



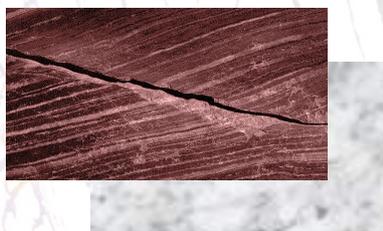
GEOLOGO Carlo Malgarotto

European geologist n.1337 - Dottore di Ricerca

Via A. Benedicenti, 14 – 19123 La Spezia

Tel. 348/3559368 - e-mail: [geo@carlomalgarotto.it](mailto:geo@carlomalgarotto.it)

Cod.Fis. MLGCRL64S08L736F p.IVA 01014800112



Comune di Varese Ligure  
Provincia della Spezia

## Relazione Geologica Relazione sulla Modellazione Sismica

Relativa a: Frana sulla S.P.56 "Ossegna – Colle di Valletti – Ponte Parano" per la frazione di Valletti. - rev2 -

Committente: Comune di Varese Ligure.

Località: Valletti

Rif. N°: 10c/16

Data: febbraio 2017

Il Tecnico:

Geol. Carlo Malgarotto



## I. PREMESSA

La presente relazione, riporta i risultati di un'indagine geologica e sismica eseguita in Loc. Valletti, nel Comune di Varese Ligure (Sp), su incarico del Comune di Varese Ligure, in seguito ad una frana occorsa sulla Strada Provinciale S.P.56 "Ossegna-Colle di Valletti-Ponte Parano" verso la frazione di Valletti.

In considerazione dell'incidenza sul terreno delle opere in oggetto e delle condizioni generali della zona, le metodologie di indagine adottate hanno previsto, nell'ordine:

- ricognizione preliminare necessaria per prendere visione dello stato dei luoghi e raccogliere tutta la documentazione occorrente;
- ricerca bibliografica;
- esecuzione di un rilevamento geologico e di una campagna geognostica consistente in n.1 prova penetrometrica dinamica superpesante DPSH e di n.2 stese sismiche a rifrazione in onde p , n.1 misura sismica MASW;
- esame di dettaglio del terreno al fine di accertarne le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche;
- rielaborazione di quanto emerso dalle indagini e redazione della presente relazione tecnica.

Le indagini sono state condotte in conformità a quanto previsto dalle norme vigenti.

Alla presente relazione è allegata la seguente documentazione:

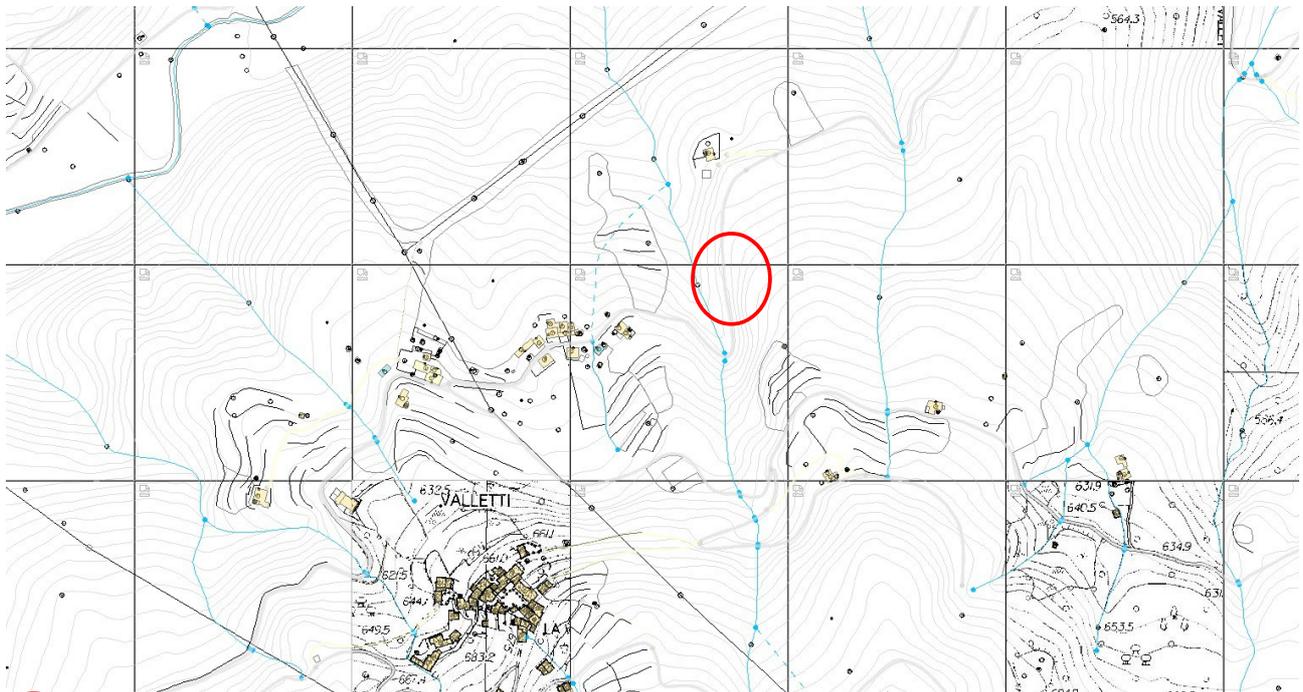
- Allegato a) Tavola Unica: Planimetria con elementi geologici ed idrogeomorfologici e sezioni litostratigrafiche interpretative;
- Allegato b) risultati del calcolo dei parametri sismici (nel testo);
- Allegato c) risultati delle indagini geognostiche (nel testo).

## 2. UBICAZIONE DELL'AREA

L'area interessata dall'indagine è situata in Loc. Valletti, nel Comune di Varese Ligure (Sp), lungo la viabilità provinciale. L'ubicazione è riportata negli allegati cartografici.



Estratto da CTR



Area d'indagine

### 3. CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE E LITOSTRATIGRAFICHE

Con riferimento alla bibliografia ufficiale, rappresentata dalla Carta Geologica d'Italia, Foglio 232, e, soprattutto, dal rilevamento geologico, effettuato in un'area ritenuta significativa, il terreno è rappresentato dalla Formazione degli “*Scisti Zonati*” (Campaniano sup.) del “Gruppo del Lavagna” consistenti in “*torbiditi siltoso-arenacee in strati sottili con rari strati di marne localmente anche di spessore notevole*”. (Carta Geologica d'Italia Foglio 232).

Negli immediati dintorni vengono già segnalate in Carta Geologica coltri detritiche importanti, il rilevamento geologico ha evidenziato la presenza di una coltre detritica di spessore 4÷8 m sopra gli *Scisti Zonati* che affiorano sia lungo il Rio delle Moggie sia lungo la strada qualche decina di metri prima e dopo la frana.

Gli *Scisti Zonati* affiorano con strati di spessore estremamente ridotto, tanto da presentare il tipico aspetto “scistoso”, debolmente piegati e fagliati, il fatto che





Lo studio geomeccanico dell'affioramento ha permesso di definirne alcune caratteristiche.



Affioramento 1



Affioramento 2

La faglia evidenziata in rosso nell'affioramento 1 separa due porzioni di ammasso roccioso, probabilmente disarticolate, dislocate, con rotazioni delle giaciture.

Nell'area indicata con 1, la stratificazione **ST** ha giacitura circa N220°/88° e la piega presenta un asse **A** con giacitura N305°/20°; si individuano altri due sistemi di discontinuità, uno (**K1**) con giacitura N025°/15° e l'altro (**K2**) N170°/18°.

Nel settore 2, **ST** ha giacitura N280°/64° e l'asse della piega **Ab** ha giacitura N180°/21°, anche qui si riconoscono due sistemi, **K1b** N100°/68° (faglia con cataclasi) e **K2b** 030°/68°. Nell'affioramento 2 la stratificazione **ST** è suborizzontale.

Dal punto di vista tettonico non affiora altro di significativo.



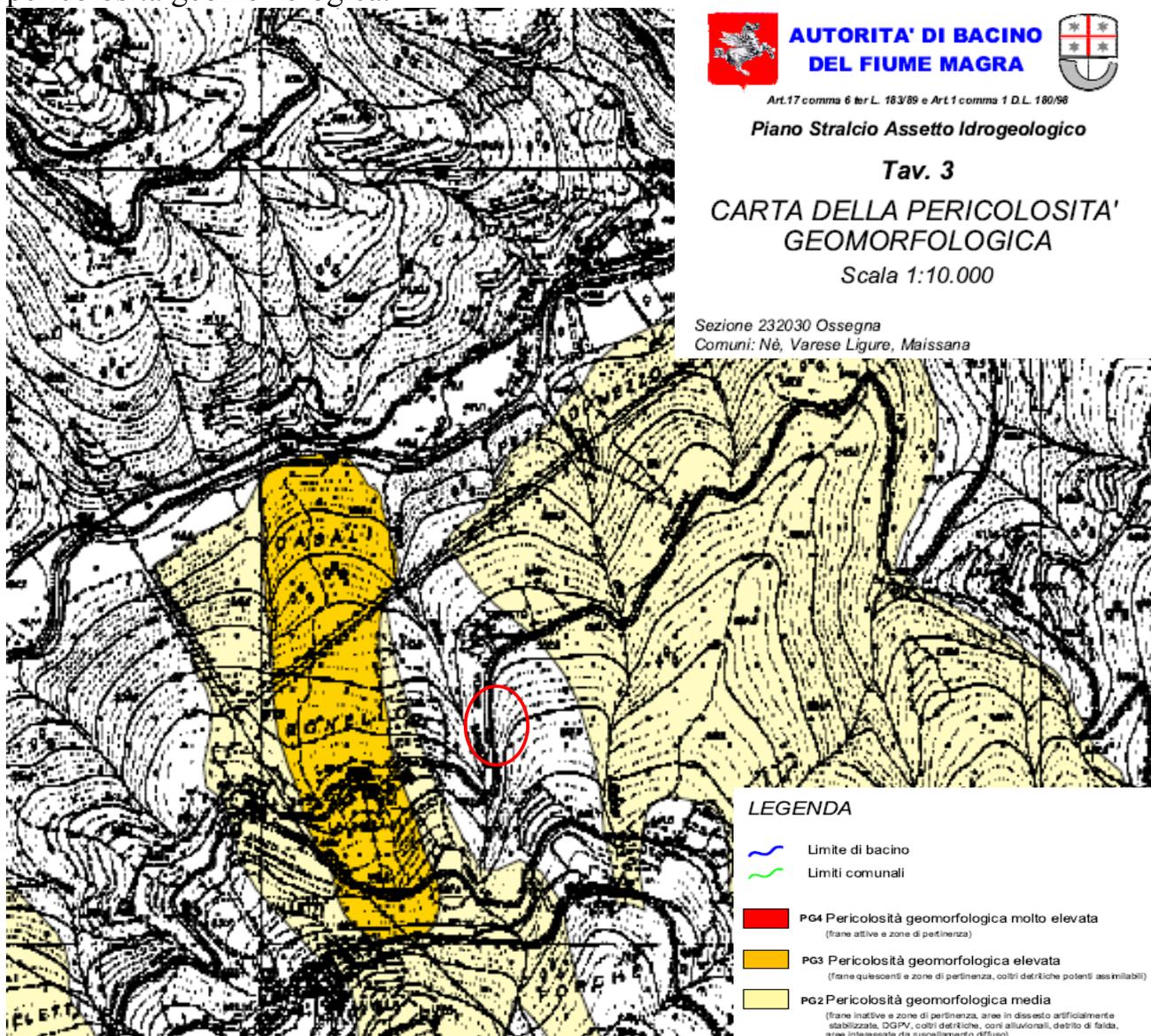


#### 4. CONSIDERAZIONI GEOMORFOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE

L'area in esame è situata ad una quota di circa 520÷600 m s.l.m., in corrispondenza di un versante caratterizzato da pendenze abbastanza elevate, in cui l'intervento antropico è costituito dalla strada.

Ci troviamo in un'area poco antropizzata in cui l'originaria morfologia è solo parzialmente obliterata.

Nella cartografia dell'Autorità di Bacino interregionale del Fiume Magra, l'area non ricade in alcuna zona studiata a pericolosità idraulica e in alcuna zona classificata a pericolosità geomorfologica.





Il rilevamento nell'area ha evidenziato una frana avvenuta a valle della SP56, impostata su una coltre detritica spessa (6÷8 m sotto la strada), non si notano al momento (anche se bisogna considerare che la frana è avvenuta nel febbraio 2016) emergenze idriche nel corpo di frana, i depositi della stessa hanno anche coperto eventuali segni di erosione spondale del Rio.

La frana è completamente impostata sui depositi detritici, costituisce la parziale riattivazione di una frana più grande, che probabilmente ha avuto già altre riattivazioni essendo presenti immediatamente a monte e a valle degli interventi di consolidamento. Nella porzione di versante sopra la strada si notano piccole riattivazioni, con scivolamenti superficiali di detrito e piccole nicchie di distacco.

Dal punto di vista idrogeologico si nota la presenza di un reticolo idrografico superficiale organizzato, legato al citato “Rio delle Moggie”.

Il detrito è permeabile per porosità (permeabilità primaria) ed è caratterizzato da valori medio-bassi. La Formazione è permeabile per fratturazione (permeabilità secondaria) ed è caratterizzata da valori bassi in funzione del possibile riempimento delle fratture con materiale coesivo poco permeabile. I depositi detritici sono sede di una sorta di falda temporanea, il cui livello è caratterizzato da elevate escursioni in funzione della piovosità e può portarsi a livello campagna in caso di persistenti e prolungate precipitazioni. Nella prova effettuata non è stata riscontrata la presenza di una falda.

## 5. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL TERRENO

Allo scopo di caratterizzare anche meccanicamente i terreni è stata eseguita una campagna di n.1 prova penetrometrica utilizzando un penetrometro dinamico tipo super-pesante (DPSH). La campagna geognostica ha previsto inoltre l'esecuzione di due stese sismiche a rifrazione onde p e una misura MASW.

### *Prove penetrometriche dinamiche DPSH:*

La prova è ubicata in allegato “a”. Le caratteristiche dello strumento utilizzato sono le seguenti (vedi allegato “c”):

- peso del maglio: Kg 63.5



- peso di ogni asta: Kg 6,31
- altezza di caduta: cm 75
- superficie di base del cono punta: cm<sup>2</sup> 20.43
- profondità di infissione a lettura: cm 20.

I risultati della prova vengono riportati negli allegati "c"; in questi diagrammi si osserva il numero di colpi per due decimetri di infissione e la resistenza dinamica alla punta sempre per due decimetri di infissione; negli stessi allegati sono riportate le tabelle dei parametri geotecnici dei terreni considerandoli come incoerenti.

Dal risultato delle prove penetrometriche dinamiche è possibile calcolare la resistenza dinamica di punta dei terreni. Essa permette di stimare le caratteristiche meccaniche degli stessi; ciò applicando la seguente formula olandese specifica per lo strumento:

$$R_{pd} = M^2 * [H/A * e(M+m)]$$

dove:

$R_{pd}$  = resistenza dinamica; M = peso del maglio; m = peso delle aste più l'incudine; H = altezza di caduta; e = rifiuto; A = superficie della punta.

Si fa notare, infine, che dividendo il valore ottenuto dalla formula (resistenza dinamica) per un coefficiente empirico pari a 20 (valore dato dal costruttore dello strumento), si ricava la capacità portante riferita allo strumento utilizzato.

Nei diagrammi in allegato "c" vengono riportati:

- nel primo diagramma il numero dei colpi per due decimetri rispetto alla profondità;
- nel secondo la resistenza di punta verso la profondità;
- nel terzo l'interpretazione stratigrafica.

Si distinguono due livelli, sottostanti l'asfalto e il sottofondo stradale, di seguito le caratteristiche geotecniche calcolate considerando i terreni come incoerenti, ovvero con coesione pari a zero.

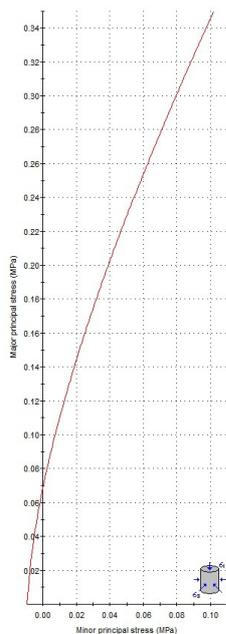
Prova P1	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	P.V.saturo (kN/m <sup>3</sup> )
1 detrito	28	17,5	18,9
2 roccia alterata	27	21,2	-



È possibile definire le caratteristiche dell'ammasso roccioso sulla base di quanto osservabile, utilizzando il software gratuito RocLab della Rocscience Inc., considerando un valore di GSI pari a 32 valutato sulla base del grafico di seguito riportato e dalla classificazione di Bienawsky (A1=4, A2=3, A3=5, A4=10, A5=15 fattore correttivo -5), mentre si possono definire i parametri  $m_i=4$  e  $D=1$ , la resistenza a compressione uniaassiale in questi litotipi può essere assunta intorno a 25MPa, la  $\sigma_3$  può essere intono a valori di 0,1MPa, siamo in condizioni sub superficiali.

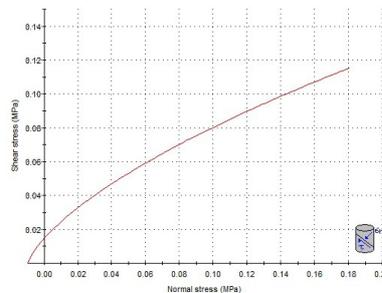
Rock Type: <input type="text" value="General"/>	SURFACE CONDITIONS				
	VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
GSI Selection: <input type="text" value="32"/> <input type="button" value="OK"/>					
STRUCTURE	DECREASING SURFACE QUALITY →				
INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60	50		
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			40	30	
DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				20	
LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes					10

Si ottengono dei valori dei parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso pari a angolo d'attrito= $28^\circ$  e coesione= $0,024$  MPa, il peso di volume è  $25 \text{ kN/m}^3$ .



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification  
 intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 25 MPa  
 GSI = 32  $m = 4$  Disturbance factor (D) = 1  
 intact modulus (E) = 6250 MPa  
 modulus ratio (MR) = 250  
 Hoek-Brown Criterion  
 $m_i = 0.031$   $s = 1.2e-5$   $a = 0.520$   
 Mohr-Coulomb Fit  
 cohesion = 0.024 MPa friction angle = 28.33 deg  
 Rock Mass Parameters  
 tensile strength = -0.010 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.069 MPa  
 global strength = 0.030 MPa  
 deformation modulus = 198.45 MPa





## 6. NORME SISMICHE

Il Comune di Varese Ligure, in base al DGR 1362 del 19.11.2010 Regione Liguria, viene classificato come “Zona 3” con accelerazione di gravità  $pga=0,15g$ .

L'area è caratterizzata da terreni il cui valore di  $v_{s30}$  misurato è pari a 830 m/s, sebbene possano essere riconducibili a terreni di tipo A secondo il D.M. 14.01.2008, cautelativamente vengono considerati come di categoria E.

La topografia dell'area fa sì che ricada in classe T2.

