIFRAZIONE**

**Committente: Comune di Rosignano Marittimo**

**Indagini geofisiche per la realizzazione di una condotta**

**Loc. Vada**

**Comune di Rosignano Marittimo**

**Poggibonsi 20/07/2009**

## Relazione Tecnica

### 1 - Premessa

In data 07/07/2009 su incarico del Comune di Rosignano Marittimo, è stata eseguita un'indagine Geofisica di Sismica a Rifrazione in località Vada presso il cimitero per la realizzazione di una condotta di sale.

L'obiettivo è stato determinare l'andamento delle velocità delle onde sismiche, desumendo il grado di consistenza dei terreni costituenti il sito in esame e possibilmente individuare eventuali superfici di separazione tra "materiale" con diverse caratteristiche fisico-meccaniche.

Inoltre è stata determinata la velocità media delle onde S nei primi trenta metri.

A tale scopo è stato eseguito uno stendimento di sismica a rifrazione in onde SH ubicato secondo lo schema presente in allegato.

### 2 - Metodologia di esecuzione delle indagini

La linea di sismica, è stata realizzata con un gruppo di 24 geofoni spazati tra loro di 4 m.

Questa spaziatura geofonica ha permesso di realizzare una linea da 96 metri ed indagare in profondità per circa 30 metri con risoluzioni elevate. La linea di sismica è stata acquisita con onde di taglio SH.

### 3 - Caratteristiche delle apparecchiature e principi generali dell'indagine



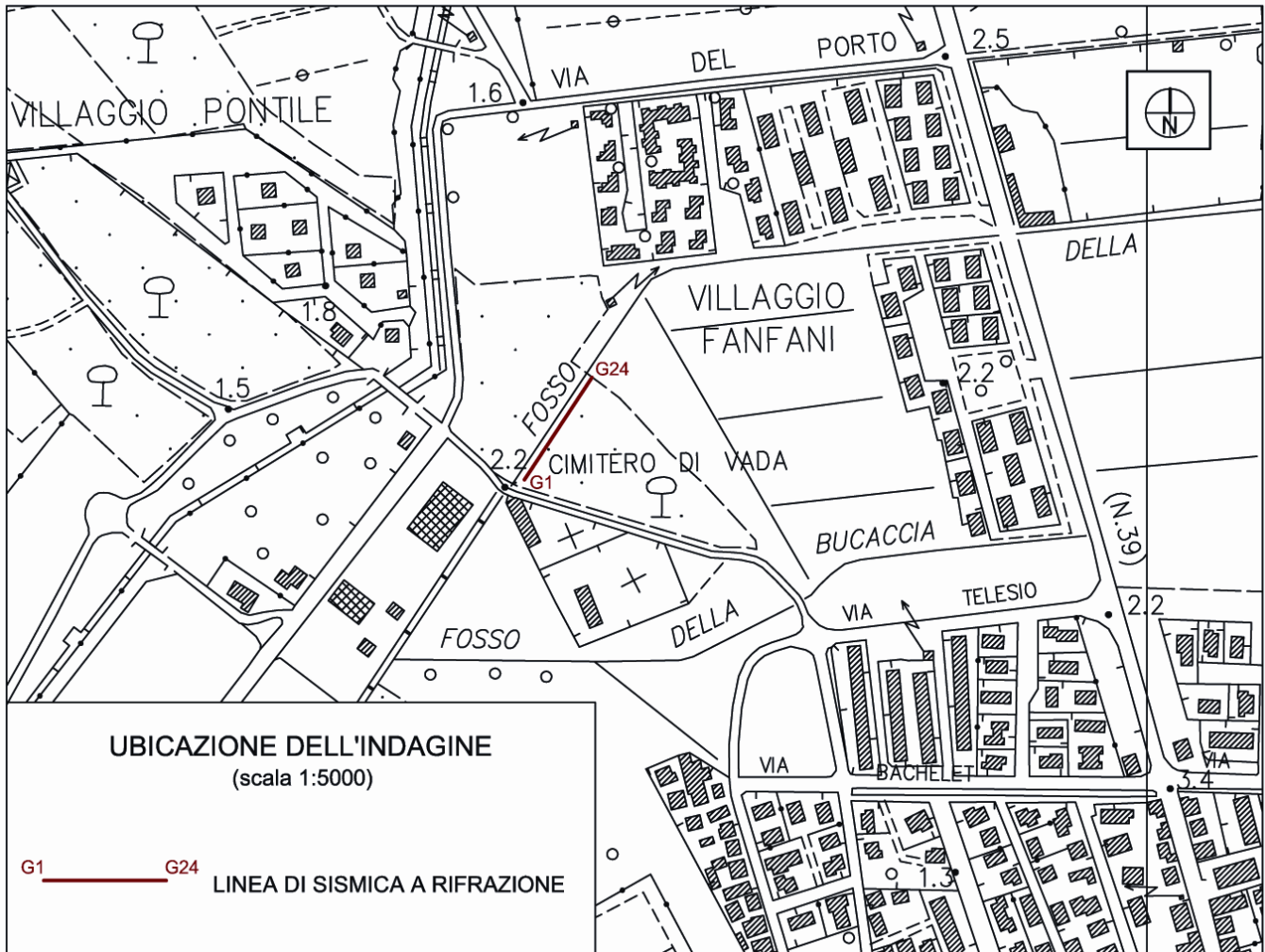
#### Modalità esecutive della prova.

L'indagine sismica consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in prossimità del sito da investigare, sollecitazioni dinamiche orizzontali per la generazione di onde di taglio (SH) e nel registrare le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e

prefissate mediante sensori a componente orizzontale.

L'interpretazione dei segnali rilevati e la conseguente stima del profilo di velocità delle onde sismiche, può scomporsi nelle seguenti fasi fondamentali.

- a) individuazione del primo arrivo sui sismogrammi registrati;
- b) ricostruzione delle relative dromocrone;
- c) interpretazione delle dromocrone con conseguente ricostruzione delle geometrie del sottosuolo ;



APPARECCHIATURA USATA E SCHEMA DELLA PROVA.

L'apparecchiatura utilizzata si compone delle seguenti parti:

- Sistema sorgente;
- Sistema di ricezione;
- Sistema di acquisizione dati;
- Trigger.

#### Sorgente onde SH:

La sorgente deve essere in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali, cioè con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di taglio polarizzate sul piano orizzontale.

Tale sorgente è costituita da un parallelepipedo di forma tale da poter essere colpita lateralmente ad entrambe le estremità con una massa pesante.

È importante che il parallelepipedo venga gravato di un carico statico addizionale in modo che possa rimanere aderente al terreno sia al momento in cui viene colpito sia successivamente, affinché l'energia prodotta non venga in parte dispersa. Con questo dispositivo è possibile generare essenzialmente delle onde elastiche di taglio polarizzate orizzontalmente, con uniformità sia nella direzione di propagazione che nella polarizzazione e con una generazione di onde P trascurabile.

L'accoppiamento parallelepipedo-terreno è fatto per "contatto" e non per "infrangimento".

I profili sismici a rifrazione sono realizzati energizzando ad intervalli regolari lungo stendimenti di sensori detti geofoni: ciascuno stendimento multicanale viene denominato base sismica.

I tiri esterni sono disposti in modo da ottenere un compromesso tra la necessità di avere due cromocroni (tempi di arrivo ai vari geofoni) corrispondenti all'orizzonte rifrattore più profondo, lo spazio disponibile, e la necessità di avere degli arrivi chiaramente leggibili, poiché l'attenuazione degli impulsi con la distanza è abbastanza pronunciata.

#### Sistema di ricezione:

Il sistema di ricezione è costituito da 24 geofoni a componente orizzontale per le onde SH, con frequenza propria di circa 10 Hz. Per l'acquisizione i geofoni sono accoppiati al terreno e posizionati verticalmente tramite il puntale di cui sono dotati.

#### Sistema di acquisizione dati:

Le registrazioni sono state acquisite mediante un sismografo digitale con 24 canali a 16 bit, si tratta di un sistema multicanale in grado di registrare su ciascun canale in modo digitale i segnali provenienti da ogni trasduttore di velocità (geofoni) a cui è collegato e conservarli su memoria di massa dinamica.

Le forme d'onda acquisite sono visualizzabili come tracce a partire dall'impulso inviato dal trigger nel computer portatile ad esso collegato e salvabili in forma numerica in modo definitivo.

Trigger:

Il trigger consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nel momento in cui il grave o la mazza colpisce la base di battuta, consentendo 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'istante in cui la sorgente viene attivata e parte la sollecitazione dinamica.

### **Interpretazione dei profili sismici**

I tempi di arrivo delle onde letti in corrispondenza di ciascun geofono hanno permesso di ricostruire i diagrammi spazio-tempo, detti dromocrone. L'interpretazione delle dromocrone fatta attraverso il software Rayfract, ha permesso di definire un modello della stratigrafia del terreno basato sulle variazioni della velocità delle onde di taglio, inoltre con l'analisi del gradiente di velocità effettuata sulla sezione tomografica, è stato possibile evidenziare i principali passaggi stratigrafici e/o di consistenza.

### **Risultati:**

L'indagine geofisica di sismica a rifrazione svolta per conto del Comune di Rosignano Marittimo, in località Vada per la realizzazione di una condotta di sale, ha permesso di caratterizzare dinamicamente le unità litologiche presenti nell'area, tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ), e la determinazione della geometria nel sottosuolo (spessori e superfici di contatto).

I dati acquisiti sono stati elaborati in tecnica tomografica, utilizzando il software Rayfract.

Sul profilo, che ha raggiunto la profondità di circa 33 m., l'elaborazione ha messo in evidenza una distribuzione delle velocità delle onde sismiche schematizzabile secondo due sismostrati.

Dalla sezione sismostratigrafica in onde SH, si osserva un livello superficiale, dello spessore variabile dai 2 ai 6 metri circa, con  $V_s$  media di circa 305 m/s.

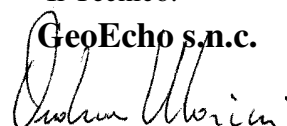
Il rifratore che segna il passaggio allo strato più profondo ha una velocità media di 415 m/s.

La  $V_{S/30}$  (velocità media delle onde di taglio nei 30 m. più superficiali) calcolata nel settore centrale del profilo è risultata pari a 480 m/s.

Secondo il D.M. 14/09/2005 (Norme tecniche per le costruzioni), possiamo classificare il terreno di fondazione in CATEGORIA B ( $360 \text{ m/s} < V_{S/30} < 800 \text{ m/s}$ ).

Il Tecnico:

**GeoEcho s.n.c.**





**INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE - ONDE SH  
SCHEMA DETTAGLIATO DELLA LINEA DI ACQUISIZIONE**

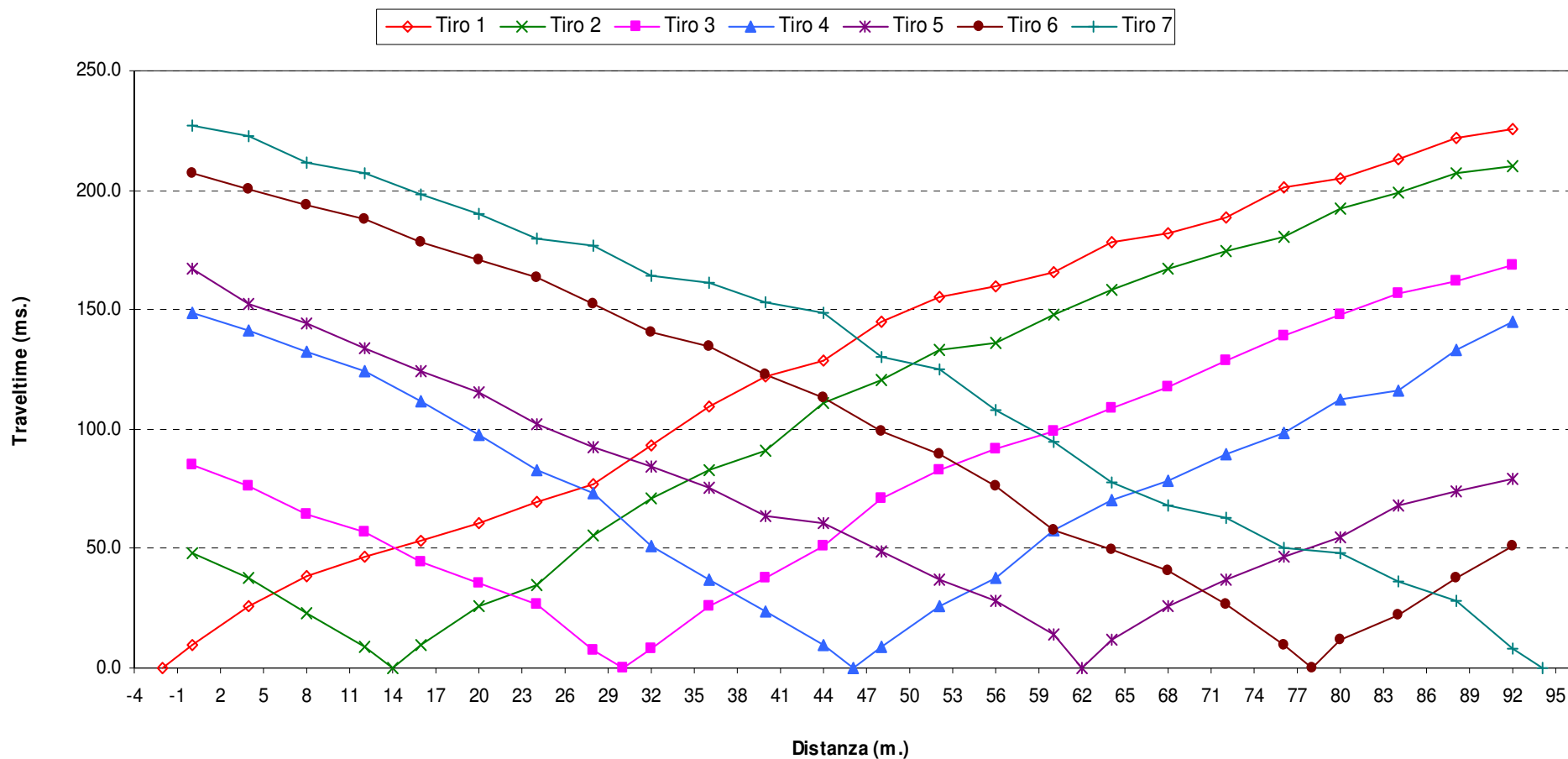
Geofoni n.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Distanza progressiva (m)	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92
Distanza parziale (m)	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Quote geof. (m)	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2

**PUNTI DI ENERGIZZAZIONE ONDE SH**

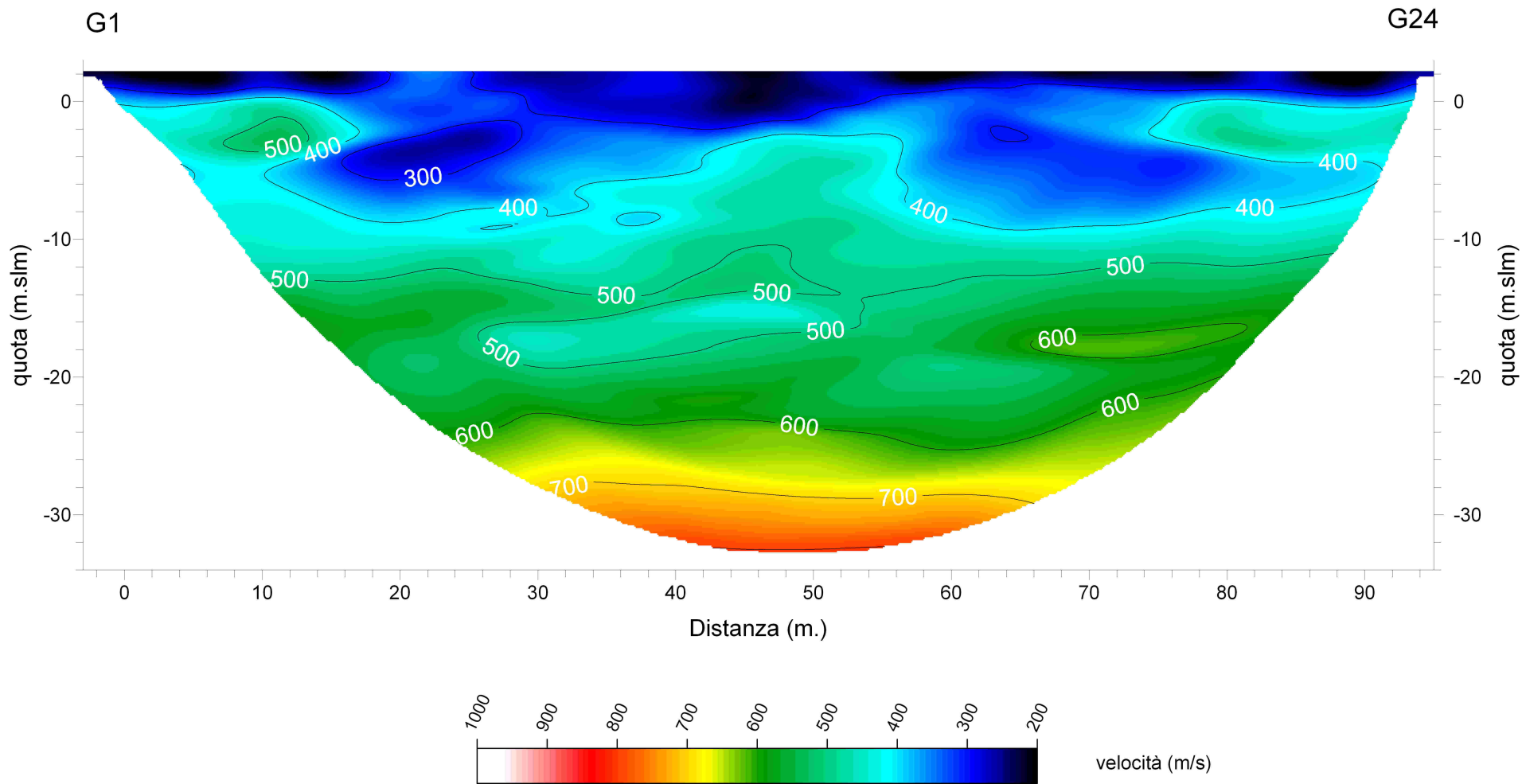
	SCOPPIO 1	SCOPPIO 2	SCOPPIO 3	SCOPPIO 4	SCOPPIO 5	SCOPPIO 6	SCOPPIO 7
POSIZ. DAL GEOF. N 1 (m)	-2,0	14,0	30,0	46,0	62,0	78,0	94,0
QUOTA (m s.l.m.)	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2



## DROMOCRONE - ONDE SH



# Tomografia sismica onde SH



### SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA - ONDE SH

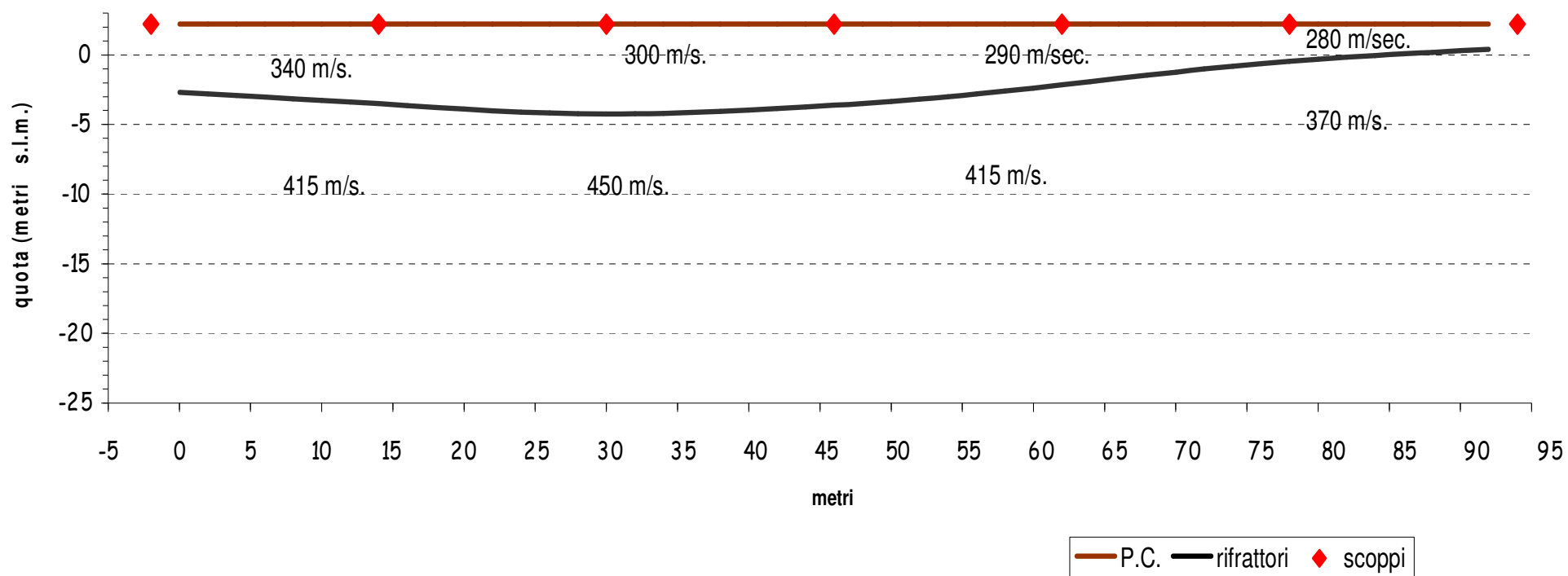


TABELLA VELOCITA' E SPESSORI ONDE SH

Distanza dal geof. 1	Quota (metri s.l.m.)	V1 vel. 1° strato (metri/sec)	profondità rifrattore 1	V2 vel. rifrattore 1 (metri/sec)
0	2.2	347	4.9	386
2	2.2	347	5.0	389
4	2.2	348	5.1	395
6	2.2	348	5.2	401
8	2.2	347	5.3	407
10	2.2	345	5.5	413
12	2.2	343	5.6	418
14	2.2	339	5.7	423
16	2.2	336	5.8	427
18	2.2	331	6.0	431
20	2.2	327	6.1	435
22	2.2	321	6.2	439
24	2.2	315	6.3	443
26	2.2	311	6.4	445
28	2.2	307	6.4	447
30	2.2	306	6.4	449
32	2.2	304	6.4	451
34	2.2	304	6.4	453
36	2.2	303	6.3	455
38	2.2	301	6.3	457
40	2.2	298	6.2	457
42	2.2	298	6.1	457
44	2.2	297	5.9	454
46	2.2	298	5.8	449
48	2.2	298	5.7	443
50	2.2	297	5.5	437
52	2.2	296	5.4	431
54	2.2	294	5.2	426
56	2.2	293	5.0	421
58	2.2	293	4.8	415
60	2.2	293	4.6	409
62	2.2	292	4.4	405
64	2.2	292	4.1	401
66	2.2	290	3.9	397
68	2.2	289	3.7	393
70	2.2	288	3.4	390
72	2.2	286	3.2	386
74	2.2	285	3.0	383
76	2.2	283	2.8	378
78	2.2	283	2.7	374
80	2.2	284	2.5	369
82	2.2	284	2.4	366
84	2.2	285	2.2	362
86	2.2	285	2.1	359
88	2.2	286	2.0	357
90	2.2	286	1.9	355
92	2.2	286	1.8	353



**IGETECMA**s.a.s.  
IstitutoSperimentale  
DiGeotecnicaeTecnologiadeiMateriali  
ViadiUgnano,41/b-Firenze  
Tel.055780705-Fax0557320415



**ProspezioneSismicaaRifrazione  
conondeP**

Committente: REGIONETOSCANA  
Dir.Gen.PoliticheTerritorialiAmbientali  
AreadiCoordinamentoDifesaDelSuolo  
ProtezionedellaNatura  
SettoreServizioSismicoRegionale

Località:RosignanoSolvay(LI)

Linea:ST10

Legenda

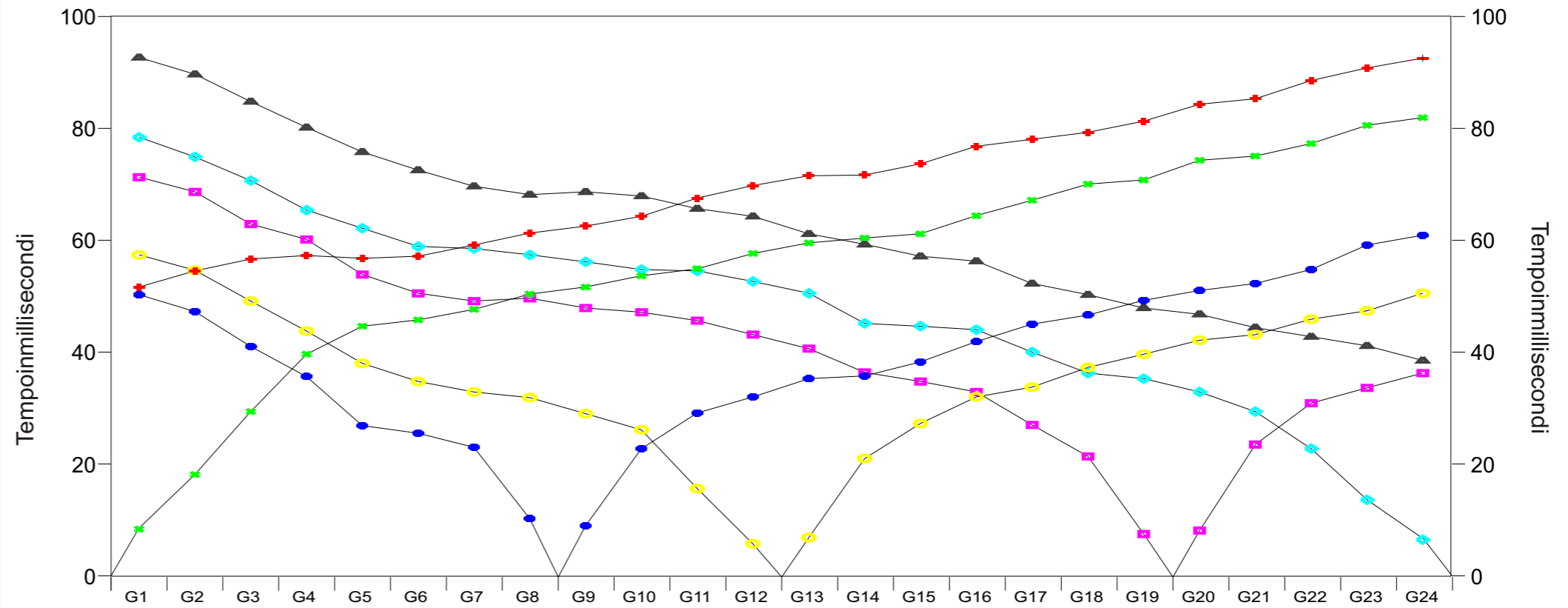
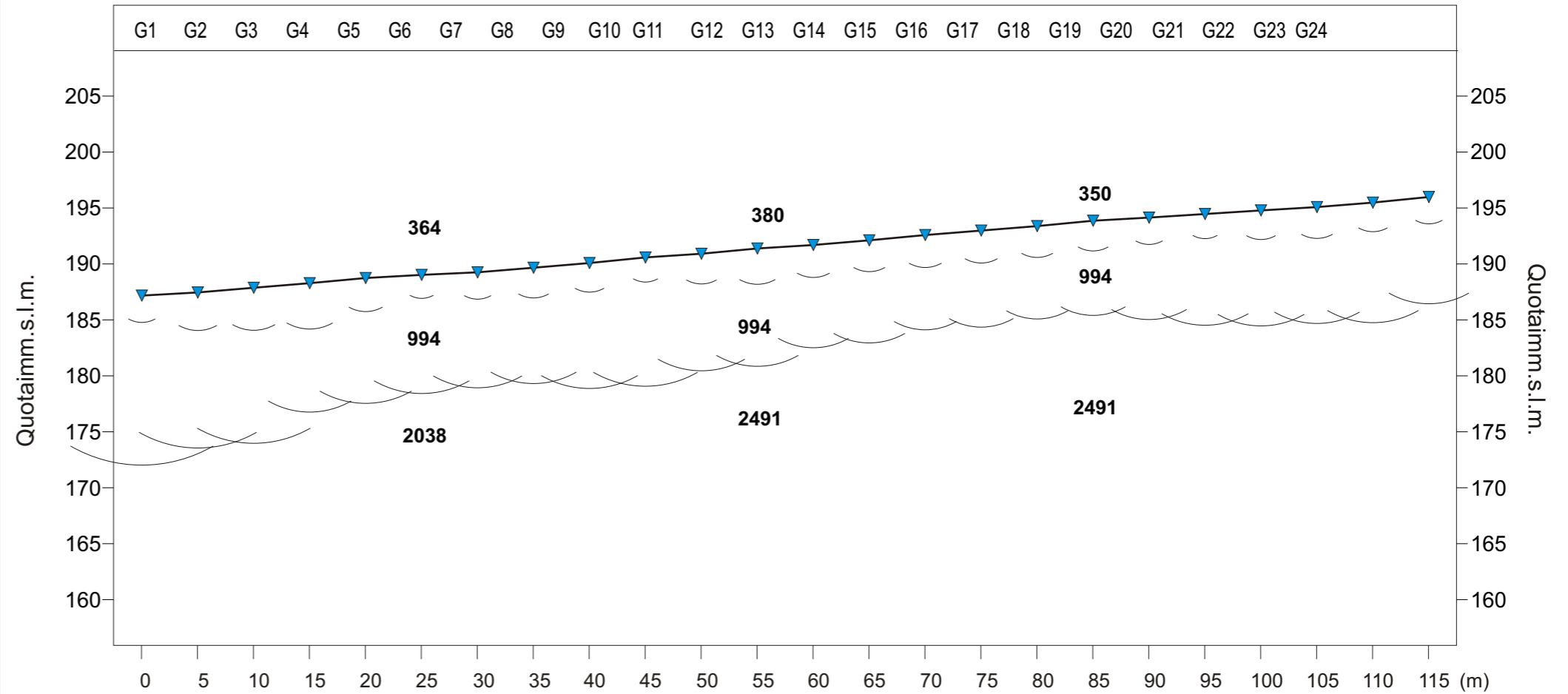
Scala1:500

- ▼ G1 Geofono
- Distanza dalla superficie topografica del limito di strato

**1250** Velocità in m/sec.

- + AEsterno sinistro
- + BEsterno sinistro
- CIntermedio sinistro
- DCentrale
- EIntermedio destro
- ◆ FEsterno destro
- ▲ GEsterno destro
- ☆ Puntodienergizzazione

SezioneSismica



Geometriadellalinea





**IGETECMA** s.a.s.  
Istituto Sperimentale  
Di Geotecnica e Tecnologie dei Materiali  
Via di Ugnano, 41/b - Firenze  
Tel. 055780705-Fax 0557320415



## Prospezione Sismica a Rifrazione con onde SH

Committente: REGIONE TOSCANA  
Dir. Gen. Politiche Territoriali e Ambientali  
Area di Coordinamento Difesa del Suolo e Protezione della Natura  
Settore Servizio Sismico Regionale

Località: Rosignano Solvay (LI)

Linea: ST 10

Legenda

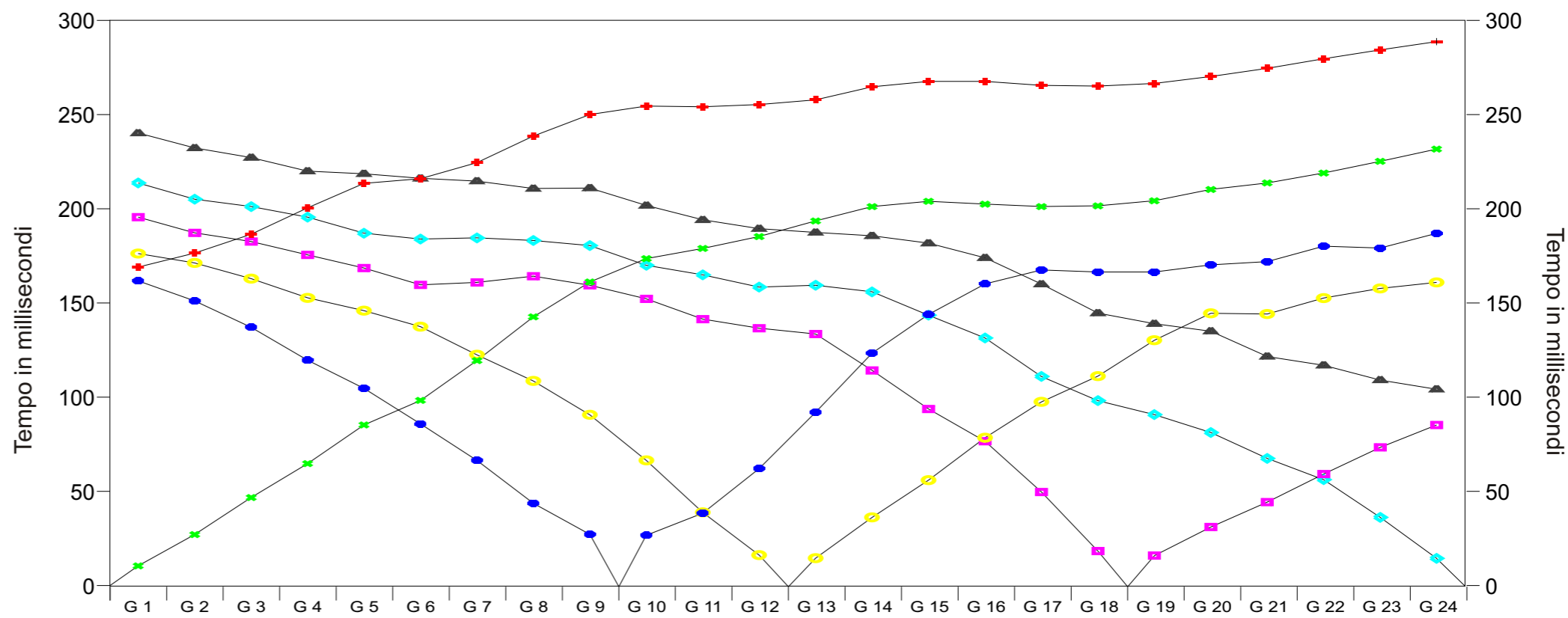
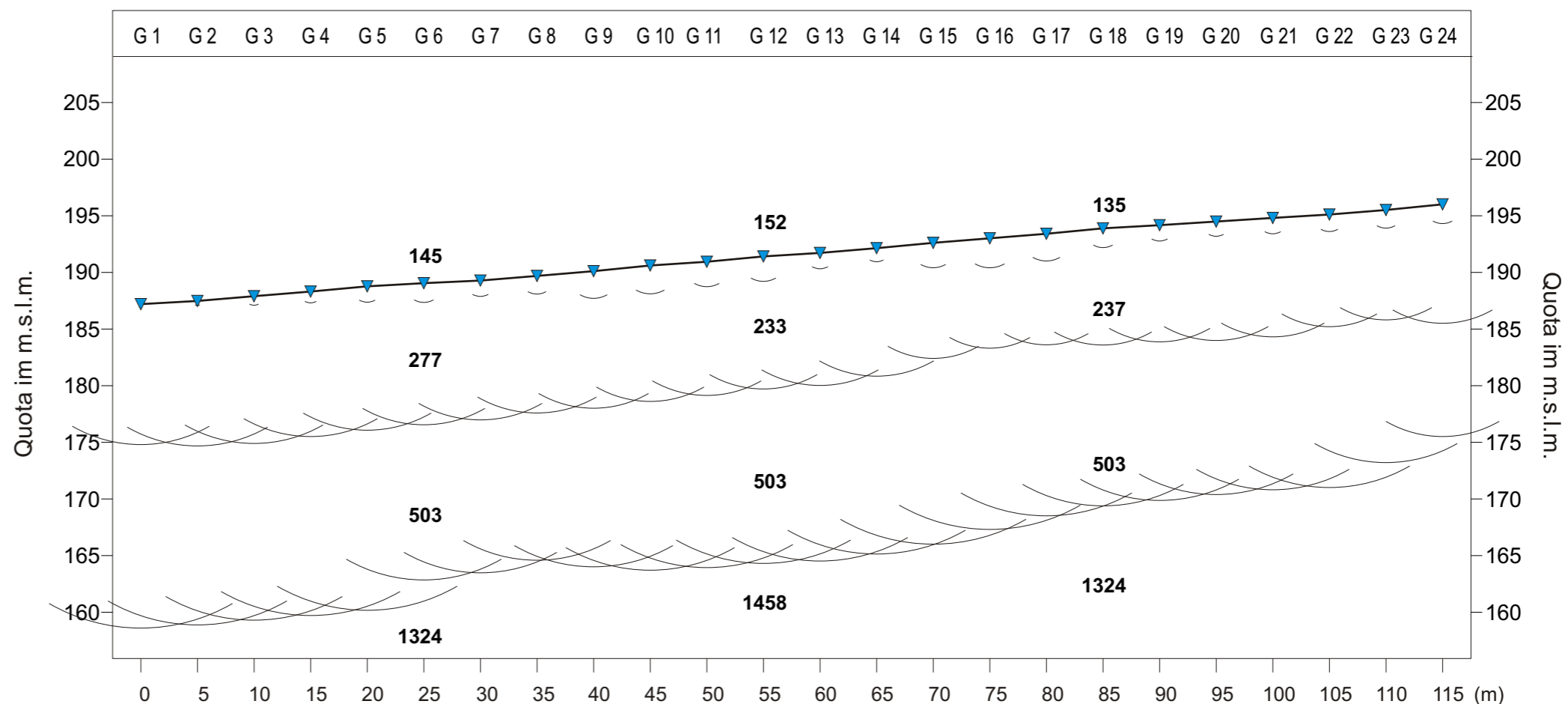
Scala 1:500

▼ G1 Geofono  
Distanza dalla superficie topografica del limite di strato

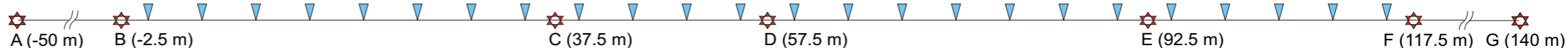
1250 Velocità in m/sec.

- ✚ A Esterno sinistro
- ✚ B Estremo sinistro
- C Intermedio sinistro
- D Centrale
- E Intermedio destro
- ◆ F Estremo destro
- ▲ G Esterno destro
- ☆ Punto di energizzazione

### Sezione Sismica

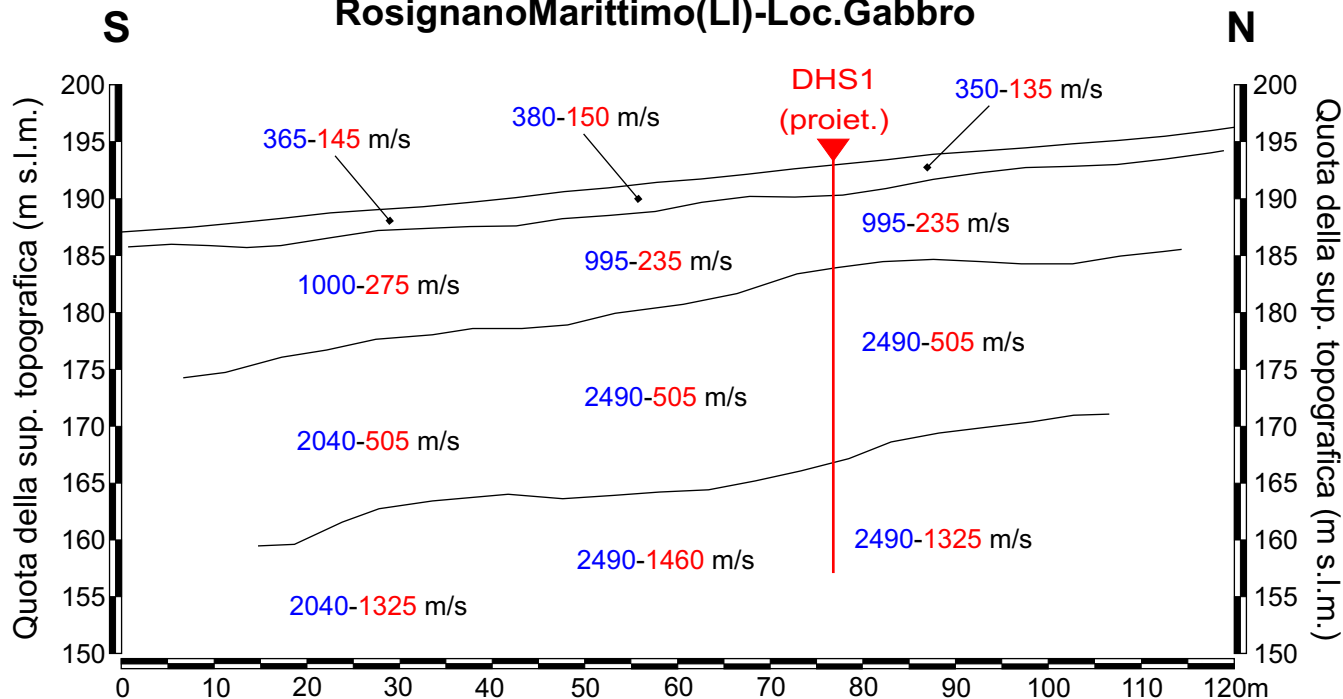


Geometria della linea





## STESASISMICA ARIFRAZIONE St10-ONDE P ed SH Rosignano Marittimo (LI)-Loc. Gabbro



### Legenda

- 365 m/s Velocità sismica onde P in metri al secondo
- 145 m/s Velocità sismica onde SH in metri al secondo



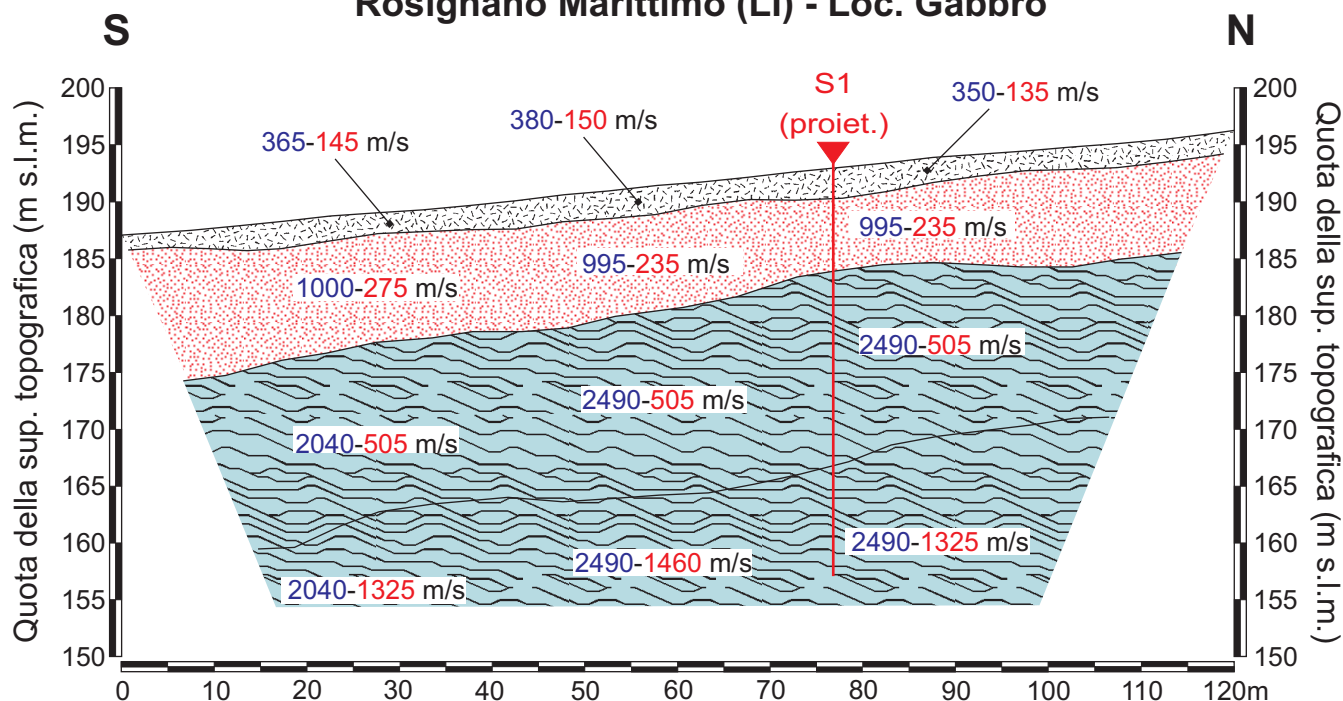
DHS1  
 Ubicazione prove down-hole in onde P ed SH

**NOTE:** L'elaborazione delle dromocrone porta a due sezioni sismostratigrafiche, in onde P ed in onde SH, congruenti. Pertanto viene utilizzata un'unica sezione grafica, valida per entrambe le energizzazioni. Nella sezione vengono rappresentati i sismostrati individuati, indicandole rispettive velocità di propagazione delle onde P (in blu) e delle onde SH (in rosso). Lungo la sezione è indicato il punto di realizzazione delle indagini geofisiche in foro (prove down-hole in onde P ed SH), con relativa profondità. In particolare, il down-hole DHS1 è ubicato circa 30 m a W della stesasmica in oggetto. Inoltre, buona la correlazione con la stesasmica arifrazione St12, posizionata 170 m a SE della stesasmica in oggetto.

**VALIDAZIONE DATI:** La ricostruzione della sezione, elaborata nella fase di omogeneizzazione, considerando il quadro geologico di riferimento, ha confermato, per quanto attiene alla sezione sismostratigrafica, la versione fornita dalla Ditta esecutrice dell'indagine. Pertanto, in questo caso si è provveduto soltanto all'omogeneizzazione del formato grafico della sezione.



## REVISIONE SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA St10 - onde P e SH Rosignano Marittimo (LI) - Loc. Gabbro



### Legenda

200 m/s Velocità sismica onde P in metri al secondo

110 m/s Velocità sismica onde SH in metri al secondo

S1

Ubicazione sondaggio geotecnico S1

Terreni di riporto e/o massicciata stradale (hn)

Detrito di versante (a)

Argilliti a Palombini (APA)

**NOTE:** La caratterizzazione geometrica delle formazioni in termini di spessori risulta congruente con le informazioni geologiche dell'area desunte dal rilievo geologico. L'attribuzione litostratigrafica risulta coerente con i valori di velocità sismiche rilevati.

Il dato sismico discretizza quattro sismostrati, individuando così, al di sotto della massicciata stradale e/o riporto (hn), i depositi costituiti dal detrito di versante ( $dt = a_{3a}$ ) con velocità delle onde di taglio variabili tra 235 e 275 m/sec.

Al di sotto è presente il substrato roccioso costituito dalle Argille a Palombini (APA) in due differenti facies: la prima in facies argillitica che non costituiscono un bedrock sismico in quanto presentano delle velocità delle onde di taglio intorno ai 505m/sec e quindi inferiori alla soglia del bedrock sismico; il secondo sismostrato in facies argillitico-calcareo con velocità intorno a 1325-1460m/sec e quindi tipiche di un bedrock sismico. Tale interpretazione è stata possibile grazie alle informazioni di natura stratigrafica desunte dal sondaggio geotecnico S1 realizzato nelle vicinanze dell'area.

Si evidenzia che il simbolismo grafico è solamente indicativo della natura litologica, ma non dell'effettiva giacitura.



**IGETECMA**s.a.s.  
Istituto Sperimentale  
Di Geotecnica e Tecnologie dei Materiali  
Via di Ugnano, 41/b - Firenze  
Tel. 055780705 - Fax 0557320415



### Prospezione Sismica a Rifrazione con onde P

Committente: REGIONE TOSCANA  
Dir. Gen. Politiche Territoriali e Ambientali  
Area di Coordinamento Difesa del Suolo e Protezione della Natura  
Settore Servizio Sismico Regionale

Località: Rosignano Solvay (LI)

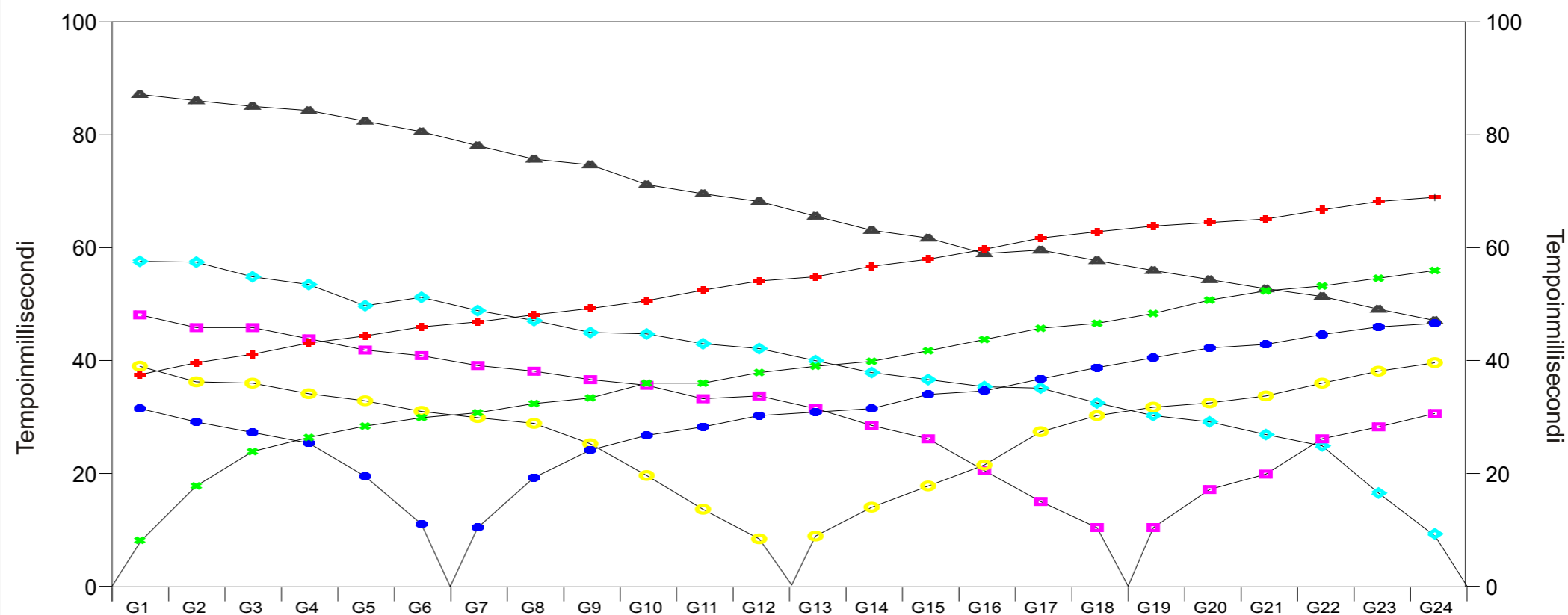
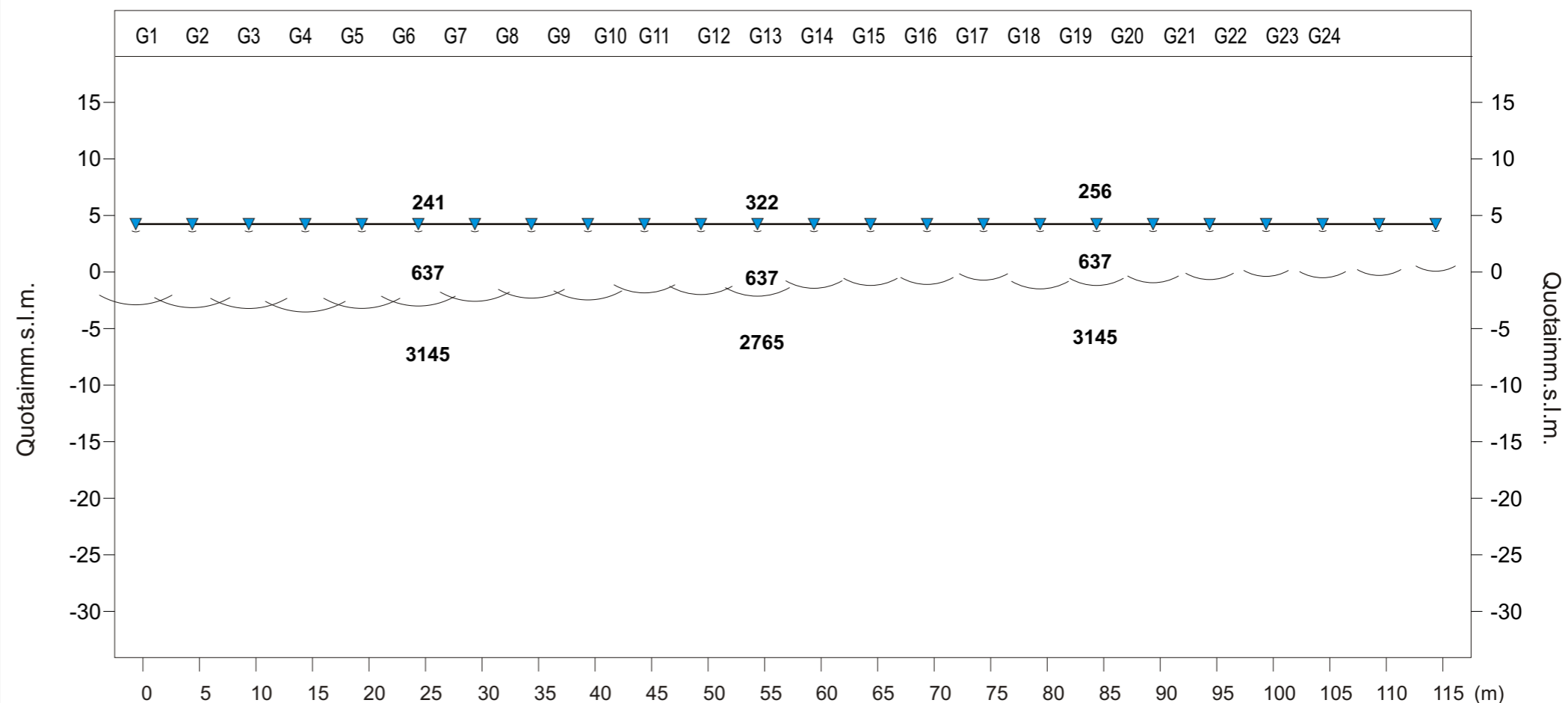
Linea: ST5

#### Legenda

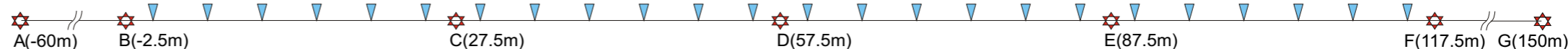
Scala 1:500

- ▼ G1 Geofono
- Distanza dalla superficie topografica del limite di strato
- 1250** Velocità in m/sec.
- + A Esterno sinistro
- \* B Estremo sinistro
- C Intermedio sinistro
- D Centrale
- E Intermedio destro
- ◆ F Estremo destro
- ▲ G Esterno destro
- ☆ Puntodi energizzazione

#### Sezione Sismica



#### Geometria della linea





**IGETECMA** s.a.s.  
Istituto Sperimentale  
Di Geotecnica e Tecnologie dei Materiali  
Via di Ugnano, 41/b - Firenze  
Tel. 055780705-Fax 0557320415



## Prospezione Sismica a Rifrazione con onde SH

Committente: REGIONE TOSCANA  
Dir. Gen. Politiche Territoriali e Ambientali  
Area di Coordinamento Difesa del Suolo e Protezione della Natura  
Settore Servizio Sismico Regionale

Località: Rosignano Solvay (LI)

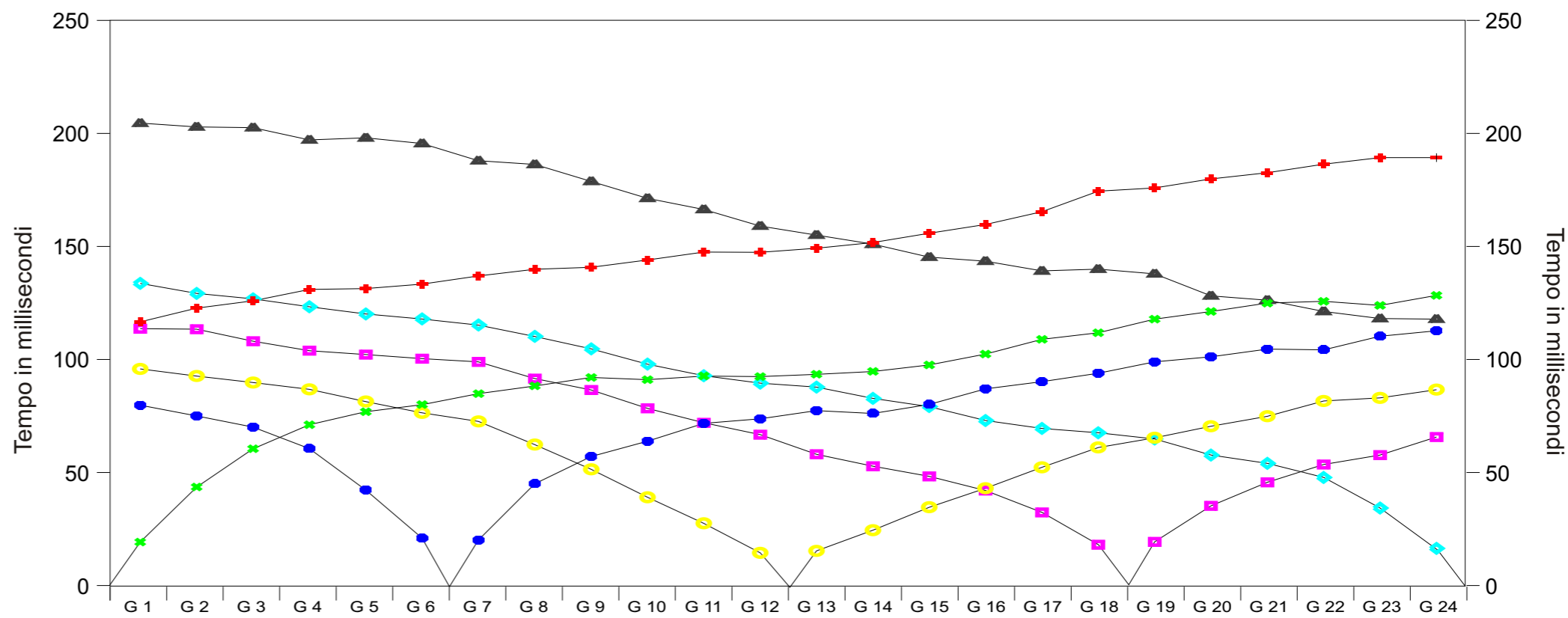
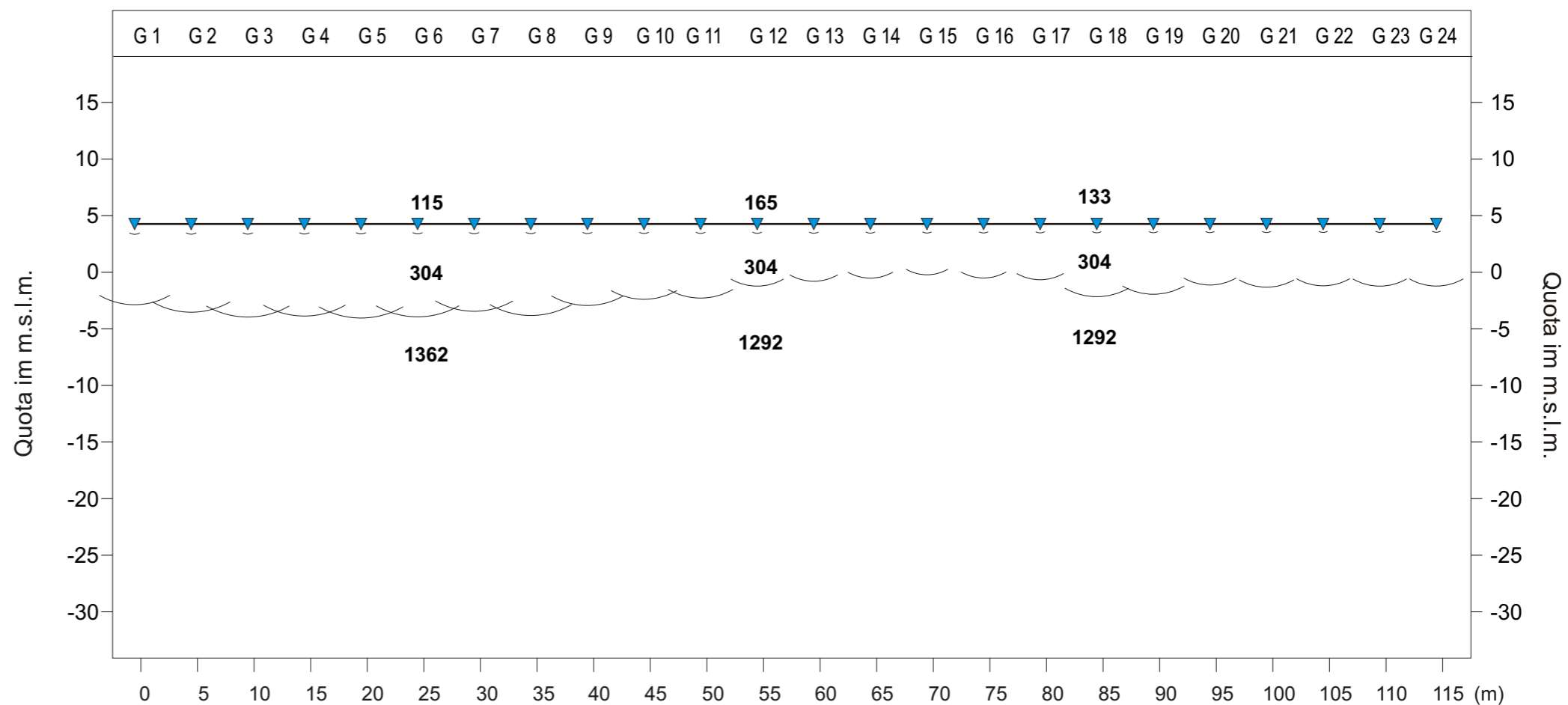
Linea: ST 5

### Legenda

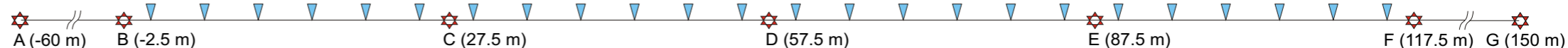
Scala 1:500

- G1 Geofono
- Distanza dalla superficie topografica del limite di strato
- 1250** Velocità in m/sec.
- A Esterno sinistro
- B Estremo sinistro
- C Intermedio sinistro
- D Centrale
- E Intermedio destro
- F Estremo destro
- G Esterno destro
- Punto di energizzazione

### Sezione Sismica



### Geometria della linea





Dir. Generale delle Politiche Territoriali e Ambientali  
**Coordinamento regionale Prevenzione sismica**

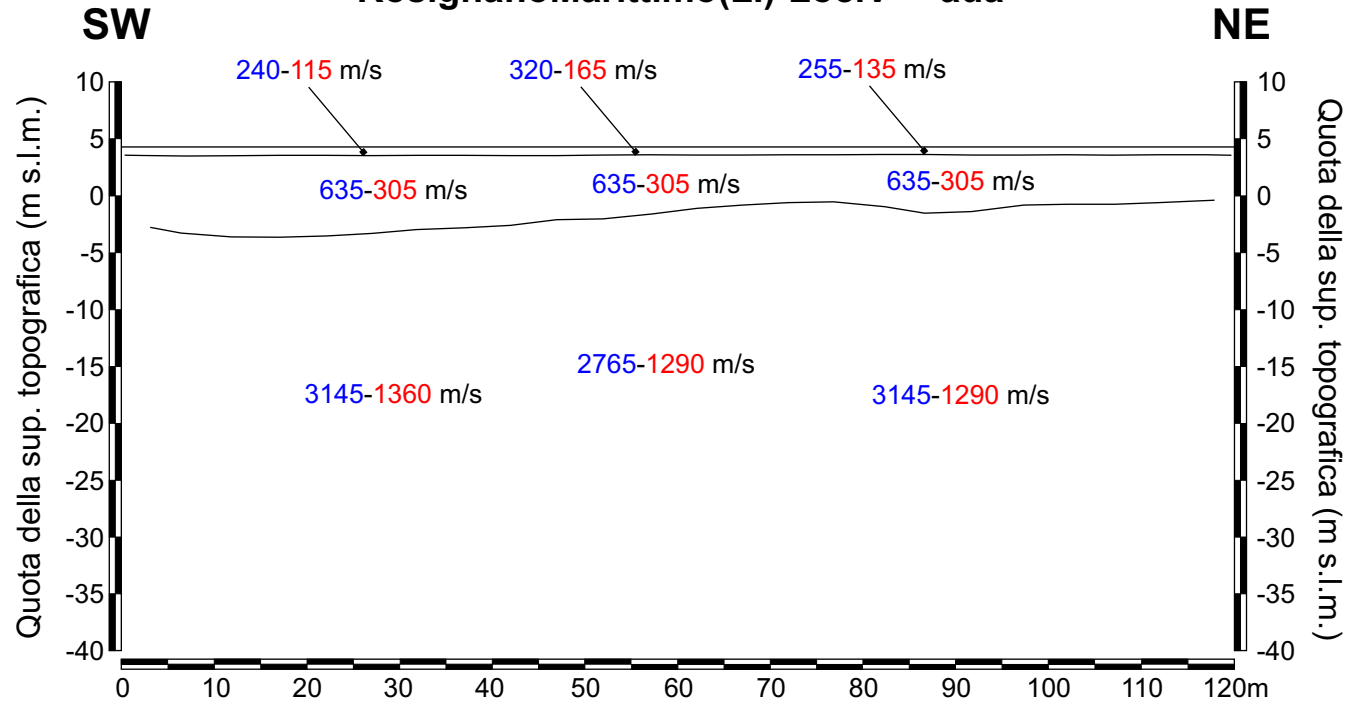
COMMITTENTE: Regione Toscana  
 Ente finanziatore: Regione Toscana  
 DITTA ESECUTRICE: Igetecma s.a.s.

DATA CONSEGNA: settembre 2005  
 PROGRAMMA: DOCUP2000-2006

RIELABORAZIONE E REVISIONE DATI: Vittorio D'Intinosante (11/2008)  
 REVISIONE ESEGUITA: confermata dalla revisione fornita dalla Ditta



## STESASISMICA ARIFRAZIONE St5-ONDE P ed SH Rosignano Marittimo (LI) - Loc. Vada



### Legenda

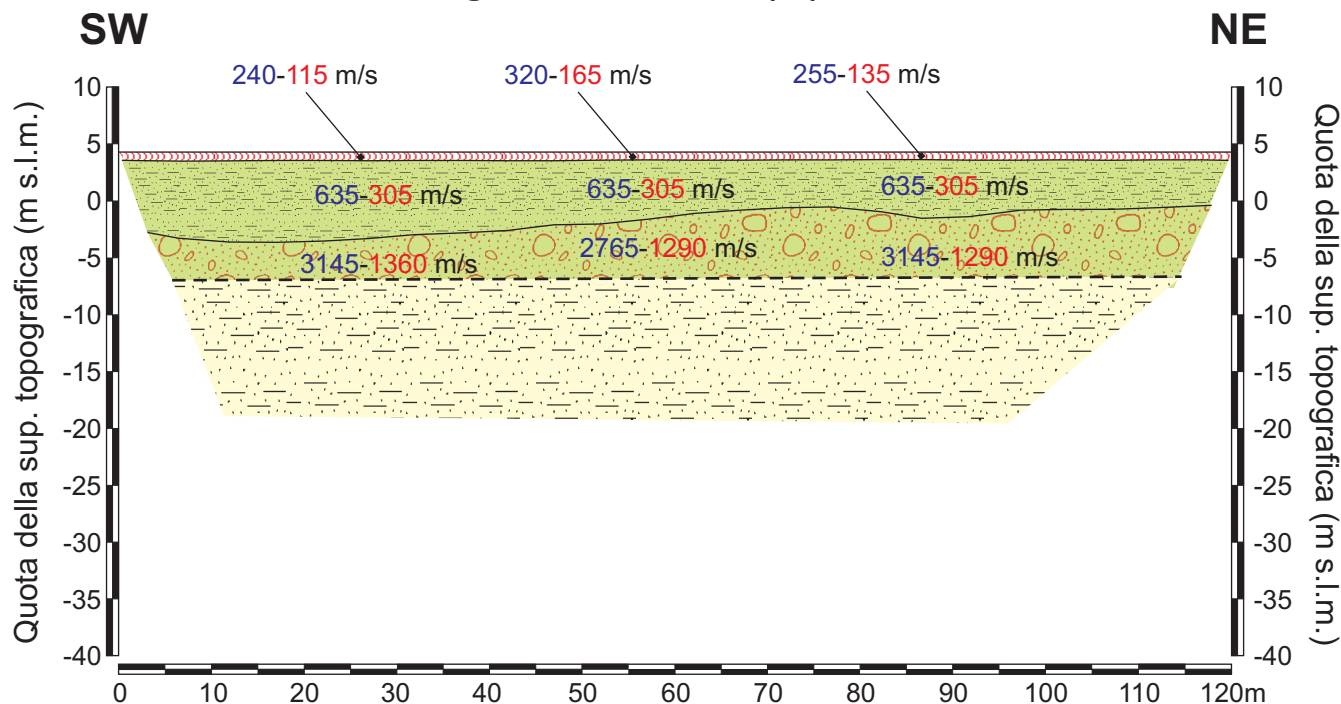
240 m/s Velocità sismica onde P in metri al secondo

115 m/s Velocità sismica onde SH in metri al secondo

**NOTE:** L'elaborazione delle cronometrie porta a due sezioni sismostratigrafiche, in onde P ed in onde SH, congruenti. Pertanto viene utilizzata un'unica sezione grafica, valida per entrambe le energizzazioni. Nella sezione vengono rappresentati i sismostrati individuati, indicandole rispettive velocità di propagazione delle onde P (in blu) e delle onde SH (in rosso). Discreta la corrispondenza con la prova down-hole in onde P ed SH DHS5, ubicata circa 90 m a S, sebbene la sezione arifrazione rilevi per il sismostrato di base velocità di propagazione delle onde sismiche nettamente superiori a quanto risulta dall'elaborazione della prova in foro, probabilmente a causa di una variazione litologica laterale.

**VALIDAZIONE DATI:** La ricostruzione della sezione, elaborata nella fase di omogeneizzazione, considerando il quadro geologico di riferimento, ha confermato, per quanto attiene alla sezione sismostratigrafica, la versione fornita dalla Ditta esecutrice dell'indagine. Pertanto, in questo caso si è provveduto soltanto all'omogeneizzazione del formato grafico della sezione.

## REVISIONE SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA St5 - onde P e SH Rosignano Marittimo (LI) - Loc. Vada



### Legenda

200 m/s Velocità sismica onde P in metri al secondo

110 m/s Velocità sismica onde SH in metri al secondo

Orizzonte stratigrafico desunto dal sondaggio S5

Terreno naturale areato (ar)

Sabbie Rosse di Donoratico (QSD = q<sub>9</sub>)

Panchina (QCP = q<sub>8</sub>) mediamente cementata

Sabbie ed Argille ad *Arctica Islandica* (ART = q<sub>2</sub>)

**NOTE:** La caratterizzazione geometrica delle formazioni in termini di spessori risulta congruente con le informazioni geologiche dell'area desunte dal rilievo geologico. L'attribuzione litostratigrafica risulta coerente con i valori di velocità sismiche rilevati.

Il dato sismico discretizza tre sismostrati, individuando così, al di sotto del terreno naturale e/o areato, i depositi di copertura costituiti dalle Sabbie Rosse di Donoratico (QSD = q<sub>9</sub>) con spessori massimi 5m e velocità delle onde di taglio circa 305m/sec.

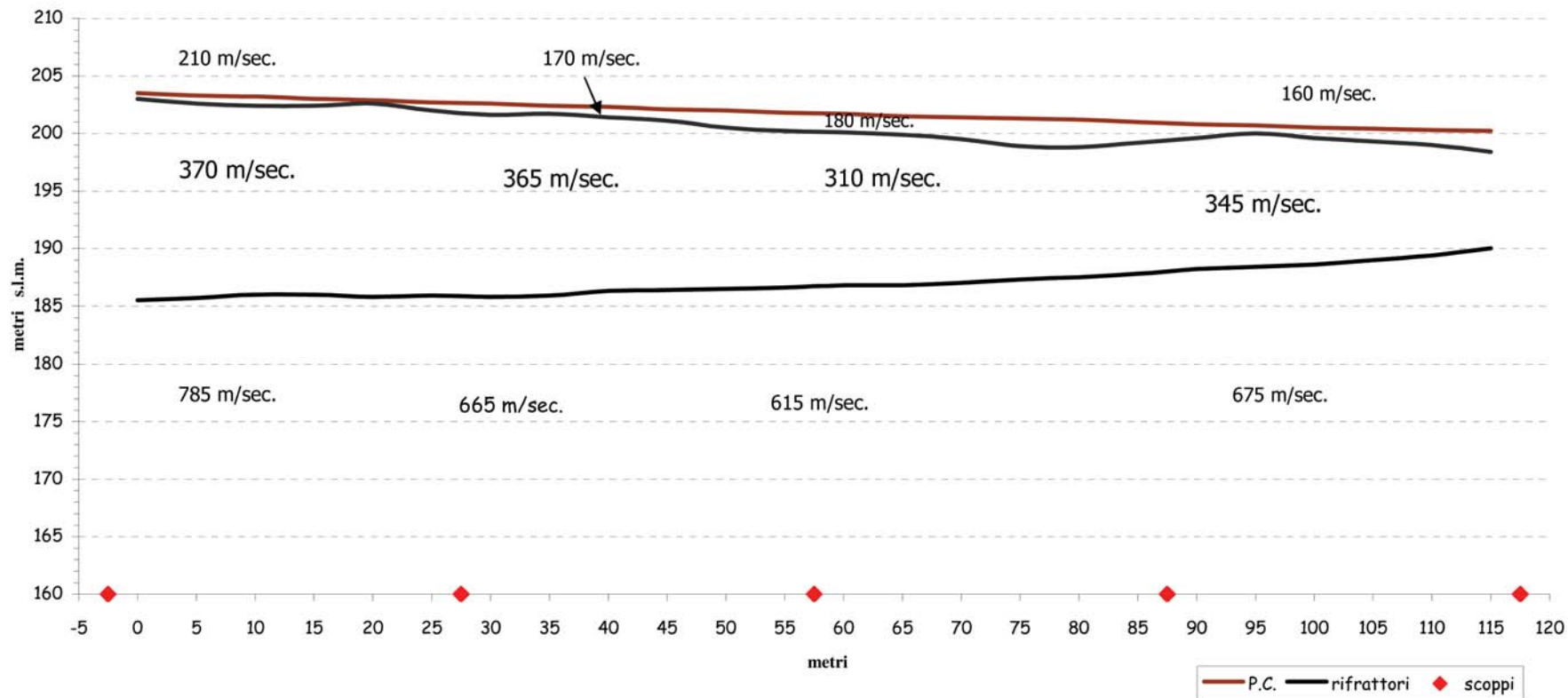
Al di sotto è presente un livello di spessore non definibile di Panchina (QCP=q<sub>8</sub>) che in quest'area assume certamente le caratteristiche di un bedrock sismico (velocità delle onde di taglio variabili tra 1290 e 1360m/sec) probabilmente a causa dell'elevato grado di cementazione che presenta tale litologia.

Al di sotto della Panchina è presente la formazione delle Sabbie ed argille ad *Arctica Islandica* (ART) che rappresenta il substrato non roccioso dell'area. Tale indicazione deriva dalle indicazioni fornite dal sondaggio geotecnico S5.

Naturalmente l'interpretazione sismostratigrafica della stesa a rifrazione non individua il sismostrato assimilabile alle Sabbie ed argille ad *Arctica Islandica* a causa dell'inversione di velocità.

Si evidenzia che il simbolismo grafico è solamente indicativo della natura litologica, ma non dell'effettiva giacitura.

**LINEA SISMICA ST12**  
**SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA: ONDE SH**

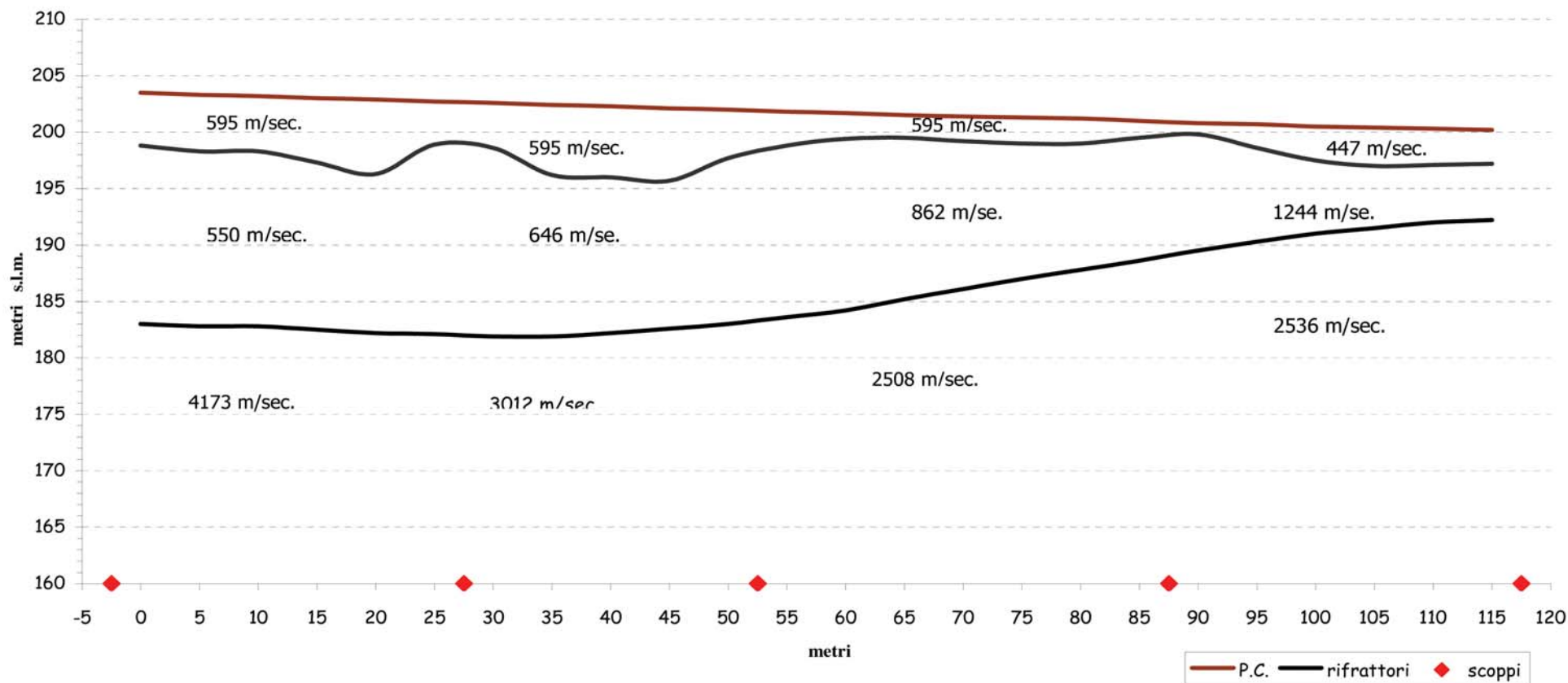


**R.T.I. GeoEcho s.n.c. – IGEA s.a.s.**

Geoecho s.n.c. - Via Giusti, 14/a – 53036 Poggibonsi (SI) – C.F e P.I. 01150550521 Tel. 0577 939386  
 IGEA s.a.s. – Via Sagginalese, 128 – 50032 Borgo San Lorenzo (FI) – C.F. e P.I. 05351980486 Tel. 055 844025

## LINEA SISMICA ST12

### SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA: ONDE P



**R.T.I. GeoEcho s.n.c. – IGEA s.a.s.**

Geoecho s.n.c. - Via Giusti, 14/a – 53036 Poggibonsi (SI) – C.F. e P.I. 01150550521 Tel. 0577 939386  
 IGEA s.a.s. – Via Sagginalese, 128 – 50032 Borgo San Lorenzo (FI) – C.F. e P.I. 05351980486 Tel. 055 844025





Dir. G. en. de. lle Politiche Territoriali e Ambientali

Coordinamento regionale Prevenzione sismica

COMMITTENTE: Regione Toscana

Ente Finanziatore: Regione Toscana

DATA CONSEGNA: ottobre 2006

PROGRAMMA: DOCUP 2000-2006

RIELABORAZIONE E REVISIONE DATI: Vittorio D'Intino (11/2008)

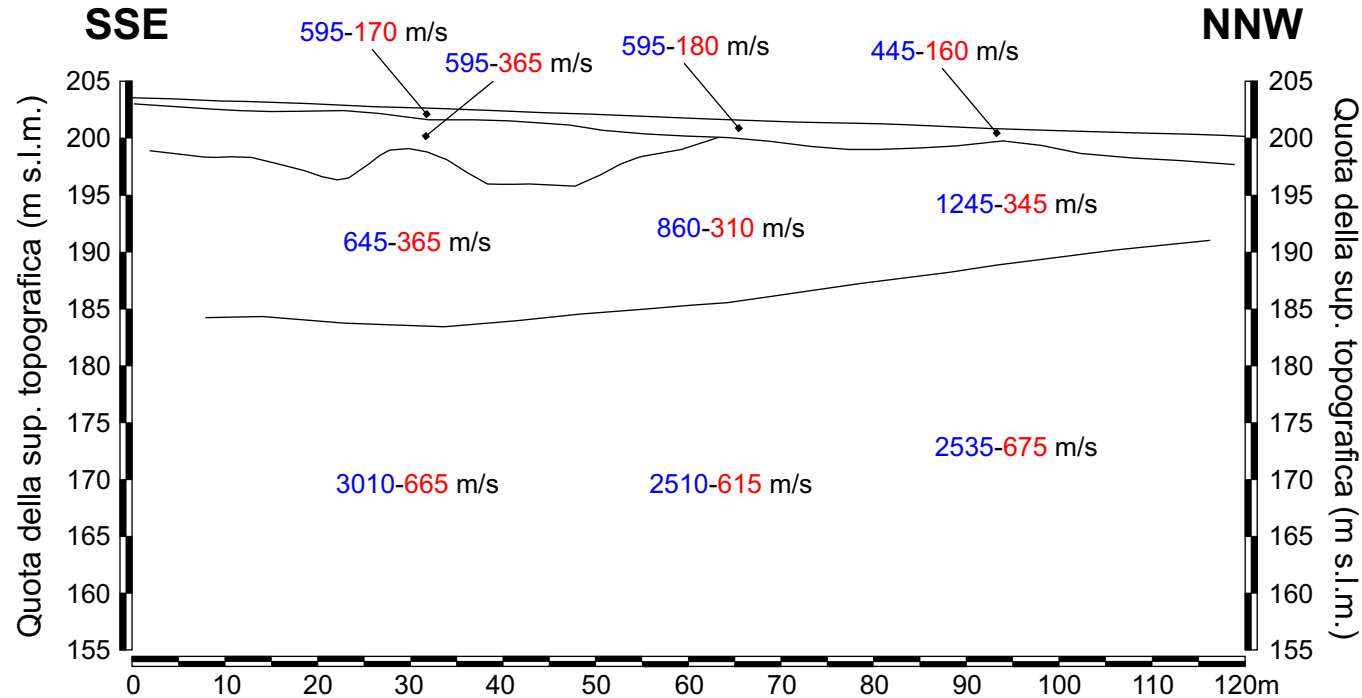
REVISIONE ESEGUITA: reinterpretazione sismostratigrafica



UNIONE EUROPEA

DITTA ESECUTRICE: Geo Echos n.c.

## STESASISMICA A RIFRAZIONE St12-ONDE P ed SH Rosignano Marittimo (LI)-Loc. Gabbro



Legenda

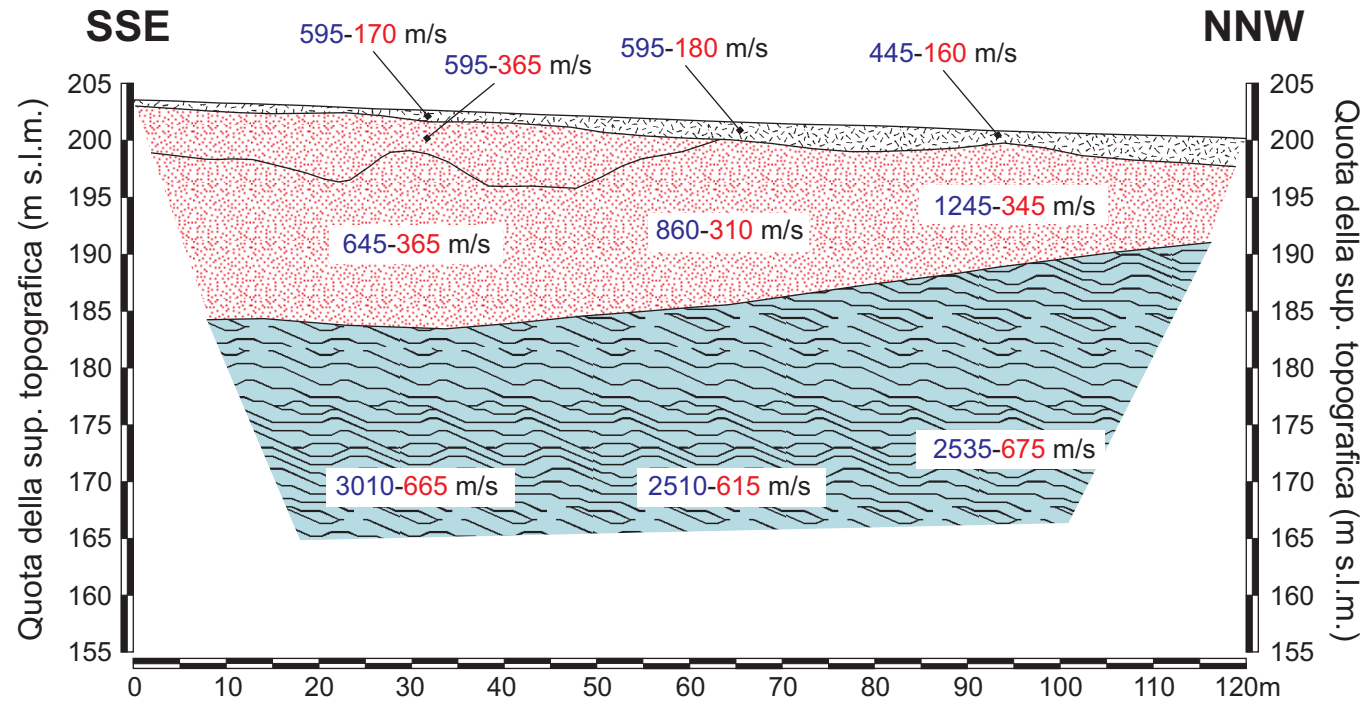
475 m/s Velocità sismica onde P in metri al secondo

165 m/s Velocità sismica onde SH in metri al secondo

**NOTE:** L'elaborazione delle cronogramme porta a due sezioni sismostratigrafiche, in onde P ed in onde SH, congruenti. Pertanto viene utilizzata un'unica sezione grafica, valida per entrambe le energizzazioni. Nella sezione vengono rappresentati i sismostrati individuati, indicandole rispettive velocità di propagazione delle onde P (in blu) e delle onde SH (in rosso). Inoltre, buona la correlazione con la stessa sismica a rifrazione St10, posizionata 170m a NW della stessa sismica in oggetto e con la prova down-hole in onde P ed SH DHS1, realizzata 220m a NW.