I parametri sismici calcolati sono elencati in allegato “c”. Sulla base dei rilievi eseguiti, della granulometria dei depositi, delle magnitudo attese, è ragionevole valutare in bassa la probabilità di verificarsi del fenomeno della liquefazione.

## 7. CONCLUSIONI

A conclusione dell'indagine, sulla risultanza delle varie osservazioni effettuate, si è evidenziata una frana in terreni detritici che è la parziale riattivazione di una frana più grande, anche nei dintorni dell'area ci sono grandi coltri detritiche con fenomeni di dissesto.

Si è evidenziata la stratigrafia dell'area consistente in una copertura detritica costituita da depositi caotici di frana con blocchi in matrice dello spessore di almeno 4÷8 m, soprastante gli *Scisti Zonati*.

Sono state eseguite due stese sismiche per verificare lo spessore della coltre, una in corrispondenza del ciglio stradale a monte, con l'esecuzione anche di un profilo MASW, e una nel bosco a monte della strada; la prova penetrometrica è stata realizzata nella strada. L'elaborazione delle informazioni ha permesso di ricostruire due sezioni, basate sul rilievo topografico eseguito dai tecnici della Provincia della Spezia. Sulla base della prova e dei rilievi sono stati ricavati i parametri geotecnici medi.



I depositi indagati possono essere sede di una falda freatica, temporanea, il cui livello è caratterizzato da elevate escursioni in funzione della piovosità e può portarsi a livello campagna in caso di persistenti e prolungate precipitazioni.

Le indagini sismiche hanno mostrato un ammasso roccioso più fratturato nelle porzioni sopra strada, con minori velocità delle onde sismiche.

Gli strati di scisti zonati che affiorano alla base del versante potrebbero non essere strettamente correlati al resto dell'ammasso, in un contesto rivelatosi così dinamico.

I piccoli scivolamenti di detrito, e relative nicchie di distacco, rilevati nel bosco sopra strada, in parte ancora traccia e conseguenza della costruzione della strada stessa, possono derivare da concentrazioni di acque ruscellanti e, al momento, non ci sono evidenze che possano portare ad una interazione significativa con le opere in progetto.

Nella progettazione degli interventi necessari bisognerà tenere conto del Modello Geologico illustrato nella presente Relazione Geologica.

Infine si consiglia di prendere quante più precauzioni possibili durante i lavori, in modo da garantire l'incolumità di chi opererà nella realizzazione degli stessi.

Per eventuali chiarimenti in fase esecutiva si resta cortesemente a disposizione.

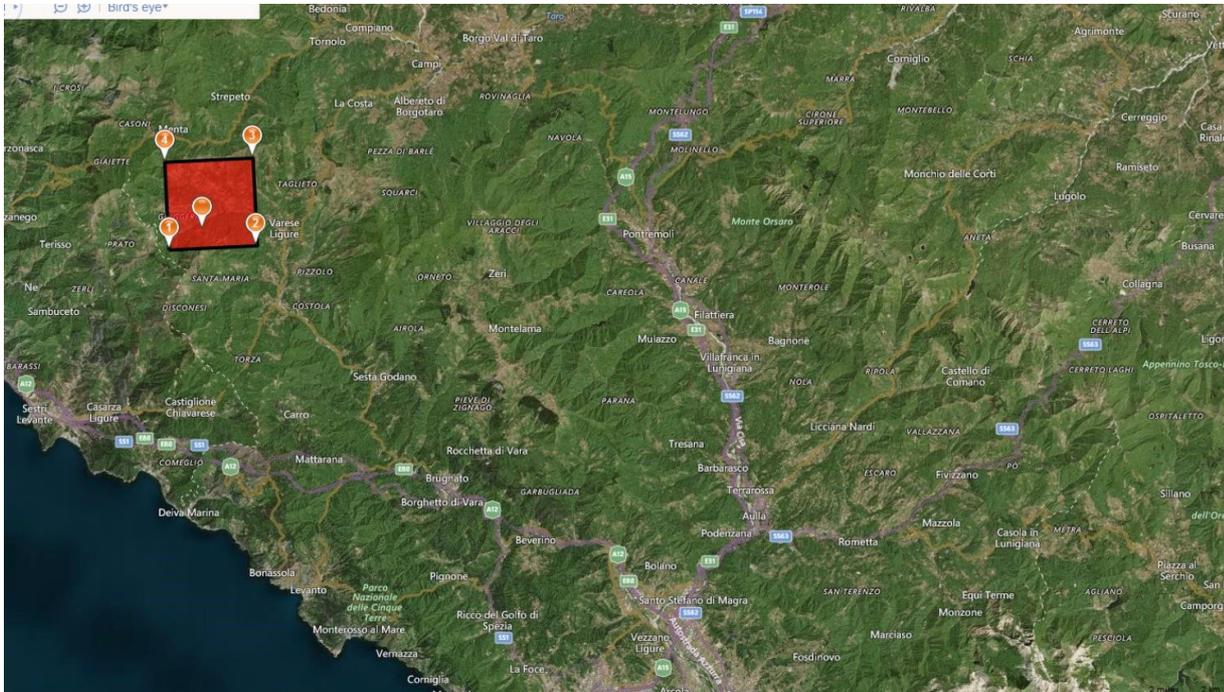
La Spezia, febbraio 2016

*Geol. Carlo Malgarotto*



# Allegato "b" Risultati del calcolo dei parametri sismici

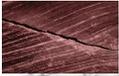
## PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE



Vita nominale (Vn): 50 [anni]  
 Classe d'uso: II  
 Coefficiente d'uso (Cu): 1  
 Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]  
 Tipo di interpolazione: Media ponderata  
 Coordinate geografiche del punto  
 Latitudine (WGS84): 44,3786888 [°]  
 Longitudine (WGS84): 9,5298223 [°]  
 Latitudine (ED50): 44,3796463 [°]  
 Longitudine (ED50): 9,5308542 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	17148	44,367880	9,504249	2486,73
2	17149	44,370200	9,574087	3593,17
3	16927	44,420160	9,570822	5511,35
4	16926	44,417830	9,500938	4865,63



Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC08, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,041	2,478	0,216
SLD	50	0,054	2,456	0,241
	72	0,063	2,466	0,256
	101	0,073	2,451	0,262
	140	0,083	2,459	0,268
	201	0,099	2,428	0,270
SLV	475	0,138	2,397	0,282
SLC	975	0,179	2,368	0,291
	2475	0,240	2,363	0,307

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,046	2,427	0,229
SLD	50	0,059	2,448	0,247
	72	0,070	2,429	0,257
	101	0,081	2,430	0,260
	140	0,094	2,438	0,263
	201	0,110	2,427	0,269
SLV	475	0,153	2,390	0,283
SLC	975	0,197	2,370	0,290
	2475	0,262	2,405	0,298

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,048	2,402	0,230
SLD	50	0,063	2,418	0,249
	72	0,075	2,449	0,251
	101	0,089	2,435	0,256
	140	0,106	2,343	0,260
	201	0,124	2,358	0,266
SLV	475	0,169	2,405	0,278
SLC	975	0,219	2,409	0,282
	2475	0,295	2,399	0,309

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,044	2,450	0,227
SLD	50	0,056	2,446	0,242
	72	0,067	2,435	0,256
	101	0,078	2,430	0,260
	140	0,091	2,442	0,262
	201	0,106	2,431	0,267
SLV	475	0,151	2,375	0,280
SLC	975	0,195	2,365	0,287
	2475	0,262	2,377	0,294



## Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,044	2,446	0,224
SLD	50	0,057	2,446	0,244
SLV	475	0,150	2,392	0,281
SLC	975	0,194	2,375	0,289

## PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ :

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ :

1,000

Categoria sottosuolo: E: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs maggiore di 800m/s)

Categoria topografica: T2: Pendii con inclinazione media maggiore di 15°

## Coefficienti sismici per muri di sostegno

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,015	0,020	0,069	0,083
kv	0,008	0,010	0,035	0,042
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,833	1,074	2,821	3,393
Beta	0,180	0,180	0,240	0,240

## Coefficienti sismici per muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,085	0,109	0,288	0,346
kv	0,042	0,055	0,144	0,173
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,833	1,074	2,821	3,393
Beta	1,000	1,000	1,000	1,000

## Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,017	0,022	0,069	0,083
kv	0,008	0,011	0,035	0,042
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,833	1,074	2,821	3,393
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240



Allegato "c"  
Risultati delle indagini geognostiche

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA**

Committente: Comune di Varese Ligure Cantiere: Località: Strada x Valletti	
--	--

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094	
Peso Massa battente	63,5 Kg	
Altezza di caduta libera	0,75 m	
Peso sistema di battuta	0,63 Kg	
Diametro punta conica	51,00 mm	
Area di base punta	20,43 cm <sup>2</sup>	
Lunghezza delle aste	1 m	
Peso aste a metro	6,31 Kg/m	
Profondità giunzione prima asta	0,40 m	
Avanzamento punta	0,20 m	
Numero colpi per punta	N(20)	
Coeff. Correlazione	1,472	
Rivestimento/fanghi	No	
Angolo di apertura punta	60 °	

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato...	DPSH TG 63-200 PAGANI
Prova eseguita in data	17/05/2016
Profondità prova	6,00 mt
Falda non rilevata	

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	65	0,655	447,10	682,97	22,35	34,15
0,40	15	0,801	126,21	157,61	6,31	7,88



0,60	4	0,847	32,67	38,57	1,63	1,93
0,80	8	0,843	65,06	77,15	3,25	3,86
1,00	10	0,840	80,98	96,43	4,05	4,82
1,20	8	0,836	64,52	77,15	3,23	3,86
1,40	6	0,833	48,19	57,86	2,41	2,89
1,60	5	0,830	36,96	44,55	1,85	2,23
1,80	5	0,826	36,82	44,55	1,84	2,23
2,00	8	0,823	58,68	71,29	2,93	3,56
2,20	7	0,820	51,16	62,38	2,56	3,12
2,40	11	0,817	80,10	98,02	4,00	4,90
2,60	13	0,764	82,28	107,66	4,11	5,38
2,80	10	0,811	67,20	82,82	3,36	4,14
3,00	13	0,759	81,68	107,66	4,08	5,38
3,20	7	0,806	46,73	57,97	2,34	2,90
3,40	6	0,803	39,92	49,69	2,00	2,48
3,60	7	0,801	43,37	54,15	2,17	2,71
3,80	6	0,798	37,06	46,41	1,85	2,32
4,00	14	0,746	80,79	108,30	4,04	5,41
4,20	7	0,794	42,98	54,15	2,15	2,71
4,40	5	0,791	30,61	38,68	1,53	1,93
4,60	6	0,789	34,36	43,54	1,72	2,18
4,80	13	0,737	69,54	94,34	3,48	4,72
5,00	21	0,685	104,39	152,40	5,22	7,62
5,20	16	0,733	85,11	116,11	4,26	5,81
5,40	29	0,681	143,33	210,45	7,17	10,52
5,60	20	0,729	99,66	136,68	4,98	6,83
5,80	35	0,627	150,04	239,19	7,50	11,96
6,00	100	0,575	393,29	683,41	19,66	34,17

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
0,4	40	420,29		0,0	0,0	0,0	1,47	58,88	asfalto
4,6	7,9	67,57	Incoerente	1,78	1,93	0,37	1,47	11,63	detrito
5,8	22,33	158,19	Incoerente	2,16	2,06	0,88	1,47	32,87	argilliti

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1  
TERRENI INCOERENTI

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
detrito	11,63	0,40-4,60	11,63	Shioi-Fukuni (1982)	28,21
argilliti alterate	32,87	4,60-5,80	32,87	Japanese National Railway	36,86

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
detrito	11,63	0,40-4,60	11,63	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
argilliti alterate	32,87	4,60-5,80	32,87	Classificazione A.G.I	ADDENSATO



Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
detrito	11,63	0,40-4,60	11,63	Meyerhof ed altri	1,78
argilliti alterate	32,87	4,60-5,80	32,87	Meyerhof ed altri	2,16

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
detrito	11,63	0,40-4,60	11,63	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,93
argilliti alterate	32,87	4,60-5,80	32,87		-

Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/P0

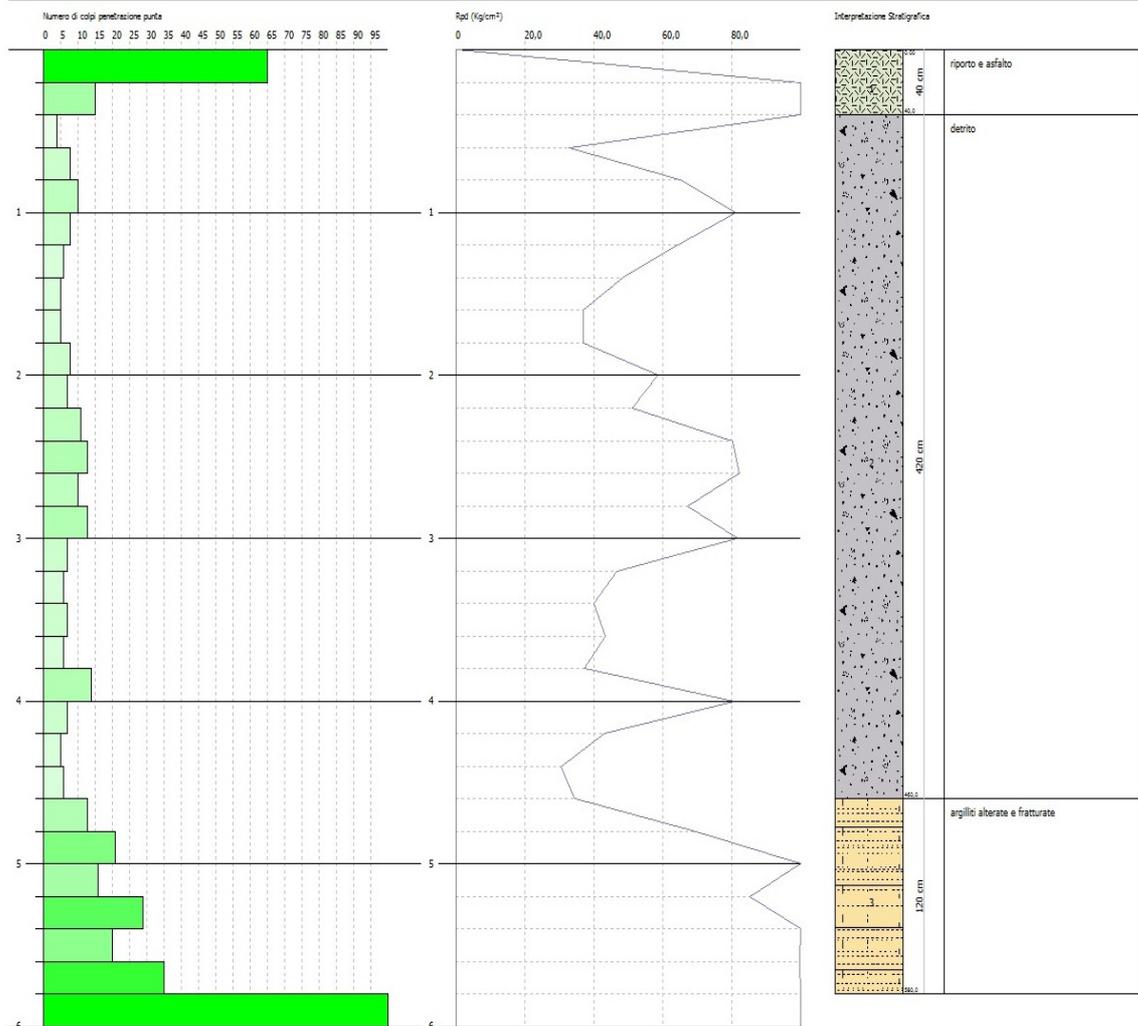
Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
detrito	11,63	0,40-4,60	11,63	Navfac 1971-1982	2,45
argilliti alterate	32,87	4,60-5,80	32,87	Navfac 1971-1982	6,00

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1**  
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Comune: Varese  
Località: Strada x Valletti

Data: 17/05/2016

Scala: 1:50



# STUDIO DI GEOLOGIA

*Dottor. Marco Mori*

**Viale dei Menhir, n.- 55  
54028 Villafranca in Lunigiana (MS)**

*Tel +393496176628*

*geo.marcomori@alice.it*

REGIONE LIGURIA  
PROVINCIA LA SPEZIA  
COMUNE DI VARESE LIGURE

RELAZIONE TECNICA INDAGINI GEOFISICHE

LOCALITA' VALLETTI

II COMMITTENTE

Geol Carlo Malgarotto

II GEOLOGO  
Dottor Mori Marco



<b>1. PREMESSA</b>	<b>3</b>
<b>2. UBICAZIONE INTERVENTO</b>	<b>3</b>
<b>3. PROFILO SISMICO CON A RIFRAZIONE ST1</b>	<b>5</b>
3.1 Cenni di teoria	5
3.2 Strumento	10
3.3 Profilo ST1	11
3.3.1 Geometria geofoni & shoot	11
3.3.2 Dati battute onde P	12
3.3.3 Dromocrone	19
3.3.4 Interpretazione col metodo G.R.M.	20
3.3.5 Report grafico	21
<b>4. PROFILO SISMICO CON TECNICA M.A.S.W. MW1</b>	<b>22</b>
4.1 Premessa	22
4.2 Strumento	23
4.3 MW1	24
4.3.1 Tracce	24
4.3.2 Analisi spettrale	25
4.3.3 Curva di dispersione	26
4.3.4 Inversione	27
4.3.5 Risultati	28

## 1. PREMESSA

La presente relazione, redatta su incarico della committenza, esporrà i risultati delle indagini geofisiche svolte sui terreni nel comune di Varese Ligure (SP), località Valletti.

## 2. UBICAZIONE INTERVENTO

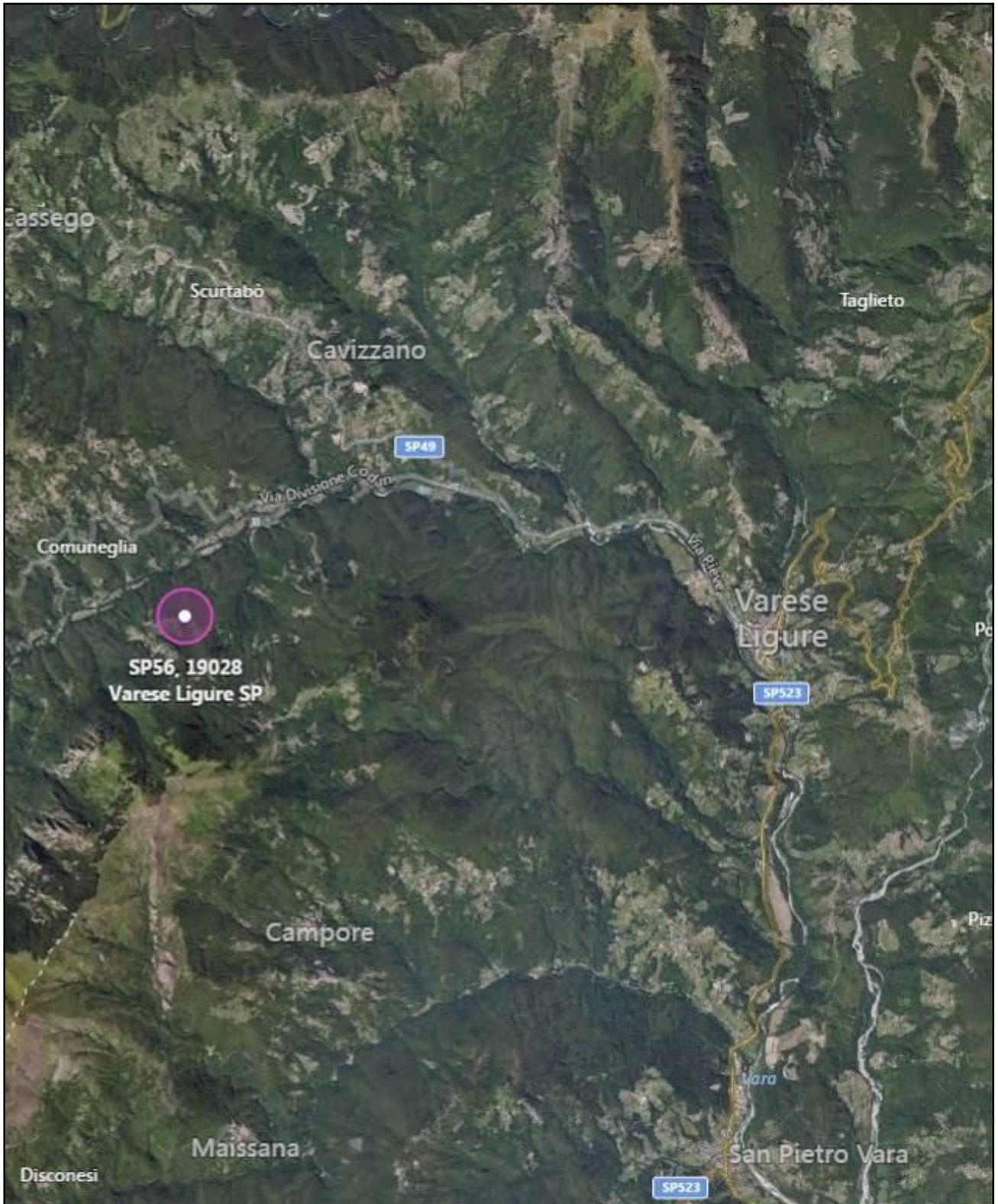


Figura Inquadramento

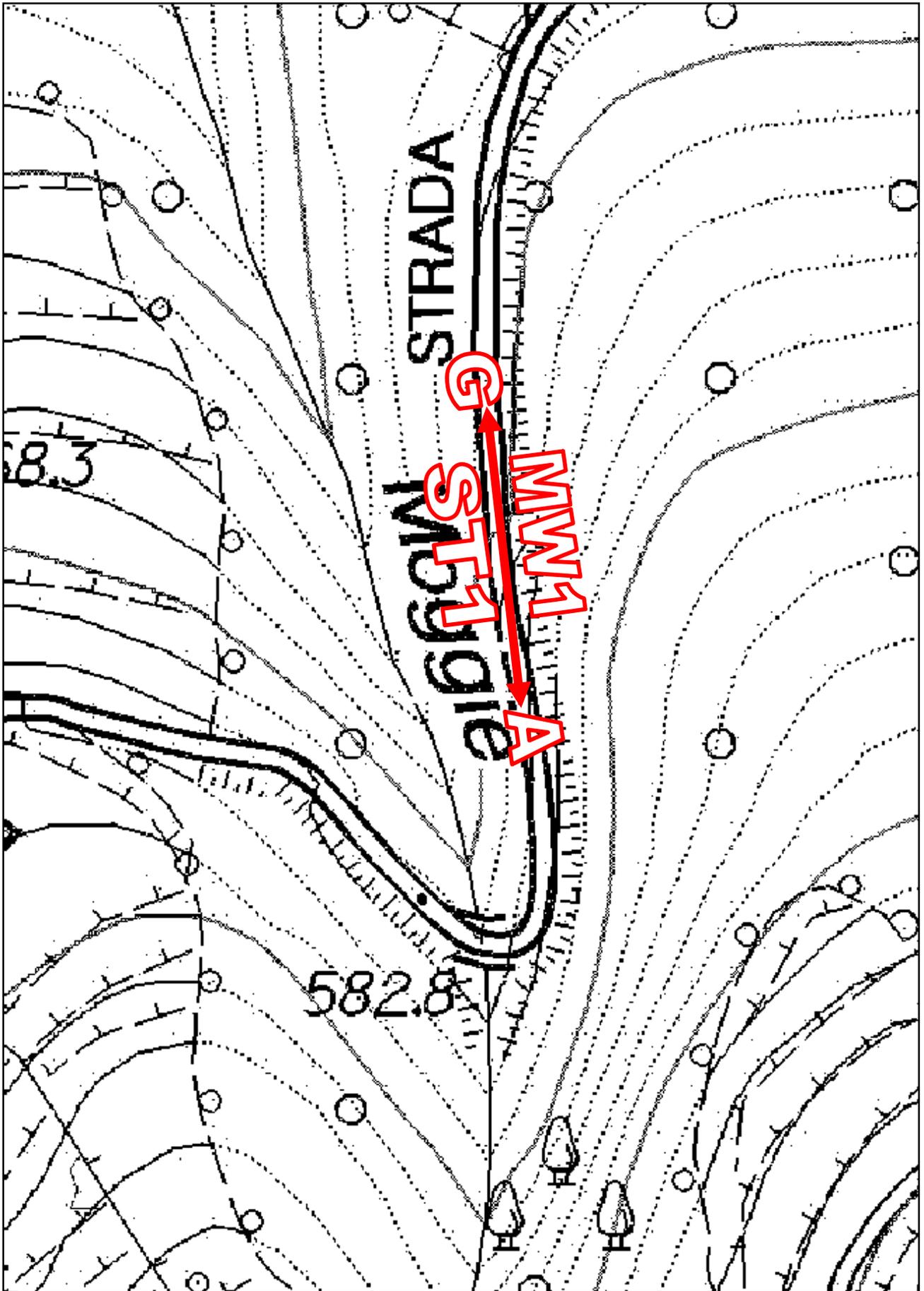


Figura Inquadramento dettaglio area di intervento

### 3. PROFILO SISMICO CON A RIFRAZIONE ST1

#### 3.1 Cenni di teoria

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti.

Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda  $\lambda$ , comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde  $\lambda$ , equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza  $\theta_i$  mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione  $\theta_r$ . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove  $v_1$  e  $v_2$  sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per  $v_1 > v_2$  si ha che  $\theta_i > \theta_r$  e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per  $v_1 < v_2$  si ha che  $\theta_i < \theta_r$  ed esiste un angolo limite di incidenza per cui  $\theta_r = 90^\circ$  ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

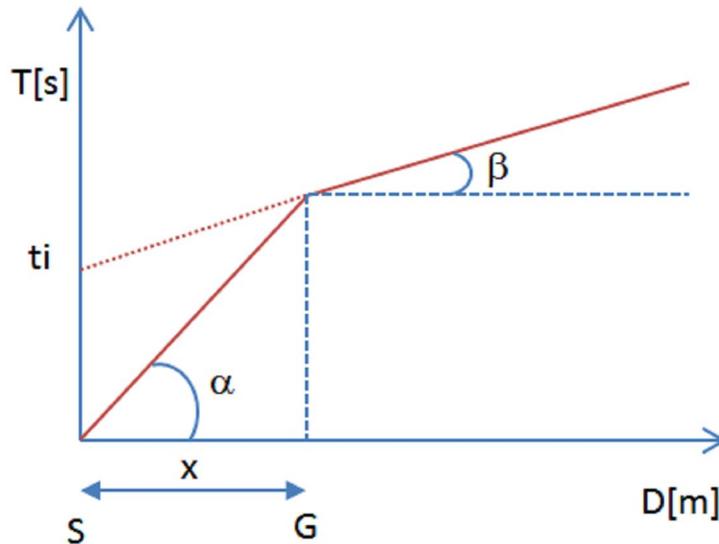
Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo  $T$  dato dalla relazione

dove  $x_i$  è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità  $V_1$  del primo mezzo come

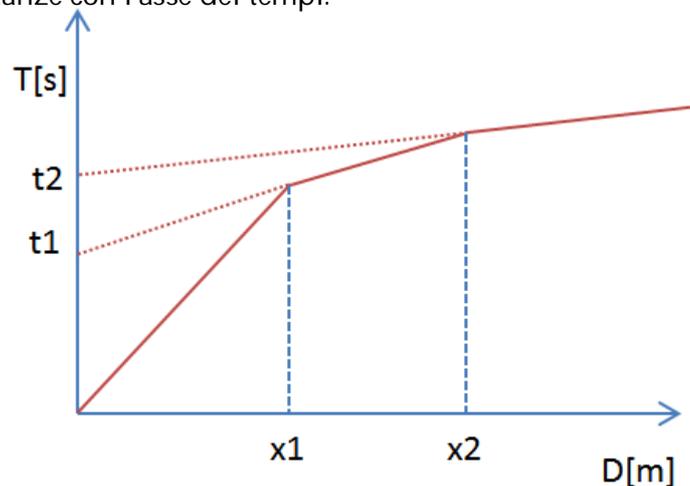
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo  $t_i$  che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.

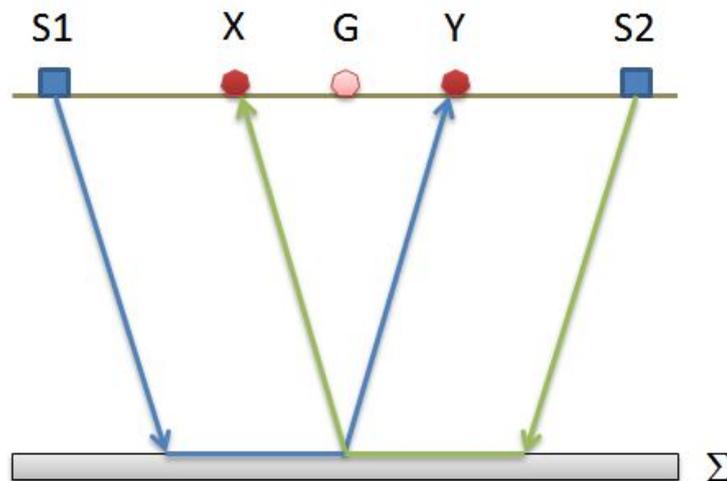


Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left( t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

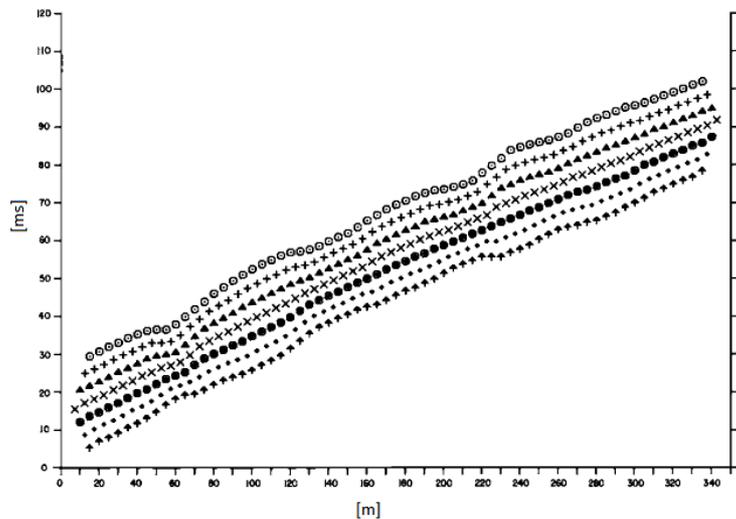
In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifratore.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifratore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori. Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



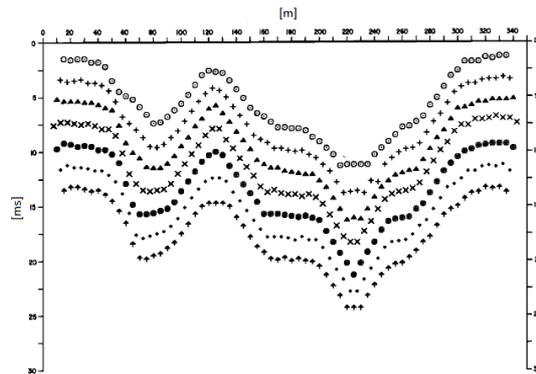
dove  $T_{S_1Y}$  e  $T_{S_2X}$  sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente  $S_1$  ad  $X$  e dalla sorgente  $S_2$  ad  $Y$  mentre  $T_{S_1S_2}$  è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio  $S_1$  ed  $S_2$ , esternamente simmetrici rispetto allo stendimento.  $T_V$  è il tempo calcolato su un geofono  $G$  posto tra  $X$  ed  $Y$ , non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

Il calcolo della funzione  $T_V$  viene eseguito per ogni valore di  $XY$  compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l' $XY$  ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left( T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove  $V_n$  è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo.

Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°

### 3.2 Strumento

#### Sismografo modello DoReMi, a 12 Canali, della



Caratteristiche tecniche

Classe strumentale: sismografo multicanale per geofisica

Topologia: rete differenziale RS485 half-duplex multipunto

Lunghezza max rete: virtualmente illimitata con l'uso di ripetitori

N. max canali per tratta: 255

Dimensioni elemento: 80x55x18 mm

Peso: 250 g (per elemento con cavo di 5 metri)

Cavo: per geofisica 1x2x0.5 + 1x2x0.25 twisted pair schermato



Memoria: 60 kBytes (30000 campioni)

Frequenze selezionabili: da 500 a 20000 Hz (passi di campionamento da 2 a 0.05 ms)

Convertitore: tipo SAR a 16 bit (96 dB)

Amplificatore: ultra-low noise con ingresso differenziale

Banda passante: 2Hz - 200Hz

Reiezione modo comune: >80dB

Diafonia (crosstalk): zero, la trasmissione è digitale

Dinamica del sistema:

Risoluzione: 7.6  $\mu$ V @ 27dB; 0.076  $\mu$ V @ 60dB

Dinamica di base: 96dB (16 bit)

S/N ratio fra 0.5 e 30Hz: >94dB (> 150dB con l'uso del PGA)

Alimentazione:

Alimentazione: batteria ricaricabile interna operativa 10-15Vdc

Consumo di energia: Interfaccia 80 mA, canale 30mA per una stringa da

Energizzazione:

Shoot : Mazza di battuta metallica 5Kg

Piastra di battuta: polietilene di dimensioni 25 cm

Starter :Geofono direttamente collegato allo strumento di misura (sismografo)

#### Specifiche nominali sensori

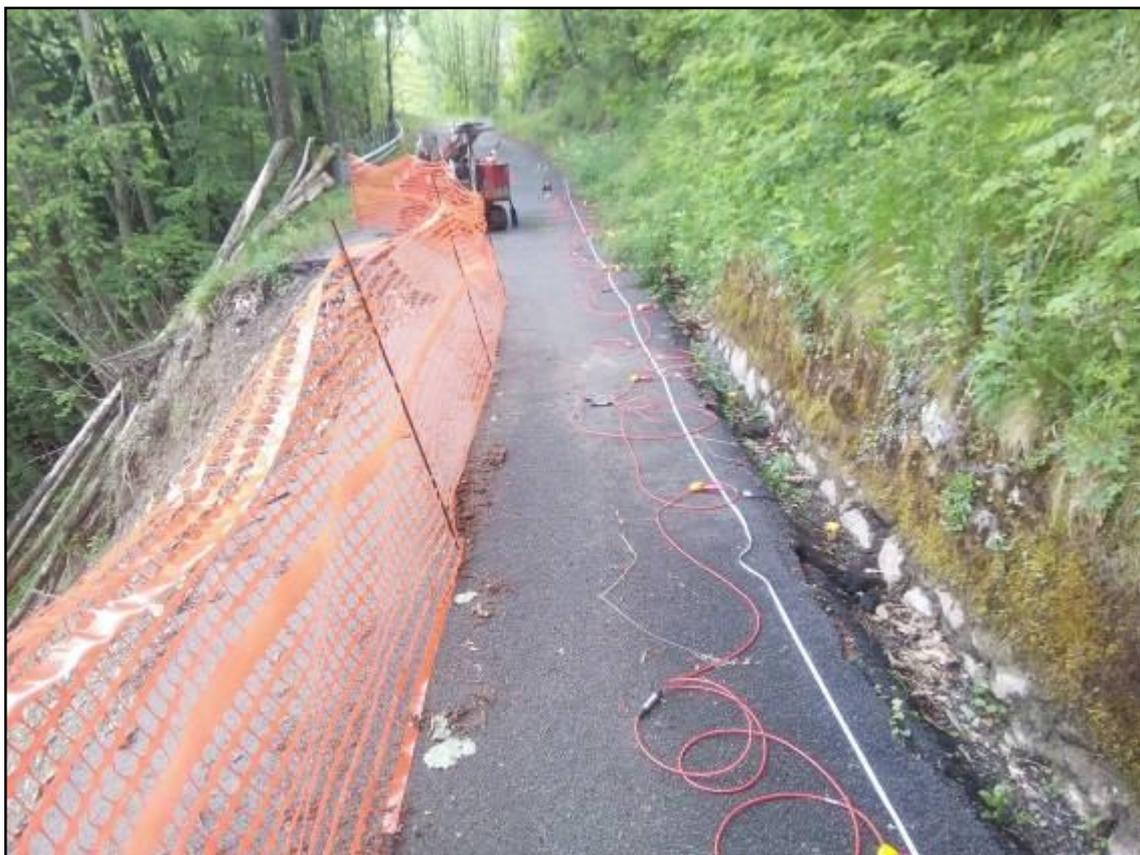
Frequenza propria	Hz	4.5
Banda utilizzabile*	Hz	0.2--240
Tolleranza al tilt (V)	gradi	5
Tolleranza al tilt (H)	gradi	2
Smorzamento	<i>h</i>	0.4/0.6
Sensibilità a c.a.	V/m/s	28
Sensibilità a c.s.	V/m/s	78
Versione high-gain	V/m/s	80
Impedenza bobina	ohm	375,3800
Massa inerziale	g	11
Escursione bobina	mm	4
Peso (tipo V)	g	275
Peso (tipo H)	g	238