**VALIDAZIONE DATI:** La ricostruzione della sezione, elaborata nella fase di omogeneizzazione, considerando il quadro geologico di riferimento, ha previsto una differente rielaborazione sismostratigrafica rispetto alla versione fornita dalla Ditta esecutrice dell'indagine. Si è operata, inoltre, l'omogeneizzazione del formato grafico della sezione.

## REVISIONE SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA St12 - onde P e SH Rosignano Marittimo (LI) - Loc. Gabbro



### Legenda

200 m/s Velocità sismica onde P in metri al secondo

110 m/s Velocità sismica onde SH in metri al secondo

Terreni di riporto e/o massicciata stradale (hn)

Detrito di versante (a)

Argilliti a Palombini (APA)

**NOTE:** La caratterizzazione geometrica delle formazioni in termini di spessori risulta congruente con le informazioni geologiche dell'area desunte dal rilievo geologico. L'attribuzione litostratigrafica risulta coerente con i valori di velocità sismiche rilevati.

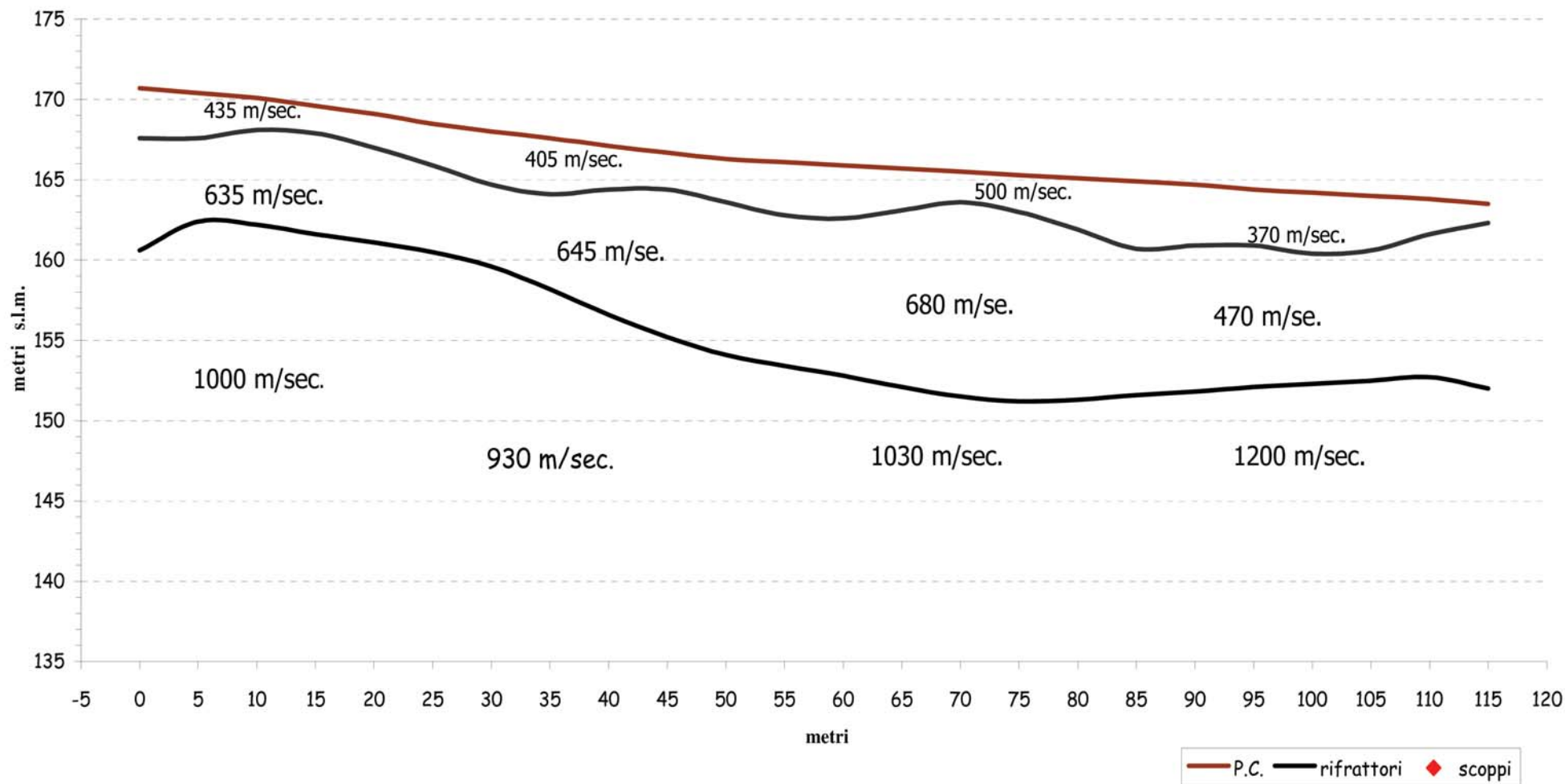
Il dato sismico discretizza tre sismostrati, individuando così, al di sotto della massicciata stradale e/o riporto (hn), i depositi costituiti dal detrito di versante (dt =  $a_{3a}$ ) con velocità delle onde di taglio variabili tra 310 e 365 m/sec.

Al di sotto è presente il substrato roccioso costituito dalle Argille a Palombini (APA) che tuttavia non costituisce un bedrock sismico in quanto presenta delle velocità delle onde di taglio intorno ai 615-675m/sec e quindi inferiori alla soglia del bedrock sismico.

Si evidenzia che il simbolismo grafico è solamente indicativo della natura litologica, ma non dell'effettiva giacitura.

### LINEA SISMICA ST13

#### SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA: ONDE SH

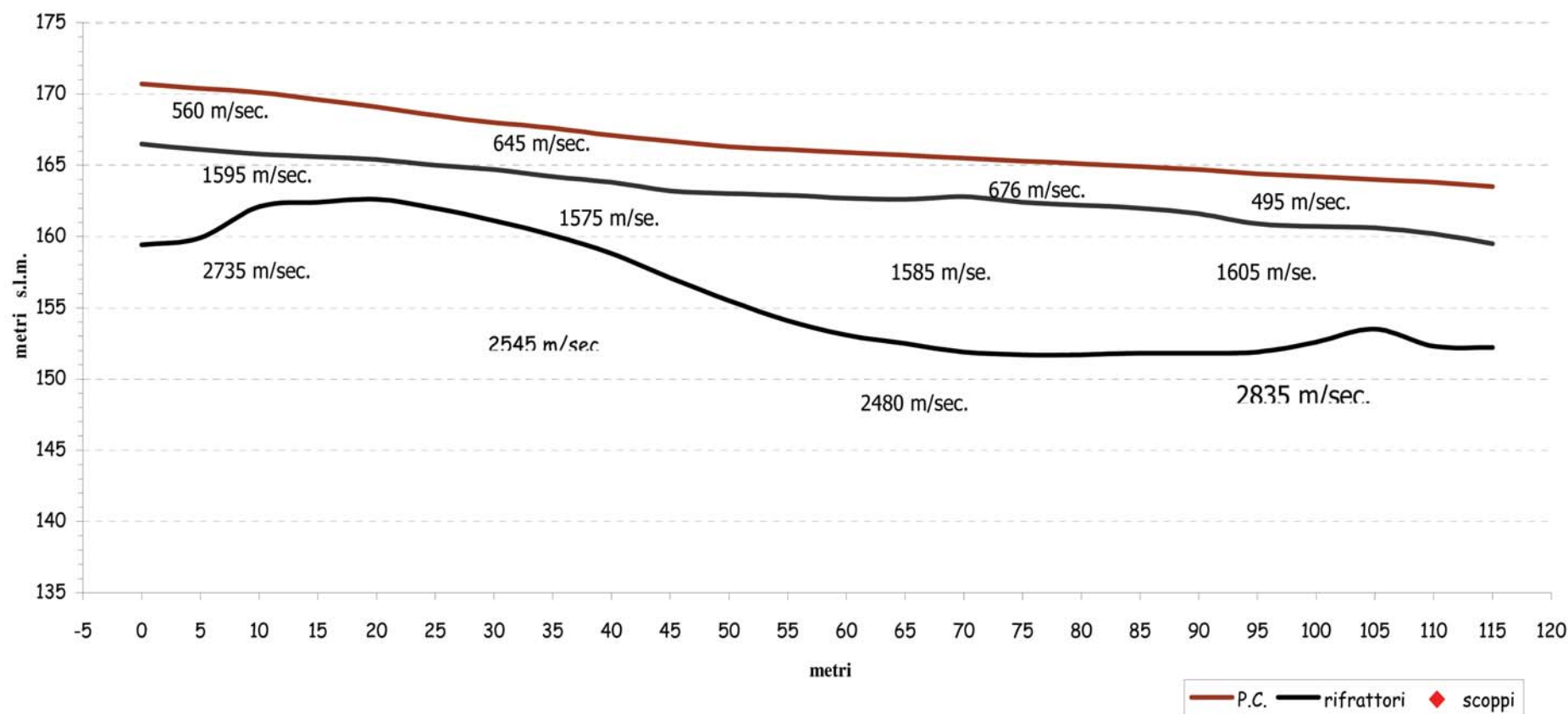


R.T.I. GeoEcho s.n.c. – IGEA s.a.s.

Geoecho s.n.c. - Via Giusti, 14/a – 53036 Poggibonsi (SI) – C.F e P.I. 01150550521 Tel. 0577 939386  
 IGEA s.a.s. – Via Sagginalese, 128 – 50032 Borgo San Lorenzo (FI) – C.F. e P.I. 05351980486 Tel. 055 844025

## LINEA SISMICA ST13

### SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA: ONDE P



**R.T.I. GeoEcho s.n.c. – IGEA s.a.s.**

Geoecho s.n.c. - Via Giusti, 14/a – 53036 Poggibonsi (SI) – C.F e P.I. 01150550521 Tel. 0577 939386  
 IGEA s.a.s. – Via Sagginalese, 128 – 50032 Borgo San Lorenzo (FI) – C.F. e P.I. 05351980486 Tel. 055 844025



Dir. G. en. de lle Politiche Territoriali e Ambientali  
**Coordinamento regionale Prevenzione sismica**

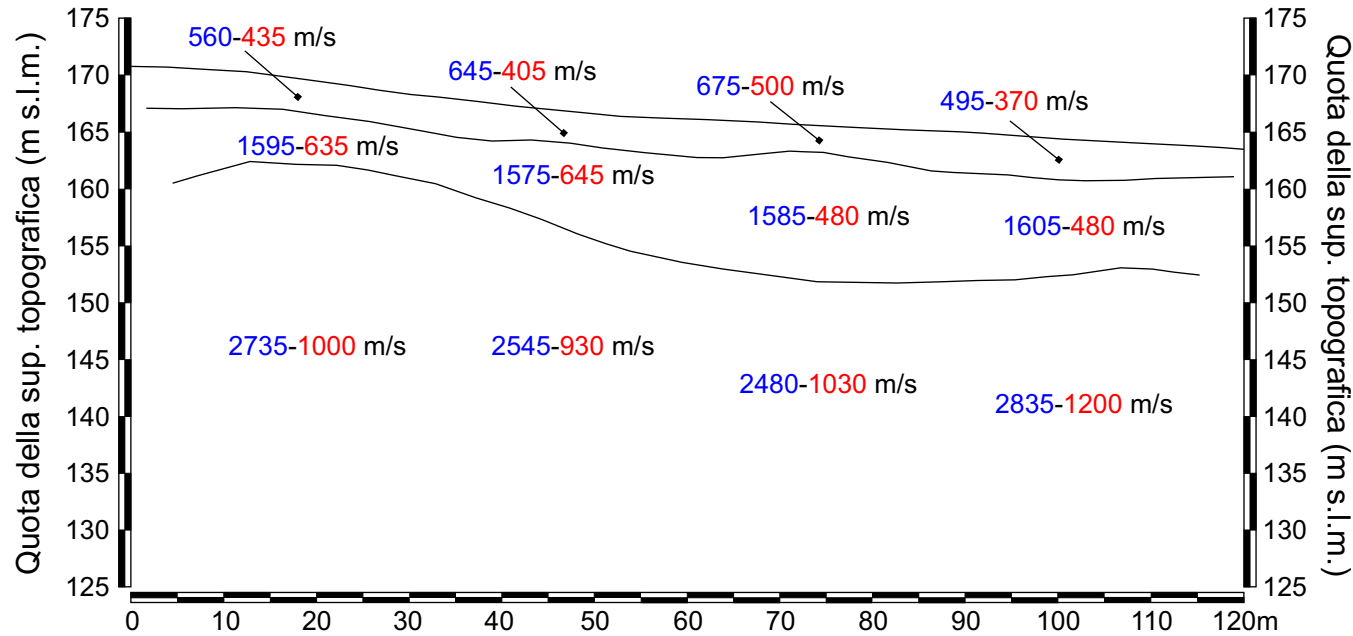
COMMITTENTE: Regione Toscana  
 Ente finanziatore: Regione Toscana  
 DITTA ESECUTRICE: Geo Echos.n.c.

DATA CONSEGNA: settembre 2006  
 PROGRAMMA: DOCUP2000-2006

RIELABORAZIONE E REVISIONE DATI: Vittorio D'Intinosante (11/2008)  
 REVISIONE ESEGUITA: confermata dell'avversione fornita dalla Ditta



## STESASISMICA ARIFRAZIONES t13-ONDEP edSH Rosignano Marittimo (LI)-Loc. Gabbro Est



Legenda

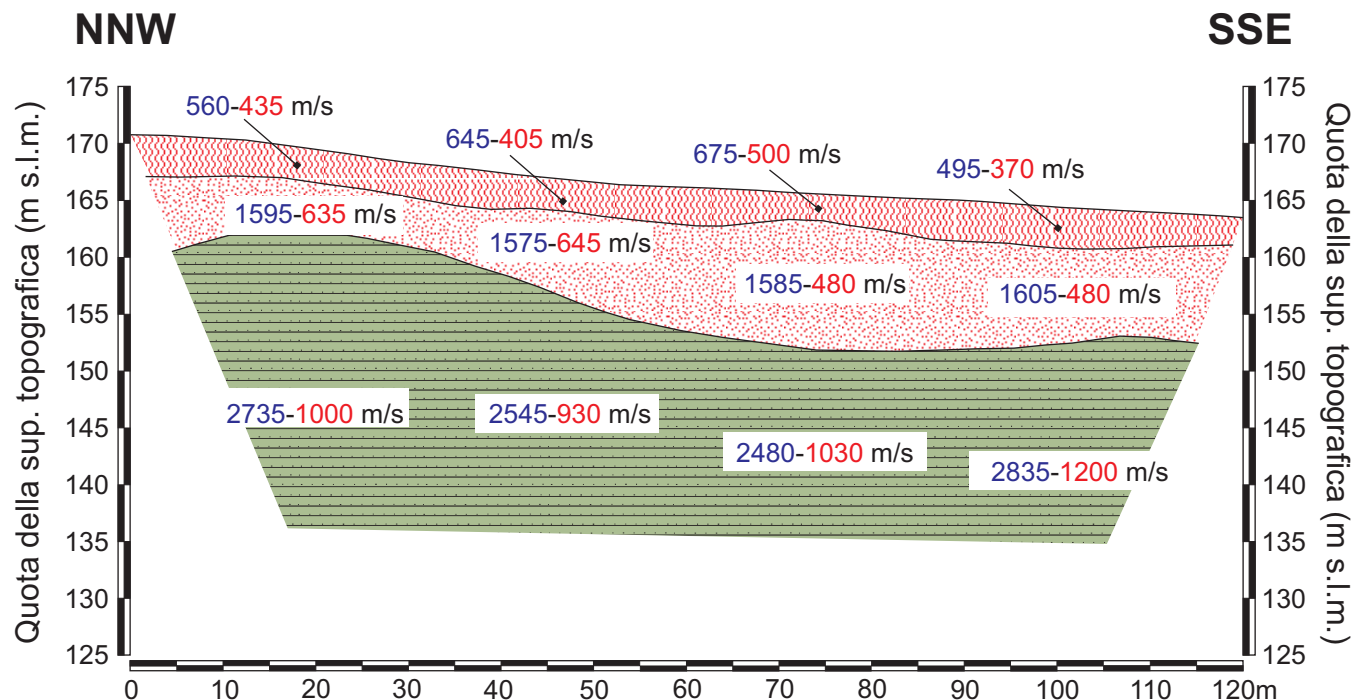
560 m/s Velocità sismica onde P in metri al secondo

435 m/s Velocità sismica onde SH in metri al secondo

**NOTE:** L'elaborazione delle dromocrone porta a due sezioni sismostratigrafiche, in onde P ed in onde SH, congruenti. Pertanto viene utilizzata un'unica sezione grafica, valida per entrambe le energizzazioni. Nella sezione vengono rappresentati i sismostrati individuati, indicandole rispettive velocità di propagazione delle onde P (in blu) e delle onde SH (in rosso).

**VALIDAZIONE DATI:** La ricostruzione della sezione, elaborata nella fase di omogeneizzazione, considerando il quadro geologico di riferimento, ha confermato, per quanto attiene alla sezione sismostratigrafica, la versione fornita dalla Ditta esecutrice dell'indagine. Pertanto, in questo caso si è provveduto soltanto all'omogeneizzazione del formato grafico della sezione.

## REVISIONE SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA St13 - onde P e SH Rosignano Marittimo (LI) - Loc. Gabbro Est



### Legenda

200 m/s Velocità sismica onde P in metri al secondo

110 m/s Velocità sismica onde SH in metri al secondo

Terreno naturale areato (ar)

Detrito di versante (a)

Formazione di Lanciaia  
Membro delle Arenarie del Fosso di Radicagnoli (CAAr = pe<sub>1</sub>)

**NOTE:** La caratterizzazione geometrica delle formazioni in termini di spessori risulta congruente con le informazioni geologiche dell'area desunte dal rilievo geologico. L'attribuzione litostratigrafica risulta coerente con i valori di velocità sismiche rilevati.

Il dato sismico discretizza tre sismostrati, individuando così, al di sotto del terreno naturale e/o areato, un deposito costituito da detrito di versante (dt=a3) con spessore compreso tra 5 e 7m e velocità delle onde di taglio variabili tra 480 e 645m/sec.

Al di sotto, a partire da una profondità di circa 10-12m è presente il bedrock sismico dell'area costituito dalla formazione di Lanciaia (CAAr) - membro delle Arenarie di Fosso di Radicagnoli che presenta velocità delle onde di taglio variabili tra 930 e 1200m/sec

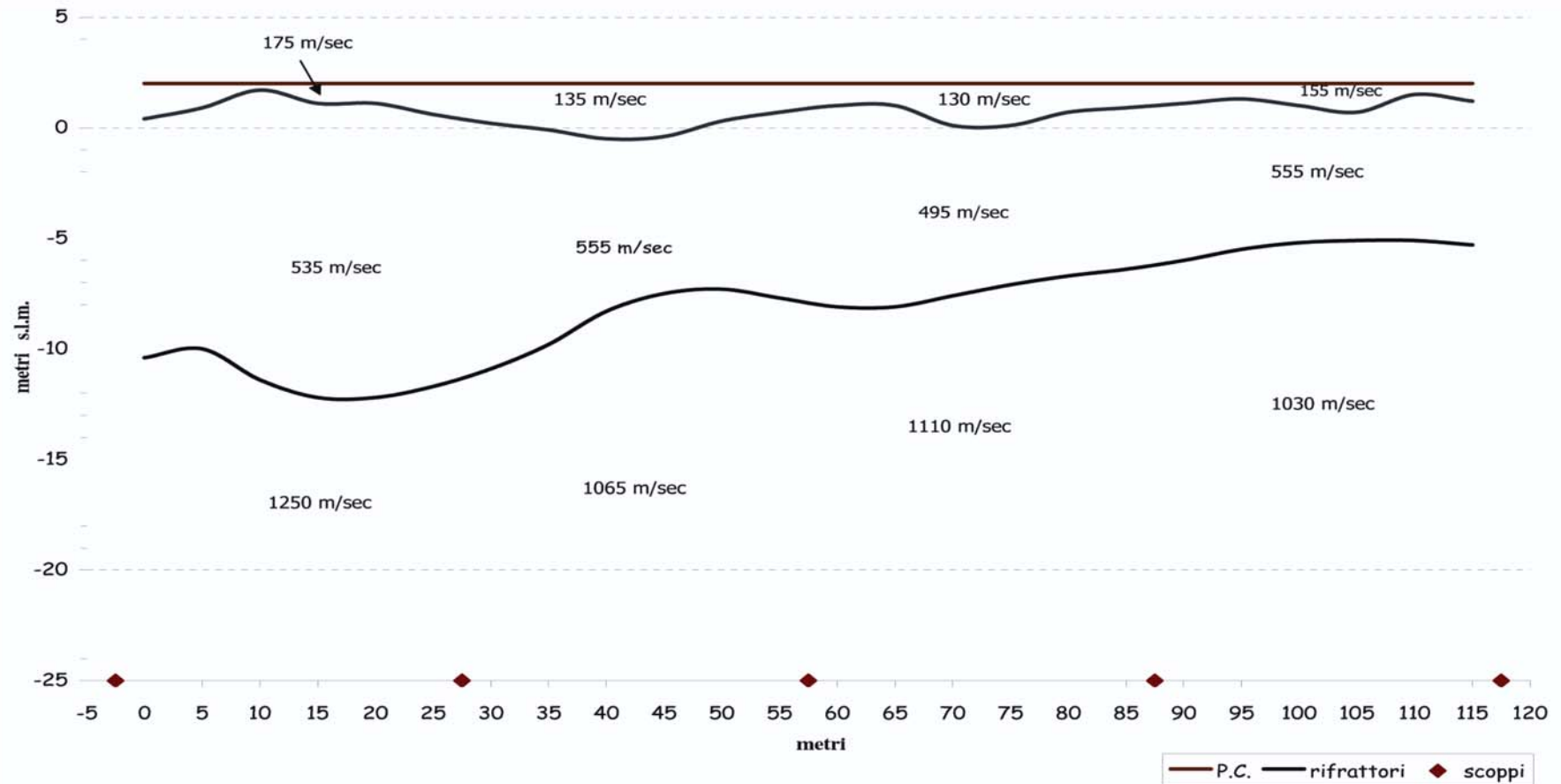
Si evidenzia che il simbolismo grafico è solamente indicativo della natura litologica, ma non dell'effettiva giacitura.



IGeA S.a.s.



**LNEA SISMICA ST17**  
**SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA : ONDE SH**



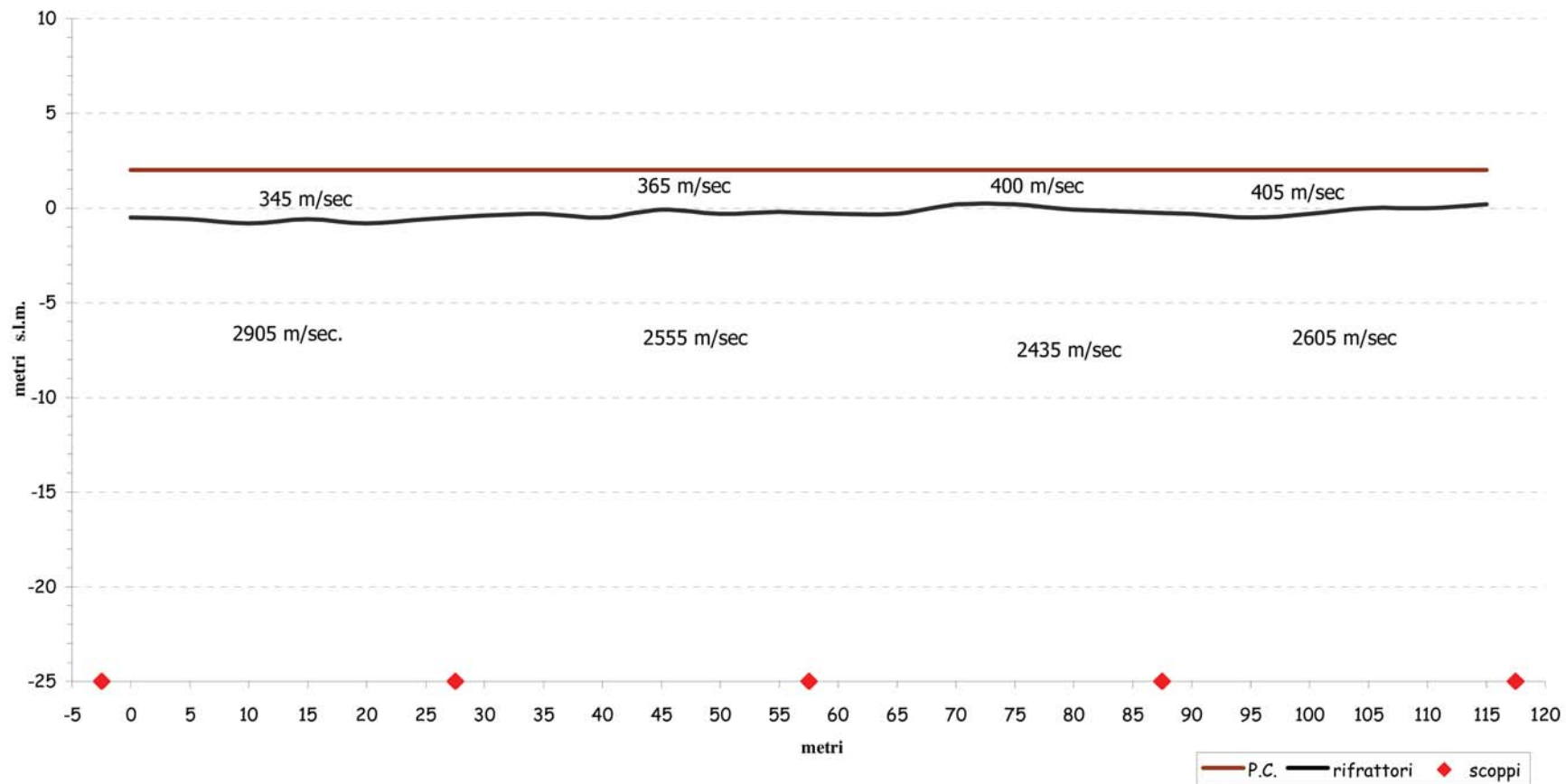
**R.T.I. GeoEcho s.n.c. – IGEA s.a.s.**

Geoecho s.n.c. - Via Giusti, 14/a – 53036 Poggibonsi (SI) – C.F e P.I. 01150550521 Tel. 0577 939386  
 IGEA s.a.s. – Via Sagginalese, 128 – 50032 Borgo San Lorenzo (FI) – C.F. e P.I. 05351980486 Tel. 055 844025





**LNEA SISMICA ST17**  
**SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA : ONDE P**

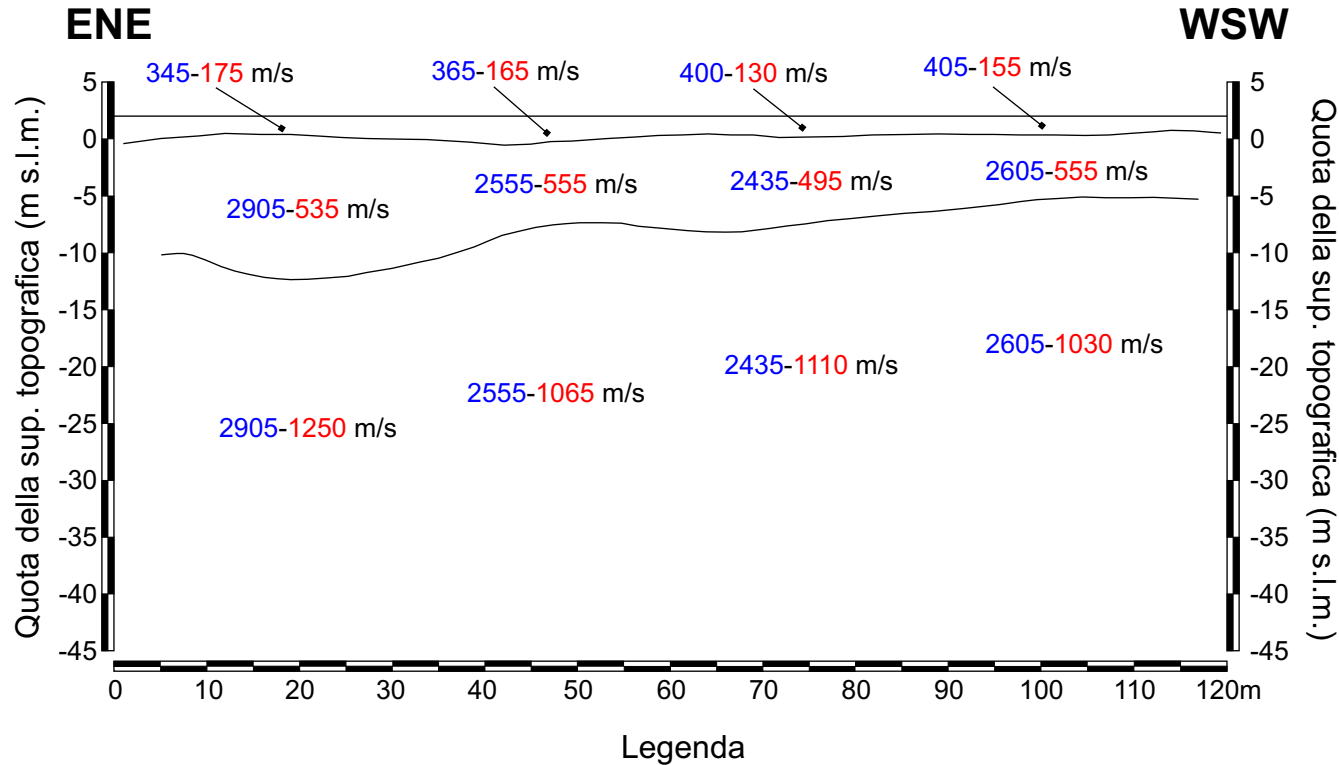


**R.T.I. GeoEcho s.n.c. – IGEA s.a.s.**

Geoecho s.n.c. - Via Giusti, 14/a – 53036 Poggibonsi (SI) – C.F e P.I. 01150550521 Tel. 0577 939386  
IGEA s.a.s. – Via Sagginalese, 128 – 50032 Borgo San Lorenzo (FI) – C.F. e P.I. 05351980486 Tel. 055 844025



## STESASISMICA ARIFRAZIONE St17-ONDEP edSH Rosignano Marittimo (LI)-Loc. Vada Sud

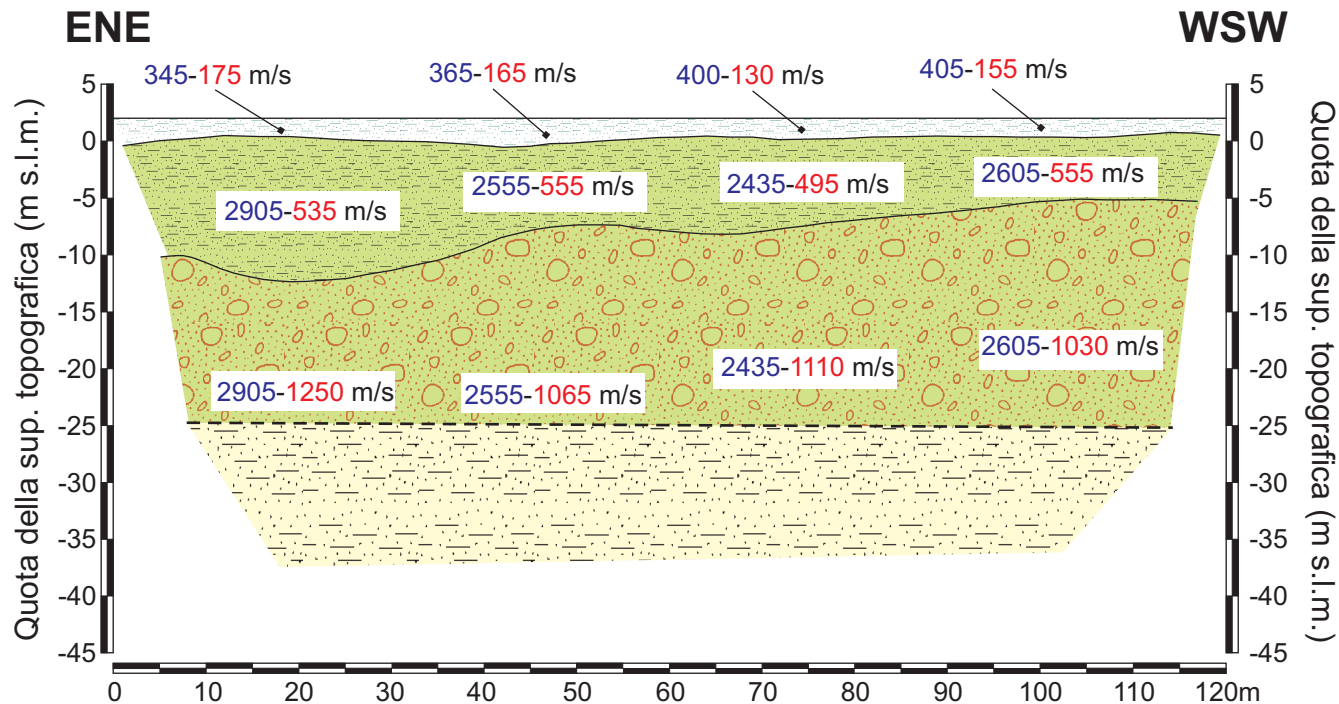


**345 m/s** Velocità sismica onde P in metri al secondo      **175 m/s** Velocità sismica onde SH in metri al secondo

**NOTE:** L'elaborazione delle cronogrammi porta a due sezioni sismostratigrafiche, in onde P ed in onde SH, congruenti. Pertanto viene utilizzata un'unica sezione grafica, valida per entrambe le energizzazioni. Nella sezione vengono rappresentati i sismostrati individuati, indicandole rispettive velocità di propagazione delle onde P (in blu) e delle onde SH (in rosso).

**VALIDAZIONE DATI:** La ricostruzione della sezione, elaborata nella fase di omogeneizzazione, considerando il quadro geologico di riferimento, ha confermato, per quanto attiene alla sezione sismostratigrafica, la versione fornita dalla Ditta esecutrice dell'indagine. Pertanto, in questo caso si è provveduto soltanto all'omogeneizzazione del formato grafico della sezione.

## REVISIONE SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA St17 - onde P e SH Rosignano Marittimo (LI) - Loc. Vada Sud



### Legenda

200 m/s Velocità sismica onde P in metri al secondo

110 m/s Velocità sismica onde SH in metri al secondo



Orizzonte stratigrafico presunto

Depositi palustri, lagunari, lacustri e torbosi indifferenziati ( $e_3 = p$ )

Sabbie Rosse di Donoratico ( $QSD = q_9$ )

Panchina ( $QCP = q_8$ ) mediamente cementata

Sabbie ed Argille ad *Arctica Islandica* ( $ART = q_2$ )

**NOTE:** La caratterizzazione geometrica delle formazioni in termini di spessori risulta congruente con le informazioni geologiche dell'area desunte dal rilievo geologico. L'attribuzione litostratigrafica risulta coerente con i valori di velocità sismiche rilevati.

Il dato sismico discretizza tre sismostrati, individuando così, al di sotto del terreno costituito da depositi lagunari, costieri e palustri ( $e_a = p$ ) di esiguo spessore, un deposito di copertura costituito dalle Sabbie Rosse di Donoratico ( $QSD = q_9$ ) con spessori massimi 5-10m e velocità delle onde di taglio circa 495-555m/sec.

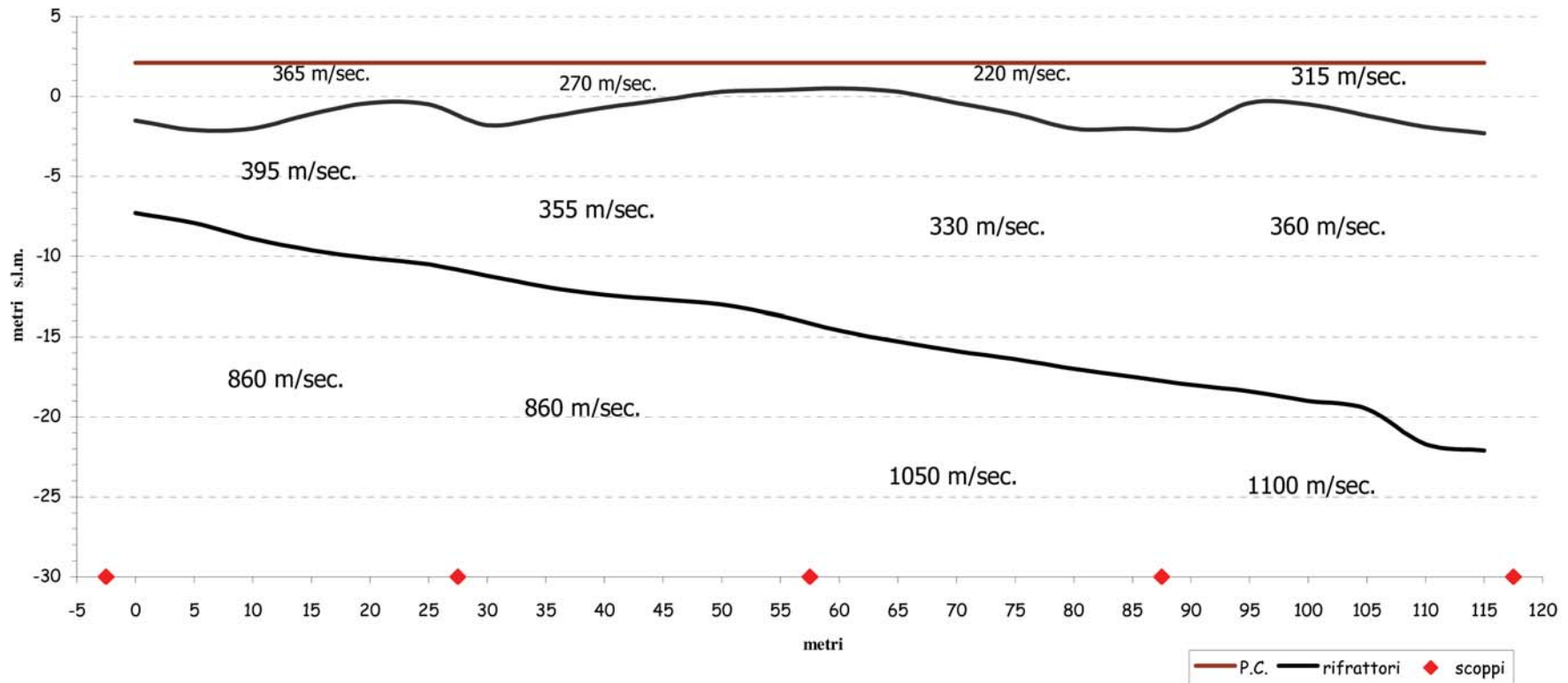
Al di sotto è presente un livello di spessore non definibile di Panchina ( $QCP = q_8$ ) che in quest'area assume certamente le caratteristiche di un bedrock sismico (velocità delle onde di taglio variabili tra 1030 e 1250m/sec) probabilmente a causa dell'elevato grado di cementazione che presenta tale litologia.

Al di sotto della Panchina è probabile che sia presente la formazione delle Sabbie ed argille ad *Arctica Islandica* (ART) che rappresenta il substrato non roccioso dell'area.

Si evidenzia che il simbolismo grafico è solamente indicativo della natura litologica, ma non dell'effettiva giacitura.



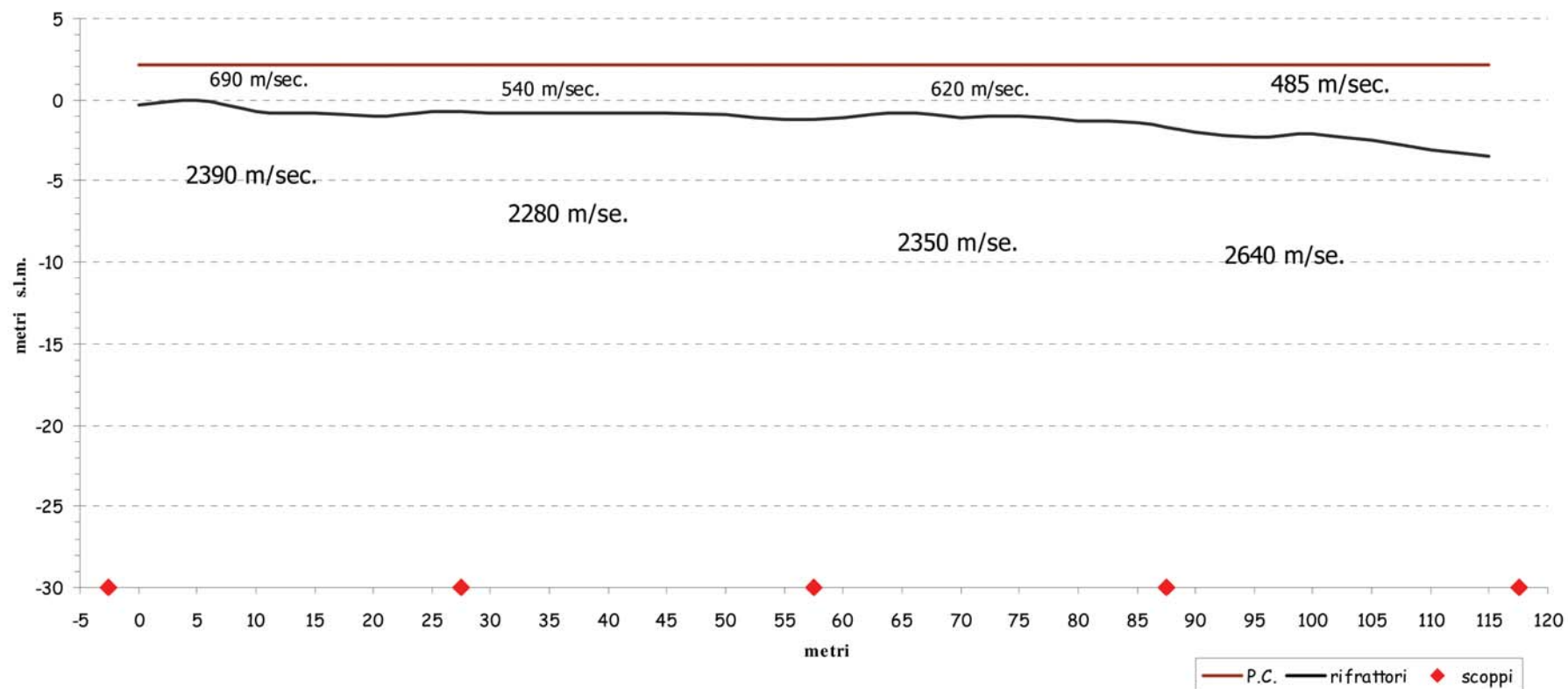
**LINEA SISMICA ST18**  
**SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA ONDE SH**



**R.T.I. GeoEcho s.n.c. – IGEA s.a.s.**

Geoecho s.n.c. - Via Giusti, 14/a – 53036 Poggibonsi (SI) – C.F e P.I. 01150550521 Tel. 0577 939386  
 IGEA s.a.s. – Via Sagginalese, 128 – 50032 Borgo San Lorenzo (FI) – C.F. e P.I. 05351980486 Tel. 055 844025

**LINEA SISMICA ST18**  
**SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA ONDE P**

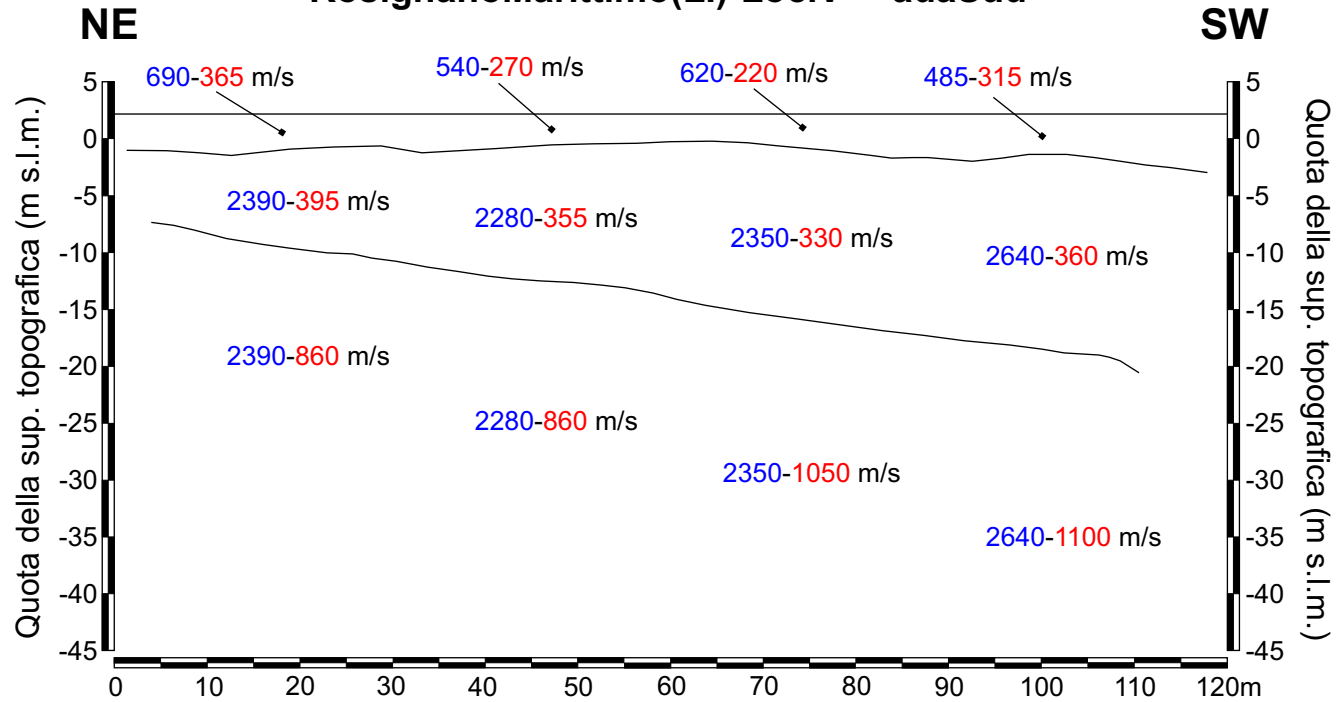


**R.T.I. GeoEcho s.n.c. – IGEA s.a.s.**

Geoecho s.n.c. - Via Giusti, 14/a – 53036 Poggibonsi (SI) – C.F. e P.I. 01150550521 Tel. 0577 939386  
 IGEA s.a.s. – Via Sagginalese, 128 – 50032 Borgo San Lorenzo (FI) – C.F. e P.I. 05351980486 Tel. 055 844025



## STESASISMICA ARIFRAZIONES t18-ONDEP edSH Rosignano Marittimo (LI)-Loc. Vada Sud



Legenda

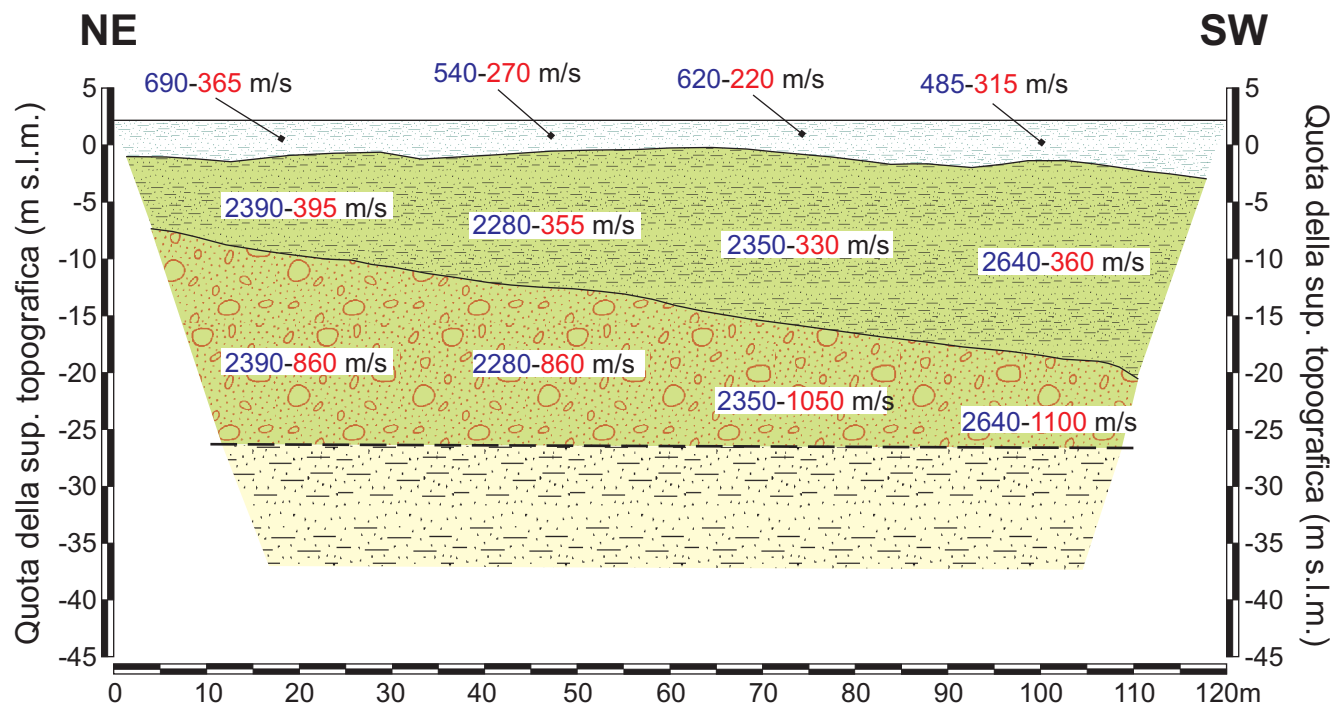
690 m/s Velocità sismica onde P in metri al secondo

365 m/s Velocità sismica onde SH in metri al secondo

**NOTE:** L'elaborazione delle cronocurve porta a due sezioni sismostratigrafiche, in onde P ed in onde SH, congruenti. Pertanto viene utilizzata un'unica sezione grafica, valida per entrambe le energizzazioni. Nella sezione vengono rappresentati i sismostrati individuati, indicandole rispettive velocità di propagazione delle onde P (in blu) e delle onde SH (in rosso).

**VALIDAZIONE DATI:** La ricostruzione della sezione, elaborata nella fase di omogeneizzazione, considerando il quadro geologico di riferimento, ha confermato, per quanto attiene alla sezione sismostratigrafica, la versione fornita dalla Ditta esecutrice dell'indagine. Pertanto, in questo caso si è provveduto soltanto all'omogeneizzazione del formato grafico della sezione.

## REVISIONE SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA St18 - onde P e SH Rosignano Marittimo (LI) - Loc. Vada Sud



### Legenda

200 m/s Velocità sismica onde P in metri al secondo

110 m/s Velocità sismica onde SH in metri al secondo



Orizzonte stratigrafico presunto

Depositi palustri, lagunari, lacustri e torbosi indifferenziati ( $e_3 = p$ )

Sabbie Rosse di Donoratico ( $QSD = q_9$ )

Panchina ( $QCP = q_8$ ) mediamente cementata

Sabbie ed Argille ad *Arctica Islandica* ( $ART = q_2$ )

**NOTE:** La caratterizzazione geometrica delle formazioni in termini di spessori risulta congruente con le informazioni geologiche dell'area desunte dal rilievo geologico. L'attribuzione litostratigrafica risulta coerente con i valori di velocità sismiche rilevati.

Il dato sismico discretizza tre sismostrati, individuando così, al di sotto del terreno costituito da depositi lagunari, costieri e palustri ( $e_a = p$ ) di esiguo spessore, un deposito di copertura costituito dalle Sabbie Rosse di Donoratico ( $QSD = q_9$ ) con spessori massimi 15-20m e velocità delle onde di taglio circa 330-390m/sec.

Al di sotto è presente un livello di spessore non definibile di Panchina ( $QCP = q_8$ ) che in quest'area assume certamente le caratteristiche di un bedrock sismico (velocità delle onde di taglio variabili tra 860 e 1100m/sec) probabilmente a causa dell'elevato grado di cementazione che presenta tale litologia.

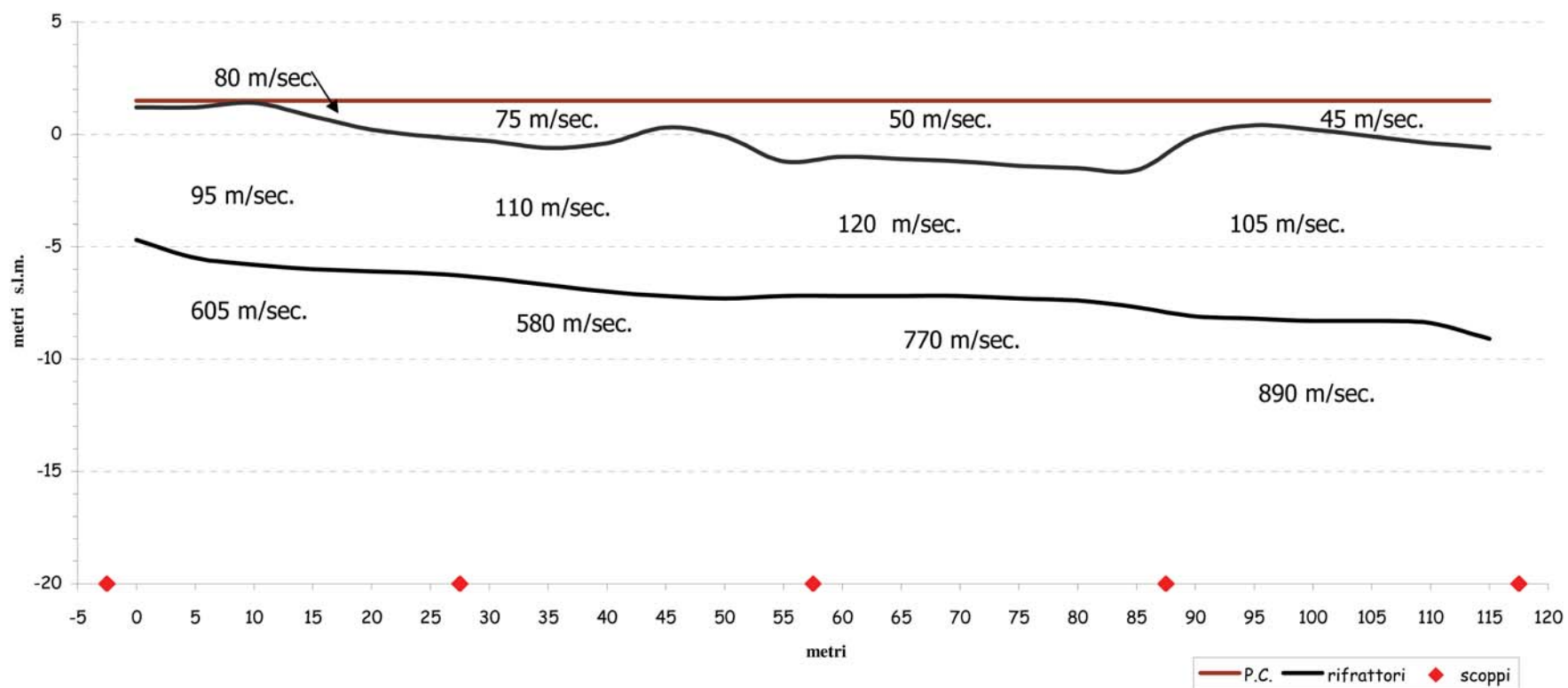
Al di sotto della Panchina è probabile che sia presente la formazione delle Sabbie ed argille ad *Arctica Islandica* ( $ART$ ) che rappresenta il substrato non roccioso dell'area.

Si evidenzia che il simbolismo grafico è solamente indicativo della natura litologica, ma non dell'effettiva giacitura.





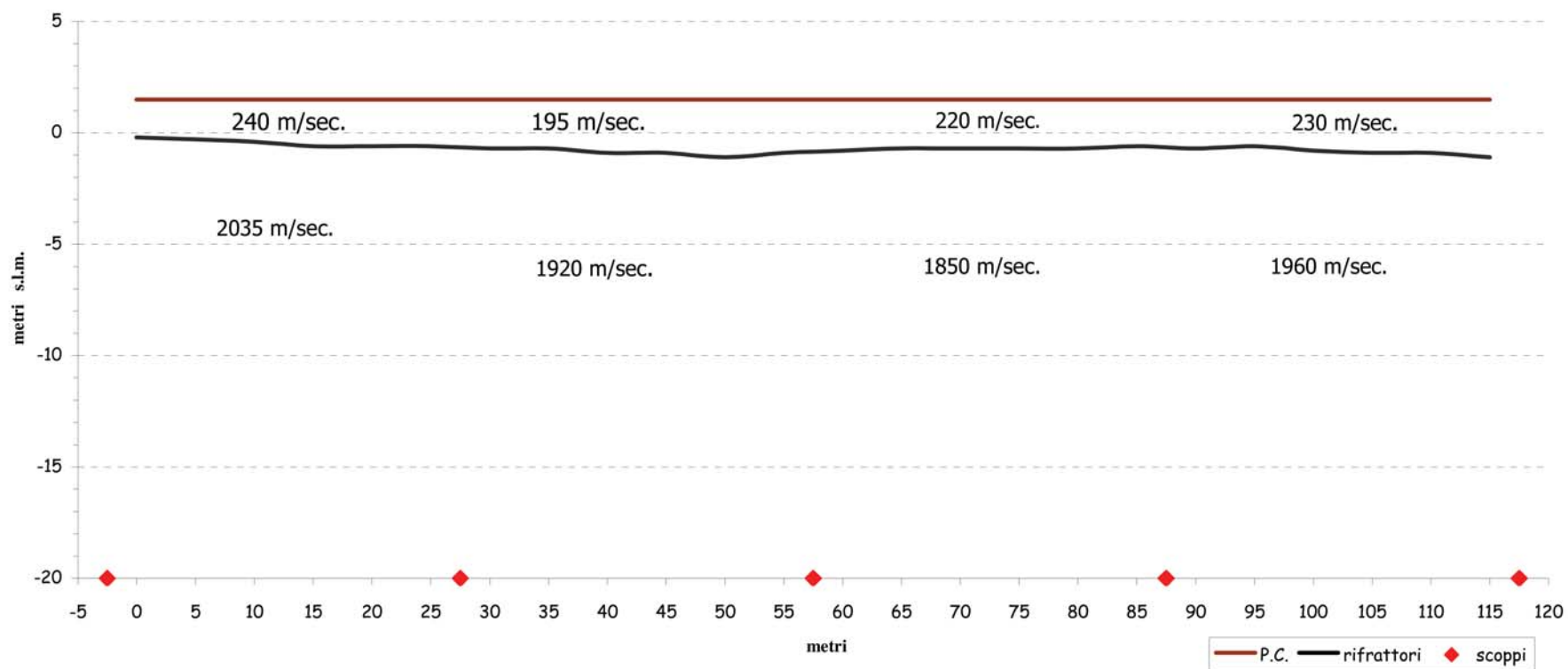
LINEA SISMICA ST19  
SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA ONDE SH



**R.T.I. GeoEcho s.n.c. – IGEA s.a.s.**

Geoecho s.n.c. - Via Giusti, 14/a – 53036 Poggibonsi (SI) – C.F e P.I. 01150550521 Tel. 0577 939386  
IGEA s.a.s. – Via Sagginalese, 128 – 50032 Borgo San Lorenzo (FI) – C.F. e P.I. 05351980486 Tel. 055 844025

**LINEA SISMICA ST19**  
SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA ONDE P

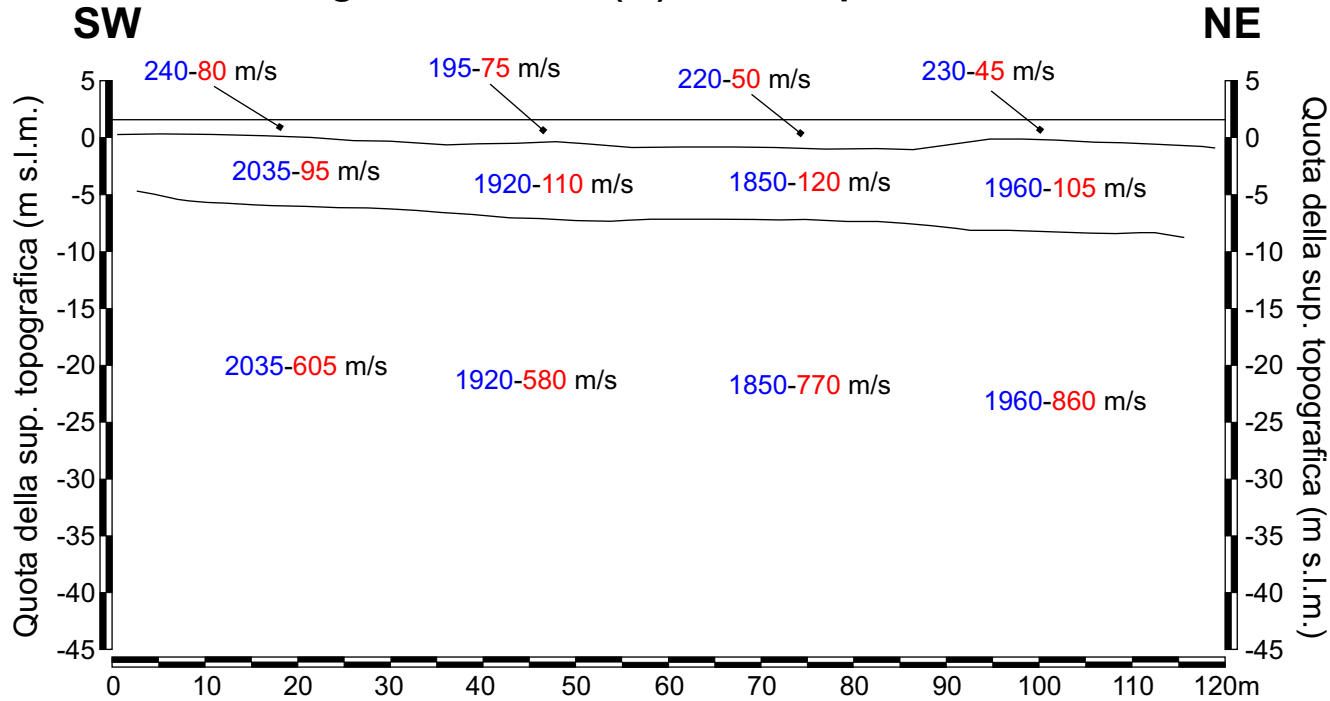


**R.T.I. GeoEcho s.n.c. – IGEA s.a.s.**

Geoecho s.n.c. - Via Giusti, 14/a – 53036 Poggibonsi (SI) – C.F e P.I. 01150550521 Tel. 0577 939386  
 IGEA s.a.s. – Via Sagginalese, 128 – 50032 Borgo San Lorenzo (FI) – C.F. e P.I. 05351980486 Tel. 055 844025



## STESASISMICA ARIFRAZIONES t19-ONDE P ed SH Rosignano Marittimo (LI) - Loc. Campodei Fiori



Legenda

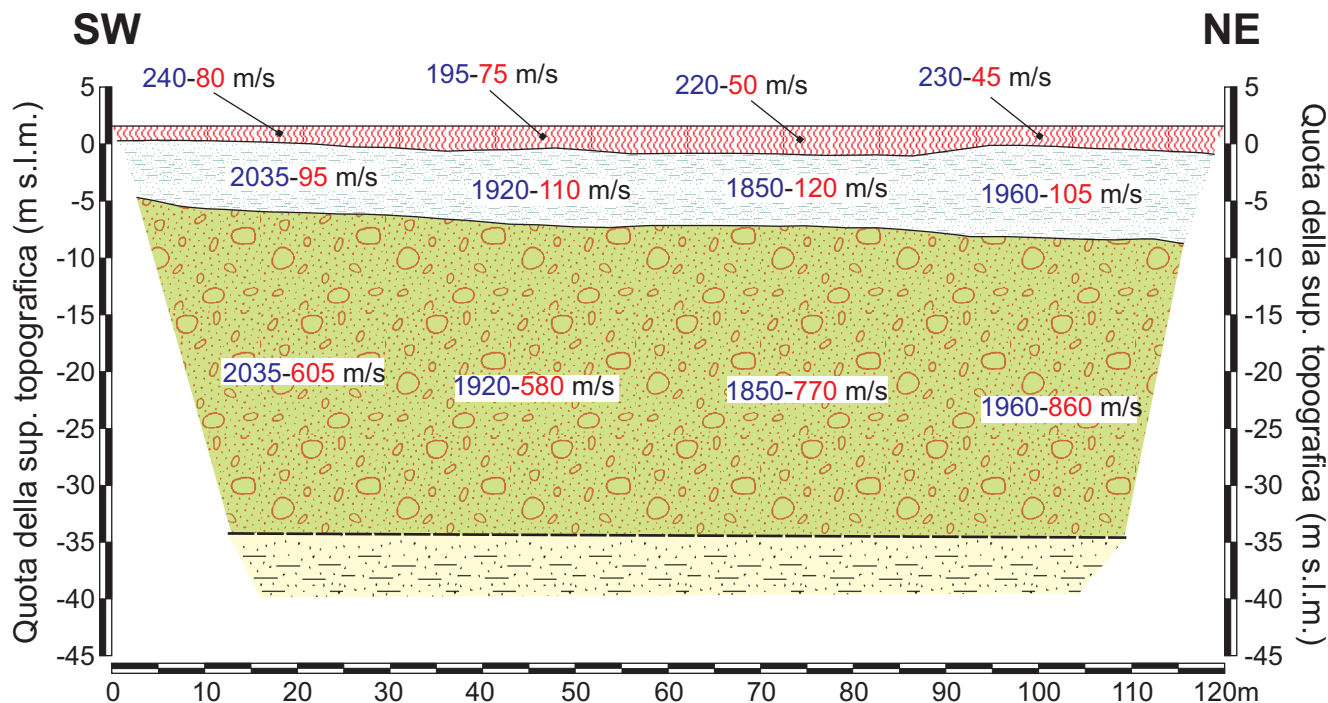
240 m/s Velocità sismica onde P in metri al secondo

80 m/s Velocità sismica onde SH in metri al secondo

**NOTE:** L'elaborazione delle cronogramme porta a due sezioni sismostratigrafiche, in onde P ed in onde SH, congruenti. Pertanto viene utilizzata un'unica sezione grafica, valida per entrambe le energizzazioni. Nella sezione vengono rappresentati i sismostrati individuati, indicandole rispettive velocità di propagazione delle onde P (in blu) e delle onde SH (in rosso).

**VALIDAZIONE DATI:** La ricostruzione della sezione, elaborata nella fase di omogeneizzazione, considerando il quadro geologico di riferimento, ha confermato, per quanto attiene alla sezione sismostratigrafica, la versione fornita dalla Ditta esecutrice dell'indagine. Pertanto, in questo caso si è provveduto soltanto all'omogeneizzazione del formato grafico della sezione.

## REVISIONE SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA St19 - onde P e SH Rosignano Marittimo (LI) - Loc. Campo dei Fiori



### Legenda

200 m/s Velocità sismica onde P in metri al secondo

110 m/s Velocità sismica onde SH in metri al secondo

Orizzonte stratigrafico presunto

Terreno naturale areato (ar)

Depositi palustri, lagunari, lacustri e torbosi indifferenziati ( $e_3 = p$ )

Panchina ( $QCP = q_8$ ) mediamente cementata

Sabbie ed Argille ad *Arctica Islandica* (ART =  $q_2$ )

**NOTE:** La caratterizzazione geometrica delle formazioni in termini di spessori risulta congruente con le informazioni geologiche dell'area desunte dal rilievo geologico. L'attribuzione litostratigrafica risulta coerente con i valori di velocità sismiche rilevati.

Il dato sismico discretizza tre sismostrati, individuando così, al di sotto del terreno vegetale e/o areato, i depositi lagunari, costieri e palustri ( $ea = p$ ) di esiguo spessore con velocità delle onde di taglio molto basse e sempre inferiori a 100m/sec.

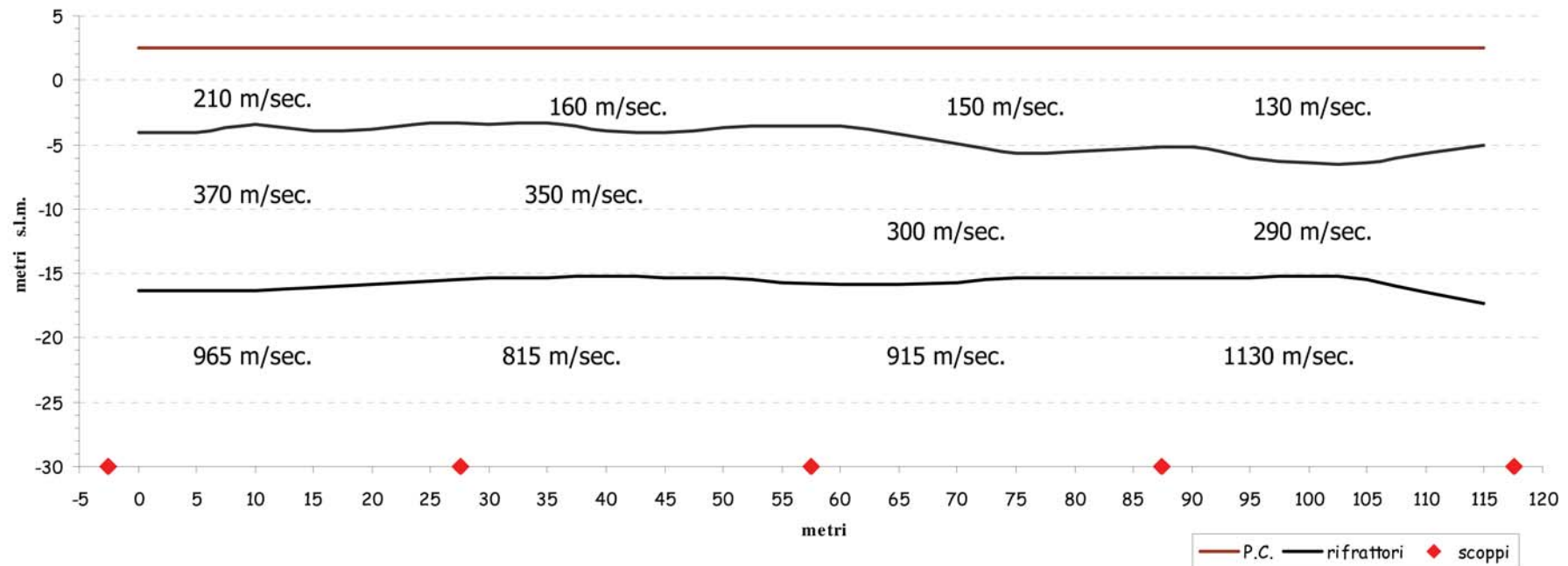
Al di sotto è presente un livello di spessore non definibile di Panchina ( $QCP=q_8$ ) che in quest'area presenta velocità delle onde di taglio estremamente variabili e comprese tra 580 e 860 m/sec a causa probabilmente dell'estrema variabilità laterale del grado di cementazione.

Al di sotto della Panchina è probabile che sia presente la formazione delle Sabbie ed argille ad *Arctica Islandica* (ART) che rappresenta il substrato non roccioso dell'area.

Si evidenzia che il simbolismo grafico è solamente indicativo della natura litologica, ma non dell'effettiva giacitura.



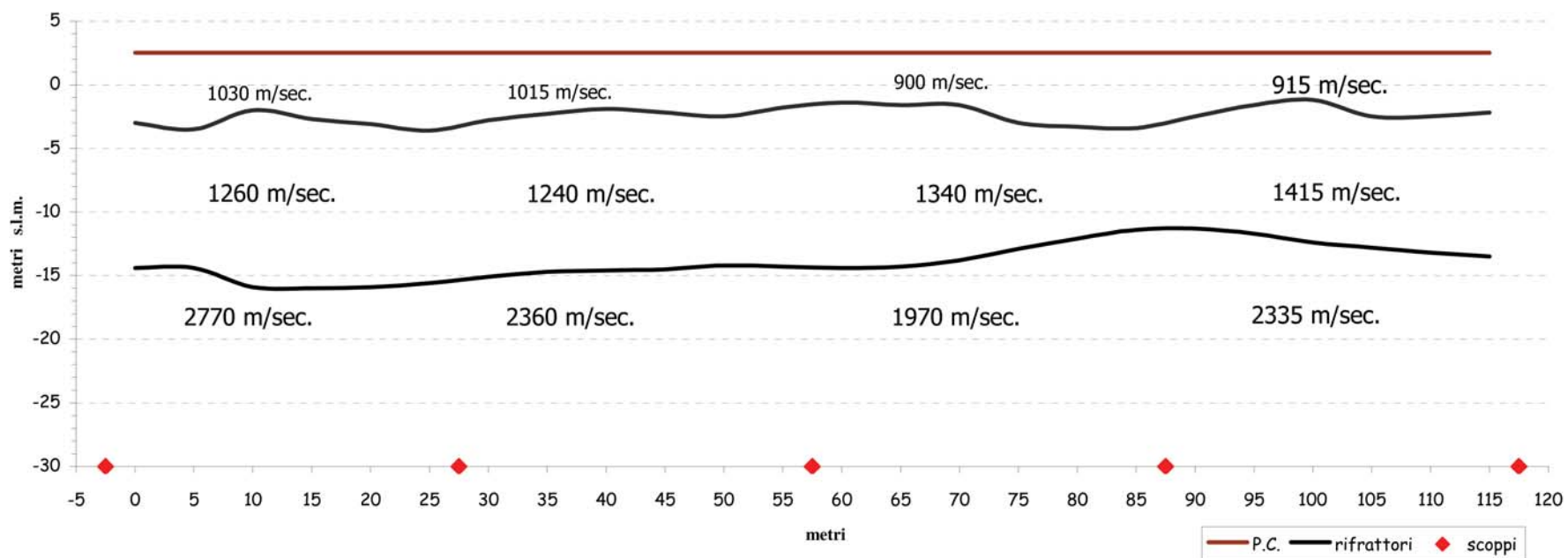
**LINEA SISMICA ST20**  
**SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA ONDE SH**



**R.T.I. GeoEcho s.n.c. – IGEA s.a.s.**

Geoecho s.n.c. - Via Giusti, 14/a – 53036 Poggibonsi (SI) – C.F e P.I. 01150550521 Tel. 0577 939386  
 IGEA s.a.s. – Via Sagginalese, 128 – 50032 Borgo San Lorenzo (FI) – C.F. e P.I. 05351980486 Tel. 055 844025

**LINEA SISMICA ST20**  
**SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA ONDE P**



**R.T.I. GeoEcho s.n.c. – IGEA s.a.s.**

Geoecho s.n.c. - Via Giusti, 14/a – 53036 Poggibonsi (SI) – C.F e P.I. 01150550521 Tel. 0577 939386  
 IGEA s.a.s. – Via Sagginalese, 128 – 50032 Borgo San Lorenzo (FI) – C.F. e P.I. 05351980486 Tel. 055 844025



Dir. Generale delle Politiche Territoriali e Ambientali  
**Coordinamento regionale Prevenzione sismica**

COMMITTENTE: Regione Toscana  
 Ente finanziatore: Regione Toscana  
 DITTA ESECUTRICE: Geo Echos.n.c.

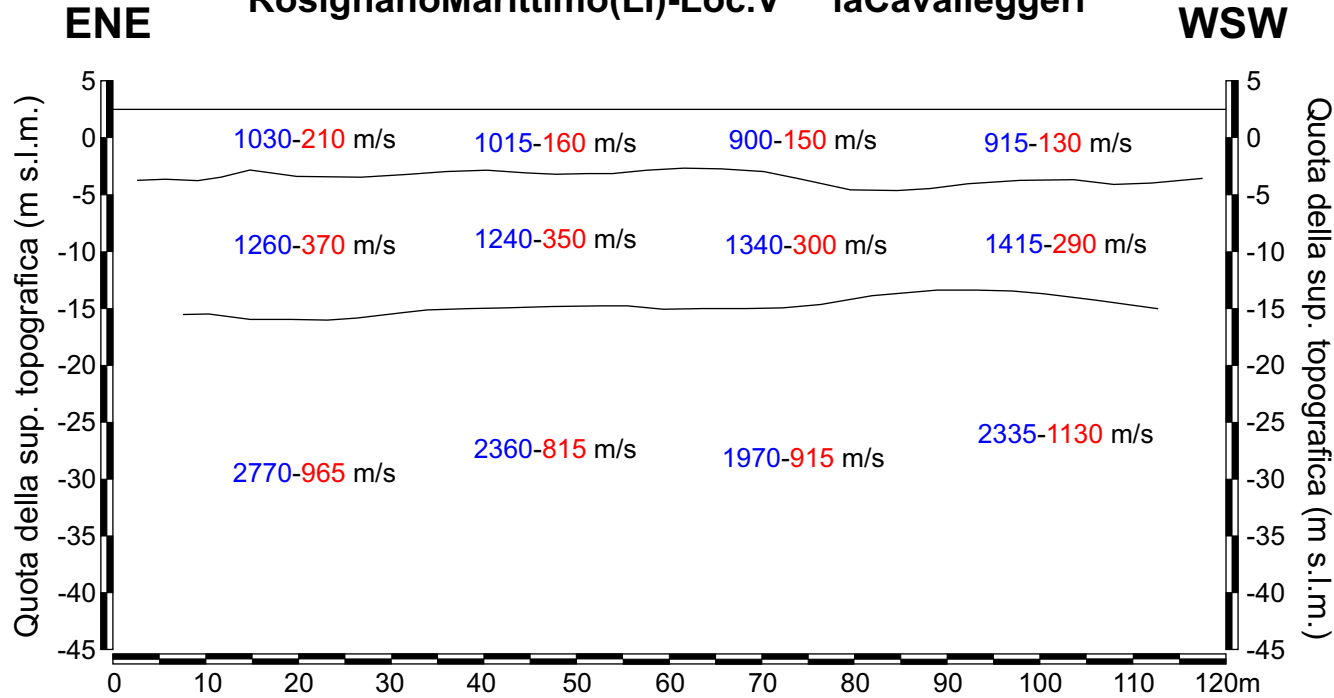
DATA CONSEGNA: settembre 2006  
 PROGRAMMA: DOCUP2000-2006

RIELABORAZIONE E REVISIONE DATI: Vittorio D'Intinosante (11/2008)  
 REVISIONE ESEGUITA: confermata dall'avversione fornita dalla Ditta



**UNIONE EUROPEA**

## STESASISMICA ARIFRAZIONEST20-ONDEP edSH RosignanoMarittimo(LI)-Loc.V iaCavalleggeri



Legenda

1030 m/s Velocità sismica onde P in metri al secondo

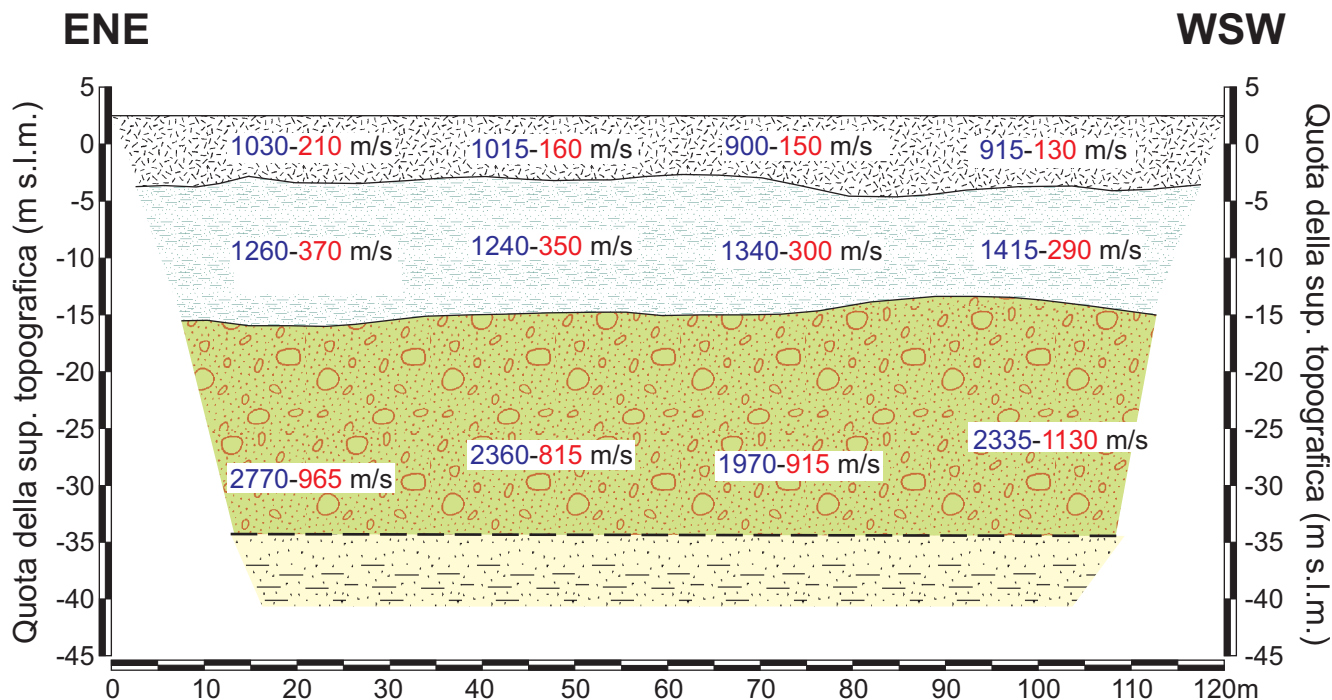
210 m/s Velocità sismica onde SH in metri al secondo

**NOTE:** L'elaborazione delle cronometrie porta a due sezioni sismostratigrafiche, in onde P ed in onde SH, congruenti. Pertanto viene utilizzata un'unica sezione grafica, valida per entrambe le energizzazioni. Nella sezione vengono rappresentati i sismostrati individuati, indicandole rispettive velocità di propagazione delle onde P (in blu) e delle onde SH (in rosso).

**VALIDAZIONE DATI:** La ricostruzione della sezione, elaborata nella fase di omogeneizzazione, considerando il quadro geologico di riferimento, ha confermato, per quanto attiene alla sezione sismostratigrafica, la versione fornita dalla Ditta esecutrice dell'indagine. Pertanto, in questo caso si è provveduto soltanto all'omogeneizzazione del formato grafico della sezione.



## REVISIONE SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA St20 - onde P e SH Rosignano Marittimo (LI) - Loc. Via Cavalleggeri



### Legenda

200 m/s Velocità sismica onde P in metri al secondo

110 m/s Velocità sismica onde SH in metri al secondo

Terreni di riporto e/o massicciata stradale (hn)

Depositi palustri, lagunari, lacustri e torbosi indifferenziati ( $e_3 = p$ )

Panchina (QCP =  $q_8$ ) mediamente cementata

Orizzonte stratigrafico desunto dal sondaggio S1 di Cecina

Sabbie ed Argille ad *Arctica Islandica* (ART =  $q_2$ )

**NOTE:** La caratterizzazione geometrica delle formazioni in termini di spessori risulta congruente con le informazioni geologiche dell'area desunte dal rilievo geologico. L'attribuzione litostratigrafica risulta coerente con i valori di velocità sismiche rilevati.

Il dato sismico discretizza tre sismostrati, individuando così, al di sotto della massicciata stradale e/o riporto (hn), i depositi lagunari, costieri e palustri ( $e_a = p$ ) di spessore intorno ai 10m e con velocità delle onde di taglio variabili tra 300 e 370 m/sec.

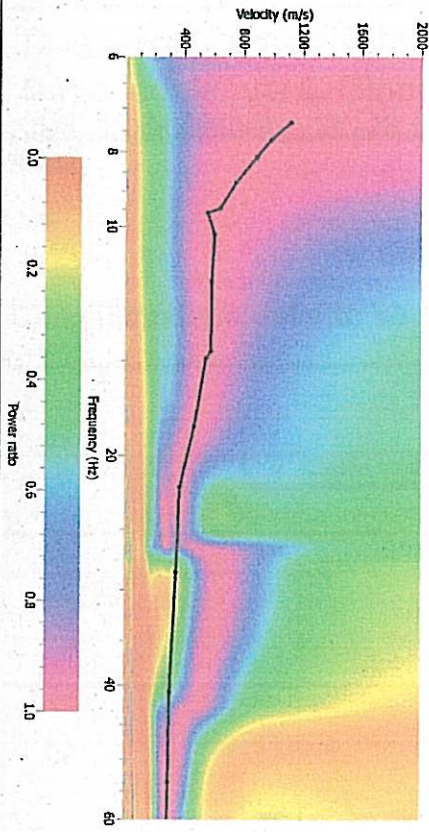
Al di sotto è presente un livello di spessore non definibile di Panchina (QCP= $q_8$ ) che in quest'area presenta velocità delle onde di taglio elevate, comprese tra 815 e 1130m/sec, quindi sempre superiori alla soglia del bedrock sismico.

Al di sotto della Panchina è probabile, anche sulla base delle indicazioni fornite dal sondaggio S1 di Cecina, che sia presente la formazione delle Sabbie ed argille ad *Arctica Islandica* (ART) che rappresenta il substrato non roccioso dell'area.

Si evidenzia che il simbolismo grafico è solamente indicativo della natura litologica, ma non dell'effettiva giacitura.

Elaborati indagine sismica (MASW) - Michele Malanima - Loc. Malvozza, Rastignano Marino (LI) - Data acquisizione dati: 9/05/2011

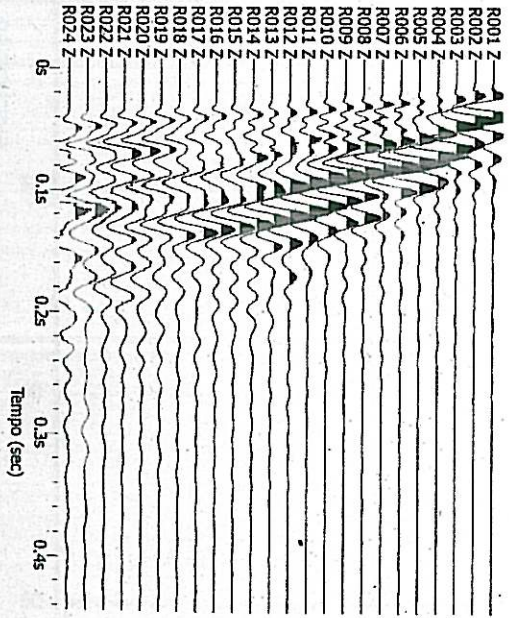
Shot at (-4, 0, 0), line=2011-05-09 10:47:25



In figura è presente una parametrizzazione dell'aspetto di potenza di risonanza alla varie frequenze.  
 Grafico della spectra di frequenza rispetto come funzione della velocità in relazione alla frequenza, in nero è riportata la somma di picchi che segue il modello della risonanza per la relativa frequenza.  
 Il taglio verticale è dovuto ad una dispersione di velocità nella frequenza più bassa  
 Segna la frequenza di circa 60 Hz il modo fondamentale rida non identificabile.