### 3.3 Profilo ST1

#### 3.3.1 Geometria geofoni & shoot

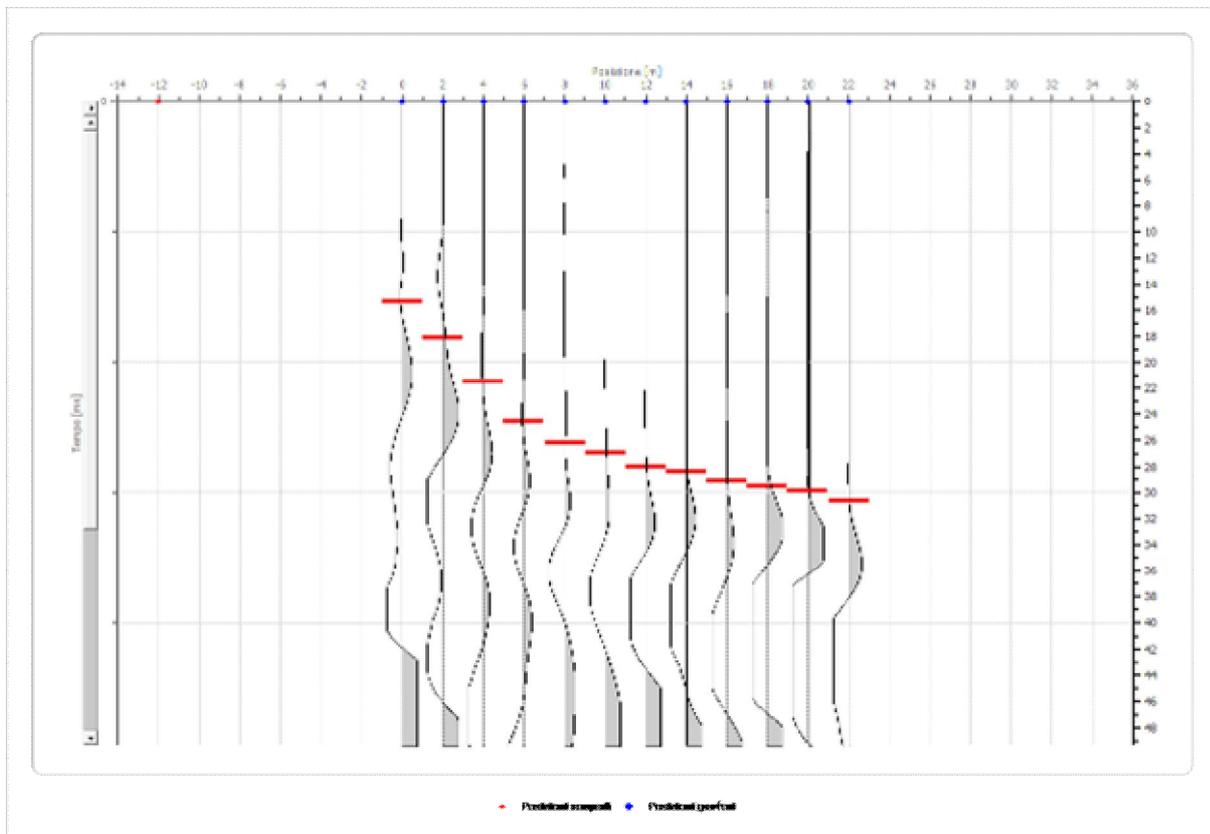
	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
A	-12.0	0.3
B	-6.0	0.2
C	-2.0	0.1
1	0.0	0.0
2	2.0	-0.2
3	4.0	-0.4
4	6.0	-0.5
5	8.0	-0.7
6	10.0	-0.9
D	11.0	-1.1
7	12.0	-1.3
8	14.0	-1.4
10	18.0	-1.6
11	20.0	-1.8
12	22.0	-2.0
E	24.0	-2.1
F	28.0	-2.2
G	34.0	-2.3



### 3.3.2 Dati battute onde P

#### 3.3.2.1 Battuta 1

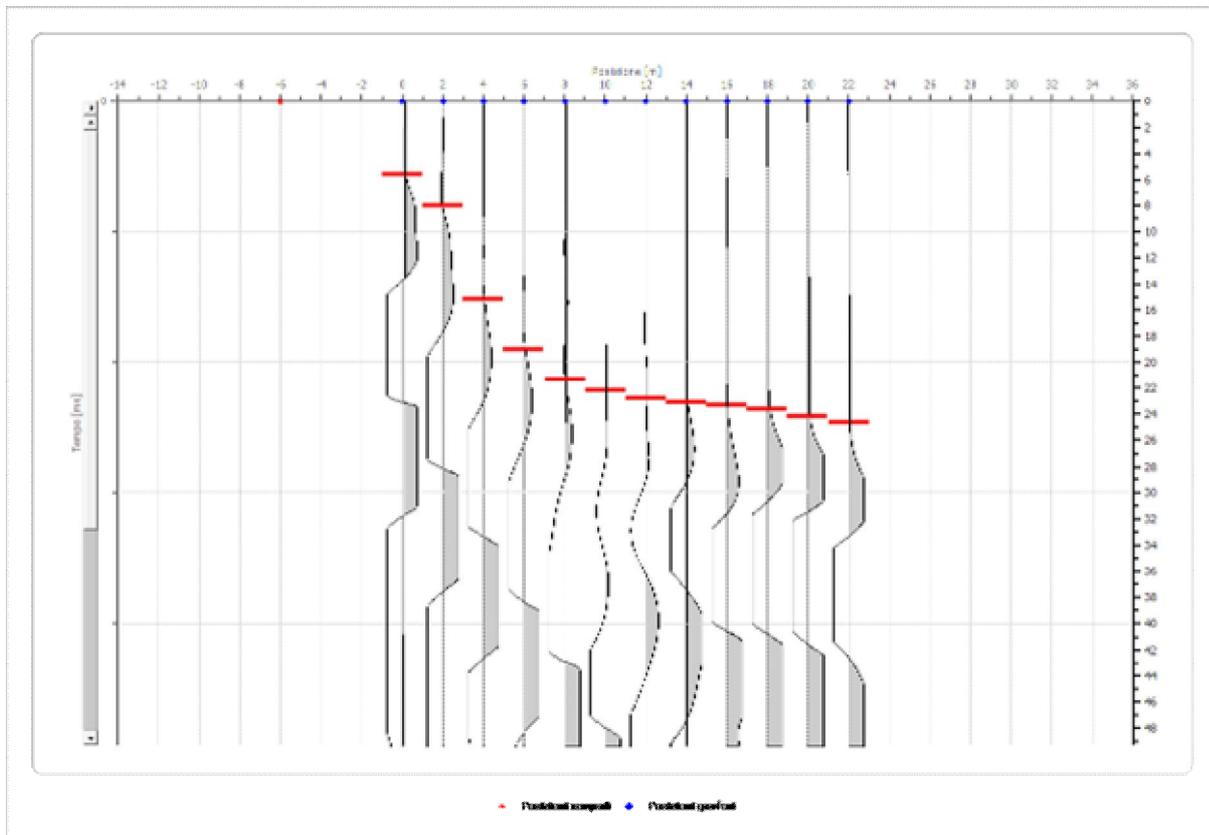
Posizione sorgente -12[m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	15.3798
2.0	18.1085
4.0	21.4574
6.0	24.5581
8.0	26.1705
10.0	26.9147
12.0	28.0310
14.0	28.4031
16.0	29.1473
18.0	29.5194
20.0	29.8915
22.0	30.6357

### 3.3.2.2 Battuta 2

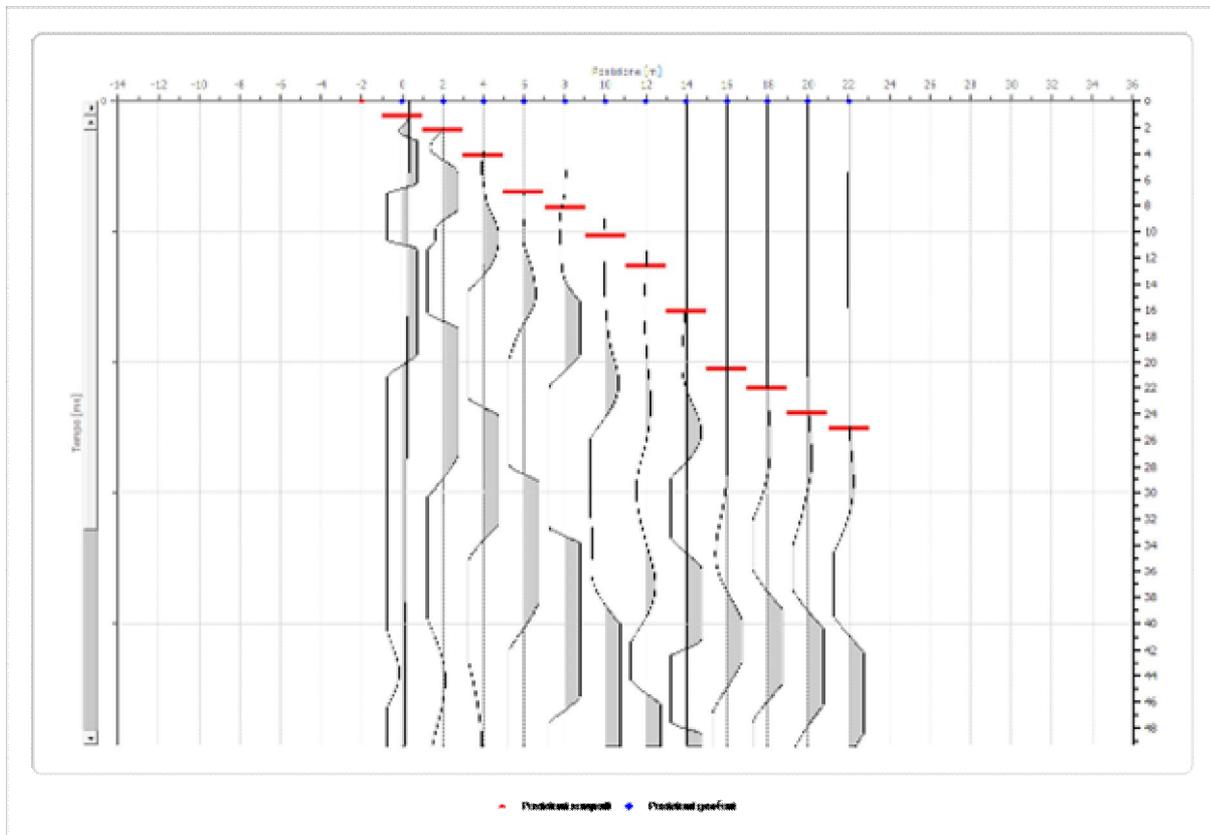
Posizione sorgente -6[m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	5.5814
2.0	8.0620
4.0	15.2207
6.0	19.0450
8.0	21.3395
10.0	22.1809
12.0	22.7928
14.0	23.0987
16.0	23.3282
18.0	23.6341
20.0	24.1860
22.0	24.6284

### 3.3.2.3 Battuta 3

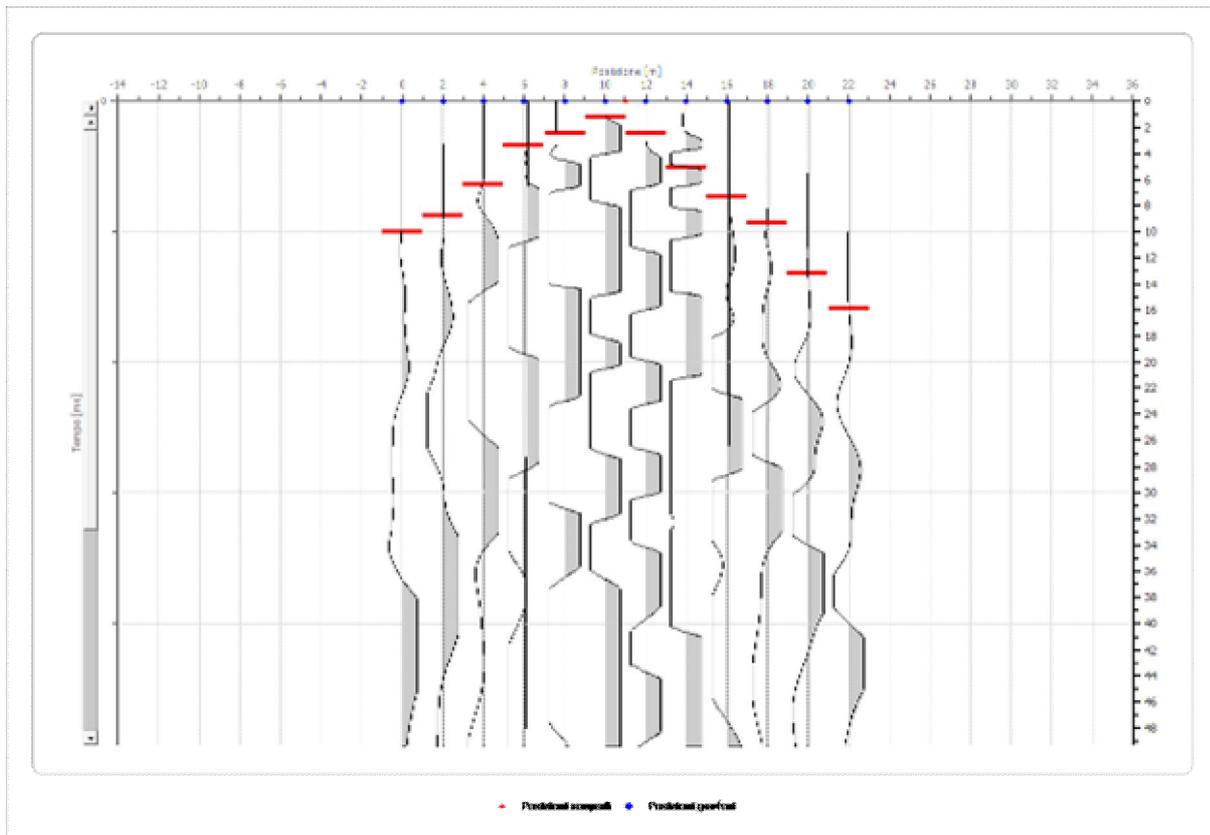
Posizione sorgente -2[m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	1.1163
2.0	2.2326
4.0	4.0930
6.0	6.9457
8.0	8.1860
10.0	10.3256
12.0	12.6202
14.0	16.1385
16.0	20.4651
18.0	22.0279
20.0	23.9380
22.0	25.0873

### 3.3.2.4 Battuta 4

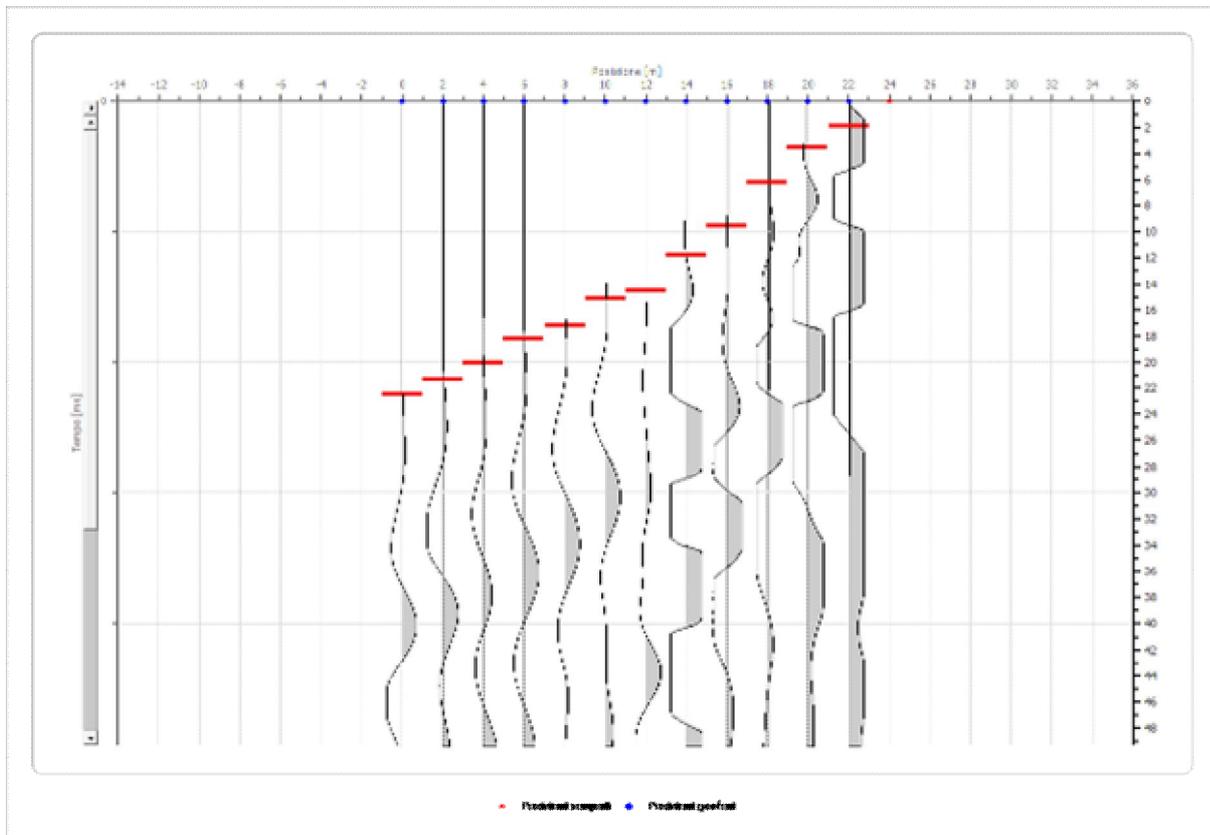
Posizione sorgente 11[m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	10.0465
2.0	8.8062
4.0	6.3256
6.0	3.3488
8.0	2.4806
10.0	1.2403
12.0	2.4806
14.0	5.0853
16.0	7.3643
18.0	9.3023
20.0	13.1783
22.0	15.8915

### 3.3.2.5 Battuta 5

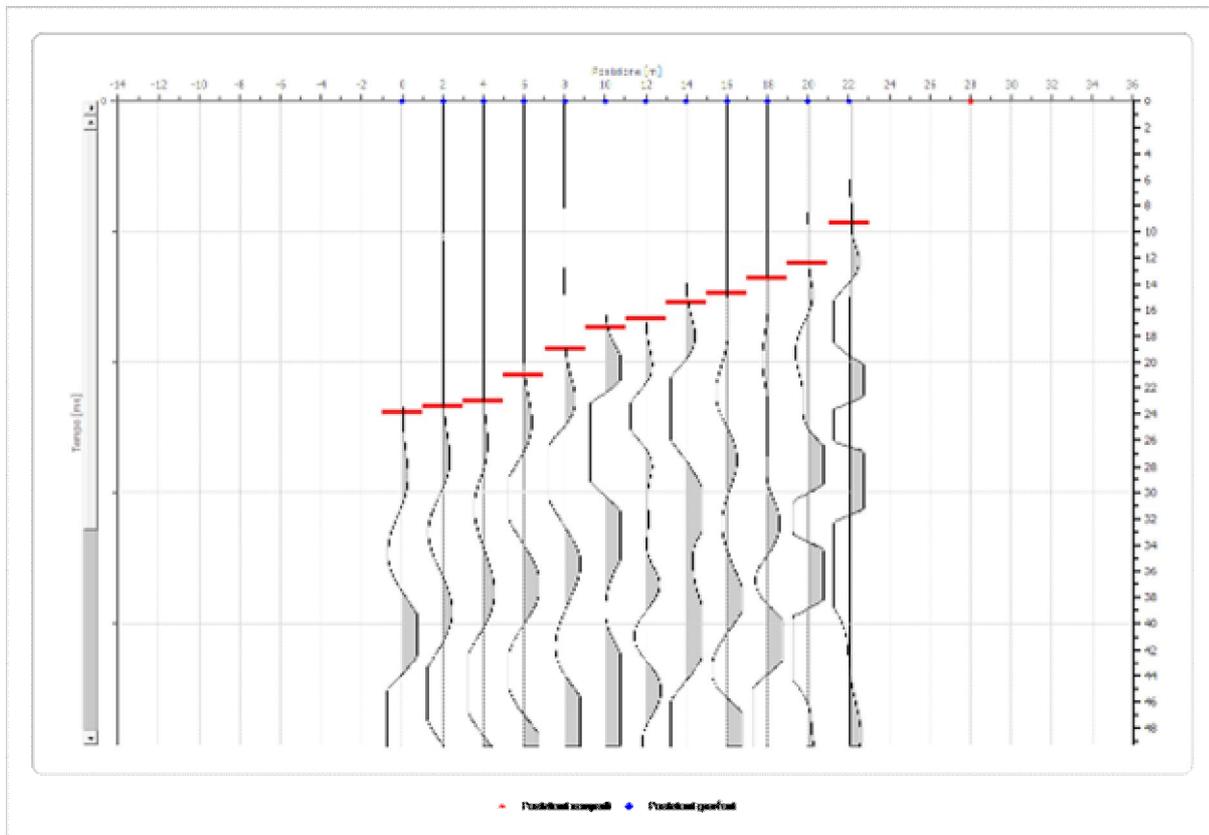
Posizione sorgente 24[m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	22.4806
2.0	21.3178
4.0	20.0393
6.0	18.2036
8.0	17.2093
10.0	15.1163
12.0	14.5323
14.0	11.7788
16.0	9.5607
18.0	6.1953
20.0	3.5183
22.0	1.9380