Studio Geotecnico - Dr. Conc. Alessandro Gianni Tel. +39 0585 1940733 / Fax. +39 0585 035144 / e-mail: a.gianni@studiogeotecnico.com

Elaborati indagine sismica (MASW) - Michele Malanima - Loc. Malvozza, Rastignano Marino (LI) - Data acquisizione dati: 9/05/2011



Sismogramma relativo alla indagine oggetto di questa elaborazione



Dott. Geol. Corsini Roberto

Sede legale: via C. Ginori 64/B.1 57023 Cecina

Sede operativa: via De Nittis 15 " "-0586 622572-roberto\_c

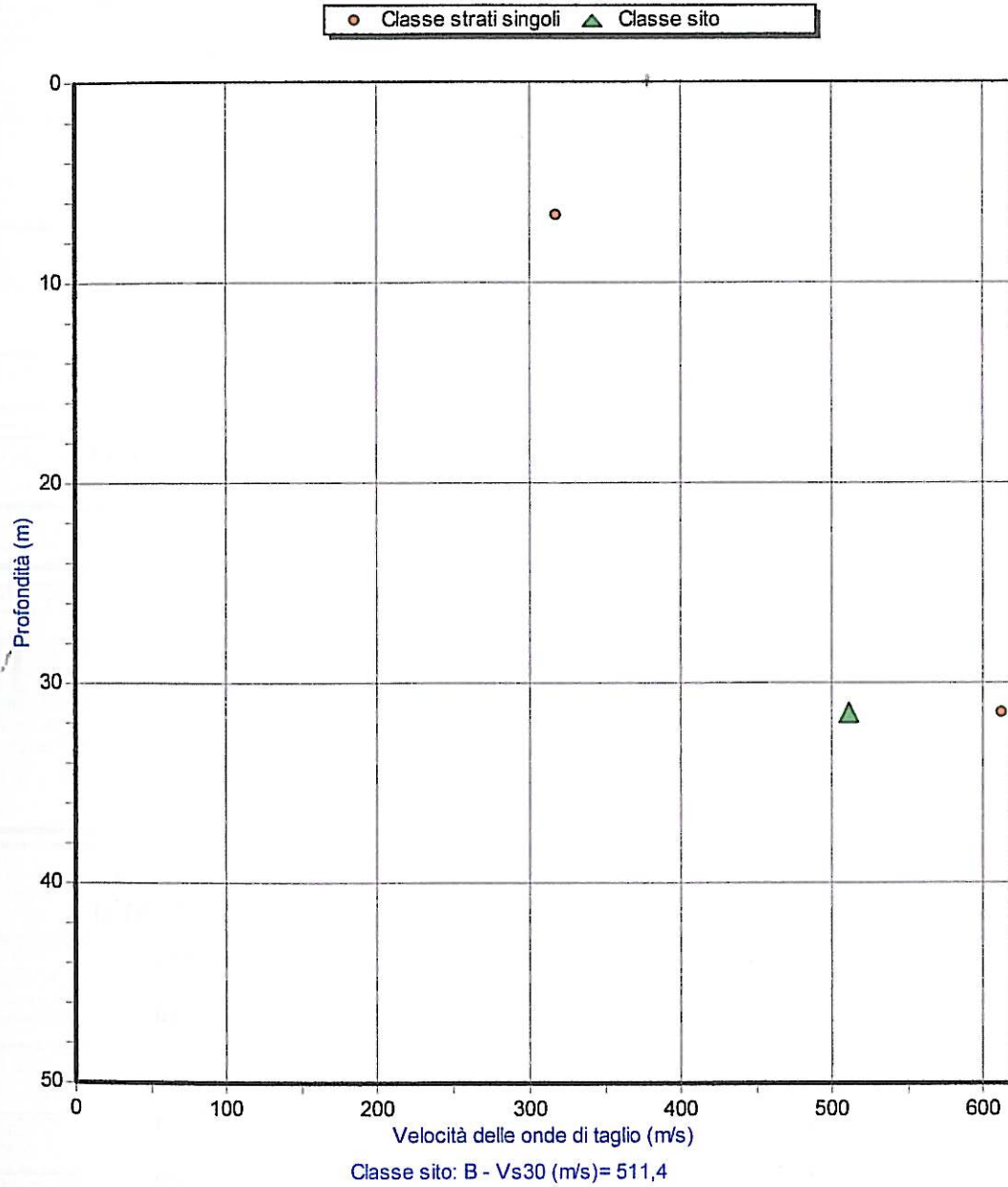
mittente: Malanima Michele

calità: le Stregonie -Gabbro-  
te: nuovo villino unifam.

Descrizione: MASW Acq. MAE Sysmatrack

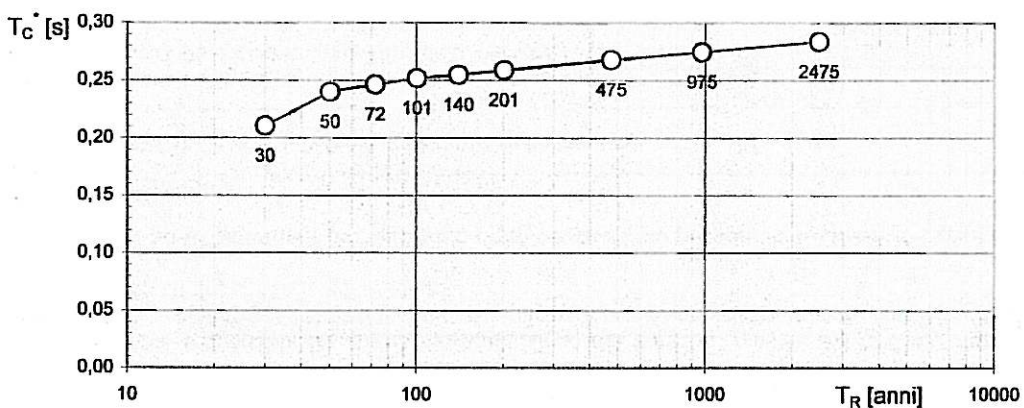
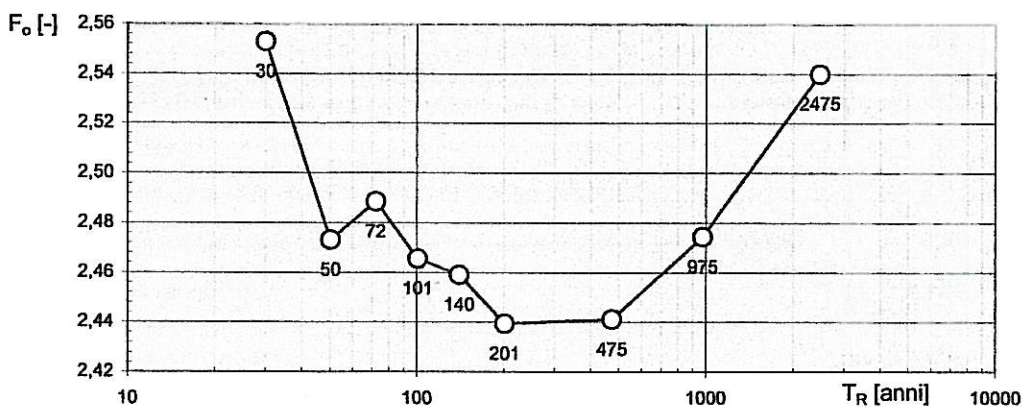
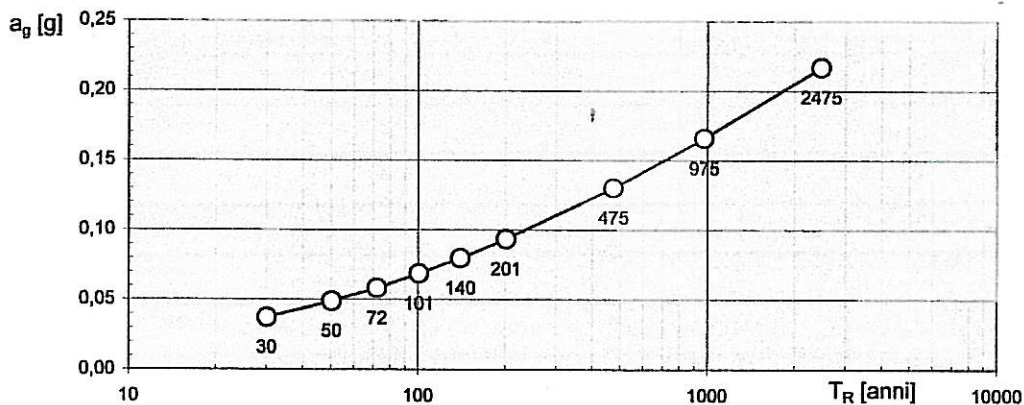
Sigla:

**Classificazione del sito secondo il D.M. 14 gennaio 2008**





**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C$ : variabilità col periodo di ritorno  $T_R$**



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.



Dott. Geol. Corsini Roberto

Sede legale: via C. Ginori 64/B.1 57023 Cecina

Sede operativa: via De Nittis 15 " " -0586 622572-robotto\_c

mittente: Michele Malanima

calità: e Stregonie-Gabbro-

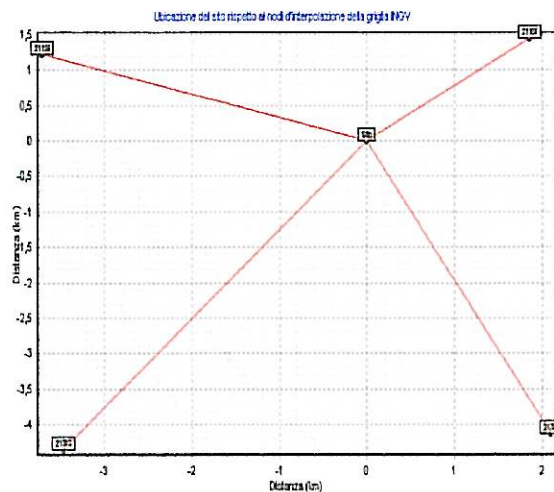
Descrizione: acq. MAE Sysmatrack 24 ch.

te: nuovo villino inif.re

Sigla:

### Parametri sismici secondo il D.M.14 gennaio 2008

Longitudine del sito (°):	10,434
Latitudine del sito (°):	43,483
Periodo di riferimento (anni):	50
Probabilità di superamento (%):	10
ID primo nodo d'interpolazione:	21157
ID secondo nodo d'interpolazione:	21156
ID terzo nodo d'interpolazione:	21379
ID quarto nodo d'interpolazione:	21378
Accelerazione sismica orizzontale massima al sito (g):	0,1329
Categoria sottosuolo:	Classe B
Fattore di amplificazione stratigrafico:	1,2
Categoria topografica:	T2
Fattore di amplificazione topografico:	1,2
Coefficiente di smorzamento (%):	5
Fattore massimo di amplificazione dello spettro di accelerazione orizzontale:	2,44
Periodo d'inizio del tratto a velocità costante dello spettro di accelerazione orizzontale(s):	0,27
Periodo di ritorno del sisma (anni):	475



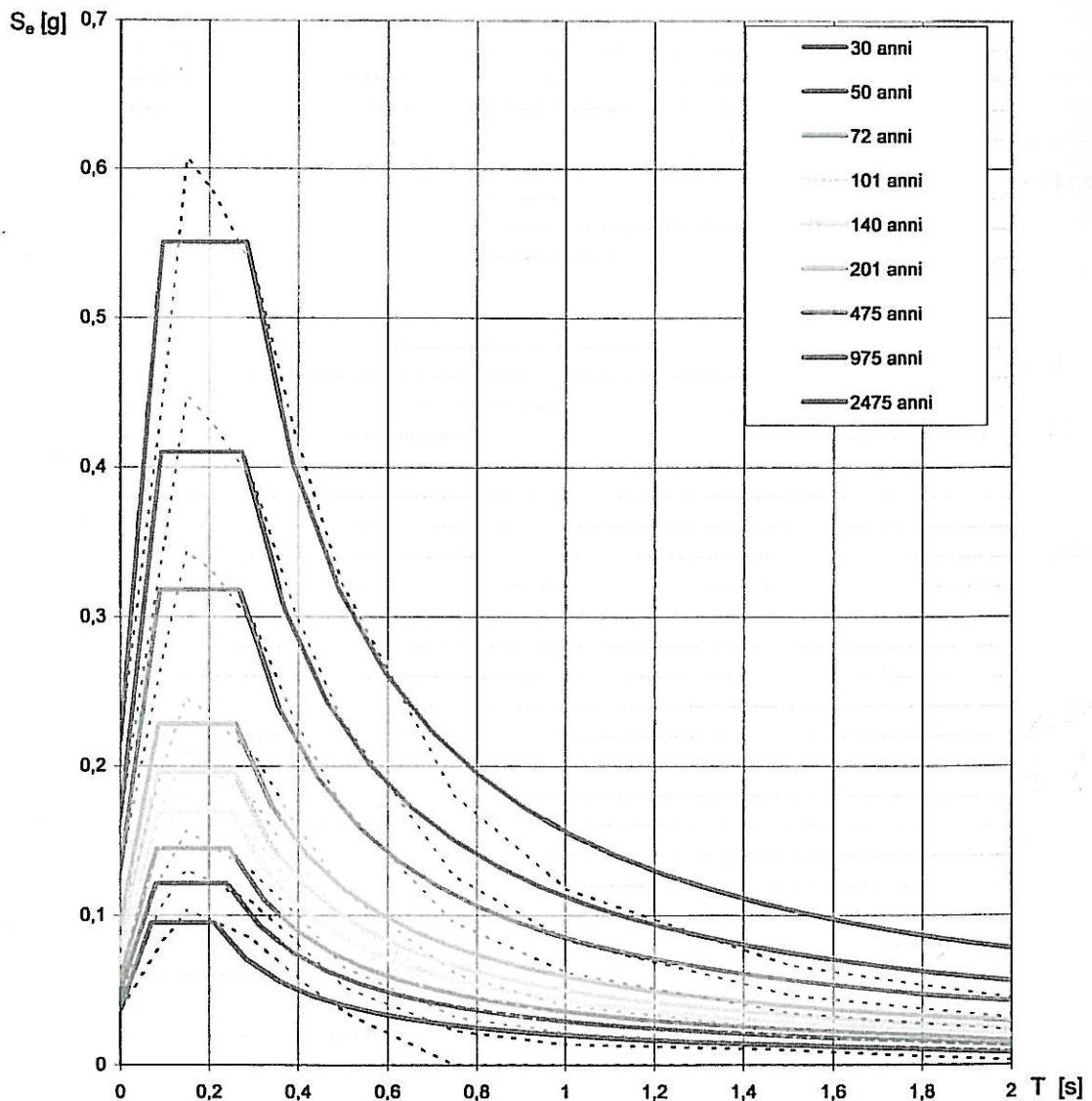


**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento**

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C$ [s]
30	0,037	2,553	0,210
50	0,049	2,473	0,240
72	0,058	2,488	0,246
101	0,069	2,466	0,252
140	0,080	2,459	0,255
201	0,094	2,439	0,259
475	0,130	2,441	0,268
975	0,166	2,474	0,275
2475	0,217	2,540	0,284

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

**Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento**



Fattore di pericolosità sismica (SLV)	0,31
Coefficiente di riduzione Ag/g max. ( $\beta_s$ )	0,24
Ag/g base	0,132
Ag/g (SLV) per $S_s = 1,2$ e $S_t = 1,2$	0,191
Coeff. sismico orizzontale (Kh)	0,0458
" " verticale (Kv)	0,0229
Coeff. taglio orizzontale Vh	0,846
" per incasso Vi	0,977

#### PARAMETRI GEOTECNICI DERIVATI E VALORI DI RESISTENZE DEL TERRENO (M1-M2)

I valori dei parametri geotecnici caratteristici, intesi come quelli prossimi ai valori minimi, nell'ambito di un ammasso medio significativo, ai fini dello scarico tensionale del fabbricato di progetto, sono stati derivati dal valore di  $V_s$  nello strato superficiale, profondo metri 6,70 da p.c.

Per questa correlazione lo scrivente si è avvalso della correlazione di Mai-Yoshimura (1975), che determina un valore di  $N_{spt} = 19$ .

Da Peck-Hanson-Thornburn :  $\varphi^* = 37^\circ$  - attrito interno -

D.R = 58% - densità relative -

Da Schmertmann :  $E = 285$  Kg/cmq. modulo di deformazione

$M_v = 3,5 \cdot 10^{-3}$  cmq/Kg. Modulo di compressibilità volumetrico

$C > 4,5$  Kg/cmq. in termini efficaci (coesione drenata)

$\gamma = 2,35$  tonn/mc.

I valori di cui sopra, considerati cautelativi, sono stati ridotti mediante i coefficienti parziali  $\bar{N}_r$ , di cui alla tabella 6.2. II del D.M.14/1/08, per il carico di rottura del terreno in caso di fondazioni superficiali.

Il valore del carico limite a rottura è stato calcolato, per terreno misto, sia granulare che coesivo, con utilizzazione della equazione di Hansen.

$$Q_{lim.} = (0,5 \times G \times B \times N_y \times s_y) + (C \times N_c \times s_c) + (Q \times N_q \times S_q)$$



Per la verifica A1C1 (stru)  $R_d = 4,2 \text{ Kg/cmq.}$

" " " A1C2 (geo)  $R_d = 1,37 \text{ Kg/cmq.}$

" " " A2 (generale)  $R_d = 1,83 \text{ Kg/cmq.}$

In caso sismico l' applicazione dei coefficienti riduttivi  $V_h$  e  $V_i$  , determina i seguenti valori :

A1C1 (stru)  $R_d = 3,47 \text{ Kg/cmq.}$

A1C2 = (geo)  $R_d = 1,13 \text{ Kg/cmq.}$

A2 (generale)  $R_d = 1,53 \text{ Kg/cmq.}$

In tutti i casi sopra riportati i cedimenti potenziali risultano inferiori a 0,5 cm..

In fig.n° 11 è stato schematizzata la configurazione di fondazione ed il quadro geotecnico di incasso consigliato.

#### **CONSIDERAZIONI DEFINITIVE**

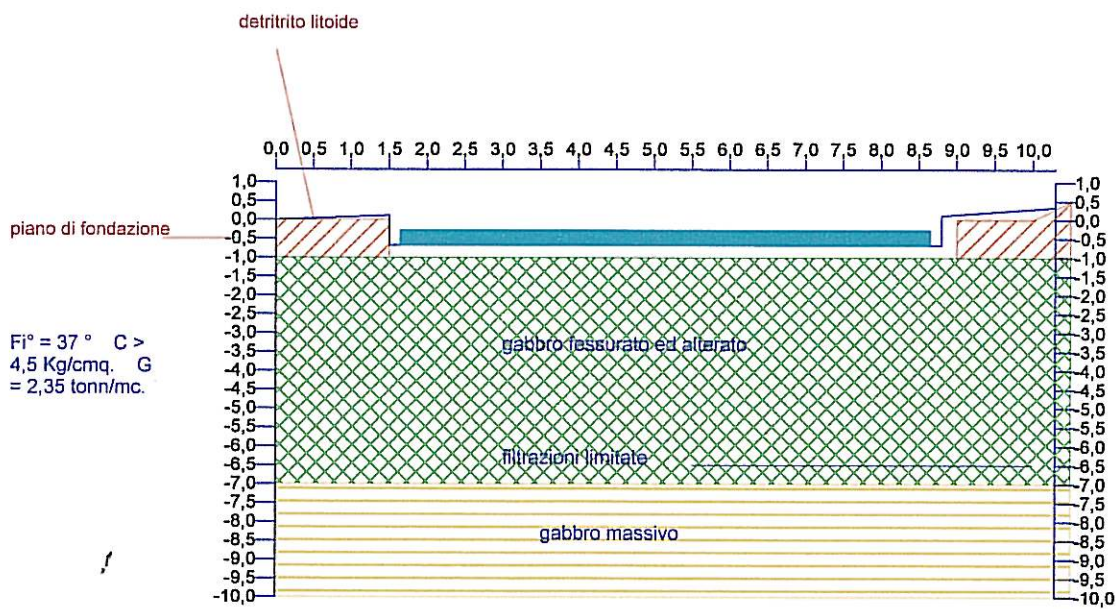
Dall'esame delle condizioni generali di pericolosità del sito, esaminati gli aspetti idrogeologici , litotecnici , geotecnici e sismici si deduce la fattibilità dell 'intervento secondo le considerazioni riportate sull' incasso della fondazione e dei rispettivi carichi trasmissibili al terreno .

La sistemazione dei terreni scavati dovrà prevedere già in fase progettuale un adeguato sito di deposito temporaneo ,per riutilizzo finale alle sistemazioni esterne dei piani definitivi. Il sito di accumulo dovrà essere al 'interno della stessa proprietà ,non in area acclive ,in modo tale da non creare ostacolo alle linee di massima pendenza locale.

Dott. Geol. Corsini Roberto



Fig.n° 11: Schmea geotecnico di incasso scala 1:100



# **INDAGINE GEOFISICA CON METODOLOGIA MASW**

## **Realizzazione di fabbricati abitativi**

**Committente: Sig. Vincenzo Mannari**

**Località: Nibbiaia**

**Comune di Rosignano Marittimo (LI)**

**Poggibonsi 03/12/2009**

## **Relazione Tecnica**

### **1 - Premessa**

In data 25/11/2009 su incarico del Dott. Geol. Massimo Melani e per conto del Sig. Vincenzo Mannari, è stata eseguita un'indagine Geofisica acquisendo un profilo sismico con la metodologia MASW. L'indagine è stata svolta in località Nibbiaia nel Comune di Rosignano Marittimo (LI) in un terreno dove è prevista la realizzazione di nuovi fabbricati abitativi.

Scopo dell'indagine è quello di ricostruire, per l'area in oggetto, l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità.

Il modello sismico monodimensionale costituisce infatti l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni del sito, (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008).

### **2 - Metodologia ed esecuzione delle indagini**

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW è un "metodo attivo", le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

Il metodo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo).

### **3 - Caratteristiche delle apparecchiature e principi generali dell'indagine**

L'indagine Masw per l'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica della prospezione sismica a rifrazione disponendo sul terreno 24 geofoni secondo un array lineare con spaziatura pari a 2 m. Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, sono stati utilizzati geofoni da 4.5 Hz.

Come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore è stata eseguita la somma di più energizzazioni (processo di stacking).

La sorgente è stata posta ad una distanza di 2 m. dal primo geofono. Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata ed i criteri di acquisizione della prova MASW attiva:

### **Strumentazione e caratteristiche dell'indagine**

- 1 Unità di acquisizione sismografo Echo 12/24
- 24 Geofoni verticali "con  $f = 4.5$  Hz
- 2 Cavi sismici  $L = 60$  m
- 1 Sorgente Mazza battente su piattello metallico
- Spaziatura tra i geofoni 1,5 m
- Distanza sorgente 1° geofono 2 m
- Tempo di registrazione 1.0 s

### **4 – Elaborazione dati**

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (Swan).

Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo.

L'analisi delle onde S con tecnica MASW viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, cioè a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale.

In questo dominio, detto dominio trasformato, è semplice andare a separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P o propagazione in aria. L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione ed è caratteristico di questo tipo di onde.

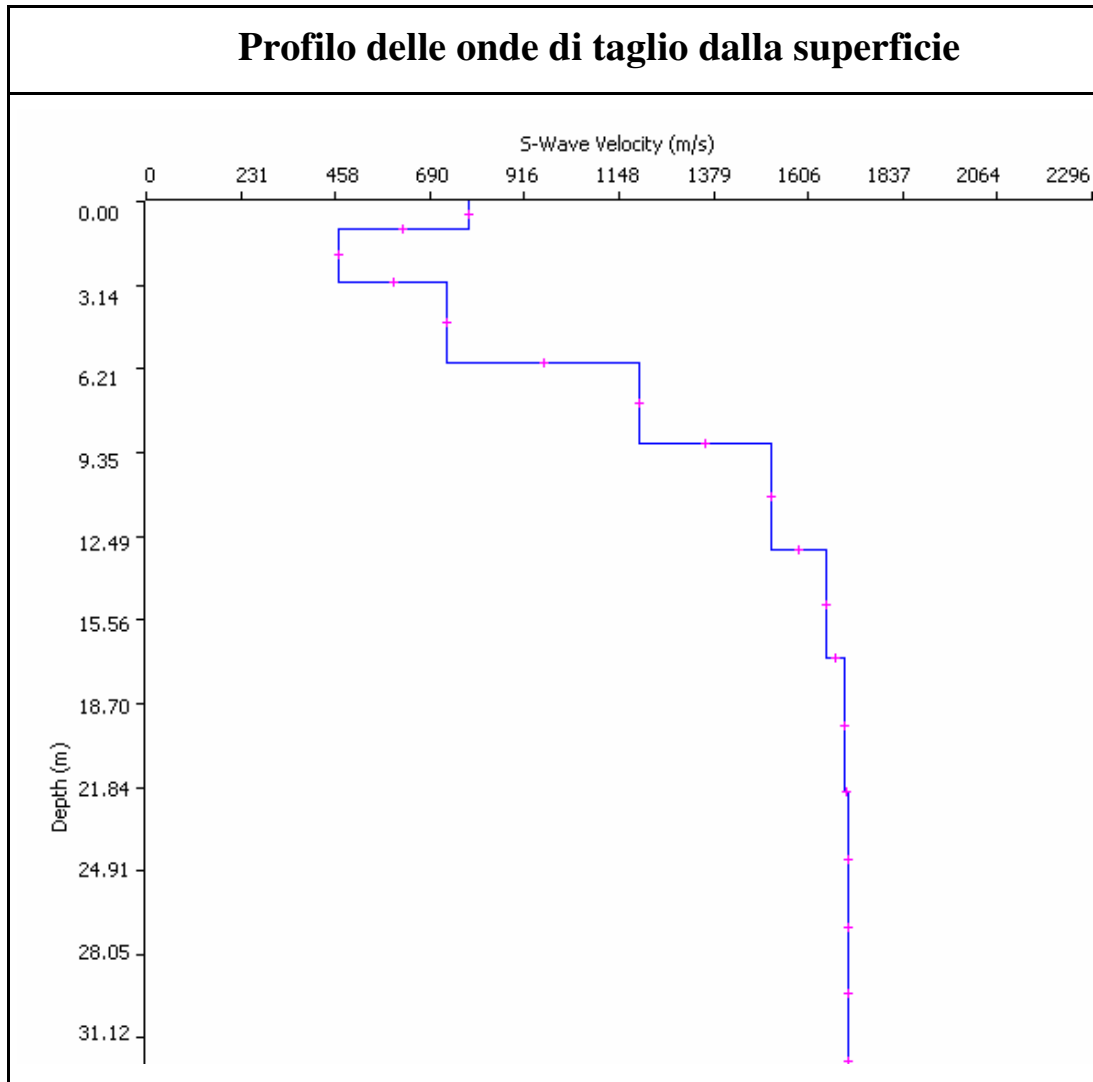
La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché essa approssimativamente passa sui massimi del valore assoluto dello spettro.

A questo punto la curva di dispersione sperimentale deve essere confrontata con quella relativa ad un modello sintetico che verrà successivamente alterato in base alle differenze riscontrate tra le due curve, fino ad ottenere un modello sintetico a cui è associata una curva di dispersione teorica coincidente con la curva sperimentale.

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata (stendimento complessivo di circa 34,5 m):

Thickness	Depth	Vs	Vp	Poisson	Density
1.0	0.0	782	1562	0.33	1.80
2.0	1.0	467	934	0.33	1.80
3.0	3.0	731	1462	0.33	1.80
3.0	6.0	1198	2394	0.33	1.80
4.0	9.0	1515	3028	0.33	1.80
4.0	13.0	1649	3296	0.33	1.80
5.0	17.0	1693	3384	0.33	1.80
5.0	22.0	1703	3403	0.33	1.80
5.0	27.0	1704	3406	0.33	1.80
	32.0	1704	3406	0.33	1.80

**Tabella 1: modello sismico monodimensionale.**





## 5. CALCOLO DELLE VS30

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato, è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la velocità di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (“Norme tecniche per le costruzioni”):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

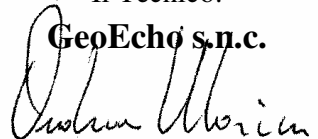
dove  $H_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

Utilizzando la formula sopra riportata si ottiene il seguente valore (quota iniziale = piano campagna attuale): **Vs30 = 1206 m/s** a cui corrisponde la categoria di suolo di fondazione di tipo **A** ( si veda la tabella seguente).

Tabella : Categorie di suolo di fondazione(D.M. 14-09-2005; D.M. 14-01-2008)

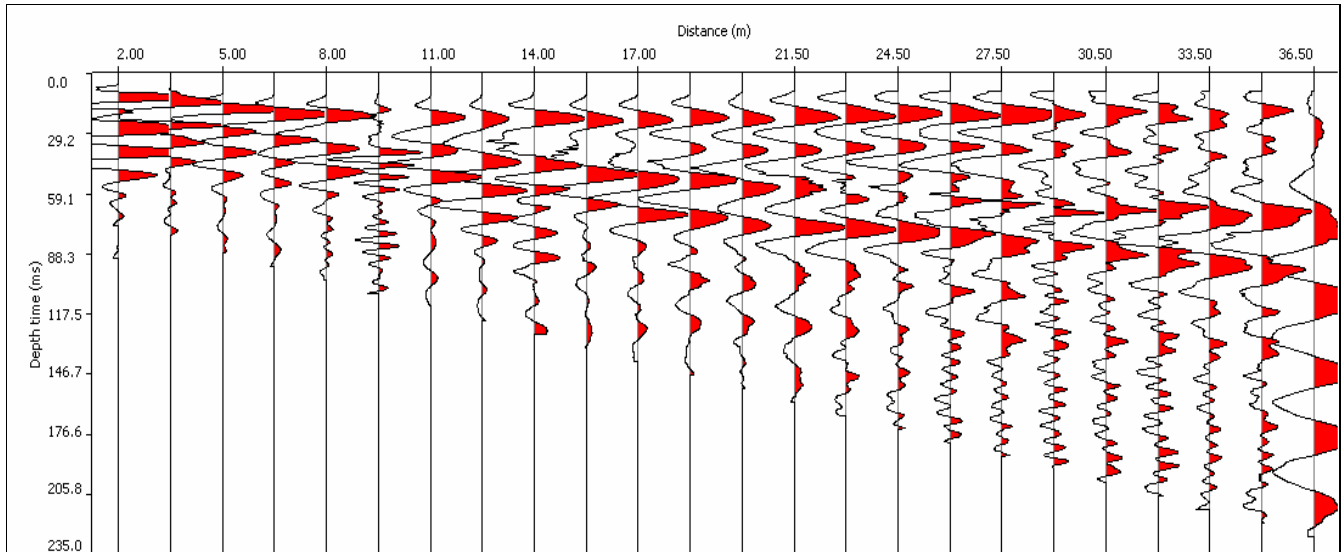
CAT.	DESCRIZIONE PROFILO STRATIGRAFICO	PARAMETRI		
		Vs 30 m/sec.	N spt	Cu (Kpa)
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.	> 800	-	-
<b>B</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 graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	180-360	<50	70-250
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180	<15	<70
<b>E</b>	E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).			

Il Tecnico:

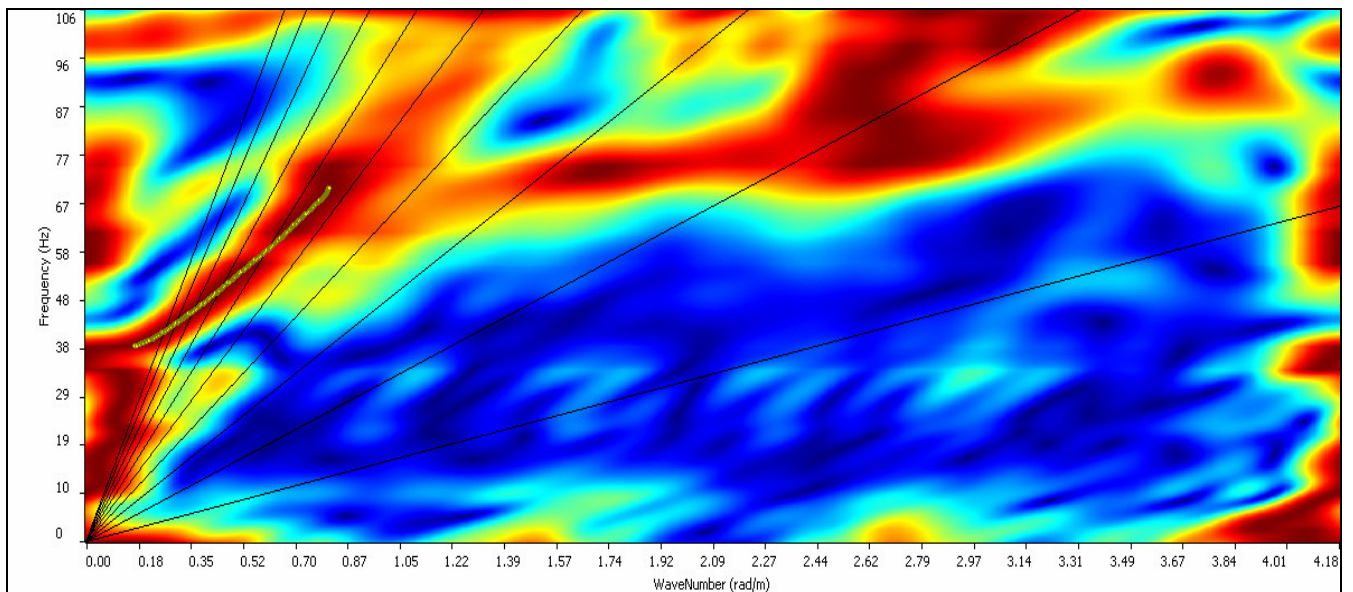
**GeoEcho s.n.c.**  


# Allegati

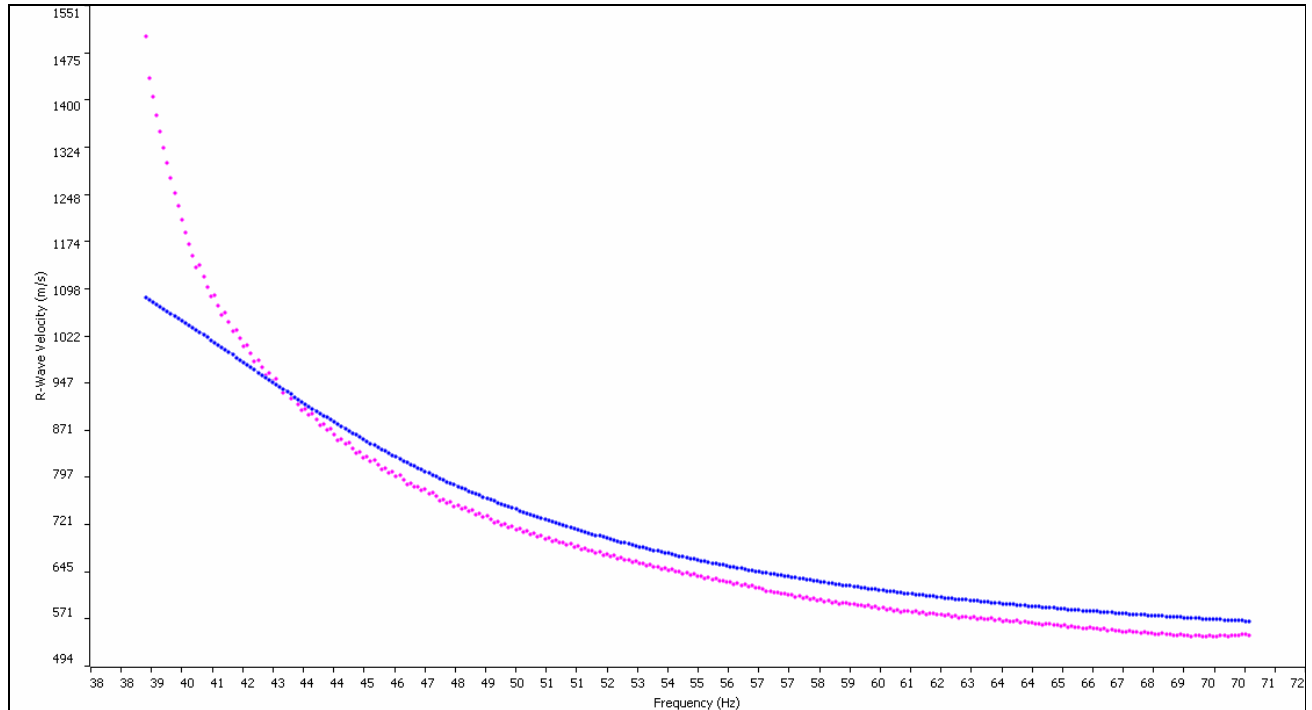
## Sismogramma



## Spettro F-K



## Match Curva di dispersione sperimentale - teorica



## Documentazione fotografica



# **INDAGINE GEOFISICA CON METODOLOGIA MASW**

**Committente: Comune di Rosignano Marittimo**

**Indagini geofisiche per lo studio di una frana  
in loc. Nibbiaia nel Comune di Rosignano M.mo (LI)**

**Poggibonsi Aprile 2010**



## Relazione Tecnica

### 1 - Premessa

Su incarico del Comune di Rosignano Marittimo è stata eseguita un'indagine geofisica acquisendo un profilo sismico con la metodologia MASW. L'indagine è stata svolta in località Nibbiaia a supporto dello studio della frana che ha interessato l'area compresa tra la strada provinciale e gli impianti sportivi situati più a valle. (fig. 1).



**FIG. 1: UBICAZIONE DELLA LINEA**

Scopo dell'indagine era quello di ricostruire, per l'area in oggetto, l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità.

Il modello sismico monodimensionale costituisce infatti l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni del sito, (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008).

## **2 - Metodologia ed esecuzione delle indagini**

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW è un “metodo attivo”, le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

Il metodo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo).

## **3 - Caratteristiche delle apparecchiature e principi generali dell'indagine**

L'indagine Masw per l'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica della prospezione sismica a rifrazione disponendo sul terreno 24 geofoni secondo un array lineare con spaziatura pari a 2 m. Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, sono stati utilizzati geofoni da 4.5 Hz.

Come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore è stata eseguita la somma di più energizzazioni (processo di stacking).

La sorgente è stata posta ad una distanza di 5 e 10 m. dal primo geofono. Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata ed i criteri di acquisizione della prova MASW attiva:

### **Strumentazione e caratteristiche dell'indagine**

- 1 Unità di acquisizione sismografo Echo 12/24
- 24 Geofoni verticali “con  $f = 4.5$  Hz
- 2 Cavi sismici  $L = 60$  m
- 1 Sorgente Mazza battente su piattello metallico
- Spaziatura tra i geofoni 2 m
- Distanza sorgente 1° geofono 5 e 10 m
- Tempo di registrazione 1.0 s

## **4 – Elaborazione dati**

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (Swan).

Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo.

L'analisi delle onde S con tecnica MASW viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, cioè a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale.

In questo dominio, detto dominio trasformato, è semplice andare a separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P o propagazione in aria. L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione ed è caratteristico di questo tipo di onde.

La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché essa approssimativamente passa sui massimi del valore assoluto dello spettro.

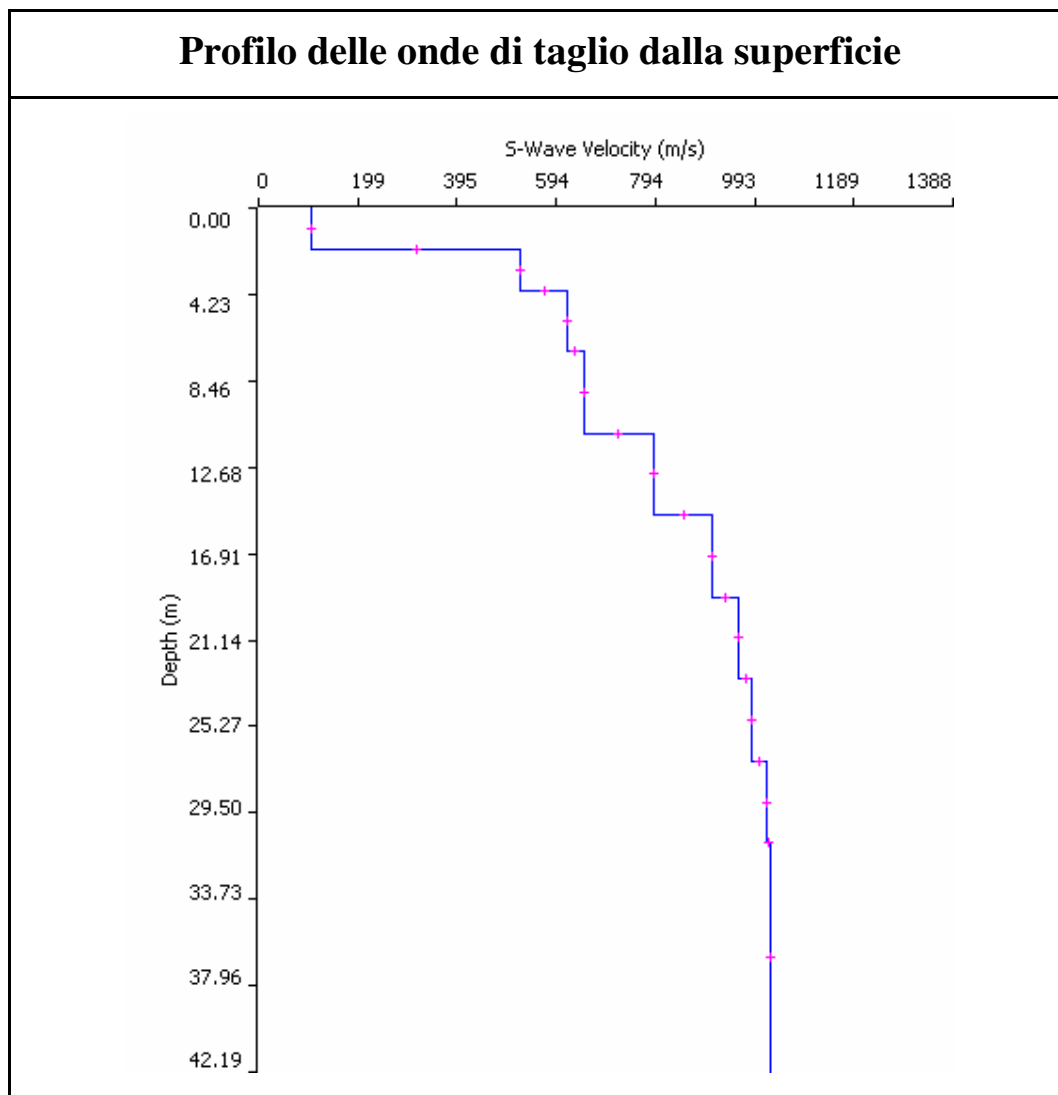
A questo punto la curva di dispersione sperimentale deve essere confrontata con quella relativa ad un modello sintetico che verrà successivamente alterato in base alle differenze riscontrate tra le due curve, fino ad ottenere un modello sintetico a cui è associata una curva di dispersione teorica coincidente con la curva sperimentale.

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata (stendimento complessivo di circa 46 m):



Thickness	Depth	Vs	Vp	Poisson	Density
2	0	106	212	0.333	1.8
2	2	523	1045	0.333	1.8
3	4	617	1233	0.333	1.8
4	7	649	1297	0.333	1.8
4	11	790	1579	0.333	1.8
4	15	908	1815	0.333	1.8
4	19	959	1917	0.333	1.8
4	23	987	1973	0.333	1.8
4	27	1014	2026	0.333	1.8
	31	1022	2042	0.333	1.8

**Tabella 1: modello sismico monodimensionale.**



## 5. CALCOLO DELLE VS30

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato, è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la velocità di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (“Norme tecniche per le costruzioni”):

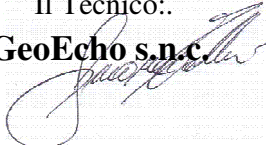
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove  $H_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

Utilizzando la formula sopra riportata si ottiene il seguente valore (quota iniziale = piano campagna attuale): **Vs30 = 552 m/s** a cui corrisponde la categoria di suolo di fondazione di tipo **B** ( si veda la tabella seguente).

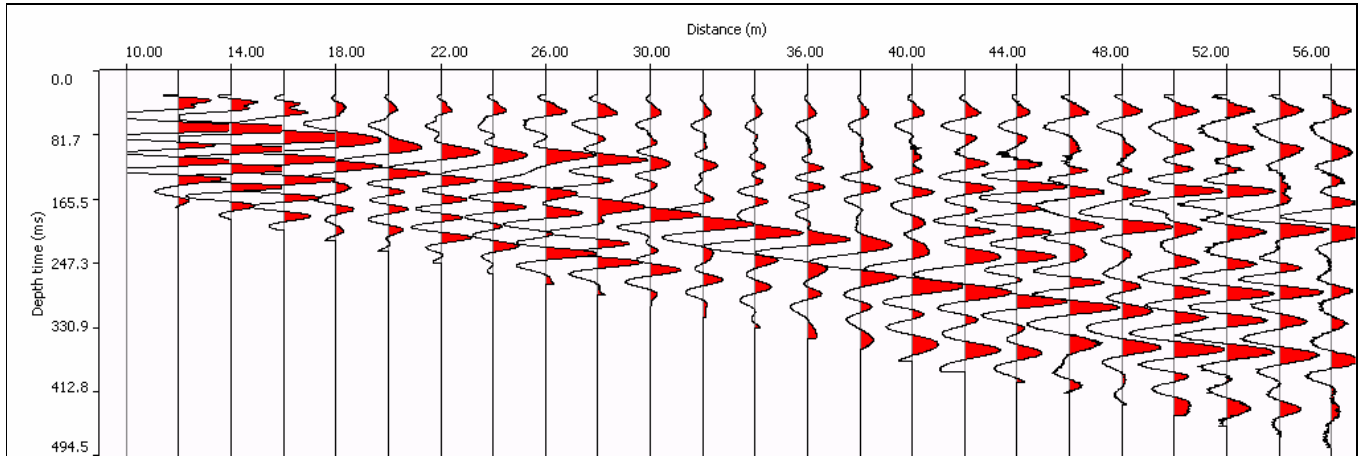
Tabella : Categorie di suolo di fondazione(D.M. 14-09-2005; D.M. 14-01-2008)

CAT.	DESCRIZIONE PROFILO STRATIGRAFICO	PARAMETRI		
		Vs 30 m/sec.	N spt	Cu (Kpa)
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.	> 800	-	-
<b>B</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 graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	180-360	<50	70-250
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180	<15	<70
<b>E</b>	E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).			

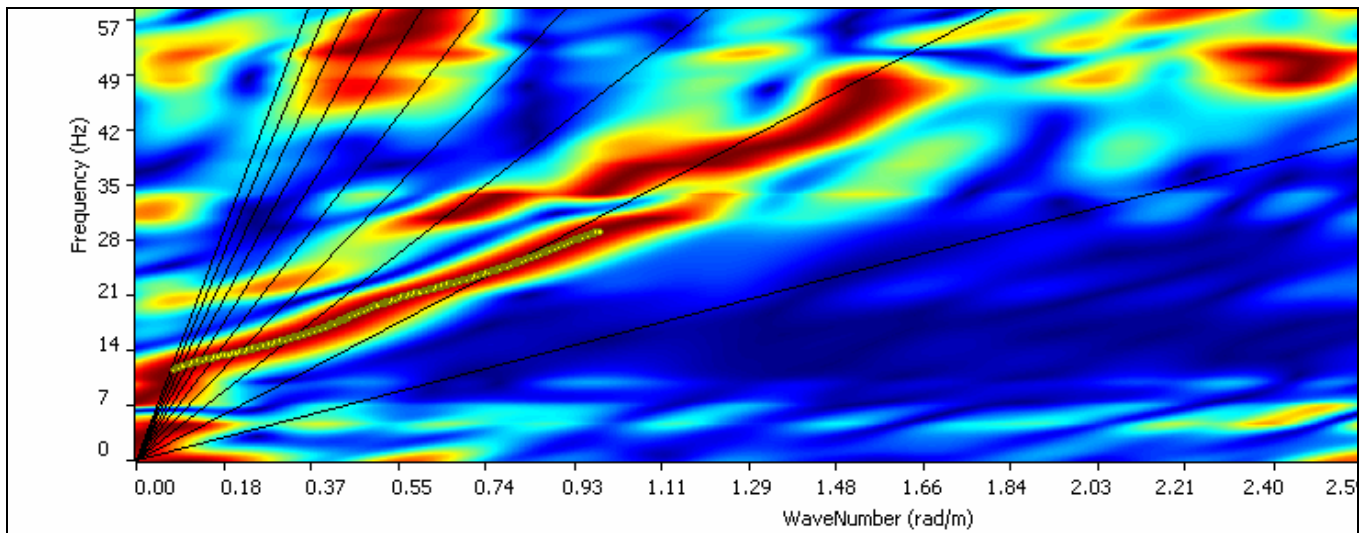
Il Tecnico:..  
**GeoEcho s.n.c.**  


# Allegati

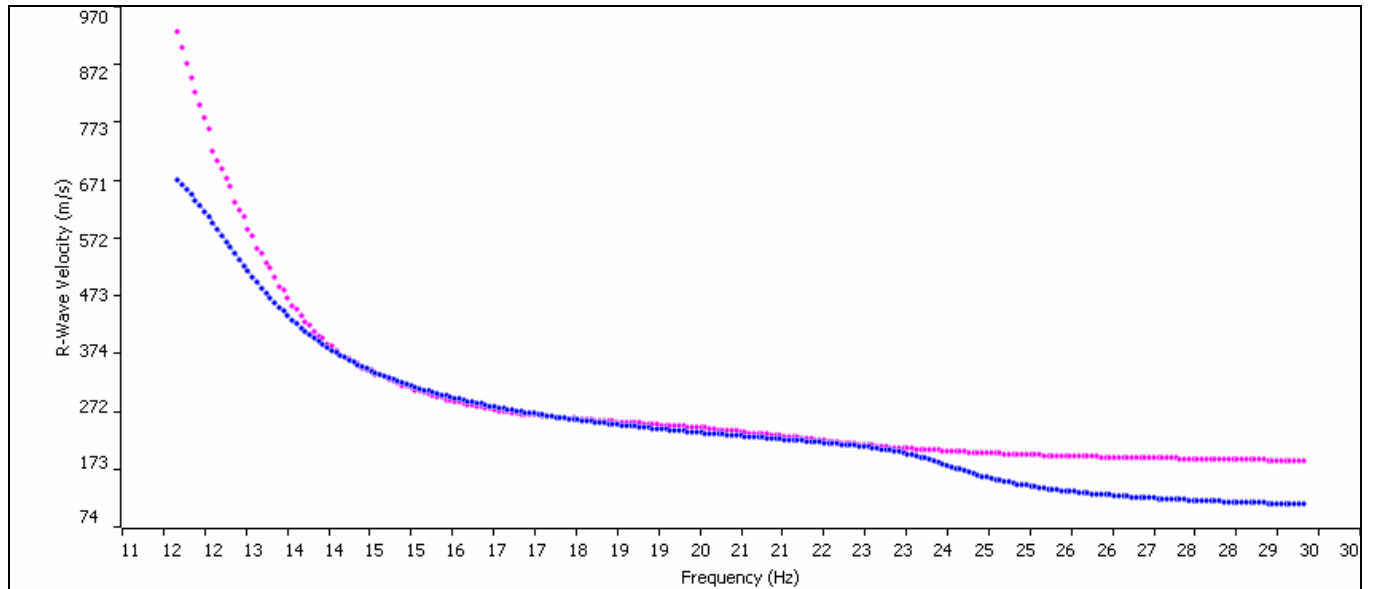
## Sismogramma



## Spettro F-K



## Match Curva di dispersione sperimentale - teorica



## Documentazione fotografica



**INDAGINI GEOFISICA**  
**DI SISMICA ATTIVA CON METODOLOGIA MASW**  
**E MISURA A STAZIONE SINGOLA H/V**

**Ubicazione: loc. Le Spianate - Casa Campofreno**  
**Comune di Castiglioncello (Li)**

**Direzione lavori: Dr. Geol. Massimo Melani**

**Committente: Gardenia s.a.s.**

**Poggibonsi 29/03/2013**



## Relazione Tecnica

### 1 - Premessa

In data 27/03/2013 su incarico del Dott. Geol. Massimo Melani e per conto della Gardenia s.a.s. è stata eseguita, in un terreno ubicato in loc. Le Spianate - Casa Campofreno nel Comune di Castiglioncello (Li) (fig. 1), una speditiva campagna d'indagini sismiche a supporto dello studio geologico e per la valutazione degli effetti locali del sito dove sono previsti alcuni interventi edilizi su un edificio esistente. Nel dettaglio sono state realizzate un'indagine MASW per ricostruire l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità e una misura di sismica passiva con tecnica a "stazione singola" HVSr per determinare la frequenza di risonanza del sito.



FIG. 1: UBICAZIONE DELLE INDAGINI

### 2 – Indagine MASW

Il modello sismico monodimensionale costituisce l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni del sito, (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008).

## **2.1 - Metodologia ed esecuzione delle indagini**

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW è un “metodo attivo”, le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

Il metodo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 4.5 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo).

## **2.2 - Caratteristiche delle apparecchiature e principi generali dell'indagine**

L'indagine Masw per l'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica della prospezione sismica a rifrazione disponendo sul terreno 24 geofoni secondo un array lineare con spaziatura pari a 2.5 m. Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, sono stati utilizzati geofoni da 4.5 Hz.

Come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore è stata eseguita la somma di più energizzazioni (processo di stacking).

**Sono state fatte 3 acquisizioni. Successivamente si è provveduto ad elaborare tutte e 3 le misurazioni valutando la coerenza dei risultati e la loro qualità.**

Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata ed i criteri di acquisizione della prova MASW attiva:

### **Strumentazione e caratteristiche dell'indagine**

- 1 Unità di acquisizione sismografo Echo 12/24
- 24 Geofoni verticali “con  $f = 4.5$  Hz
- 2 Cavi sismici  $L = 60$  m
- 1 Sorgente Mazza battente su piattello metallico
- Spaziatura tra i geofoni 2.5 m
- Distanza sorgente 24° geofono 10 m
- Tempo di registrazione 1.0 s



### **2.3 – Elaborazione dati**

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (Swan).

Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo.

L'analisi delle onde S con tecnica MASW viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, cioè a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale.

In questo dominio, detto dominio trasformato, è semplice andare a separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P o propagazione in aria. L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione ed è caratteristico di questo tipo di onde.

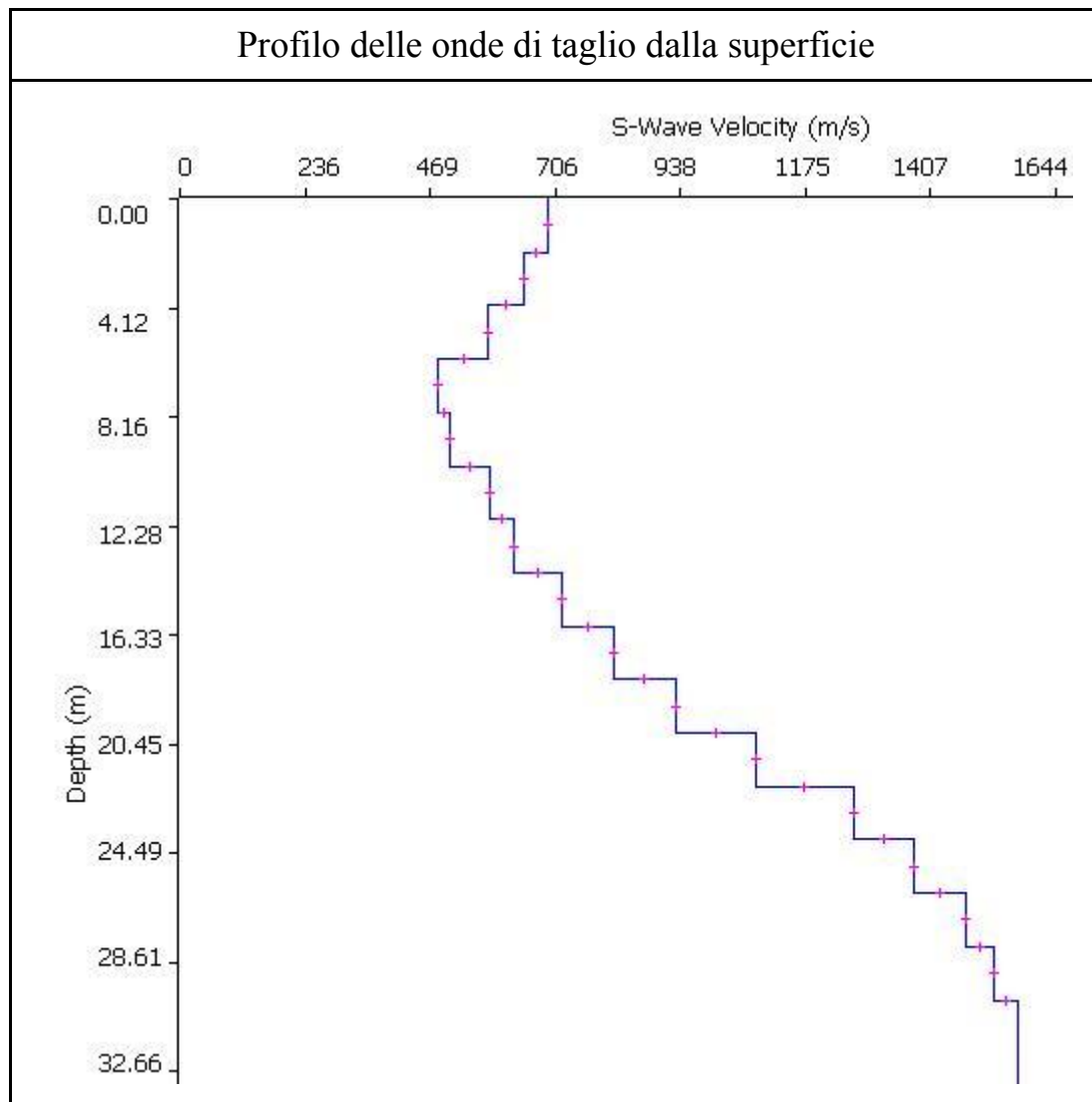
La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché essa approssimativamente passa sui massimi del valore assoluto dello spettro.

A questo punto la curva di dispersione sperimentale deve essere confrontata con quella relativa ad un modello sintetico che verrà successivamente alterato in base alle differenze riscontrate tra le due curve, fino ad ottenere un modello sintetico a cui è associata una curva di dispersione teorica coincidente con la curva sperimentale.

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata (stendimento complessivo di circa 57.5 m).

Thickness	Depth	Vs	Vp	Poisson	Density
2	0	690	1379	0.333	1.8
2	2	647	1293	0.333	1.8
2	4	579	1157	0.333	1.8
2	6	484	967	0.333	1.8
2	8	507	1013	0.333	1.8
2	10	583	1165	0.333	1.8
2	12	628	1255	0.333	1.8
2	14	718	1435	0.333	1.8
2	16	814	1627	0.333	1.8
2	18	931	1861	0.333	1.8
2	20	1080	2158	0.333	1.8
2	22	1265	2528	0.333	1.8
2	24	1377	2752	0.333	1.8
2	26	1475	2948	0.333	1.8
2	28	1527	3052	0.333	1.8
	30	1571	3140	0.333	1.8

**Tabella 1: modello sismico monodimensionale.**



## 2.4 – Calcolo della Vs<sub>30</sub>

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato, è possibile calcolare il valore delle Vs<sub>30</sub>, che rappresenta la velocità di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vs<sub>30</sub> si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (“Norme tecniche per le costruzioni”):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove H<sub>i</sub> e V<sub>i</sub> indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

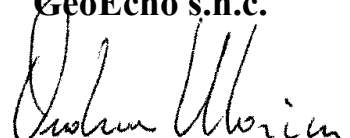
Utilizzando la formula sopra riportata, considerando la quota della fondazione a partire dal piano campagna attuale, si ottiene il seguente valore **Vs30 = 768 m/s** a cui corrisponde la categoria di suolo di fondazione di tipo **B** ( si veda la tabella seguente).

Tabella : Categorie di suolo di fondazione(D.M. 14-09-2005; D.M. 14-01-2008)

CAT.	DESCRIZIONE PROFILO STRATIGRAFICO	PARAMETRI		
		Vs 30 m/sec.	N spt	Cu (Kpa)
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.	> 800	-	-
<b>B</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 graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	180-360	<50	70-250
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180	<15	<70
<b>E</b>	E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).			

Il Tecnico:.

**GeoEcho s.n.c.**



### **3 – Misura con metodologia a stazione singola (HVSr)**

Accanto alle tecniche basate sull'impiego di array sismico esistono altre tecniche basate sull'uso di una singola stazione di misura. In questo caso vengono misurate le vibrazioni ambientali nelle tre direzioni dello spazio attraverso un unico sensore tridirezionale posto sulla superficie del terreno. In particolare viene valutato il rapporto di ampiezza fra le componenti orizzontali e verticali del moto (metodo HVSr ovvero "Horizontal to Vertical Spectral Ratios") [Bard., 1998] . Analizzando misure di questo tipo è possibile identificare le modalità di vibrazione del terreno. In particolare è possibile individuare la frequenza  $f$  di questa vibrazione definita di "Risonanza". Sapendo che in generale esiste una relazione semplice fra  $f$ , lo spessore della parte più soffice del terreno e la velocità media delle onde sismiche nel sottosuolo (ricavata per esempio dai metodi passivi ad antenna, o attivi come Masw e Rifrazione), attraverso le misure HVSr è possibile risalire allo spessore di questo strato.

#### **Risultati e conclusioni**

La misura H/V realizzata è servita a definire la frequenza di risonanza del sottosuolo in maniera tale da prevenire, al verificarsi di un evento sismico, possibili interferenze risonanti, tra il suolo e le strutture da realizzare.

La misura eseguita evidenzia un picco di risonanza nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico (1 – 10 Hz) di circa 7,7 Hz ed ampiezza di circa 2.

Esso rappresenta un contrasto di impedenza indicativamente tra i 10 e i 20 m. di profondità.

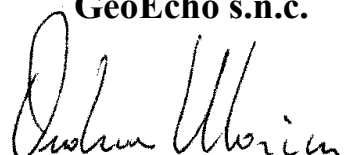
Un altro picco con ampiezza di poco superiore a 2 è osservabile alla frequenza di circa 19 Hz e rappresenta un contrasto di impedenza indicativamente tra i 5 e i 10 m. di profondità.

Volendo valutare con migliore approssimazione la profondità dei primi orizzonti, è possibile utilizzare la relazione semplice fra la frequenza ( $f$ ), lo spessore ( $h$ ) e la velocità media ( $V_s$ ) della parte di materiali sovrastante lo strato rigido:

$$f = V_s / (4h)$$

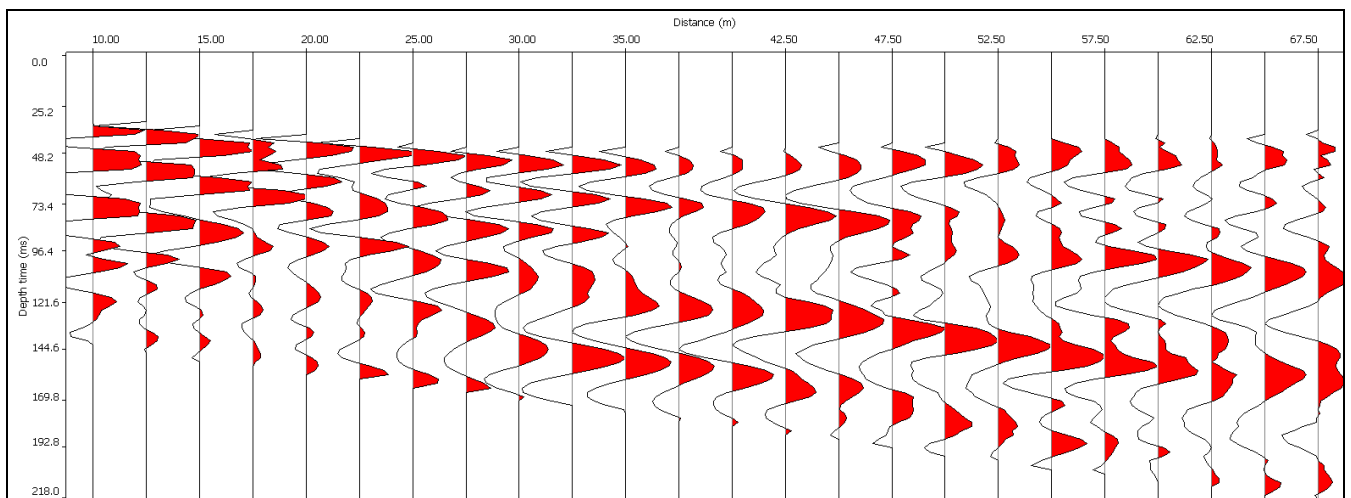
Il Tecnico:.

**GeoEcho s.n.c.**

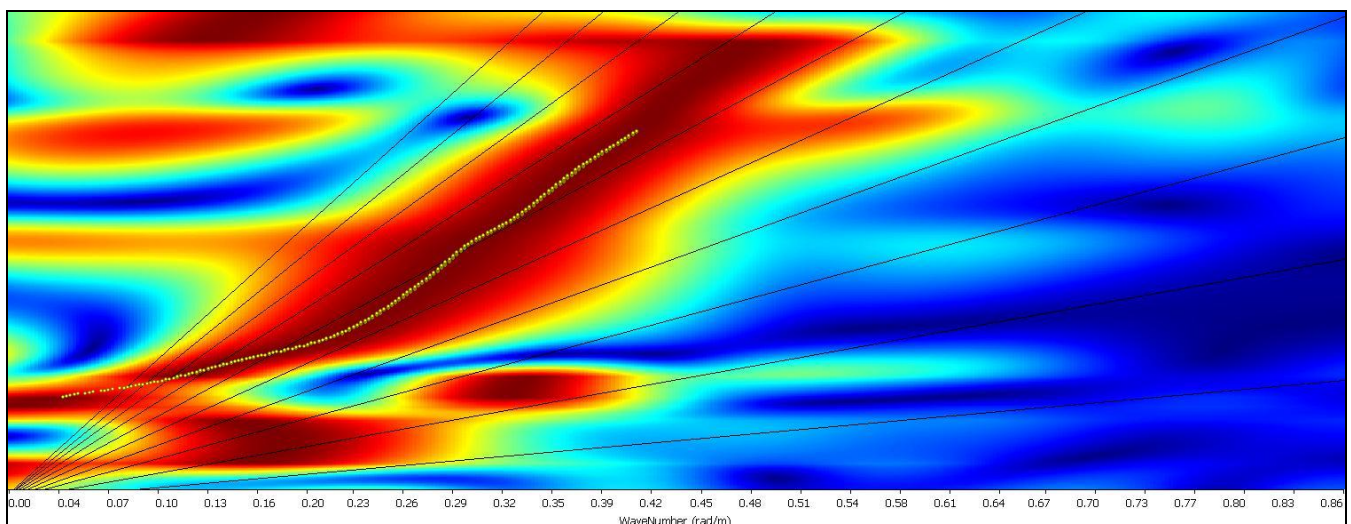


ALLEGATI  
ELABORATI GRAFICI PROVA MASW

Sismogramma

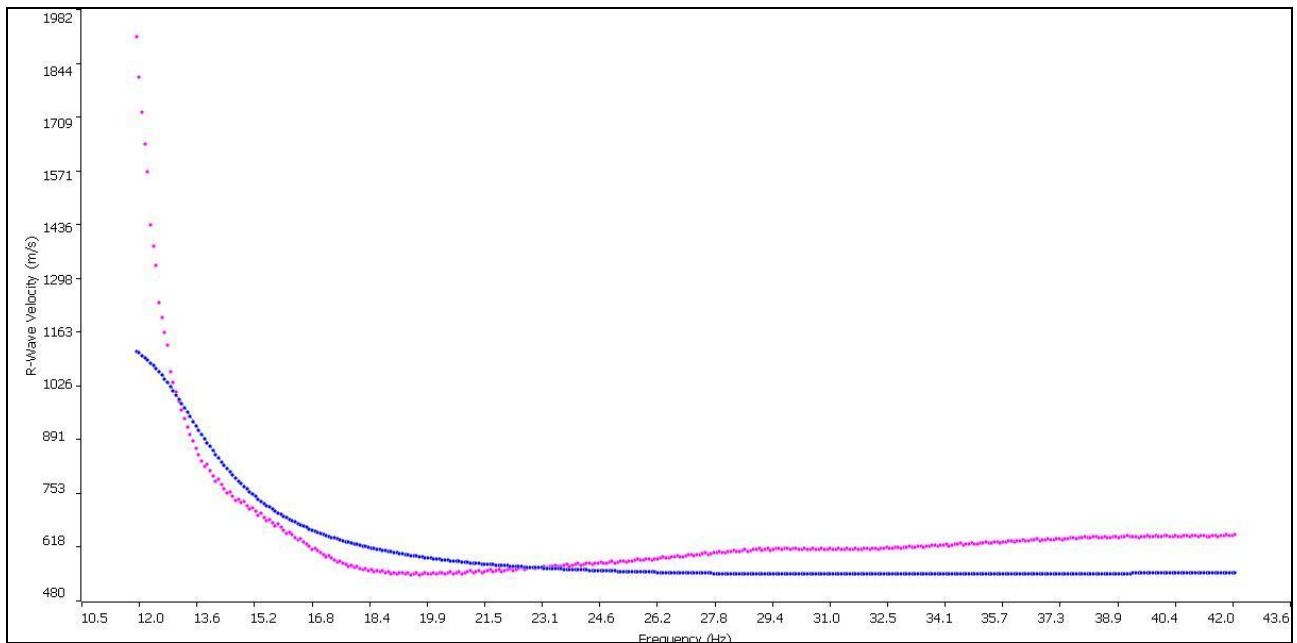


Spettro F -K





## Match Curva di dispersione sperimentale – teorica



## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



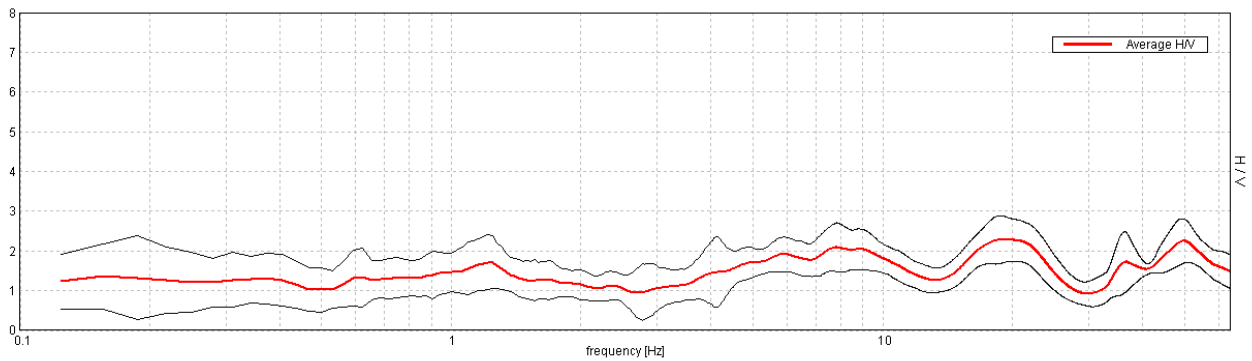
## ELABORATI GRAFICI MISURA HVSR: LE SPIANATE, T1

Strumento: TRE-0005/00-06  
 Inizio registrazione: 27/03/13 16:06:51 Fine registrazione: 27/03/13 16:26:52  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN  
 Dato GPS non disponibile

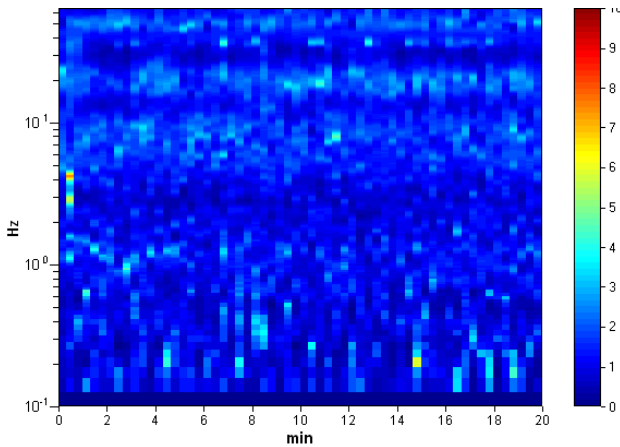
Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

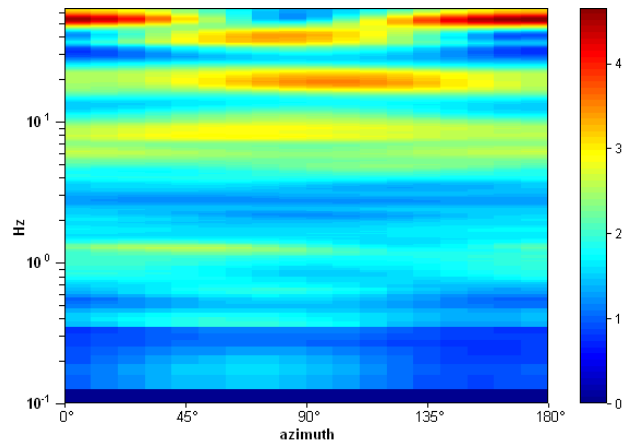
Picco H/V a  $19.06 \pm 7.93$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 35.0 Hz).



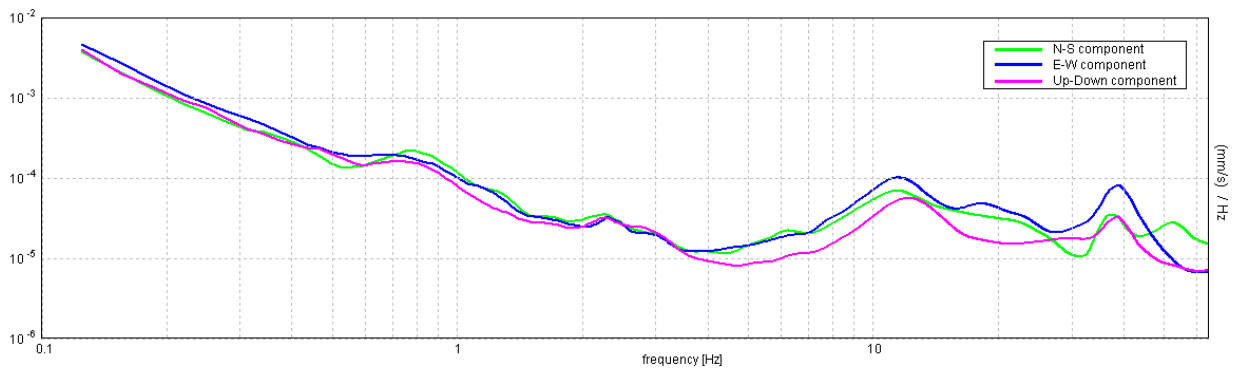
### SERIE TEMPORALE H/V



### DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI





[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

**Picco H/V a  $19.06 \pm 7.93$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 35.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$19.06 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$22875.0 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 916	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>			<b>NO</b>
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	26.719 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$2.29 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.41585  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$7.92719 < 0.95313$		<b>NO</b>
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5847 < 1.58$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza 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 $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ 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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**Relazione tipica frequenza - Vs – profondità**

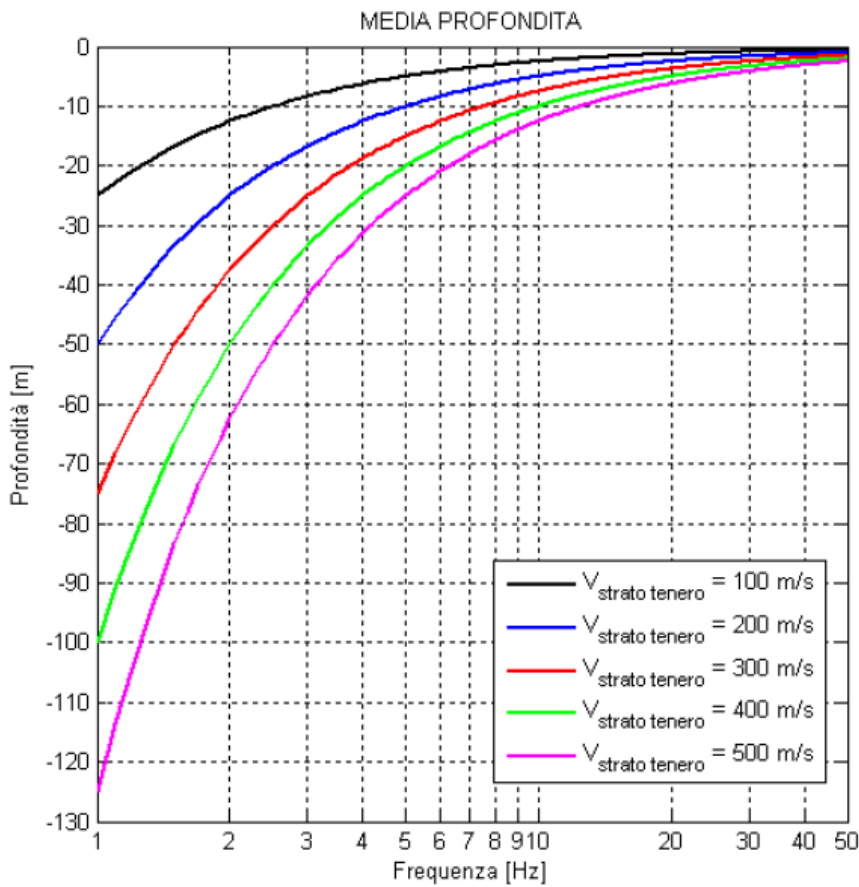


Tabella indicativa spessori

$f_0$ (Hz)	$h$ (m)
< 1	> 100
1 – 2	50 – 100
2 – 3	30 – 50
3 – 5	20 – 30
5 – 8	10 – 20
8 – 20	5 – 10
> 20	< 5

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



**INDAGINI GEOFISICA  
DI SISMICA ATTIVA CON METODOLOGIA MASW  
E MISURE A STAZIONE SINGOLA H/V**

**Committente: Sig. Carlo Del Seppia**

**Ubicazione: loc. Cotone – Rosignano Solvay**

**Comune di Rosignano Marittimo**

**Relazione Tecnica**

**Poggibonsi 29/05/2013**

## Relazione Tecnica

### 1 - Premessa

In data 21/05/2013 su incarico del Geom. Alessandro Pizzi e del Dr. Geol. Massimo Melani e per conto del Sig. Carlo Del Seppia è stata eseguita, in un terreno ubicato in loc. Cotone – Rosignano Solvay nel Comune di Rosignano Marittimo (Li) (fig. 1), una campagna d'indagini sismiche.

Nel dettaglio sono state realizzate un'indagine MASW per ricostruire l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità e due misure di sismica passiva con tecnica a “stazione singola” HVSR per determinare la frequenza di risonanza del sito.



**FIG. 1: UBICAZIONE DELLE INDAGINI**

## **2 – Indagine MASW**

Il modello sismico monodimensionale costituisce l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni del sito, (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008).

### **2.1 - Metodologia ed esecuzione delle indagini**

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW è un "metodo attivo", le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

Il metodo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 4.5 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo).

### **2.2 - Caratteristiche delle apparecchiature e principi generali dell'indagine**

L'indagine Masw per l'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica della prospezione sismica a rifrazione disponendo sul terreno 24 geofoni secondo un array lineare con spaziatura pari a 2.5 m. Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, sono stati utilizzati geofoni da 4.5 Hz.

Come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore è stata eseguita la somma di più energizzazioni (processo di stacking).

**Sono state fatte 4 acquisizioni. Successivamente si è provveduto ad elaborare tutte e 4 le misurazioni valutando la coerenza dei risultati e la loro qualità.**

Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata ed i criteri di acquisizione della prova MASW attiva:

### **Strumentazione e caratteristiche dell'indagine**

- 1 Unità di acquisizione sismografo Echo 12/24
- 24 Geofoni verticali "con  $f = 4.5$  Hz
- 1 Cavo sismico  $L = 57,5$  m.
- 1 Sorgente Mazza battente su piattello metallico
- Spaziatura tra i geofoni 2.5 m
- Distanza sorgente 24° geofono 10 m
- Tempo di registrazione 1.0 s

### **2.3 – Elaborazione dati**

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (Swan).

Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo.

L'analisi delle onde S con tecnica MASW viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, cioè a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale.

In questo dominio, detto dominio trasformato, è semplice andare a separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P o propagazione in aria. L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione ed è caratteristico di questo tipo di onde.

La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché essa approssimativamente passa sui massimi del valore assoluto dello spettro.

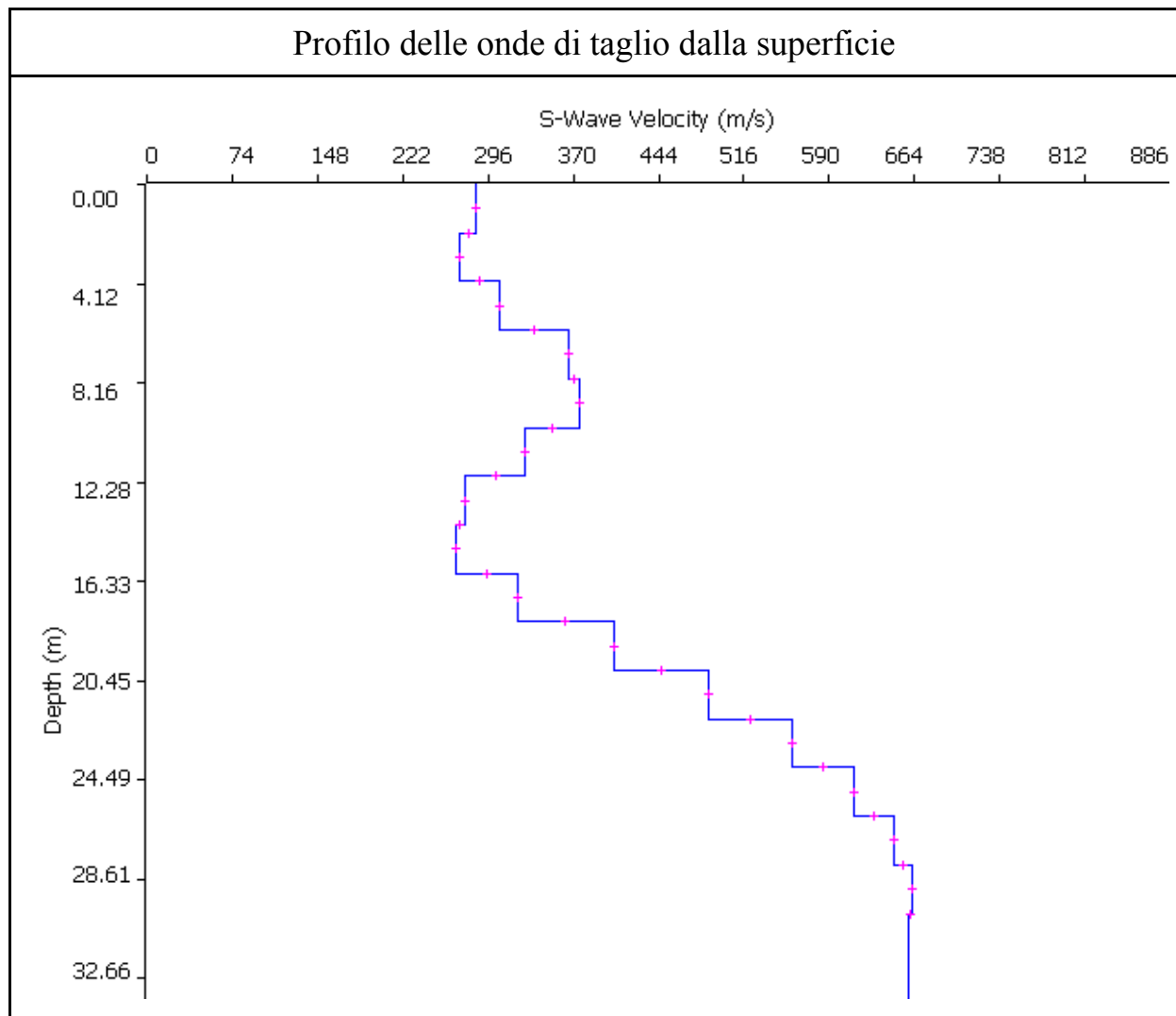
A questo punto la curva di dispersione sperimentale deve essere confrontata con quella relativa ad un modello sintetico che verrà successivamente alterato in base alle differenze riscontrate tra le due curve, fino ad ottenere un modello sintetico a cui è associata una curva di dispersione teorica coincidente con la curva sperimentale.

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata (stendimento complessivo di circa 57.5 m).



Thickness	Depth	Vs	Vp	Poisson	Density
2	0	285	570	0.333	1.8
2	2	271	542	0.333	1.8
2	4	306	612	0.333	1.8
2	6	365	729	0.333	1.8
2	8	375	749	0.333	1.8
2	10	328	656	0.333	1.8
2	12	275	550	0.333	1.8
2	14	268	536	0.333	1.8
2	16	321	642	0.333	1.8
2	18	404	807	0.333	1.8
2	20	487	973	0.333	1.8
2	22	559	1117	0.333	1.8
2	24	612	1223	0.333	1.8
2	26	647	1293	0.333	1.8
2	28	662	1323	0.333	1.8
	30	660	1319	0.333	1.8

**Tabella 1: modello sismico monodimensionale.**





## 2.4 – Calcolo della Vs<sub>30</sub>

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato, è possibile calcolare il valore delle Vs<sub>30</sub>, che rappresenta la velocità di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vs<sub>30</sub> si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (“Norme tecniche per le costruzioni”):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove H<sub>i</sub> e V<sub>i</sub> indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

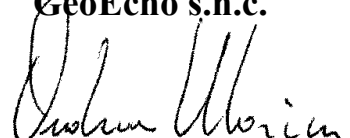
Utilizzando la formula sopra riportata, considerando la quota della fondazione a partire dal piano campagna attuale, si ottiene il seguente valore **Vs30 = 371 m/s** a cui corrisponde la categoria di suolo di fondazione di tipo **B** ( si veda la tabella seguente).

Tabella : Categorie di suolo di fondazione(D.M. 14-09-2005; D.M. 14-01-2008)

CAT.	DESCRIZIONE PROFILO STRATIGRAFICO	PARAMETRI		
		Vs 30 m/sec.	N spt	Cu (Kpa)
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.	> 800	-	-
<b>B</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 graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	180-360	<50	70-250
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180	<15	<70
<b>E</b>	E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).			

Il Tecnico:.

**GeoEcho s.n.c.**



### **3 – Misure con metodologia a stazione singola (HVSr)**

Accanto alle tecniche basate sull'impiego di array sismico esistono altre tecniche basate sull'uso di una singola stazione di misura. In questo caso vengono misurate le vibrazioni ambientali nelle tre direzioni dello spazio attraverso un unico sensore tridirezionale posto sulla superficie del terreno. In particolare viene valutato il rapporto di ampiezza fra le componenti orizzontali e verticali del moto (metodo HVSr ovvero "Horizontal to Vertical Spectral Ratios") [Bard., 1998] . Analizzando misure di questo tipo è possibile identificare le modalità di vibrazione del terreno. In particolare è possibile individuare la frequenza  $f$  di questa vibrazione definita di "Risonanza". Sapendo che in generale esiste una relazione semplice fra  $f$ , lo spessore della parte più soffice del terreno e la velocità media delle onde sismiche nel sottosuolo (ricavata per esempio dai metodi passivi ad antenna, o attivi come Masw e Rifrazione), attraverso le misure HVSr è possibile risalire allo spessore di questo strato.

#### **Risultati e conclusioni**

Le misure H/V realizzate sono servite a definire la frequenza di risonanza del sottosuolo in maniera tale da prevenire, al verificarsi di un evento sismico, possibili interferenze risonanti, tra il suolo e le strutture da realizzare.

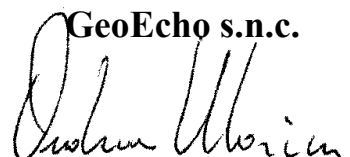
La misura T1 presenta un picco fuori dall'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico (1 – 10 Hz) a circa 37.5 Hz con ampiezza di circa 2,5. Esso rappresenta un contrasto di impedenza entro i primi 5 m. di profondità.

La misura T2 presenta un picco nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico a circa 7.5 Hz con ampiezza di circa 2,4. Esso rappresenta un contrasto di impedenza indicativamente tra i 10 e i 20 m. di profondità.

Volendo valutare con migliore approssimazione la profondità dei primi orizzonti, è possibile utilizzare la relazione semplice fra la frequenza ( $f$ ), lo spessore ( $h$ ) e la velocità media ( $V_s$ ) della parte di materiali sovrastante lo strato rigido:

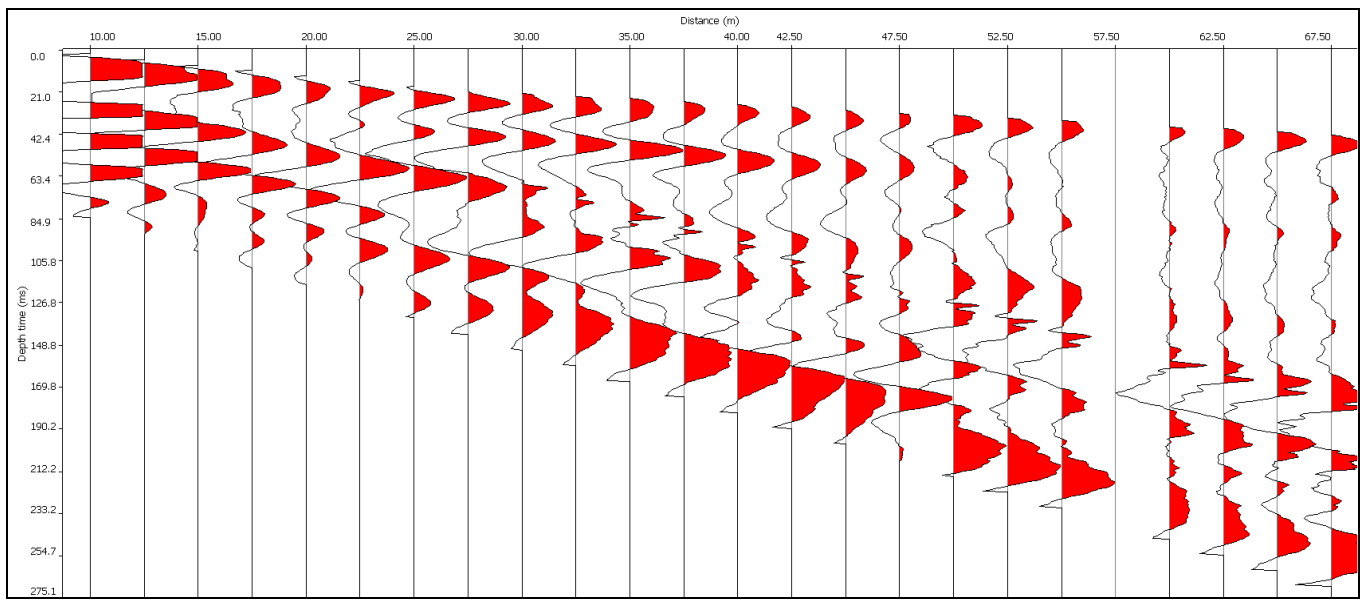
$$f = V_s / (4h).$$

Il Tecnico:.

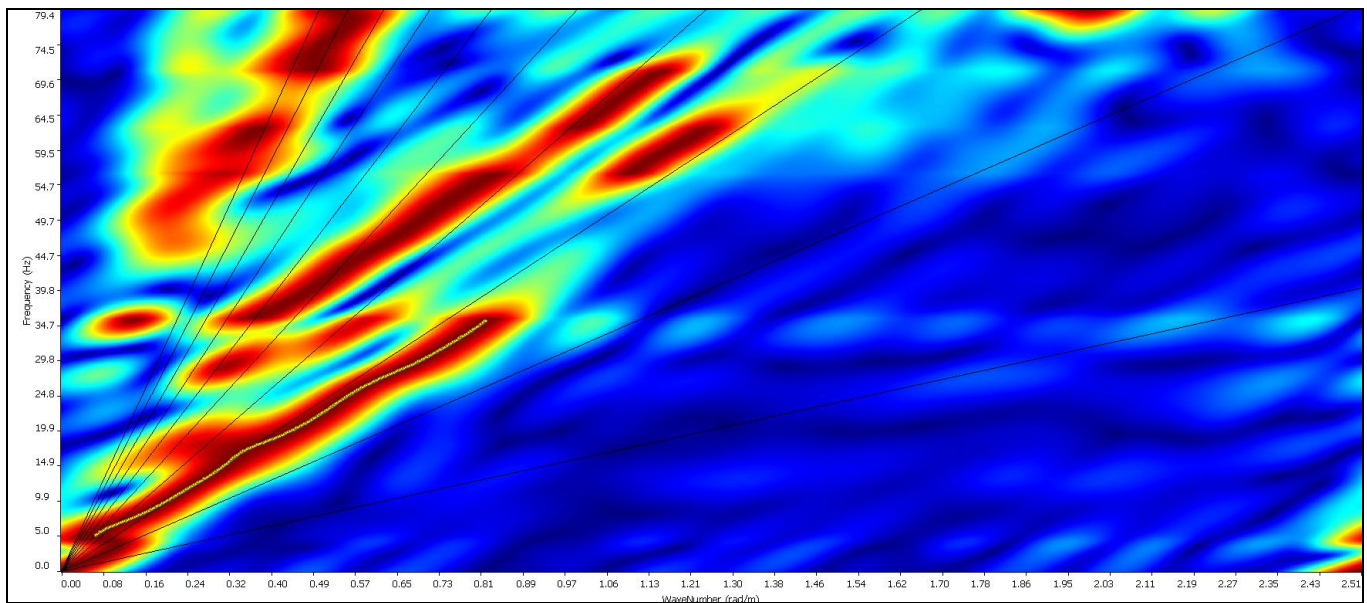
**GeoEcho s.n.c.**  


ALLEGATI  
ELABORATI GRAFICI PROVA MASW

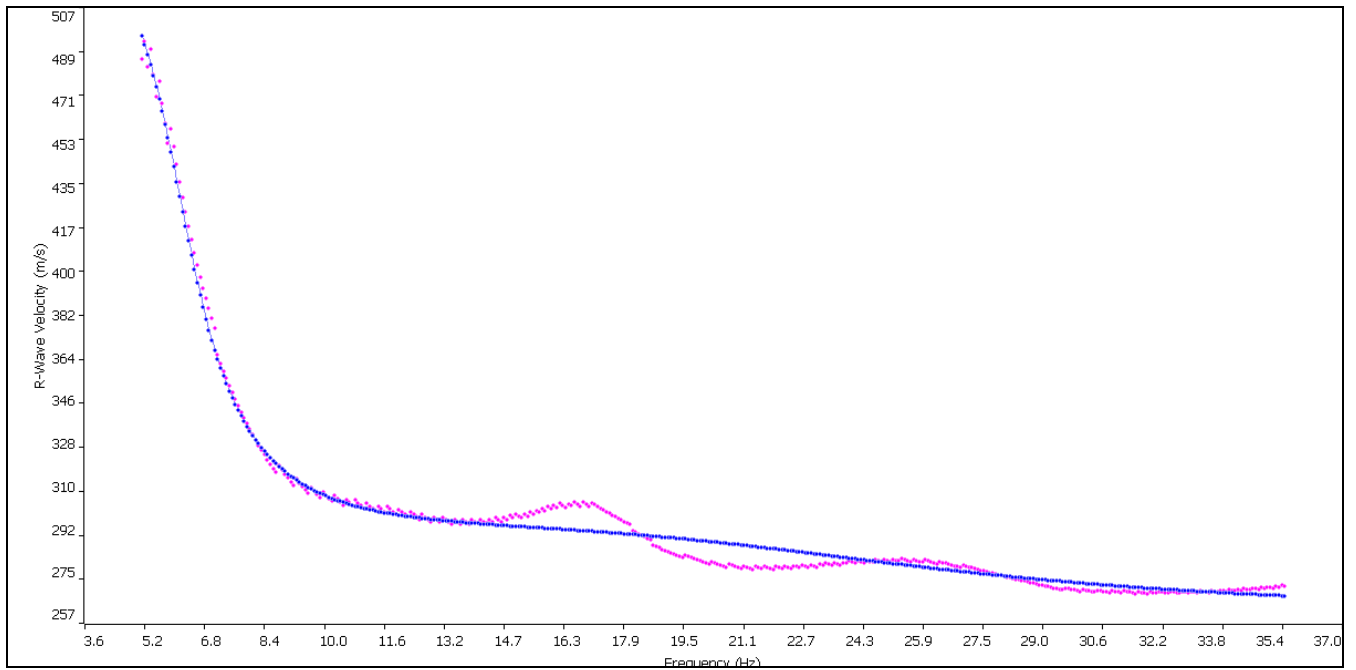
Sismogramma



Spettro F - K



## Match Curva di dispersione sperimentale – teorica



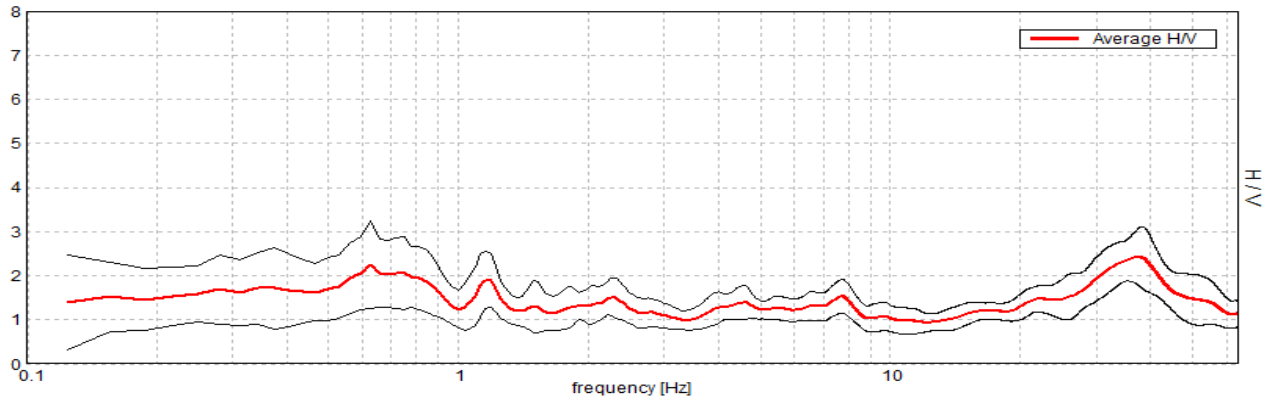
## ELABORATI GRAFICI MISURE HVSR

### MISURA T1

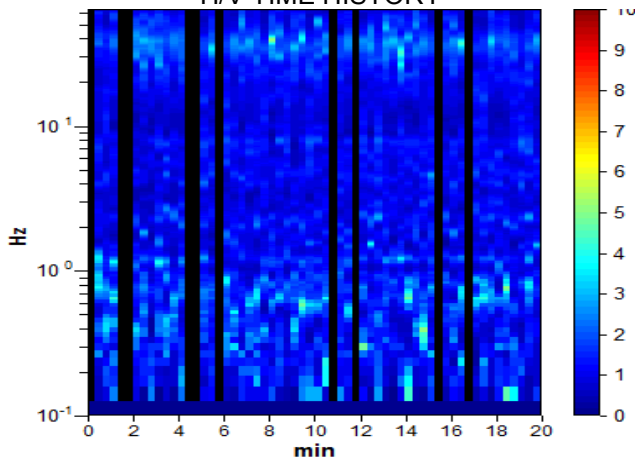
Instrument: TZ3-0001/01-13  
 Start recording: 21/05/13 09:36:54 End recording: 21/05/13 09:56:54  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 GPS data not available  
 Trace length: 0h20'00". Analyzed 83% trace (manual window selection)  
 Sampling rate: 128 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing type: Triangular window  
 Smoothing: 10%

#### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

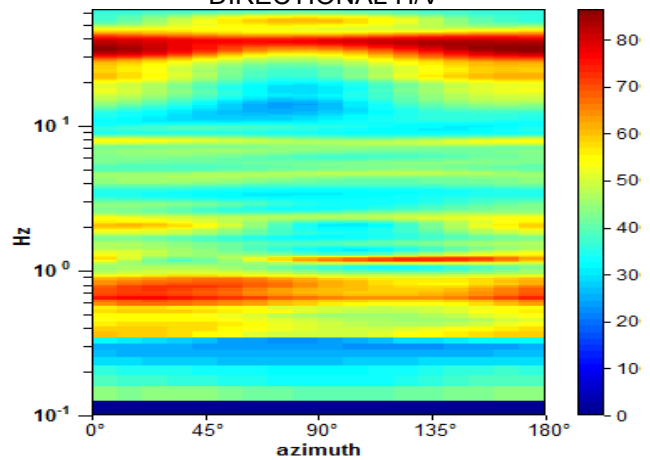
Max. H/V at  $37.5 \pm 15.58$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



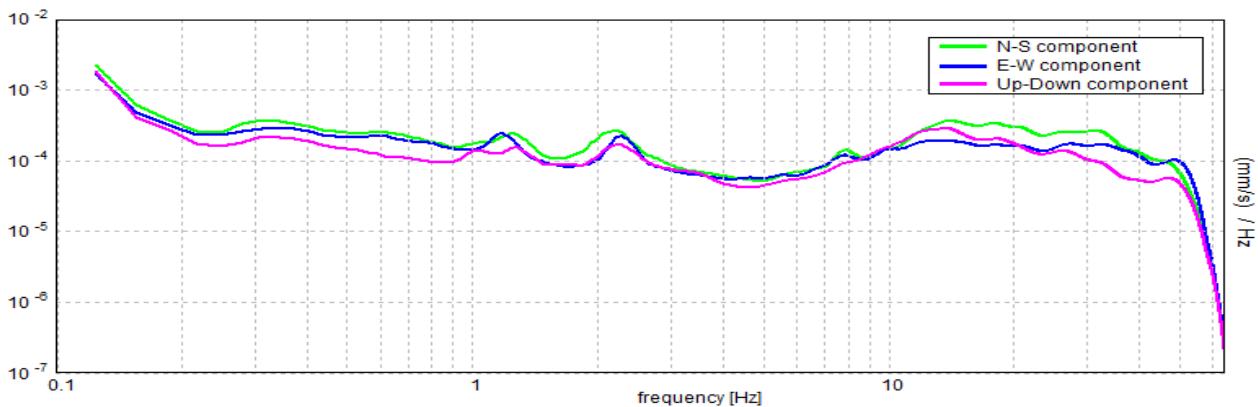
#### H/V TIME HISTORY



#### DIRECTIONAL H/V



#### SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

**Max. H/V at 37.5 ± 15.58 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

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

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	37.50 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	37500.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1449 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	19.156 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	58.75 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.42 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.41546  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	15.57992 < 1.875		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.6466 < 1.58	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

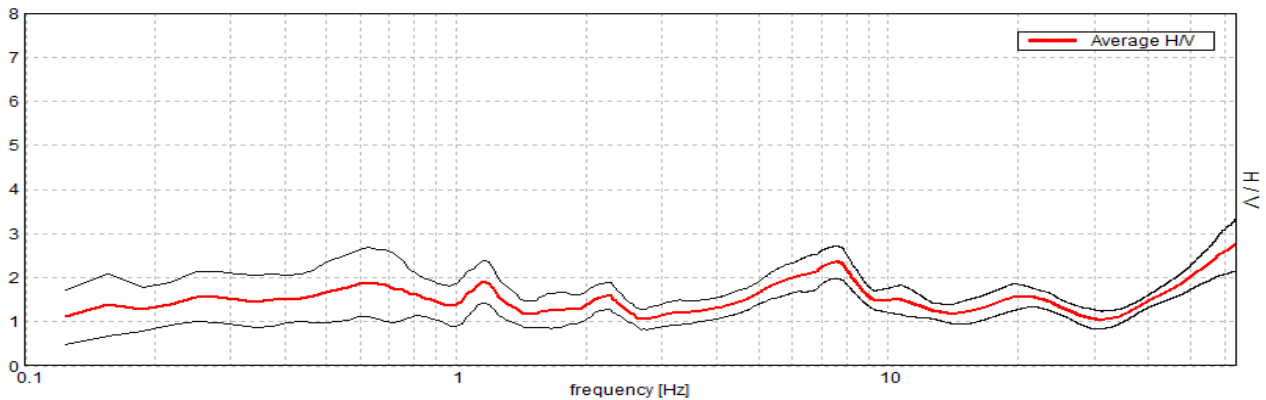
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## MISURA T2

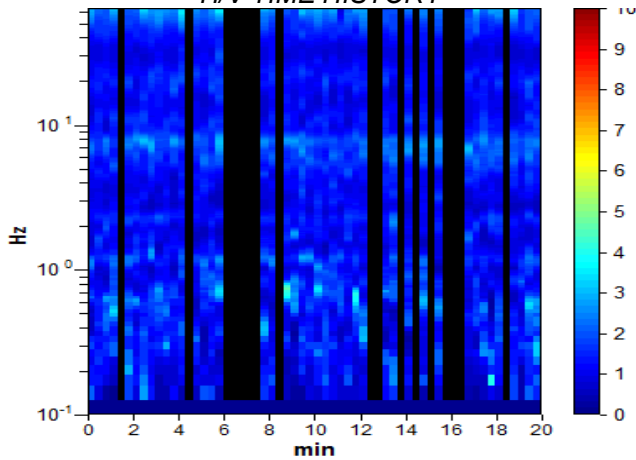
Instrument: TZ3-0001/01-13  
 Start recording: 21/05/13 10:08:42 End recording: 21/05/13 10:28:42  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 GPS data not available  
 Trace length: 0h20'00". Analyzed 72% trace (manual window selection)  
 Sampling rate: 128 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing type: Triangular window  
 Smoothing: 15%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

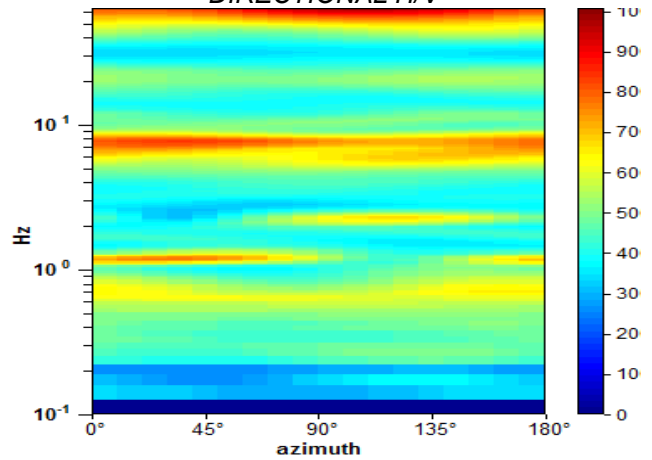
Max. H/V at  $7.5 \pm 2.32$  Hz (in the range 0.0 - 35.0 Hz).



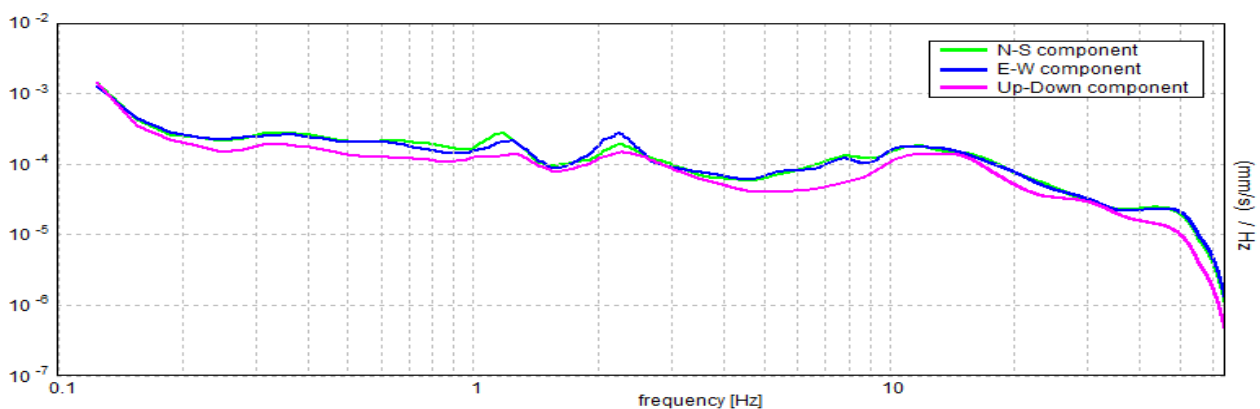
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA





[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 7.5 ± 2.32 Hz (in the range 0.0 - 35.0 Hz).**

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

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	7.50 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	6450.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 361 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.063 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	27.25 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.35 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.3098  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	2.3235 < 0.375		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3673 < 1.58	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**Relazione tipica frequenza - Vs – profondità**

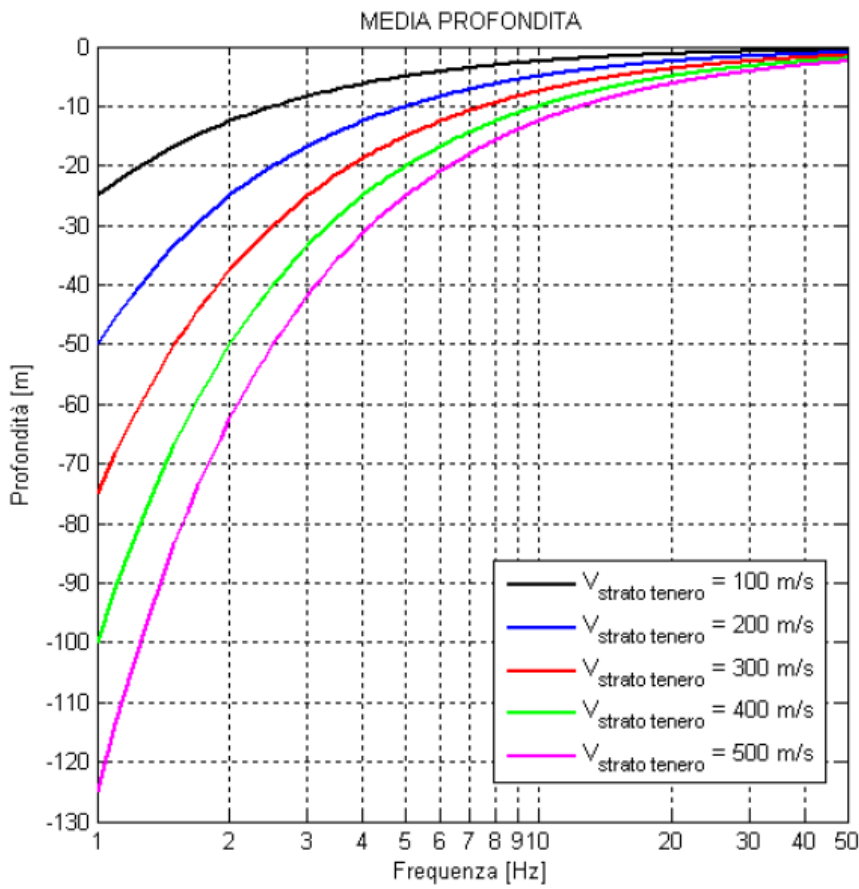


Tabella indicativa spessori

$f_0$ (Hz)	$h$ (m)
< 1	> 100
1 – 2	50 – 100
2 – 3	30 – 50
3 – 5	20 – 30
5 – 8	10 – 20
8 – 20	5 – 10
> 20	< 5

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



# **INDAGINE GEOFISICA CON METODOLOGIA MASW**

**Committente: Pagliuca Mauro**

**Dott. Geol. Massimo Melani**

**Località: Rosignano Marittimo Lottizzazione "I GAMBINI"**

**Comune di Rosignano Marittimo (LI)**

**Poggibonsi 10/11/2009**

## **Relazione Tecnica**

### **1 - Premessa**

In data 30/10/2009 su incarico del Dott. Geol. Massimo Melani e per conto della ditta Pagliuca Mauro, è stata eseguita un'indagine Geofisica acquisendo un profilo sismico con la metodologia MASW. L'indagine è stata svolta in località Rosignano Marittimo presso il Lotto 32 della lott. "I GAMBINI" nel Comune di Rosignano Marittimo (LI).

Scopo dell'indagine è quello di ricostruire, per l'area in oggetto, l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità.

Il modello sismico monodimensionale costituisce infatti l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni del sito, (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008).

### **2 - Metodologia ed esecuzione delle indagini**

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW è un "metodo attivo", le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

Il metodo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo).

### **3 - Caratteristiche delle apparecchiature e principi generali dell'indagine**

L'indagine Masw per l'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica della prospezione sismica a rifrazione disponendo sul terreno 24 geofoni secondo un array lineare con spaziatura pari a 2 m. Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, sono stati utilizzati geofoni da 4.5 Hz.

Come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore è stata eseguita la somma di più energizzazioni (processo di stacking).

La sorgente è stata posta ad una distanza di 15 m. dal primo geofono. Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata ed i criteri di acquisizione della prova MASW attiva:

### **Strumentazione e caratteristiche dell'indagine**

- 1 Unità di acquisizione sismografo Echo 12/24
- 24 Geofoni verticali "con  $f = 4.5$  Hz
- 2 Cavi sismici  $L = 60$  m
- 1 Sorgente Mazza battente su piattello metallico
- Spaziatura tra i geofoni 2 m
- Distanza sorgente 1° geofono 15 m
- Tempo di registrazione 1.0 s

### **4 – Elaborazione dati**

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (Swan).

Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo.

L'analisi delle onde S con tecnica MASW viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, cioè a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale.

In questo dominio, detto dominio trasformato, è semplice andare a separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P o propagazione in aria. L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione ed è caratteristico di questo tipo di onde.

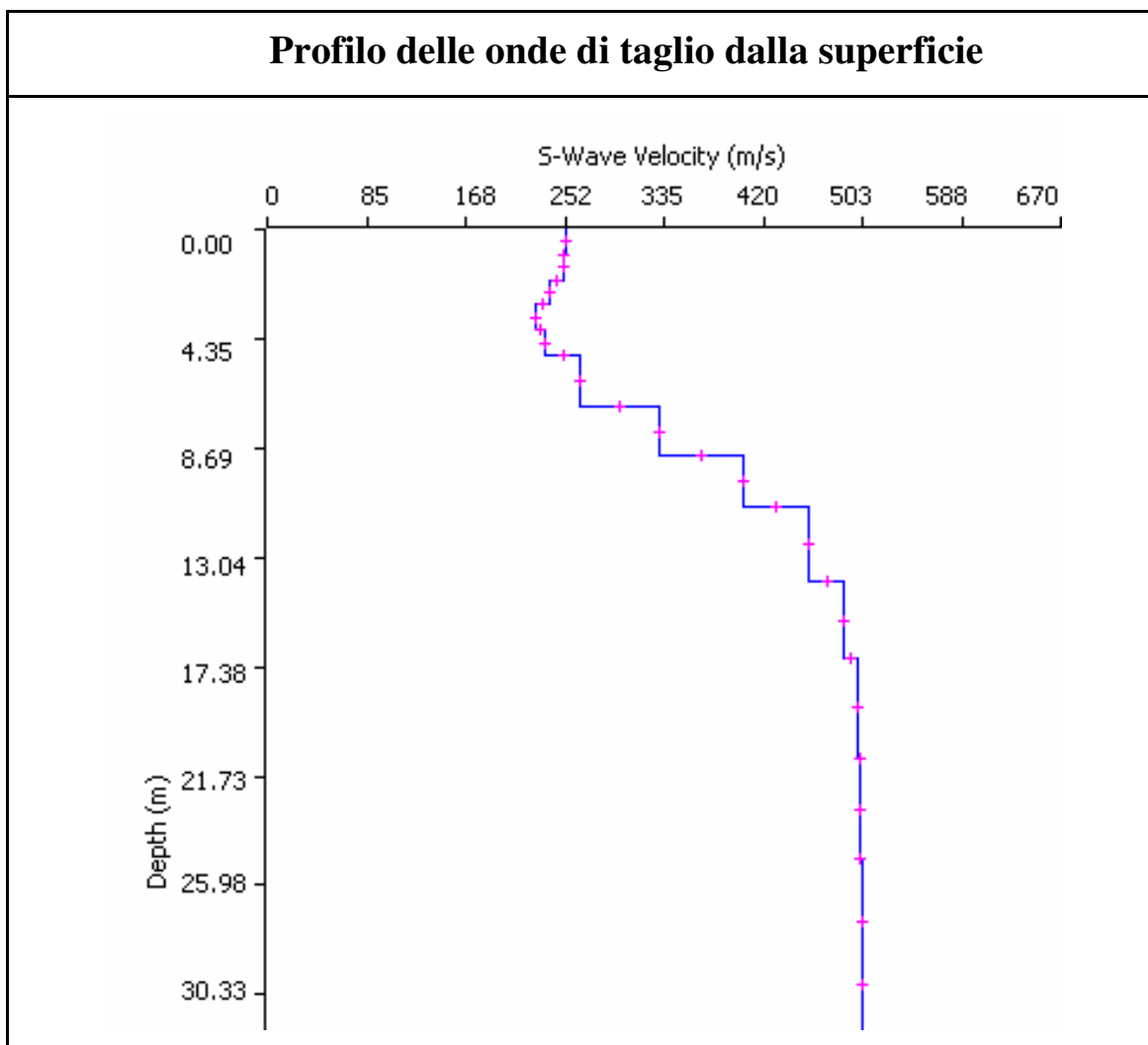
La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché essa approssimativamente passa sui massimi del valore assoluto dello spettro.

A questo punto la curva di dispersione sperimentale deve essere confrontata con quella relativa ad un modello sintetico che verrà successivamente alterato in base alle differenze riscontrate tra le due curve, fino ad ottenere un modello sintetico a cui è associata una curva di dispersione teorica coincidente con la curva sperimentale.

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata (stendimento complessivo di circa 46 m):

Thickness	Depth	Vs	Vp	Poisson	Density
1	0	252	504	0.333	1.8
1	1	250	500	0.333	1.8
1	2	238	476	0.333	1.8
1	3	227	454	0.333	1.8
1	4	234	468	0.333	1.8
2	5	265	530	0.333	1.8
2	7	331	662	0.333	1.8
2	9	402	803	0.333	1.8
3	11	458	915	0.333	1.8
3	14	487	973	0.333	1.8
4	17	499	997	0.333	1.8
4	21	501	1001	0.333	1.8
5	25	502	1003	0.333	1.8
5	30	502	1003	0.333	1.8
	35	502	1003	0.333	1.8

**Tabella 1: modello sismico monodimensionale.**





## 5. CALCOLO DELLE VS30

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato, è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la velocità di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (“Norme tecniche per le costruzioni”):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

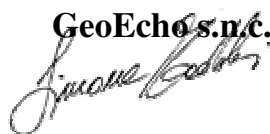
dove  $H_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

Utilizzando la formula sopra riportata si ottiene il seguente valore (quota iniziale = piano campagna attuale): **Vs30 = 384 m/s** a cui corrisponde la categoria di suolo di fondazione di tipo **B** ( si veda la tabella seguente).

Tabella : Categorie di suolo di fondazione(D.M. 14-09-2005; D.M. 14-01-2008)

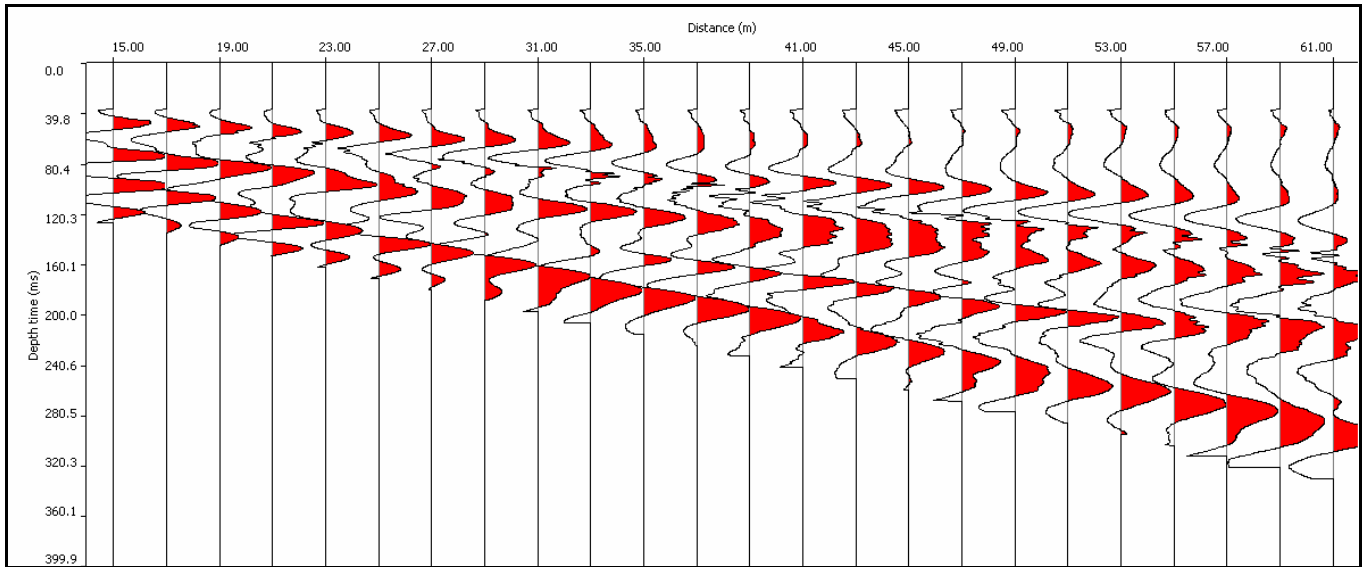
CAT.	DESCRIZIONE PROFILO STRATIGRAFICO	PARAMETRI		
		Vs 30 m/sec.	N spt	Cu (Kpa)
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.	> 800	-	-
<b>B</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 graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	180-360	<50	70-250
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180	<15	<70
<b>E</b>	E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).			

Il Tecnico:

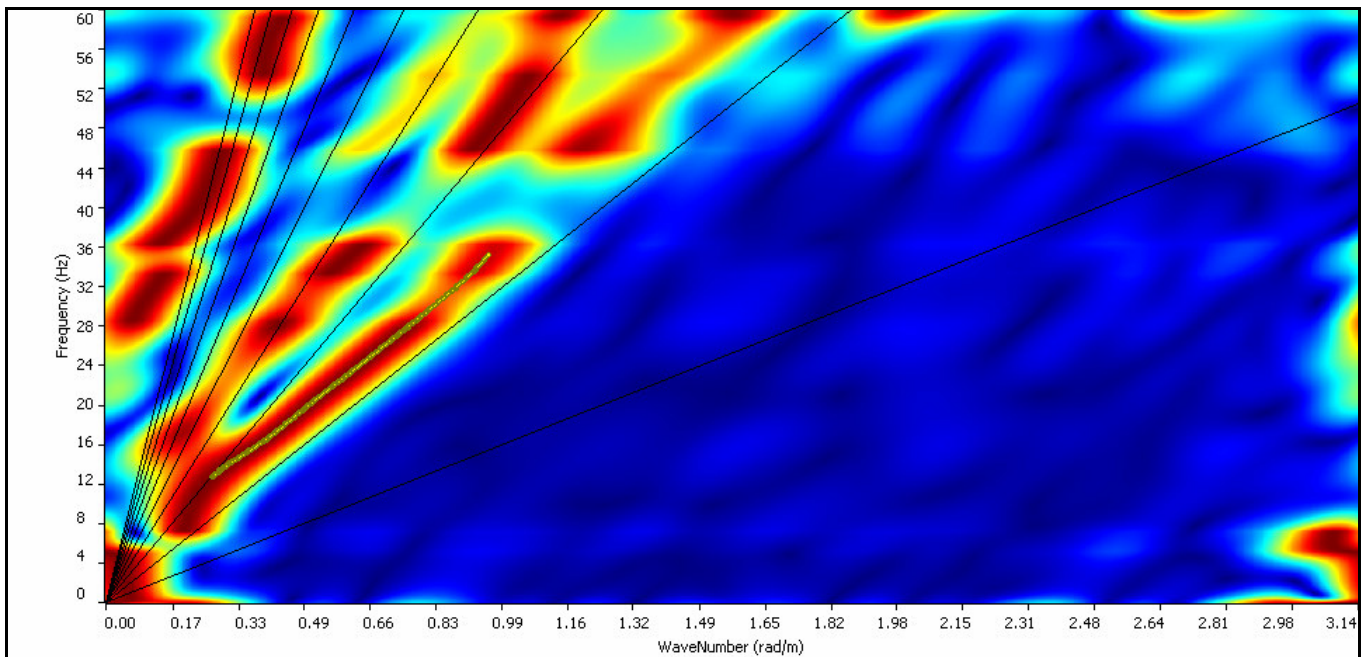
**GeoEcho s.n.c.**  


# Allegati

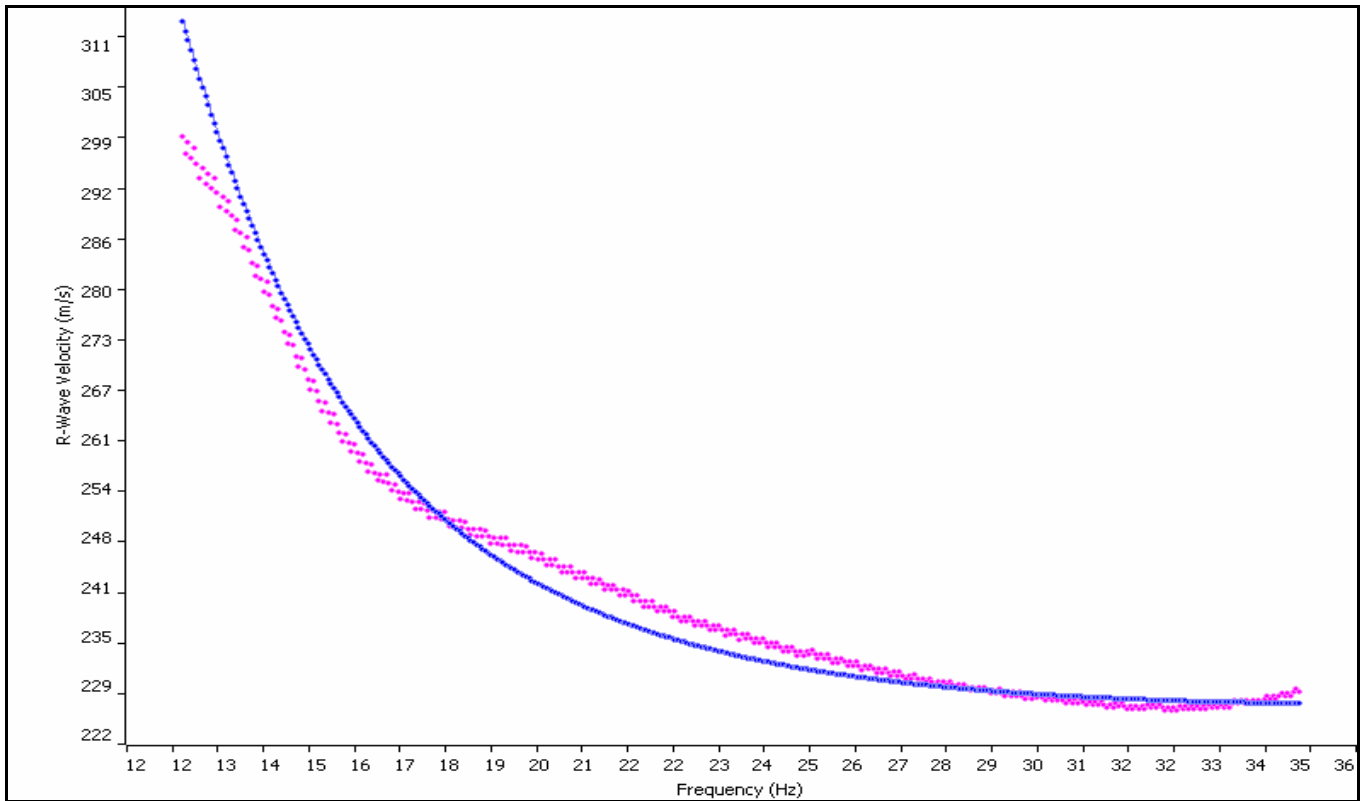
## Sismogramma



## Spettro F-K



## Match Curva di dispersione sperimentale - teorica



**INDAGINE GEOFISICA  
CON METODOLOGIA  
MASW**

**Committente: Pagliuca Mauro**

**Ubicazione: Lottizzazione "I GAMBINI"  
Comune di Rosignano Marittimo (LI)**

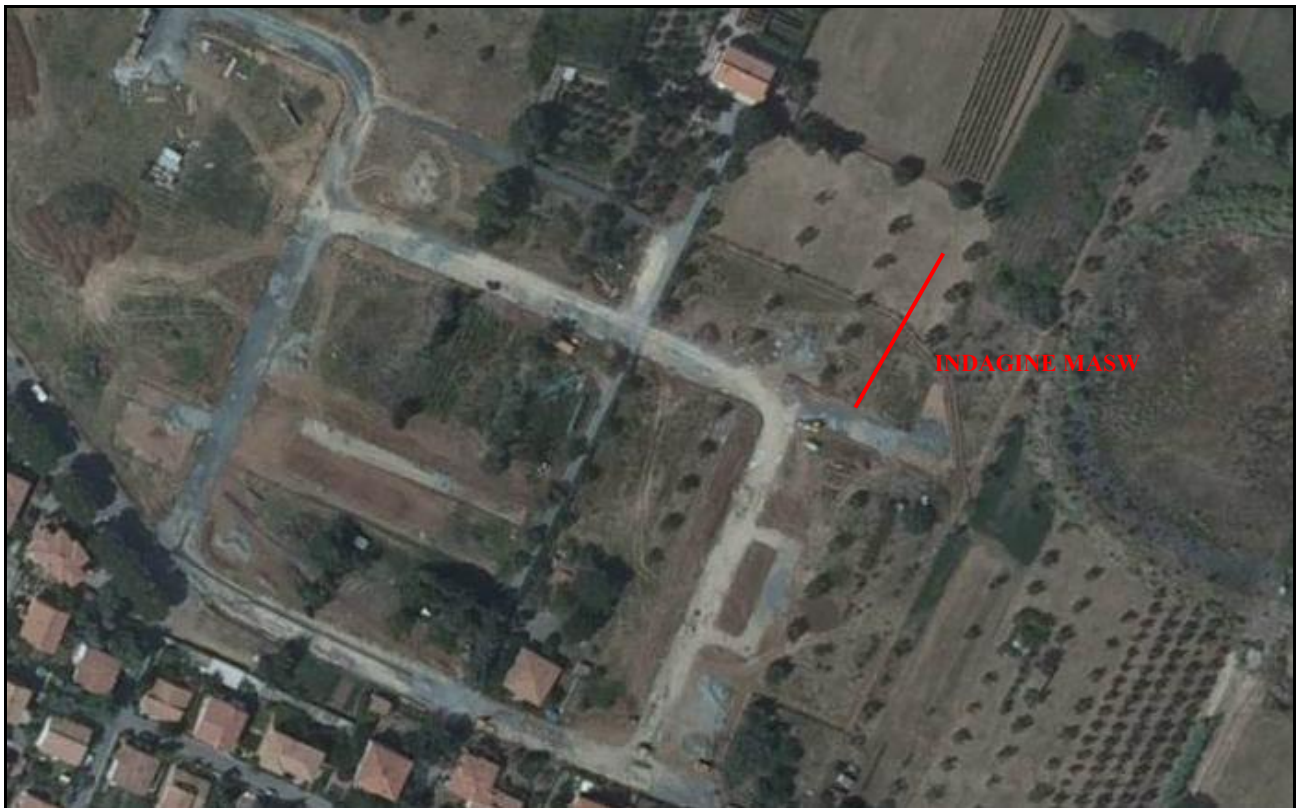
**Poggibonsi 06/03/2012**



## Relazione Tecnica

### 1 - Premessa

In data 05/03/2012 su incarico del . Geol. Massimo Melani e per conto della ditta Pagliuca Mauro, è stata eseguita un'indagine geofisica acquisendo un profilo sismico con la metodologia MASW, in un terreno ubicato in località Rosignano Marittimo presso il Lotto 10 della lottizzazione, "I GAMBINI" nel Comune di Rosignano Marittimo (LI). (fig. 1).



**FIG. 1: UBICAZIONE DEL'INDAGINE**

Scopo dell'indagine era quello di ricostruire, per l'area in oggetto, l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità.

Il modello sismico monodimensionale costituisce infatti l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni del sito, (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008).

## **2 - Metodologia ed esecuzione delle indagini**

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW è un “metodo attivo”, le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

Il metodo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo).

## **3 - Caratteristiche delle apparecchiature e principi generali dell'indagine**

L'indagine Masw per l'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica della prospezione sismica a rifrazione disponendo sul terreno 24 geofoni secondo un array lineare con spaziatura pari a 2.5 m. Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, sono stati utilizzati geofoni da 4.5 Hz.

Come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore è stata eseguita la somma di più energizzazioni (processo di stacking).

La sorgente è stata posta ad una distanza di 5 m dal primo geofono. Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata ed i criteri di acquisizione della prova MASW attiva:

### **Strumentazione e caratteristiche dell'indagine**

- 1 Unità di acquisizione sismografo Echo 12/24
- 24 Geofoni verticali “con  $f = 4.5$  Hz
- 2 Cavi sismici  $L = 60$  m
- 1 Sorgente Mazza battente su piattello metallico
- Spaziatura tra i geofoni 2,5 m
- Distanza sorgente 1° geofono 5 m
- Tempo di registrazione 1.0 s

## **4 – Elaborazione dati**

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (Swan).

Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo.

L'analisi delle onde S con tecnica MASW viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, cioè a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale.

In questo dominio, detto dominio trasformato, è semplice andare a separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P o propagazione in aria. L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione ed è caratteristico di questo tipo di onde.

La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché essa approssimativamente passa sui massimi del valore assoluto dello spettro.

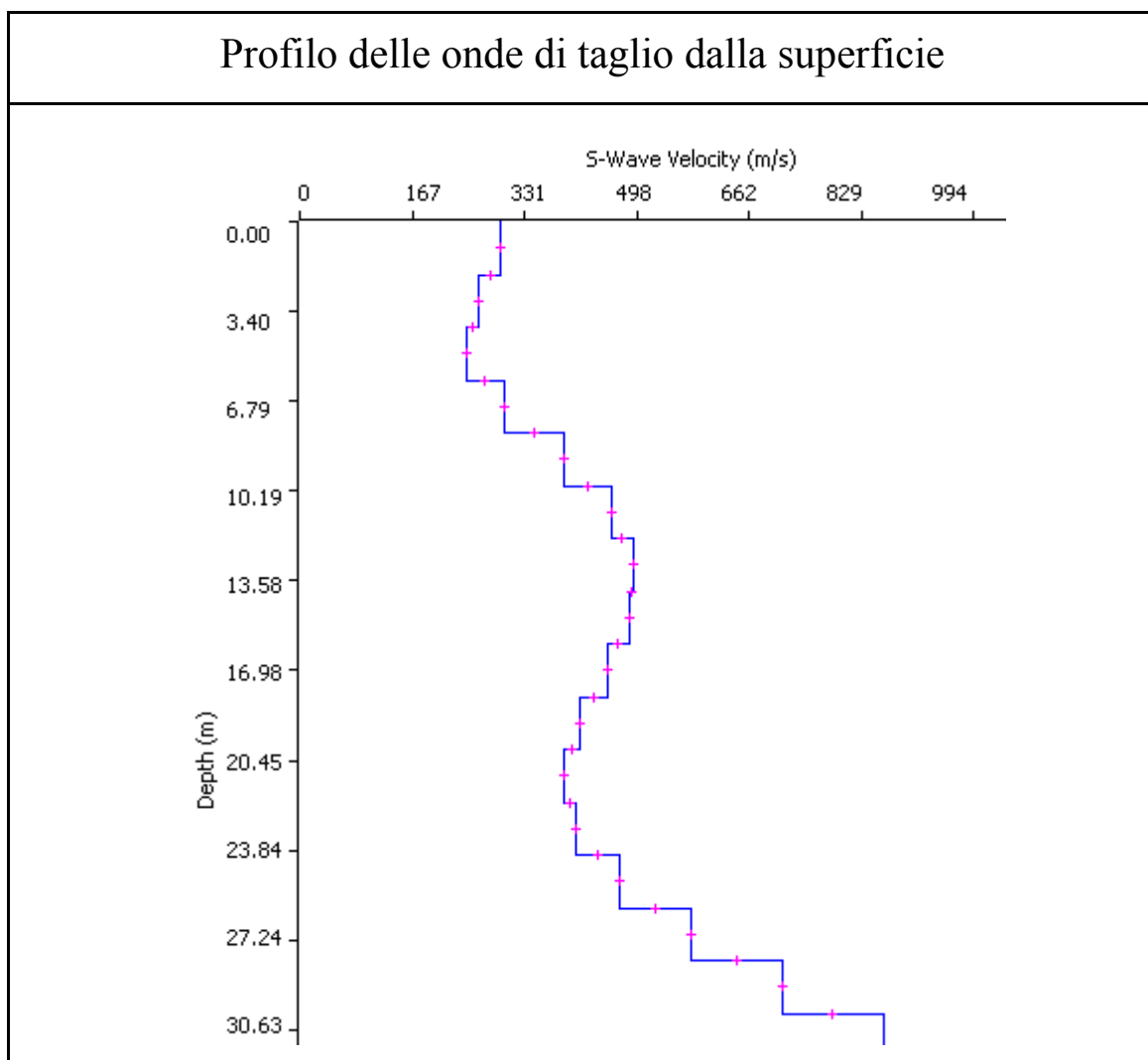
A questo punto la curva di dispersione sperimentale deve essere confrontata con quella relativa ad un modello sintetico che verrà successivamente alterato in base alle differenze riscontrate tra le due curve, fino ad ottenere un modello sintetico a cui è associata una curva di dispersione teorica coincidente con la curva sperimentale.

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata (stendimento complessivo di circa 57.5 m).



Thickness	Depth	Vs	Vp	Poisson	Density
2	0	297	594	0.333	1.8
2	2	263	526	0.333	1.8
2	4	245	490	0.333	1.8
2	6	302	604	0.333	1.8
2	8	391	781	0.333	1.8
2	10	460	919	0.333	1.8
2	12	492	983	0.333	1.8
2	14	486	971	0.333	1.8
2	16	453	905	0.333	1.8
2	18	413	825	0.333	1.8
2	20	390	779	0.333	1.8
2	22	406	811	0.333	1.8
2	24	471	941	0.333	1.8
2	26	577	1153	0.333	1.8
2	28	711	1421	0.333	1.8
	30	862	1723	0.333	1.8

**Tabella 1: modello sismico monodimensionale.**



## 5. CALCOLO DELLE VS30

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato, è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la velocità di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (“Norme tecniche per le costruzioni”):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove Hi e Vi indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

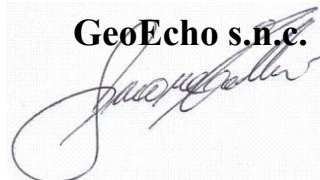
Utilizzando la formula sopra riportata, considerando la quota iniziale = piano campagna attuale, si ottiene il seguente valore **Vs30 = 392 m/s** a cui corrisponde la categoria di suolo di fondazione di tipo **B** ( si veda la tabella seguente).

Tabella : Categorie di suolo di fondazione(D.M. 14-09-2005; D.M. 14-01-2008)

CAT.	DESCRIZIONE PROFILO STRATIGRAFICO	PARAMETRI		
		Vs 30 m/sec.	N spt	Cu (Kpa)
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.	> 800	-	-
<b>B</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 graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	180-360	<50	70-250
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180	<15	<70
<b>E</b>	E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).			

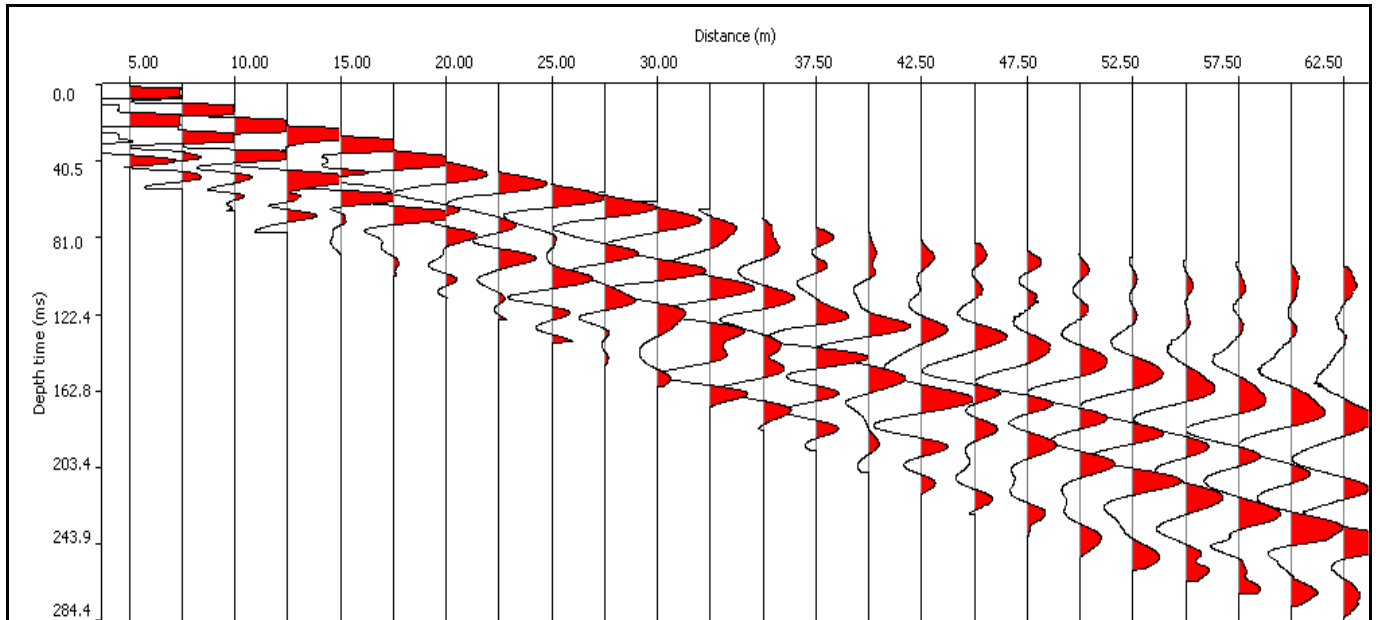
Il Tecnico:.

**GeoEcho s.n.c.**

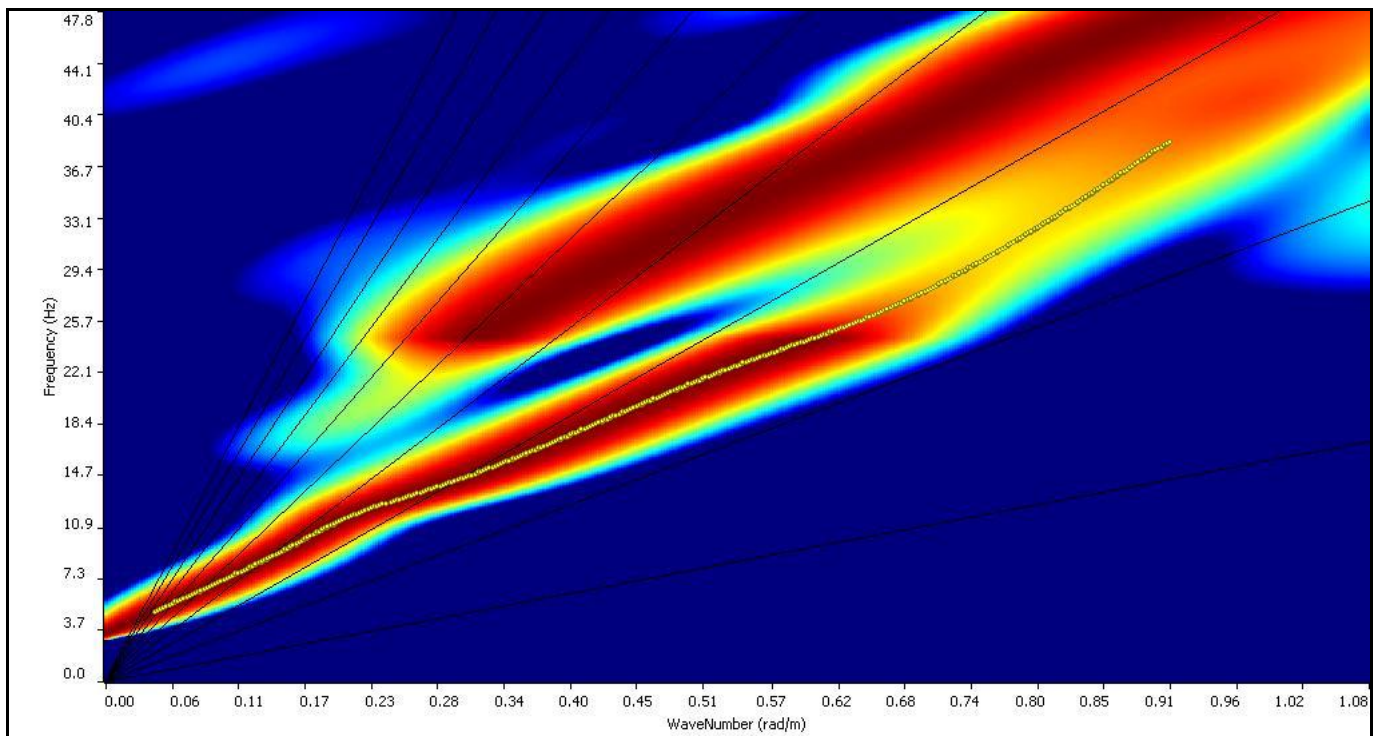


# Allegati

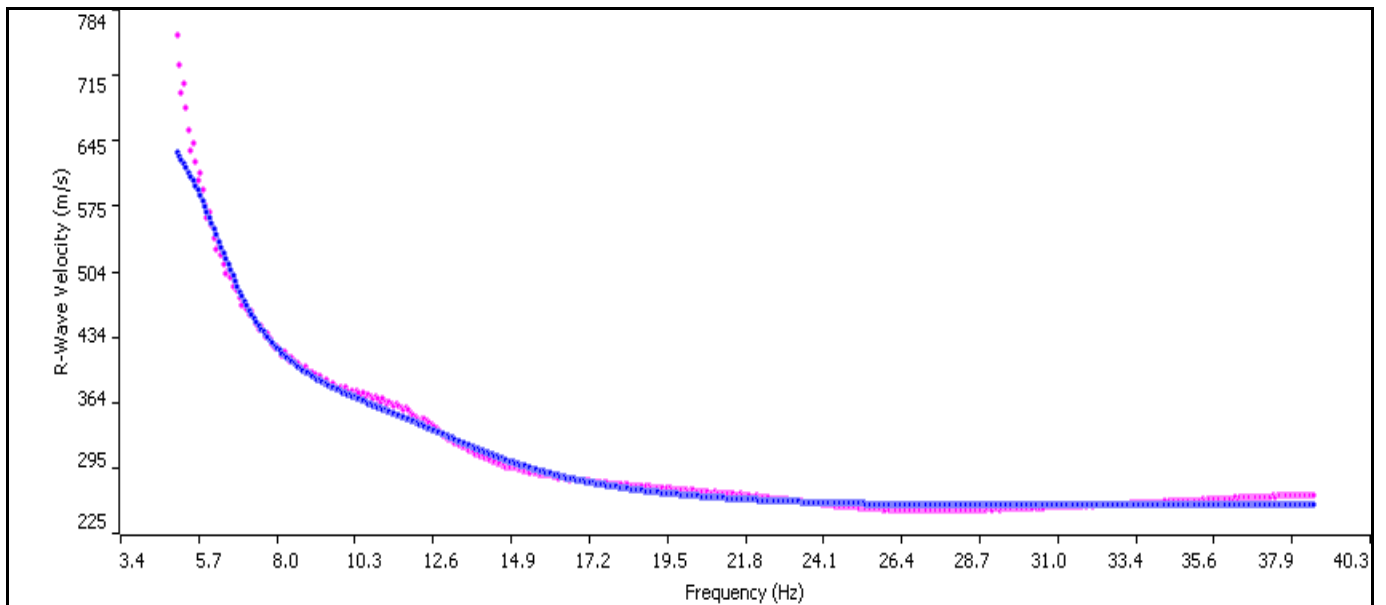
## Sismogramma



## Spettro F -K



## Match Curva di dispersione sperimentale – teorica



## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



# **INDAGINE GEOFISICA CON METODOLOGIA MASW**

**Committente: Solvay Chimica Italia S.P.A.  
Dott. Geol. Massimo Melani**

**Località: Stabilimento Solvay Via Piave - Rosignano Solvay**

**Realizzazione filtro SC D 2901**

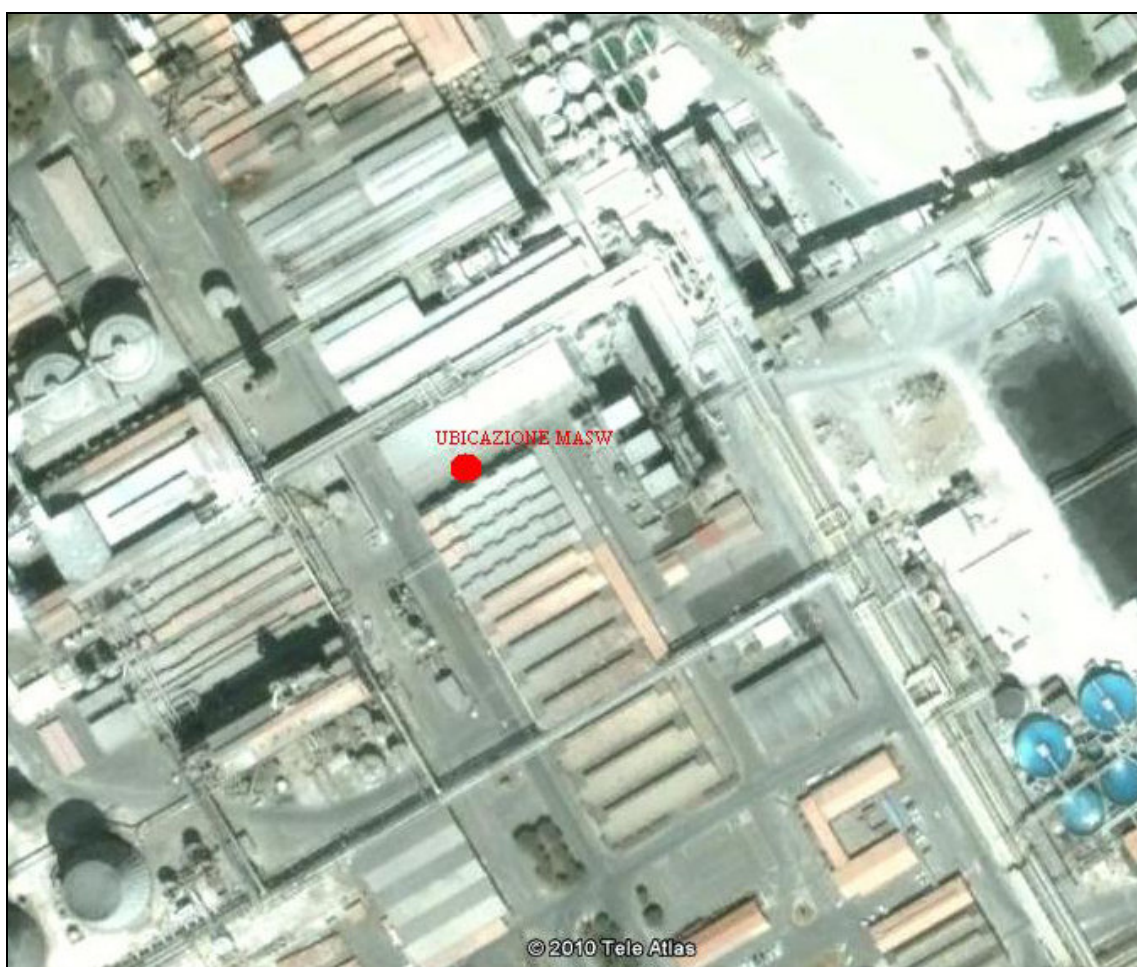
**Poggibonsi 19/10/2010**



## Relazione Tecnica

### 1 - Premessa

In data 19/10/2010 su incarico del Dott. Geologo Massimo Melani e per conto della ditta Solvay Chimica Italia S.P.A., è stata eseguita un'indagine geofisica acquisendo un profilo sismico con la metodologia MASW presso lo stabilimento Solvay in Via Piave a Rosignano Solvay (LI) in corrispondenza della realizzazione del nuovo filtro SC D 2901 nelle vicinanze dell'impianto  $\text{CaCl}_2$ . (fig. 1).



Scopo dell'indagine era quello di ricostruire, per l'area in oggetto, l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità.

Il modello sismico monodimensionale costituisce infatti l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni del sito, (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008).

## **2 - Metodologia ed esecuzione delle indagini**

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW è un “metodo attivo”, le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

Il metodo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo).

## **3 - Caratteristiche delle apparecchiature e principi generali dell'indagine**

L'indagine Masw per l'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica della prospezione sismica a rifrazione disponendo sul terreno 24 geofoni secondo un array lineare con spaziatura pari a 2 m. Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, sono stati utilizzati geofoni da 4.5 Hz.

Come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore è stata eseguita la somma di più energizzazioni (processo di stacking).

La sorgente è stata posta ad una distanza di 5 m. dal primo geofono. Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata ed i criteri di acquisizione della prova MASW attiva:

### **Strumentazione e caratteristiche dell'indagine**

- 1 Unità di acquisizione sismografo Echo 12/24
- 24 Geofoni verticali “con  $f = 4.5$  Hz
- 2 Cavi sismici  $L = 60$  m
- 1 Sorgente Mazza battente su piattello metallico
- Spaziatura tra i geofoni 2 m
- Distanza sorgente 1° geofono 10 m
- Tempo di registrazione 1.0 s



## **4 – Elaborazione dati**

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (Swan).

Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo.

L'analisi delle onde S con tecnica MASW viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, cioè a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale.

In questo dominio, detto dominio trasformato, è semplice andare a separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P o propagazione in aria. L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione ed è caratteristico di questo tipo di onde.

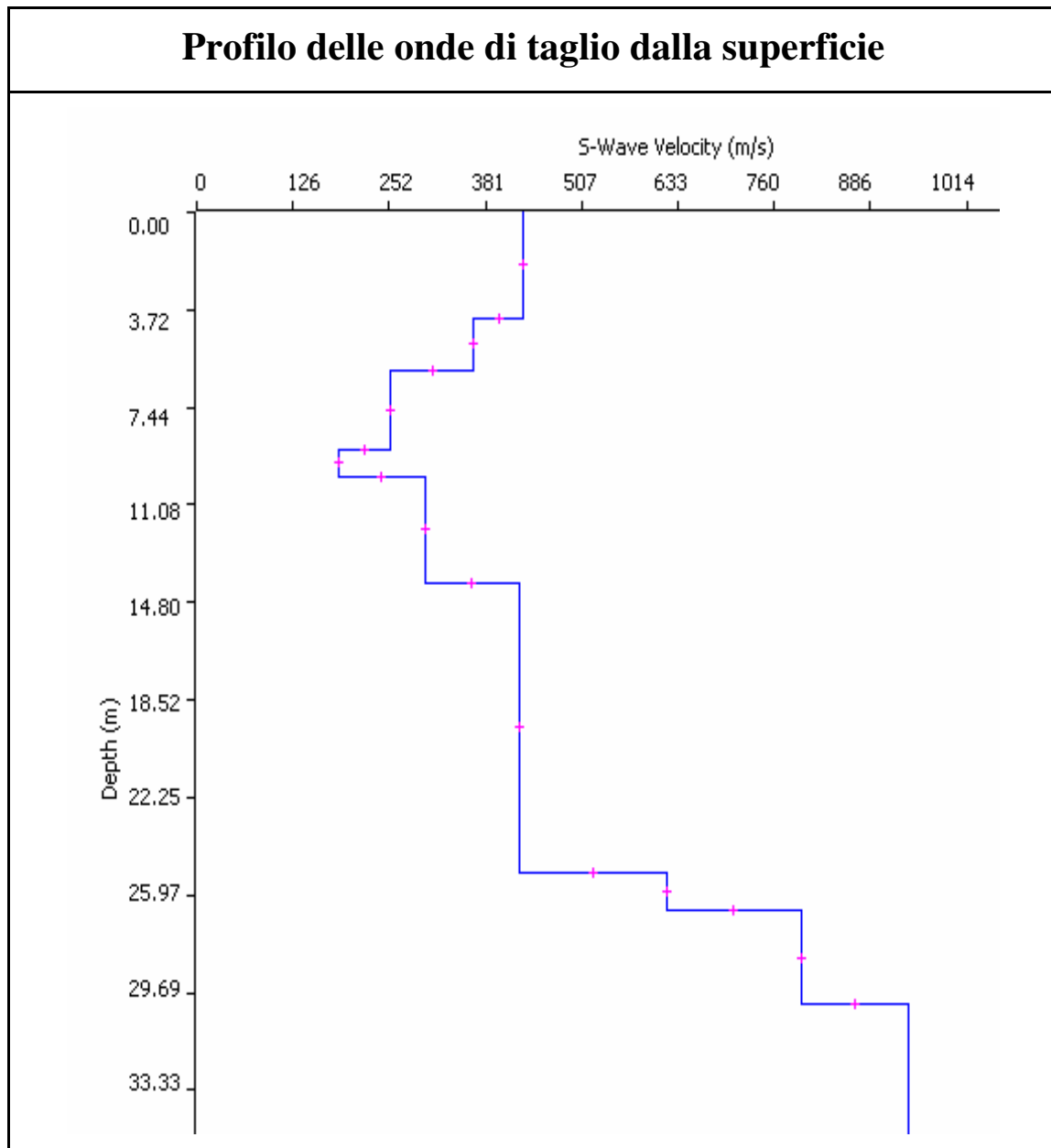
La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché essa approssimativamente passa sui massimi del valore assoluto dello spettro.

A questo punto la curva di dispersione sperimentale deve essere confrontata con quella relativa ad un modello sintetico che verrà successivamente alterato in base alle differenze riscontrate tra le due curve, fino ad ottenere un modello sintetico a cui è associata una curva di dispersione teorica coincidente con la curva sperimentale.

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata (stendimento complessivo di circa 46m):

Thickness	Depth	Vs	Vp	Poisson	Density
4	0	429	857	0.333	1.8
2	4	365	729	0.333	1.8
3	6	254	508	0.333	1.8
1	9	187	374	0.333	1.8
4	10	300	600	0.333	1.8
11	14	424	847	0.333	1.8
1.5	25	618	1235	0.333	1.8
3.5	27	795	1589	0.333	1.8
	30	937	1873	0.333	1.8

**Tabella 1: modello sismico monodimensionale.**



## 5. CALCOLO DELLE VS30

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato, è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la velocità di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (“Norme tecniche per le costruzioni”):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove  $H_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

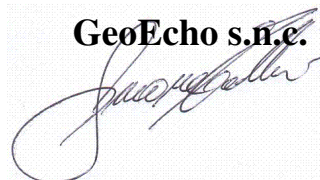
Utilizzando la formula sopra riportata, considerando la quota iniziale = piano campagna attuale, si ottiene il seguente valore **Vs30 = 383 m/s** a cui corrisponde la categoria di suolo di fondazione di tipo **B** ( si veda la tabella seguente).

Tabella : Categorie di suolo di fondazione(D.M. 14-09-2005; D.M. 14-01-2008)

CAT.	DESCRIZIONE PROFILO STRATIGRAFICO	PARAMETRI		
		Vs 30 m/sec.	N spt	Cu (Kpa)
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.	> 800	-	-
<b>B</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 graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	180-360	<50	70-250
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180	<15	<70
<b>E</b>	E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).			

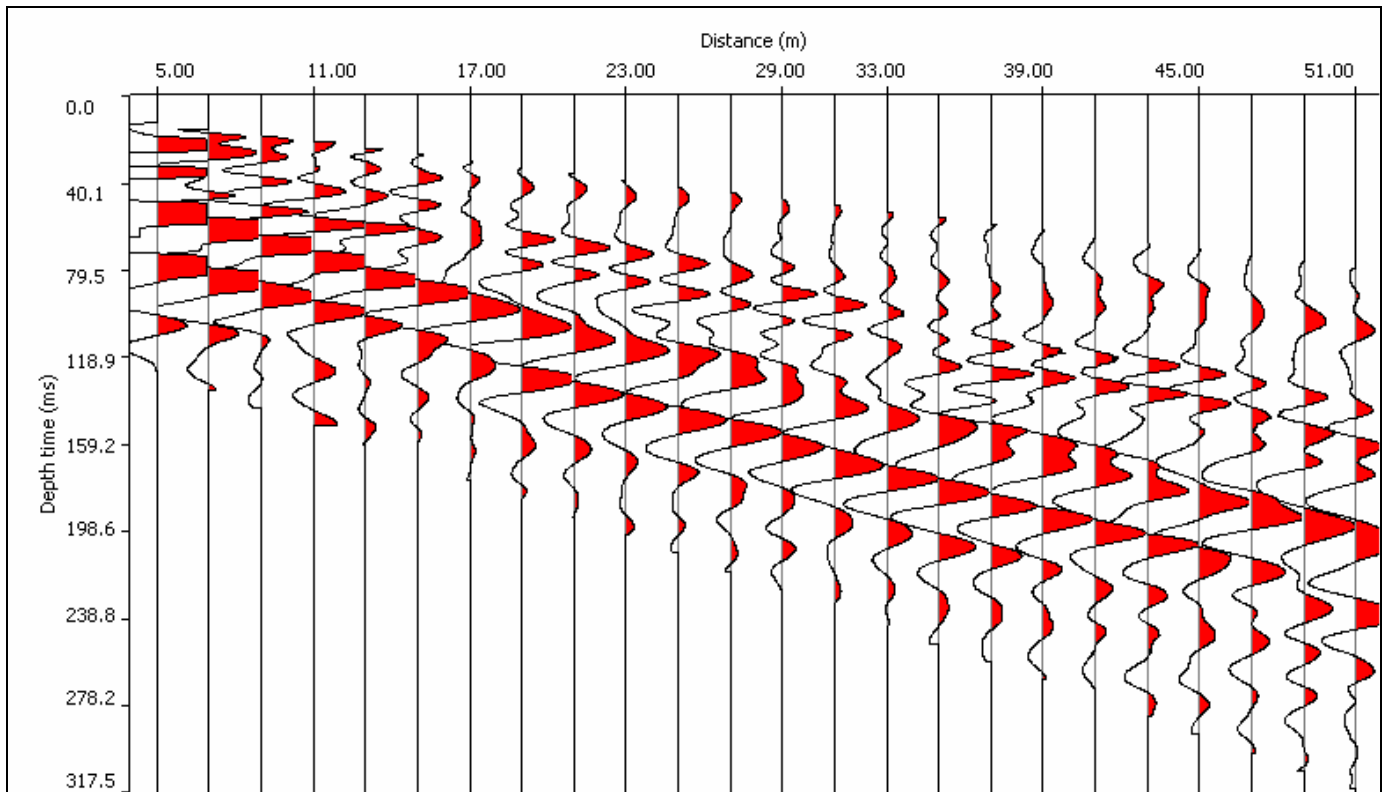
Il Tecnico:.

**GeoEcho s.n.c.**

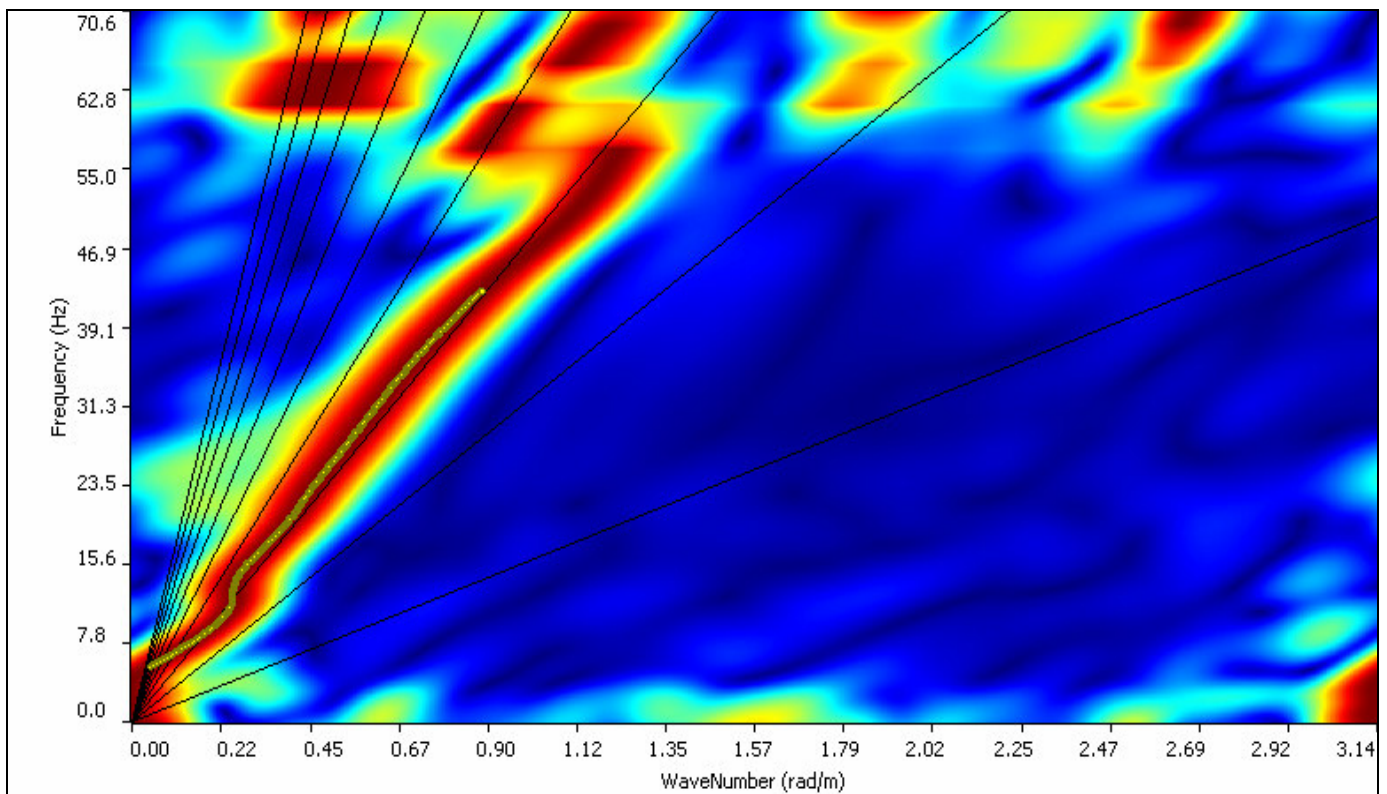


## Allegati

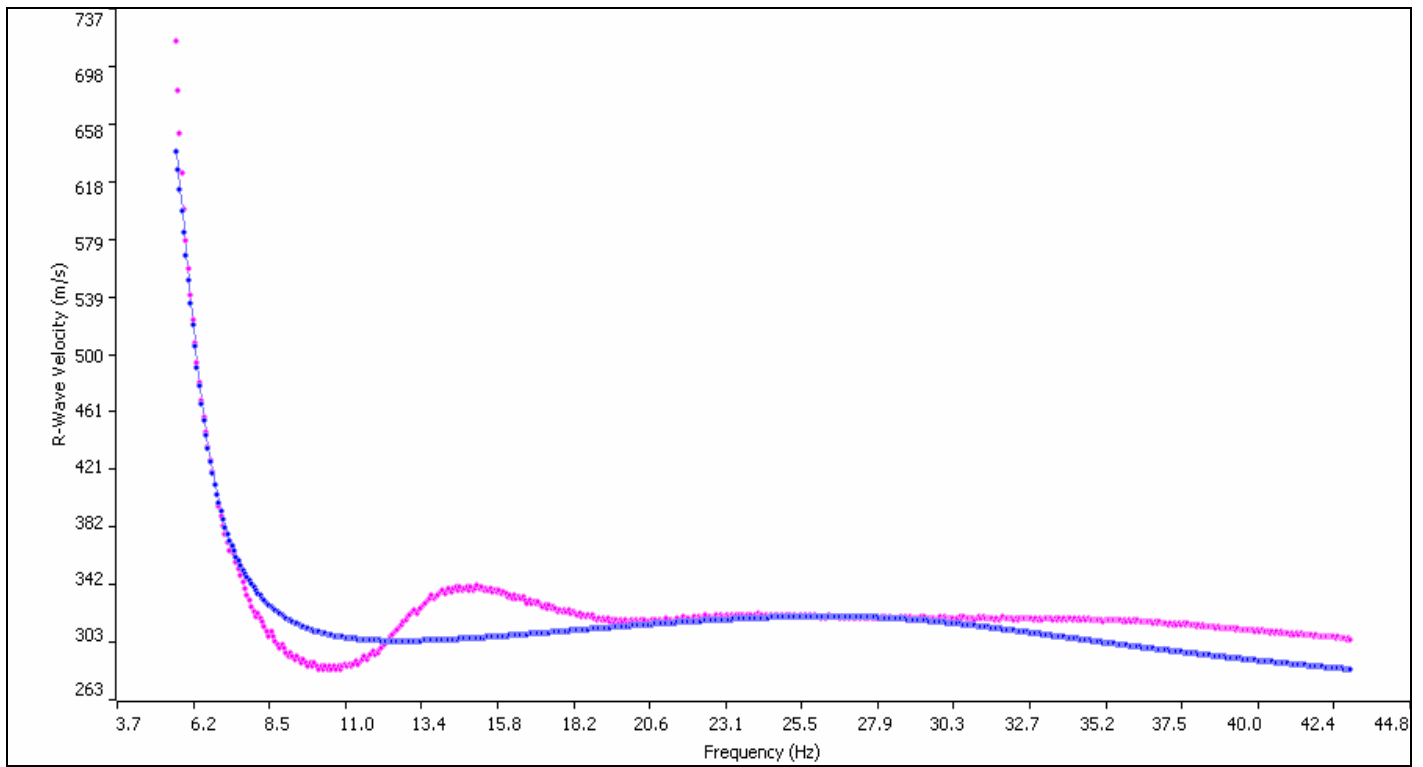
### Sismogramma



### Spettro F-K



## Match Curva di dispersione sperimentale – teorica





## Documentazione fotografica



# **INDAGINE GEOFISICA CON METODOLOGIA MASW**

**Committente: Solvay Chimica Italia S.P.A.  
Dott. Geol. Massimo Melani**

**Località: Stabilimento Solvay Via Piave - Rosignano Solvay**

**Sala controllo FCH.**

**Poggibonsi 19/10/2010**



## Relazione Tecnica

### 1 - Premessa

In data 21/10/2010 su incarico del Dott. Geologo Massimo Melani e per conto della ditta Solvay Chimica Italia S.P.A., è stata eseguita un'indagine geofisica acquisendo un profilo sismico con la metodologia MASW presso lo stabilimento Solvay in Via Piave a Rosignano Solvay (LI) in corrispondenza della sala controllo FCH. (fig. 1).



**FIG. 1: UBICAZIONE DEL'INDAGINE**

Scopo dell'indagine era quello di ricostruire, per l'area in oggetto, l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità.

Il modello sismico monodimensionale costituisce infatti l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni del sito, (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008).

## **2 - Metodologia ed esecuzione delle indagini**

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW è un “metodo attivo”, le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

Il metodo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo).

## **3 - Caratteristiche delle apparecchiature e principi generali dell'indagine**

L'indagine Masw per l'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica della prospezione sismica a rifrazione disponendo sul terreno 24 geofoni secondo un array lineare con spaziatura pari a 2 m. Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, sono stati utilizzati geofoni da 4.5 Hz.

Data l'elevata rumorosità di fondo del sito di indagine, come sistema di energizzazione è stato utilizzato un grave di 110 kg che cade da un' altezza di circa 3m. Per aumentare il rapporto segnale/rumore è stata eseguita la somma di più energizzazioni (processo di stacking).

La sorgente è stata posta ad una distanza di 10 m. dal primo geofono. Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata ed i criteri di acquisizione della prova MASW attiva:

### **Strumentazione e caratteristiche dell'indagine**

- 1 Unità di acquisizione sismografo Echo 12/24
- 24 Geofoni verticali “con  $f = 4.5$  Hz
- 2 Cavi sismici  $L = 60$  m
- 1 Sorgente Grave da 110 kg
- Spaziatura tra i geofoni 2 m
- Distanza sorgente 1° geofono 10 m
- Tempo di registrazione 1.0 s

## **4 – Elaborazione dati**

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (Swan).

Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo.

L'analisi delle onde S con tecnica MASW viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, cioè a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale.

In questo dominio, detto dominio trasformato, è semplice andare a separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P o propagazione in aria. L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione ed è caratteristico di questo tipo di onde.

La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché essa approssimativamente passa sui massimi del valore assoluto dello spettro.