### 3.3.2.6 Battuta 6

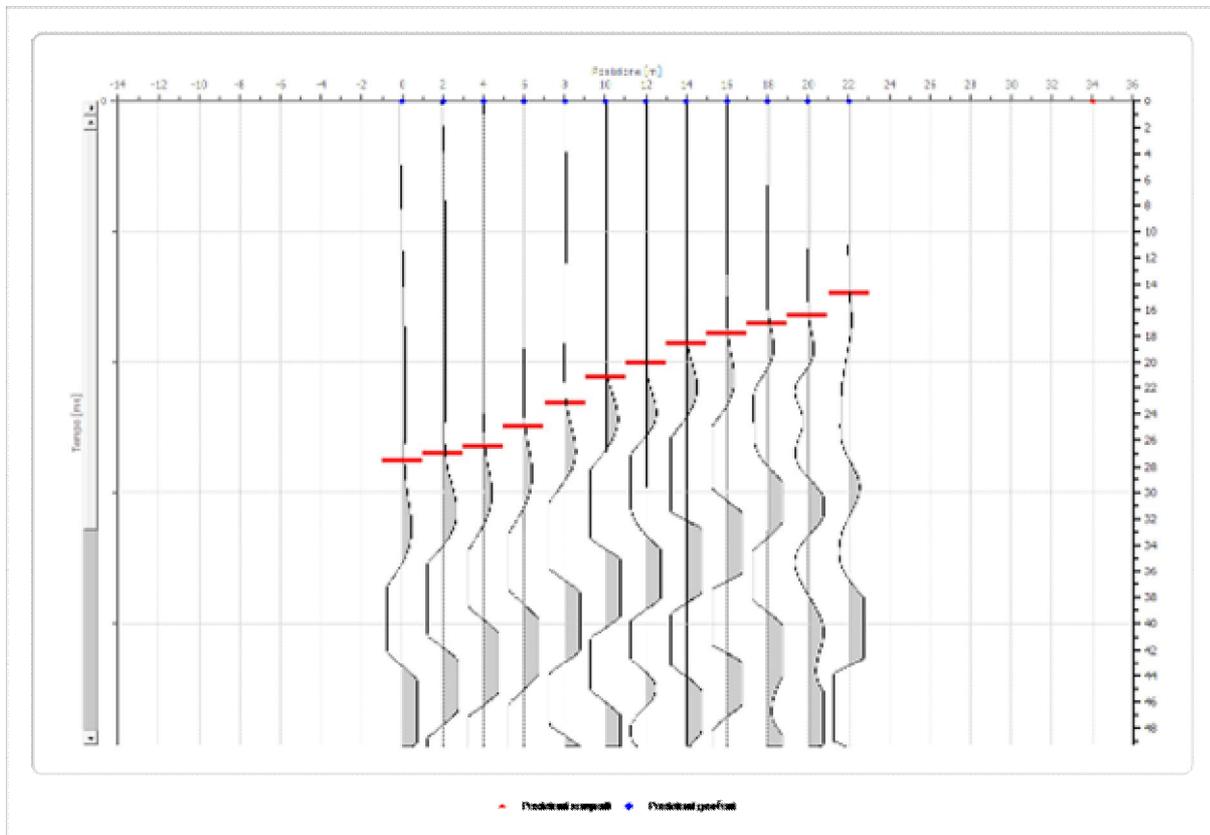
Posizione sorgente 28[m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	23.8636
2.0	23.4047
4.0	23.0222
6.0	20.9571
8.0	18.9685
10.0	17.3623
12.0	16.6739
14.0	15.4501
16.0	14.7287
18.0	13.5659
20.0	12.4031
22.0	9.3023

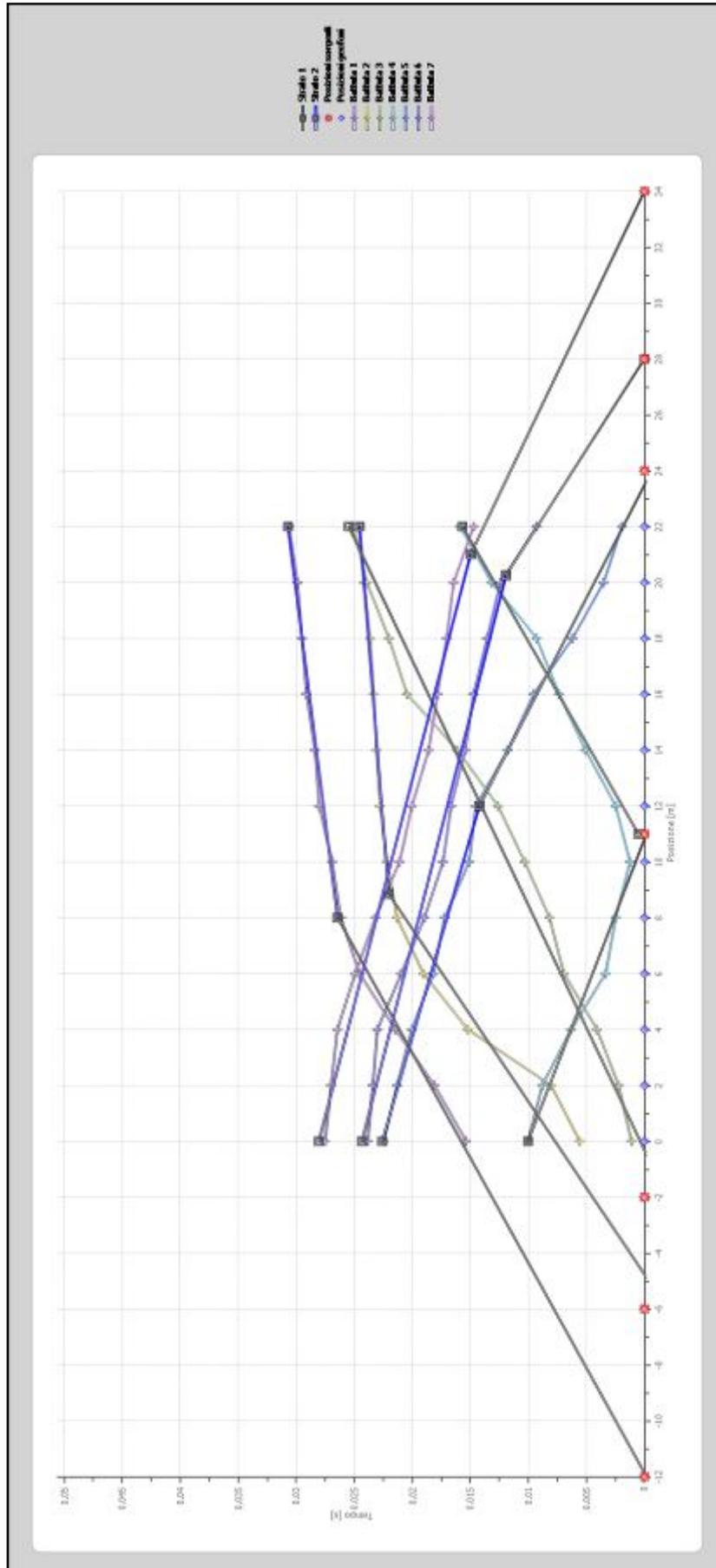
### 3.3.2.7 Battuta 7

Posizione sorgente 34[m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	27.5349
2.0	26.9995
4.0	26.4641
6.0	24.9344
8.0	23.1752
10.0	21.1101
12.0	20.0393
14.0	18.6047
16.0	17.8295
18.0	17.0543
20.0	16.4444
22.0	14.7287

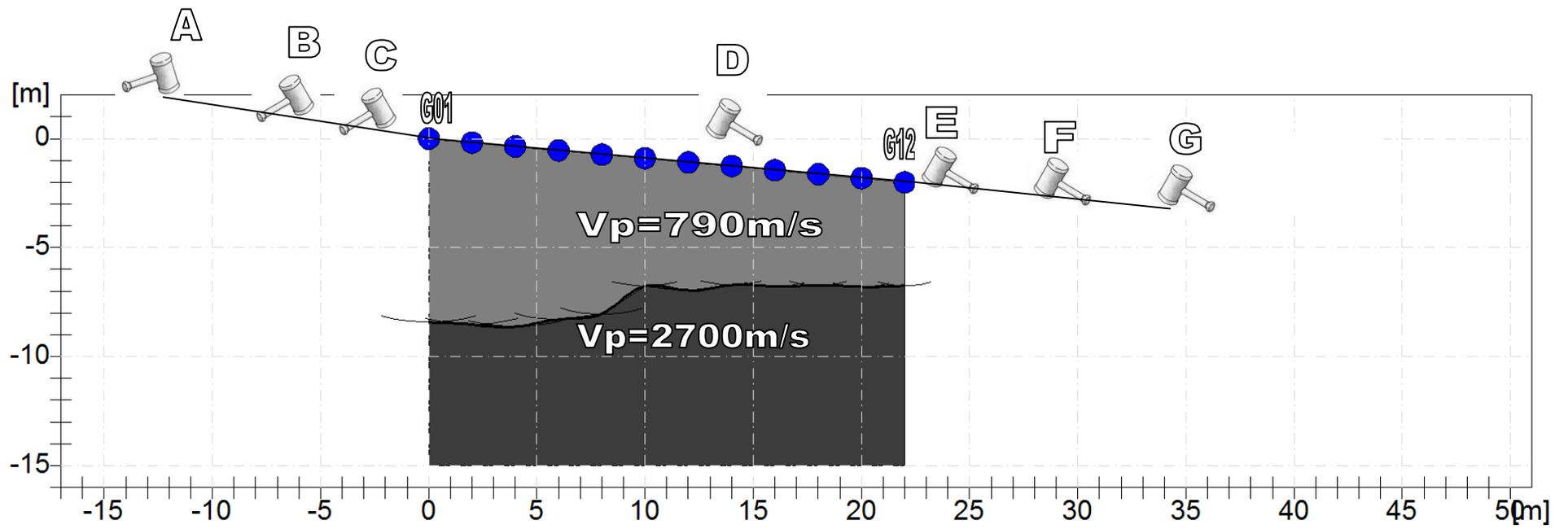
### 3.3.3 Dromocrone



### 3.3.4 Interpretazione col metodo G.R.M.

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 0.0 [m]	8.4	--
G= 2.0 [m]	8.4	--
G= 4.0 [m]	8.3	--
G= 6.0 [m]	7.7	--
G= 8.0 [m]	7.3	--
G= 10.0 [m]	5.9	--
G= 12.0 [m]	5.9	--
G= 14.0 [m]	5.5	--
G= 16.0 [m]	5.3	--
G= 18.0 [m]	5.1	--
G= 20.0 [m]	5.0	--
G= 22.0 [m]	4.7	--
Velocità [m/sec]	788.9	2729.0
Descrizione		

### 3.3.5 Report grafico



## 4. PROFILO SISMICO CON TECNICA M.A.S.W. MW1

### 4.1 Premessa

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno della materia. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

### Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P**-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- **S**-Trasversale: onda profonda di taglio;
- **L**-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R**-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

### Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

### Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

### Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

## Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

## Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

### 4.2 Strumento

#### Sismografo modello DoReMi, a 12 Canali, della

Caratteristiche tecniche

Classe strumentale: sismografo multicanale per geofisica

Topologia: rete differenziale RS485 half-duplex multipunto

Lunghezza max rete: virtualmente illimitata con l'uso di ripetitori

N. max canali per tratta: 255

Dimensioni elemento: 80x55x18 mm

Peso: 250 g (per elemento con cavo di 5 metri)

Cavo: per geofisica 1x2x0.5 + 1x2x0.25 twisted pair schermato

Memoria: 60 kBytes (30000 campioni)

Frequenze selezionabili: da 500 a 20000 Hz (passi di campionamento da 2 a 0.05 ms)

Convertitore: tipo SAR a 16 bit (96 dB)

Amplificatore: ultra-low noise con ingresso differenziale

Banda passante: 2Hz - 200Hz

Reiezione modo comune: >80dB

Diafonia (crosstalk): zero, la trasmissione è digitale

Dinamica del sistema:

Risoluzione: 7.6  $\mu$ V @ 27dB; 0.076  $\mu$ V @ 60dB

Dinamica di base: 96dB (16 bit)

S/N ratio fra 0.5 e 30Hz: >94dB (> 150dB con l'uso del PGA)

Alimentazione:

Alimentazione: batteria ricaricabile interna operativa 10-15Vdc

Consumo di energia: Interfaccia 80 mA, canale 30mA per una stringa da 12 canali: < 500mA

Energizzazione:

Shoot : Mazza di battuta metallica 5Kg

Piastra di battuta: polietilene di dimensioni 25 cm

Starter :Geofono direttamente collegato allo strumento di misura (sismografo)

**sara**  
electronic instruments



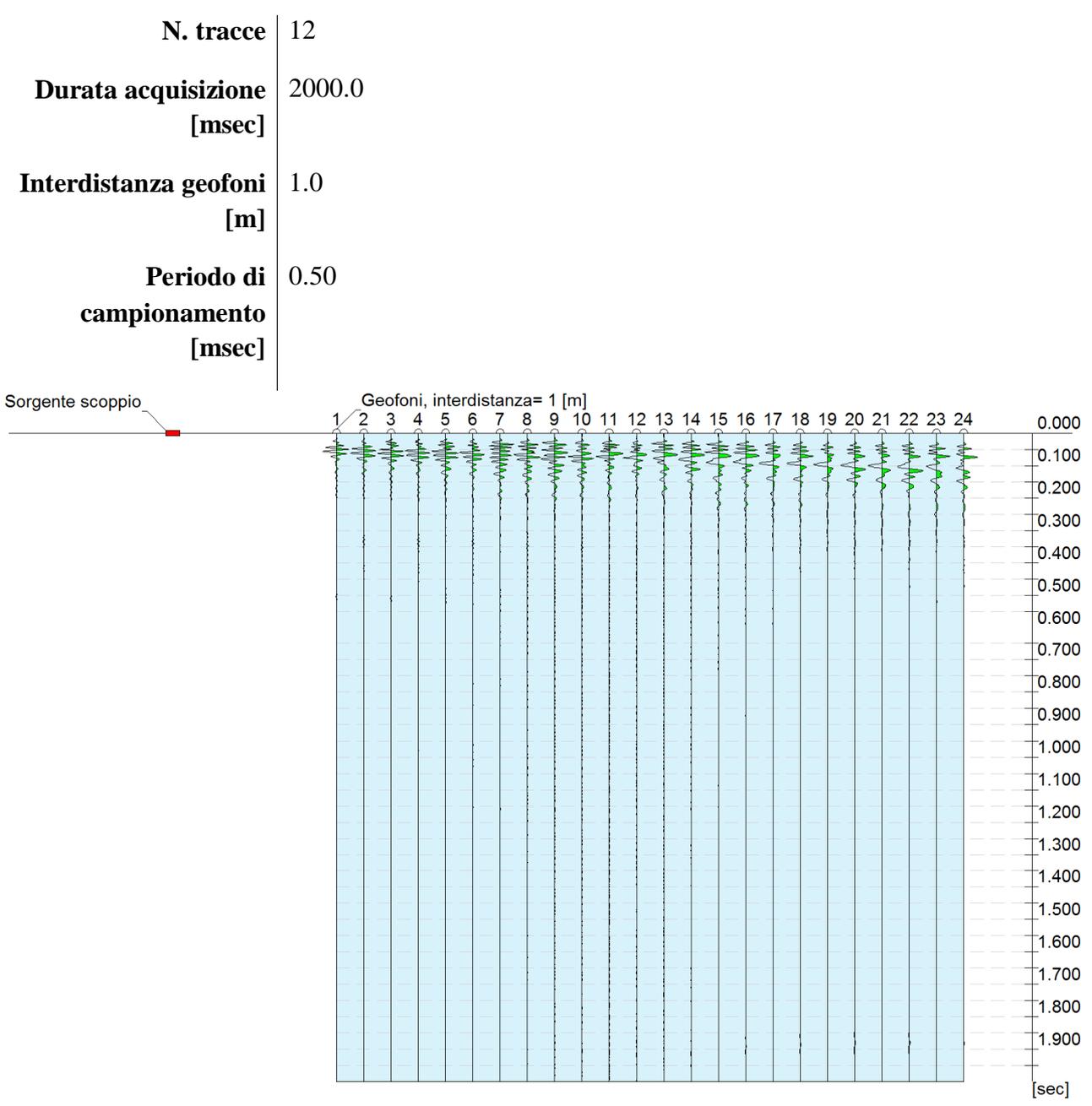
#### Specifiche nominali sensori

Frequenza propria	Hz	4.5
Banda utilizzabile*	Hz	0.2--240
Tolleranza al tilt (V)	gradi	5
Tolleranza al tilt (H)	gradi	2
Smorzamento	<i>h</i>	0.4/0.6
Sensibilità a c.a.	V/m/s	28
Sensibilità a c.s.	V/m/s	78
Versione high-gain	V/m/s	80
Impedenza bobina	ohm	375,3800
Massa inerziale	g	11
Escursione bobina	mm	4
Peso (tipo V)	g	275
Peso (tipo H)	g	238