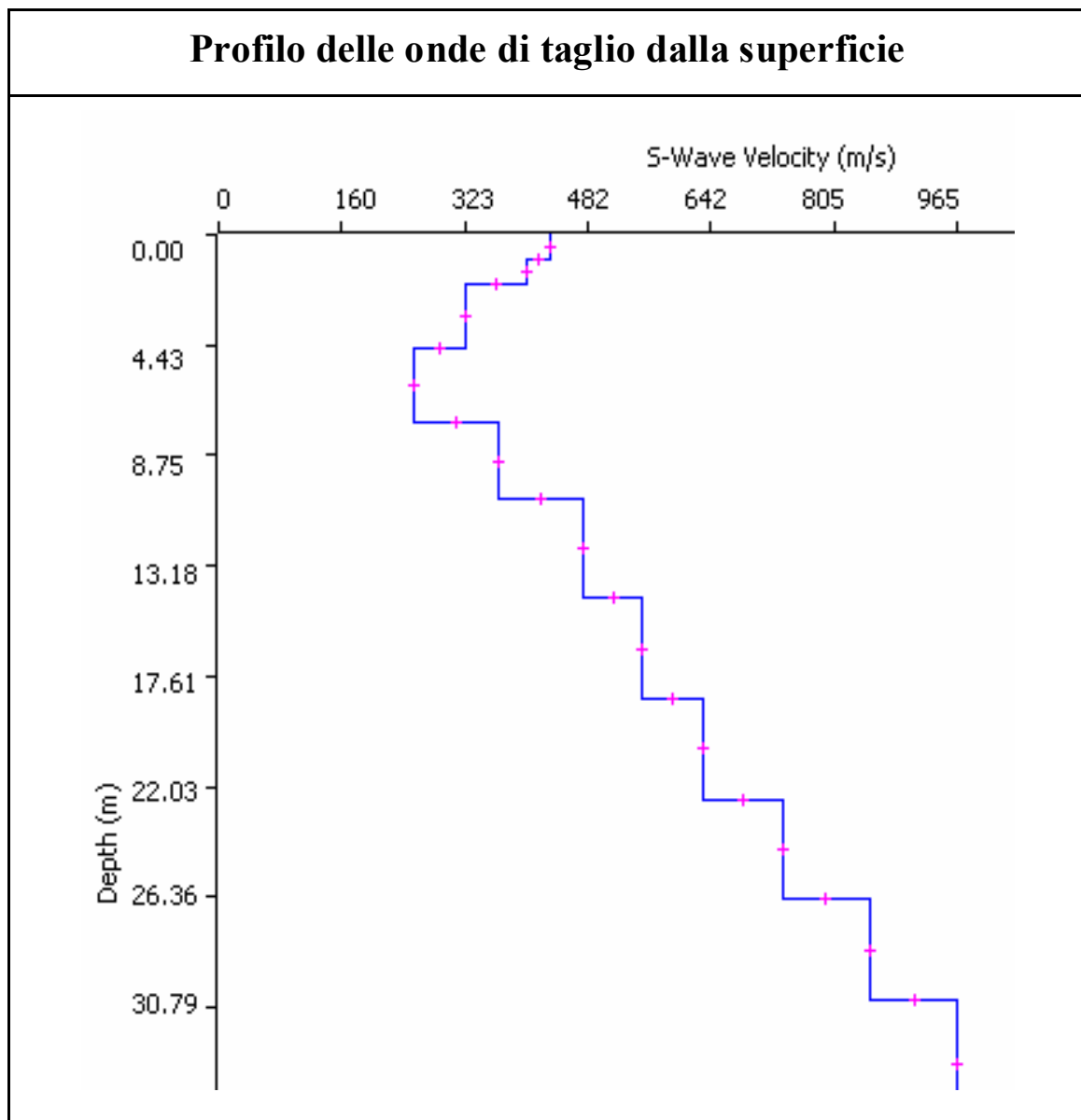
A questo punto la curva di dispersione sperimentale deve essere confrontata con quella relativa ad un modello sintetico che verrà successivamente alterato in base alle differenze riscontrate tra le due curve, fino ad ottenere un modello sintetico a cui è associata una curva di dispersione teorica coincidente con la curva sperimentale.

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata (stendimento complessivo di circa 46 m):

:

Thickness	Depth	Vs	Vp	Poisson	Density
1	0	433	865	0.333	1.8
1	1	401	801	0.333	1.8
2.5	2	321	642	0.333	1.8
3	4.5	254	508	0.333	1.8
3	7.5	366	731	0.333	1.8
4	10.5	477	953	0.333	1.8
4	14.5	553	1105	0.333	1.8
4	18.5	634	1267	0.333	1.8
4	22.5	736	1471	0.333	1.8
4	26.5	851	1701	0.333	1.8
5	30.5	966	1931	0.333	1.8
	35.5	1072	2142	0.333	1.8

**Tabella 1: modello sismico monodimensionale.**



## 5. CALCOLO DELLE VS30

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato, è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la velocità di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (“Norme tecniche per le costruzioni”):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove  $H_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

Utilizzando la formula sopra riportata, considerando la quota iniziale = piano campagna attuale, si ottiene il seguente valore **Vs30 = 368 m/s** a cui corrisponde la categoria di suolo di fondazione di tipo **B** ( si veda la tabella seguente).

Tabella : Categorie di suolo di fondazione(D.M. 14-09-2005; D.M. 14-01-2008)

CAT.	DESCRIZIONE PROFILO STRATIGRAFICO	PARAMETRI		
		Vs 30 m/sec.	N spt	Cu (Kpa)
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.	> 800	-	-
<b>B</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 graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	180-360	<50	70-250
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180	<15	<70
<b>E</b>	E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).			

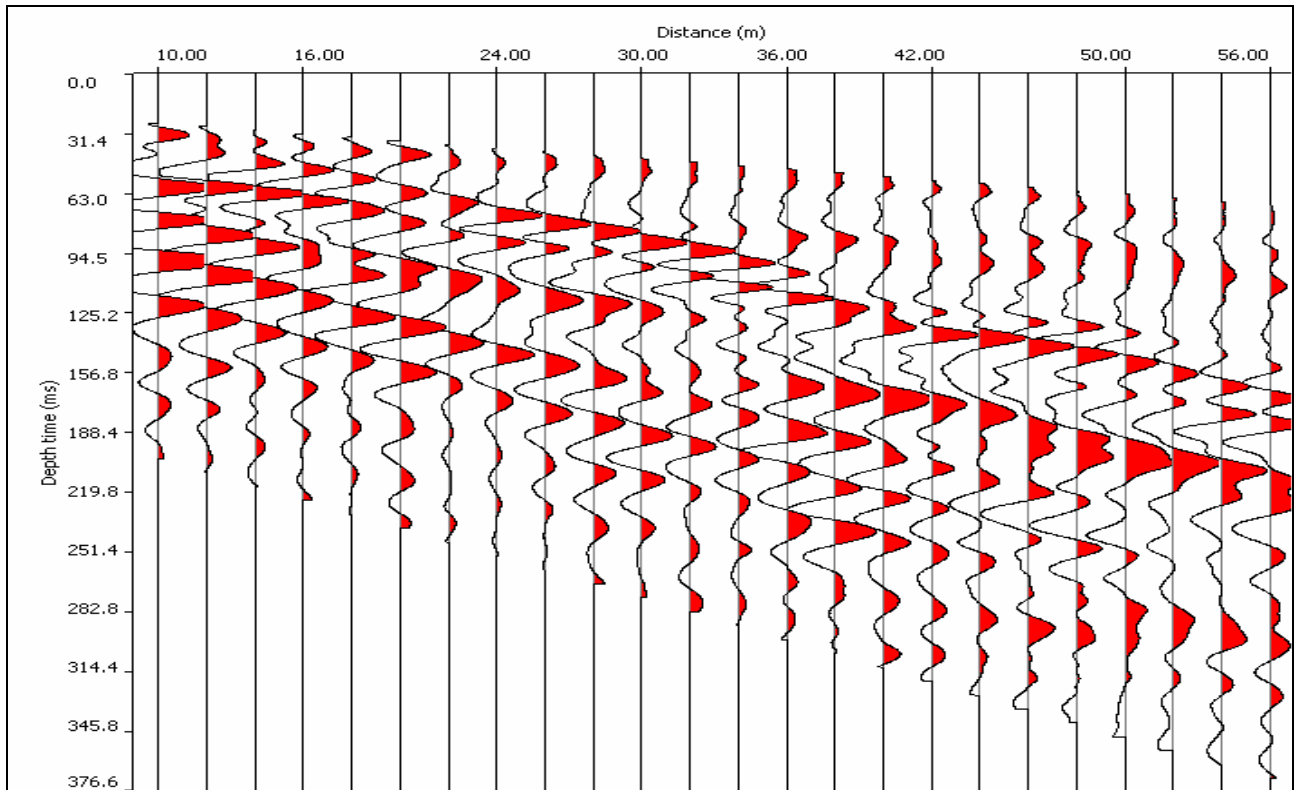
Il Tecnico:.

**GeoEcho s.n.c.**

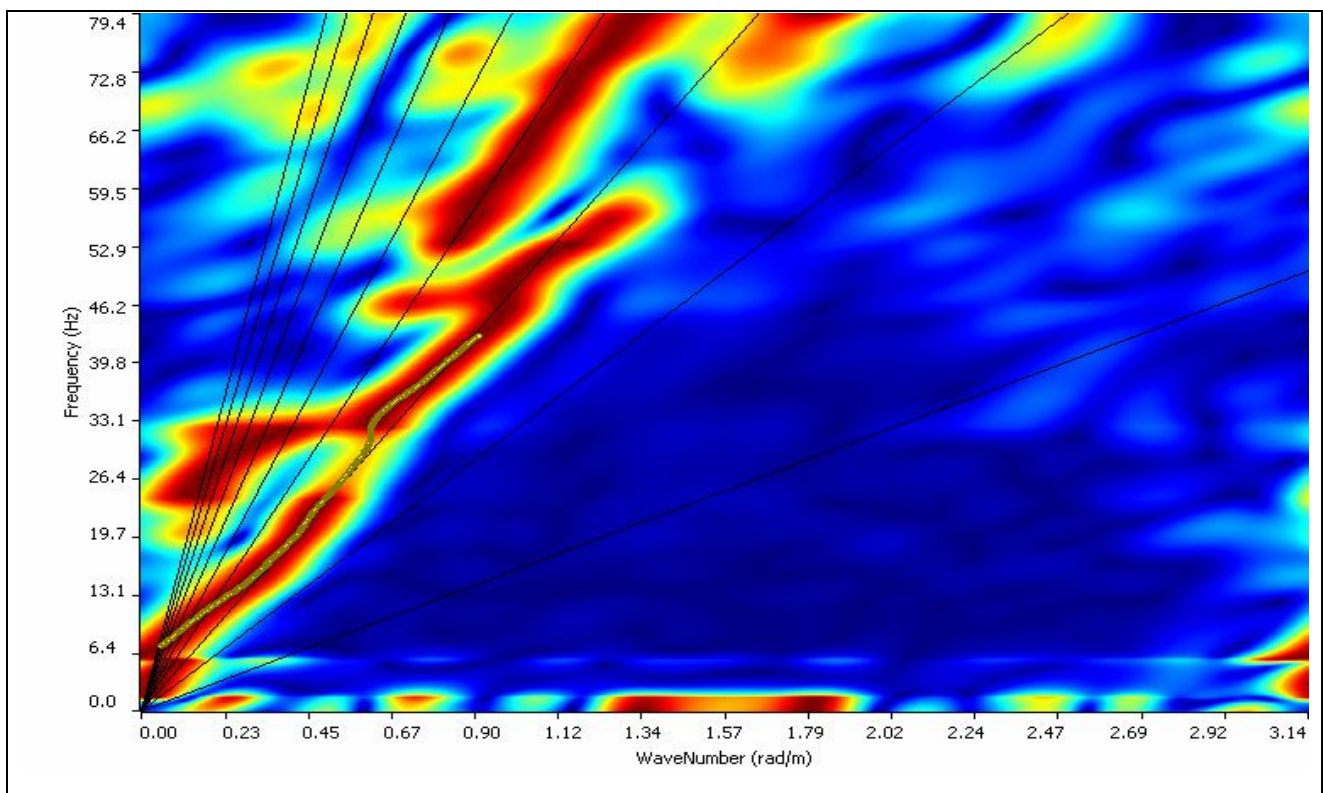


## Allegati

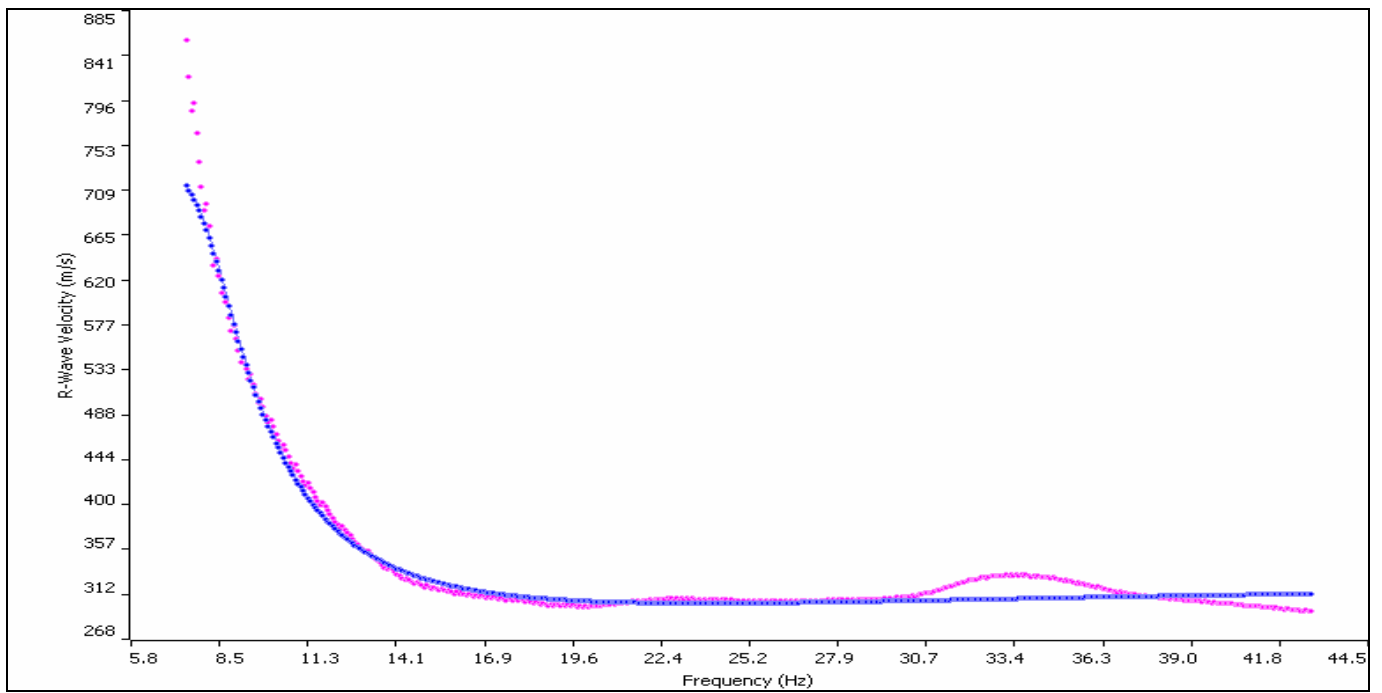
### Sismogramma



### Spettro F-K



## Match Curva di dispersione sperimentale – teorica





## Documentazione fotografica







# **INDAGINE GEOFISICA CON METODOLOGIA MASW**

**Committente: Sig.ra Caterina Ammoscato**

**Indagini geofisiche  
per la realizzazione di edificio ad uso abitativo  
in Via della Lombarda n. 13  
nel Comune di Rosignano Marittimo (LI)**

**Poggibonsi, Marzo 2010**

## **Relazione Tecnica**

### **1 – Premessa**

In data 26/03/2010 su incarico del Dott. Geol Massimo Melani e per conto della Sig.ra Caterina Ammoscato, è stata eseguita un'indagine geofisica acquisendo un profilo sismico con la metodologia MASW in via della Lombarda n. 13 nel Comune di Rosignano Marittimo (LI) .

Scopo dell'indagine era quello di ricostruire, per l'area in oggetto, l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità.

Il modello sismico monodimensionale costituisce infatti l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni del sito, (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008).

### **2 - Metodologia ed esecuzione delle indagini**

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW è un "metodo attivo", le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

Il metodo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo).

### **3 - Caratteristiche delle apparecchiature e principi generali dell'indagine**

L'indagine Masw per l'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica della prospezione sismica a rifrazione disponendo sul terreno 24 geofoni secondo un array lineare con spaziatura pari a 2 m. Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, sono stati utilizzati geofoni da 4.5 Hz.

Come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore è stata eseguita la somma di più energizzazioni (processo di stacking).

La sorgente è stata posta ad una distanza di 4 m. dal primo geofono. Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata ed i criteri di acquisizione della prova MASW attiva:

### **Strumentazione e caratteristiche dell'indagine**

- 1 Unità di acquisizione sismografo Echo 12/24
- 24 Geofoni verticali "con  $f = 4.5$  Hz
- 2 Cavi sismici  $L = 60$  m
- 1 Sorgente Mazza battente su piattello metallico
- Spaziatura tra i geofoni 2 m
- Distanza sorgente 1° geofono 4 m
- Tempo di registrazione 1.0 s

### **4 – Elaborazione dati**

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (Swan).

Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo.

L'analisi delle onde S con tecnica MASW viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, cioè a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale.

In questo dominio, detto dominio trasformato, è semplice andare a separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P o propagazione in aria. L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione ed è caratteristico di questo tipo di onde.

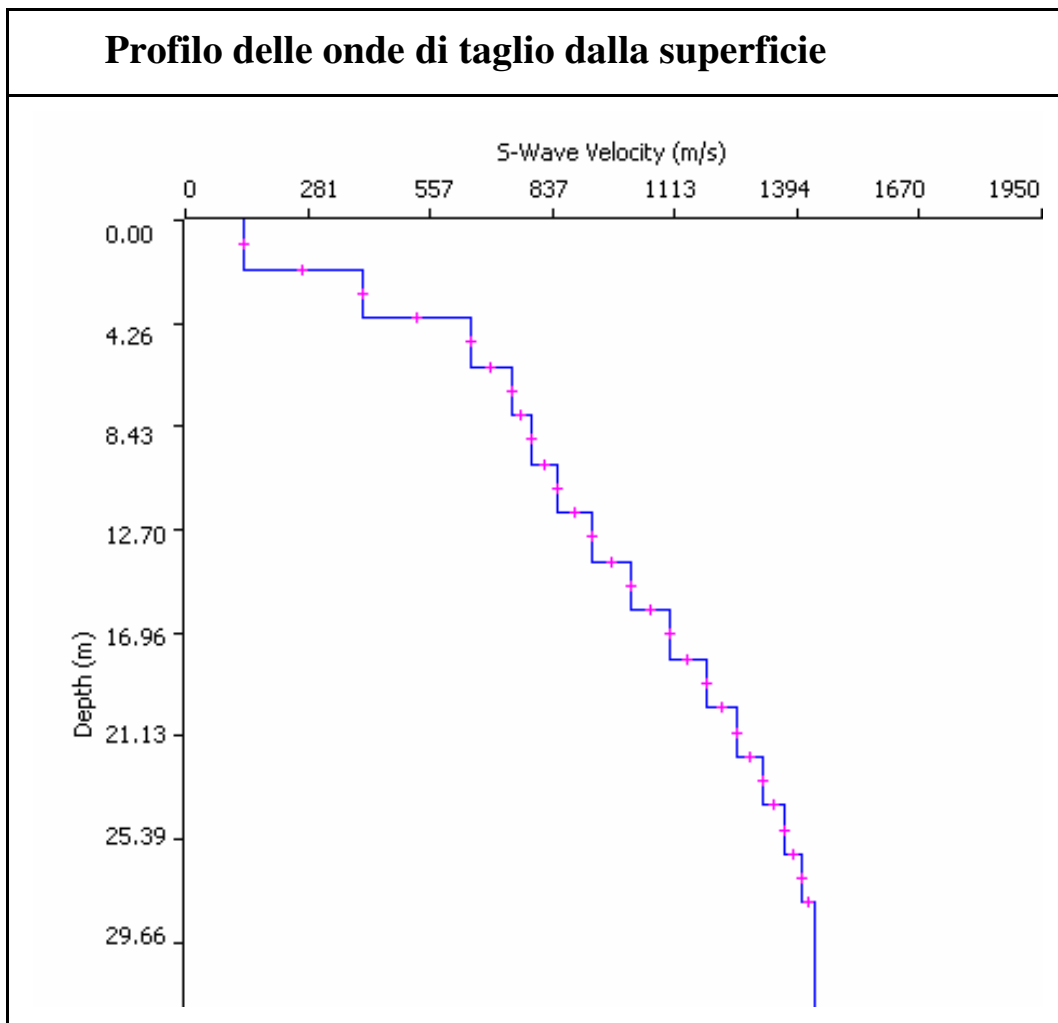
La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché essa approssimativamente passa sui massimi del valore assoluto dello spettro.

A questo punto la curva di dispersione sperimentale deve essere confrontata con quella relativa ad un modello sintetico che verrà successivamente alterato in base alle differenze riscontrate tra le due curve, fino ad ottenere un modello sintetico a cui è associata una curva di dispersione teorica coincidente con la curva sperimentale.

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata (stendimento complessivo di circa 46 m):

Thickness	Depth	Vs	Vp	Poisson	Density
2	0	131	262	0.333	1.8
2	2	402	803	0.333	1.8
2	4	648	1295	0.333	1.8
2	6	742	1482	0.333	1.8
2	8	786	1572	0.333	1.8
2	10	845	1689	0.333	1.8
2	12	926	1850	0.333	1.8
2	14	1016	2030	0.333	1.8
2	16	1104	2207	0.333	1.8
2	18	1185	2368	0.333	1.8
2	20	1254	2507	0.333	1.8
2	22	1313	2625	0.333	1.8
2	24	1362	2722	0.333	1.8
2	26	1402	2803	0.333	1.8
	28	1435	2868	0.333	1.8

**Tabella 1: modello sismico monodimensionale.**





## 5. CALCOLO DELLE VS30

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato, è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la velocità di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (“Norme tecniche per le costruzioni”):

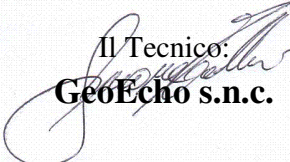
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove  $H_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

Utilizzando la formula sopra riportata si ottiene il seguente valore (quota iniziale = piano campagna attuale): **Vs30 = 653 m/s** a cui corrisponde la categoria di suolo di fondazione di tipo **B** ( si veda la tabella seguente).

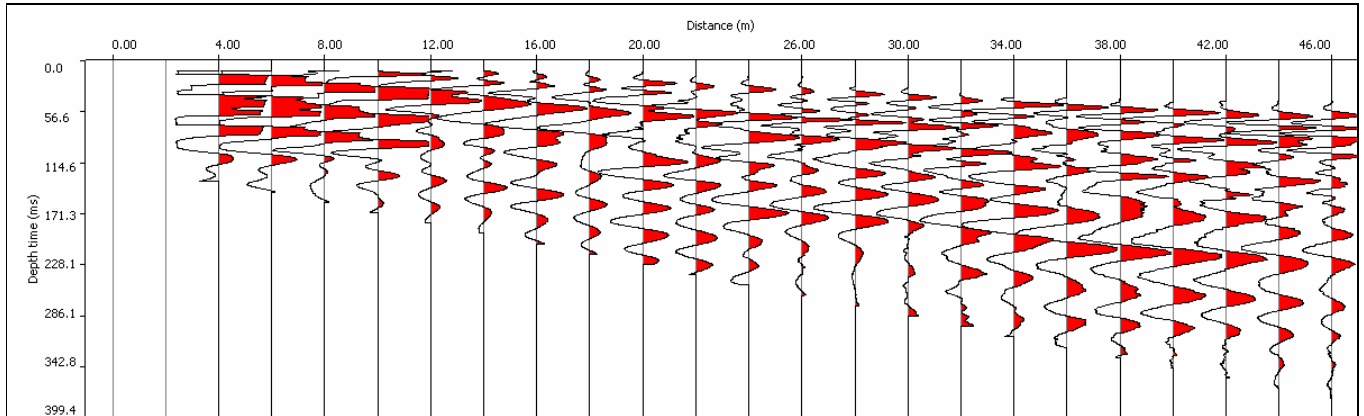
Tabella : Categorie di suolo di fondazione(D.M. 14-09-2005; D.M. 14-01-2008)

CAT.	DESCRIZIONE PROFILO STRATIGRAFICO	PARAMETRI		
		Vs 30 m/sec.	N spt	Cu (Kpa)
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.	> 800	-	-
<b>B</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 graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	180-360	<50	70-250
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180	<15	<70
<b>E</b>	E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).			

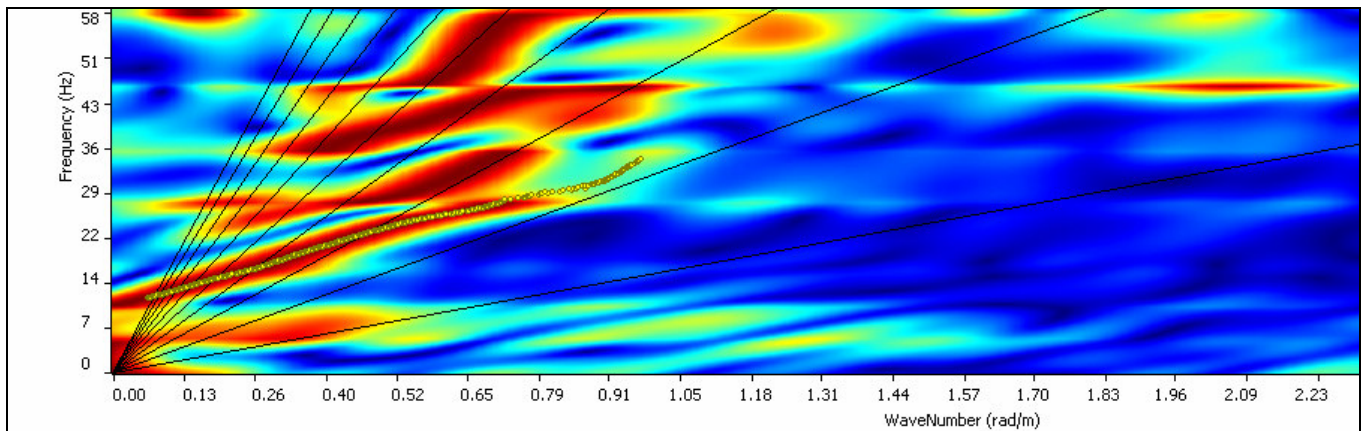
Il Tecnico:  
  
**GeoEcho s.n.c.**

# Allegati

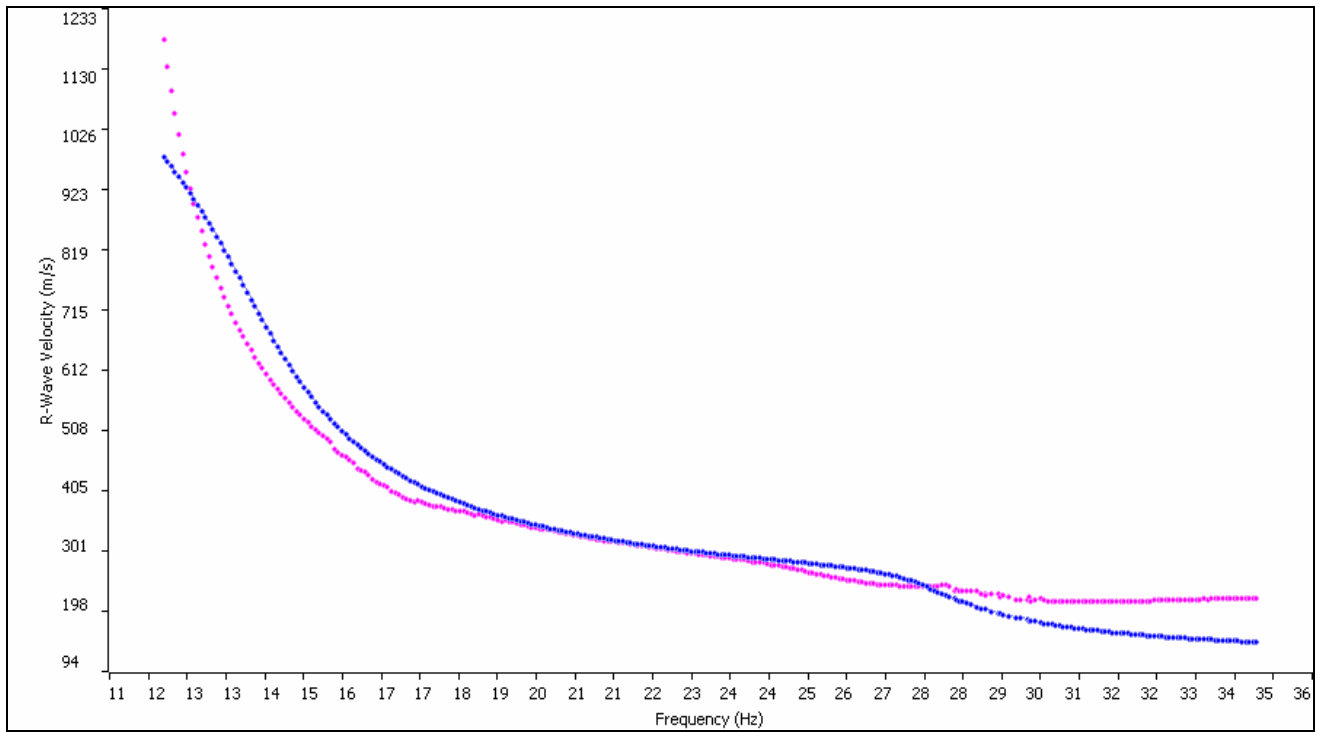
## Sismogramma



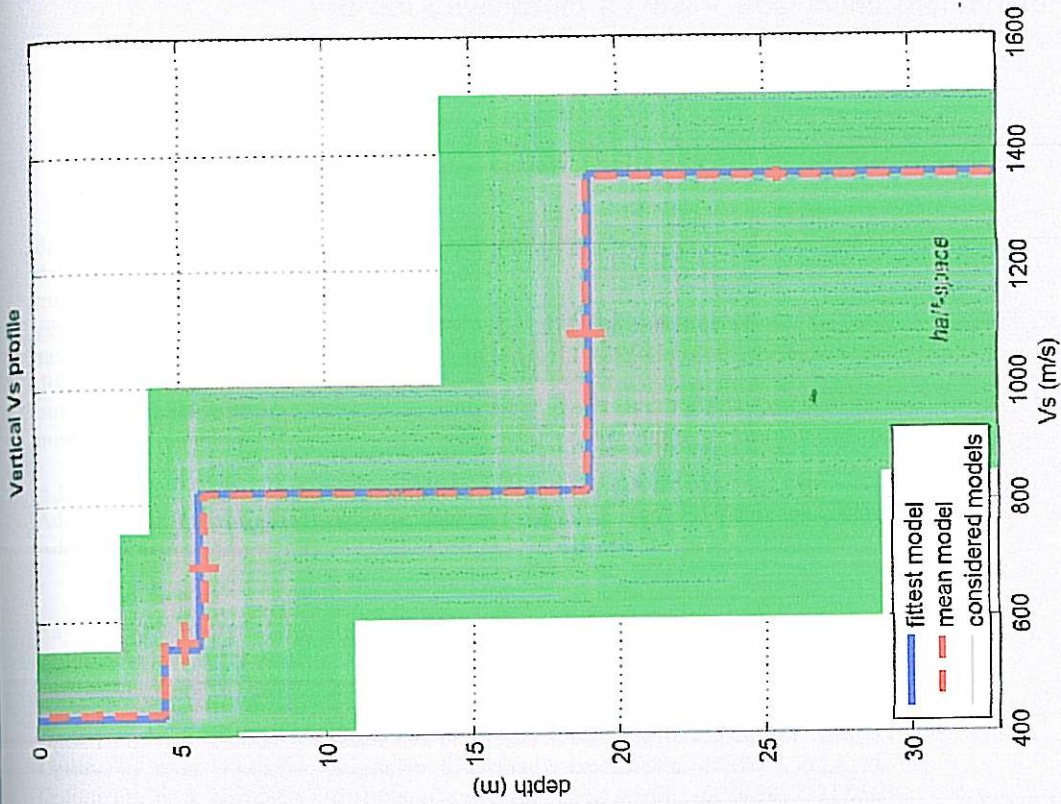
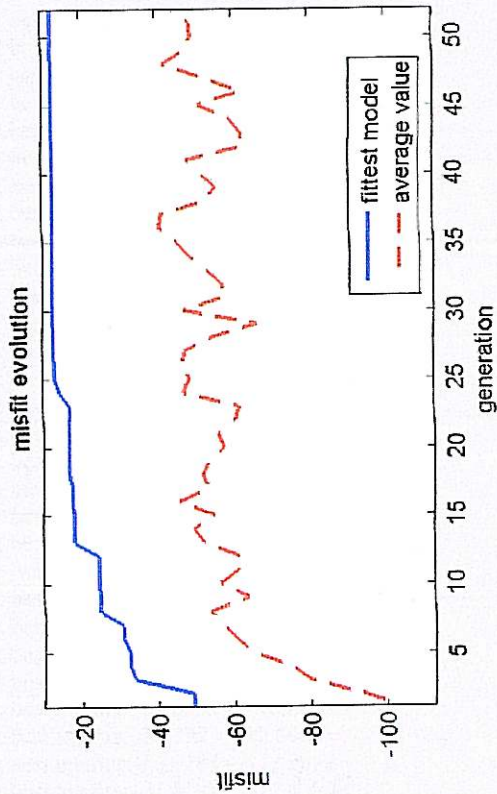
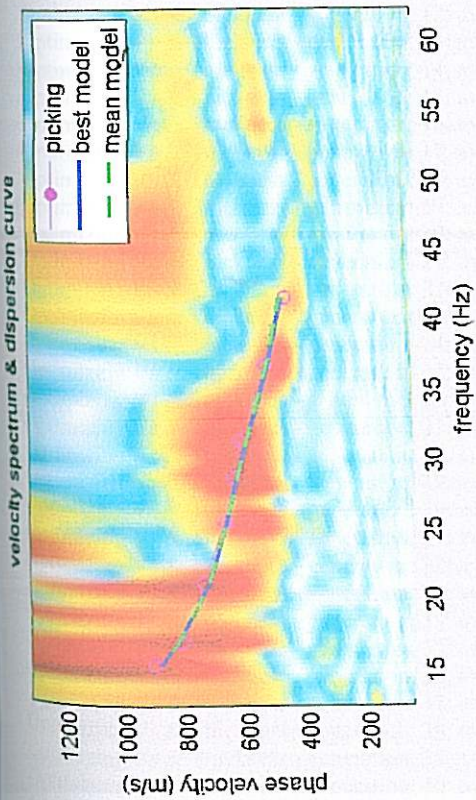
## Spettro F-K



## Match Curva di dispersione sperimentale - teorica







dataset: 12 metri il lupo.sgy  
 dispersion curve: picking 12 metri.cdp  
 VS30 (best model): 813 m/s  
 VS30 (mean model): 815 m/s





## RISULTATI INDAGINE MASW

Via dei Lavoratori n° 32 - Rosignano Marittimo

dispersion curve: number of frequency-velocity points=8  
dataset: 12 metri.sgy  
minimum offset (m): 12  
geophone spacing (m): 2  
sampling (ms): 0.131  
dispersion curve: picking 12 metri.cdp  
number of individuals: 30  
number of generations: 41

Adopted search space (minimum Vs & thickness): 400 3 410 1 600 10 850  
Adopted search space (maximum Vs & thickness): 550 7 750 4 1000 18 1500  
Adopted Poisson values: 0.35 0.25 0.25 0.25

### Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits:	-102.5551	-49.52907
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits:	-92.5298	-49.5291
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits:	-79.8666	-34.1648
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits:	-74.9974	-32.8273
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits:	-65.004	-32.8273
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits:	-60.9058	-31.0568
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits:	-57.1874	-31.0568
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits:	-54.0483	-25.0123
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits:	-64.0363	-25.0123
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits:	-56.4299	-24.5407
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits:	-61.089	-24.5407
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits:	-61.3477	-24.5407
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits:	-52.1772	-18.1578
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits:	-49.5712	-18.1578
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits:	-55.0194	-18.1578
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits:	-45.9511	-17.9862
Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits:	-53.5715	-17.9862
Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits:	-52.1744	-17.1867
Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits:	-53.8071	-17.1867
Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits:	-57.7787	-17.1867
Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits:	-56.1805	-17.1867
Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits:	-60.5067	-17.1867
Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits:	-61.5432	-17.058
Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits:	-46.9095	-14.5044
Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits:	-48.541	-13.1537
Optimizing Vs & Thickness - generation: 26; average & best misfits:	-46.7716	-13.1537
Optimizing Vs & Thickness - generation: 27; average & best misfits:	-47.3003	-12.8099
Optimizing Vs & Thickness - generation: 28; average & best misfits:	-54.4218	-12.8099
Optimizing Vs & Thickness - generation: 29; average & best misfits:	-66.3971	-12.8099
Optimizing Vs & Thickness - generation: 30; average & best misfits:	-47.345	-12.8099
Optimizing Vs & Thickness - generation: 31; average & best misfits:	-58.3542	-12.8099
Optimizing Vs & Thickness - generation: 32; average & best misfits:	-57.2045	-12.8099
Optimizing Vs & Thickness - generation: 33; average & best misfits:	-53.2176	-12.8099
Optimizing Vs & Thickness - generation: 34; average & best misfits:	-48.7721	-12.8099
Optimizing Vs & Thickness - generation: 35; average & best misfits:	-45.6075	-12.8099
Optimizing Vs & Thickness - generation: 36; average & best misfits:	-40.8429	-12.8099
Optimizing Vs & Thickness - generation: 37; average & best misfits:	-41.0709	-12.8099
Optimizing Vs & Thickness - generation: 38; average & best misfits:	-52.792	-12.8099
Optimizing Vs & Thickness - generation: 39; average & best misfits:	-55.6783	-12.8099
Optimizing Vs & Thickness - generation: 40; average & best misfits:	-51.8281	-12.8099
Optimizing Vs & Thickness - generation: 41; average & best misfits:	-48.1575	-12.8099

Checking the new search space (for the finer search)  
 Now a finer search around the most promising search space area

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -63.0818	-12.8099
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -62.4322	-12.8099
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -59.5659	-12.8099
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -51.3867	-12.8099
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -62.6399	-12.8099
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -52.5379	-12.8099
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -42.1363	-12.8099
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -47.9423	-12.6298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -49.4206	-12.6298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -49.0769	-12.6298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -44.3849	-12.6298

Model after the Vs & Thickness optimization (fixed Poisson values):

Vs (m/s): 434 552 818 1362  
 Poisson: 0.35 0.25 0.25 0.25  
 Thickness (m): 4.5 1.2 13

Number of models considered to calculate the average model: 12

#####  
 RESULTS winMASW Pro  
 #####

Dataset: 12 metri il lupo.sgy  
 Analyzed curve: picking 12 metri.cdp

**MEAN MODEL**

VS (m/s): 440 563 817 1358  
 Standard deviations (m/s): 6 35 5 11  
 Thickness (m): 4.5 1.4 13.1  
 Standard deviations (m): 0.0 0.5 0.6

Approximate values for Vp, density & elastic moduli

Vp (m/s): 916 975 1415 2352  
 Density (gr/cm3): 2.03 2.05 2.14 2.26  
 Vp/Vs ratio: 2.08 1.73 1.73 1.73  
 Poisson: 0.35 0.25 0.25 0.25  
 Young modulus (MPa): 1063 1623 3568 10429  
 Shear modulus (MPa): 394 649 1427 4172  
 Lamé (MPa): 918 649 1427 4170  
 Bulk modulus (MPa): 1181 1081 2378 6951

Fundamental mode

Mean model  

f(Hz)	VR(m/s)
15.4494	880.9301
17.0469	826.8648
21.2583	723.8289
25.4697	666.1044
28.8097	629.4946
31.4237	599.573
36.7969	535.0368
41.5892	491.0993

**INDAGINI GEOFISICA  
DI SISMICA ATTIVA CON METODOLOGIA MASW  
E MISURA A STAZIONE SINGOLA H/V**

**Ubicazione: via dei Lavoratori  
Comune di Rosignano Marittimo (LI)**

**Committente: Quintavalle Costruzioni s.n.c.**

**Poggibonsi 27/08/2014**



## Relazione Tecnica

### 1 - Premessa

In data 03/07/2014, su incarico della Quintavalle Costruzioni s.n.c. e con la direzione dei lavori del Dott. Geol. Massimo Melani, è stata eseguita in un terreno ubicato a Nord dell'abitato di Rosignano Marittimo presso via dei Lavoratori (fig. 1), un'indagine MASW per ricostruire l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità.



FIG. 1: UBICAZIONE DELLE INDAGINI

### 2 – Indagine MASW

Il modello sismico monodimensionale costituisce l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni del sito, (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008).

## **2.1 - Metodologia ed esecuzione delle indagini**

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW è un “metodo attivo”, le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

Il metodo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 4.5 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo).

## **2.2 - Caratteristiche delle apparecchiature e principi generali dell'indagine**

L'indagine Masw per l'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica della prospezione sismica a rifrazione disponendo sul terreno 24 geofoni secondo un array lineare con spaziatura pari a 2,5 m., compatibilmente con le condizioni logistiche e gli spazi disponibili del sito. Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, sono stati utilizzati geofoni da 4.5 Hz.

Come sistema di energizzazione una mazza di 10 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore è stata eseguita la somma di più energizzazioni (processo di stacking).

**Sono state fatte 4 acquisizioni che successivamente si è provveduto ad elaborare, valutando la coerenza dei risultati e la loro qualità.**

Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata ed i criteri di acquisizione della prova MASW attiva:

### **Strumentazione e caratteristiche dell'indagine**

- 1 Unità di acquisizione sismografo Echo 12/24
- 24 Geofoni verticali “con  $f = 4.5$  Hz
- 2 Cavi sismici  $L = 60$  m
- 1 Sorgente Mazza di 10 kg battente su piattello metallico
- Spaziatura tra i geofoni: 2,5 m
- Distanze sorgente dal 1° e dal 24° geofono: 5 e 10 m.
- Tempo di registrazione: 1.0 s

### **2.3 – Elaborazione dati**

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (Swan).

Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo.

L'analisi delle onde S con tecnica MASW viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, cioè a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale.

In questo dominio, detto dominio trasformato, è semplice andare a separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P o propagazione in aria. L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione ed è caratteristico di questo tipo di onde.

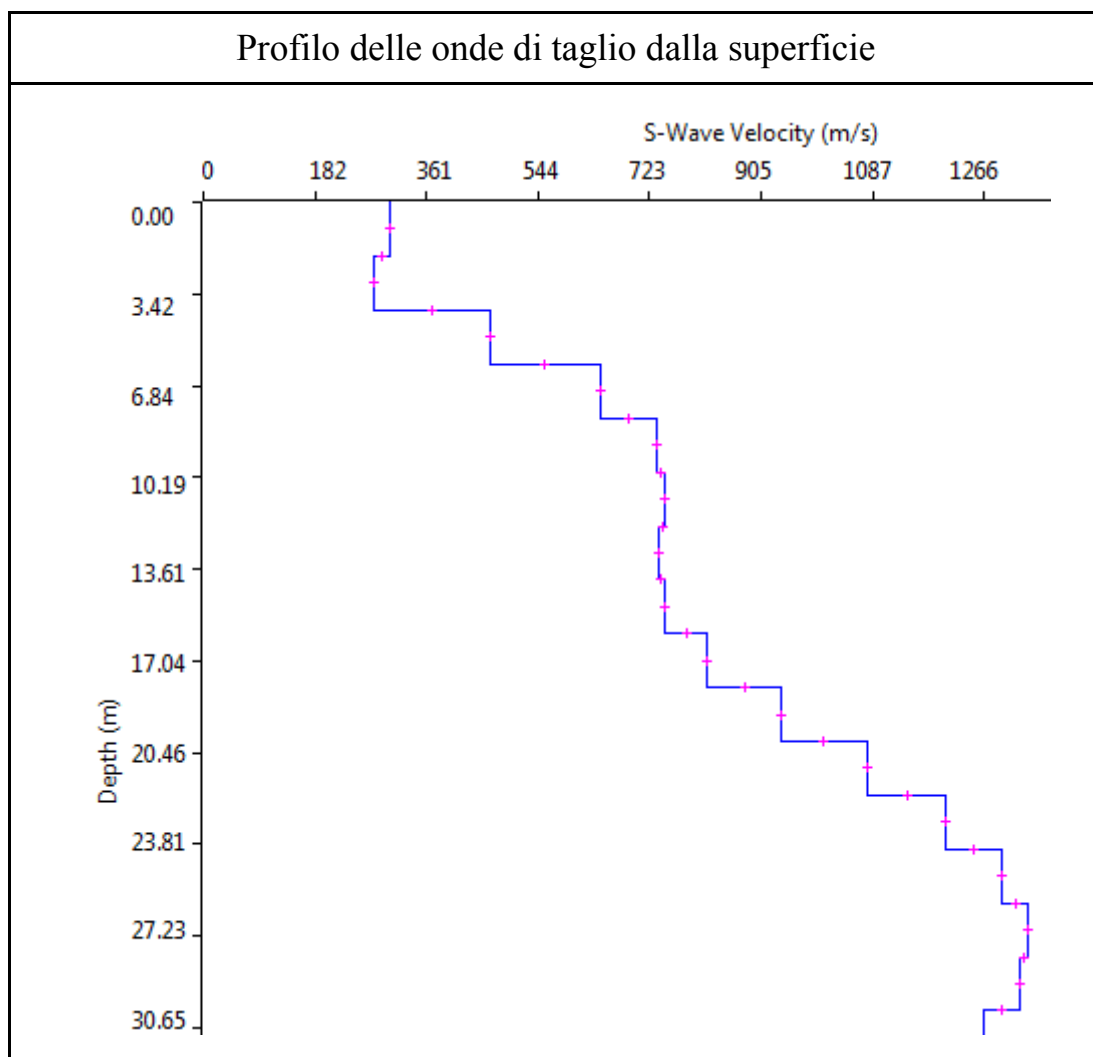
La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché essa approssimativamente passa sui massimi del valore assoluto dello spettro.

A questo punto la curva di dispersione sperimentale deve essere confrontata con quella relativa ad un modello sintetico che verrà successivamente alterato in base alle differenze riscontrate tra le due curve, fino ad ottenere un modello sintetico a cui è associata una curva di dispersione teorica coincidente con la curva sperimentale.

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata (stendimento complessivo di circa 57,5 m).

Thickness	Depth	Vs	Vp	Poisson	Density
2	0	304	608	0.333	1.8
2	2	278	556	0.333	1.8
2	4	465	929	0.333	1.8
2	6	644	1287	0.333	1.8
2	8	735	1469	0.333	1.8
2	10	750	1499	0.333	1.8
2	12	738	1475	0.333	1.8
2	14	749	1497	0.333	1.8
2	16	818	1635	0.333	1.8
2	18	937	1873	0.333	1.8
2	20	1077	2152	0.333	1.8
2	22	1205	2408	0.333	1.8
2	24	1297	2592	0.333	1.8
2	26	1339	2676	0.333	1.8
2	28	1326	2650	0.333	1.8
	30	1265	2528	0.333	1.8

**Tabella 1: modello sismico monodimensionale.**



## 2.4 – Calcolo della Vs30

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato, è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la velocità di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (“Norme tecniche per le costruzioni”):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove Hi e Vi indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

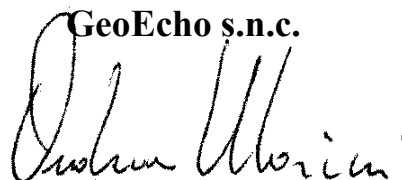
Utilizzando la formula sopra riportata, considerando la quota della fondazione a partire dal piano campagna attuale, si ottiene il seguente valore **Vs30 = 672 m/s** a cui corrisponde la categoria di suolo di fondazione di tipo **B** ( si veda la tabella seguente).

Tabella : Categorie di suolo di fondazione(D.M. 14-09-2005; D.M. 14-01-2008)

CAT.	DESCRIZIONE PROFILO STRATIGRAFICO	PARAMETRI		
		Vs 30 m/sec.	N spt	Cu (Kpa)
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.	> 800	-	-
<b>B</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 graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	180-360	<50	70-250
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180	<15	<70
<b>E</b>	E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).			

Il Tecnico:.

**GeoEcho s.n.c.**



### **3 – Misura con metodologia a stazione singola (HVSr)**

Accanto alle tecniche basate sull'impiego di array sismico esistono altre tecniche fondate sull'uso di una singola stazione di misura.

In questo caso vengono misurate le vibrazioni ambientali nelle tre direzioni dello spazio attraverso un unico sensore tridirezionale posto sulla superficie del terreno.

In particolare viene valutato il rapporto di ampiezza fra le componenti orizzontali e verticali del moto (metodo HVSr ovvero "Horizontal to Vertical Spectral Ratios") [Bard., 1998].

Analizzando misure di questo tipo è possibile identificare le modalità di vibrazione del terreno.

In particolare è possibile individuare la frequenza (f) di questa vibrazione definita di "Risonanza".

#### **Risultati e conclusioni**

La misura H/V realizzata è servita a definire la frequenza (f) di risonanza del sottosuolo in maniera tale da prevenire, al verificarsi di un evento sismico, possibili interferenze risonanti, tra il suolo e le strutture da realizzare.

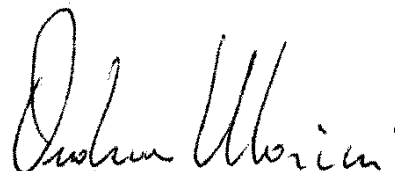
La curva evidenzia un picco di risonanza nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico (1 – 10 Hz) a circa 7,28 Hz con ampiezza pari a circa 2,45.

La profondità indicativa del bedrock sismico può essere ricavata sfruttando la relazione fra la frequenza (f), lo spessore (h) e la velocità media (Vs) della parte di materiali sovrastante lo strato rigido ( $f = V_s/4h$ ).

Le velocità della copertura vengono nel caso in esame estratte dall'indagine masw.

Il Tecnico:

**GeoEcho s.n.c.**

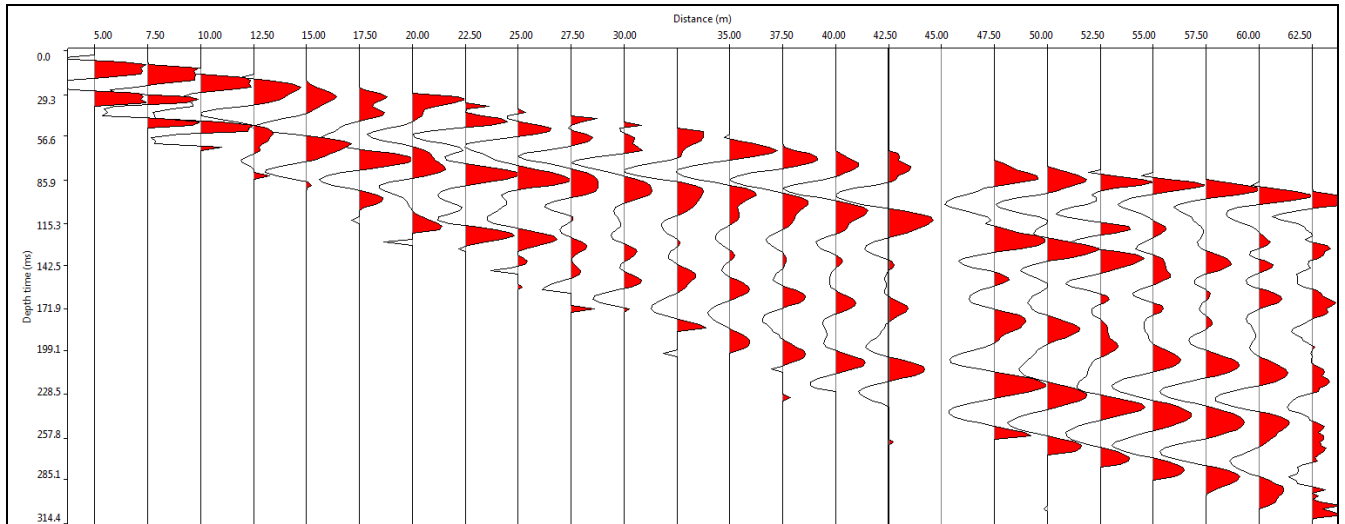




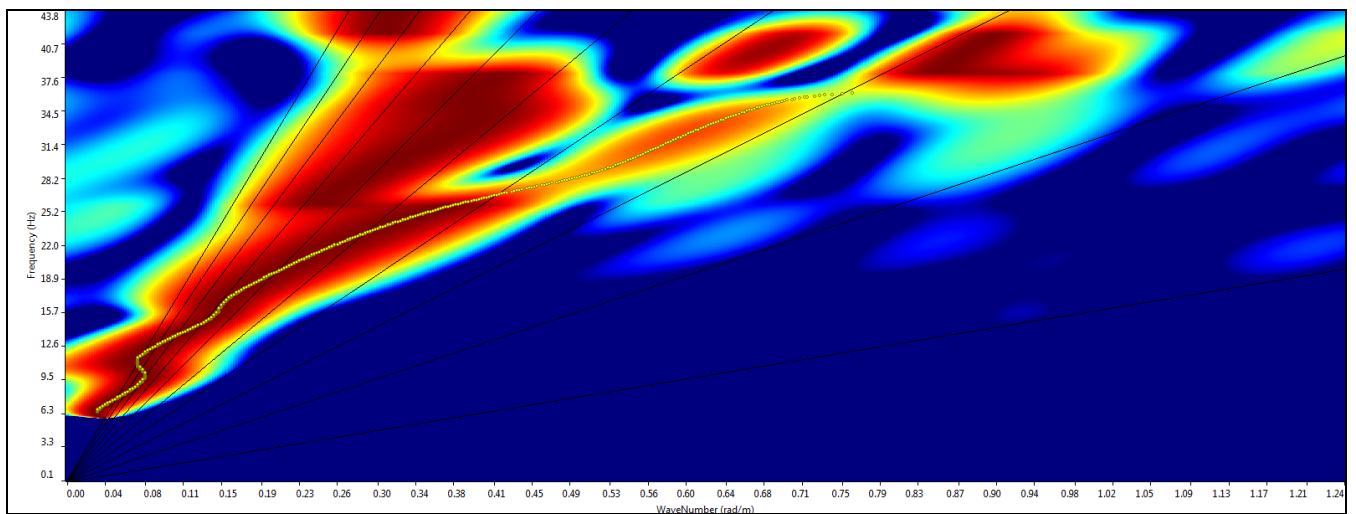
# ALLEGATI

## ELABORATI GRAFICI PROVA MASW

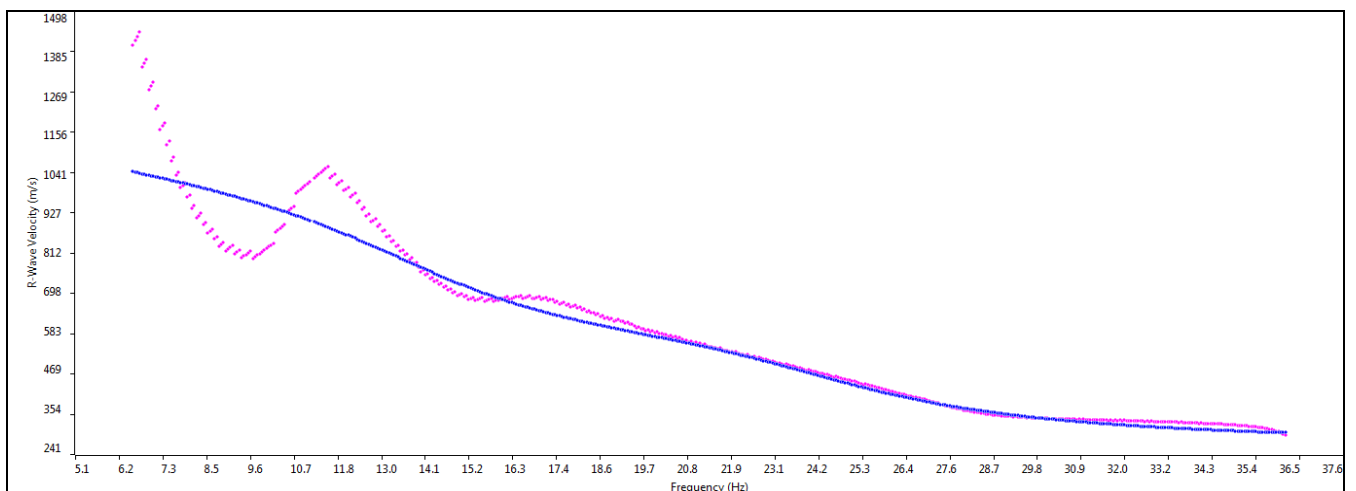
### Sismogramma



### Spettro F –K



### Match Curva di dispersione sperimentale – teorica



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



## ELABORATI GRAFICI MISURA HVSR

### ROSIGNANO T1

Strumento: TZ3-0001/01-13

Inizio registrazione: 18/08/14 11:24:04 Fine registrazione: 18/08/14 11:44:04

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 67% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

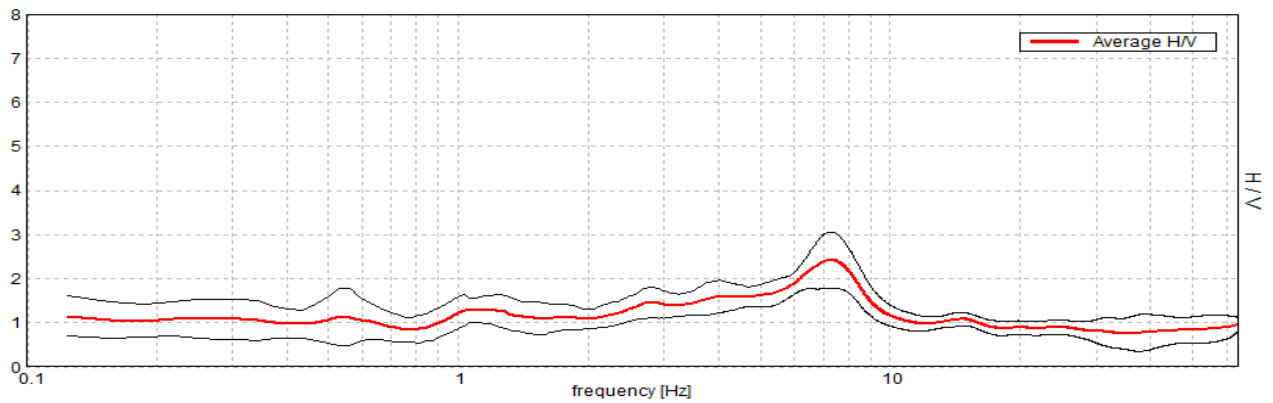
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

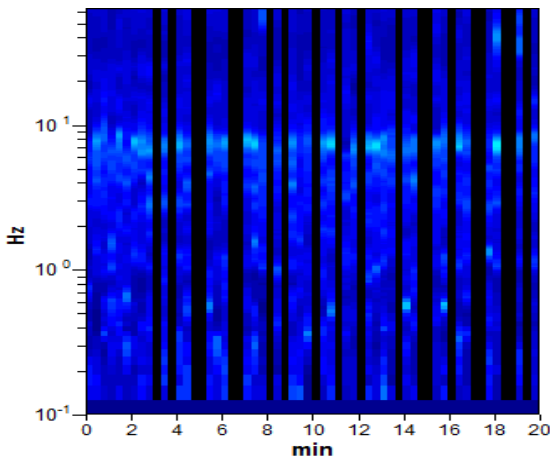
Lisciamento: 15%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

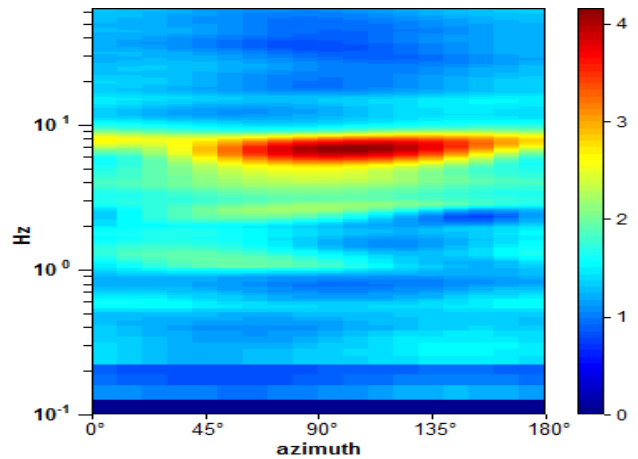
Max. H/V at 7.28 ± 0.29 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



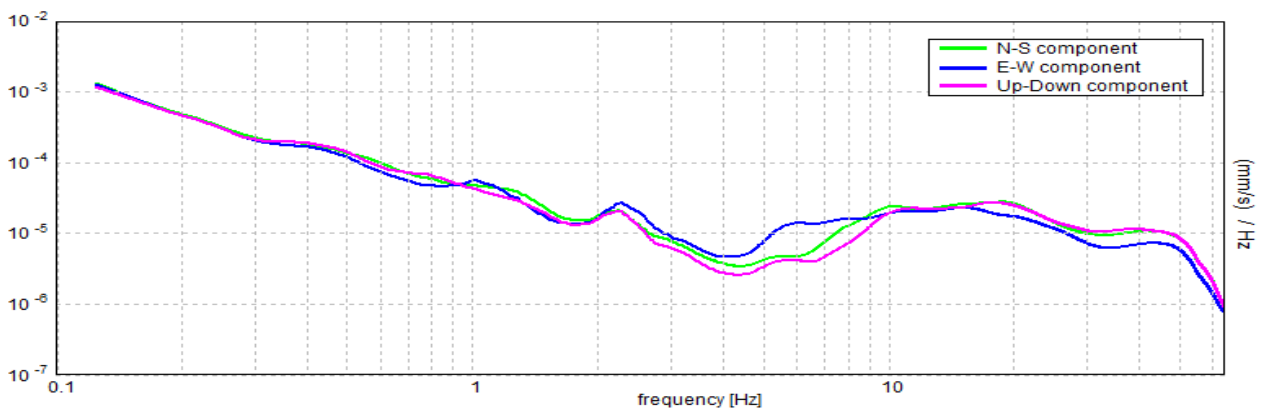
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

**Picco H/V a  $7.28 \pm 0.29$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$7.28 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$5825.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 350	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	2.313 Hz	OK	
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	9.781 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.42 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.03922  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.28556 < 0.36406$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.6425 < 1.58$	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza 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 $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ 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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

# **INDAGINE GEOFISICA CON METODOLOGIA MASW**

**Committente: Comune di Rosignano Marittimo**

**Direttore lavori: Dott. Geol. Massimo Melani**

**Località: Via del Torrione**

**Comune di Rosignano Marittimo (LI)**

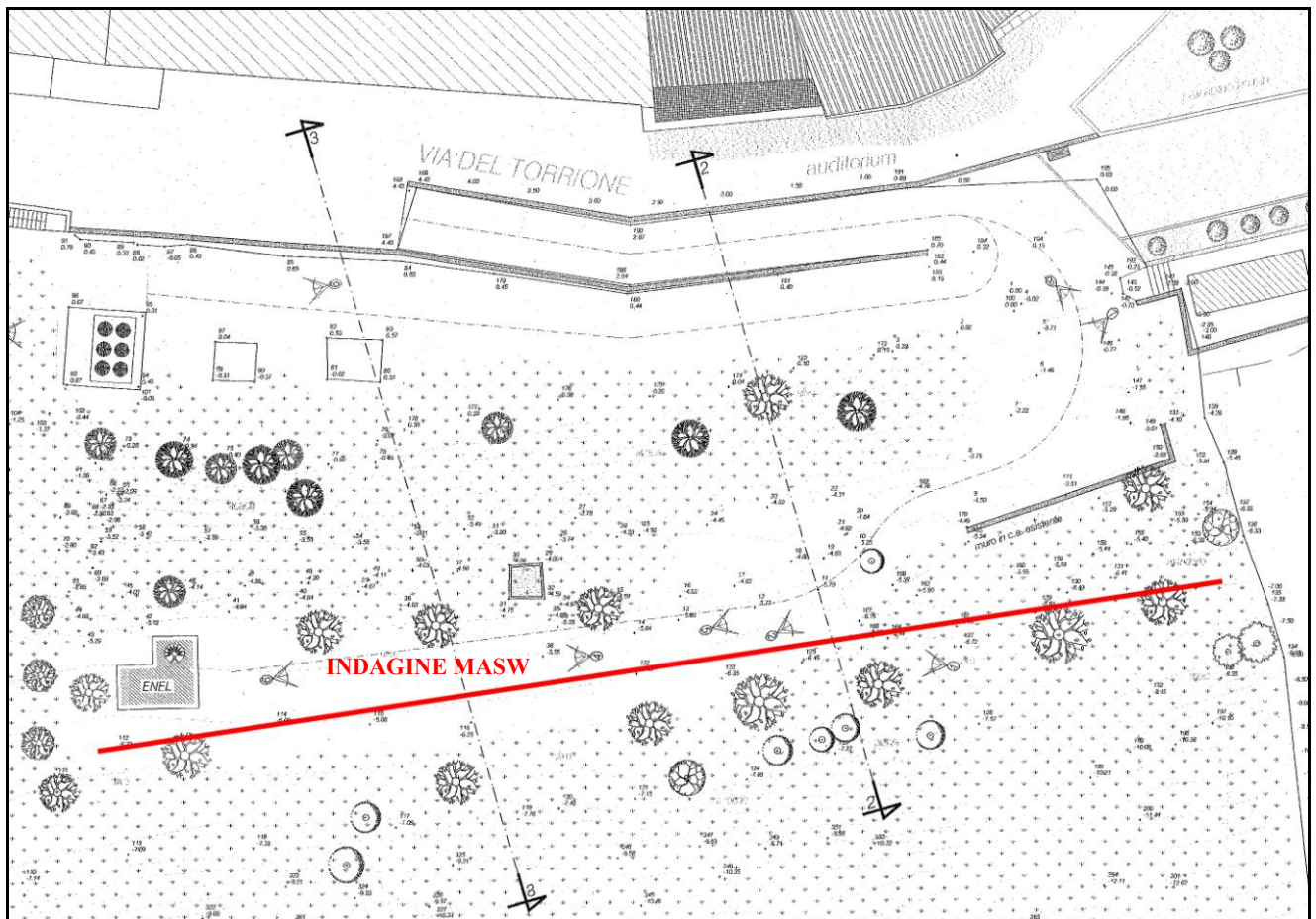
**Poggibonsi 05/10/2011**



## Relazione Tecnica

### 1 - Premessa

In data 05/10/2011 su incarico del Comune di Rosignano Marittimo, è stata eseguita un'indagine geofisica acquisendo un profilo sismico con la metodologia MASW. Il lavoro è a supporto dello studio geologico per l'ampliamento di un parcheggio e viabilità connessa in un'area ubicata in Via del Torrione a Rosignano Marittimo (LI) (fig. 1).



**FIG. 1: UBICAZIONE DEL'INDAGINE**

Scopo dell'indagine era quello di ricostruire, per l'area in oggetto, l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità.

Il modello sismico monodimensionale costituisce infatti l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni del sito, (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008).



## **2 - Metodologia ed esecuzione delle indagini**

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW è un “metodo attivo”, le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

Il metodo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo).

## **3 - Caratteristiche delle apparecchiature e principi generali dell'indagine**

L'indagine Masw per l'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica della prospezione sismica a rifrazione disponendo sul terreno 24 geofoni secondo un array lineare con spaziatura pari a 2.5 m. Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, sono stati utilizzati geofoni da 4.5 Hz.

Come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore è stata eseguita la somma di più energizzazioni (processo di stacking).

La sorgente è stata posta ad una distanza di 5 m dal primo geofono. Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata ed i criteri di acquisizione della prova MASW attiva:

### **Strumentazione e caratteristiche dell'indagine**

- 1 Unità di acquisizione sismografo Echo 12/24
- 24 Geofoni verticali “con  $f = 4.5$  Hz
- 2 Cavi sismici  $L = 60$  m
- 1 Sorgente Mazza battente su piattello metallico
- Spaziatura tra i geofoni 2,5 m
- Distanza sorgente 1° geofono 5 m
- Tempo di registrazione 1.0 s

## **4 – Elaborazione dati**

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (Swan).

Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo.

L'analisi delle onde S con tecnica MASW viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, cioè a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale.

In questo dominio, detto dominio trasformato, è semplice andare a separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P o propagazione in aria. L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione ed è caratteristico di questo tipo di onde.

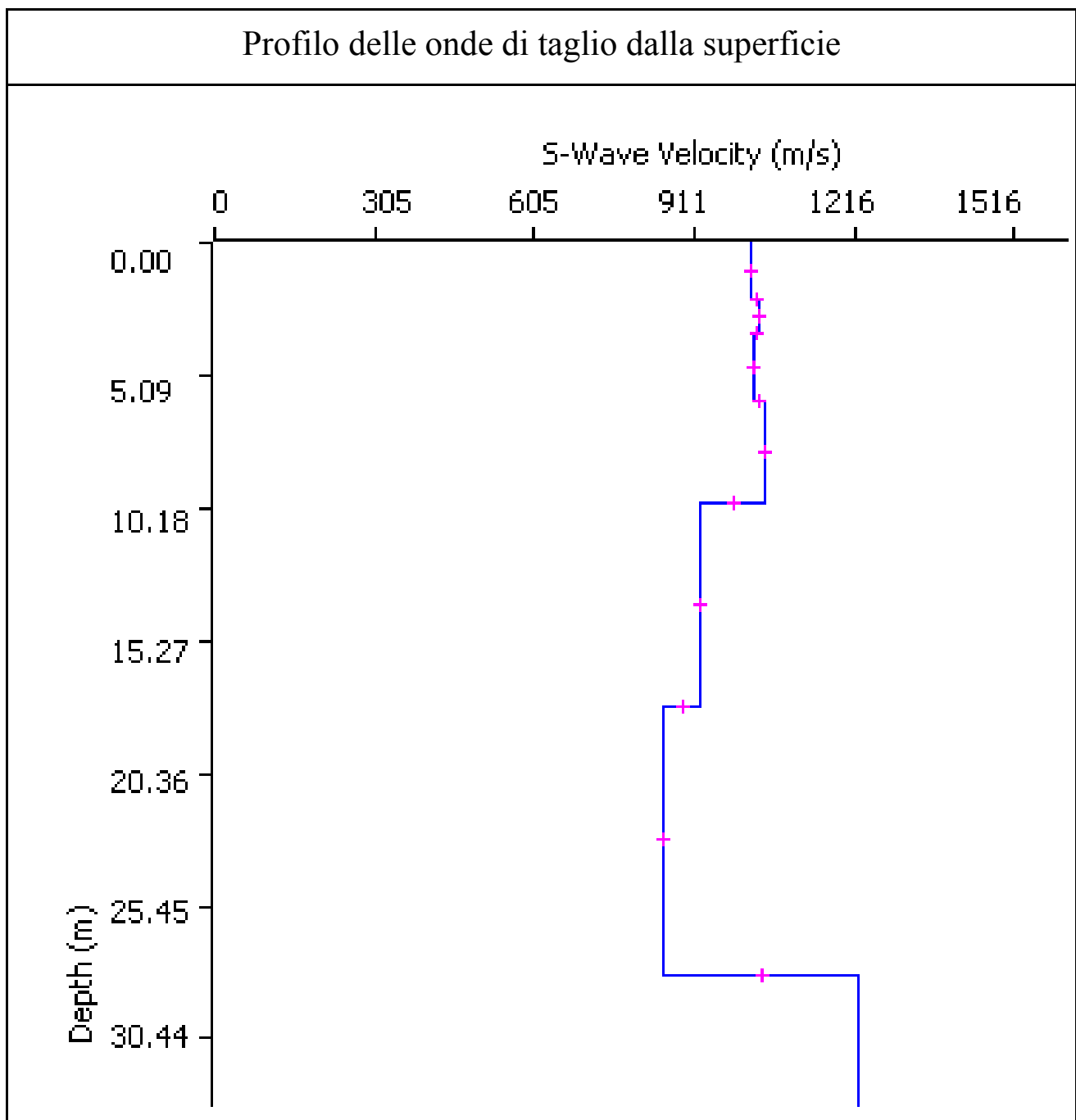
La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché essa approssimativamente passa sui massimi del valore assoluto dello spettro.

A questo punto la curva di dispersione sperimentale deve essere confrontata con quella relativa ad un modello sintetico che verrà successivamente alterato in base alle differenze riscontrate tra le due curve, fino ad ottenere un modello sintetico a cui è associata una curva di dispersione teorica coincidente con la curva sperimentale.

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata (stendimento complessivo di circa 57.5 m).

Thickness	Depth	Vs	Vp	Poisson	Density
2	0	1018	2034	0.333	1.8
1	2	1035	2068	0.333	1.8
3	3	1023	2044	0.333	1.8
4	6	1045	2088	0.333	1.8
8	10	922	1843	0.333	1.8
10	18	853	1705	0.333	1.8
13	28	1221	2440	0.333	1.8
	41	1375	2748	0.333	1.8

**Tabella 1: modello sismico monodimensionale.**



## 5. CALCOLO DELLE VS30

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato, è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la velocità di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (“Norme tecniche per le costruzioni”):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove Hi e Vi indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

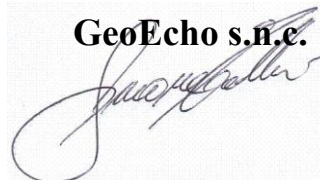
Utilizzando la formula sopra riportata, considerando la quota iniziale = piano campagna attuale, si ottiene il seguente valore **Vs30 = 944 m/s** a cui corrisponde la categoria di suolo di fondazione di tipo **A** ( si veda la tabella seguente).

Tabella : Categorie di suolo di fondazione(D.M. 14-09-2005; D.M. 14-01-2008)

CAT.	DESCRIZIONE PROFILO STRATIGRAFICO	PARAMETRI		
		Vs 30 m/sec.	N spt	Cu (Kpa)
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.	> 800	-	-
<b>B</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 graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	180-360	<50	70-250
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180	<15	<70
<b>E</b>	E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).			

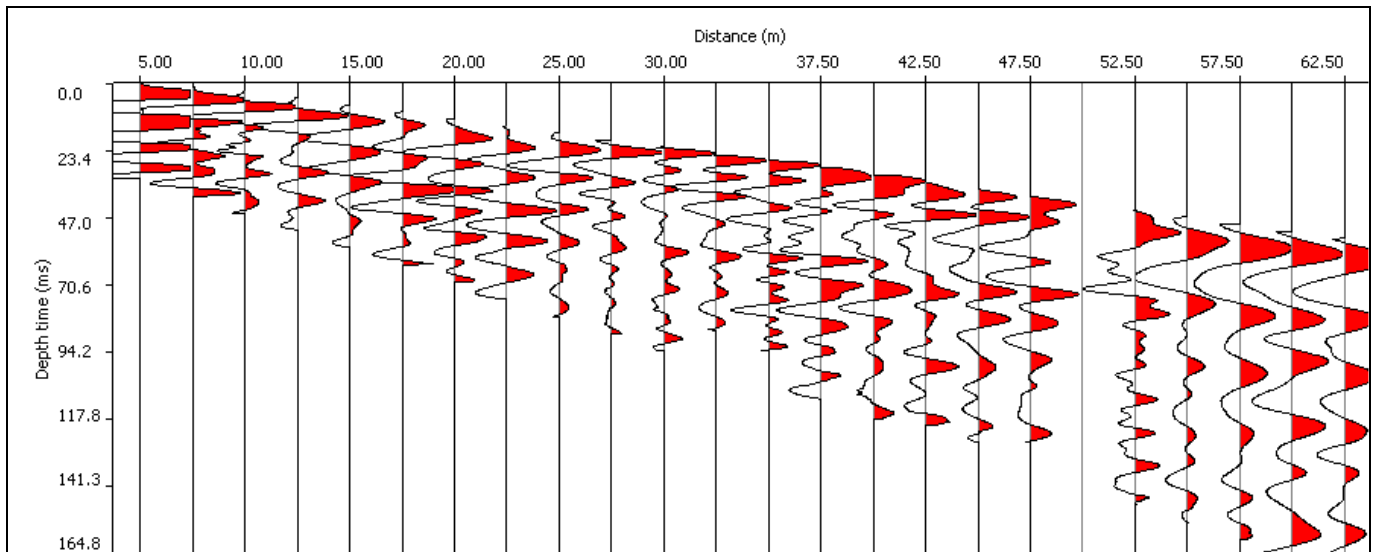
Il Tecnico:.

**GeoEcho s.n.c.**

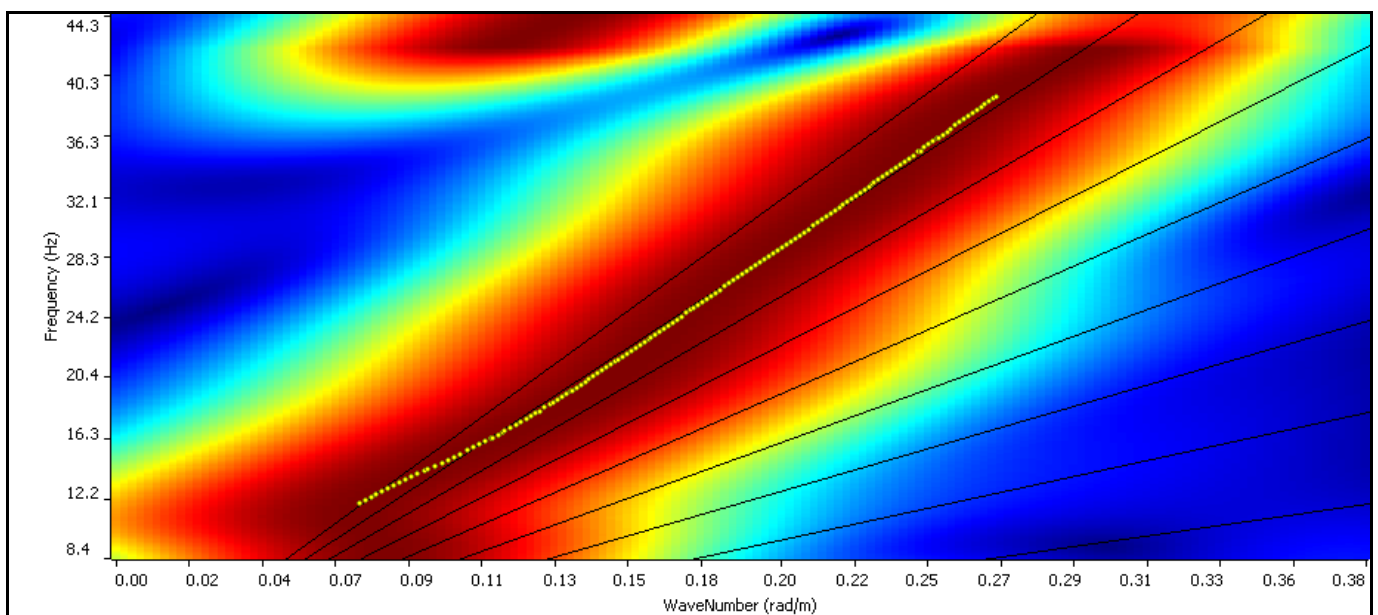


## Allegati

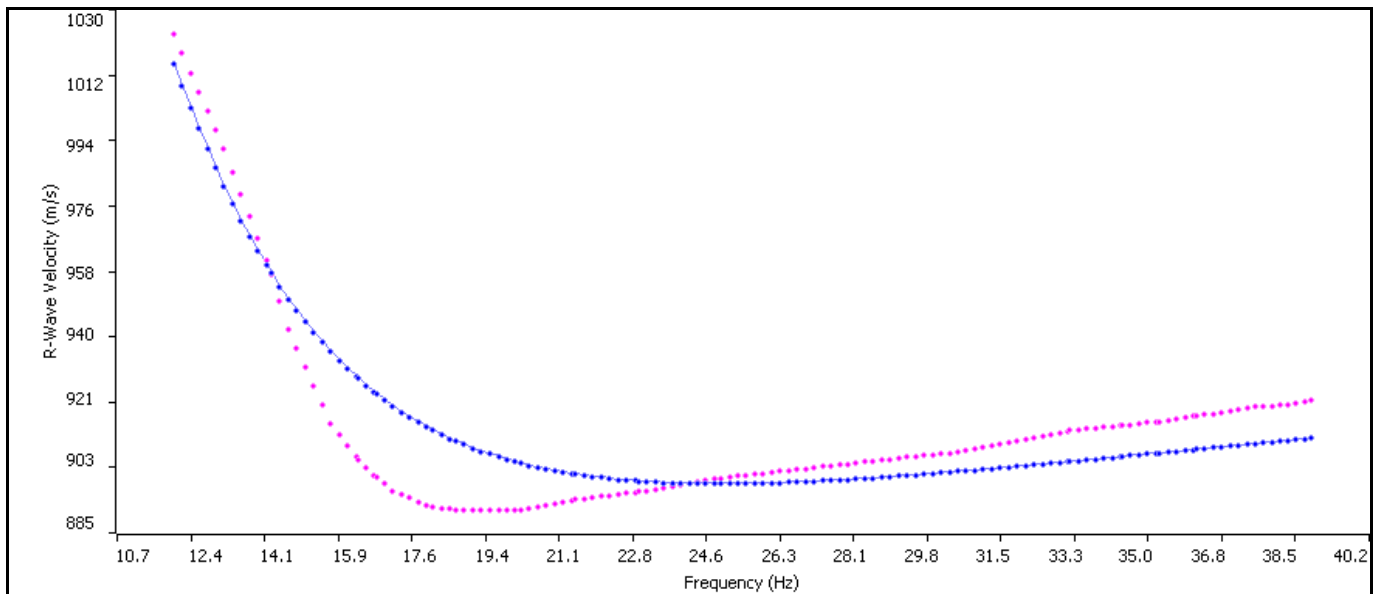
### Sismogramma



### Spettro F -K



## Match Curva di dispersione sperimentale – teorica



## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





**INDAGINE GEOFISICA  
CON METODOLOGIA  
MASW**

**Vada Village - Vada  
Comune di Rosignano Marittimo (LI)**

**Direzione lavori: Dr. Geol. Massimo Melani**

**Poggibonsi 21/03/2013**

## Relazione Tecnica

### 1 - Premessa

In data 12/03/2013 su incarico del Dott. Geol. Massimo Melani, e per conto della società Vada Village s.n.c., è stata eseguita un'indagine geofisica acquisendo un profilo sismico con la metodologia MASW e due misure di sismica passiva con tecnica a "stazione singola" HVSR per determinare la frequenza di risonanza del sito in un terreno ubicato in Loc. Viale Italia a Vada, nel Comune Rosignano Marittimo (LI) (fig. 1).



**FIG. 1: UBICAZIONE DEL'INDAGINE**

Scopo dell'indagine era quello di ricostruire, per l'area in oggetto, l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità.

Il modello sismico monodimensionale costituisce infatti l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni del sito, (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008).

## **2 - Metodologia ed esecuzione delle indagini**

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW è un “metodo attivo”, le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

Il metodo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 4.5 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo).

## **3 - Caratteristiche delle apparecchiature e principi generali dell'indagine**

L'indagine Masw per l'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica della prospezione sismica a rifrazione disponendo sul terreno 24 geofoni secondo un array lineare con spaziatura pari a 2.5 m. Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, sono stati utilizzati geofoni da 4.5 Hz.

Come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore è stata eseguita la somma di più energizzazioni (processo di stacking).

**Sono state fatte 4 acquisizioni, 2 per ogni lato della linea. Successivamente si è provveduto ad elaborare tutte e 4 le misurazioni valutando la coerenza dei risultati e la loro qualità.**

Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata ed i criteri di acquisizione della prova MASW attiva:

### **Strumentazione e caratteristiche dell'indagine**

- 1 Unità di acquisizione sismografo Echo 12/24
- 24 Geofoni verticali “con  $f = 4.5$  Hz
- 2 Cavi sismici  $L = 60$  m
- 1 Sorgente Mazza battente su piattello metallico
- Spaziatura tra i geofoni 2.5 m
- Distanza sorgente 24° geofono 10 m
- Tempo di registrazione 1.0 s

## **4 – Elaborazione dati**

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (Swan).

Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo.

L'analisi delle onde S con tecnica MASW viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, cioè a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale.

In questo dominio, detto dominio trasformato, è semplice andare a separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P o propagazione in aria. L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione ed è caratteristico di questo tipo di onde.

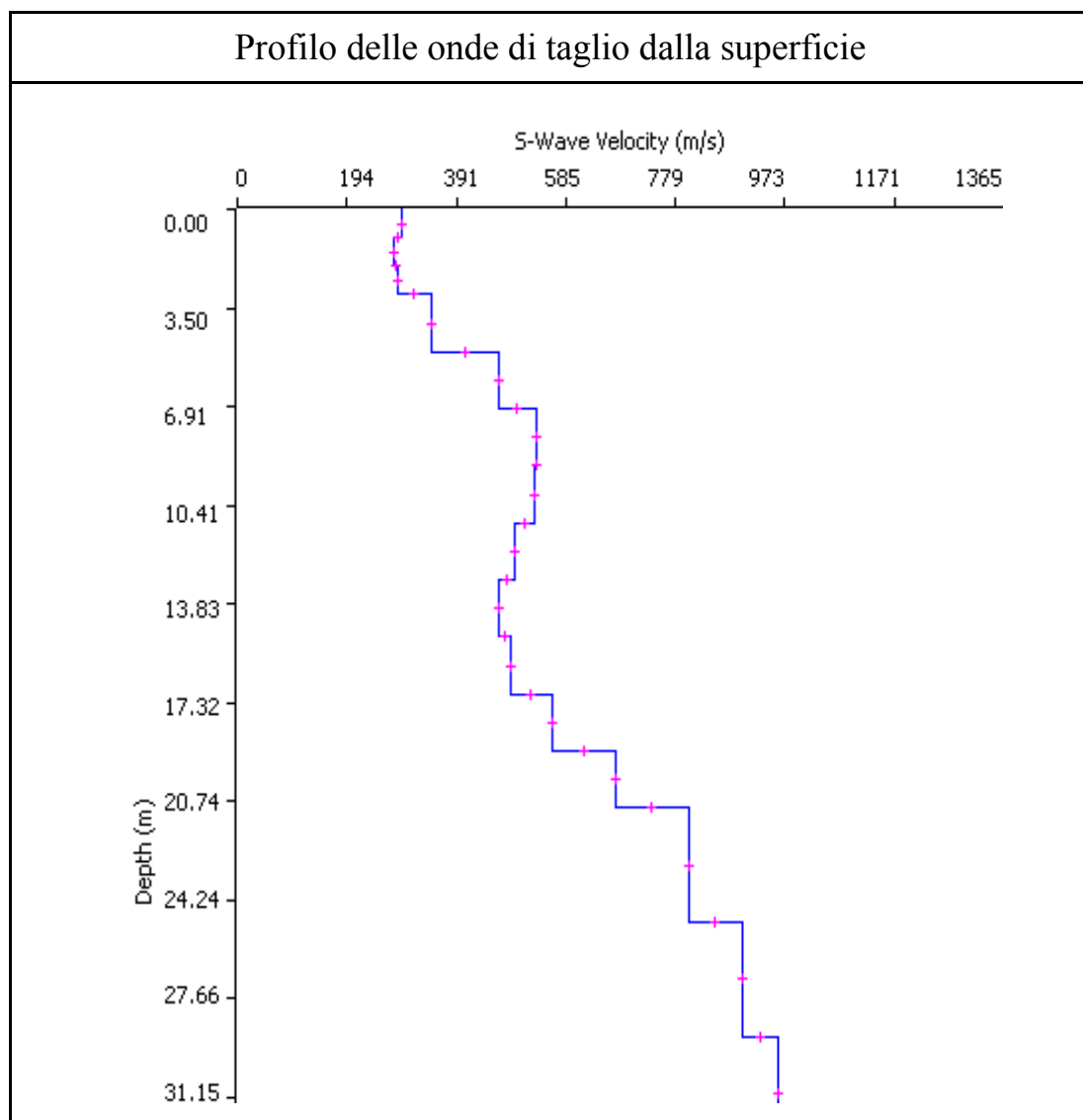
La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché essa approssimativamente passa sui massimi del valore assoluto dello spettro.

A questo punto la curva di dispersione sperimentale deve essere confrontata con quella relativa ad un modello sintetico che verrà successivamente alterato in base alle differenze riscontrate tra le due curve, fino ad ottenere un modello sintetico a cui è associata una curva di dispersione teorica coincidente con la curva sperimentale.

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata (stendimento complessivo di circa 57.5 m).

Thickness	Depth	Vs	Vp	Poisson	Density
1	0	293	586	0.333	1.8
1	1	279	558	0.333	1.8
1	2	284	568	0.333	1.8
2	3	346	691	0.333	1.8
2	5	465	929	0.333	1.8
2	7	532	1063	0.333	1.8
2	9	530	1059	0.333	1.8
2	11	492	983	0.333	1.8
2	13	465	929	0.333	1.8
2	15	485	969	0.333	1.8
2	17	560	1119	0.333	1.8
2	19	673	1345	0.333	1.8
4	21	804	1607	0.333	1.8
4	25	899	1797	0.333	1.8
4	29	962	1923	0.333	1.8
	33	1013	2024	0.333	1.8

**Tabella 1: modello sismico monodimensionale.**



## 5. CALCOLO DELLE VS30

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato, è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la velocità di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (“Norme tecniche per le costruzioni”):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove Hi e Vi indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Utilizzando la formula sopra riportata, considerando la quota della fondazione a partire dal piano campagna attuale, si ottiene il seguente valore **Vs30 = 521 m/s** a cui corrisponde la categoria di suolo di fondazione di tipo **B** ( si veda la tabella seguente).

Tabella : Categorie di suolo di fondazione(D.M. 14-09-2005; D.M. 14-01-2008)

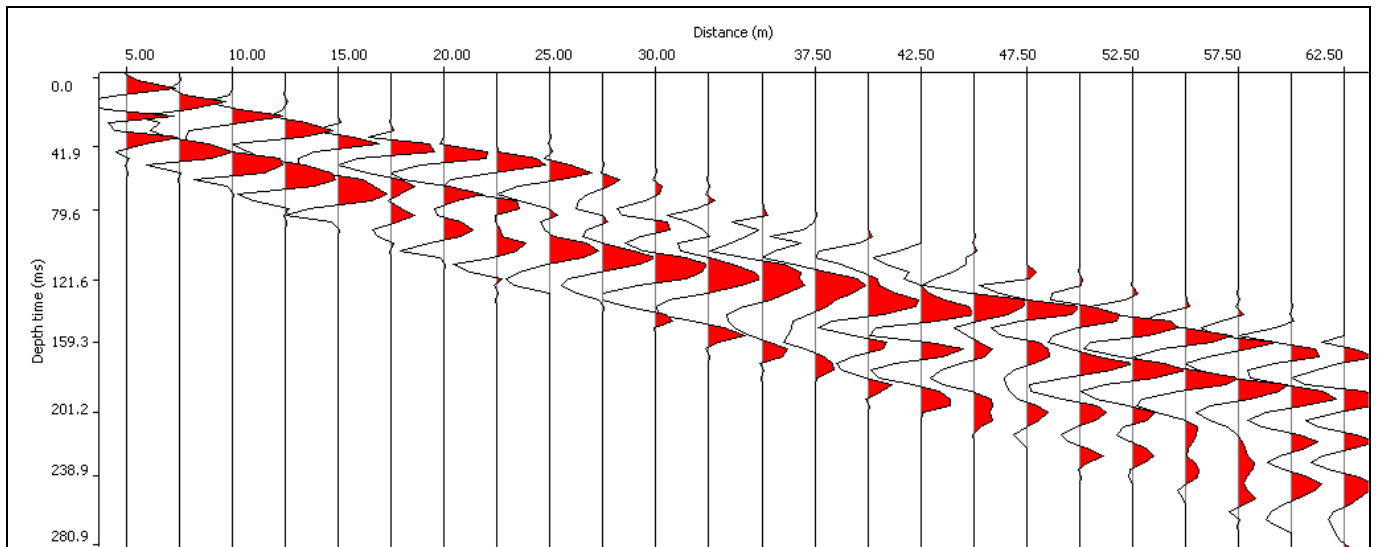
CAT.	DESCRIZIONE PROFILO STRATIGRAFICO	PARAMETRI		
		Vs 30 m/sec.	N spt	Cu (Kpa)
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.	> 800	-	-
<b>B</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 graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	180-360	<50	70-250
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180	<15	<70
<b>E</b>	E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).			

Il Tecnico:  
**GeoEcho s.n.c.**  

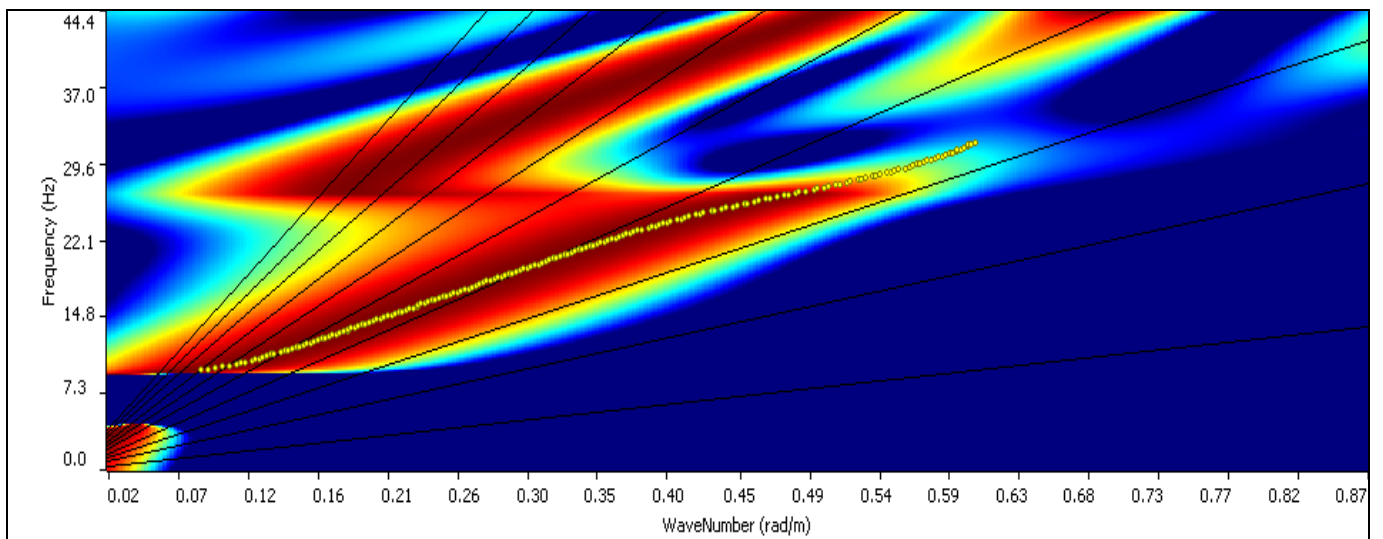



## Allegati

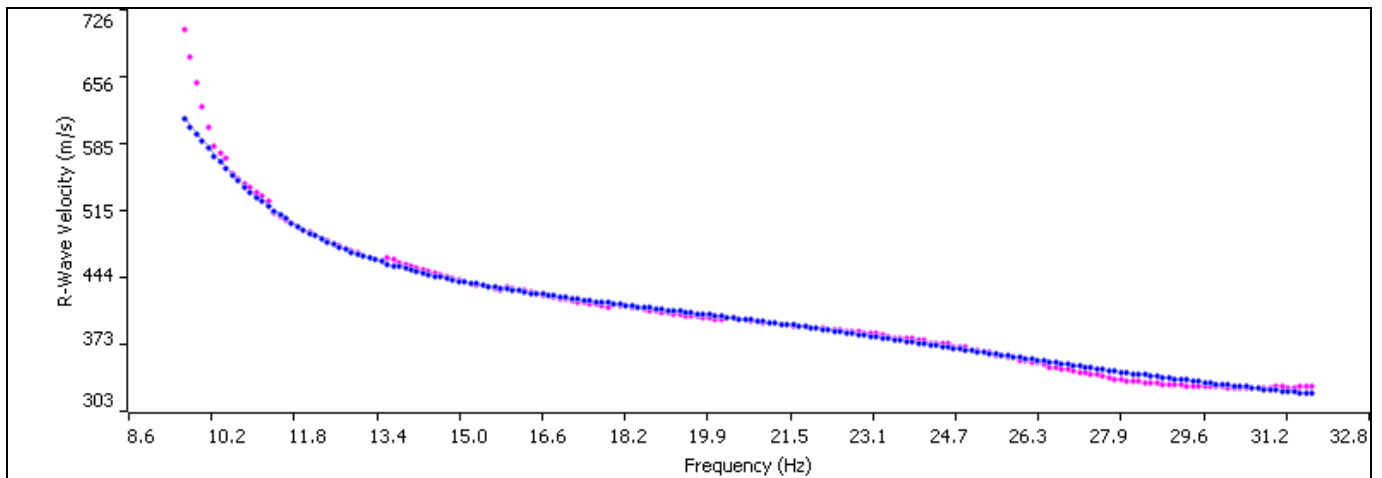
### Sismogramma



### Spettro F -K



## Match Curva di dispersione sperimentale – teorica



## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



## 6. METODOLOGIA A STAZINE SINGOLA (HVSR)

Accanto alle tecniche basate sull'impiego di array sismica esistono altre tecniche basate sull'uso di una singola stazione di misura. In questo caso vengono misurate le vibrazioni ambientali nelle tre direzioni dello spazio attraverso un unico sensore tridirezionale posto sulla superficie del terreno. In particolare viene valutato il rapporto di ampiezza fra le componenti orizzontali e verticali del moto (metodo HVSR ovvero "Horizontal to Vertical Spectral Ratios") [Bard., 1998] . Analizzando misure di questo tipo è possibile identificare le modalità di vibrazione del terreno. In particolare è possibile individuare la frequenza  $f$  di questa vibrazione definita di "Risonanza". Sapendo che in generale esiste una relazione semplice fra  $f$ , lo spessore della parte più soffice del terreno e la velocità media delle onde sismiche nel sottosuolo (ricavata per esempio dai metodi passivi ad antenna, o attivi come Masw e Rifrazione), attraverso le misure HVSR è possibile risalire allo spessore di questo strato.

### **Risultati e conclusioni**

Le misure H/V realizzate sono servite per definire la frequenza di risonanza del sottosuolo in maniera tale da prevenire, al verificarsi di un evento sismico, possibili interferenze risonanti, tra il suolo e le strutture da realizzare.

Le misure eseguite rispecchiano l'assetto geologico del sito e risultano pressoché piatte nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico (1 – 10 Hz) e presentano entrambe un debole picco a circa 0.3 Hz con ampiezza inferiore a 2 ed un picco a circa a 35 Hz per la T1 e 45 Hz per la T2 ed ampiezza poco superiore a 2.

Il picco a bassa frequenza rappresenta un contrasto di impedenza tra i 200 e 300 m. di profondità dovuto al passaggio tra le coperture ed il substrato roccioso, quelli a 35 e 45 Hz potrebbero corrispondere ad un livello superficiale più rigido a quota tra i 1.5 e 3 m.

Volendo stimare con minore approssimazione la profondità di tale orizzonte, è possibile utilizzare la relazione semplice fra  $f$ , lo spessore soffice del terreno (ovvero la parte di materiali sovrastante lo strato rigido) e la velocità media ( $V_s$ ) stimata dalla prova Masw, otteniamo circa 2.2m per T1 e 1.5m per T2 di spessore delle coperture.

$$f = V_s / (4h)$$

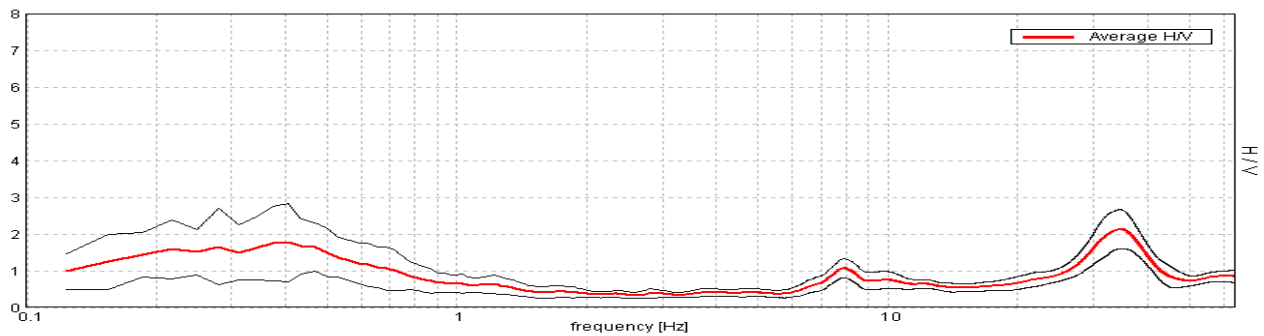
**T1 VADA VILLAGE**

Strumento: TRE-0005/00-06  
 Inizio registrazione: 12/03/13 14:12:03 Fine registrazione: 12/03/13 14:32:04  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Dato GPS non disponibile

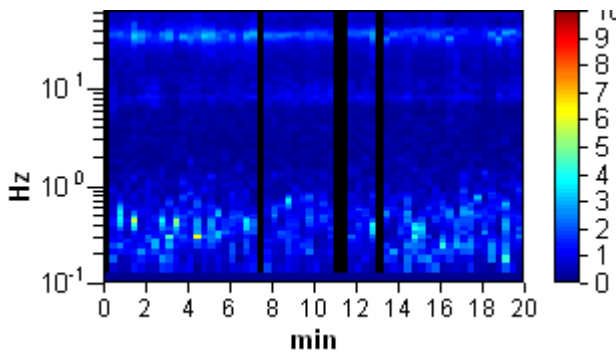
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 92% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 10%

**RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE**

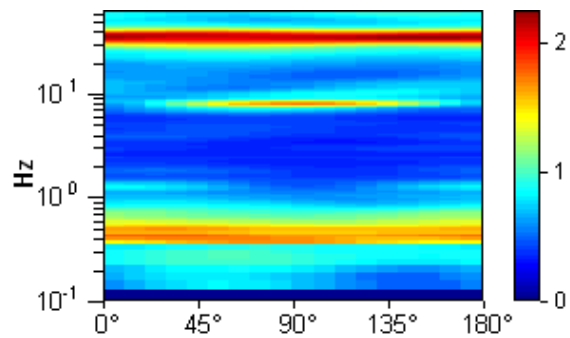
Picco H/V a  $34.66 \pm 3.99$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 35.0 Hz).



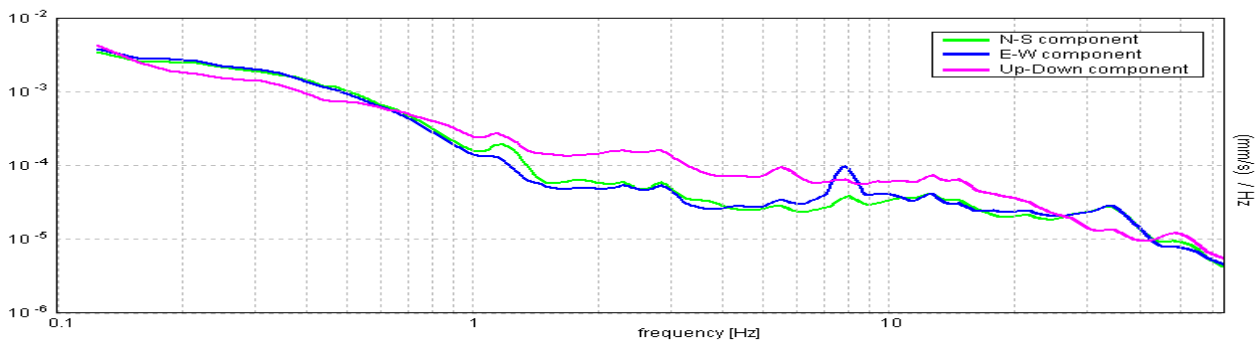
**SERIE TEMPORALE H/V**



**DIREZIONALITA' H/V**

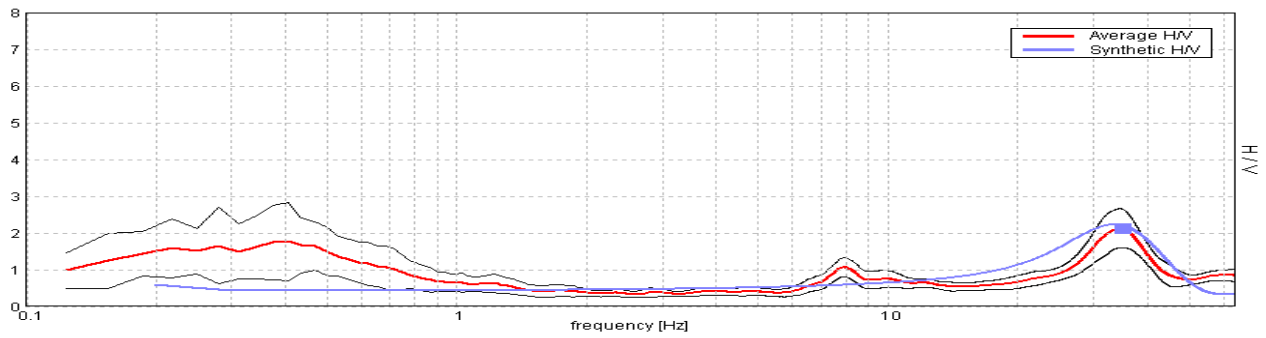


**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



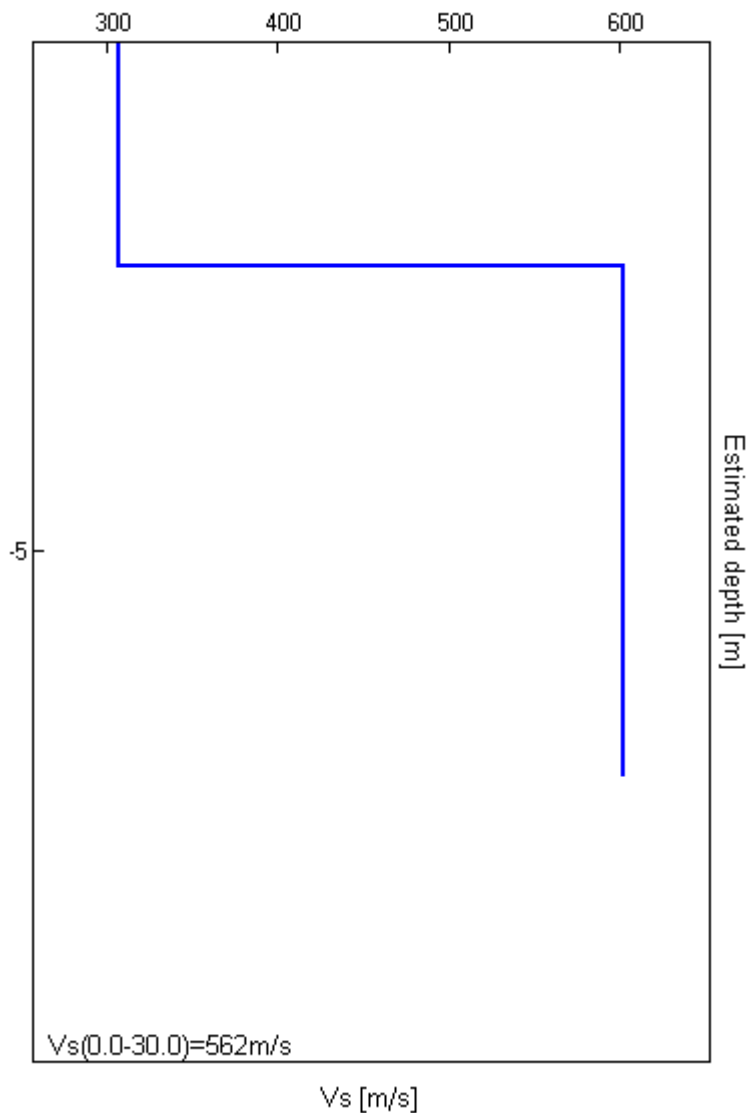
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Picco H/V a  $34.66 \pm 3.99$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 35.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
2.20	2.20	307	1.9
inf.	inf.	602	2.0

Vs(0.0-30.0)=562 m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

**Picco H/V a  $34.66 \pm 3.99$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 35.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$34.66 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$38121.9 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1494	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	26.813 Hz	<b>OK</b>	
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	42.375 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$2.13 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.05688  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$1.97108 < 1.73281$		<b>NO</b>
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2627 < 1.58$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza 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 $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ 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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



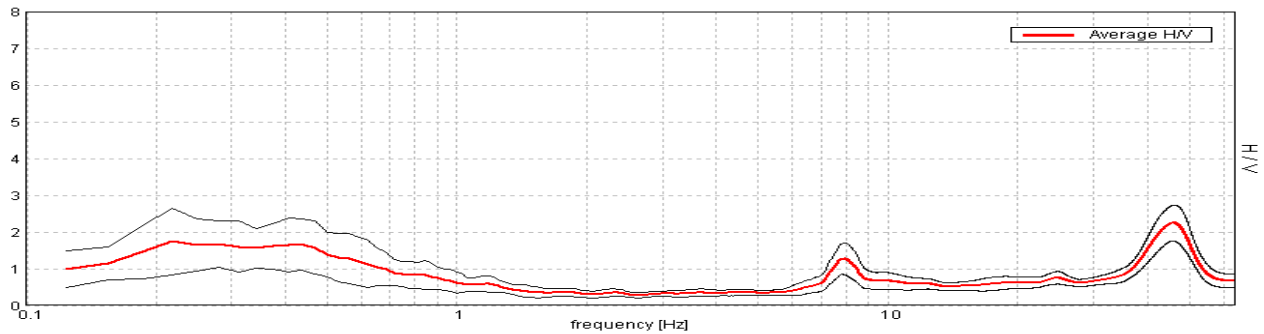
**T2 VADA VILLAGE**

Strumento: TRE-0005/00-06  
 Inizio registrazione: 12/03/13 14:38:54 Fine registrazione: 12/03/13 14:58:55  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Dato GPS non disponibile

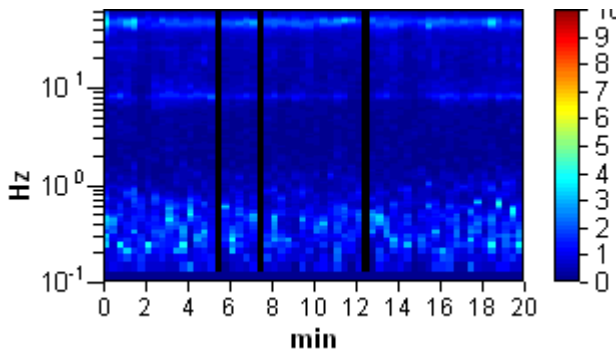
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 95% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 10%

**RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE**

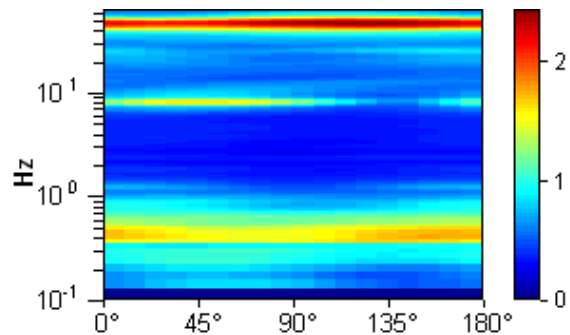
Picco H/V a  $0.22 \pm 0.03$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 35.0 Hz).



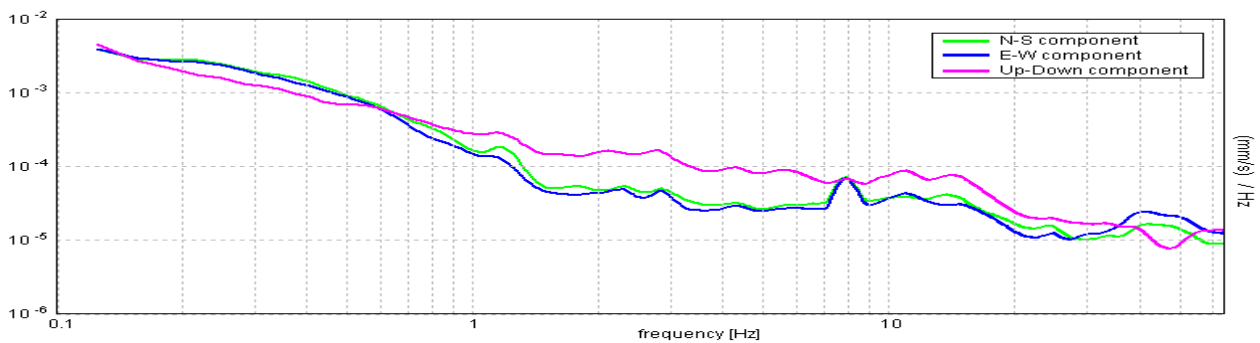
**SERIE TEMPORALE H/V**



**DIREZIONALITA' H/V**

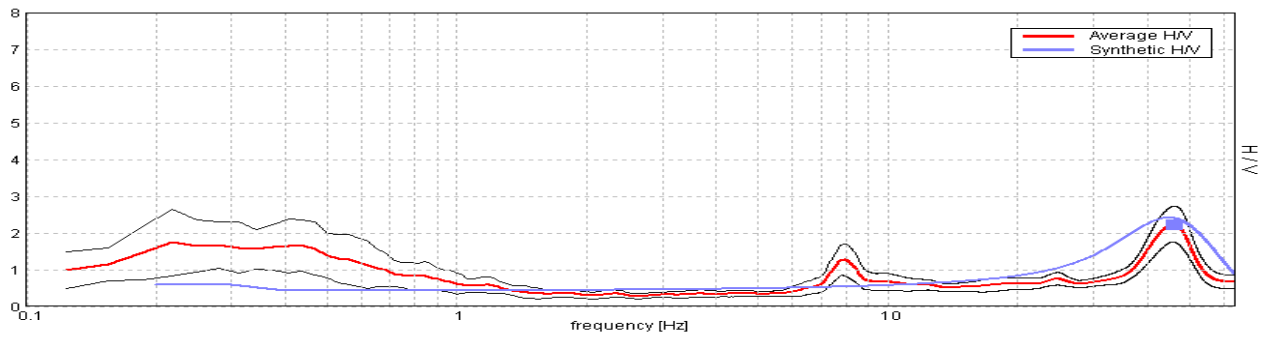


**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



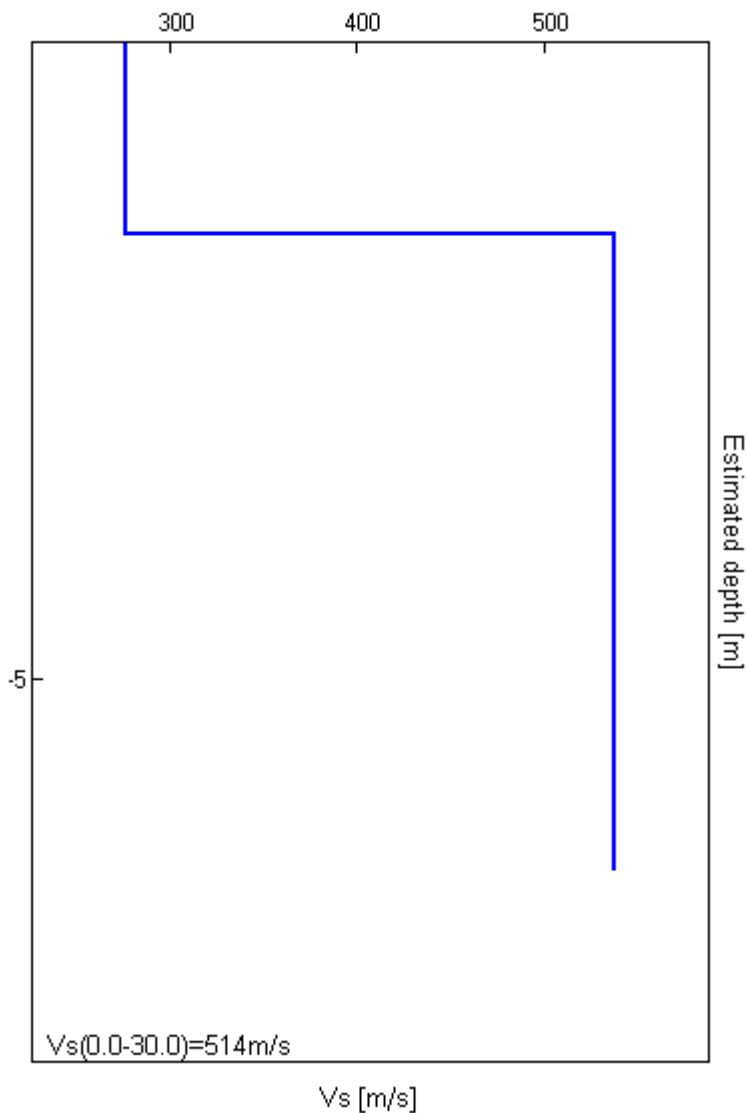
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Picco H/V a  $0.22 \pm 0.03$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 35.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.50	1.50	276	0.42
inf.	inf.	538	0.42

Vs(0.0-30.0)=514m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

**Picco H/V a  $45.81 \pm 0.03$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 35.0 Hz).**

<b>Criteri per una curva H/V affidabile</b> [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	$45.81 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$249.4 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 12	<b>OK</b>	
<b>Criteri per un picco H/V chiaro</b> [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	0.094 Hz	<b>OK</b>	
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	0.75 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$1.74 > 2$		<b>NO</b>
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.07177  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.0157 < 0.04375$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4462 < 2.5$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza 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 $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ 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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

# **INDAGINE GEOFISICA CON METODOLOGIA MASW**

**Realizzazione di stabilimento balneare**

**Committente: Sig. Bruno Maria**

**Località: Stagni - Vada**

**Comune di Rosignano Marittimo (LI)**

**Poggibonsi 03/12/2009**

## **Relazione Tecnica**

### **1 - Premessa**

In data 27/11/2009 su incarico del Dott. Geol. Massimo Melani e per conto del Sig. Bruno Maria, è stata eseguita un'indagine Geofisica acquisendo un profilo sismico con la metodologia MASW. L'indagine è stata svolta in località Stagni - Vada nel Comune di Rosignano Marittimo (LI) in un terreno dove è prevista la realizzazione di uno stabilimento balneare.

Scopo dell'indagine è quello di ricostruire, per l'area in oggetto, l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità.

Il modello sismico monodimensionale costituisce infatti l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni del sito, (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008).

### **2 - Metodologia ed esecuzione delle indagini**

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW è un "metodo attivo", le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

Il metodo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidezza del suolo).

### **3 - Caratteristiche delle apparecchiature e principi generali dell'indagine**

L'indagine Masw per l'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica della prospezione sismica a rifrazione disponendo sul terreno 24 geofoni secondo un array lineare con spaziatura pari a 2 m. Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, sono stati utilizzati geofoni da 4.5 Hz.

Come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore è stata eseguita la somma di più energizzazioni (processo di stacking).

La sorgente è stata posta ad una distanza di 10 m. dal primo geofono. Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata ed i criteri di acquisizione della prova MASW attiva:

### **Strumentazione e caratteristiche dell'indagine**

- 1 Unità di acquisizione sismografo Echo 12/24
- 24 Geofoni verticali "con  $f = 4.5$  Hz
- 2 Cavi sismici  $L = 60$  m
- 1 Sorgente Mazza battente su piattello metallico
- Spaziatura tra i geofoni 2 m
- Distanza sorgente 1° geofono 10 m
- Tempo di registrazione 1.0 s

### **4 – Elaborazione dati**

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (Swan).

Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo.

L'analisi delle onde S con tecnica MASW viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, cioè a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale.

In questo dominio, detto dominio trasformato, è semplice andare a separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P o propagazione in aria. L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione ed è caratteristico di questo tipo di onde.

La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché essa approssimativamente passa sui massimi del valore assoluto dello spettro.

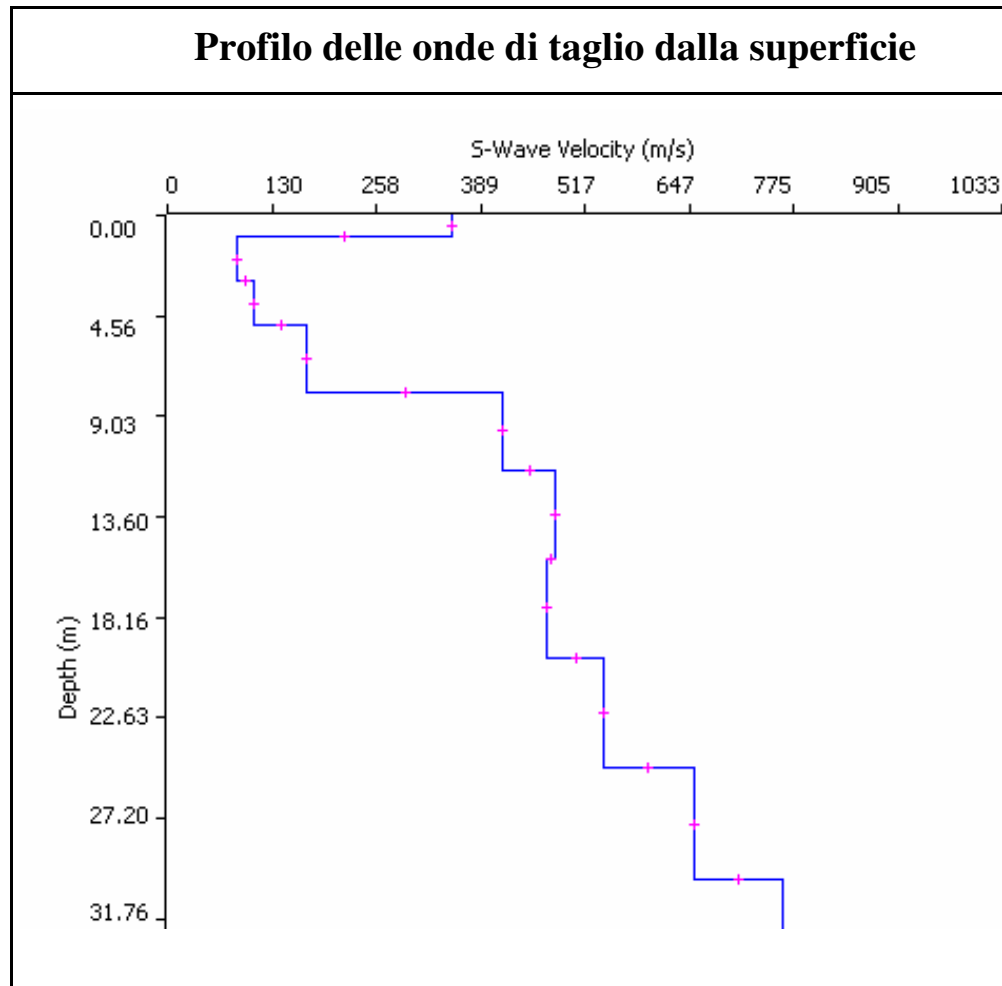


A questo punto la curva di dispersione sperimentale deve essere confrontata con quella relativa ad un modello sintetico che verrà successivamente alterato in base alle differenze riscontrate tra le due curve, fino ad ottenere un modello sintetico a cui è associata una curva di dispersione teorica coincidente con la curva sperimentale.

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata (stendimento complessivo di circa 46 m):

Thickness	Depth	Vs	Vp	Poisson	Density
1.0	0.0	352	703	0.33	1.80
2.0	1.0	86	172	0.33	1.80
2.0	3.0	108	216	0.33	1.80
3.0	5.0	172	344	0.33	1.80
3.5	8.0	416	831	0.33	1.80
4.0	11.5	479	957	0.33	1.80
4.5	15.5	470	939	0.33	1.80
5.0	20.0	540	1079	0.33	1.80
5.0	25.0	652	1303	0.33	1.80
	30.0	761	1521	0.33	1.80

**Tabella 1: modello sismico monodimensionale.**



## 5. CALCOLO DELLE VS30

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato, è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la velocità di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (“Norme tecniche per le costruzioni”):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

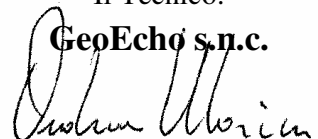
dove  $H_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

Utilizzando la formula sopra riportata si ottiene il seguente valore (quota iniziale = piano campagna attuale): **Vs30 = 285 m/s** a cui corrisponde la categoria di suolo di fondazione di tipo **C** ( si veda la tabella seguente).

Tabella : Categorie di suolo di fondazione(D.M. 14-09-2005; D.M. 14-01-2008)

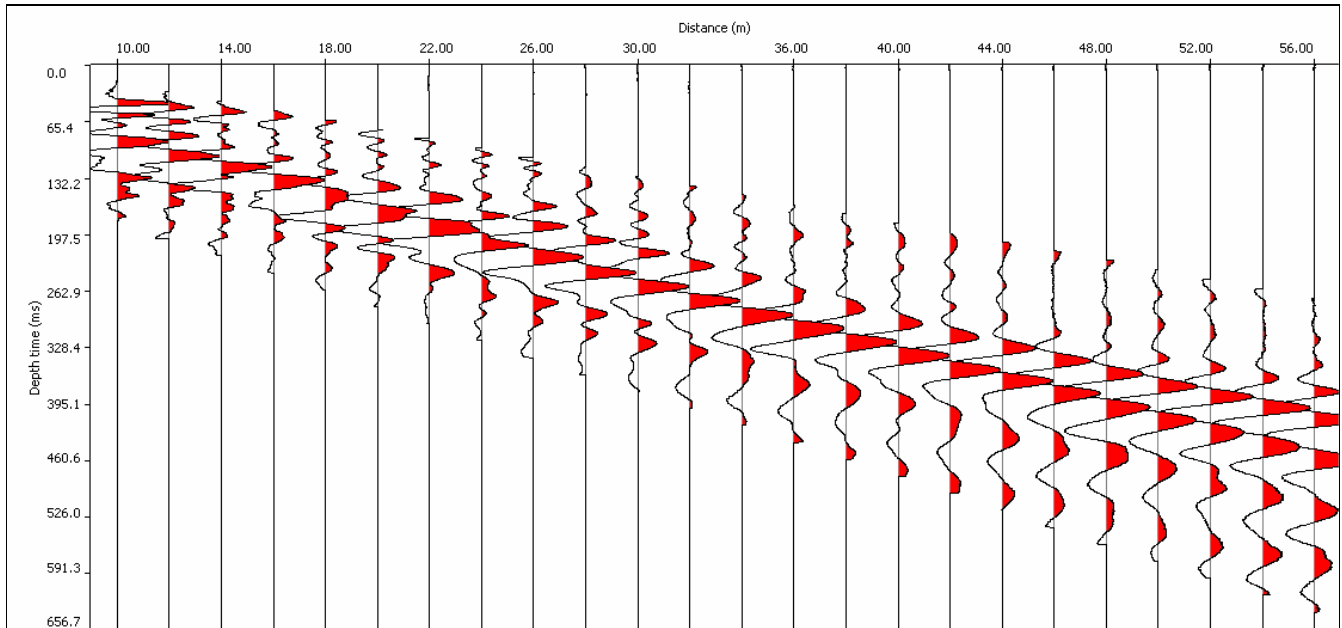
CAT.	DESCRIZIONE PROFILO STRATIGRAFICO	PARAMETRI		
		Vs 30 m/sec.	N spt	Cu (Kpa)
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.	> 800	-	-
<b>B</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 graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	180-360	<50	70-250
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180	<15	<70
<b>E</b>	E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).			

Il Tecnico:

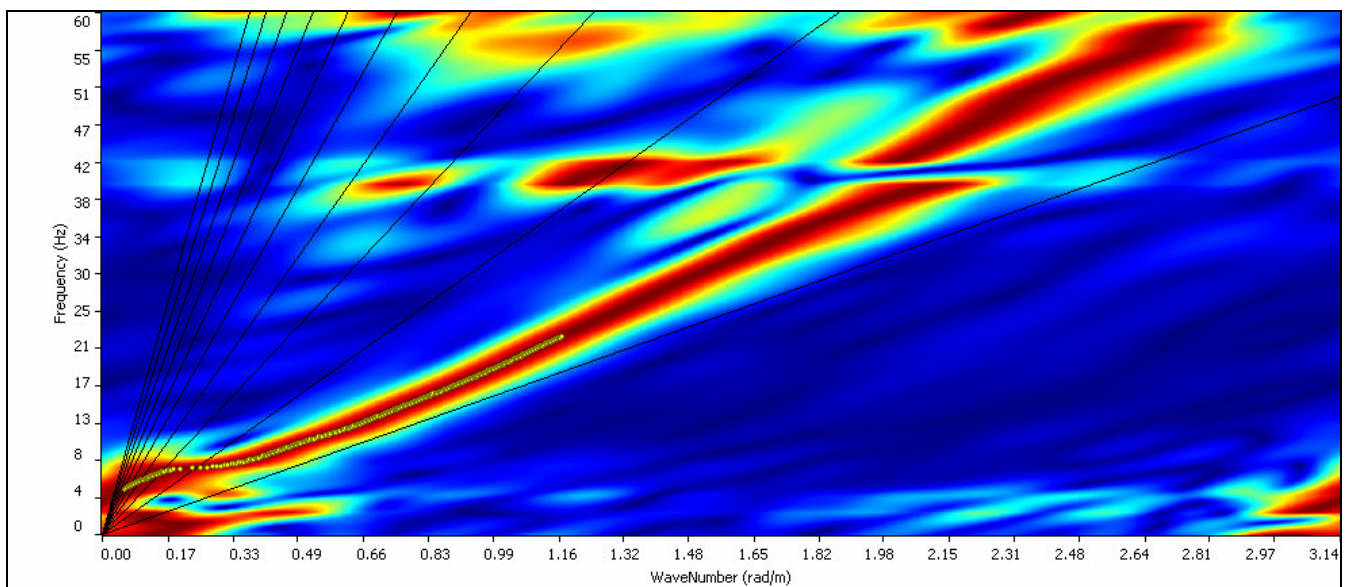
**GeoEcho s.n.c.**  


# Allegati

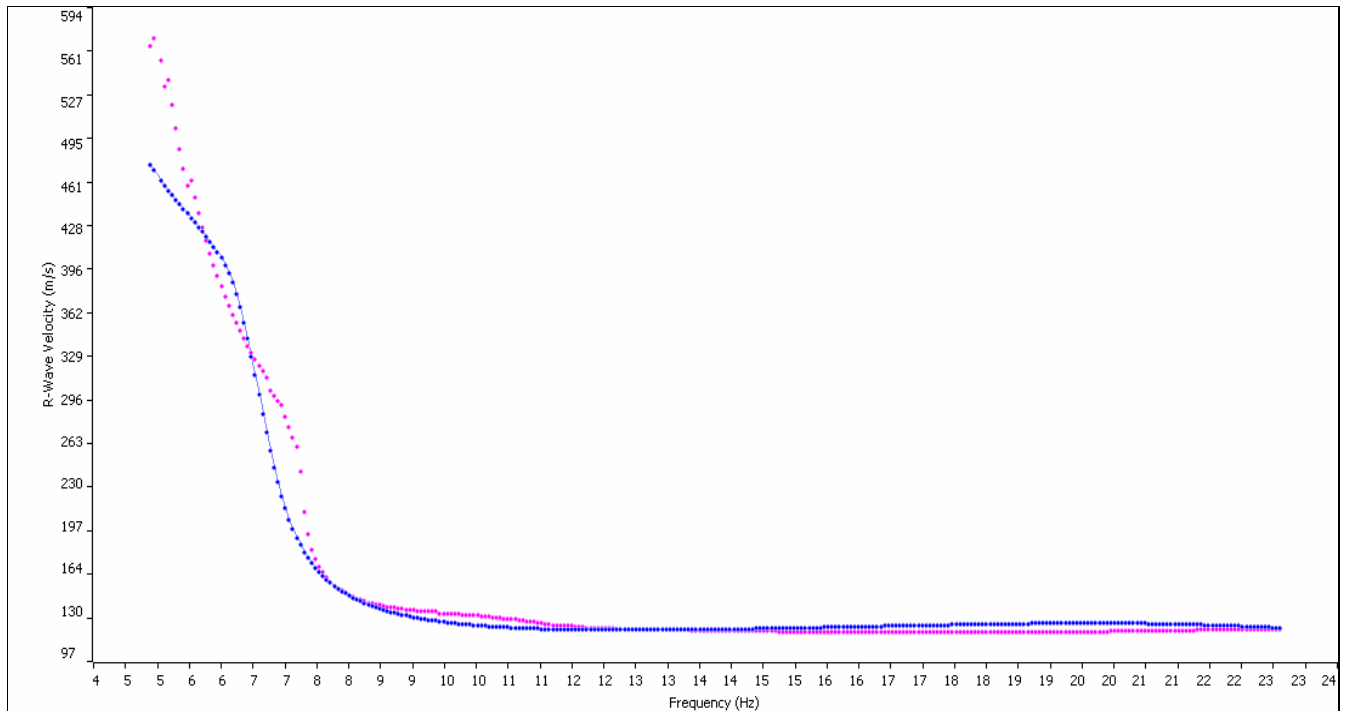
## Sismogramma



## Spettro F-K



## Match Curva di dispersione sperimentale - teorica



## Documentazione fotografica





Dir.Gen.dellePoliticheTerritorialiAmbientali  
**SERVIZIOSISMICOREGIONALE**

DITTAESUTRICE: **METHODO** s.r.l.  
 modelli e tecnologie per la geologia e l'ambiente

DATAESCUZIONE: 20Ottobre2006

UNIONE EUROPEA



Tavolan°:

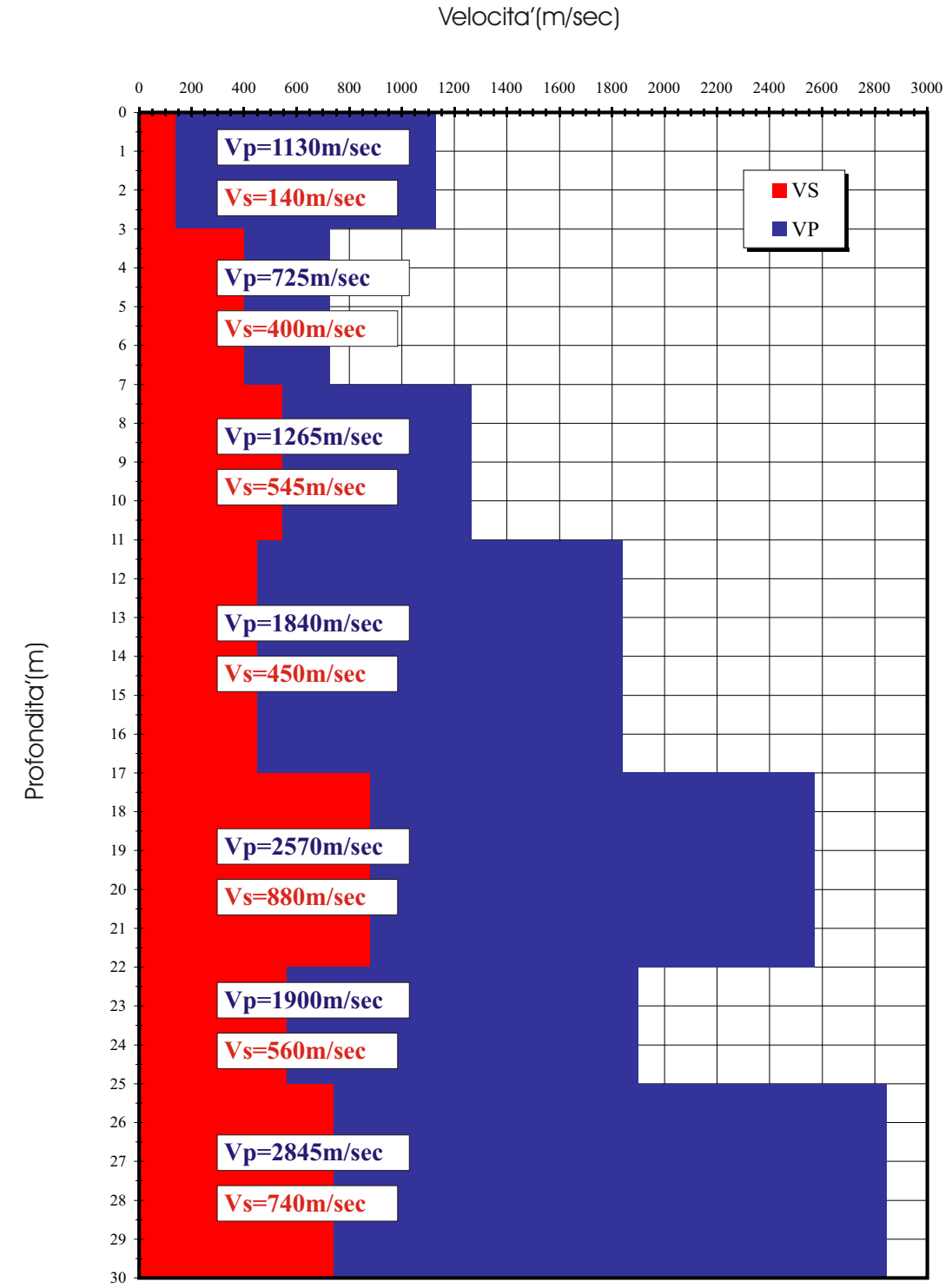
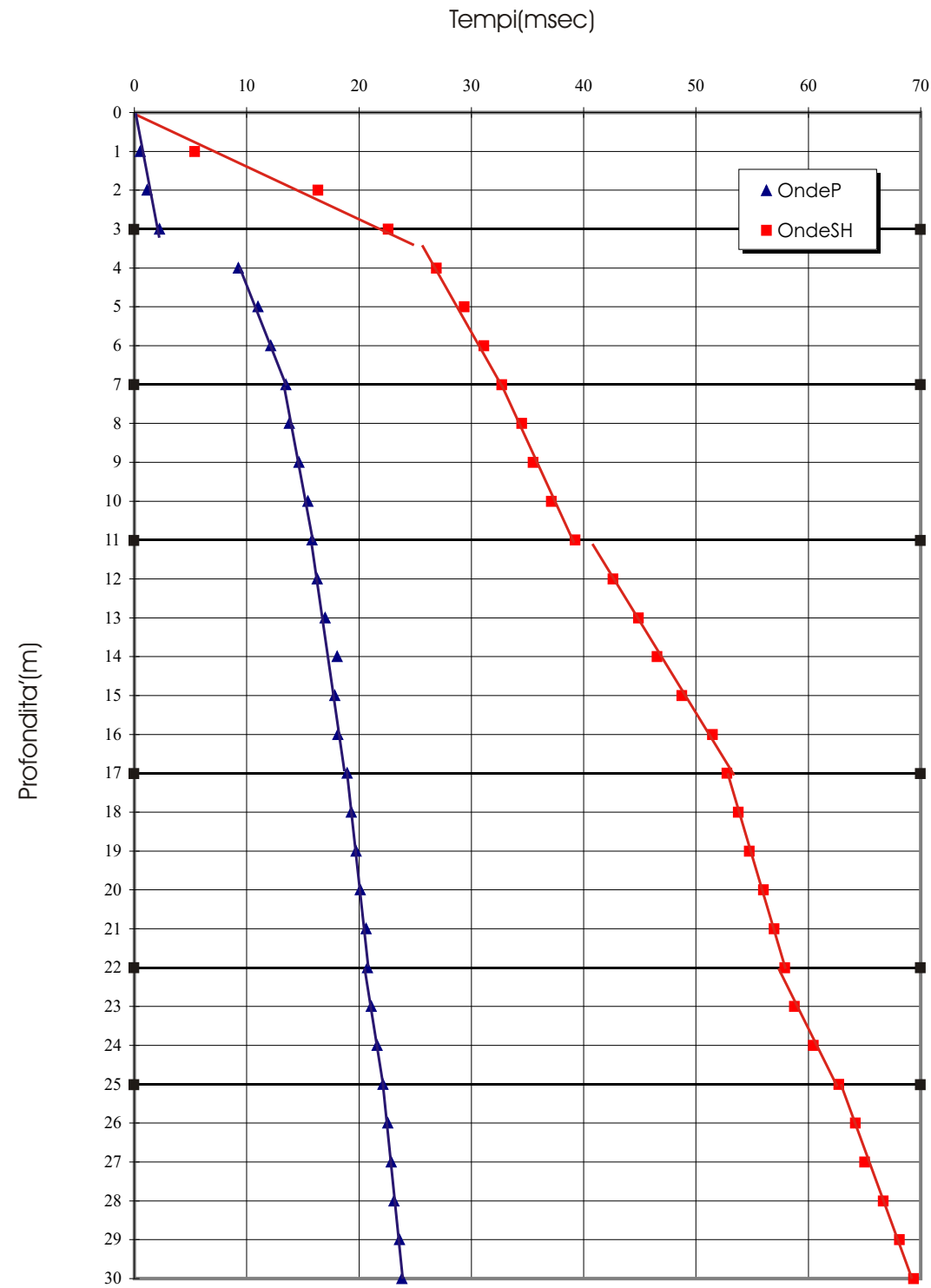
2F

Programma: **DOCUP**

Comune: **RosignanoMarittimo(LI)**

Localita': **Gabbro**

**DH1**





**INDAGINE DI SISMICA IN FORO  
TIPO DOWN HOLE CON ONDE P ED SH**

**Proprietà: Soc. SOLVAY Chimica Italiana S.p.a.**

**Comune di Rosignano Marittimo (LI)**

**Committente: Soc. SIAD S.p.a.**

**Cantiere: Impianto  $\text{CaCl}_2$  “ex caldaie”**

**D. L.: Dott. Geol. Massimo Melani**

**RELAZIONE GENERALE**

**05/10/2016**

**PREMESSA**

In data 30/09/2016 su incarico della SIAD S.p.a. e con la D.L. del Dott. Geol. Massimo Melani, è stata eseguita una indagine geofisica di sismica in foro mediante il metodo down-hole, all'interno dello stabilimento della SOLVAY Chimica Italiana S.p.a., nel cantiere per l'Impianto  $\text{CaCl}_2$  "ex caldaie" (fig. 1).



**Area in studio**



**DOWN HOLE**

**Ubicazione indagine**

Il foro utilizzato, è risultato accessibile fino alla profondità di 31 m. dal piano campagna.

Di seguito vengono esposte le basi teoriche della metodologia adottata, i risultati ottenuti e le seguenti informazioni e documenti:

- sismogrammi integrali in onde P ed SH ricavati dalle singole acquisizioni;
- tabelle dei tempi di arrivo misurati e corretti delle onde P e delle onde SH;
- tavola delle dromocrone relative ai tempi di arrivo corretti
- diagramma delle velocità intervallari onde P e onde SH / profondità.
- diagramma del coefficiente di Poisson calcolato dalle velocità riscontrate
- indicazione della categoria di suolo di fondazione
- tabella riepilogativa dati down-hole

## **PRINCIPI TEORICI DELLE TECNICHE ADOTTATE**

### **INDAGINE SISMICA IN FORO – DOWN HOLE**

Le prove sismiche in foro di tipo down-hole vengono realizzate, in fori di sondaggio appositamente attrezzati con tubo in PVC cementato all'esterno, con l'uso di geofoni da foro di tipo tridimensionale ed opportuni sistemi di energizzazione.

La prova consiste nel produrre, sulla superficie del terreno, sollecitazioni verticali per la generazione di onde di compressione (P) ed orizzontali per onde di taglio polarizzate orizzontalmente (SH) mediante una sorgente meccanica, e nel registrare l'istante di primo arrivo del treno d'onde ad un sistema composto da una coppia di geofoni tridimensionali, alloggiati a profondità note nel foro di sondaggio. Conosciuta la distanza tra sorgente e ricevitori e determinato il tempo di propagazione, è possibile stimare in maniera accurata la distribuzione delle velocità sismiche (P ed SH) in corrispondenza della verticale di misura.

L'apparecchiatura utilizzata per questo tipo di prove si compone delle seguenti parti:

- sistema energizzante;
- sistema di ricezione;
- trigger;
- sistema di acquisizione dati.

I sistemi energizzanti (sia per la generazione delle onde P sia delle onde SH) sono in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali, ovvero con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione e/o di taglio polarizzate su piani orizzontali (o verticali).

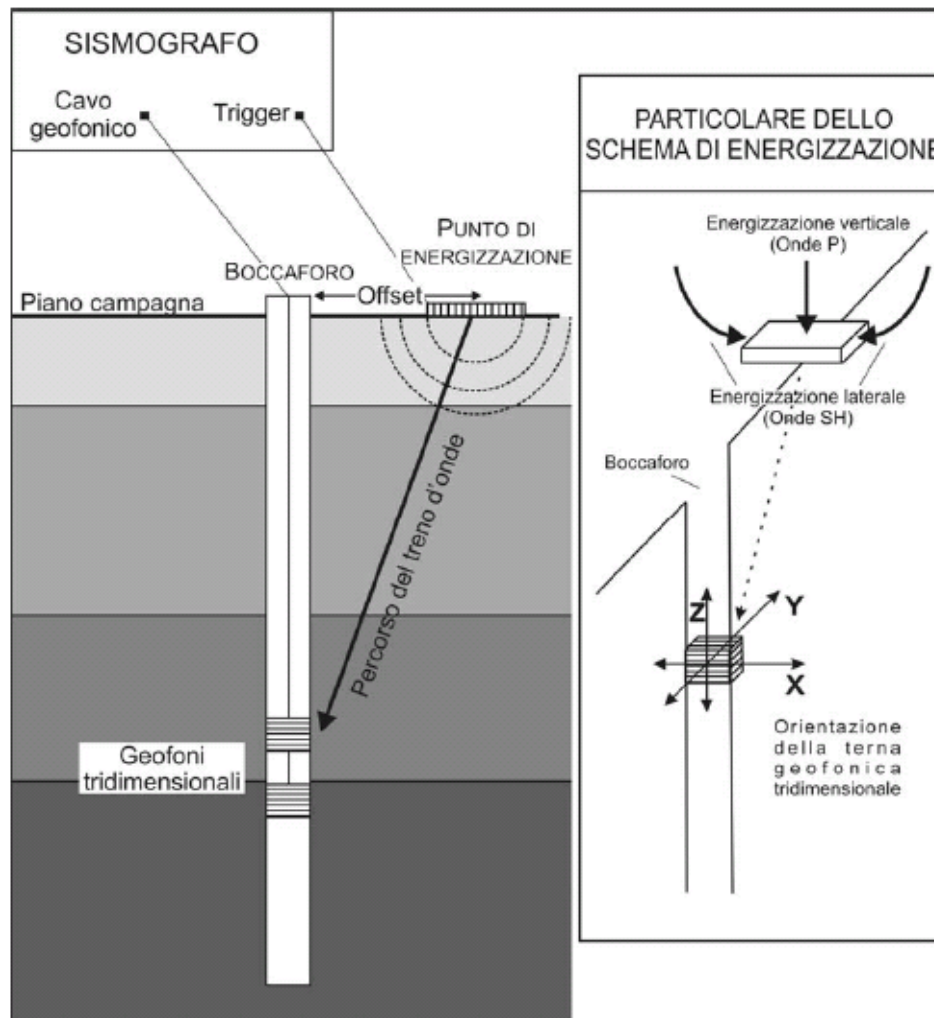
Come sorgente per le onde P è stata utilizzata una mazza del peso di 10 Kg usata per colpire una piastra metallica poggiata sul terreno.

Come sorgente per le onde SH è stato utilizzato un parallelepipedo (trave in legno) di forma tale da poter essere colpito lateralmente con una mazza del peso di circa 10 Kg.

Il parallelepipedo è stato gravato di un carico statico addizionale in modo che potesse rimanere aderente al terreno sia al momento in cui veniva colpito, sia successivamente, affinché l'energia prodotta non venisse in parte dispersa.



Con questo dispositivo è stato possibile generare essenzialmente delle onde elastiche di taglio polarizzate orizzontalmente, con uniformità sia nella direzione di propagazione che nella polarizzazione e con una generazione di onde P trascurabile.



Schema semplificato indagine down-hole (Istruzioni Tecniche Regione Toscana)

Il sistema di ricezione si compone di due ricevitori tridimensionali, ciascuno dei quali è costituito da tre trasduttori di velocità orientati secondo le componenti di una terna cartesiana ortogonale e collocati all'interno di un unico contenitore.

I ricevitori tridimensionali sono collegati tra loro e posizionati a distanza di un metro l'uno dall'altro con orientamento parallelo tra i vari sensori.

Il sistema previsto per mantenere costante la distanza e per garantire l'isorientazione dei geofoni è dotato di un giunto centrale in gomma che funge da smorzatore, in modo da evitare qualunque interazione sismica tra i due sensori.

Quattro pistoni pneumatici azionati dalla superficie con aria in pressione a 8 bar garantiscono un ottimo accoppiamento in foro tra i ricevitori e le pareti di rivestimento. Per l'orientazione del sistema è stata usata una batteria di aste in p.v.c. calata nel foro insieme al geofono a cui era collegata solidalmente.

Il trigger consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la sorgente viene attivata, producendo un impulso che viene inviato ad 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.

Il sistema di acquisizione dati è un sismografo marca AMBROGEO, modello ECHO 12/24, sistema multicanale (24 canali) in grado di registrare su ciascun canale in forma digitale le forme d'onda e di conservarle su memoria di massa dinamica a 16 bit.

Esso è collegato a ciascuno dei geofoni tridimensionali in foro ed al sensore del trigger e consente quindi di registrare in forma numerica e visualizzare come tracce su un apposito monitor le oscillazioni a partire dall'impulso inviato dal trigger.

La strumentazione prevede la funzione "inversione di polarità", poiché nella prova è necessario eseguire la differenza tra traccia relativa alla battuta destra e quella alla battuta sinistra.

La prova down-hole si è sviluppata secondo le seguenti fasi:

1. Dopo avere predisposto un opportuno piano d'appoggio la sorgente per onde SH, è stata collocata sulla superficie in prossimità del foro ad una distanza di 3,00 m, orientata perpendicolarmente al raggio uscente dal foro e gravata con un carico statico addizionale (automezzo). Per la produzione di onde P abbiamo energizzato con massa battente ad impatto verticale mentre per la produzione di onde SH la sorgente (parallelepipedo, trave) è stata percossa lateralmente, generando onde di taglio polarizzate orizzontalmente.

2. Il sistema, costituito dai due ricevitori (geofoni tridimensionali) equidistanti e con costante orientamento relativo viene calato alla profondità desiderata collegandolo alla superficie mediante un sistema di aste che ne consente l'orientamento assoluto dalla superficie;



3. Il sistema dei ricevitori viene orientato dalla superficie in modo tale che uno dei trasduttori orizzontali di ciascun ricevitore sia orientato parallelamente all'asse della sorgente e quindi alla direzione di polarizzazione delle onde SH in modo da massimizzarne l'ampiezza di ricezione ai ricevitori; Quindi i ricevitori vengono fissati alle pareti del tubo.

4. Viene attivata la sorgente, producendo una sollecitazione che, innescando il trigger fa partire la registrazione, l'onda generata si propaga dalla sorgente verso i ricevitori con oscillazioni di tipo P; in seguito (con energizzazione separata e distinta) si generano oscillazioni di tipo SH, dirette perpendicolarmente alla direzione di percussione e polarizzate sul piano orizzontale.

5. E' stata ripetuta la prova ad una profondità inferiore, abbassando di 1 m i ricevitori, e riprodotta la sollecitazione.

Ogni misurazione è stata registrata in forma digitale con il sismografo Ambrogeo ECHO 12/24 con campionamento digitale con dinamica a 16 bit ed intervallo di campionamento di 130 microsecondi per una durata di 200 millisecondi.

Di seguito si riporta lo schema operativo ed i collegamenti attivi con il sismografo per le varie acquisizioni.

Canale n°1: geofono superiore – trasduttore verticale (z)

Canale n°2: geofono inferiore – trasduttore verticale (z)

Canale n°3: geofono superiore – trasduttore orizzontale (y)

Canale n°4: geofono inferiore – trasduttore orizzontale (y)

Canale n°5: geofono superiore – trasduttore orizzontale (x)

Canale n°6: geofono inferiore – trasduttore orizzontale (x)

Canale n°7: geofono spia

Canale n°8-9-10-11-12: nulli

**Risultati**

L'indagine Down Hole, è stata condotta a partire dal piano campagna, fino ad una profondità di 31 m. Malgrado il sito sia risultato piuttosto "rumoroso", la prova si è svolta senza particolari problemi, data l'ottima sistemazione del dispositivo di battuta e l'abbondanza di energia utilizzata.

I dati misurati sono di buona qualità, e da questi è stato possibile ricavare le velocità intervallari che caratterizzano i primi metri di sottosuolo, nonché la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri ( $V_{s30}$ ) a partire dalla quota iniziale di - 1 metro dal piano campagna attuale, risultante uguale a **345 m/s**, a cui corrisponde la **categoria di suolo di fondazione di tipo C**

Dai valori delle velocità ottenuti sono stati inoltre calcolati i valori del Coefficiente di Poisson attraverso la seguente espressione:

$$\nu = [1/2 (V_p/V_s)^2 - 1] / ((V_p/V_s)^2 - 1)$$

Per il Modulo di Young e il modulo di deformazione a Taglio essendo questi funzione della densità del materiale, per noi non nota, sono state riportate di seguito le formule per poterli calcolare.

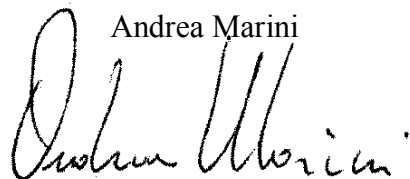
$$\text{Modulo di Taglio (kg/cm}^2\text{)} G = \gamma V_s^2$$

$$\text{Modulo di Young (kg/cm}^2\text{)} E = 2 \gamma V_s^2 (1 + \nu)$$

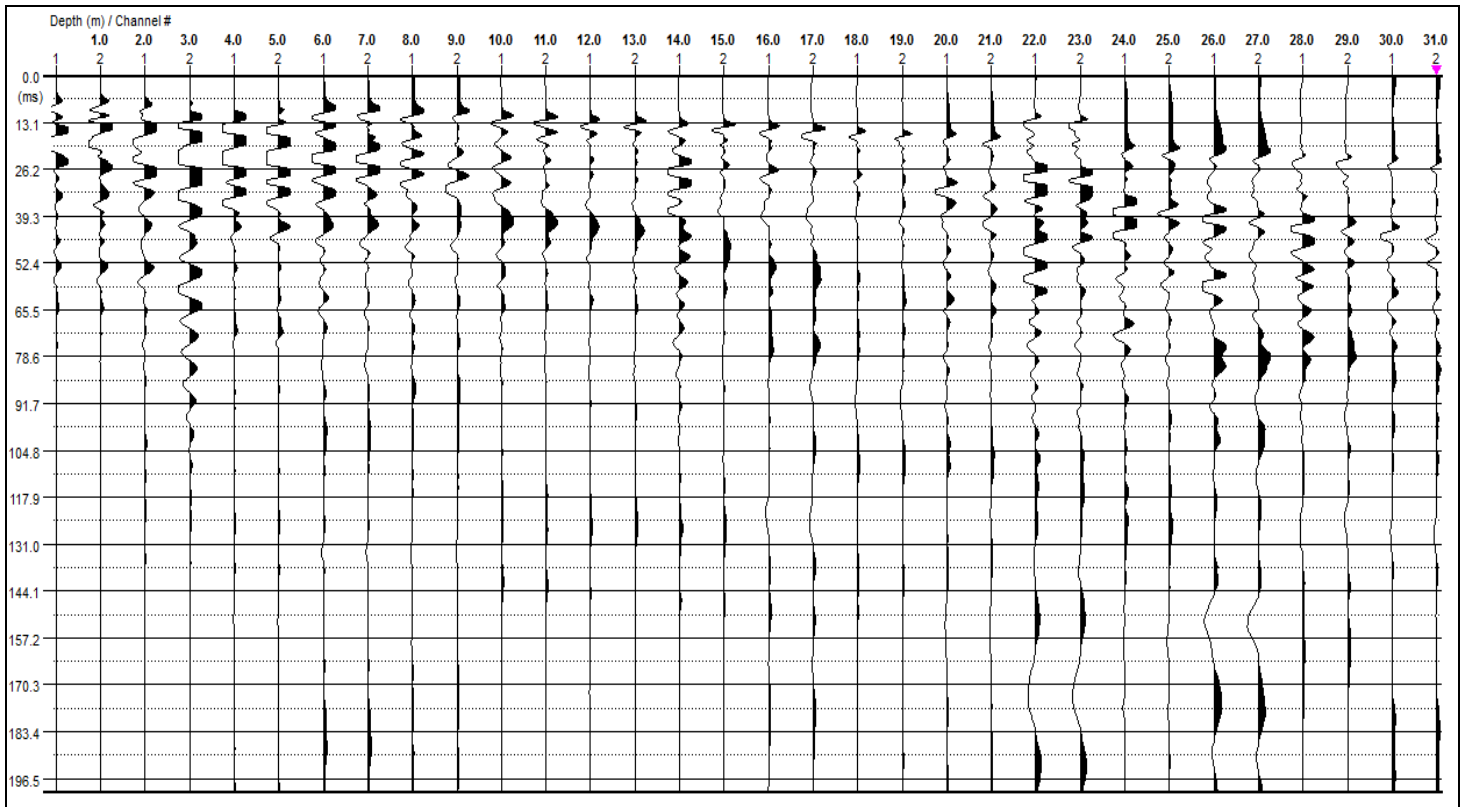
dove:  $\gamma$ : densità del materiale (kg/dm<sup>3</sup>),  $V_p$ : velocità onde compressionali (m/sec),  $V_s$ : velocità onde di taglio (m/sec)

GeoEcho s.n.c.

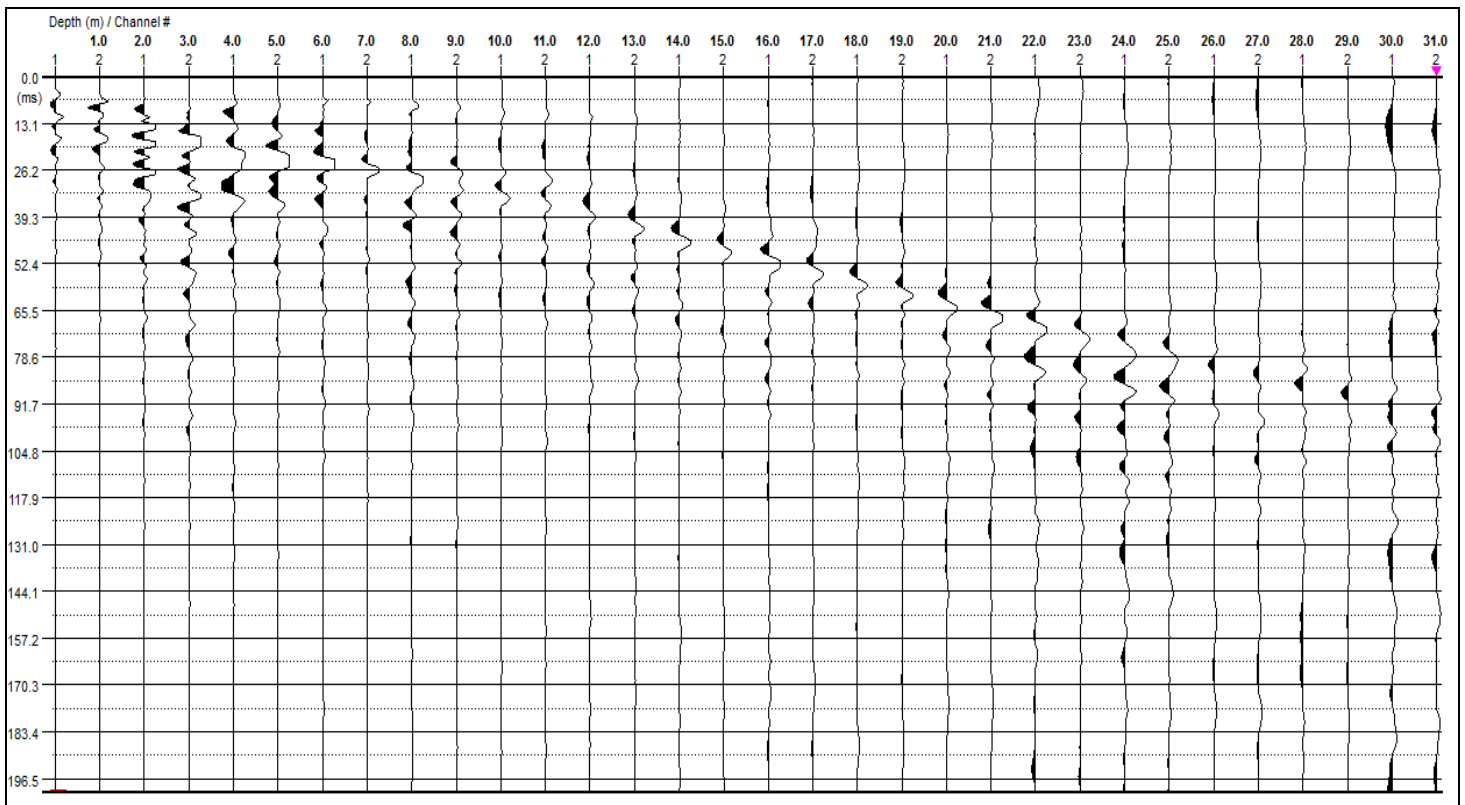
Andrea Marini



**Sismogramma onde P**

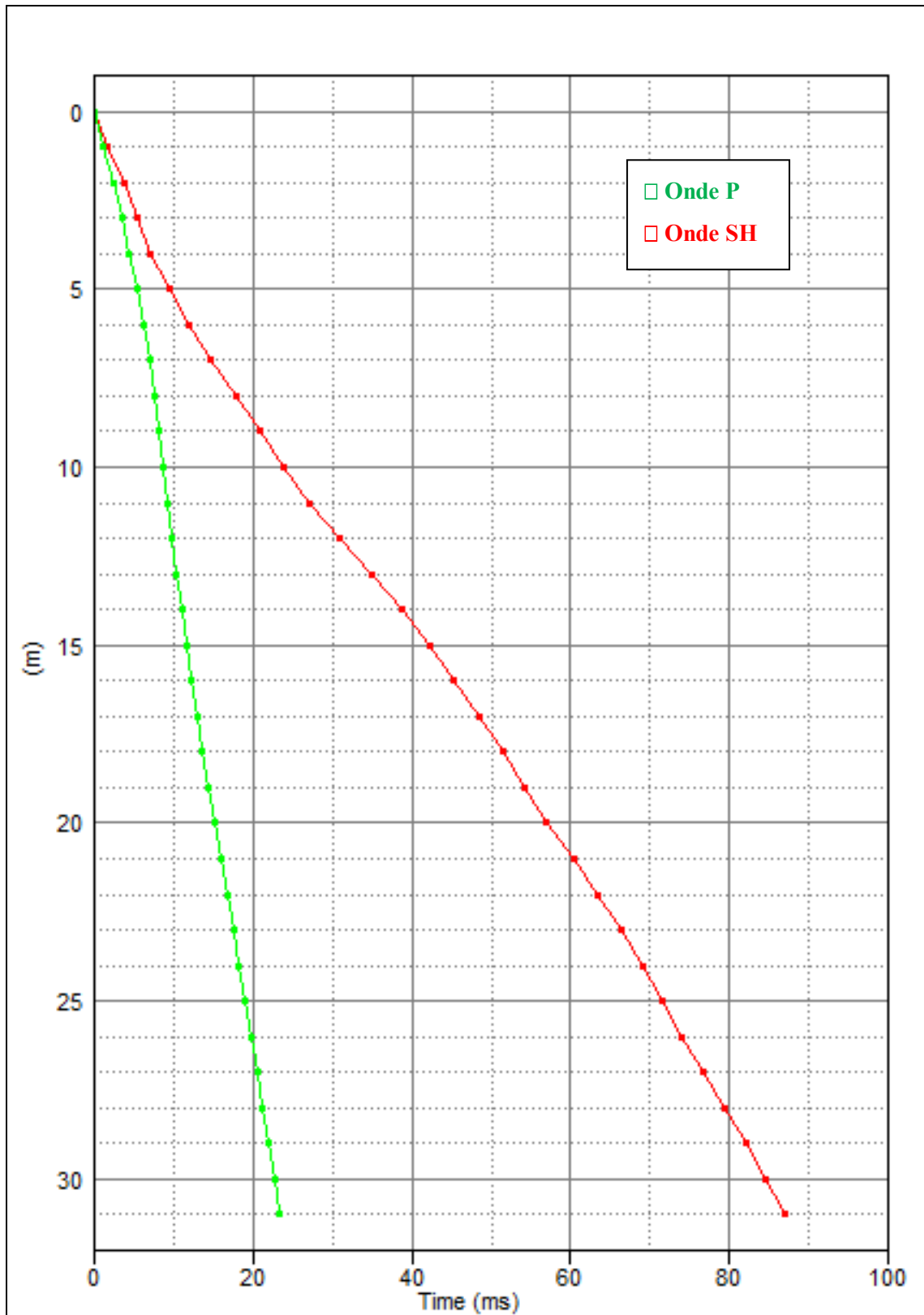


**Sismogramma onde SH**

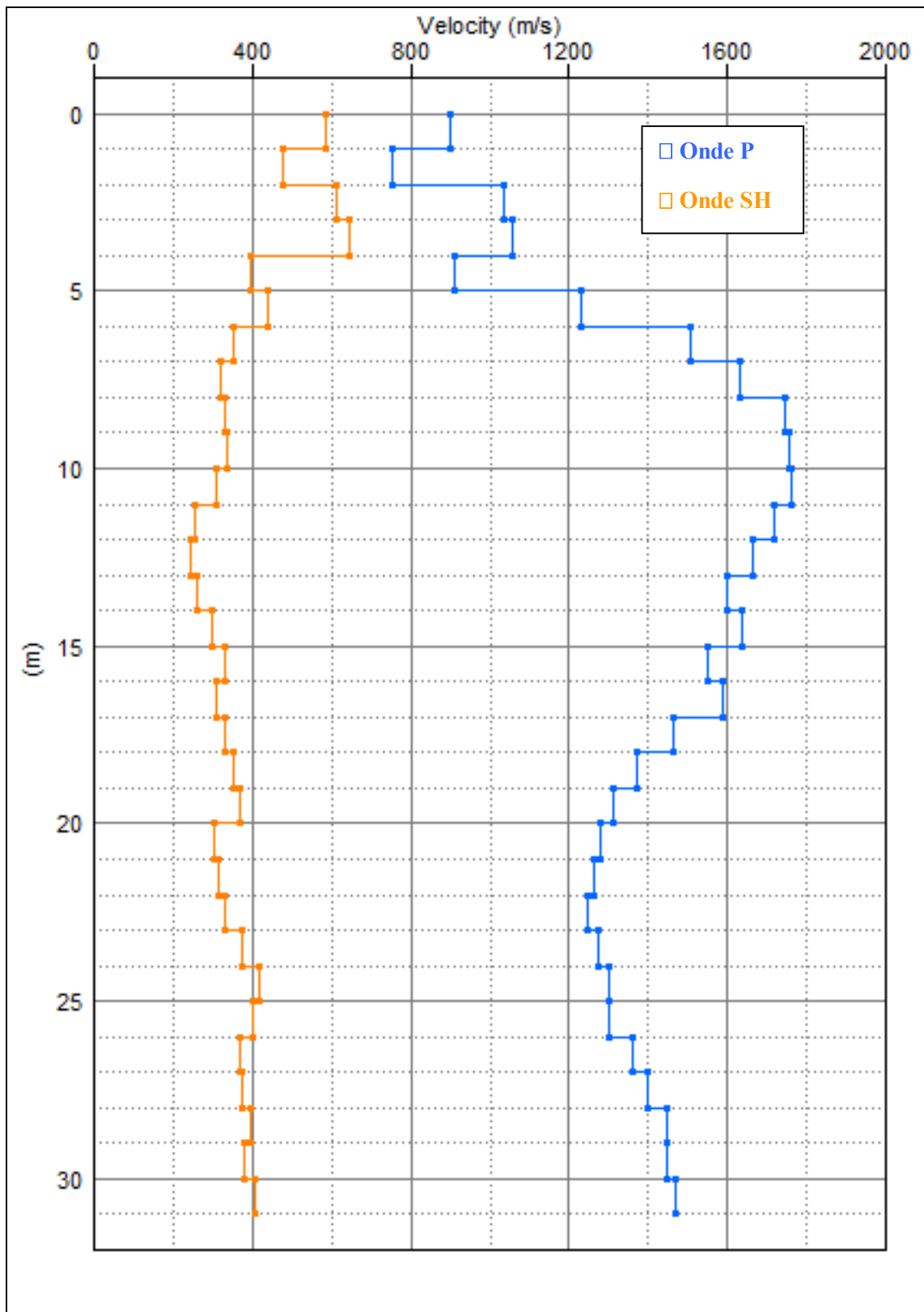


<b>Tabella Tempi di arrivo</b>					
Ubicazione:	Stabilimento Solvay nel Comune di Rosignano Marittimo (LI)				
DOWN-HOLE	<b>indagine eseguita nel foro del sondaggio</b>				
	Dist. Shot-foro m:	3,00	Dist. Shot-foro m:	3,00	
		<b>ONDE SH</b>		<b>ONDE P</b>	
<b>m dal p.c.</b>	Tempi obliqui	Tempi verticali	Tempi obliqui	Tempi verticali	
	<b>(ms)</b>	<b>(ms.)</b>	<b>(ms)</b>	<b>(ms)</b>	
0	3.33	0.00	2.88	0.00	
1	5.43	1.72	3.52	1.11	
2	6.89	3.82	4.40	2.44	
3	7.72	5.46	4.81	3.40	
4	8.77	7.01	5.44	4.35	
5	11.12	9.54	6.35	5.45	
6	13.23	11.83	7.00	6.26	
7	15.97	14.68	7.53	6.92	
8	19.00	17.79	8.05	7.54	
9	21.94	20.82	8.55	8.11	
10	24.82	23.78	9.06	8.68	
11	27.99	27.00	9.59	9.25	
12	31.84	30.89	10.13	9.83	
13	35.95	35.03	10.70	10.43	
14	39.72	38.83	11.31	11.05	
15	43.03	42.19	11.90	11.66	
16	46.00	45.21	12.52	12.31	
17	49.21	48.46	13.14	12.94	
18	52.18	51.47	13.81	13.62	
19	54.99	54.31	14.53	14.35	
20	57.68	57.05	15.28	15.11	
21	60.93	60.31	16.06	15.90	
22	64.07	63.48	16.84	16.69	
23	67.06	66.50	17.64	17.49	
24	69.69	69.15	18.42	18.28	
25	72.07	71.56	19.18	19.04	
26	74.55	74.06	19.95	19.81	
27	77.26	76.78	20.68	20.55	
28	79.91	79.46	21.39	21.26	
29	82.42	81.98	22.07	21.96	
30	85.04	84.62	22.76	22.65	
31	87.48	87.07	23.44	23.33	

### Dromocrone

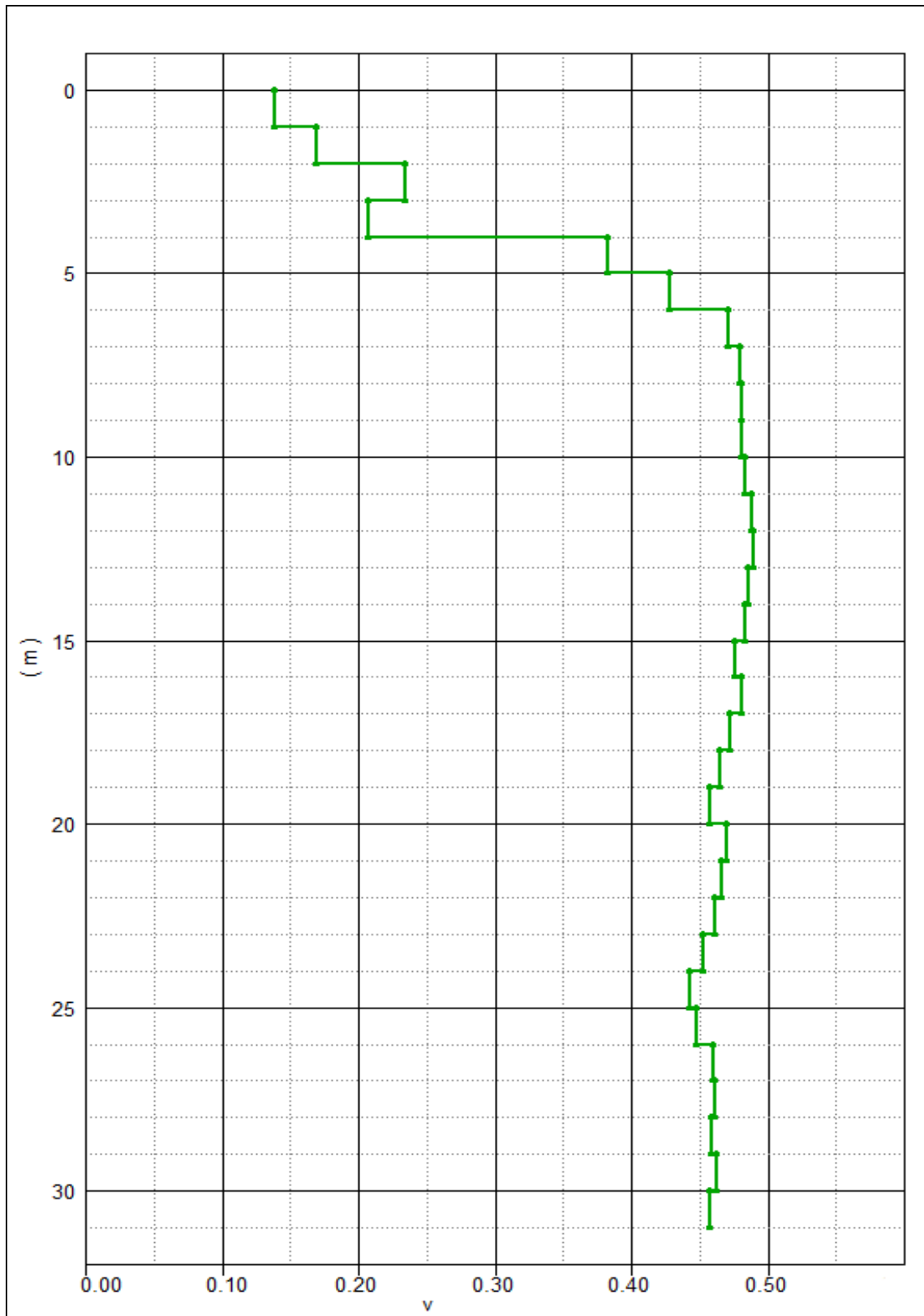


## Velocità intervallari





### Coefficiente di Poisson



## Tabella riassuntiva

Depth	Ts Pick	Ts Vertical	Vs Interval	Vs Average	Tp Pick	Tp Vertical	Vp Interval	Vp Average	Poisson's Ratio
0	3.33	0.00	---	---	2.88	0.00	---	---	---
1	5.43	1.72	583	583	3.52	1.11	900	900	0.14
2	6.89	3.82	475	524	4.40	2.44	753	820	0.17
3	7.72	5.46	611	550	4.81	3.40	1038	881	0.23
4	8.77	7.01	643	570	5.44	4.35	1058	920	0.21
5	11.12	9.54	396	524	6.35	5.45	910	918	0.38
6	13.23	11.83	437	507	7.00	6.26	1232	959	0.43
7	15.97	14.68	351	477	7.53	6.92	1507	1011	0.47
8	19.00	17.79	322	450	8.05	7.54	1630	1062	0.48
9	21.94	20.82	330	432	8.55	8.11	1746	1110	0.48
10	24.82	23.78	338	421	9.06	8.68	1756	1152	0.48
11	27.99	27.00	310	407	9.59	9.25	1759	1190	0.48
12	31.84	30.89	257	388	10.13	9.83	1720	1221	0.49
13	35.95	35.03	242	371	10.70	10.43	1666	1247	0.49
14	39.72	38.83	263	361	11.31	11.05	1600	1267	0.49
15	43.03	42.19	298	356	11.90	11.66	1640	1286	0.48
16	46.00	45.21	332	354	12.52	12.31	1549	1300	0.48
17	49.21	48.46	307	351	13.14	12.94	1588	1314	0.48
18	52.18	51.47	333	350	13.81	13.62	1464	1321	0.47
19	54.99	54.31	351	350	14.53	14.35	1370	1324	0.47
20	57.68	57.05	366	351	15.28	15.11	1313	1323	0.46
21	60.93	60.31	306	348	16.06	15.90	1278	1321	0.47
22	64.07	63.48	316	347	16.84	16.69	1261	1318	0.47
23	67.06	66.50	332	346	17.64	17.49	1245	1315	0.46
24	69.69	69.15	377	347	18.42	18.28	1276	1313	0.45
25	72.07	71.56	416	349	19.18	19.04	1303	1313	0.44
26	74.55	74.06	400	351	19.95	19.81	1300	1312	0.45
27	77.26	76.78	367	352	20.68	20.55	1359	1314	0.46
28	79.91	79.46	374	352	21.39	21.26	1399	1317	0.46
29	82.42	81.98	396	354	22.07	21.96	1446	1321	0.46
30	85.04	84.62	379	355	22.76	22.65	1445	1325	0.46
31	87.48	87.07	408	356	23.44	23.33	1469	1329	0.46

### CALCOLO DELLE VS30

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato, è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la velocità di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (“Norme tecniche per le costruzioni”):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove  $H_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

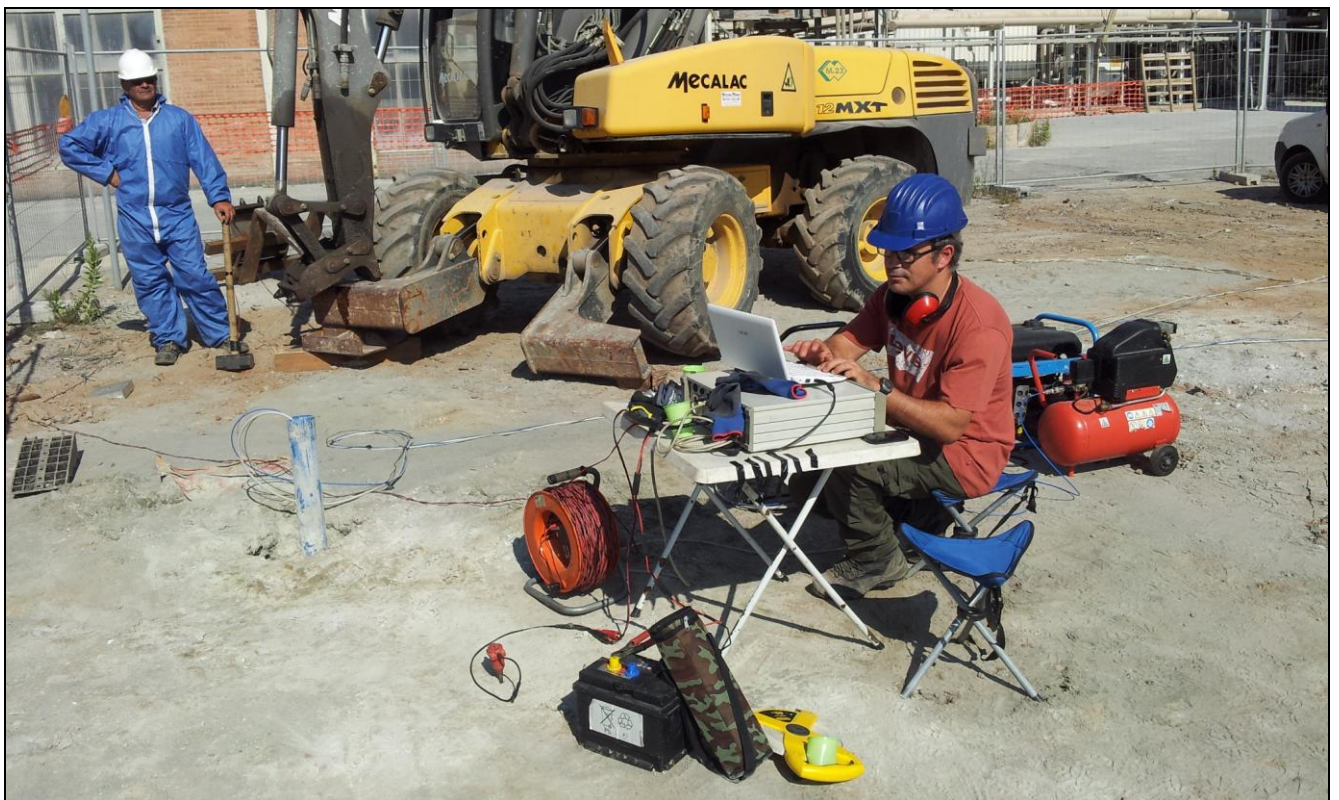
Utilizzando la formula sopra riportata, si ottiene il seguente valore (quota iniziale = - 1 metro dal piano campagna attuale): **Vs30 = 345 m/s** a cui corrisponde, la categoria di **suolo di fondazione di tipo C**.