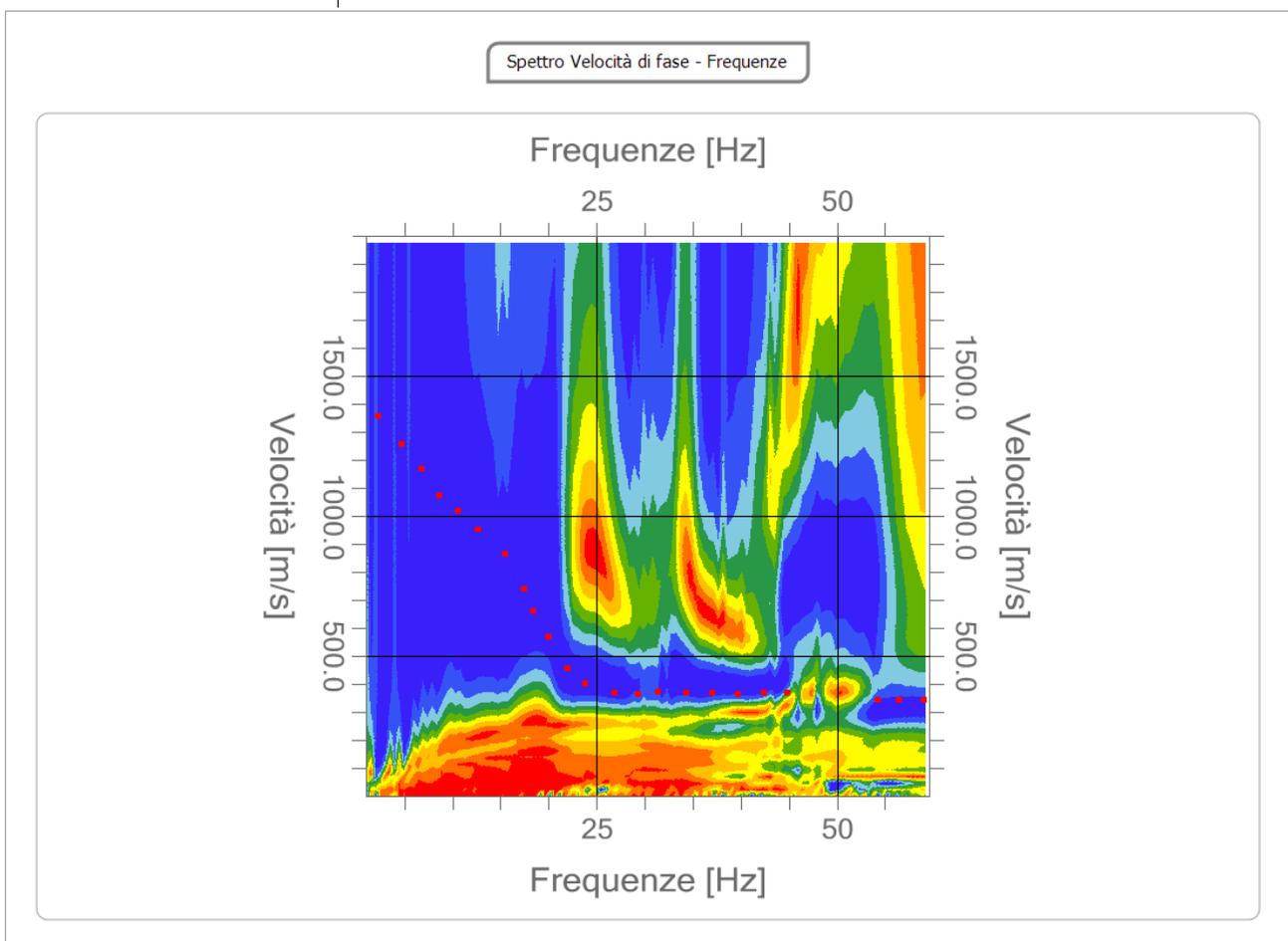
### 4.3 MW1

#### 4.3.1 Tracce



#### 4.3.2 Analisi spettrale

**Frequenza minima di elaborazione [Hz]** 1  
**Frequenza massima di elaborazione [Hz]** 60  
**Velocità minima di elaborazione [m/sec]** 100  
**Velocità massima di elaborazione [m/sec]** 1600  
**Intervallo velocità [m/sec]** 1



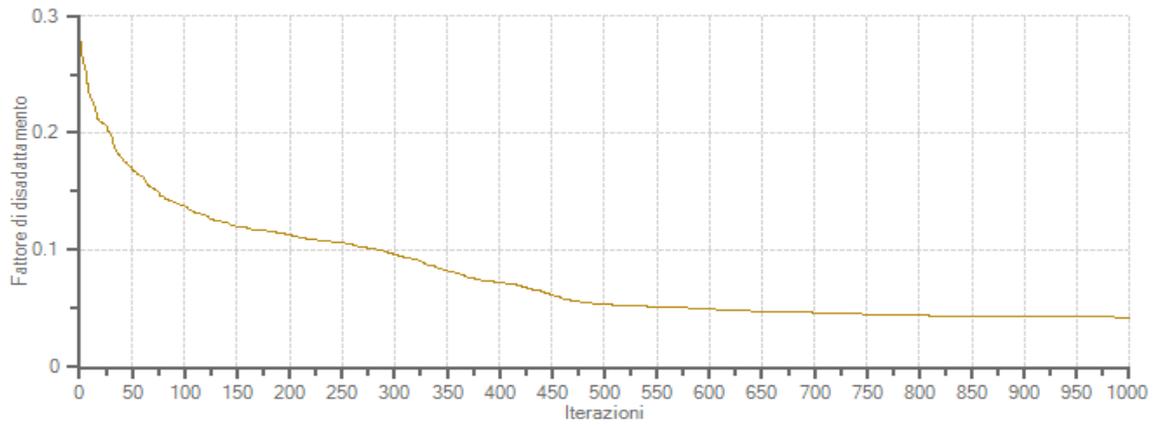
#### 4.3.3 Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	2.3	1357.3	0
2	4.8	1257.2	0
3	6.9	1169.5	0
4	8.7	1073.5	0
5	10.6	1019.3	0
6	12.7	952.5	0
7	15.5	864.9	0
8	17.5	739.7	0
9	18.5	660.4	0
10	20.0	568.6	0
11	22.0	455.9	0
12	23.8	401.6	0
13	26.9	368.2	0
14	29.3	364.1	0
15	31.4	372.4	0
16	34.3	368.2	0
17	37.0	368.2	0
18	39.7	364.1	0
19	42.4	368.2	0
20	44.8	368.2	0
21	54.2	343.2	0
22	56.4	343.2	0
23	59.0	343.2	0

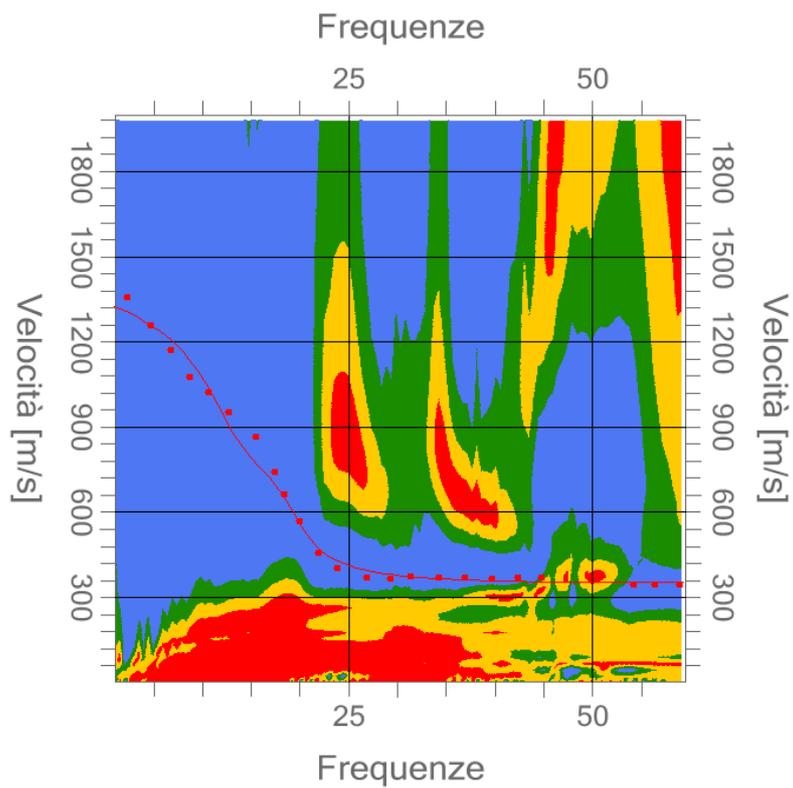
### 4.3.4 Inversione

Numero di strati	6
Numero di iterazioni	1000
Percentuale di errore	0.204%
Fattore di disadattamento della soluzione	0.043

Andamento del fattore di disadattamento



Inversione



#### 4.3.5 Risultati

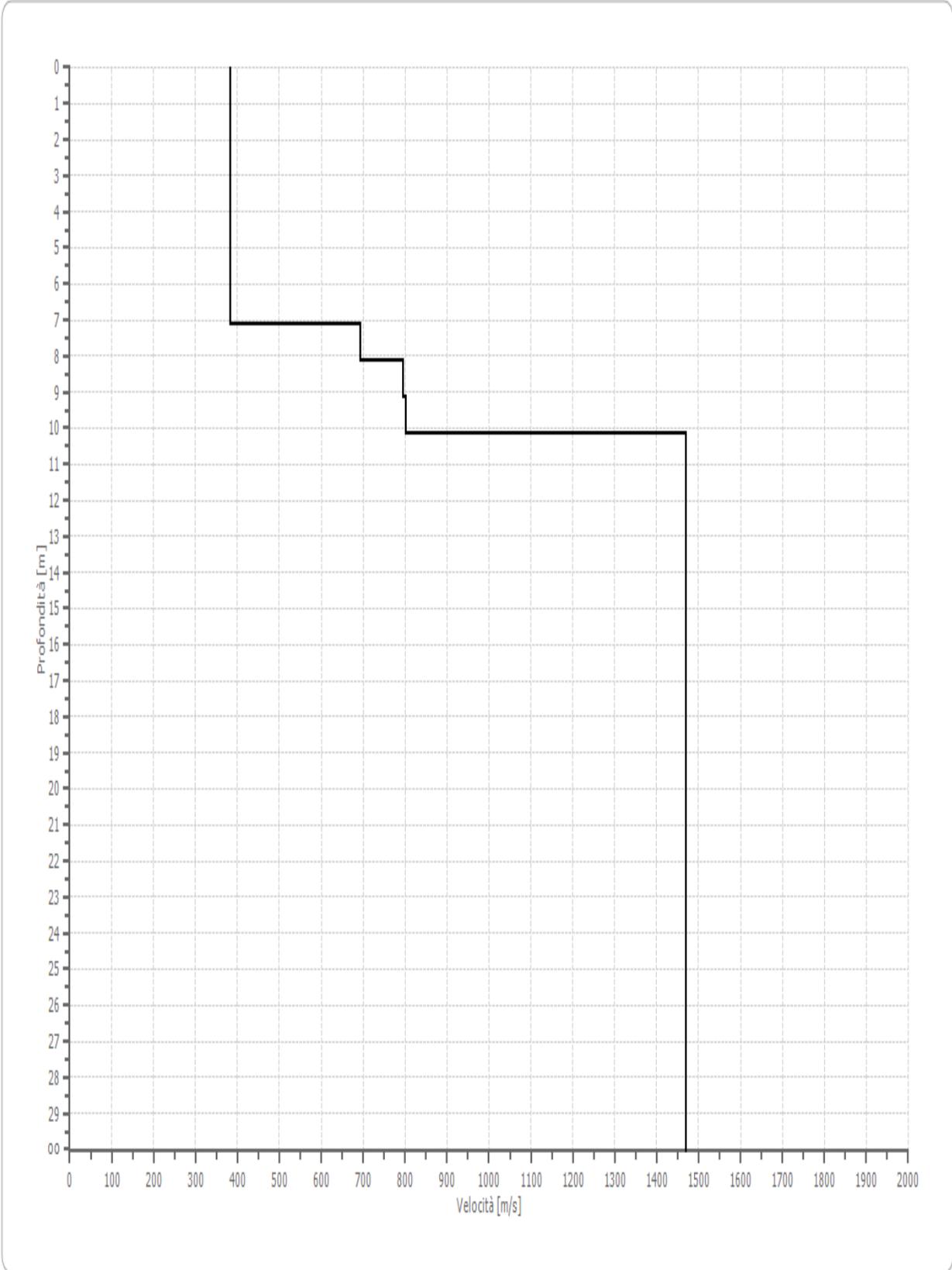
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	5.00	5.00	626.1	383.4
2	7.00	1.00	623.6	381.9
3	8.00	1.00	1130.9	692.5
4	9.00	1.00	1299.1	795.5
5	10.00	1.00	1309.4	801.8
6	∞	∞	2400.0	1469.7

#### Risultati

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs30 [m/sec]</b>	830.33
<b>Categoria del suolo</b>	A

Suolo di tipo A: 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 uno spessore massimo pari a 3m

Profilo di velocità



# STUDIO DI GEOLOGIA

*Dottor. Marco Mori*

*Viale dei Menhir, n.- 55  
54028 Villafranca in Lunigiana (MS)*

*Tel +393496176628*

*geo.marcomori@alice.it*

REGIONE LIGURIA  
PROVINCIA LA SPEZIA  
COMUNE DI VARESE LIGURE

RELAZIONE TECNICA INDAGINI GEOFISICHE

LOCALITA' VALLETTI

II COMMITTENTE

Geol Carlo Malgarotto

II GEOLOGO  
Dottor Mori Marco



<b>1. PREMESSA</b>	<b>3</b>
<b>2. UBICAZIONE INTERVENTO</b>	<b>3</b>
<b>3. PROFILO SISMICO CON A RIFRAZIONE ST1</b>	<b>5</b>
<b>3.1 Cenni di teoria</b>	<b>5</b>
<b>3.2 Strumento</b>	<b>10</b>
<b>3.3 ST1</b>	<b>11</b>
3.3.1 Geometria geofoni	11
3.3.2 Dati battute	12
3.3.3 Dromocrone	19
3.3.4 Interpretazione col metodo G,.R.M.	20
3.3.5 Report grafico	21

## 1. PREMESSA

La presente relazione, redatta su incarico della committenza, esporrà i risultati delle indagini geofisiche svolte sui terreni nel comune di Varese Ligure (SP), località Valletti.

## 2. UBICAZIONE INTERVENTO

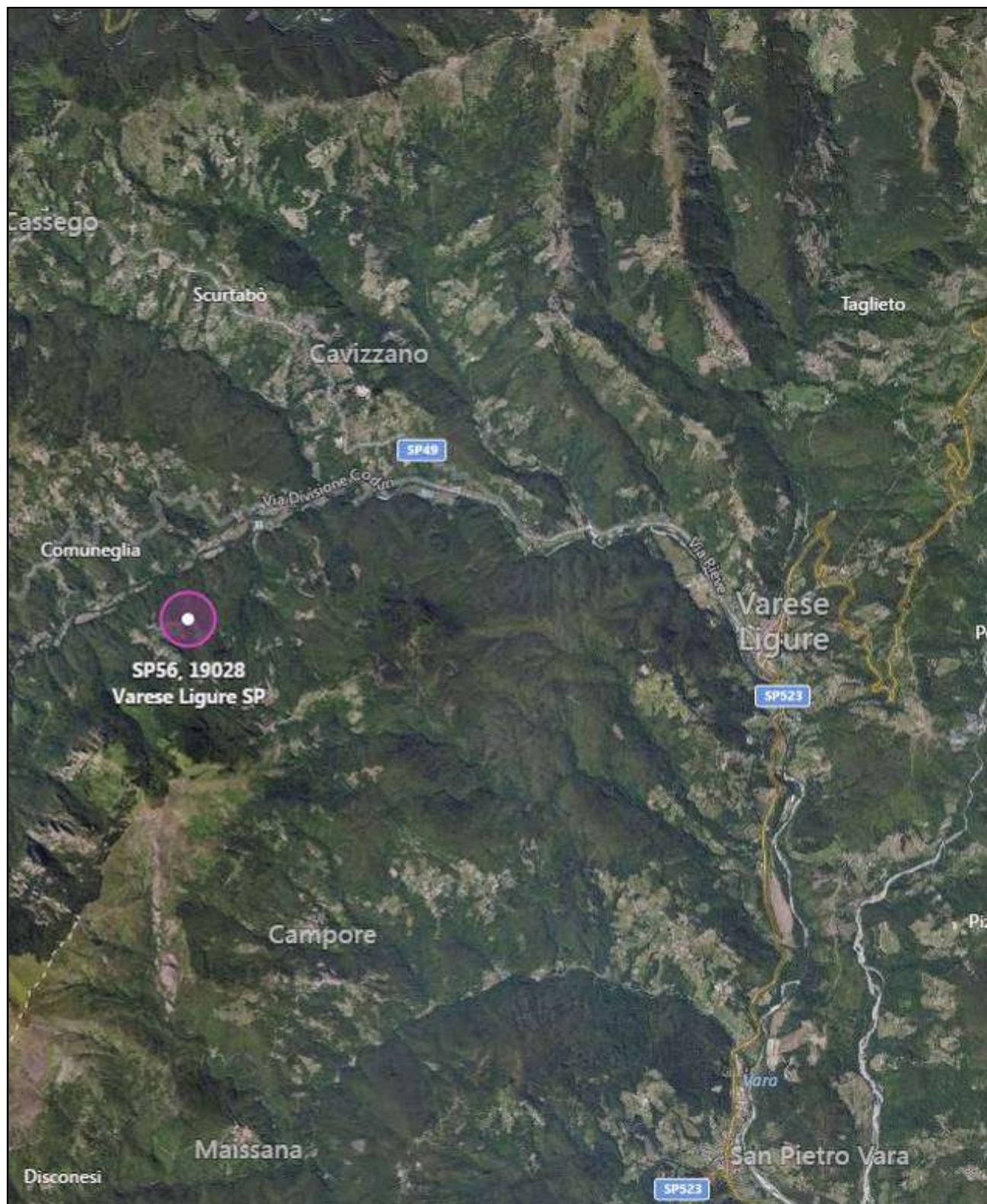


Figura Inquadramento

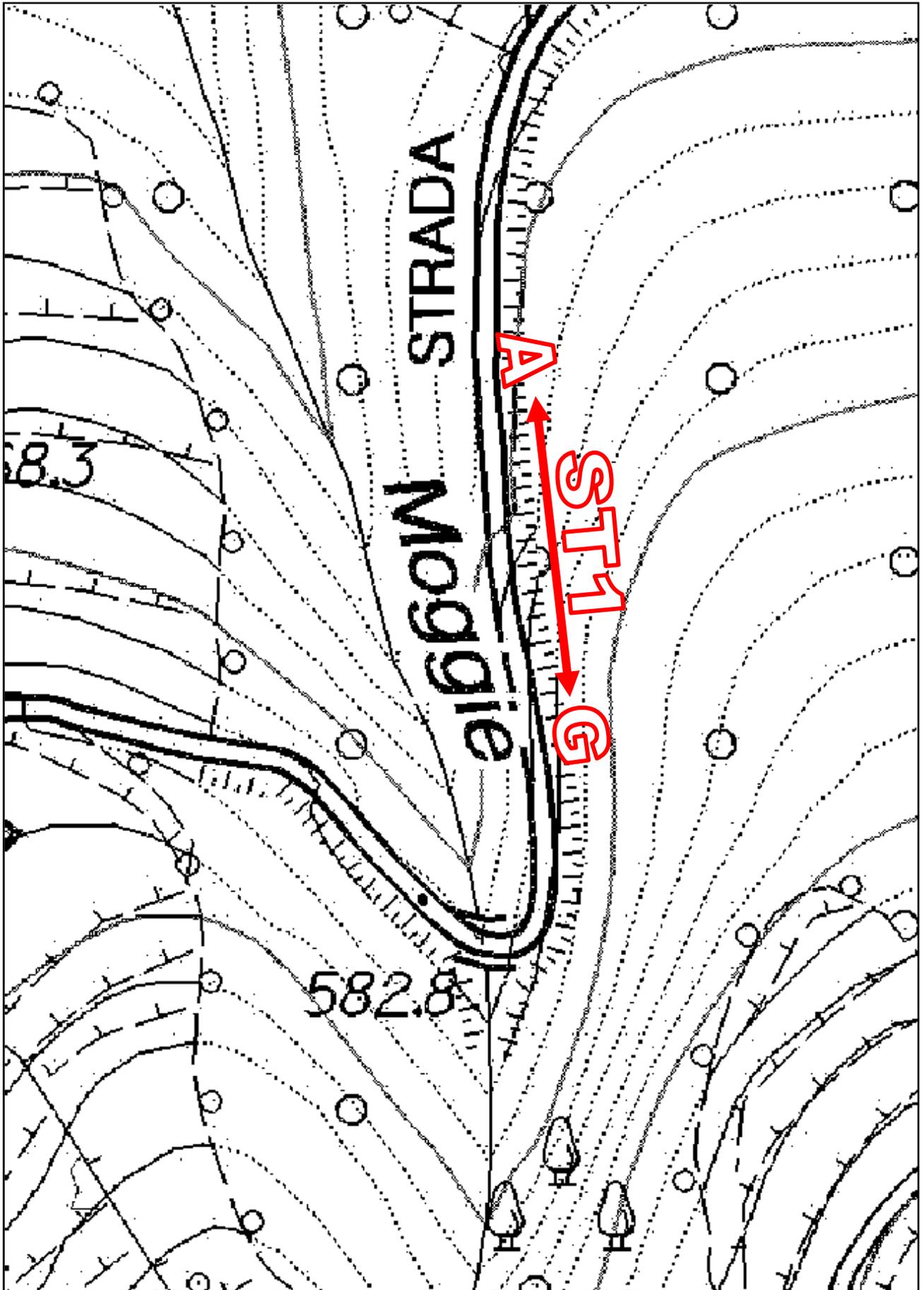


Figura Inquadramento dettaglio area di intervento

### 3. PROFILO SISMICO CON A RIFRAZIONE ST1

#### 3.1 Cenni di teoria

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti.

Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda  $\lambda$ , comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde  $\lambda$ , equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza  $\theta_i$  mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione  $\theta_r$ . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove  $v_1$  e  $v_2$  sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per  $v_1 > v_2$  si ha che  $\theta_i > \theta_r$  e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per  $v_1 < v_2$  si ha che  $\theta_i < \theta_r$  ed esiste un angolo limite di incidenza per cui  $\theta_r = 90^\circ$  ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1/v_2)$$

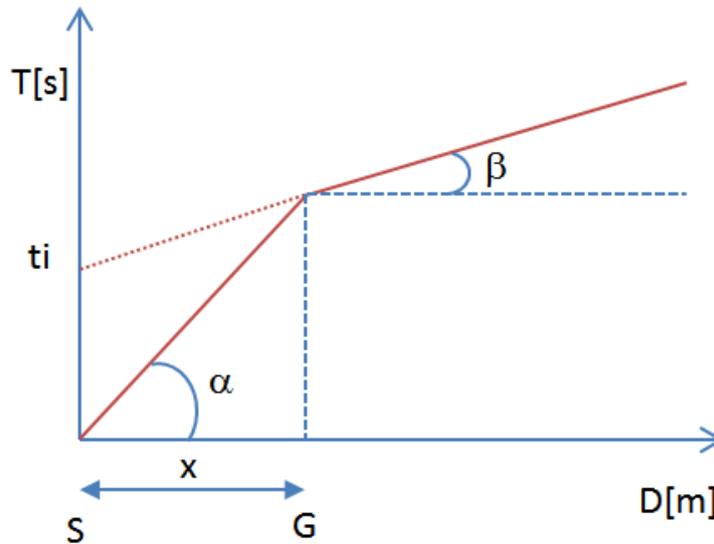
Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo  $T$  dato dalla relazione

dove  $x_i$  è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità  $V_1$  del primo mezzo come

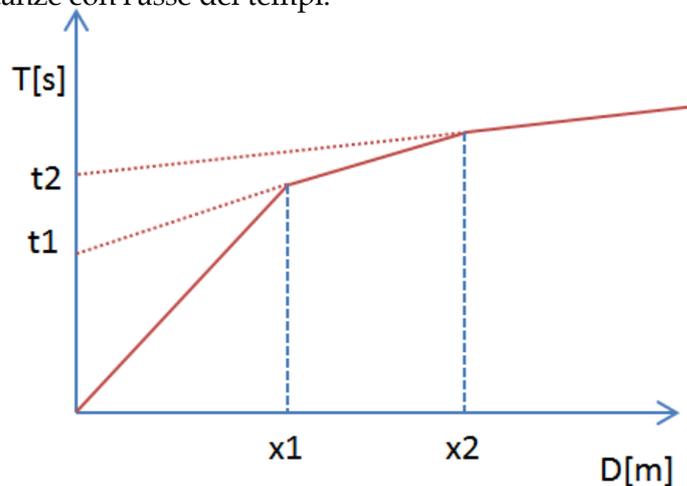
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo  $t_i$  che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.

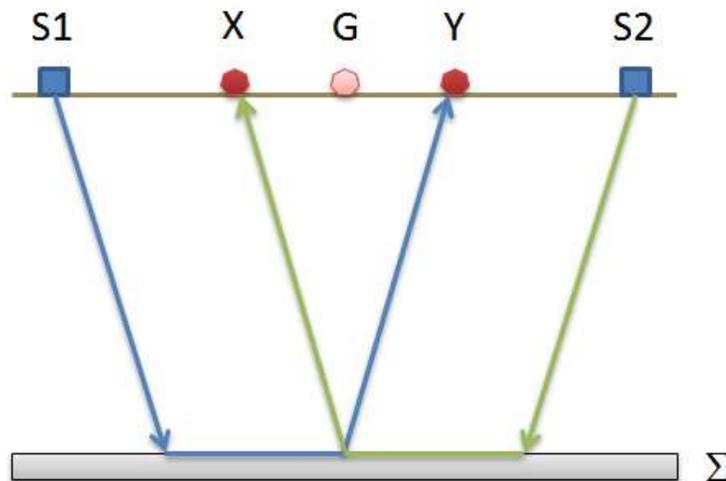


Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left( t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

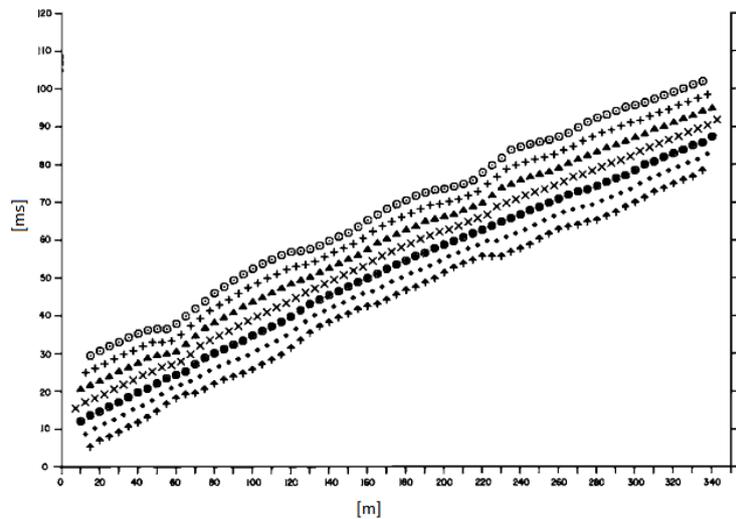
In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifratte.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifratte utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori. Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare la funzione velocità secondo l'equazione

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



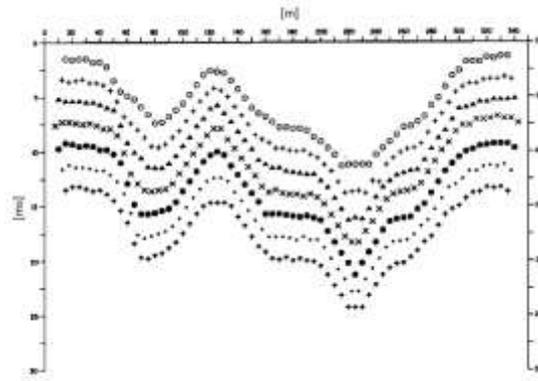
dove  $T_{S_1Y}$  e  $T_{S_2X}$  sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente  $S_1$  ad  $X$  e dalla sorgente  $S_2$  ad  $Y$  mentre  $T_{S_1S_2}$  è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio  $S_1$  ed  $S_2$ , esternamente simmetrici rispetto allo stendimento.  $T_V$  è il tempo calcolato su un geofono  $G$  posto tra  $X$  ed  $Y$ , non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

Il calcolo della funzione  $T_V$  viene eseguito per ogni valore di  $XY$  compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l' $XY$  ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left( T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove  $V_n$  è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo.

Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°

### 3.2 Strumento

#### Sismografo modello DoReMi, a 12 Canali, della



Caratteristiche tecniche

Classe strumentale: sismografo multicanale per geofisica

Topologia: rete differenziale RS485 half-duplex multipunto

Lunghezza max rete: virtualmente illimitata con l'uso di ripetitori

N. max canali per tratta: 255

Dimensioni elemento: 80x55x18 mm

Peso: 250 g (per elemento con cavo di 5 metri)

Cavo: per geofisica 1x2x0.5 + 1x2x0.25 twisted pair schermato



Memoria: 60 kBytes (30000 campioni)

Frequenze selezionabili: da 500 a 20000 Hz (passi di campionamento da 2 a 0.05 ms)

Convertitore: tipo SAR a 16 bit (96 dB)

Amplificatore: ultra-low noise con ingresso differenziale

Banda passante: 2Hz - 200Hz

Reiezione modo comune: >80dB

Diafonia (crosstalk): zero, la trasmissione è digitale

Dinamica del sistema:

Risoluzione: 7.6  $\mu$ V @ 27dB; 0.076  $\mu$ V @ 60dB

Dinamica di base: 96dB (16 bit)

S/N ratio fra 0.5 e 30Hz: >94dB (> 150dB con l'uso del PGA)

Alimentazione:

Alimentazione: batteria ricaricabile interna operativa 10-15Vdc

Consumo di energia: Interfaccia 80 mA, canale 30mA per una stringa da

Energizzazione:

Shoot : Mazza di battuta metallica 5Kg

Piastra di battuta: polietilene di dimensioni 25 cm

Starter :Geofono direttamente collegato allo strumento di misura (sismografo)

Specifiche nominali sensori

Frequenza propria	Hz	4.5
Banda utilizzabile*	Hz	0.2--240
Tolleranza al tilt (V)	gradi	5
Tolleranza al tilt (H)	gradi	2
Smorzamento	h	0.4/0.6
Sensibilità a c.a.	V/m/s	28
Sensibilità a c.s.	V/m/s	78
Versione high-gain	V/m/s	80
Impedenza bobina	ohm	375.3800
Massa inerziale	g	11
Escursione bobina	mm	4
Peso (tipo V)	g	275
Peso (tipo H)	g	238



### 3.3 ST1

#### 3.3.1 Geometria geofoni

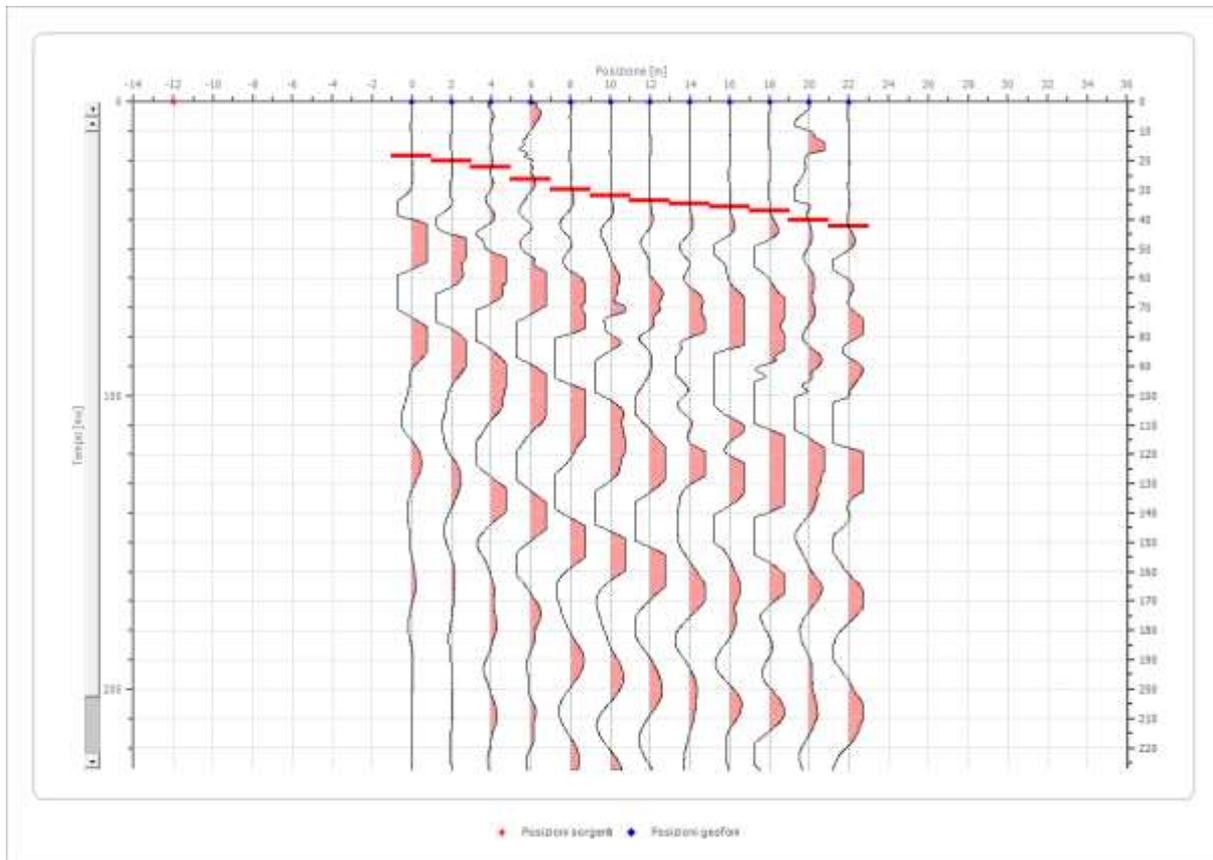
	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	-0.5
2	2.0	-0.4
3	4.0	-0.3
4	6.0	-0.2
5	8.0	0.0
6	10.0	0.2
7	12.0	0.3
8	14.0	0.4
9	16.0	0.5
10	18.0	0.6
11	20.0	0.8
12	22.0	1.0



### 3.3.2 Dati battute

#### 3.3.2.1 Battuta 1

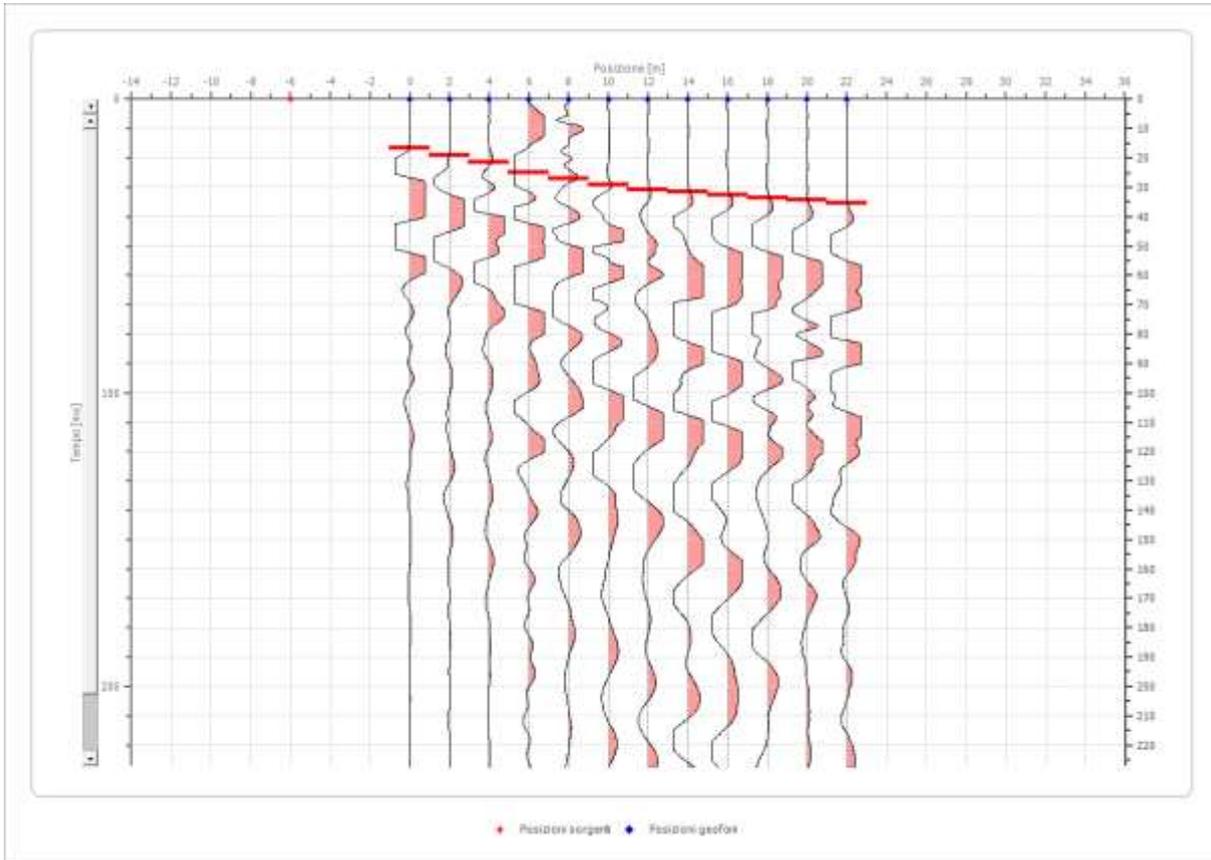
Posizione sorgente X        -12 [m]  
 Posizione sorgente Z        0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	18.3900
2.0	20.1249
4.0	22.2068
6.0	26.3706
8.0	29.8404
10.0	31.9223
12.0	33.6572
14.0	34.6981
16.0	35.7391
18.0	37.1270
20.0	40.2498
22.0	42.3317