Tabella : Categorie di suolo di fondazione(D.M. 14-09-2005; D.M. 14-01-2008)

CAT.	DESCRIZIONE PROFILO STRATIGRAFICO	Vs 30 (m/s)
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.	> 800
<b>B</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 graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	180-360
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180
<b>E</b>	E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).	



**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



**INDAGINE DI SISMICA IN FORO  
TIPO DOWN HOLE CON ONDE P ED SH**

**Oggetto: realizzazione di tettoia**

**Committente: Solvay S.p.a.**

**D. L.: Dott. Geol. Massimo Melani**

**Ubicazione: Stabilimento Solvay**

**Comune di Rosignano Marittimo (LI)**

**RELAZIONE GENERALE**

**29/03/2016**



## PREMESSA

In data 24/03/2016 su incarico della Solvay S.p.a. e con la D.L. del Dott. Geol. Massimo Melani, è stata eseguita una indagine geofisica di sismica in foro mediante il metodo down-hole, all'interno dello stabilimento della Solvay S.p.a., in un'area adibita a deposito di materie residuali dove è in progetto la realizzazione di una tettoia (fig. 1).



**Ubicazione indagine**



Il foro utilizzato, è risultato accessibile fino alla profondità di 32 m. dal piano campagna.

Di seguito vengono esposte le basi teoriche della metodologia adottata, i risultati ottenuti e le seguenti informazioni e documenti:

- sismogrammi integrali in onde P ed SH ricavati dalle singole acquisizioni;
- tabelle dei tempi di arrivo misurati e corretti delle onde P e delle onde SH;
- tavola delle dromocrone relative ai tempi di arrivo corretti
- diagramma delle velocità intervallari onde P e onde SH / profondità.
- diagramma del coefficiente di Poisson calcolato dalle velocità riscontrate
- indicazione della categoria di suolo di fondazione
- tabella riepilogativa dati down-hole

## **PRINCIPI TEORICI DELLE TECNICHE ADOTTATE**

### **INDAGINE SISMICA IN FORO – DOWN HOLE**

Le prove sismiche in foro di tipo down-hole vengono realizzate, in fori di sondaggio appositamente attrezzati con tubo in PVC cementato all'esterno, con l'uso di geofoni da foro di tipo tridimensionale ed opportuni sistemi di energizzazione.

La prova consiste nel produrre, sulla superficie del terreno, sollecitazioni verticali per la generazione di onde di compressione (P) ed orizzontali per onde di taglio polarizzate orizzontalmente (SH) mediante una sorgente meccanica, e nel registrare l'istante di primo arrivo del treno d'onde ad un sistema composto da una coppia di geofoni tridimensionali, alloggiati a profondità note nel foro di sondaggio. Conosciuta la distanza tra sorgente e ricevitori e determinato il tempo di propagazione, è possibile stimare in maniera accurata la distribuzione delle velocità sismiche (P ed SH) in corrispondenza della verticale di misura.

L'apparecchiatura utilizzata per questo tipo di prove si compone delle seguenti parti:

- sistema energizzante;
- sistema di ricezione;
- trigger;
- sistema di acquisizione dati.

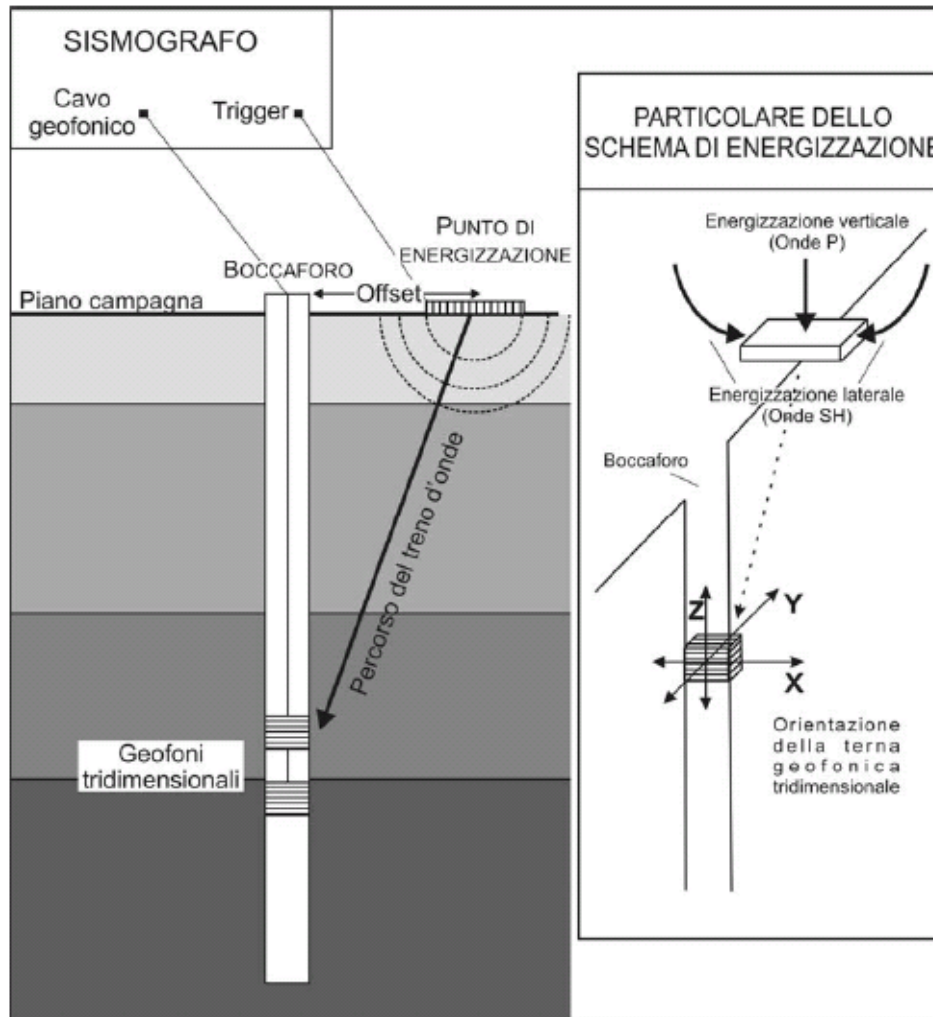
I sistemi energizzanti (sia per la generazione delle onde P sia delle onde SH) sono in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali, ovvero con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione e/o di taglio polarizzate su piani orizzontali (o verticali).

Come sorgente per le onde P è stata utilizzata una mazza del peso di 10 Kg usata per colpire una piastra metallica poggiata sul terreno.

Come sorgente per le onde SH è stato utilizzato un parallelepipedo (trave in legno) di forma tale da poter essere colpito lateralmente con una mazza del peso di circa 10 Kg.

Il parallelepipedo è stato gravato di un carico statico addizionale in modo che potesse rimanere aderente al terreno sia al momento in cui veniva colpito, sia successivamente, affinché l'energia prodotta non venisse in parte dispersa.

Con questo dispositivo è stato possibile generare essenzialmente delle onde elastiche di taglio polarizzate orizzontalmente, con uniformità sia nella direzione di propagazione che nella polarizzazione e con una generazione di onde P trascurabile.



Schema semplificato indagine down-hole (Istruzioni Tecniche Regione Toscana)

Il sistema di ricezione si compone di due ricevitori tridimensionali, ciascuno dei quali è costituito da tre trasduttori di velocità orientati secondo le componenti di una terna cartesiana ortogonale e collocati all'interno di un unico contenitore.

I ricevitori tridimensionali sono collegati tra loro e posizionati a distanza di un metro l'uno dall'altro con orientamento parallelo tra i vari sensori.

Il sistema previsto per mantenere costante la distanza e per garantire l'isorientazione dei geofoni è dotato di un giunto centrale in gomma che funge da smorzatore, in modo da evitare qualunque interazione sismica tra i due sensori.

Quattro pistoni pneumatici azionati dalla superficie con aria in pressione a 8 bar garantiscono un ottimo accoppiamento in foro tra i ricevitori e le pareti di rivestimento. Per l'orientazione del sistema è stata usata una batteria di aste in p.v.c. calata nel foro insieme al geofono a cui era collegata solidalmente.

Il trigger consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la sorgente viene attivata, producendo un impulso che viene inviato ad 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.

Il sistema di acquisizione dati è un sismografo marca AMBROGEO, modello ECHO 12/24, sistema multicanale (24 canali) in grado di registrare su ciascun canale in forma digitale le forme d'onda e di conservarle su memoria di massa dinamica a 16 bit.

Esso è collegato a ciascuno dei geofoni tridimensionali in foro ed al sensore del trigger e consente quindi di registrare in forma numerica e visualizzare come tracce su un apposito monitor le oscillazioni a partire dall'impulso inviato dal trigger.

La strumentazione prevede la funzione "inversione di polarità", poiché nella prova è necessario eseguire la differenza tra traccia relativa alla battuta destra e quella alla battuta sinistra.

La prova down-hole si è sviluppata secondo le seguenti fasi:

1. Dopo avere predisposto un opportuno piano d'appoggio la sorgente per onde SH, è stata collocata sulla superficie in prossimità del foro ad una distanza di 4,00 m, orientata perpendicolarmente al raggio uscente dal foro e gravata con un carico statico addizionale (automezzo). Per la produzione di onde P abbiamo energizzato con massa battente ad impatto verticale mentre per la produzione di onde SH la sorgente (parallelepipedo, trave) è stata percossa lateralmente, generando onde di taglio polarizzate orizzontalmente.

2. Il sistema, costituito dai due ricevitori (geofoni tridimensionali) equidistanti e con costante orientamento relativo viene calato alla profondità desiderata collegandolo alla superficie mediante un sistema di aste che ne consente l'orientamento assoluto dalla superficie;

3. Il sistema dei ricevitori viene orientato dalla superficie in modo tale che uno dei trasduttori orizzontali di ciascun ricevitore sia orientato parallelamente all'asse della sorgente e quindi alla direzione di polarizzazione delle onde SH in modo da massimizzarne l'ampiezza di ricezione ai ricevitori; Quindi i ricevitori vengono fissati alle pareti del tubo.

4. Viene attivata la sorgente, producendo una sollecitazione che, innescando il trigger fa partire la registrazione, l'onda generata si propaga dalla sorgente verso i ricevitori con oscillazioni di tipo P; in seguito (con energizzazione separata e distinta) si generano oscillazioni di tipo SH, dirette perpendicolarmente alla direzione di percussione e polarizzate sul piano orizzontale.

5. E' stata ripetuta la prova ad una profondità inferiore, abbassando di 1 m i ricevitori, e riprodotta la sollecitazione.

Ogni misurazione è stata registrata in forma digitale con il sismografo Ambrogeo ECHO 12/24 con campionamento digitale con dinamica a 16 bit ed intervallo di campionamento di 130 microsecondi per una durata di 400 millisecondi.

Di seguito si riporta lo schema operativo ed i collegamenti attivi con il sismografo per le varie acquisizioni.

Canale n°1: geofono superiore – trasduttore verticale (z)

Canale n°2: geofono inferiore – trasduttore verticale (z)

Canale n°3: geofono superiore – trasduttore orizzontale (y)

Canale n°4: geofono inferiore – trasduttore orizzontale (y)

Canale n°5: geofono superiore – trasduttore orizzontale (x)

Canale n°6: geofono inferiore – trasduttore orizzontale (x)

Canale n°7: geofono spia

Canale n°8-9-10-11-12: nulli

## **Risultati**

L'indagine Down Hole, è stata condotta a partire dal piano campagna, fino ad una profondità di 32 m. La prova si è svolta senza particolari problemi, data la bassa rumorosità di fondo e l'abbondanza di energia utilizzata.

I dati misurati sono di buona qualità, e da questi è stato possibile ricavare le velocità intervallari che caratterizzano i primi metri di sottosuolo, nonché la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri (Vs30) a partire dalla quota iniziale di - 1 metro dal piano campagna attuale, risultante uguale a **340 m/s**, a cui corrisponde la **categoria di suolo di fondazione di tipo C**

Dai valori delle velocità ottenuti sono stati inoltre calcolati i valori del Coefficiente di Poisson attraverso la seguente espressione:

$$\nu = [1/2 (V_p/V_s)^2 - 1] / ((V_p/V_s)^2 - 1)$$

Per il Modulo di Young e il modulo di deformazione a Taglio essendo questi funzione della densità del materiale, per noi non nota, sono state riportate di seguito le formule per poterli calcolare.

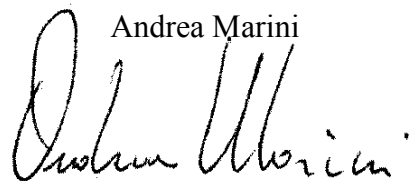
$$\text{Modulo di Taglio } (\text{kg/cm}^2) G = \gamma V_s^2$$

$$\text{Modulo di Young } (\text{kg/cm}^2) E = 2 \gamma V_s^2 (1 + \nu)$$

dove:  $\gamma$ : densità del materiale ( $\text{kg/dm}^3$ ),  $V_p$ : velocità onde compressionali (m/sec),  $V_s$ : velocità onde di taglio (m/sec)

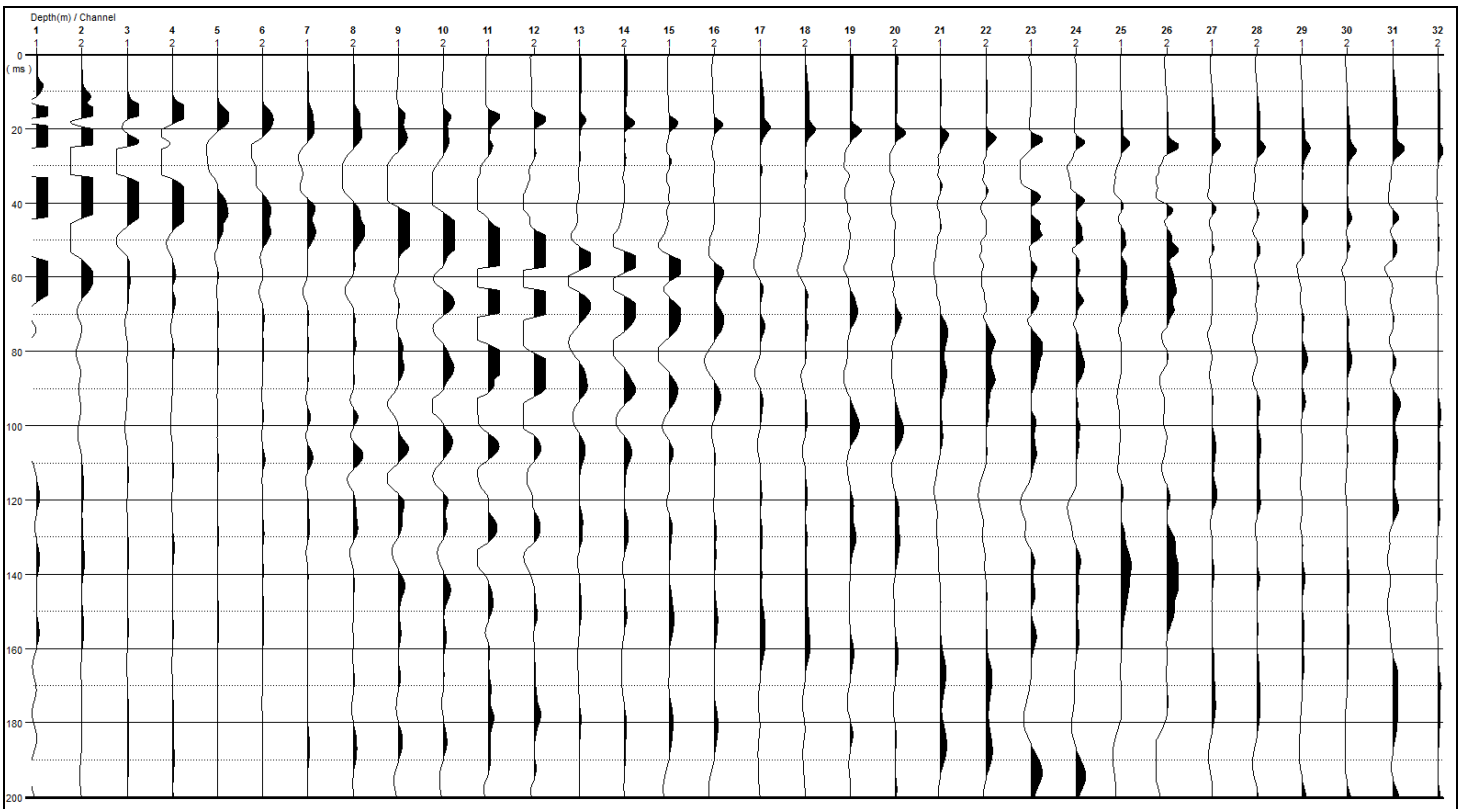
GeoEcho s.n.c.

Andrea Marini

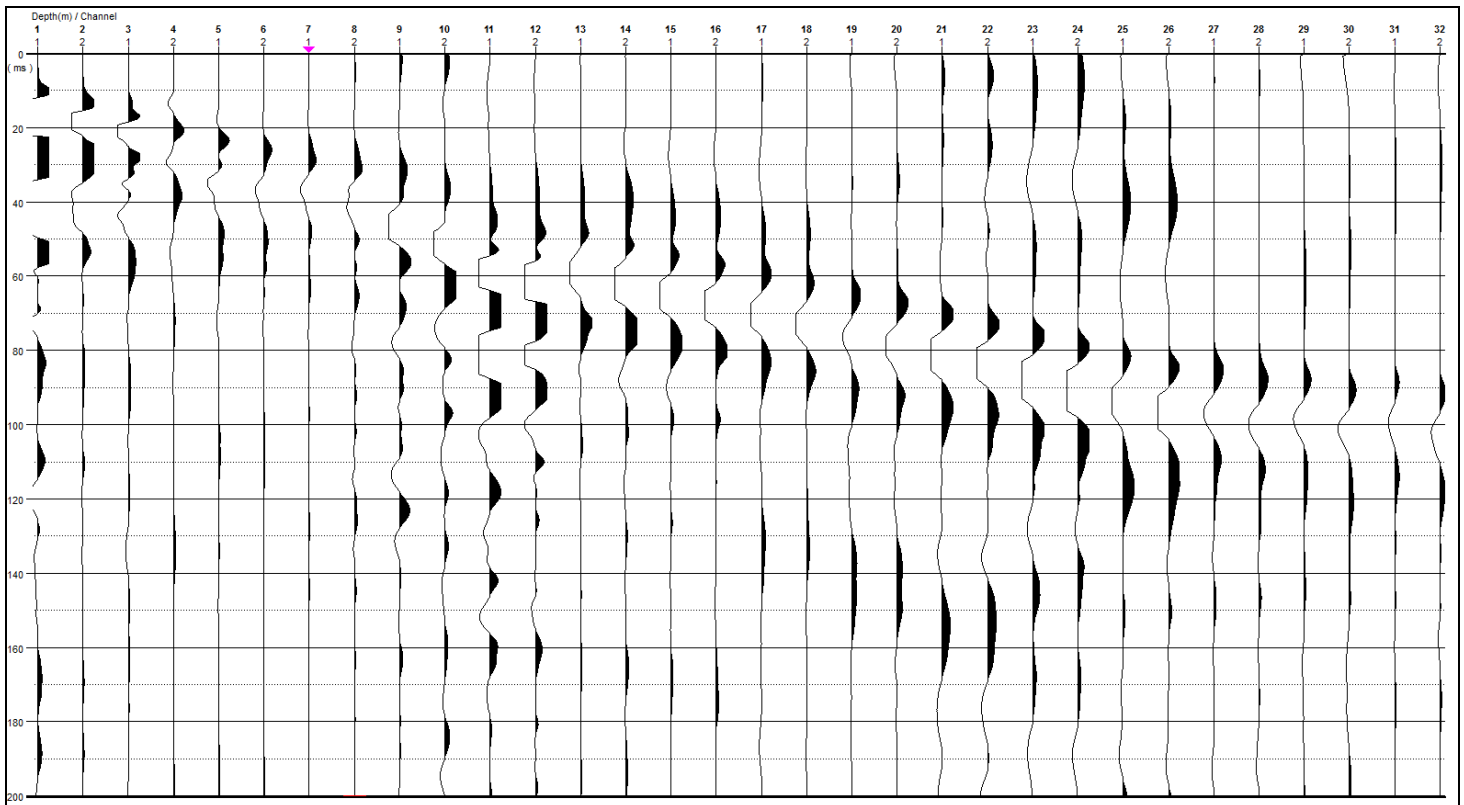




### Sismogramma onde P

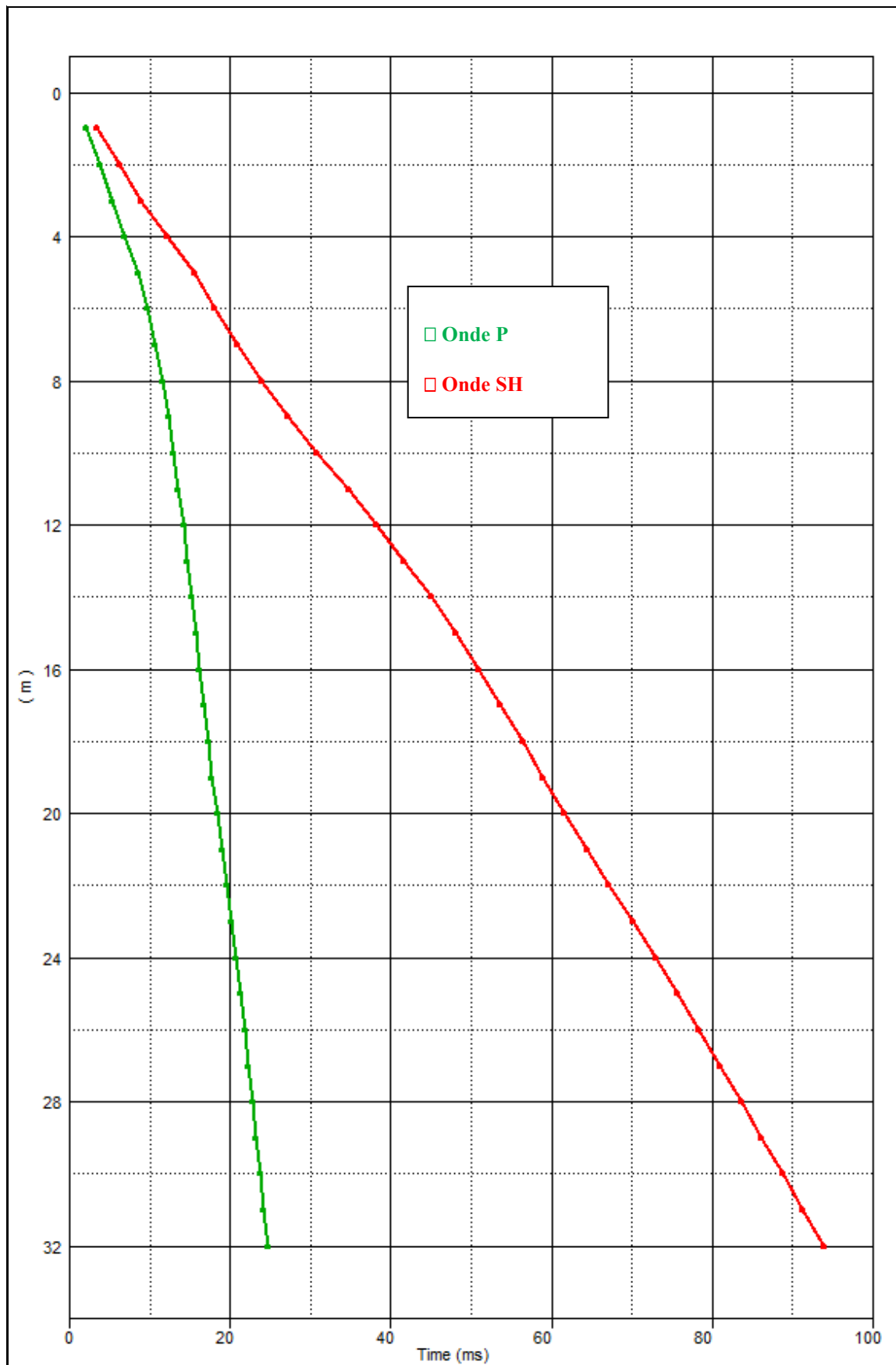


### Sismogramma onde SH

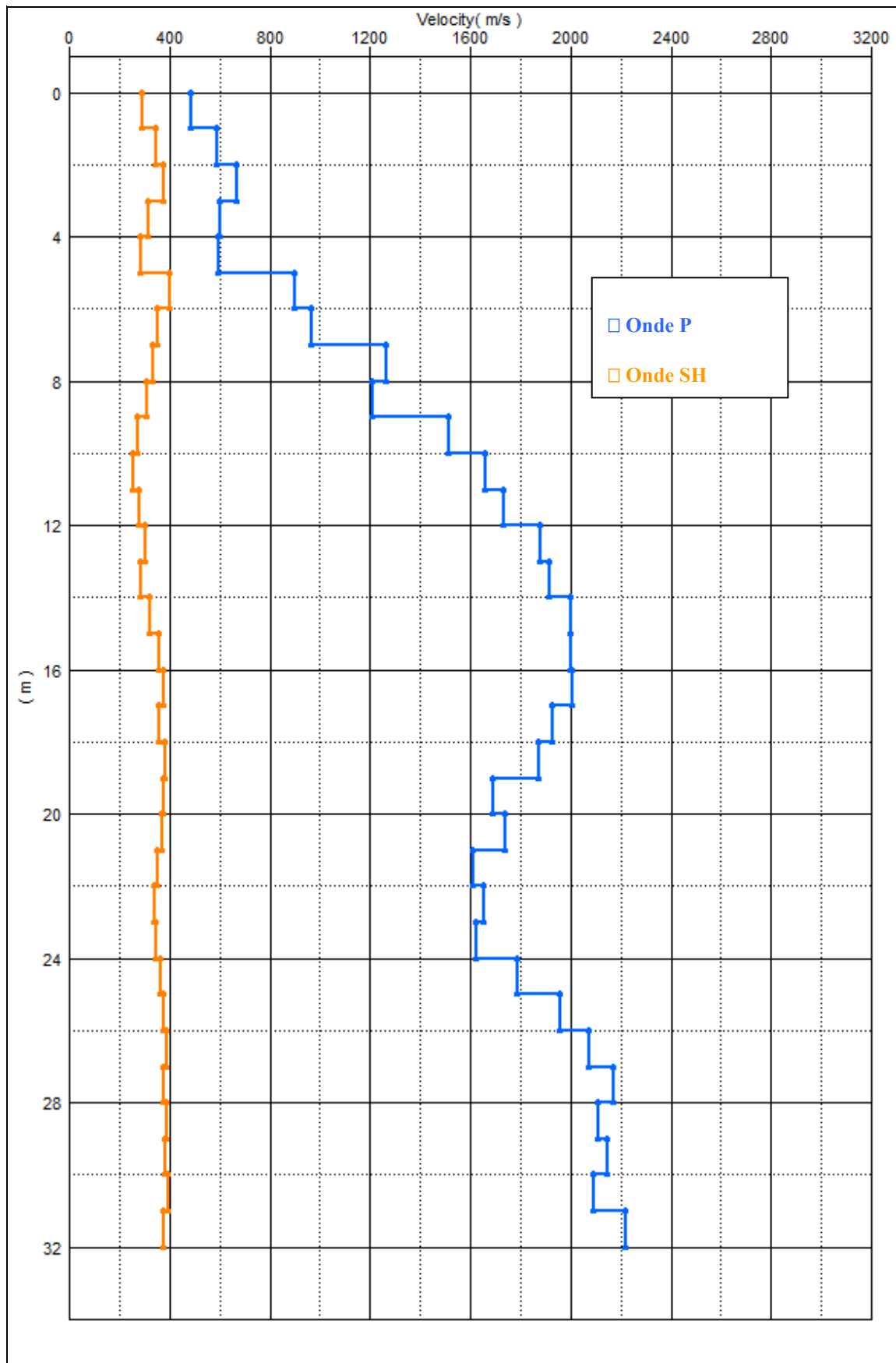


<b>Tabella Tempi di arrivo</b>					
Ubicazione:	Stabilimento Solvay nel Comune di Rosignano Marittimo (LI)				
DOWN-HOLE	<b>indagine eseguita nel foro del sondaggio</b>				
	Dist. Shot-foro m:	4.00	Dist. Shot-foro m:	4.00	
		<b>ONDE SH</b>		<b>ONDE P</b>	
<b>m dal p.c.</b>	Tempi obliqui	Tempi verticali	Tempi obliqui	Tempi verticali	
	<b>(ms)</b>	<b>(ms.)</b>	<b>(ms)</b>	<b>(ms)</b>	
0	0.0	0.0	0.0	0.0	
1	14.1	3.4	8.5	2.1	
2	14.1	6.3	8.4	3.7	
3	14.9	9.0	8.7	5.2	
4	17.1	12.1	9.8	6.9	
5	20.0	15.6	11.0	8.6	
6	21.7	18.1	11.6	9.7	
7	24.1	20.9	12.3	10.7	
8	26.7	23.9	12.9	11.5	
9	29.7	27.1	13.5	12.3	
10	33.2	30.8	14.0	13.0	
11	36.9	34.7	14.5	13.6	
12	40.3	38.3	14.9	14.2	
13	43.5	41.6	15.4	14.7	
14	46.9	45.1	15.8	15.2	
15	49.9	48.2	16.3	15.7	
16	52.6	51.0	16.7	16.2	
17	55.1	53.7	17.2	16.7	
18	57.8	56.4	17.7	17.2	
19	60.3	59.0	18.2	17.8	
20	62.9	61.7	18.7	18.4	
21	65.5	64.4	19.3	18.9	
22	68.3	67.2	19.9	19.6	
23	71.2	70.1	20.5	20.2	
24	74.0	73.0	21.1	20.8	
25	76.7	75.7	21.6	21.3	
26	79.3	78.4	22.1	21.8	
27	81.8	81.0	22.6	22.3	
28	84.5	83.6	23.0	22.8	
29	87.0	86.2	23.5	23.3	
30	89.6	88.8	23.9	23.7	
31	92.1	91.3	24.4	24.2	
32	94.7	94.0	24.8	24.7	

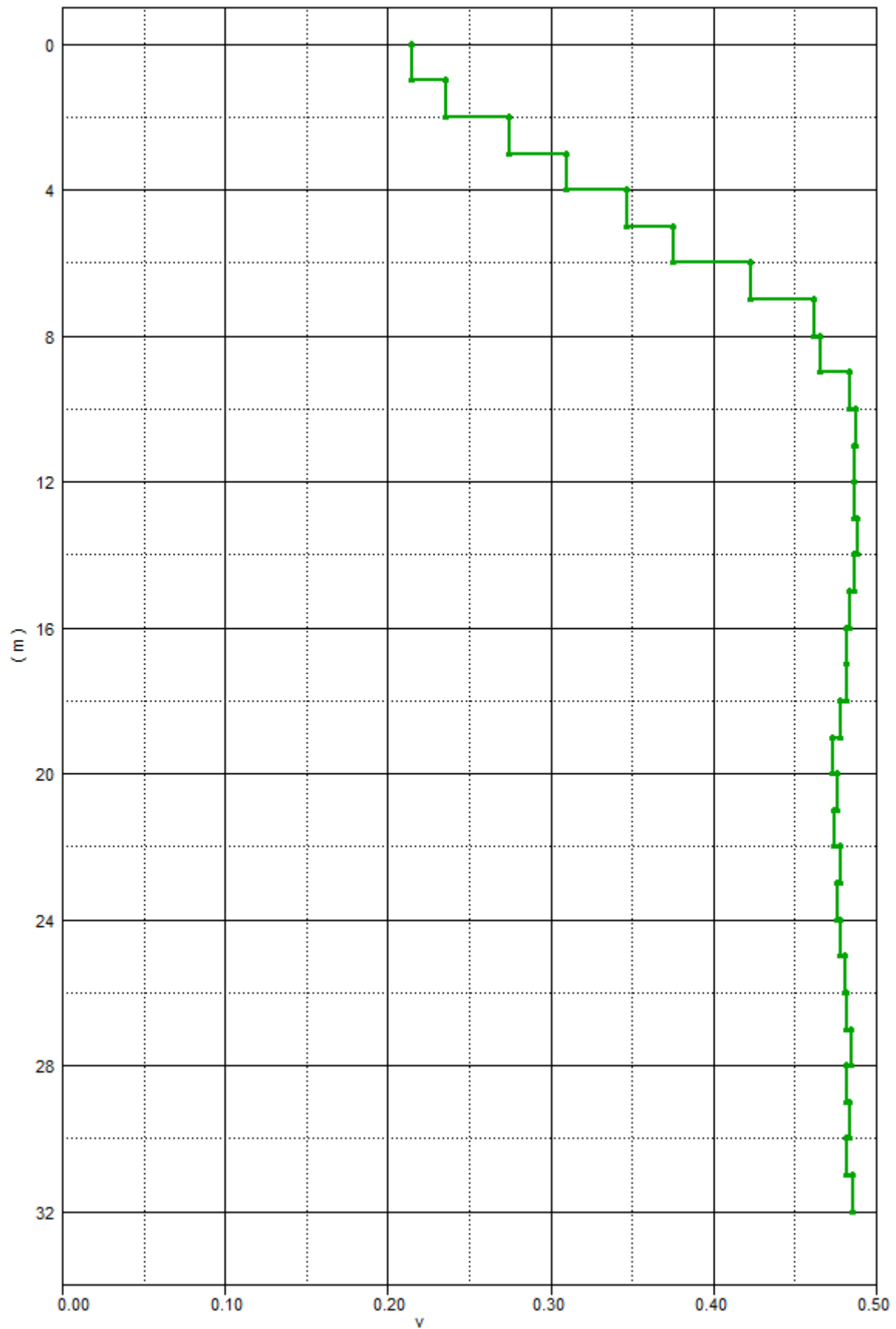
## Dromocrone



## Velocità intervallari



## Coefficiente di Poisson



### Tabella riassuntiva

Depth	Ts Pick	Ts Vertical	Vs Interval	Vs Average	Tp Pick	Tp Vertical	Vp Interval	Vp Average	Poisson's Ratio
0	0.0	0.0	---		0.0	0.0	---		---
1	14.1	3.4	293.2	293.2	8.5	2.1	486.7	486.7	0.215
2	14.1	6.3	347.5	318.1	8.4	3.7	591.2	533.9	0.236
3	14.9	9.0	374.2	334.8	8.7	5.2	671.4	573	0.275
4	17.1	12.1	316.4	330	9.8	6.9	602.3	580.1	0.31
5	20.0	15.6	288.9	320.9	11.0	8.6	597.3	583.4	0.347
6	21.7	18.1	400.7	331.9	11.6	9.7	898.7	619.7	0.376
7	24.1	20.9	354.9	335	12.3	10.7	969.4	653.3	0.423
8	26.7	23.9	334.2	334.9	12.9	11.5	1263	695.3	0.462
9	29.7	27.1	309.1	331.8	13.5	12.3	1213.6	729.9	0.465
10	33.2	30.8	271.4	324.6	14.0	13.0	1515	769.8	0.483
11	36.9	34.7	256.9	317	14.5	13.6	1662.4	809.3	0.488
12	40.3	38.3	279.5	313.5	14.9	14.2	1736.2	847	0.487
13	43.5	41.6	302.2	312.6	15.4	14.7	1880.9	884.4	0.487
14	46.9	45.1	286.6	310.6	15.8	15.2	1916	919.8	0.489
15	49.9	48.2	321.1	311.3	16.3	15.7	2001.6	954.1	0.487
16	52.6	51.0	356	313.7	16.7	16.2	2001.2	986.4	0.484
17	55.1	53.7	374.8	316.8	17.2	16.7	2009.2	1016.9	0.482
18	57.8	56.4	361.6	319	17.7	17.2	1927.9	1044.3	0.482
19	60.3	59.0	386	321.9	18.2	17.8	1871.8	1069.1	0.478
20	62.9	61.7	379.3	324.4	18.7	18.4	1691.3	1089.2	0.474
21	65.5	64.4	370	326.3	19.3	18.9	1739.9	1108.9	0.476
22	68.3	67.2	353.9	327.4	19.9	19.6	1613.7	1124.9	0.475
23	71.2	70.1	339	327.9	20.5	20.2	1655.5	1140.8	0.478
24	74.0	73.0	348.2	328.7	21.1	20.8	1623.7	1155.1	0.476
25	76.7	75.7	365.2	330	21.6	21.3	1786.1	1171.7	0.478
26	79.3	78.4	378.4	331.7	22.1	21.8	1957.8	1190.1	0.481
27	81.8	81.0	389.8	333.5	22.6	22.3	2074	1209.2	0.482
28	84.5	83.6	376.7	334.9	23.0	22.8	2171.6	1228.6	0.484
29	87.0	86.2	390.7	336.6	23.5	23.3	2113.8	1246.6	0.482
30	89.6	88.8	382.7	337.9	23.9	23.7	2149.1	1264.3	0.484
31	92.1	91.3	394.3	339.5	24.4	24.2	2091.4	1280.6	0.482
32	94.7	94.0	375.9	340.5	24.8	24.7	2221.9	1297.8	0.485



### CALCOLO DELLE VS30

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato, è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la velocità di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (“Norme tecniche per le costruzioni”):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove  $H_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

Utilizzando la formula sopra riportata, si ottiene il seguente valore (quota iniziale = - 1 metro dal piano campagna attuale): **Vs30 = 340 m/s** a cui corrisponde, la categoria di **suolo di fondazione di tipo C**.

Tabella : Categorie di suolo di fondazione(D.M. 14-09-2005; D.M. 14-01-2008)

CAT.	DESCRIZIONE PROFILO STRATIGRAFICO	Vs 30 (m/s)
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.	> 800
<b>B</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 graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	180-360
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180
<b>E</b>	E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).	

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





Dir.Gen.dellePoliticheTerritorialeAmbientali  
**SERVIZIOSISMICOREGIONALE**

DITTAESECUTRICE: **METHODO** s.r.l.  
modelli e tecnologie per la geologia e l'ambiente

DATAESECUZIONE: Ottobre2006

UNIONE EUROPEA



Tavolan°:

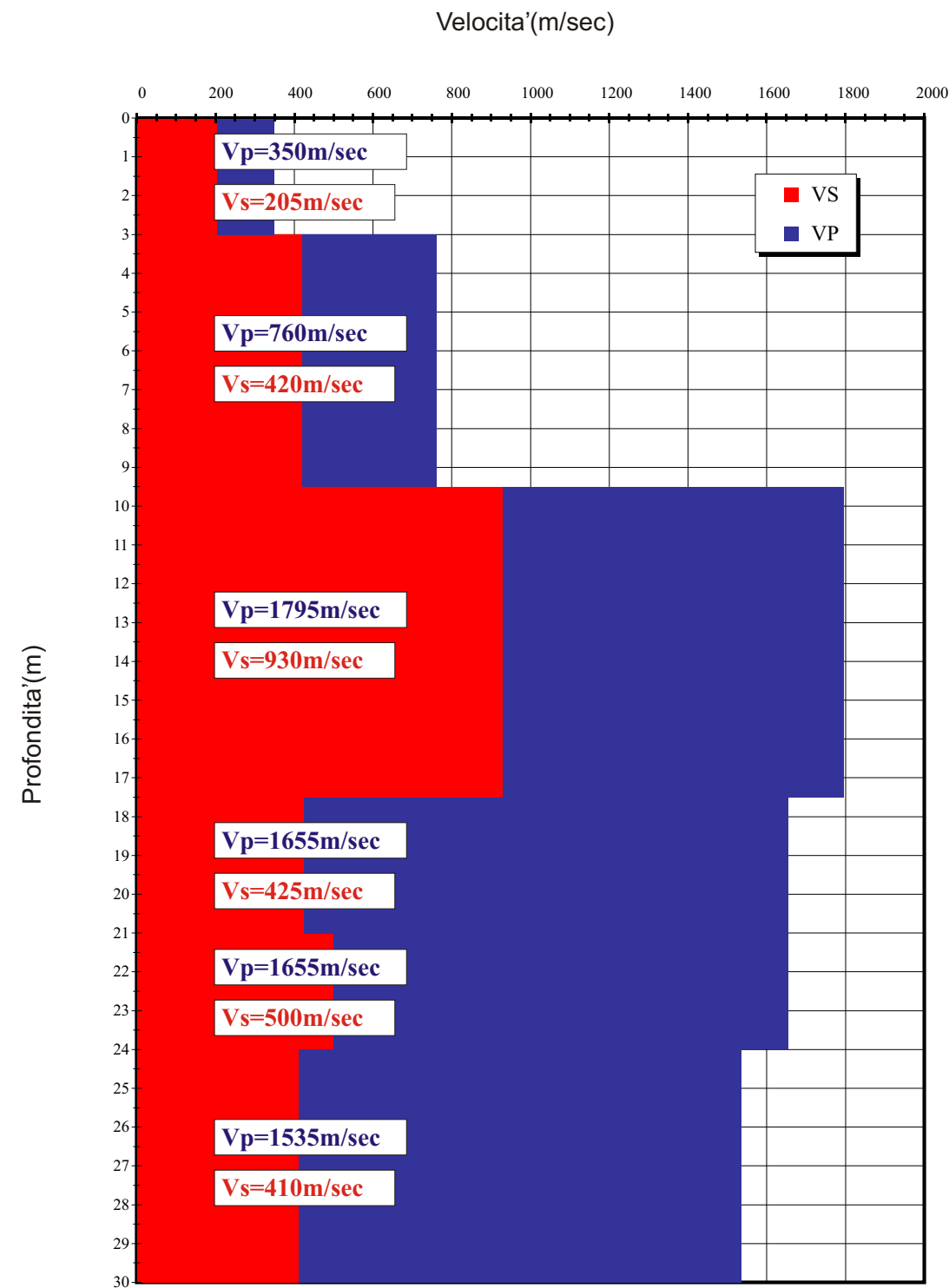
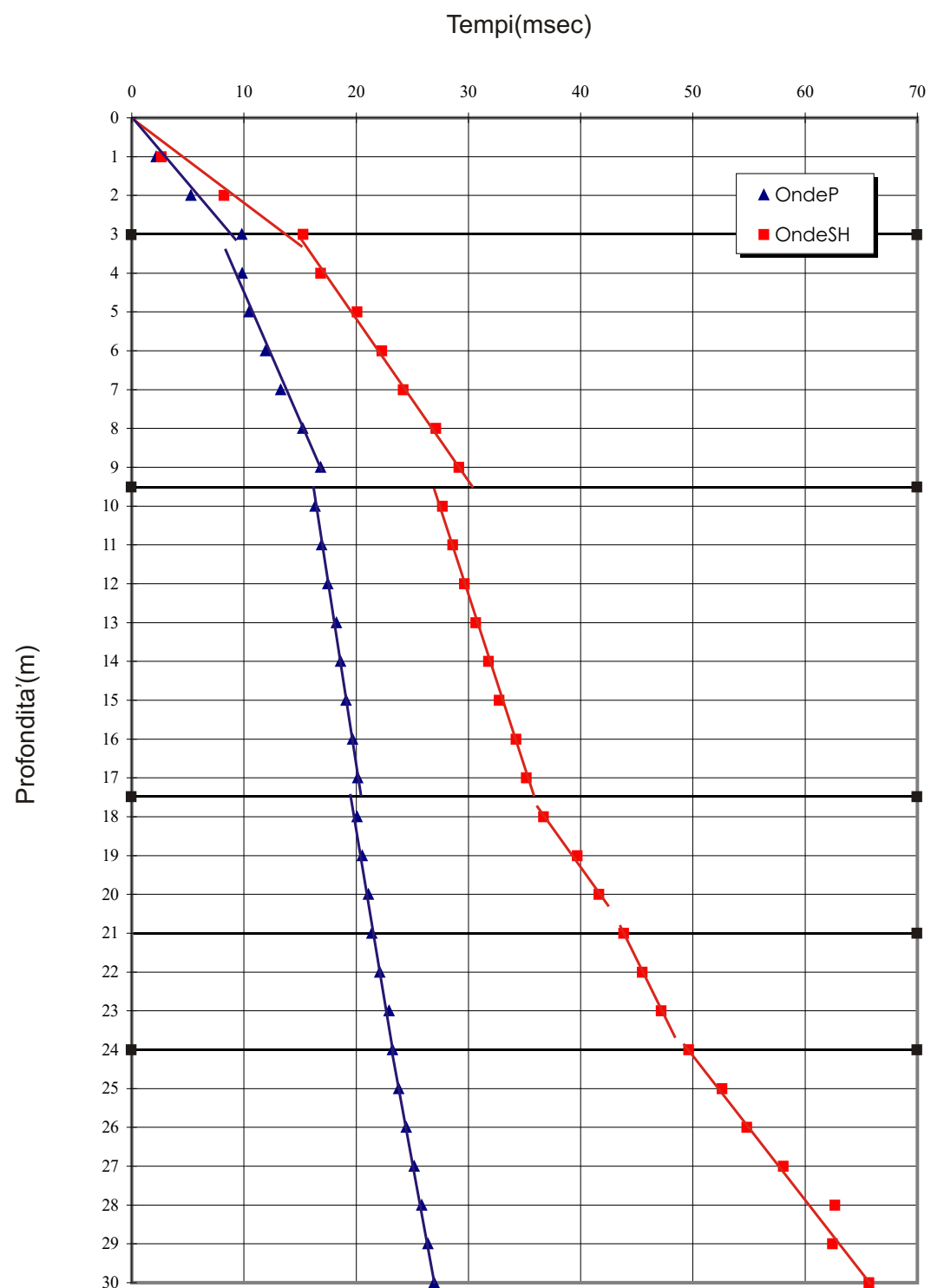
21

Programma: **DOCUP**

Comune: **RosignanoMarittimo(LI)**

Localita': **Morelline**

**DH4**





Dir.Gen.dellePoliticheTerritorialiAmbientali  
**SERVIZIOSISMICOREGIONALE**

DITAESECUTRICE: **METHODO** s.r.l.  
modelli e tecnologie per la geologia e l'ambiente

DATAESECUZIONE: Ottobre2006

UNIONE EUROPEA



Tavolan°:

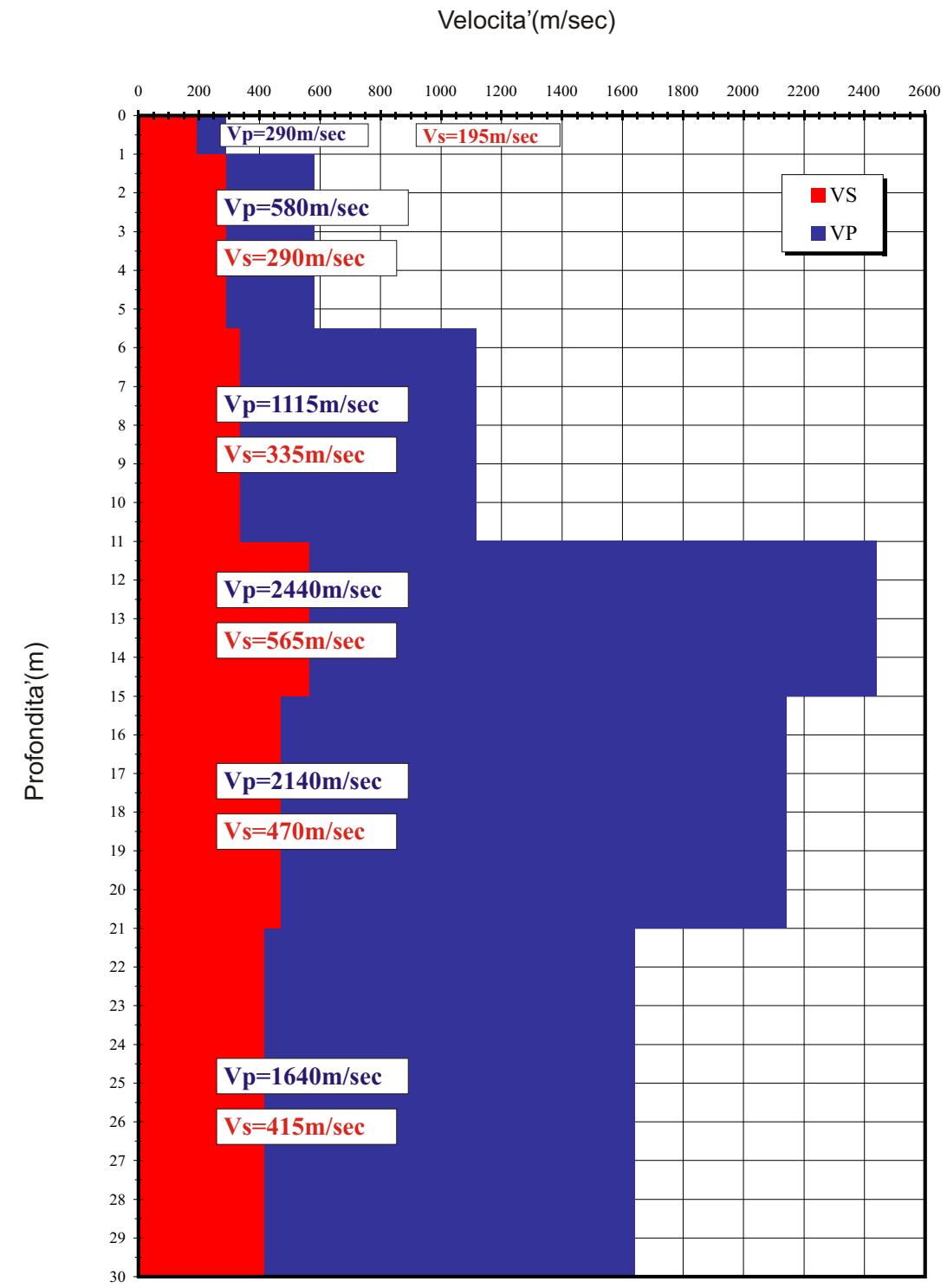
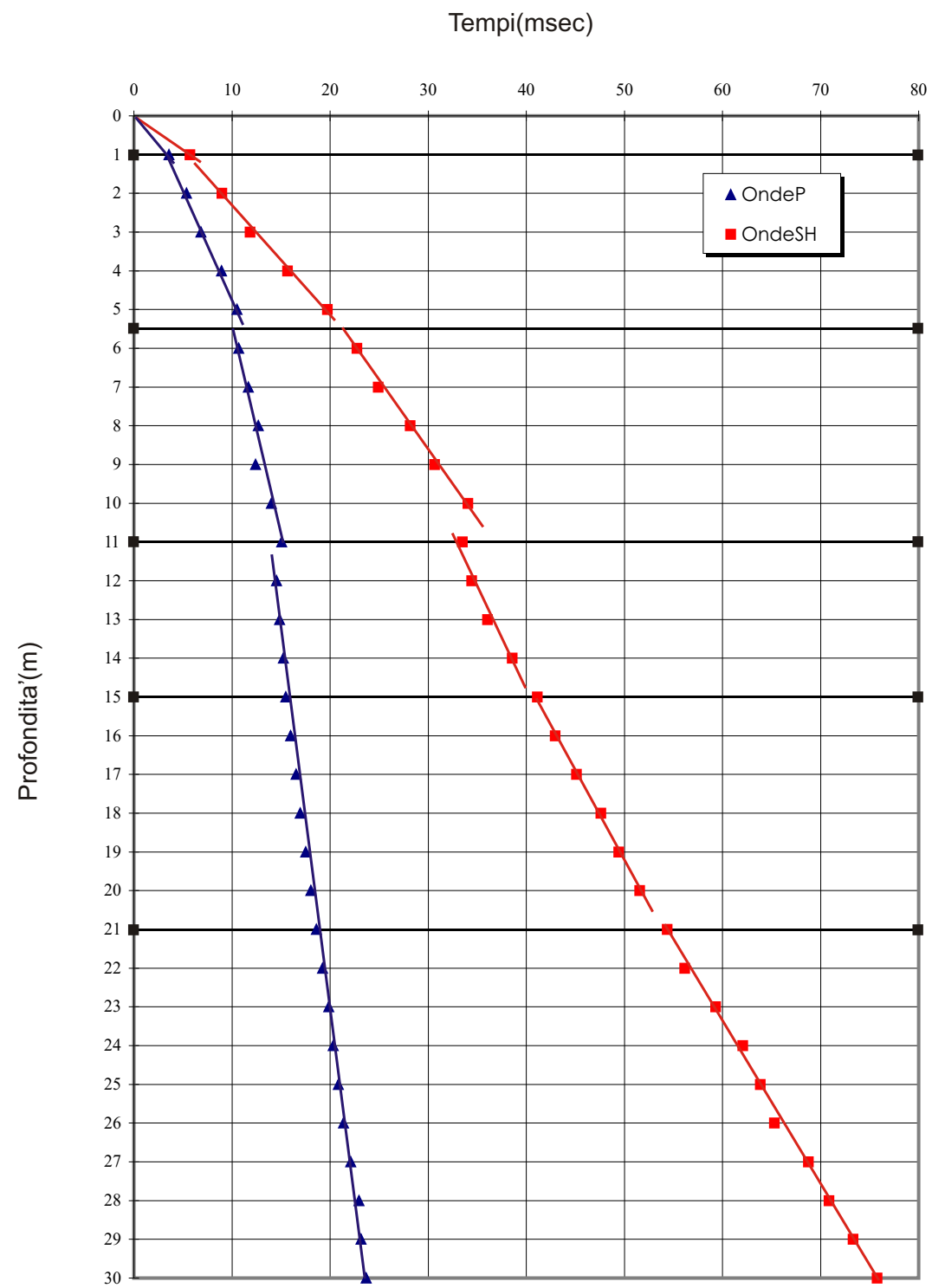
2L

Programma: **DOCUP**

Comune: **RosignanoMarittimo(LI)**

Localita': **Vada**

**DH5**






**So.Ge.T. s.n.c.**

Società di geofisica  
www.sogetsnc.eu - info@sogetsnc.eu  
Tel. 0583057223

N°08012011 – Solvay Chimica Italia SPA

<b>Rapporto n°08012011</b>			
Committente		Solvay Chimica Italia SPA	
Tipo di indagine		Indagini sismiche: Down Hole	
Cantiere		Stabilimento Solvay Rosignano	
Data misure	esecuzione	28 luglio 2011	
Data rapporto	emissione	1 agosto 2011	
		<p><b>Coordinate</b> N 43° 23,182' E 10° 26,734'</p>	
Redazione		Verifica	
Dott. Alessandro Bianchi <small>So.Ge.T. di Sartini S., Bianchi A., SNC</small>		Dott. Simone Sartini <small>So.Ge.T. di Sartini S., Bianchi A., SNC</small>	

## 1) Scopo dell'indagine

L'indagine in oggetto è stata commissionata e pertanto progettata per la determinazione del parametro Vs30 dei terreni presenti nell'area dello Stabilimento Solvay di Rosignano.

## 2) Prova Down-Hole (DH)

### 2.1) Introduzione al metodo

Lo scopo della prova è quello di determinare le velocità di propagazione delle Onde P ed SH in un terreno studiando i tempi di transito fra due punti, la sorgente posta in superficie ed un ricevitore posto ad una certa profondità. L'ipotesi di base di tale prova è che il terreno sia stratificato orizzontalmente e che per ogni strato il comportamento del terreno possa essere considerato elastico, omogeneo ed isotropo. La prova viene eseguita energizzando in superficie mediante sorgenti di onde compressive (P) o di taglio (SH) e misurando i tempi di arrivo delle onde generate ponendo, ogni volta, il sistema di ricezione a profondità differenti all'interno del perforo opportunamente attrezzato.

Come sistema di energizzazione si è impiegata una mazza da 8 Kg incidente su una piastra per generare le onde di compressione mentre per generare le onde di taglio si è utilizzato un parallelepipedo colpito lateralmente da una mazza e appesantito mediante un carico (automezzo) al fine di migliorarne l'accoppiamento con il terreno.

Come sistema di ricezione si è impiegato un sistema costituito da due ricevitori triassiali distanziati 1,0 m calato a differenti profondità nel perforo ed acquisendo il segnale ogni metro. Il sistema costituito dai due ricevitori è stato calato mediante aste a sezione quadrata che hanno consentito di mantenere il sistema stesso sempre nella posizione di acquisizione migliore. In Tav. 2 e 3 sono riportati rispettivamente i sismogrammi relativi alle Onde P ed SH ed i risultati della prova.

Il sismografo utilizzato per le misure sismiche è un SUMMIT™ Compact, uno strumento della DMT (Germania), a 24 canali e dinamica del convertitore analogico digitale a 24 Bit (Tecnologia Delta Sigma).



## 2.2) Risultati

Il risultato finale di una prova Down-Hole è un grafico che esprime la variazione della velocità delle onde sismiche con la profondità. In Tav.3 sono riportati gli elaborati relativi, ovvero le dromocrone ed i valori delle velocità degli strati.

### Prova Down Hole:

Tempi di arrivo corretti			
Onde SH		Onde P	
1	0.0033	1	0.0013
2	0.0059	2	0.0020
3	0.0078	3	0.0033
4	0.0098	4	0.0040
5	0.0105	5	0.0050
6	0.0114	6	0.0058
7	0.0134	7	0.0063
8	0.0185	8	0.0070
9	0.0233	9	0.0072
10	0.0256	10	0.0082
11	0.0299	11	0.0075
12	0.0326	12	0.0083
13	0.0373	13	0.0088
14	0.0411	14	0.0099
15	0.0439	15	0.0106
16	0.0481	16	0.0110
17	0.0500	17	0.0114
18	0.0527	18	0.0120
19	0.0575	19	0.0128
20	0.0595	20	0.0132
21	0.0625	21	0.0140
22	0.0647	22	0.0145
23	0.0681	23	0.0151
24	0.0704	24	0.0156
25	0.0734	25	0.0161
26	0.0760	26	0.0168
27	0.0805	27	0.0174
28	0.0824	28	0.0178
29	0.0854	29	0.0183
30	0.0888	30	0.0192

Profondità (m dal p.c.)	Vel Onde SH (m/sec)
0.00-7.00	616.00
7.00-16.00	266.00
16.00-30.00	343.00
Profondità (m dal p.c.)	Vel Onde P (m/sec)
0.00-7.00	1145.00
7.00-16.00	1851.00
16.00-30.00	1721.00

### 3) Proposta di interpretazione dei risultati

Ai sensi della nuova normativa antisismica nazionale (D.M. 14 Gennaio 2008 Norme Tecniche per le costruzioni) è necessario procedere alla determinazione del parametro Vs30, che esprime la velocità media delle onde elastiche di taglio (onde S appunto) nei primi 30 metri di profondità al disotto del piano di fondazione. In particolare, per Vs30, si intende la media pesata della velocità delle onde S determinata come di seguito:

$$V_{S_{30}} = 30 \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

Una volta noto il valore della Vs30 è possibile collocare il terreno interessato dall'intervento all'interno di una delle categorie di suolo previste dalla legge in oggetto e riportate di seguito.

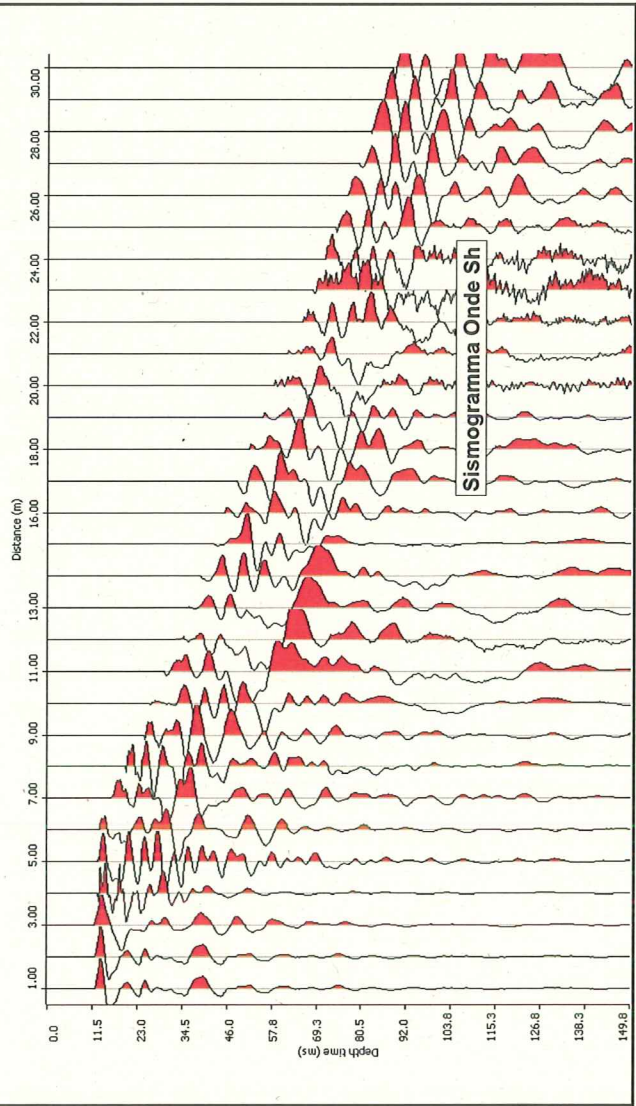
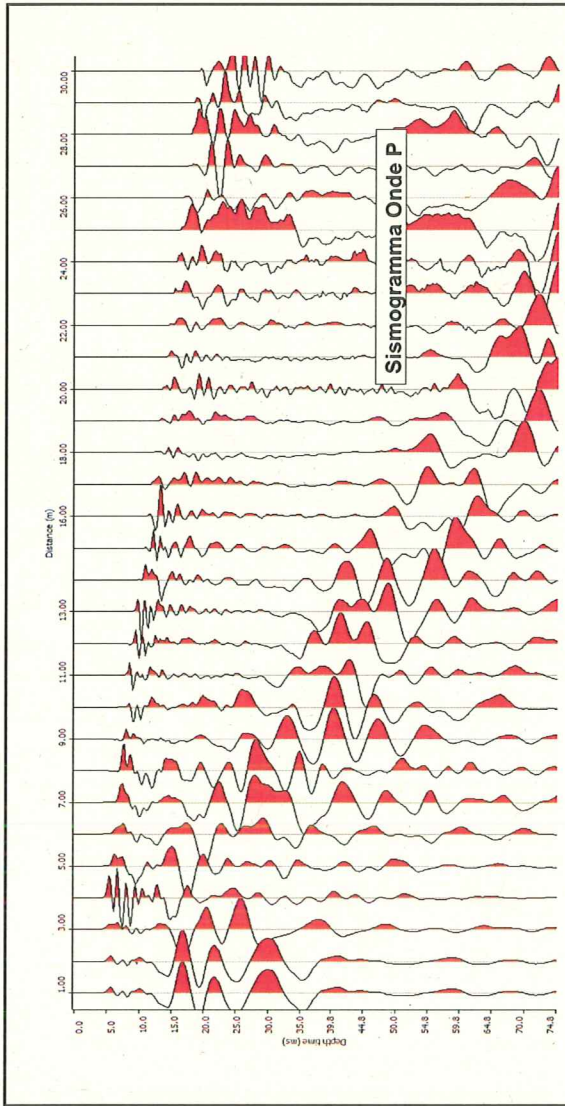
Suolo di fondazione	Vs <sub>30</sub>	N <sub>spt</sub> - Cu
<b>A</b> Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs,30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	> 800 m/s	
<b>B</b> Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).	> 360 m/s < 800 m/s	N <sub>spt</sub> > 50 Cu > 250 kPa
<b>C</b> Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).	> 180 m/s < 360 m/s	15 < N <sub>spt</sub> < 50 70 < Cu < 250 kPa
<b>D</b> Depositi di terreni a grana grossa scarsamente 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 Vs,30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT,30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu,30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).	< 180 m/s	N <sub>spt</sub> < 15 Cu < 70 kPa
<b>E</b> Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).		
<b>S<sub>1</sub></b> Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs,30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < cu,30 < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	< 100 m/s	
<b>S<sub>2</sub></b> Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.		

A conclusione di quanto fin qui scritto, si evidenzia come le analisi eseguite conducano a valori della velocità media delle onde elastiche di taglio nei primi 30 metri di profondità al di sotto del piano di campagna pari a circa 348 m/s che corrisponde, secondo il parametro  $V_s$ , ad un suolo di fondazione classificato come di seguito indicato:

## CATEGORIA C

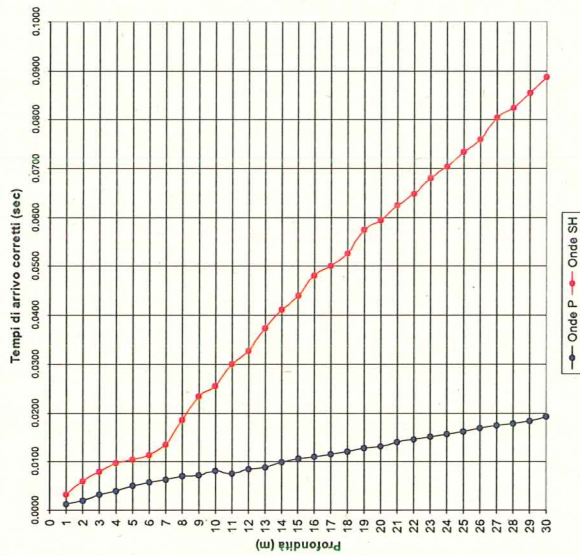
**Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti** con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT,30 < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu,30 < 250$  kPa nei terreni a grana fina).



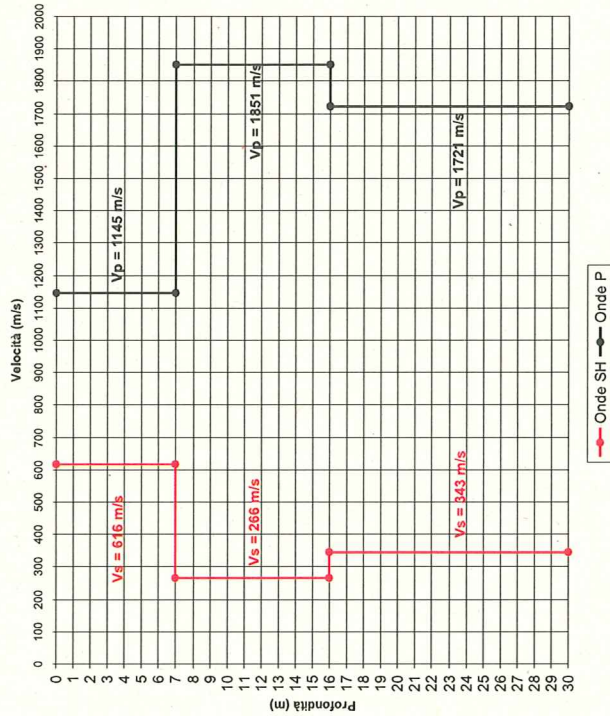


<b>So.Ge.T.</b> Società di Geofisica	Via per S. Alessio, 1723/C 55100 S. Alessio (Lucca) P.I./C.F. 02115540466		Tel. e Fax. +39 583 343380 www.sogetsnc.eu - e.mail: info@sogetsnc.eu
	Oggetto: Sismogrammi		
Comittente: Solvay Chimica Italia SPA		Data: 01 agosto 2011	
Comune: Rosignano Solway		Indirizzo: Stabilimento Solvay Rosignano	
Formato: A3		TAV. N° 2	

### Dromocrone



### Velocità degli strati



**So.Ge.T.**  
 Società di Geofisica  
 Via per S. Alessio, 1733/C  
 55100 S. Alessio (Lucca)  
 P.I./C.F. 02115540466  
 Tel. e Fax. +39 583 343380  
 www.sogetsnc.eu - e.mail: mio@sogetsnc.eu

Committente: Solvay Chimica Italia SPA	Data: 01 agosto 2011
Comune: Rosignano Solway	Indirizzo: Stabilimento Solway Rosignano Livorno
Formato: A3	TAV. N° 3

**Studio Associato**

di Massimo Elitropi - geologo  
Renato Caldarelli - geologo  
Alberto Frassoni - ingegnere  
Roberto Meli - geologo  
Lucio Valenti - geologo

**PE 467/12**

REL. 1-07/12/2010

**Carefin S.r.l***Castiglioncello (LI)***Sostituzione edilizia per la realizzazione di un nuovo edificio  
di civile abitazione plurifamiliare*****Relazione geologico - tecnica***

La California, 7 dicembre 2011





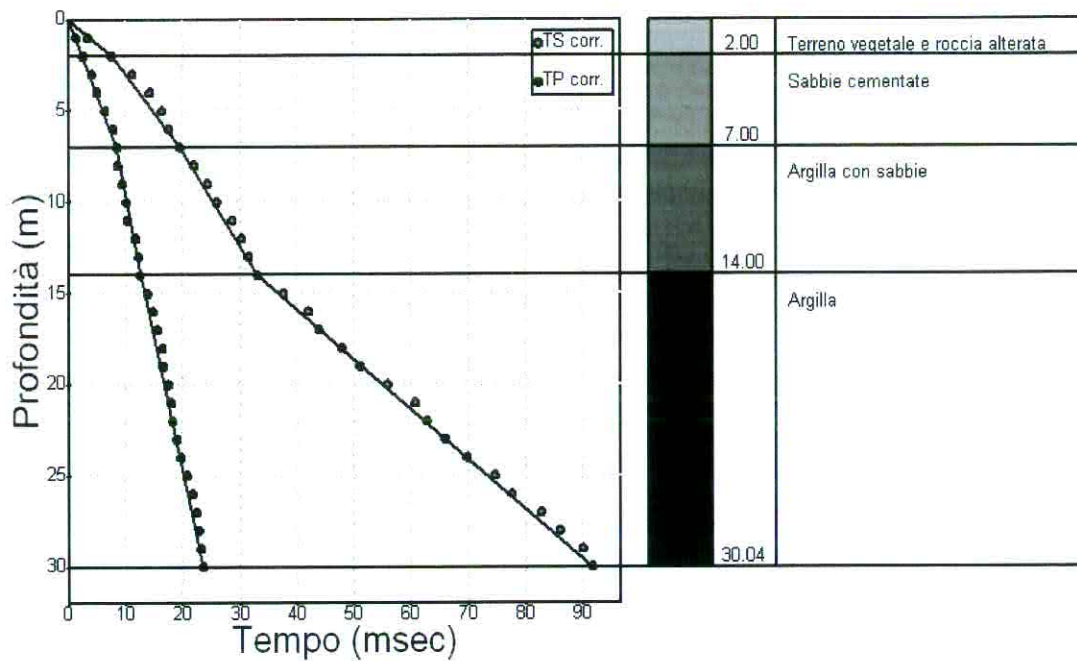


Fig. 7: Dromocrona e Correlazione Sismostratigrafica

$$V_{S30} = \frac{30m}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} = [327]m/s$$

Descrizione (-)	Profondità (m)	Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)	g medio (kN/mc)	$\nu$ medio	G medio (MPa)	Ed medio (MPa)	E medio (MPa)	Ev medio (MPa)
Terreno vegetale e roccia alterata	2.00	543.48	183.82	19.06	0.44	65.68	574.07	188.54	486.51
Sabbie cementate	7.00	939.85	507.61	21.74	0.29	571.35	1958.63	1478.74	1196.83
Argilla con sabbie	14.00	1876.68	543.48	21.71	0.45	654.02	7798.43	1902.2	6926.4
Argilla	30.04	1479.7	275.22	18.68	0.48	144.32	4171.73	427.8	3979.3

Tabella 3 – Sismostrati – Dati interpretazione con metodo diretto

Il valore di velocità colloca i terreni in **categoria C** dell'O.P.C.M. n°3274 del 20.03.2003 e successive modificazioni (Tab. 4).

Categorie Suoli di fondazione	
A	$V_{S30} > 800m/s$
B	$360m/s < V_{S30} < 800m/s$
<b>C</b>	<b><math>180m/s &lt; V_{S30} &lt; 360m/s</math></b>
D	$V_{S30} < 180m/s$
E	Alluvioni di spessore tra 5 e 20 m con $V_{S30}$ simili a C e D su substrato rigido con $V_s > 800m/s$
S1	$V_{S30} < 100m/s$
S2	Depositi di terreni soggetti a liquefazione non classificabile nei tipi precedenti

<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine mediamente 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/s e 360 m/s.
----------	---

Tabella 4 – Categoria di sottosuolo

**INDAGINE DI SISMICA IN FORO  
TIPO DOWN HOLE CON ONDE P ED SH**

**Oggetto: realizzazione nuovo impianto ITINIRIS**

**Committente: Società Chimica Italia S.p.a.**

**D. L.: Dott. Geol. Massimo Melani**

**Ubicazione: Stabilimento Solvay**

**Comune di Rosignano Marittimo (LI)**

**RELAZIONE GENERALE**

**04/12/2015**

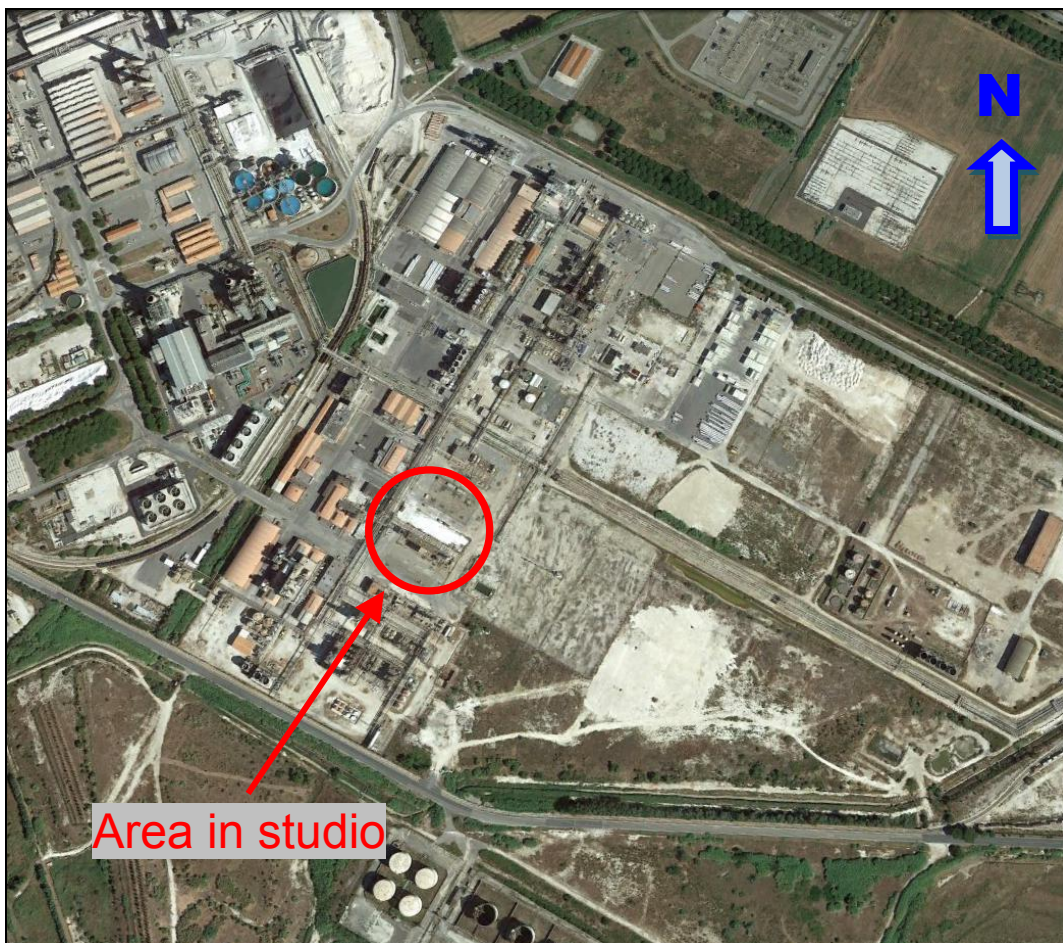
## PREMESSA

In data 03/12/2015 su incarico della Società Chimica Italia S.p.a. e con la D.L. del Dott. Geol. Massimo Melani, è stata eseguita una indagine geofisica di sismica in foro mediante il metodo down-hole, in un'area ubicata all'interno dello stabilimento della Solvay nel Comune di Rosignano Marittimo dove è in progetto la realizzazione di nuovo impianto ITINIRIS (fig. 1).

Il foro utilizzato, è risultato accessibile fino alla profondità di 30 m. dal piano campagna.

Di seguito vengono esposte le basi teoriche della metodologia adottata, i risultati ottenuti e le seguenti informazioni e documenti:

- sismogrammi integrali in onde P ed SH ricavati dalle singole acquisizioni;
- tabelle dei tempi di arrivo misurati e corretti delle onde P e delle onde SH;
- tavola delle dromocrone relative ai tempi di arrivo corretti
- diagramma delle velocità intervallari onde P e onde SH / profondità.
- diagramma del coefficiente di Poisson calcolato dalle velocità riscontrate
- indicazione della categoria di suolo di fondazione
- tabella riepilogativa dati down-hole



**Ubicazione indagine**

## **PRINCIPI TEORICI DELLE TECNICHE ADOTTATE**

### **INDAGINE SISMICA IN FORO – DOWN HOLE**

Le prove sismiche in foro di tipo down-hole vengono realizzate, in fori di sondaggio appositamente attrezzati con tubo in PVC cementato all'esterno, con l'uso di geofoni da foro di tipo tridimensionale ed opportuni sistemi di energizzazione.

La prova consiste nel produrre, sulla superficie del terreno, sollecitazioni verticali per la generazione di onde di compressione (P) ed orizzontali per onde di taglio polarizzate orizzontalmente (SH) mediante una sorgente meccanica, e nel registrare l'istante di primo arrivo del treno d'onde ad un sistema composto da una coppia di geofoni tridimensionali, alloggiati a profondità note nel foro di sondaggio. Conosciuta la distanza tra sorgente e ricevitori e determinato il tempo di propagazione, è possibile stimare in maniera accurata la distribuzione delle velocità sismiche (P ed SH) in corrispondenza della verticale di misura.

L'apparecchiatura utilizzata per questo tipo di prove si compone delle seguenti parti:

- sistema energizzante;
- sistema di ricezione;
- trigger;
- sistema di acquisizione dati.

I sistemi energizzanti (sia per la generazione delle onde P sia delle onde SH) sono in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali, ovvero con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione e/o di taglio polarizzate su piani orizzontali (o verticali).

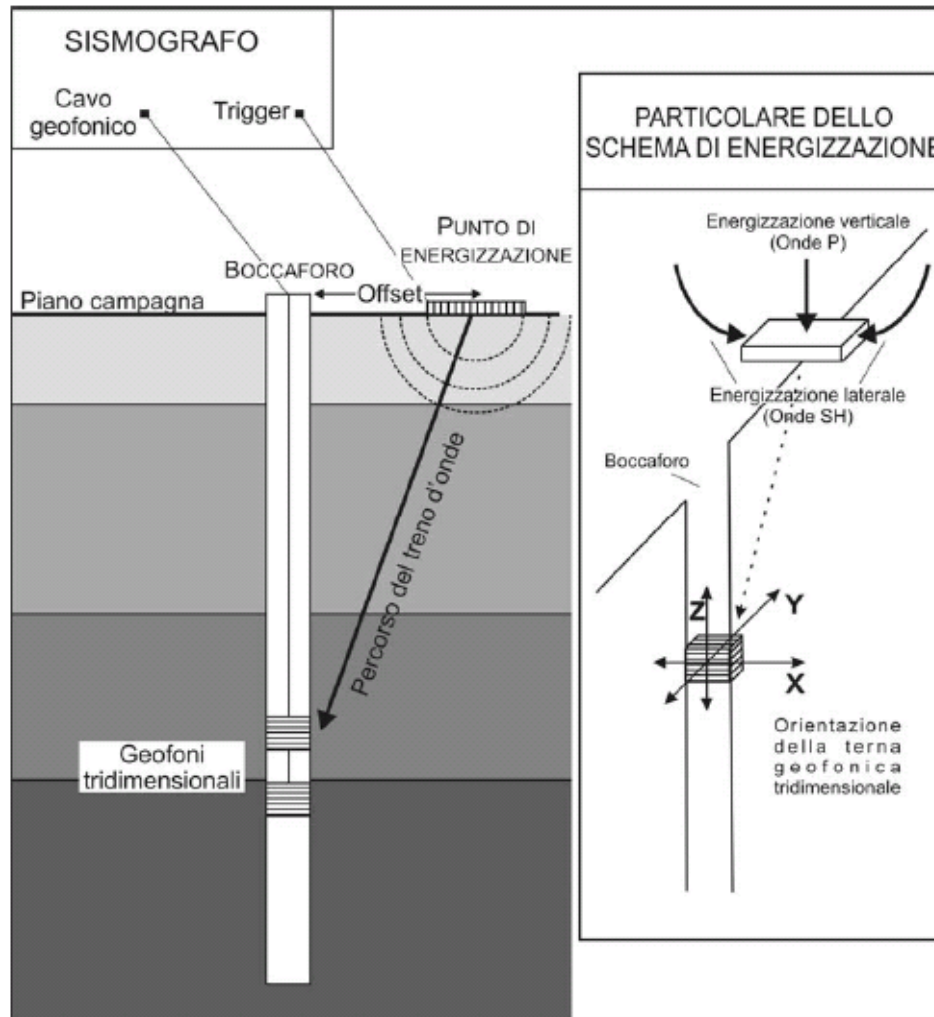
Come sorgente per le onde P è stata utilizzata una mazza del peso di 10 Kg usata per colpire una piastra metallica poggiata sul terreno.

Come sorgente per le onde SH è stato utilizzato un parallelepipedo (trave in legno) di forma tale da poter essere colpito lateralmente con una mazza del peso di circa 10 Kg.

Il parallelepipedo è stato gravato di un carico statico addizionale in modo che potesse rimanere aderente al terreno sia al momento in cui veniva colpito, sia successivamente, affinché l'energia prodotta non venisse in parte dispersa.



Con questo dispositivo è stato possibile generare essenzialmente delle onde elastiche di taglio polarizzate orizzontalmente, con uniformità sia nella direzione di propagazione che nella polarizzazione e con una generazione di onde P trascurabile.



Schema semplificato indagine down-hole (Istruzioni Tecniche Regione Toscana)

Il sistema di ricezione si compone di due ricevitori tridimensionali, ciascuno dei quali è costituito da tre trasduttori di velocità orientati secondo le componenti di una terna cartesiana ortogonale e collocati all'interno di un unico contenitore.

I ricevitori tridimensionali sono collegati tra loro e posizionati a distanza di un metro l'uno dall'altro con orientamento parallelo tra i vari sensori.

Il sistema previsto per mantenere costante la distanza e per garantire l'isorientazione dei geofoni è dotato di un giunto centrale in gomma che funge da smorzatore, in modo da evitare qualunque interazione sismica tra i due sensori.

Quattro pistoni pneumatici azionati dalla superficie con aria in pressione a 8 bar garantiscono un ottimo accoppiamento in foro tra i ricevitori e le pareti di rivestimento. Per l'orientazione del sistema è stata usata una batteria di aste in p.v.c. calata nel foro insieme al geofono a cui era collegata solidalmente.

Il trigger consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la sorgente viene attivata, producendo un impulso che viene inviato ad 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.