### 3.3.2.2 Battuta 2

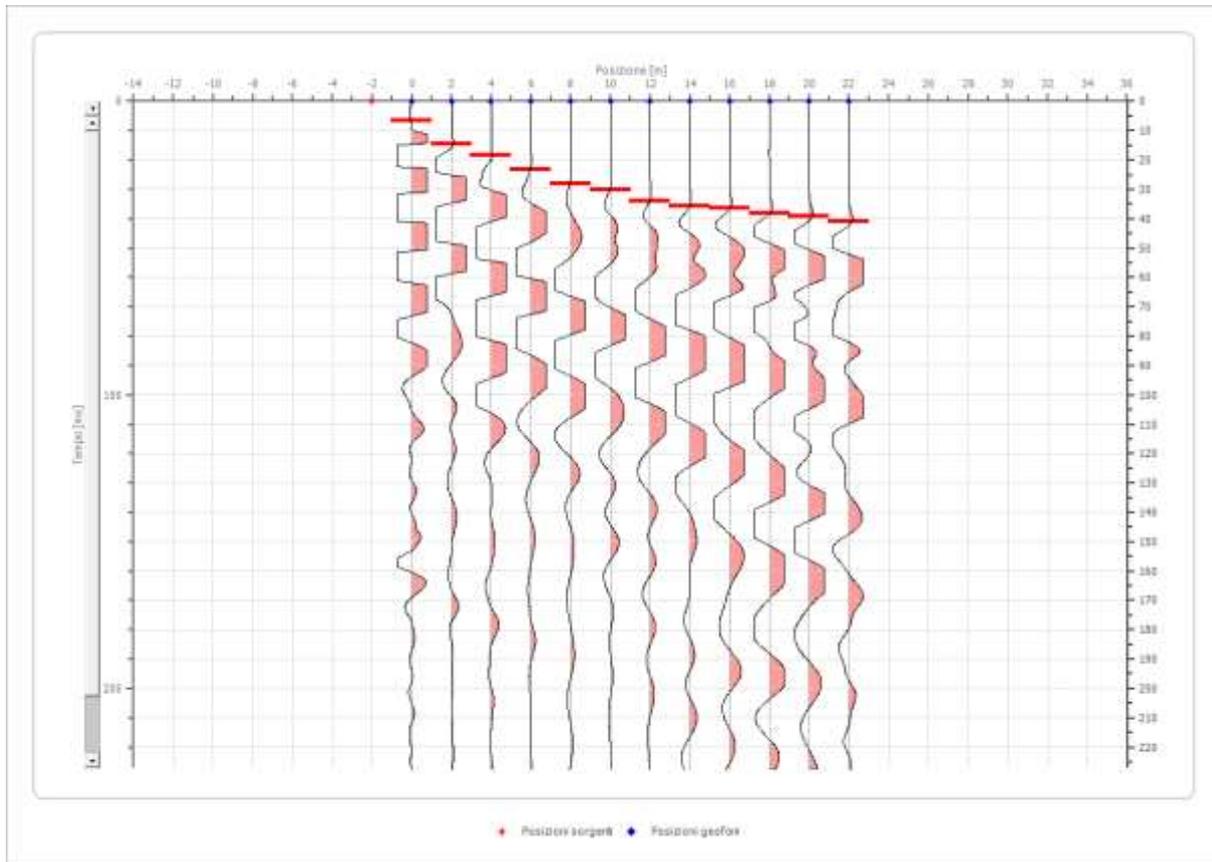
Posizione sorgente X      -6 [m]  
 Posizione sorgente Z      0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	16.6551
2.0	19.0840
4.0	21.5128
6.0	24.9827
8.0	27.0645
10.0	29.1464
12.0	30.8813
14.0	31.5753
16.0	32.6162
18.0	33.6572
20.0	34.3511
22.0	35.3921

### 3.3.2.3 Battuta 3

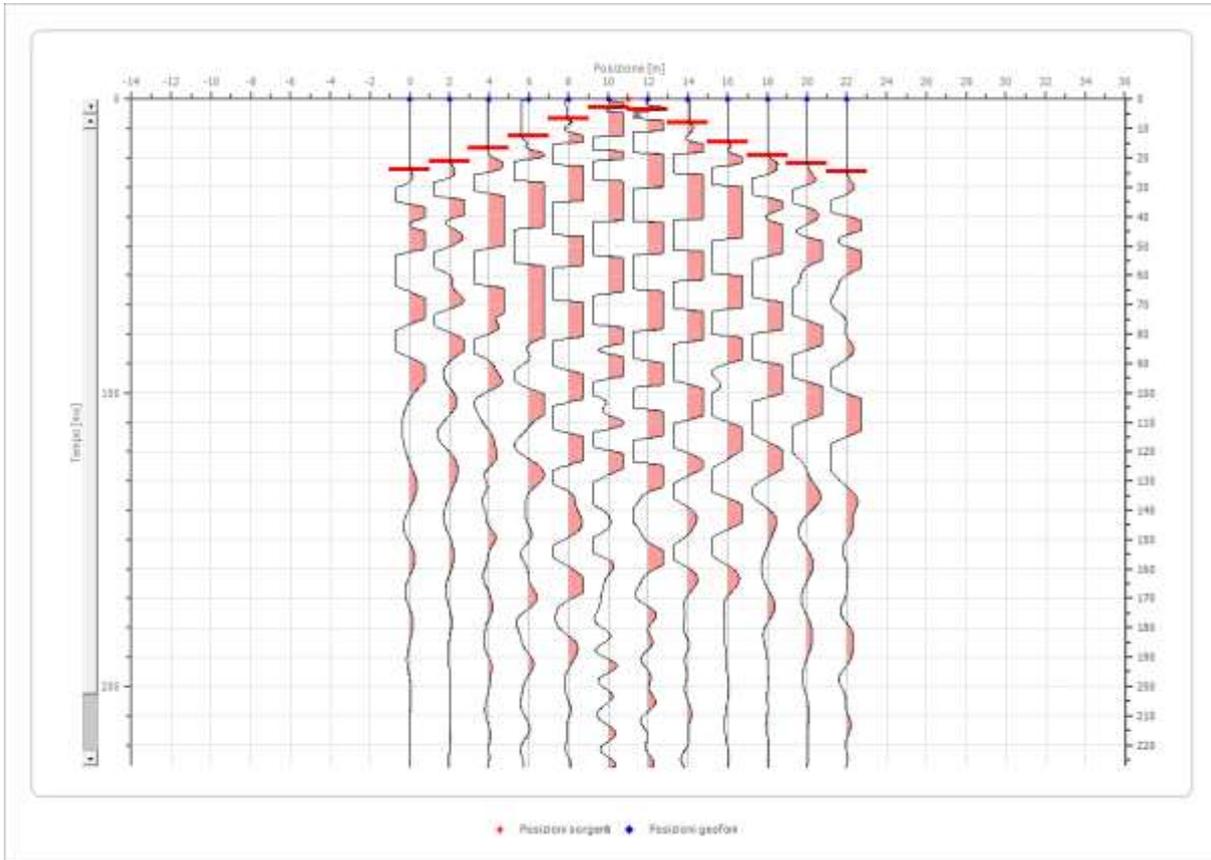
Posizione sorgente X      -2 [m]  
 Posizione sorgente Z      0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	6.5926
2.0	14.5732
4.0	18.3900
6.0	23.2477
8.0	28.1055
10.0	30.1874
12.0	34.0042
14.0	35.7391
16.0	36.4330
18.0	38.1679
20.0	39.2089
22.0	40.9438

### 3.3.2.4 Battuta 4

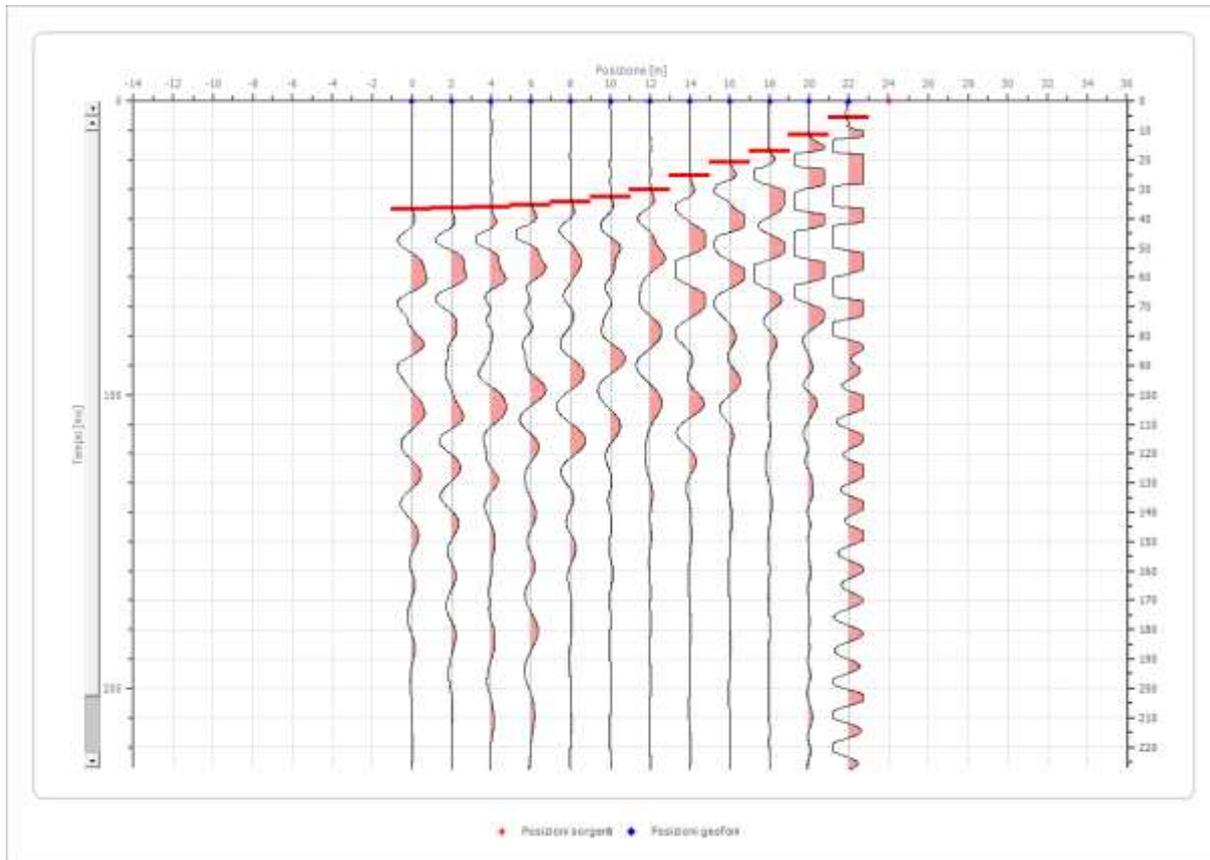
Posizione sorgente X      11 [m]  
 Posizione sorgente Z      0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	23.9417
2.0	21.1659
4.0	16.6551
6.0	12.4913
8.0	6.5926
10.0	2.7759
12.0	3.4698
14.0	7.9806
16.0	14.5732
18.0	19.0840
20.0	21.8598
22.0	24.6357

### 3.3.2.5 Battuta 5

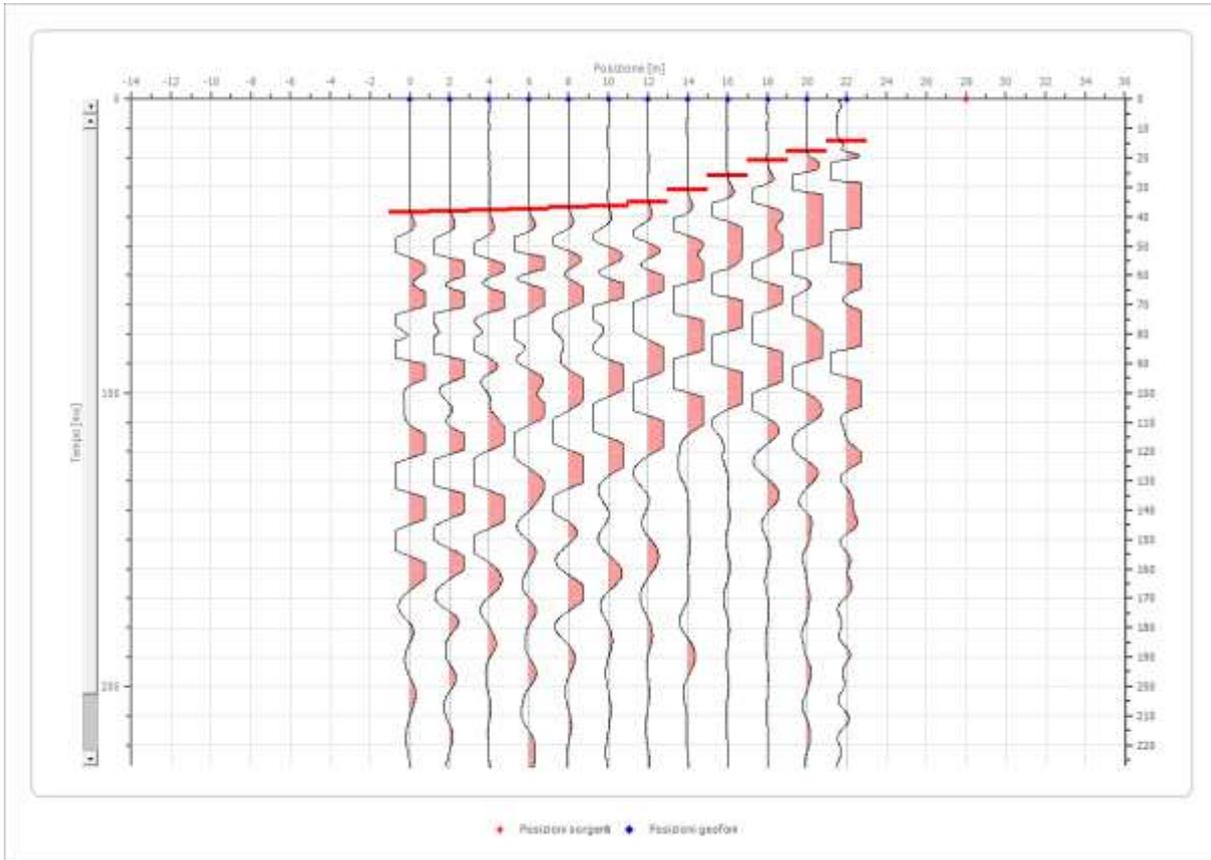
Posizione sorgente X      24 [m]  
 Posizione sorgente Z      0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	36.7800
2.0	36.4330
4.0	36.0861
6.0	35.3921
8.0	34.3511
10.0	32.6162
12.0	30.1874
14.0	25.3296
16.0	20.8189
18.0	17.0021
20.0	11.4504
22.0	5.5517

### 3.3.2.6 Battuta 6

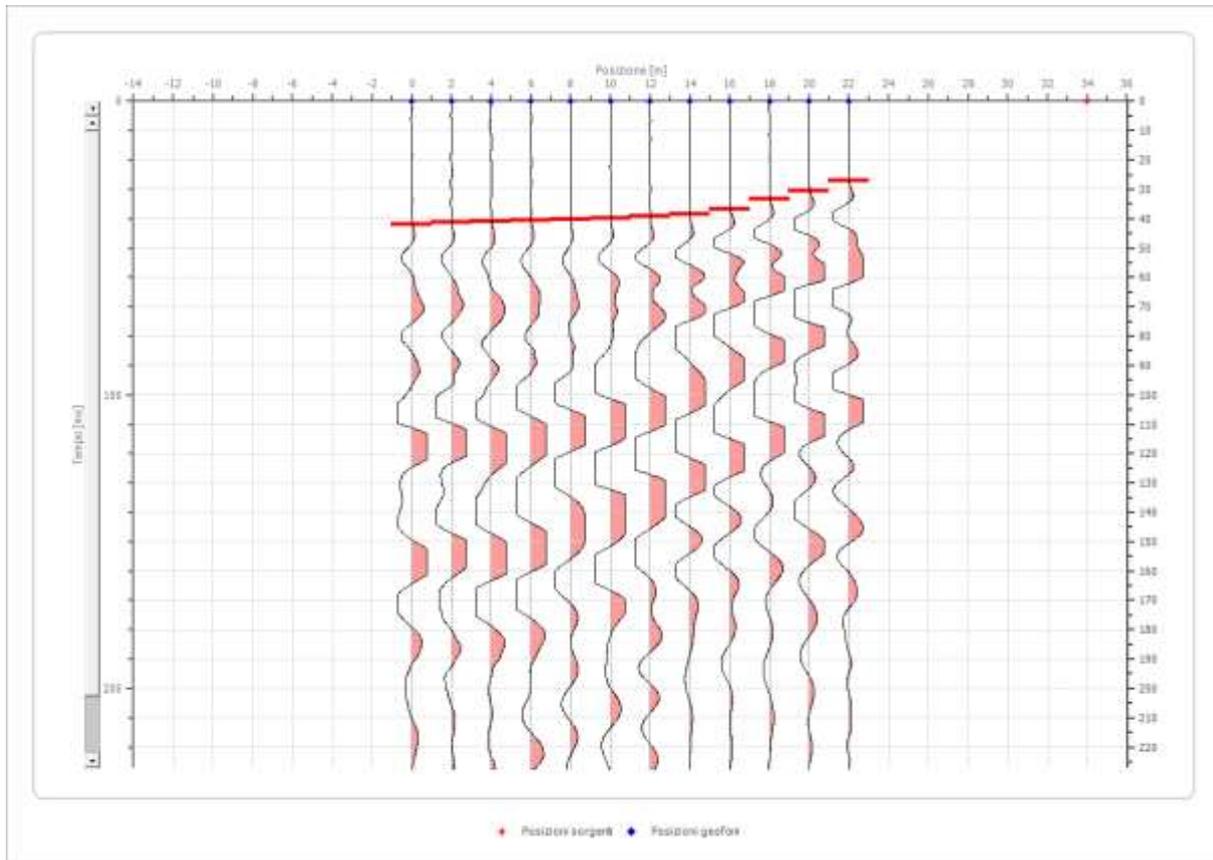
Posizione sorgente X      28 [m]  
 Posizione sorgente Z      28 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	38.5149
2.0	38.1679
4.0	37.8210
6.0	37.4740
8.0	36.7800
10.0	36.4330
12.0	35.0451
14.0	30.8813
16.0	26.0236
18.0	20.8189
20.0	17.6960
22.0	14.2262

### 3.3.2.7 Battuta 7

Posizione sorgente X      34 [m]  
 Posizione sorgente Z      2 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	41.9847
2.0	41.2908
4.0	40.9438
6.0	40.5968
8.0	40.2498
10.0	39.9028
12.0	39.2089
14.0	38.5149
16.0	36.6412
18.0	33.3102
20.0	30.3956
22.0	27.0645



### 3.3.4 Interpretazione col metodo G,,R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 0.0 [m]	3.9	--
G= 2.0 [m]	4.1	--
G= 4.0 [m]	4.6	--
G= 6.0 [m]	4.8	--
G= 8.0 [m]	5.5	--
G= 10.0 [m]	5.8	--
G= 12.0 [m]	6.2	--
G= 14.0 [m]	5.9	--
G= 16.0 [m]	6.2	--
G= 18.0 [m]	5.7	--
G= 20.0 [m]	5.9	--
G= 22.0 [m]	6.0	--
Velocità [m/sec]	450	1400