Il sistema di acquisizione dati è un sismografo marca AMBROGEO, modello ECHO 12/24, sistema multicanale (24 canali) in grado di registrare su ciascun canale in forma digitale le forme d'onda e di conservarle su memoria di massa dinamica a 16 bit.

Esso è collegato a ciascuno dei geofoni tridimensionali in foro ed al sensore del trigger e consente quindi di registrare in forma numerica e visualizzare come tracce su un apposito monitor le oscillazioni a partire dall'impulso inviato dal trigger.

La strumentazione prevede la funzione "inversione di polarità", poiché nella prova è necessario eseguire la differenza tra traccia relativa alla battuta destra e quella alla battuta sinistra.

La prova down-hole si è sviluppa secondo le seguenti fasi:

1. Dopo avere predisposto un opportuno piano d'appoggio la sorgente per onde SH , è stata collocata sulla superficie in prossimità del foro ad una distanza di 4,80 m, orientata perpendicolarmente al raggio uscente dal foro e gravata con un carico statico addizionale (automezzo). Per la produzione di onde P abbiamo energizzato con massa battente ad impatto verticale mentre per la produzione di onde SH la sorgente (parallelepipedo, trave) è stata percossa lateralmente, generando onde di taglio polarizzate orizzontalmente.

2. Il sistema, costituito dai due ricevitori (geofoni tridimensionali) equidistanti e con costante orientamento relativo viene calato alla profondità desiderata collegandolo alla superficie mediante un sistema di aste che ne consente l'orientamento assoluto dalla superficie;



3. Il sistema dei ricevitori viene orientato dalla superficie in modo tale che uno dei trasduttori orizzontali di ciascun ricevitore sia orientato parallelamente all'asse della sorgente e quindi alla direzione di polarizzazione delle onde SH in modo da massimizzarne l'ampiezza di ricezione ai ricevitori; Quindi i ricevitori vengono fissati alle pareti del tubo.

4. Viene attivata la sorgente, producendo una sollecitazione che, innescando il trigger fa partire la registrazione, l'onda generata si propaga dalla sorgente verso i ricevitori con oscillazioni di tipo P; in seguito (con energizzazione separata e distinta) si generano oscillazioni di tipo SH, dirette perpendicolarmente alla direzione di percussione e polarizzate sul piano orizzontale.

5. E' stata ripetuta la prova ad una profondità inferiore, abbassando di 1 m i ricevitori, e riprodotta la sollecitazione.

Ogni misurazione è stata registrata in forma digitale con il sismografo Ambrogeo ECHO 12/24 con campionamento digitale con dinamica a 16 bit ed intervallo di campionamento di 130 microsecondi per una durata di 400 millisecondi.

Di seguito si riporta lo schema operativo ed i collegamenti attivi con il sismografo per le varie acquisizioni.

Canale n°1: geofono superiore – trasduttore verticale (z)

Canale n°2: geofono inferiore – trasduttore verticale (z)

Canale n°3: geofono superiore – trasduttore orizzontale (y)

Canale n°4: geofono inferiore – trasduttore orizzontale (y)

Canale n°5: geofono superiore – trasduttore orizzontale (x)

Canale n°6: geofono inferiore – trasduttore orizzontale (x)

Canale n°7: geofono spia

Canale n°8-9-10-11-12: nulli

## **Risultati**

L'indagine Down Hole, è stata condotta a partire dal piano campagna, fino ad una profondità di 30 m. La prova si è svolta senza particolari problemi, data la bassa rumorosità di fondo e l'abbondanza di energia utilizzata.

I dati misurati sono di buona qualità, e da questi è stato possibile ricavare le velocità intervallari che caratterizzano i primi metri di sottosuolo, nonché la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri che risulta uguale a: **Vs30 = 362 m/s** (quota iniziale = piano campagna attuale) a cui corrisponde, la categoria di **suolo di fondazione di tipo B**

Dai valori delle velocità ottenuti sono stati inoltre calcolati i valori del Coefficiente di Poisson attraverso la seguente espressione:

$$\nu = [1/2 (V_p/V_s)^2 - 1] / ((V_p/V_s)^2 - 1)$$

Per il Modulo di Young e il modulo di deformazione a Taglio essendo questi funzione della densità del materiale, per noi non nota, sono state riportate di seguito le formule per poterli calcolare.

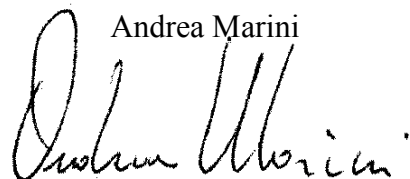
$$\text{Modulo di Taglio (kg/cm}^2\text{)} G = \gamma V_s^2$$

$$\text{Modulo di Young (kg/cm}^2\text{)} E = 2 \gamma V_s^2 (1 + \nu)$$

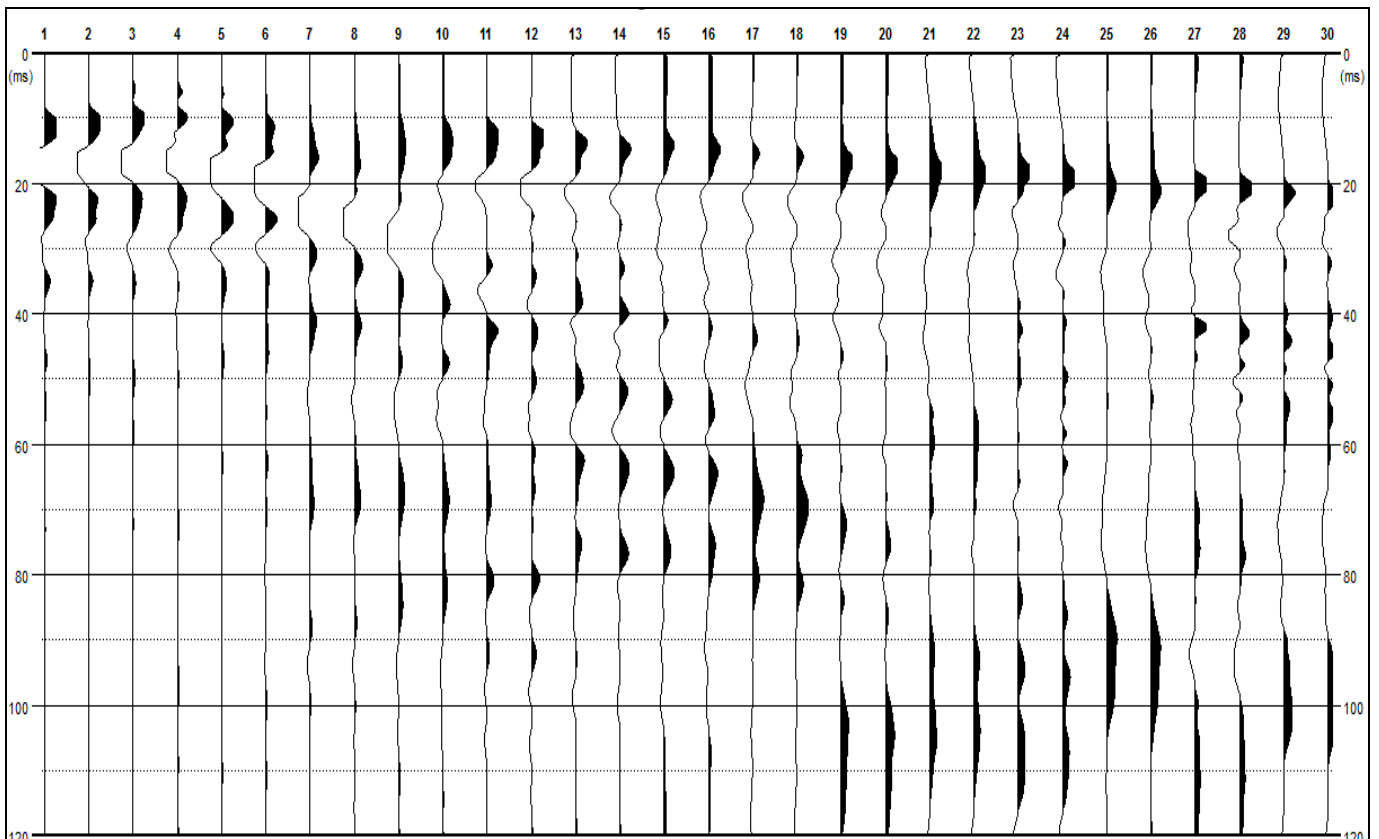
dove:  $\gamma$ : densità del materiale (kg/dm<sup>3</sup>),  $V_p$ : velocità onde compressionali (m/sec),  $V_s$ : velocità onde di taglio (m/sec)

GeoEcho s.n.c.

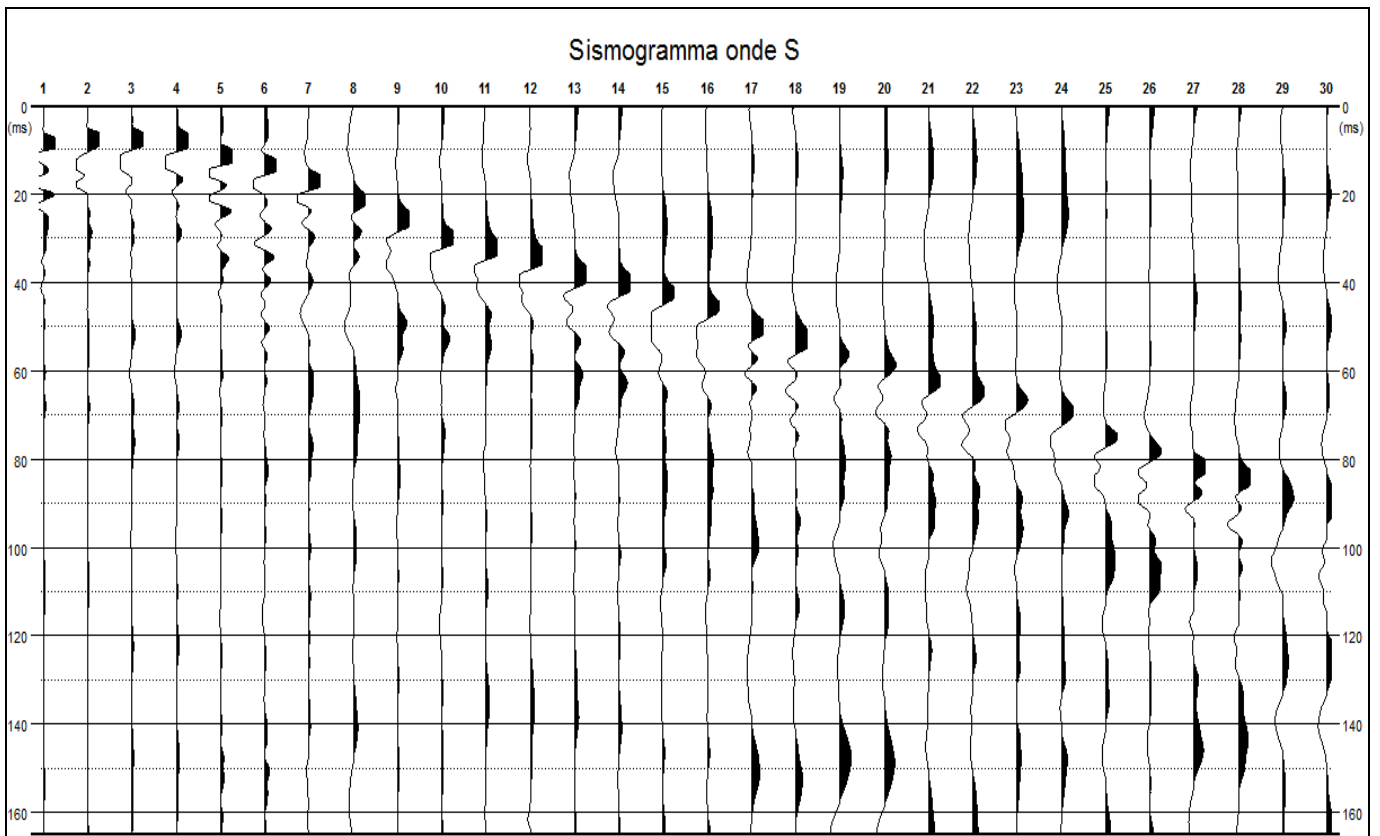
Andrea Marini



### Sismogramma onde P



### Sismogramma onde SH

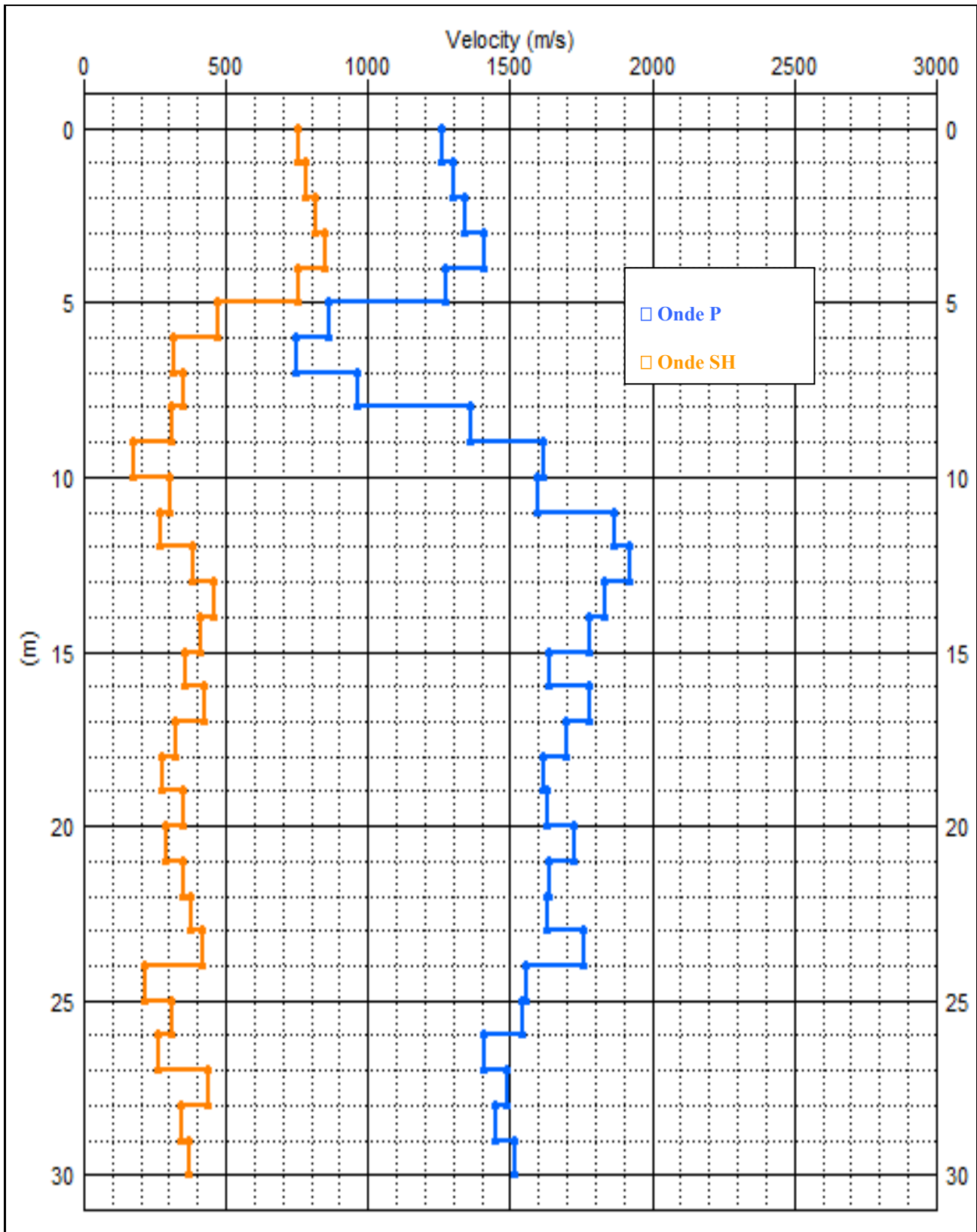


<b>Tabella Tempi di arrivo</b>					
Ubicazione:	Stabilimento Solvay nel Comune di Rosignano Marittimo (LI)				
DOWN-HOLE	<b>indagine eseguita nel foro del sondaggio</b>				
	Dist. Shot-foro m:	4.80	Dist. Shot-foro m:	4.80	
		<b>ONDE SH</b>		<b>ONDE P</b>	
m dal p.c.	Tempi obliqui (ms)	Tempi verticali (ms.)	Tempi obliqui (ms)	Tempi verticali (ms)	
0	0.0	0.0	0.0	0.0	
1	6.5	1.3	3.9	0.8	
2	6.8	2.6	4.1	1.6	
3	7.2	3.8	4.4	2.3	
4	7.8	5.0	4.7	3.0	
5	8.8	6.3	5.3	3.8	
6	10.8	8.4	6.4	5.0	
7	14.1	11.6	7.6	6.3	
8	16.9	14.5	8.5	7.3	
9	20.1	17.7	9.1	8.1	
10	25.9	23.4	9.6	8.7	
11	29.1	26.7	10.2	9.3	
12	32.8	30.4	10.6	9.8	
13	35.2	33.1	11.0	10.4	
14	37.2	35.2	11.5	10.9	
15	39.5	37.6	12.0	11.5	
16	42.2	40.5	12.6	12.1	
17	44.5	42.8	13.1	12.6	
18	47.5	45.9	13.7	13.2	
19	51.1	49.6	14.3	13.8	
20	53.9	52.4	14.9	14.5	
21	57.3	55.9	15.4	15.0	
22	60.2	58.8	16.0	15.6	
23	62.7	61.4	16.6	16.3	
24	65.1	63.8	17.2	16.8	
25	69.6	68.4	17.8	17.5	
26	72.8	71.6	17.0	16.7	
27	76.6	75.4	17.7	17.4	
28	78.8	77.7	18.4	18.1	
29	81.7	80.6	19.1	18.8	
30	84.4	83.3	19.7	19.5	

## Dromocrone

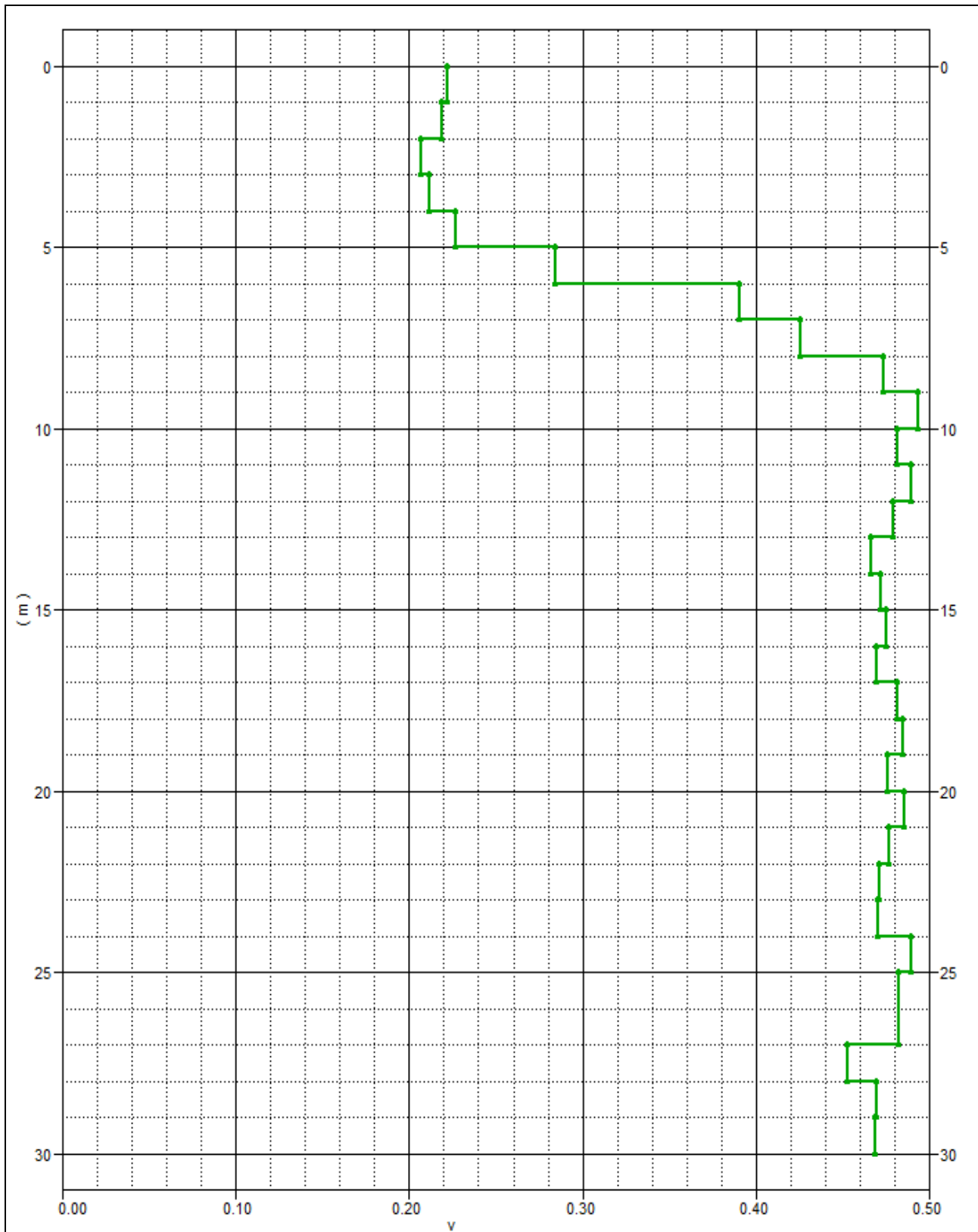


## Velocità intervallari





## Coefficiente di Poisson



## Tabella riassuntiva

Depth	Ts Pick	Ts Vertical	Vs Interval	Tp Pick	Tp Vertical	Vp Interval	Poisson's Ratio
0	0.0	0.0	---	0.0	0.0	---	---
1	6.5	1.3	752	3.9	0.8	1258	0.22
2	6.8	2.6	782	4.1	1.6	1304	0.22
3	7.2	3.8	814	4.4	2.3	1339	0.21
4	7.8	5.0	851	4.7	3.0	1407	0.21
5	8.8	6.3	757	5.3	3.8	1275	0.23
6	10.8	8.4	476	6.4	5.0	864	0.28
7	14.1	11.6	319	7.6	6.3	751	0.39
8	16.9	14.5	349	8.5	7.3	965	0.43
9	20.1	17.7	309	9.1	8.1	1365	0.47
10	25.9	23.4	178	9.6	8.7	1618	0.49
11	29.1	26.7	302	10.2	9.3	1600	0.48
12	32.8	30.4	270	10.6	9.8	1870	0.49
13	35.2	33.1	383	11.0	10.4	1924	0.48
14	37.2	35.2	463	11.5	10.9	1834	0.47
15	39.5	37.6	414	12.0	11.5	1782	0.47
16	42.2	40.5	356	12.6	12.1	1637	0.48
17	44.5	42.8	427	13.1	12.6	1781	0.47
18	47.5	45.9	322	13.7	13.2	1699	0.48
19	51.1	49.6	277	14.3	13.8	1621	0.49
20	53.9	52.4	351	14.9	14.5	1629	0.48
21	57.3	55.9	289	15.4	15.0	1726	0.49
22	60.2	58.8	349	16.0	15.6	1641	0.48
23	62.7	61.4	382	16.6	16.3	1629	0.47
24	65.1	63.8	420	17.2	16.8	1763	0.47
25	69.6	68.4	219	17.8	17.5	1555	0.49
26	72.8	71.6	312	17.0	16.7	1543	0.48
27	76.6	75.4	262	17.7	17.4	1408	0.48
28	78.8	77.7	441	18.4	18.1	1491	0.45
29	81.7	80.6	346	19.1	18.8	1450	0.47
30	84.4	83.3	369	19.7	19.5	1518	0.47

### CALCOLO DELLE VS30

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato, è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la velocità di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (“Norme tecniche per le costruzioni”):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove  $H_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

Utilizzando la formula sopra riportata, si ottiene il seguente valore (quota iniziale = piano campagna attuale): **Vs30 = 362 m/s** a cui corrisponde, la categoria di **suolo di fondazione di tipo B**.


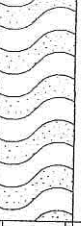



Tabella : Categorie di suolo di fondazione(D.M. 14-09-2005; D.M. 14-01-2008)

CAT.	DESCRIZIONE PROFILO STRATIGRAFICO	Vs 30 (m/s)
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.	> 800
<b>B</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 graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	180-360
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180
<b>E</b>	E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).	

- |             |   |
|-------------|---|
| 0.00- 1.75  | TERRENO DI RIporto<br>COSTITUITO DA UNA BRECCIA CALCAREA  |
| 1.75- 3.20  | ARGILLA DI COLOR MARRONE , MOLTO UMIDA<br>CHE SFUMA AD ARGILLA GRIGIA                               |
| 3.20- 3.80  | ARGILLA GRIGIA DI MEDIA CONSISTENZA   |
| 3.80- 12.00 | ARGILLA GRIGIA MOLTO CONSISTENTE TALORA<br>CON LIVELLI DECIMETRICI DI NATURA CALCAREA<br>INTERPOSTI |

Committente Comune di Rosignano M.mo  
 Cantiere Campo Sportivo di Castiglioncello  
 Località Via Aurelia\*  
 Data Inizio 10 Gennaio 2013      Data Fine 11 Gennaio 2013

SONDAGGIO      FOGLIO  
~~2~~  
 Il geologo  
 dr Melani

Stratigrafia	Descrizione	Profondita'	N° colpi SPT	Falda
	terreno di riporto a prevalente composizione sabbiosa			
	sabbia debolmente limosa	0.80		
	alternanze di livelli calcarenitici misti a sabbia e ghiaietto minuto	2.30	33 21 42	
	breccia ofiolitica di colore grigio-verdastro	2.80		
	roccia ofiolitica molto fratturata , talora le fratture sono riempite da una patina argillosa di colore grigio	3.20		
		10.00		8.70

Committente Comune di Rosignano Marittimo  
 Cantiere Campo Sportivo di Castiglioncello  
 Località Via Aurelia  
 Data Inizio 9 Gennaio 2013      Data Fine 10 Gennaio 2013

SONDAGGIO      FOGLIO



Il geologo  
dr. M. Melani

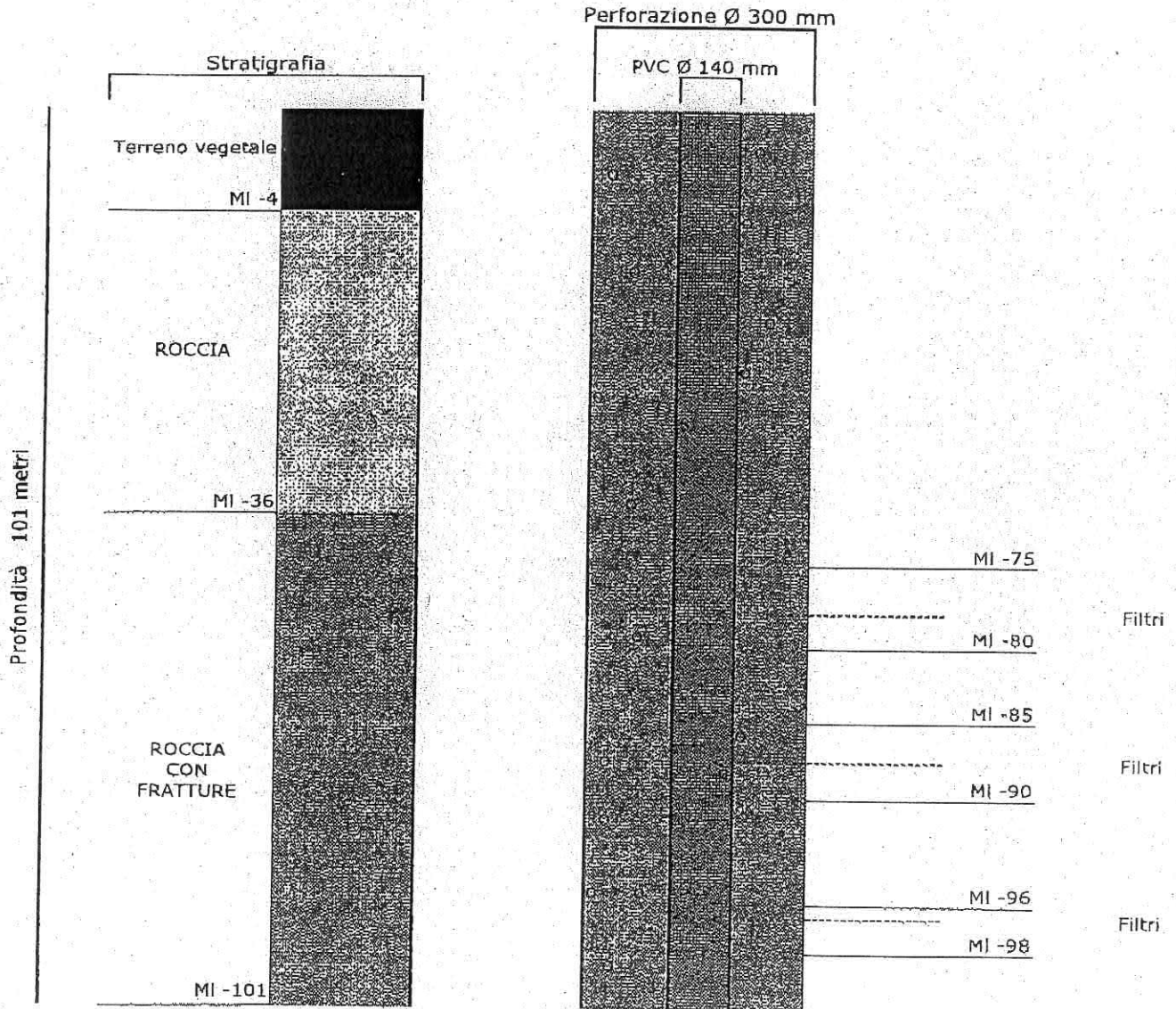
Stratigrafia	Descrizione	Profondità	N° colpi SPT	Falda
	terreno di riporto di varia natura a prevalente composizione sabbiosa di color rossastro			
	sabbia debolmente limosa	1.35		
	alternanze di livelli calcarenitici misti a sabbia e ghiaietto minuto	1.85	27    16	
	breccia ofiolitica di color grigio-verdastro	2.50	39	
	rocce ofiolitiche molto fratturate con evidenti segni di fratturazione di colore marrone rossastro, talora con sottili intercalazioni di lenti di argilla grigia	3.50		7.70
		10.00		



84

### POZZO ARTESIANO

Pozzo eseguito presso il Campo sportivo di Rosignano M.mo (LI)



AII. CARATTERISTICHE POZZO

TRIVEL POZZI  
di Calzone Salvatore  
Monte ...  
P.I. ...



**Ichnogeo s.a.s.**

Piazza La Pace, 8 - 56028 S. Miniato Basso (PI)

Committente:

Comune di Rosignano Marittimo

Cantiere: Via del Torrione presso castello

Località: Rosignano Marittimo

Data: Settembre 2000

Sondaggio n.: 54

Metodo perfor.: carotaggio continuo - carotiere semplice

Diamm. (mm): 101/127

Liv. falda (m da p.c.): 55

Quota p.c. (m s.l.m.):

(E) P.Ø	(E) P.Ø	Descrizione	R.Q.D.	Carotaggio % recupero
0.2	1	terreno vegetale		
1.4	2	Terreno detritico granulare, color marrone scuro, con ciottoli calcarei immersi in una matrice limosa		
2.7	3	Alterazione del calcare sottostante (di Rosignano); sono presenti in modo discontinuo clasti calcarei di piccole e medie dimensioni in matrici sabbiosa-limosa		
4.0	4	Calcare organogeno (calcare di Rosignano)		



Terreno superficiale

Sabbie

Limi



Argille



Calcare

NOTE:

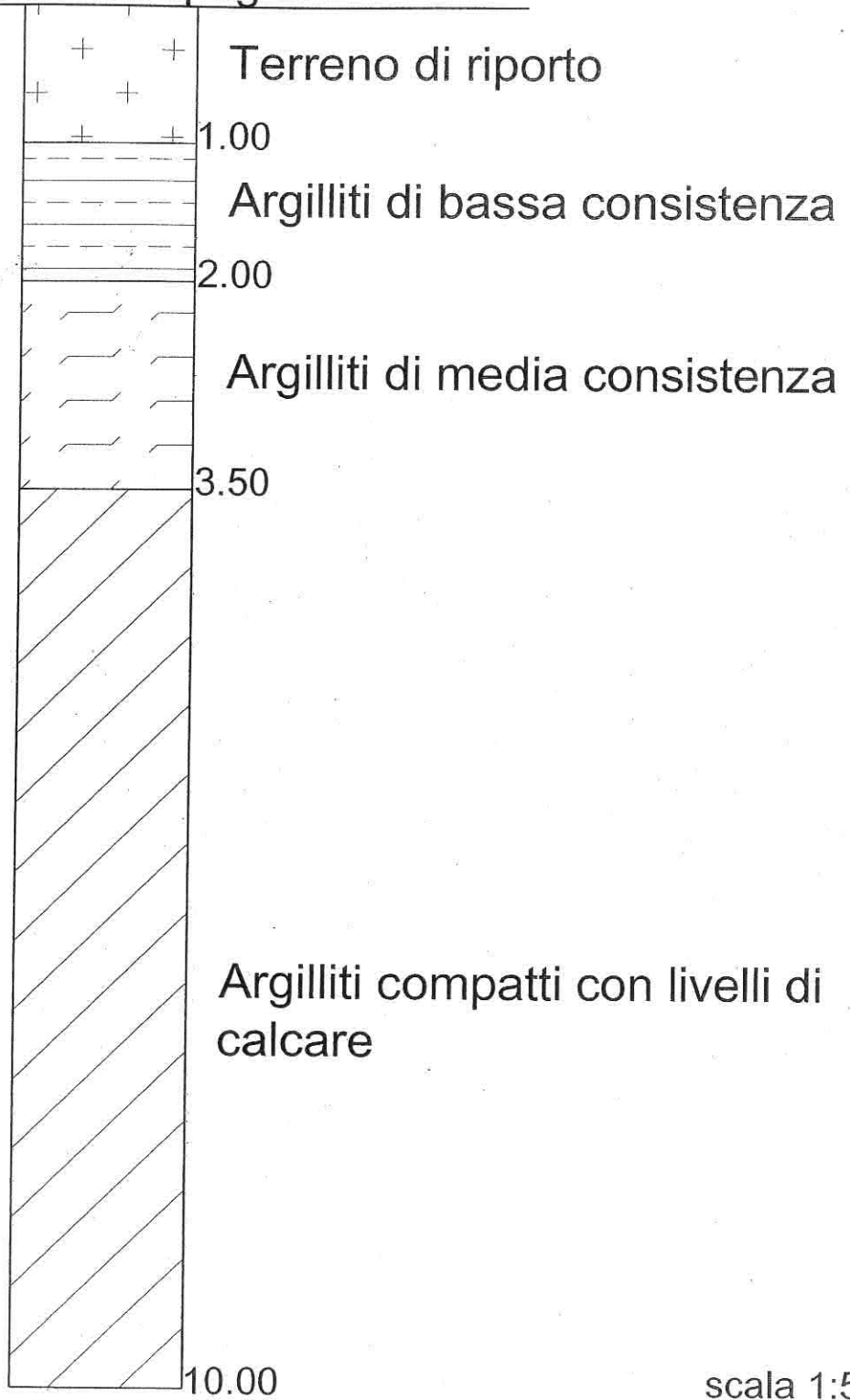
55





S 8

Piano campagna



scala 1:50

Committente	Comune	
Cantiere	Sorbetto	
Località	Castelnuovo della M.dia	
Data Inizio	Gennaio 2006	Data Fine Gennaio 2006

SONDAGGIO	FOGLIO
Il geologo Melani	

Scala 1:100	Stratigrafia	Descrizione	Profondita'	N° colpi SPT	Falda
1		terreno di riporto ( pezzame di materiale calcareo)			
2					
3		argilla limosa di colore nocciola di media consistenza	2.20		
4					
5					
6		argilla grigia compatta	5.80	24 <sup>12</sup> / <sub>27</sub>	3.50
7				12 <sup>8</sup> / <sub>17</sub>	
8					
9					
10				39 <sup>21</sup> / <sub>45</sub>	
11			10.00		
12					
13					
14					
15					




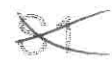
S10

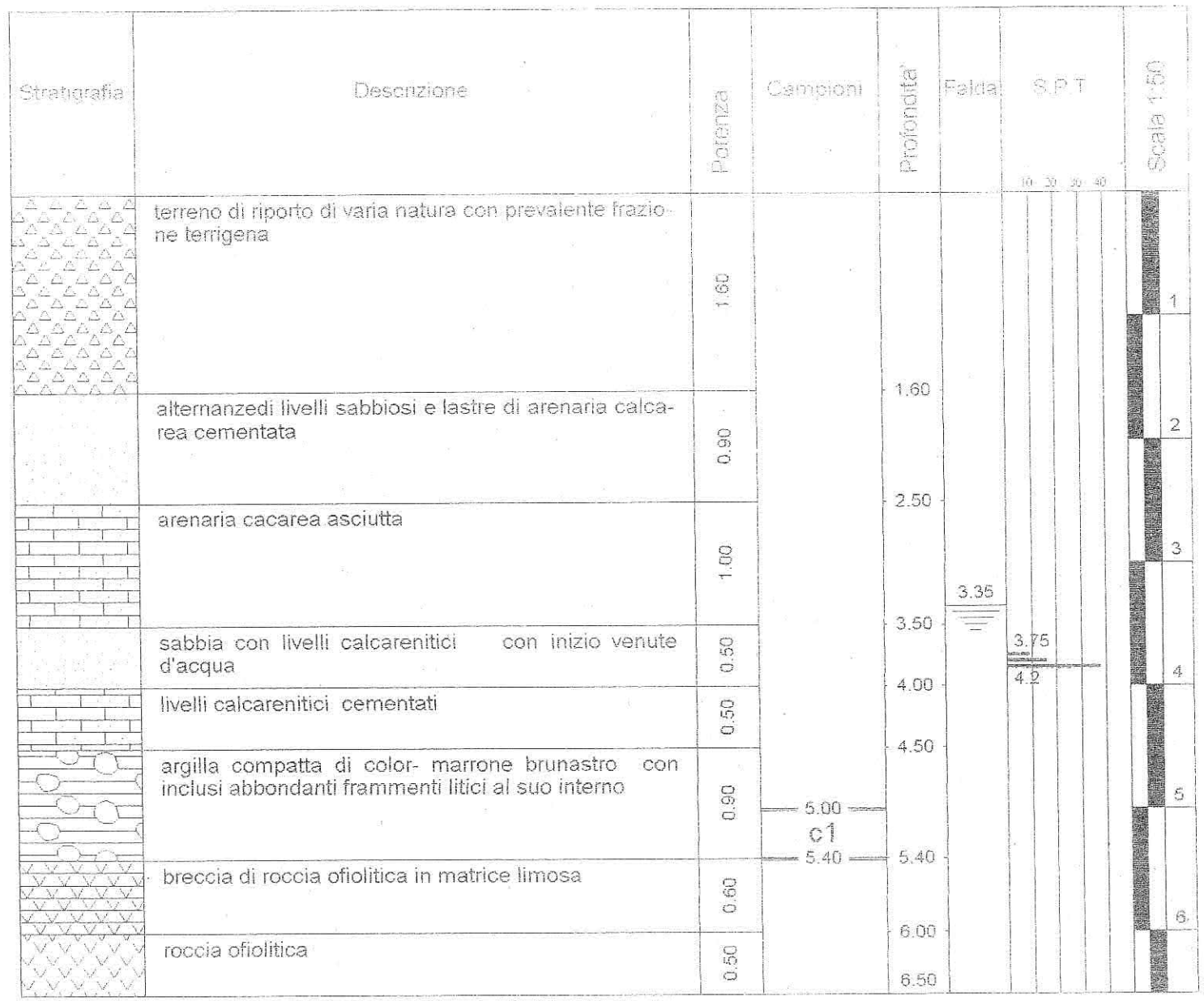


Committente	Comune	
Cantiere	Sorbetto	
Località	Castelnuovo della M.dia	
Data Inizio	Gennaio 2006	Data Fine Gennaio 2006

SONDAGGIO	FOGLIO
2	
Il geologo Melani	

Scala 1:100	Stratigrafia	Descrizione	Profondita'	N° colpi SPT	Falda
1		terreno di riporto ( pezzame di materiale calcareo)			
2				6	
3		argilla limosa di colore nocciola di media consistenza	2.50	6	2.50
4				12	
5				6	
6		argilla molle di colore nocciola -giallastro	5.00		
7		sabbia argillosa di colore marrone rossastro con abbondanti clasti al suo interno	6.00		
8					
9					
10		argilla grigia compatta	9.50		
11			10.00		
12					
13					
14					
15					

	Committente	Comune di Rosignano M.mo		SONDAGGIO	FOGLIO
	Cantiere	Botro Piastraia			
	Località	Castiglioncello			
	Data Inizio	12 Marzo 2001	Data Fine	12 Marzo 2001	Il geologo dr. Melani





Committente Amministrazione Comunale

Scala sondaggio 1:50

Perforatore Ditta Scarselli

Geologo Melani Massimo

Coord.

Quota (p.c.)

Metodo perf. Rotazione con diametro da 101 mm

Data ultimazione 8/09/98

Scala 1:50	Stratigrafia	Descrizione	Potenza	<ul style="list-style-type: none"> <li>● SPT (m)</li> <li>○ PT (m)</li> <li>kg/cm<sup>2</sup></li> </ul>	Carotaggio	Falda
		terreno di riporto (gabbriccio)	0.50			
1		Argilla limosa di color marrone con concrezioni litiche al suo interno	1.50	○ 100 - 130		
2		argilla limosa compatta con livelli di matria calcarea al suo interno	0.50	○ 5.00		
3		argilla limosa compatta con clasti al suo interno	0.50			
4		argilla limosa di color marrone con smescolature di argilla grigia con deboli venute d'acqua	2.00	● 3.00 ○ 11 25 30		
5		argilla grigia compatta foliettata con striature di color marrone	1.30	○ 5.00		
6		argilla marrone talora limosa con smescolature di argilla grigia ricca in concrezioni litoidi al suo interno	1.70	● 5.85 ○ 23 48 50		
7		argilla marrone talora limosa con smescolature di argilla grigia ricca in concrezioni litoidi al suo interno	1.70	○ 4.00-5.00		
8		argillite grigia molto compatta foliettata	0.50			

- 4.00

● 8.50  
○ 48 50/4cm

813

Cantiere Loc. Nibbiaia	N. sondaggio 2
Committente Amministrazione Comunale	Scala sondaggio 1:50
Perforatore Ditta Scarselli	Geologo Melani Massimo
Coord.	Quota (p.c.)
Metodo perf. Rotazione con diametro da 101 mm	Data ultimazione 09/09/98

Cota (m)	Stratigrafia	Descrizione	Potenza	SPT		Carotaggio	Balda	Profondità
				$\frac{N}{m \text{ cop}}$	$\frac{PT}{Kg/cm^2}$			
		terreno di riporto (gabbriccio)	0.90					
1		argilla limosa mediamente compatta con frammenti litici al suo interno	0.70					0.90
2		argilla limosa marrone con orizzonti ferrettizzati	0.40					1.60
3		argilla marrone compatta con clasti al suo interno, talora con smescolature grigie	1.75	○ 3.50-4.00	● 3.00 15 19 13			2.00
4		argilla limosa da mediamente compatta a molle con clasti al suo interno con deboli vene d'acqua	0.35					3.75
5		argilla limosa compatta	0.70	○ 3.60-4.00			- 3.80	4.10
6		limo con abbondante materiale litico con vene d'acqua	0.20					4.80
7		argilla marrone compatta	0.30					5.00
8		argilla mediamente compatta con materiale litico al suo interno e smescolature grigie	0.40	○ 3.00				5.30
9		argilla limosa compatta con clasti al suo interno	0.80		● 5.70 16 35 50/12cm			5.70
10		argilla limosa mediamente compatta con materiale litico	0.50	○ 3.00				6.50
11		argilla limosa compatta marrone con smescolature di color grigio	0.20					7.00
12		argilla limosa compatta di color grigio	0.60					7.20
13		argillite grigia molto compatta foliata	0.20					7.60
14								8.00

S 14

815

Proprietà Dr. TOZZI SICILIA  
Via ROSSO ALCEANO di

**PROFILI STRATIGRAFICI DEI SONDAGGI**

SONDAGGIO N°

QUOTE	PROFONDITÀ (m)	SPESSORE DEGLI STRATI (m)	PROFILO	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	CAMPIONI	NOTE
	2.00	2.00		sabbia sabbiosa oscurata		
	4.00	2.00		lastre arenarie (tufo)		
	7.00	3.00		argilla sabbiosa con frantumi e lastre di tufo		
	10.00	3.00		arenarie miste e ghiaietto con sabbia		
	12.00	2.00		arenarie con ghiaietto e sabbia		- livello falda
	15.00	3.00		ARGILLA GALESTROJA MOLTO COMPATTA FINE POZZO		



**SCARSELLI**

CECINA (LI) - Tel. 0586 688452

TRISONDI SAS.

*Esposito*

\* Studio e consolidamento del sottosuolo \* Sondaggi e carotaggi \* Piezometri \* Pali di fondazione \* Micropali \* Pozzi artesiani



Scala 1:200	Stratigrafia	Descrizione	Potenza	Campioni	Pozzo	Profondità	Filtri	Falda
2		terreno di riporto misto a terreno vegetale	0.70			0.70		
4		alternanze di bancate di arenaria cementata e livelli di sabbia gialla	6.80					
6		argilla sabbiosa frammista a lastre e pez-zame di materiale calcarenitico	10.50			7.50		
8								
10								
12								
14								
16								
18								
20		argilloscisti di color grigio nerastro , talora con livelletti di calcareo con debole venute d'acqua	0.50			18.00		
22		argilloscisti alternate a livelli di calcare siliceo	4.50			18.50		
24		argilloscisti alternate a livelli di calcare siliceo con debole venute d'acqua a partire da 23.50m	2.00			23.00		
26		argilloscisti compatte	5.00			25.00		
28								
30								
								18.80

S 16



Committente SOC. SIAD s.p.a.  
 Cantiere Rosignano Solvay - Impianto Cloruro di Calcio  
 Località Stabilimento Solvay di Rosignano  
 Data Inizio 08 Settembre 2016 Data Fine 12 Settembre 2016

SONDAGGIO FOGLIO

S1

Il geologo  
dr MELANI

Stratigrafia	Descrizione	Profondita'	Falda	N° colpi SPT	Campioni
XXXX XXXX XXXX	terreno di riporto				
	alternanze di livelli di calcarenite e orizzonti di sabbia di color marrone-avana	2.70	2.20	2	3
	sabbia grossolana di color marrone rossastro	3.50		13	4
	sabbie di color giallo-arancio con interposti decimetrici di calcarenite	5.00		50	8
	sabbia di colore avana con clasti di materiale calcarenitico interposto	9.00		50	9
	sabbia grigia grossolana con pezzame di materiale calcarenitico	10.70		10	10
	sabbia grigia con sporadici inclusi di materiale calcarenitico	11.00			17
	sabbia grigia grossolana	12.00			
	limo argilloso di colore grigio	13.00			
	argilla grigia debolmente limosa	14.00			
	argilla grigia con inclusioni di materiale organico (torba)	17.00			
	limo sabbioso di colore grigio	21.00			
	argilla grigia limosa	23.00			
	argilla grigia	24.00			
	argilla limosa grigia con fossili marini (conchiglie)	25.00			
	argilla grigia compatta talora con passate più limose (28-28.50 m)	26.00			
		31.00			

5.80  
S1C1  
6.0017.00  
S1C2  
17.35













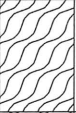

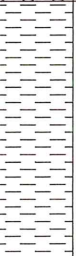


Committente Soc. Chimica Italia s.p.a  
 Cantiere Rosignano *CANTIERE*  
 Località Perossidati *ITIMIRIS 3 Dicem 2015*  
 Data Inizio 23 Novembre 2015 Data Fine 25 Novembre 2015

SONDAGGIO FOGLIO

6

Il geologo  
dr. Melani

Stratigrafia	Descrizione	Profondita'	Falda	N° colpi SPT
	terreno di riporto			
	sabbia gialla con livelli di calcarenitici	4.50	5.50	
	lastre di arenaria	6.50		
	limi sabbiosi	8.30		
	sabbia con ghiaia	10.00		
	sabbia con sottili livelli di arenaria di color grigio	11.80		
	limo sabbioso di colore grigio	13.00		
	limi argillosi di colore grigio con resti conchigliari	16.00		
	argilla grigia compatta	25.00		
		32.00		

30 35<sup>9</sup>

CANTIERE	GABBRO	SONDAGGION.	S1	GEOLOGO INCARICATO PER L'ASSISTENZA AL SONDAGGIO	Giuseppe Turrini	GEOLOGO DELL'IMPRESA SONDATORE-IMPRESA ESECUTRICE	Matteo Giuliani A. Golino-Methodos.r.l.
QUOTA ASS.P.C.	187,0ms.l.m.	COORDINATE XY	E=1616273N=4815591	TIPO DI SONDA	(marca, modello, coppia metriche) ATLAS Copco A52	TIPO DI FLUIDO	acqua
DATA INIZIO/FINE	03/10/06-05/10/06		METODO DI PERFORAZIONE	(cassa, wireline) aste	CASSE CATALOGATRICI	1-2-3-4-5-6	
						STRUMENTAZIONE IN FORO ESUAPROFONDITA'	PROFONDITA' RAGGIUNTA
						30m	

Cronologia Carotiere Velocità avanzamento MANOVRE Rivestimento intercambiabile Profondità di p.c. (m) Scalaferrimento (m)	STRATIGRAFIA (disegno)	DESCRIZIONE DEI TERRENI TRAVERSATI ED INDICAZIONE DEGLI SPessori	Profondità (m)	S.P.T. Numero colpi	Pocoletto (kg/cm <sup>2</sup> )	Vanelet (kg/cm <sup>2</sup> )	Altre prove	Campioni Quota Campioni	Recupero %	R.Q.D. %	Struttura	Resistenza a c.c.c.	Inclinazione	Indice di fratturazione	Descrizione delle discontinuità				Note	
															1	2	3	4		
03/10/06 Carotiere semplice con corona a vista Manovre velocità - 2 min per metro	0.10 1.40 2.50 3.10 3.55 4.00 5.00 5.50 6.00 7.00 8.00 9.00 9.45 10.00 11.00 11.40 12.30 13.20 13.80 14.90 15.70 16.60 17.50 17.80 19.00 20.00 21.30 21.90 22.50 23.80 24.50 25.30 26.60 27.30 28.50 30.00	0.30 1.60 108m	0.30 1.60 3.10 3.55 9.00 9.45 10.80 13.80 14.90 15.70 16.60 17.50 17.80 19.00 20.00 21.30 21.90 22.50 23.80 24.50 25.30 26.60 27.30 28.50 30.00	27 25 40	5.11 3.10 3.55 9.00 9.45	13/18/18		2.50 3.10												
04/10/06 Carotiere semplice con corona a vista	16S VI 14'																			
05/10/06 Carotiere semplice con corona a vista	12 corona a vista 15'																			
																				Da 21.9 maggiore difficoltà di avanzamento a secco





# STRATIGRAFIA

Riferimento: Carefin - la Pace	Sondaggio: S1
Località: Via di Crepatura - Castiglioncello - Rosignano Marittimo (LI)	Quota:
Impresa esecutrice: Ichnogeo s.a.s.	Data: 14/10/2011
Coordinate:	Redattore: Eurogeo Studio Associato
Perforazione: Carotaggio continuo	

Ø mm	R v	A f	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	S.P.T.		prof. m	DESCRIZIONE
									S.P.T.	N		
				1							1,1	Terreno di riporto con presenza di inerti
				2								Sabbie cementate e calcareniti di colore grigio ocre (panchina)
				3								
				4								
				5								
				6								
				7								
				8			1.2				7.7	
				9			1.5					
				10			0.9		5-7-8		15	Argille con sabbia
				11			1.7				10.5	
				12			1.1					Argille grigie con venature nere
				13			1.3		4-7-9		16	
				14							13.5	Argille con sabbia
				15			1.2				15.1	
				16			1.5					Argille grigie con venature nere
				17			1.6				16.6	
				18					7-9-11		20	Argille grigie plastiche
				19			1.9				17.3	
				20			1.8					Argille con sabbia
				21			2.1				24.6	
				22			1.6					Argille plastiche
				23			2.0				26.1	
				24			2.1					Argille plastiche
				25			1.7				24.6	
				26								Argille plastiche
				27			2.3				26.1	
				28			2.0					Argille plastiche
				29			2.5					
				30			2.0				30,0	

Foro attrezzato per prova Down Hole.

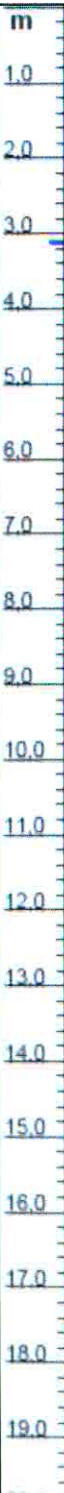
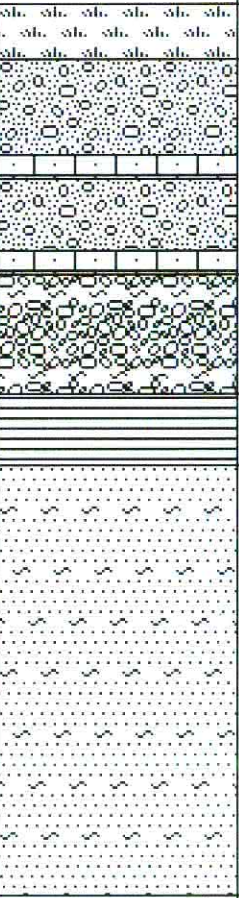

**STUDIO DI GEOLOGIA APPLICATA**

Dott. Graziano Graziani - Via Einaudi, 1 – 57018 VADA (LI)

*COSTRUZIONE DI UN FABBRICATO DI CIVILE ABITAZIONE***INDAGINE GEOLOGICA E GEOTECNICA****Ubicazione:** *Vada (LI) - Via per Rosignano***Committente:** *Sig.ri Corrado Malfanti e Claudia Ficcanterri***Data:** *Dicembre 2012***Il geologo**

## SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO

DATA: 15 - 11 - 2012	SONDAGGIO N° 1
UBICAZIONE: Vada (LI) Via per Rosignano	METODO PERFORAZIONE: Carataggio continuo a rotazione
COMMITTENTE: Sig. Corrado Malfanti	DITTA ESECUTRICE: Tri. Sond. s.a.s.

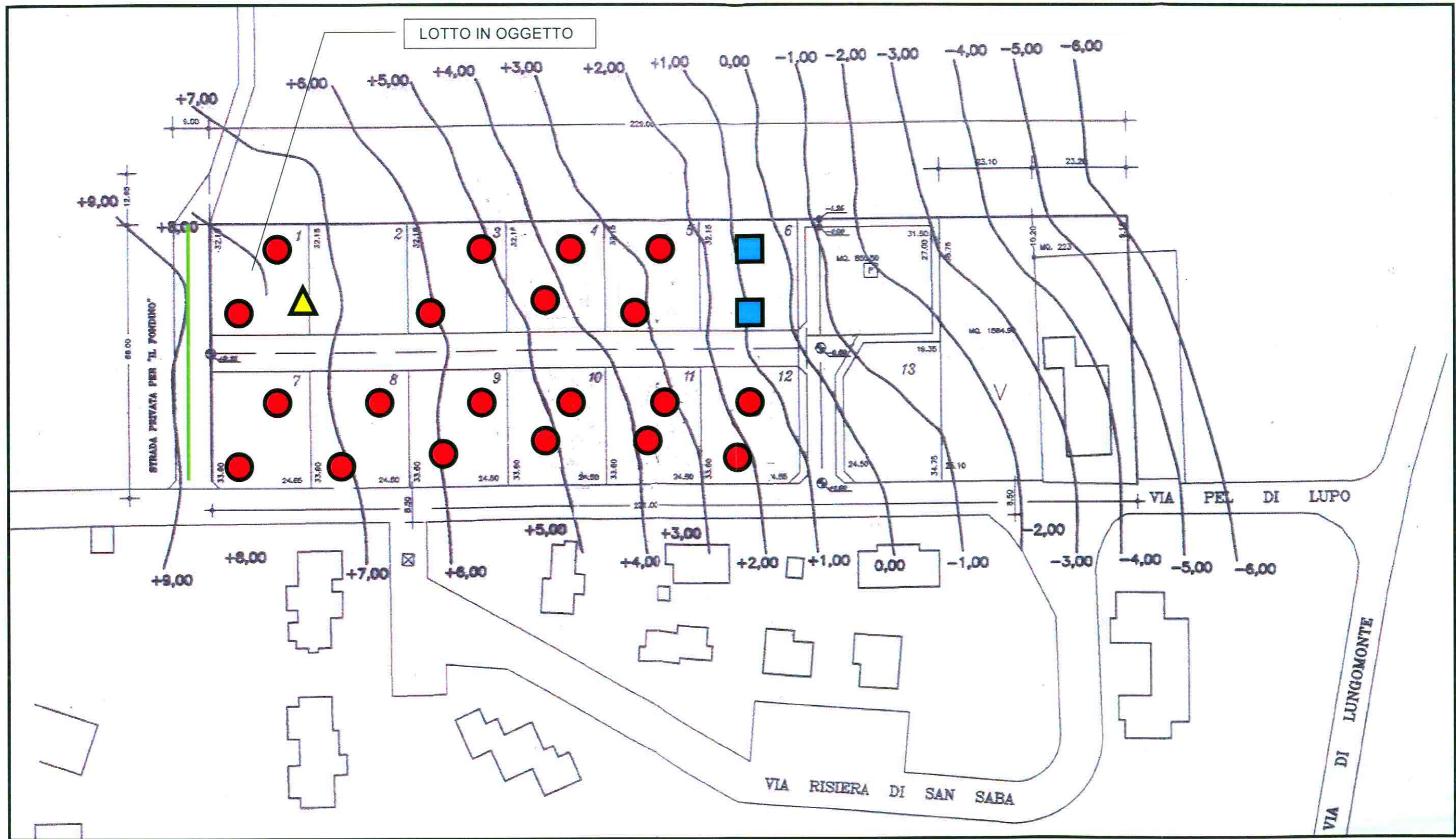
Prof. dal p.c.	Stratigrafia	Descrizione litologica	Camp.	SPT	H2O
		<p>0.70 <i>Terreno vegetale bruno-rossastro</i></p> <p>3.60 <i>Sabbie bruno-avana con ciottoli e livelli calcarenitici da -2.0 a -2.20 e da -3.50 a -3.60</i></p> <p>5.20 <i>Sabbie brune con ciottoli e livelletti conglomeratici</i></p> <p>6.20 <i>Argille bruno-arancio consistenti</i></p> <p>12.0 <i>Sabbie/sabbie limose a tratti argillose grigie</i></p>	<p>C1 (-7.00/7.50)</p>	<p>(-3.0/3.45)</p> <p>(-10/10.45)</p>	

**STUDIO DI GEOLOGIA APPLICATA**

Dott. Graziano Graziani - Via Einaudi, 1 – 57018 VADA (LI)

*COSTRUZIONE DI UN FABBRICATO DI CIVILE ABITAZIONE***INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA****Ubicazione:** *Comune di Rosignano M.mo (LI) – Fraz. Castiglioncello  
Lottizzazione Pel di Lupo – lotto n° 1***Committente:** *Pel di Lupo s.r.l.***Data:** *Maggio 2013***Il geologo**





PLANIMETRIA DELLA LOTTIZZAZIONE CON L'UBICAZIONE DI TUTTE LE INDAGINI EFFETTUATE  
1:1000

ESECUTORE SONDAGGIO: MAPPO GEOGNOSTICA s.r.l. Loc. Biagioni, 60 55010 - Spianate (LU)	COMMITTENTE: PEL DI LUPO s.r.l.
--	------------------------------------

SONDAGGIO N.° 1	METODO Carotaggio continuo con sonda a rotazione - carotiere semplice	LOCALITA' Castiglioncello (LI) Lottizzazione via Pel di Lupo	DATA: 21/09/2011
--------------------	--	--	------------------

Profondità				Log	Descrizione litologica	H <sub>2</sub> O	Note
dal l.m.m.	dal p. rif.	dal p.c.	parziali				
	0,5			0	riporto eterogeneo		
				1			
				2	limi sabbiosi bruni		CAMP (2.20 - 2.70)
	4,2			4			
	4,9			5	limi argillosi avana con frustoli carboniosi		
	6			6	sabbie con livelletti calcarenitici cementati		
				7	microconglomerato in matrice limo-argillosa		SPT (7.5 m) (11-18-26)
	8			8			
				9	limi argilloso-sabbiosi bruni con ciottoli e tracce carboniose		
	10			10			
				11	sabbie brune		
	11,5			11	microconglomerato in matrice limo-argillosa		
				12			
				13	argille grigio-avana		
	13			13			
				14	sabbie avana		
	15			15			



**STUDIO DI GEOLOGIA APPLICATA**

Dott. Graziano Graziani - Via Einaudi, 1 – 57018 VADA (LI)

---

PE 237/12

*COSTRUZIONE DI UN CAPANNONE AD USO ESPOSIZIONE  
E VENDITA ACCESSORI PER LA NAUTICA*

**INDAGINE GEOLOGICA E GEOTECNICA**

**Ubicazione:** *Comune di Rosignano M.mo (LI) – Via Aurelia Sud*

**Committente:** *PAMA s.n.c.*

**Data:** *Febbraio 2012*

**Il geologo**



ESECUTORE SONDAGGIO: MAPPO GEOGNOSTICA s.r.l. Loc. Biagioni, 60 55010 - Spianate (LU)	COMMITTENTE: PAMA s.n.c.	
--	-----------------------------	--

SONDAGGIO N.° 1	METODO Carotaggio continuo con sonda a rotazione - carotiere semplice	LOCALITA' Vada (LI) Via Aurelia sud n° 62	DATA: 20/03/2011
--------------------	--	---	------------------

Profondità				Log	Descrizione litologica	H <sub>2</sub> O	Note
dal l.m.m.	dal p. rif.	dal p.c.	parziali				
				0	terreno vegetale/riporto		
	0,8			1			
	2,4			2	Sabbie bruno marroni con litici	—	CAMP (2.00 - 2.50)
				3			
				4	Sabbie limose		
				5			
	6			6			
	6,5			7	Calcarenite		
				8	Sabbie con livelletti calcarenitici		
				9			
	10			10			

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

n° 1

- indagine : Variante al R.U.  
- cantiere : Via della Lombarda  
- località : Rosignano Marittimo (LI)  
- note : prova conclusa con rifiuto strumentale

- data : 22/12/2012  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	2	21,2	----	1	1,00 - 1,20	5	48,6	----	2
0,20 - 0,40	2	19,4	----	2	1,20 - 1,40	6	53,9	----	3
0,40 - 0,60	8	77,8	----	2	1,40 - 1,60	5	44,9	----	3
0,60 - 0,80	7	68,1	----	2	1,60 - 1,80	100	897,9	----	3
0,80 - 1,00	8	77,8	----	2					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 ISM.C**

- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= **51,00** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [  $\delta$  = 20 cm ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

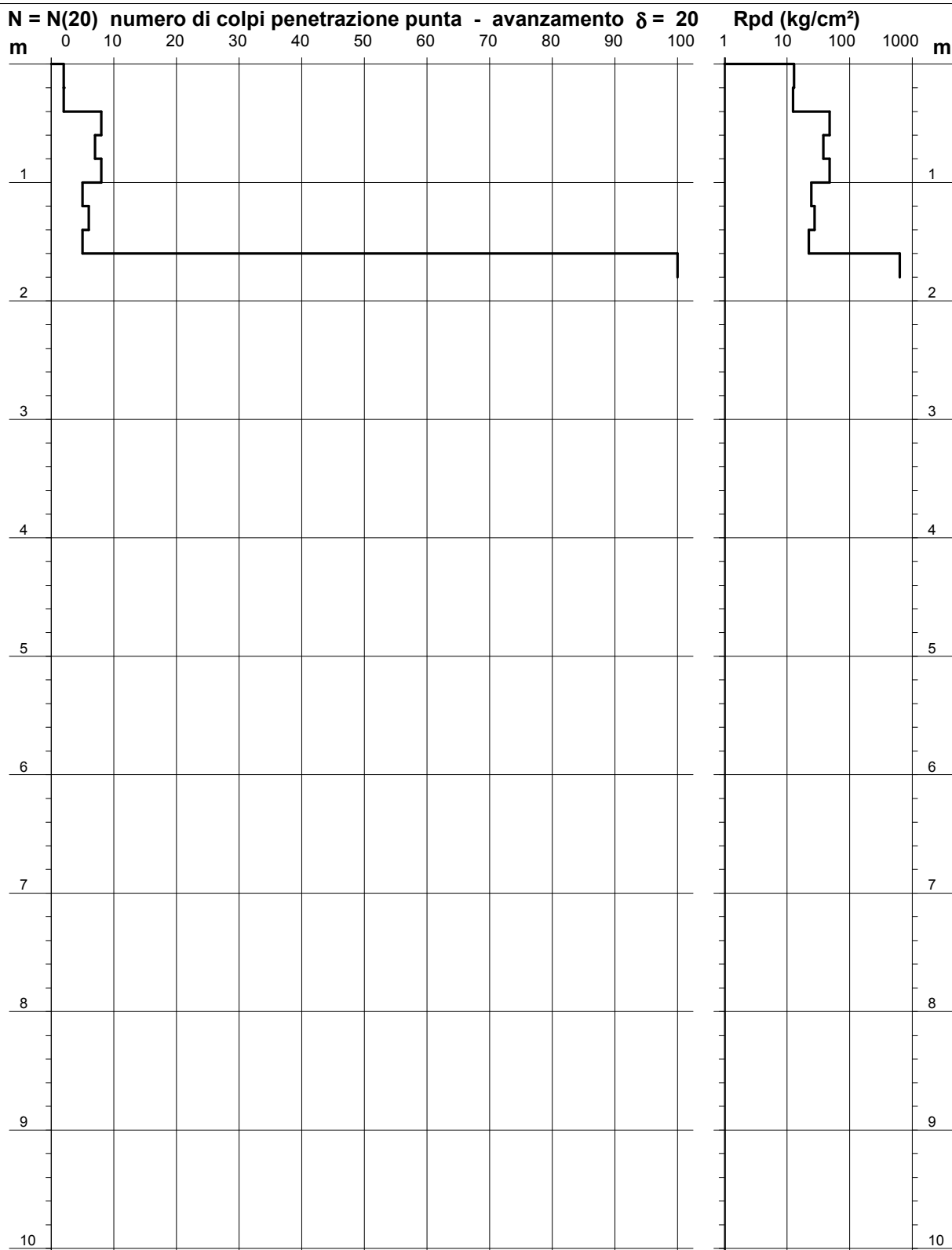
# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

n° 1

Scala 1: 50

- indagine : Variante al R.U.  
- cantiere : Via della Lombarda  
- località : Rosignano Marittimo (LI)

- data : 22/12/2012  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : Falda non rilevata



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 ISM.C**

- M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm<sup>2</sup>** - D(diam. punta)= **51,00 mm**

- Numero Colpi Punta N = N(20) [  $\delta = 20$  cm ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

n° 2

- indagine : Variante al R.U.  
- cantiere : Via della Lombarda  
- località : Rosignano Marittimo (LI)  
- note : prova conclusa con rifiuto strumentale

- data : 22/12/2012  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	2	21,2	----	1	0,60 - 0,80	8	77,8	----	2
0,20 - 0,40	2	19,4	----	2	0,80 - 1,00	100	972,3	----	2
0,40 - 0,60	4	38,9	----	2					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 ISM.C**

- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= **51,00** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [  $\delta$  = 20 cm ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

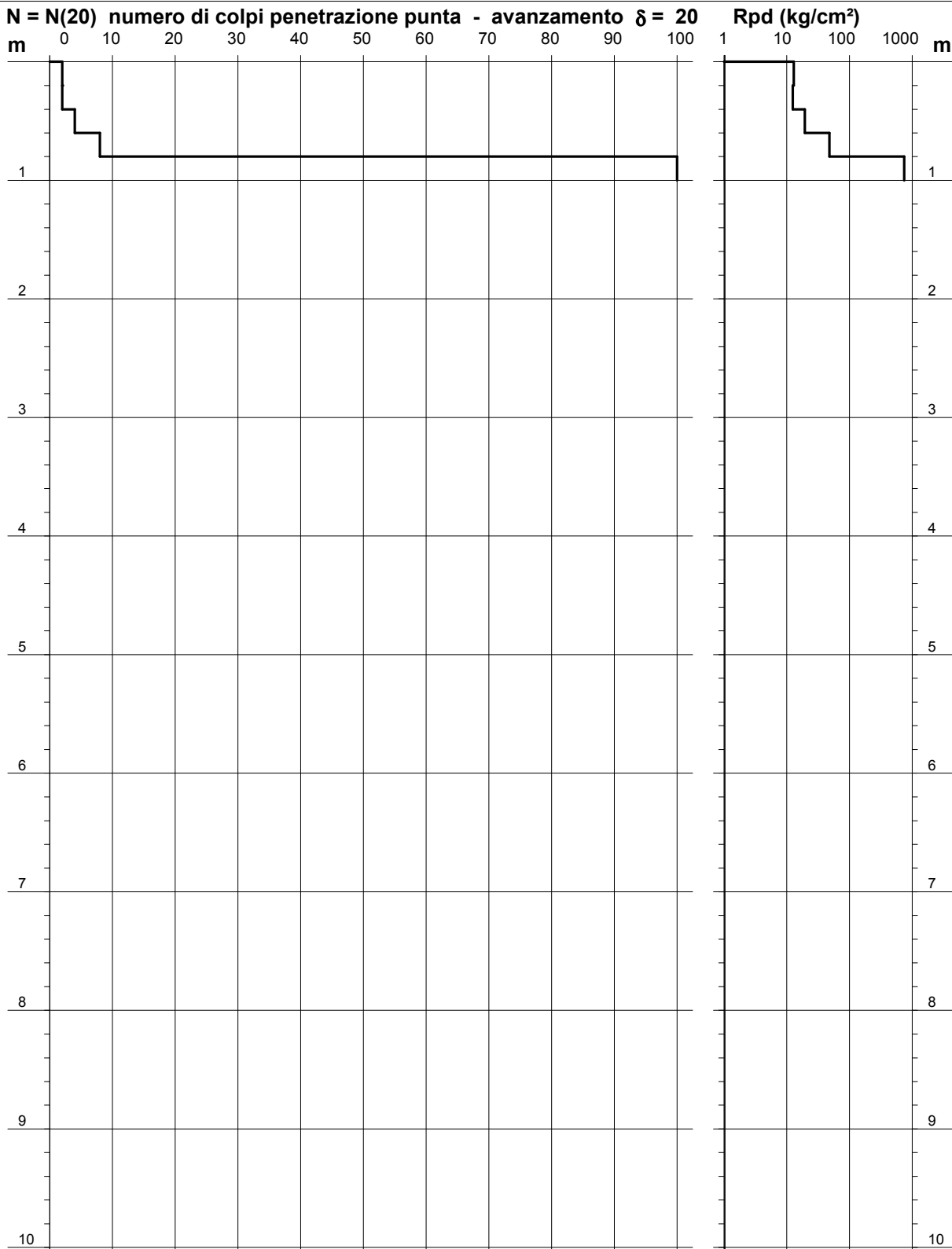
**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA**  
**DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd**

n° 2

Scala 1: 50

- indagine : Variante al R.U.  
 - cantiere : Via della Lombarda  
 - località : Rosignano Marittimo (LI)

- data : 22/12/2012  
 - quota inizio : p.c.  
 - prof. falda : Falda non rilevata



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 ISM.C**

- M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm<sup>2</sup>** - D(diam. punta)= **51,00 mm**

- Numero Colpi Punta N = N(20) [  $\delta = 20$  cm ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

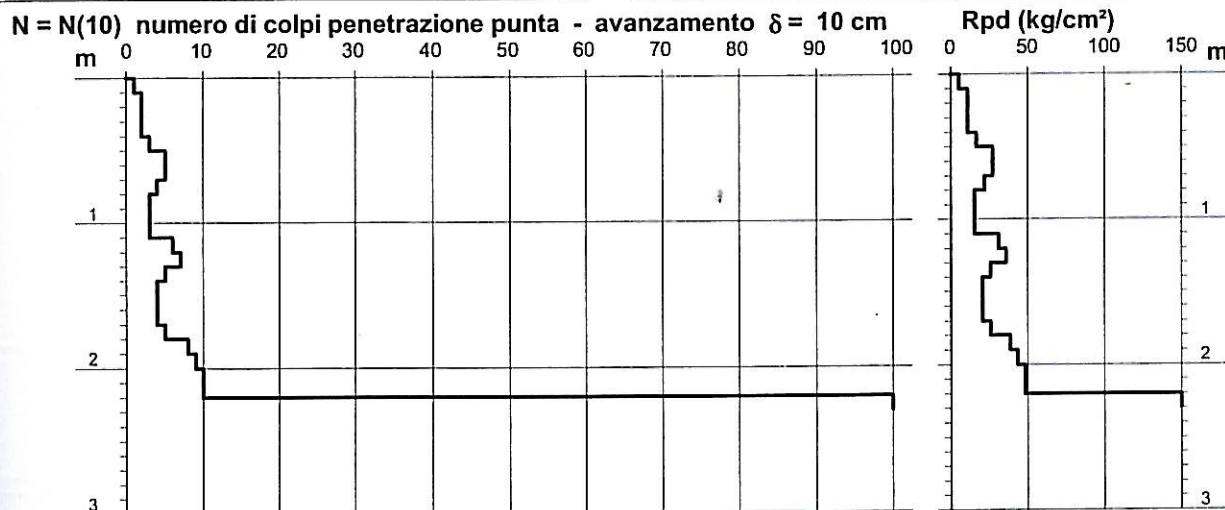
DIN Pa

Scala 1: 50

- cantiere : Sig. Giuseppe PICCIRILLO  
- lavoro : Realizzazione piscina privata  
- località : Via dei lavoratori 32, Rosignano M.mo

- data prova : 01/04/2010  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 10/09/2010

- note :



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

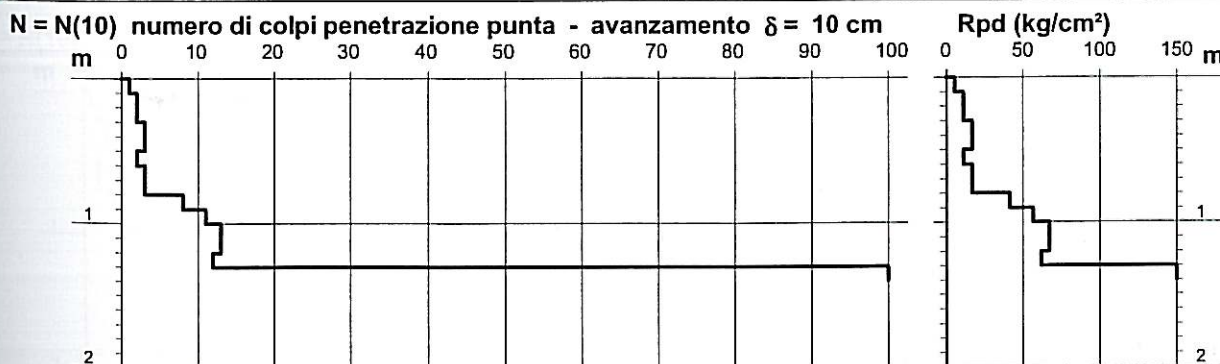
PD4 DIN Pb

Scala 1: 50

- cantiere : Sig. Giuseppe PICCIRILLO  
- lavoro : Realizzazione piscina privata  
- località : Via dei lavoratori 32, Rosignano M.mo

- data prova : 01/04/2010  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 10/09/2010

- note :



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

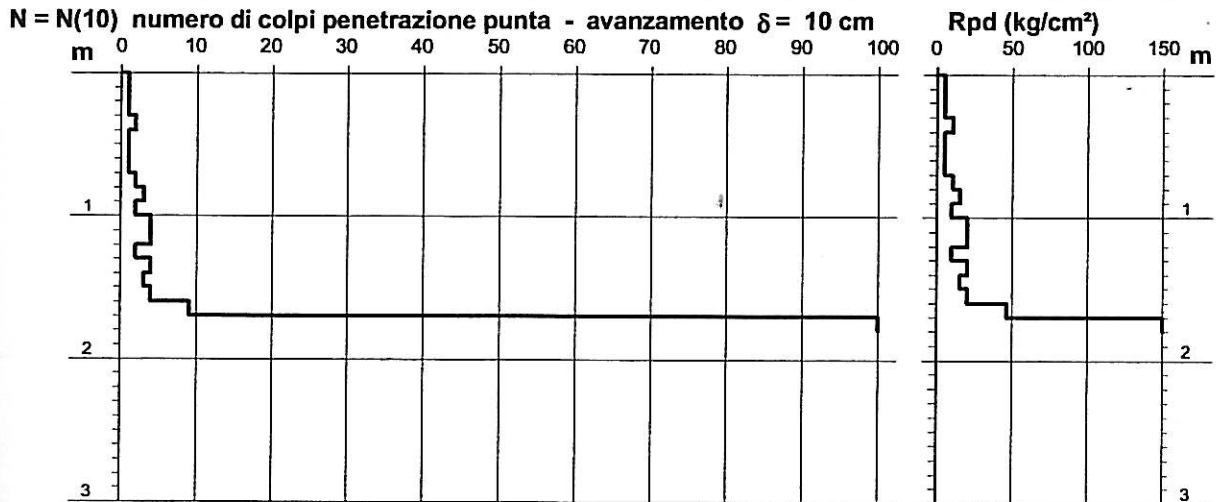
PD5 DIN P1

Scala 1: 50

- cantiere : Sig. Giuseppe PICCIRILLO  
- lavoro : Ristrutturazione edificio  
- località : Via dei Lavoratori 32, Rosignano Marittimo

- data prova : 01/04/2010  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 12/04/2010

- note :



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

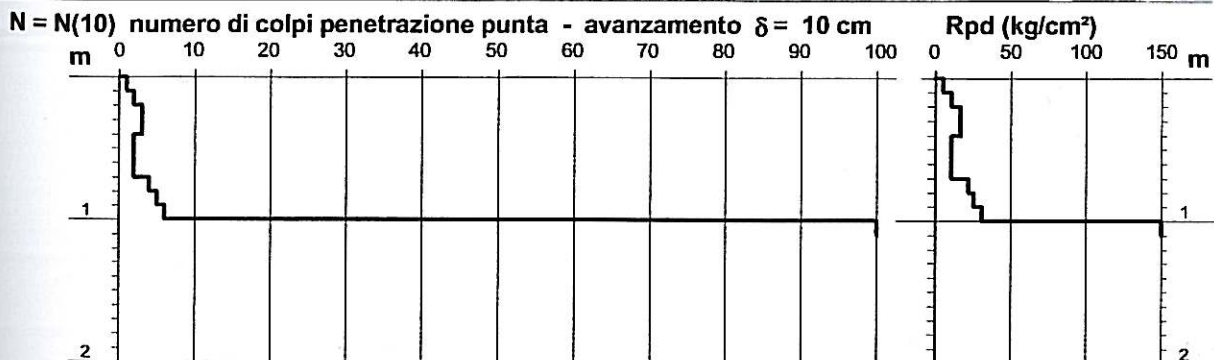
PD6 DIN P2

Scala 1: 50

- cantiere : Sig. Giuseppe PICCIRILLO  
- lavoro : Ristrutturazione edificio  
- località : Via dei Lavoratori 32, Rosignano Marittimo

- data prova : 01/04/2010  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 12/04/2010

- note :



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

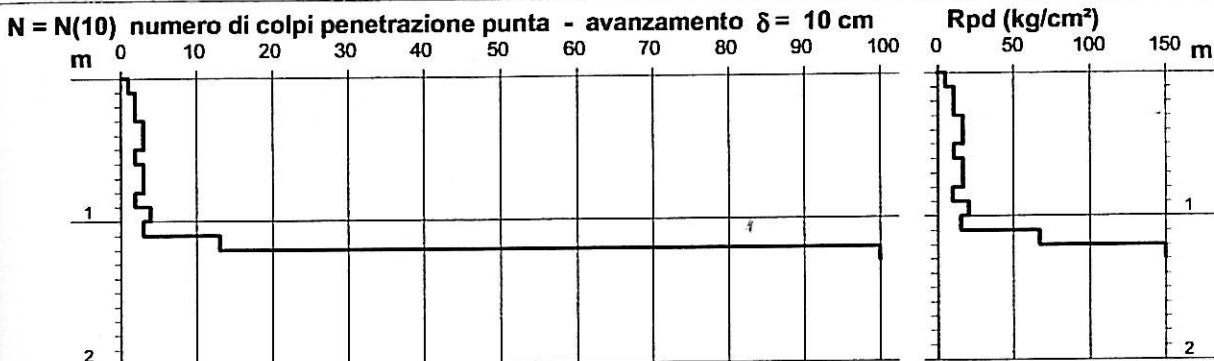
PD7 DIN P3

Scala 1: 50

- cantiere : Sig. Giuseppe PICCIRILLO  
- lavoro : Ristrutturazione edificio  
- località : Via dei Lavoratori 32, Rosignano Marittimo

- data prova : 01/04/2010  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 12/04/2010

- note :



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

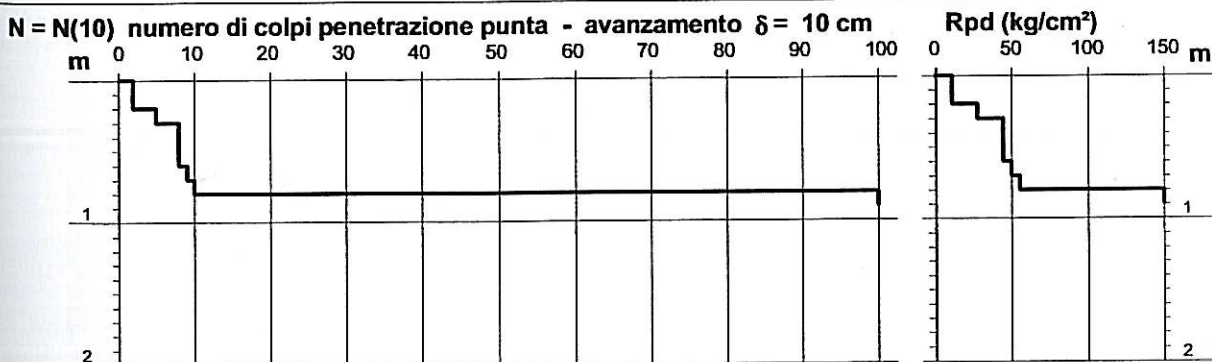
PD8 DIN P4

Scala 1: 50

- cantiere : Sig. Giuseppe PICCIRILLO  
- lavoro : Ristrutturazione edificio  
- località : Via dei Lavoratori 32, Rosignano Marittimo

- data prova : 01/04/2010  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 12/04/2010

- note :



	<b>Pozzo</b>	ROCCASTRADA 1								
		<b>Acquif da quota</b>	<b>Acquif a quota</b>	<b>Tmax Prof</b>	<b>Tmax</b>	<b>Portata</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Produzione</b>	<b>Stato attività</b>	<b>Metodo Temp</b>
		490	1008	62	1000	0	POZZO DI ESPLORAZIONE	INDUSTRIALMENTE STERILE	CHIUSO TEMPORANEAMENTE	fluido statico in intervallo
	<b>Pozzo</b>	ROSELLE 1								
		<b>Acquif da quota</b>	<b>Acquif a quota</b>	<b>Tmax Prof</b>	<b>Tmax</b>	<b>Portata</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Produzione</b>	<b>Stato attività</b>	<b>Metodo Temp</b>
		0	0	25	13	0	POZZO DI ESPLORAZIONE			
P1	<b>Pozzo</b>	ROSIGNANO 1								
		<b>Acquif da quota</b>	<b>Acquif a quota</b>	<b>Tmax Prof</b>	<b>Tmax</b>	<b>Portata</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Produzione</b>	<b>Stato attività</b>	<b>Metodo Temp</b>
		0	0	26,6299991	190	0	POZZO DI GRADIENTE TERMICO			
P2	<b>Pozzo</b>	ROSIGNANO 2								
		<b>Acquif da quota</b>	<b>Acquif a quota</b>	<b>Tmax Prof</b>	<b>Tmax</b>	<b>Portata</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Produzione</b>	<b>Stato attività</b>	<b>Metodo Temp</b>
		0	0	25,5799999	150	0	POZZO DI GRADIENTE TERMICO			
P3	<b>Pozzo</b>	ROSIGNANO 3								
		<b>Acquif da quota</b>	<b>Acquif a quota</b>	<b>Tmax Prof</b>	<b>Tmax</b>	<b>Portata</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Produzione</b>	<b>Stato attività</b>	<b>Metodo Temp</b>
		0	0	24,9300003	150	0	POZZO DI GRADIENTE TERMICO			

P2	<b>POZZO</b>	ROSIGNANO 2		<b>Unita litologica 1</b>	<b>Unita litologica 2</b>	<b>Litologia</b> ARENARIA,SABBIA,ARGILLA SABBIOSA			
		<b>DA PROF</b>	<b>A PROF</b>						
		0	315						
P3	<b>POZZO</b>	ROSIGNANO 3		<b>Unita litologica 1</b>	<b>Unita litologica 2</b>	<b>Litologia</b> ARENARIA,SABBIA,CONGLOMERATO ARGILLA SABBIOSA SILTOSA FLYSCH LIGURE			
		<b>DA PROF</b>	<b>A PROF</b>						
		0	10						
		10	300						
		300	315						
<b>POZZO</b>	S.ADRIANA/MR	<b>DA PROF</b>	<b>A PROF</b>	<b>Unita litologica 1</b>	<b>Unita litologica 2</b>	<b>Litologia</b> ARGILLITE,CALCARE CALCARE			
							0	96	SCAGLIA ROSSA
							96	157	CALCARE MASSICCIO
<b>POZZO</b>	S.DALMAZIO 1	<b>DA PROF</b>	<b>A PROF</b>	<b>Unita litologica 1</b>	<b>Unita litologica 2</b>	<b>Litologia</b> ARGILLO-SCISTO CONGLOMERATO,ARGILLA E SABBIA ARGILLO-SCISTO,CALCARE E CALCARE CALCARE E ANIDRITE SCISTO E CALCARE			
							0	30	LIGURIDI S.L.
							30	240	FORMAZIONI POSTOROGENICHE
							240	830	LIGURIDI S.L.
							830	845	BRECCIA ANIDRITE E DOLOMIA
							845	1189	VERRUCANO
<b>POZZO</b>	S.MARIA 2	<b>DA PROF</b>	<b>A PROF</b>	<b>Unita litologica 1</b>	<b>Unita litologica 2</b>	<b>Litologia</b> ARGILLA,CONGLOMERATO,ARENARIA,GESSO			
							0	260	

**Stratigrafia del pozzo n.: 13488**

Spessore	m	Strati	Descrizione
3	3.00		Limo sabbioso
7	10.00		Argille sabbiose intercalanti strati di ghiaia
10	20.00		Sabbie rosse parzialmente cementate
10	30.00		Sabbie rosse intercalanti strati di arenaria
5	35.00		Argille gialle
10	45.00		Arenaria cementata e fratturata con acqua