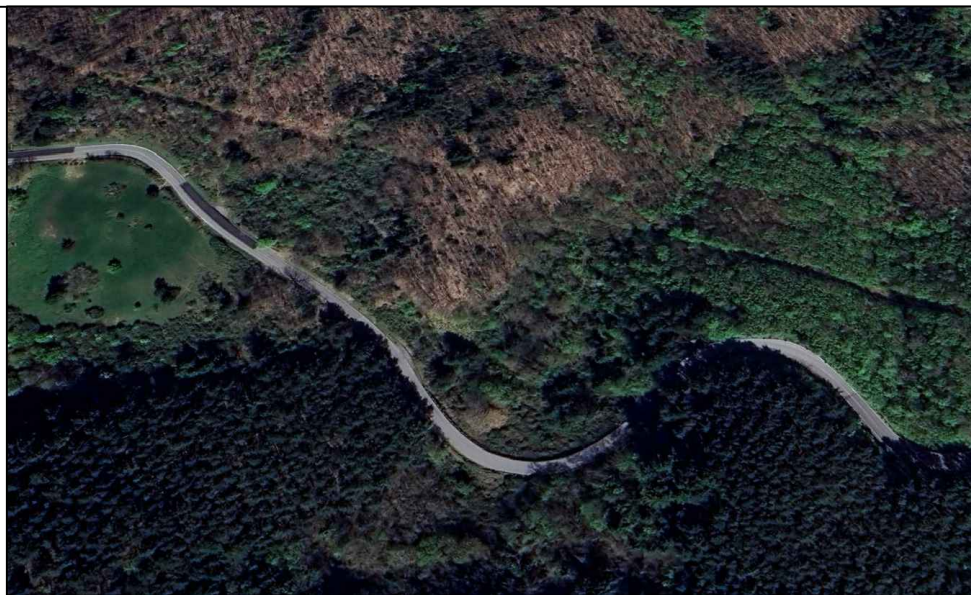




SRT 70 DELLA CONSUMA MIGLIORAMENTO DELLA SICUREZZA TRA LE PROGRESSIVE KM 10+200 E KM 10+600 NEL COMUNE DI PELAGO

DIREZIONE MOBILITA' INFRASTRUTTURE
E TRASPORTO PUBBLICO LOCALE



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

FASCICOLO DELLE INDAGINI

ELABORATO N°
SPE_6.00

Riferimenti amministrativi

PRATICA N.

R.U.P.: Ing. Antonio De Crescenzo

SCALA: -

Data revisione elaborato:
Aprile 2024

**PROGETTO E COORDINAMENTO
DELLA SICUREZZA IN FASE DI
PROGETTAZIONE:**
Ing. Mario Daneri DA.SA.



COLLABORATORI:

Arch. Mario Palmieri
Geom. Francesco Senatori

RILIEVO TOPOGRAFICO:



GEOLOGO:

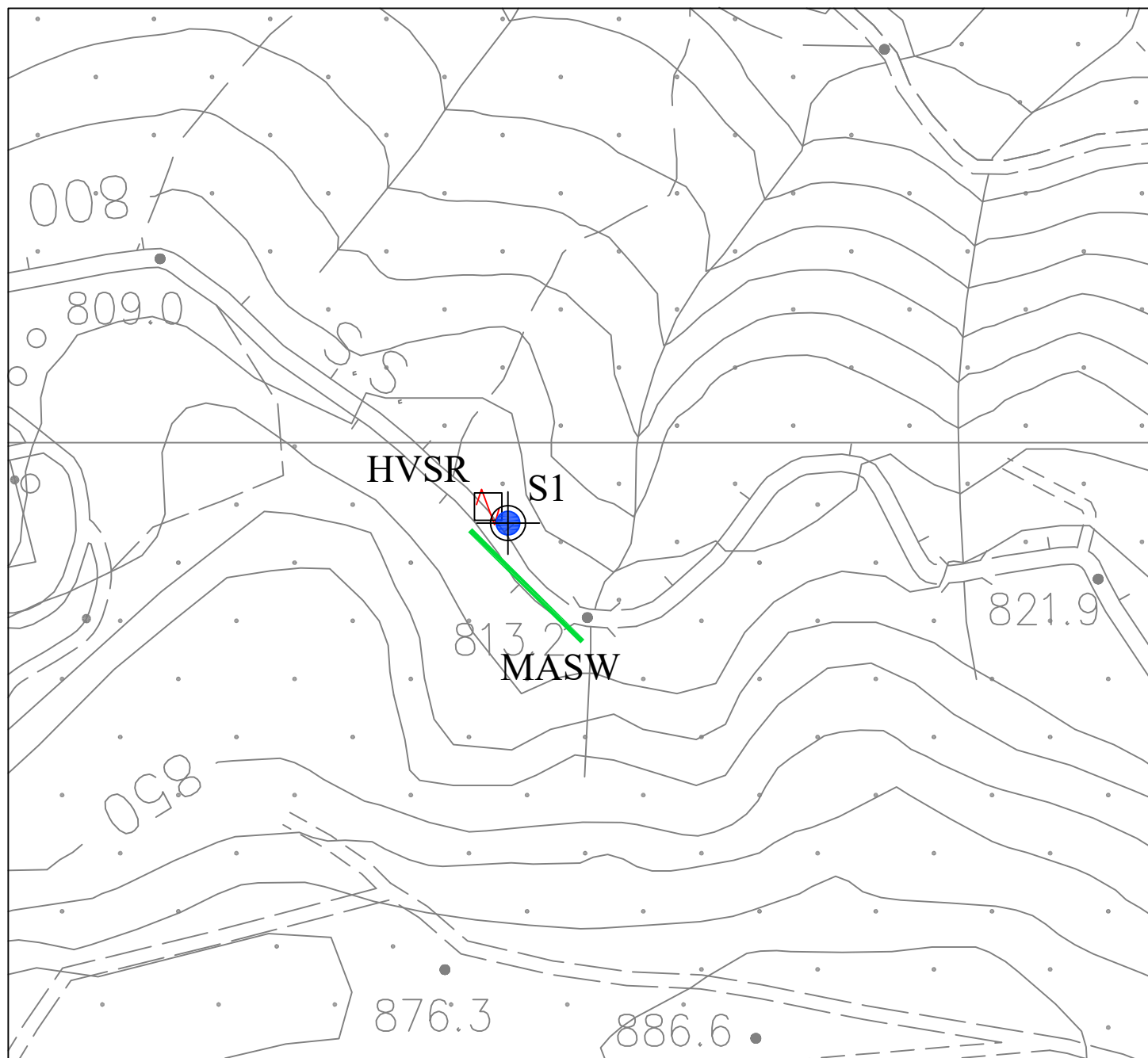


SETTORE VIABILITA' REGIONALE AMBITI FIRENZE - PRATO - PISTOIA

INTERVENTI di MIGLIORAMENTO S.R. 70 della CONSUMA

Loc. Le Cupole (Com. Pelago - FI) - progr. km 10+400 - 10+600

PLANIMETRIA DI UBICAZIONE DELLE INDAGINI



Scala 1:2.500



S1

Sondaggio a carotaggio continuo della lunghezza di 15,0m
da strumentare con piezometro a tubo aperto

MASW



Indagine di sismica a rifrazione di tipo Masw



HVSr

Indagine di sismica passiva di tipo Hvsr

Committente Regione Toscana				Località SR 70 Strada della Consuma - Pelago, Loc. Le Cupole			Certificato n° / Data 51 del 17/02/2021		
Cantiere Indagini geognostiche				Sondaggio n. S1pz		Inizio / Fine Esecuzione 08-02-2021/08-02-2021		Commessa n° / Data 006 del 07-01-2021	
Responsabile di sito Geol Luigi Farini		Operatore Sereni		Tipo Carotaggio continuo		Tipo Sonda Beretta T41		Diametro perforazione / Diametro rivestimento 101 mm - 127 mm	

Scala (m)	Litologia	Descrizione	Quota	S.P.T. (n° Colpi)	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Cass. Catalog.	Piezometro	I-(1)						
1		Materiale di riporto misto bituminoso.	0.50	R(10cm)-R-R 2.50 PC			(RM)									
		Argilliti, siltiti brunastre contenenti pezzame lapideo dell'ordine della ghiaia.	1.75													
2		Livello lapideo calcarenitico frantumato dell'ordine della ghiaia grossolana in matrice argillosa. (SPT da 2,5 a 2,6; R)	2.75													
3		Argilliti, siltiti brunastre contenenti pezzame lapideo dell'ordine della ghiaia con localizzate presenze di ciottoli. (Prelievo campione rimaneggiato tra 3,40 e 3,90)	4.80													
4		Argilliti, siltiti grigie biancastre compatte intercalate localmente da pezzame lapideo dell'ordine della ghiaia. Presente un livello lapideo arenitico tra 5,80 e 6,00. (SPT da 5 a 5,15; 40-R-R), (prelievo campione rimaneggiato tra 5,00 e 5,40).	7.00													
5		Argilliti, siltiti grigie biancastre compatte intercalate alla base da ghiaia fine. (SPT da 8,00 a 8,45; 27-37-45)		27-37-45												
6				8.00 PC												
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																
31																
32																
33																
34																
35																
36																
37																
38																
39																
40																
41																
42																
43																
44																
45																
46																
47																
48																
49																
50																
51																
52																
53																
54																
55																
56																
57																
58																
59																
60																
61																
62																
63																
64																
65																
66																
67																
68																
69																
70																
71																
72																
73																
74																
75																
76																
77																
78																
79																
80																
81																
82																
83																
84																
85																
86																
87																
88																
89																
90																
91																
92																
93																
94																
95																
96																
97																
98																
99																
100																

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT

Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande

Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua

Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici

Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa

Carotaggio: continuo Campioni prelevati n° (data prelievo)

2 (08-02-2021)

Sonda: Beretta T41

 Responsabile di sito
Geol. Luigi Farini

 Direttore laboratorio
Dr. Moretti Giuliano



Autorizzazione del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Settore A – Prove di laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 – ART. 59 DPR 380/2001 – Circolare 7618/STC 2010

LABOTER Srl

Lab. Geotecnico - C.S.LL.PP. Decr. 2436/13

Committente : TECNA srl per Regione Toscana
Cantiere : SRT70 della Consuma

Verbale Accettazione n° : 75 del 12/02/2021
Data Certificazione : 31/03/2021
Campioni n°: 8
Certificati da n° a n° : 01411 a 01461



COMMITTENTE: TECNA srl per Regione Toscana				
RIFERIMENTO: SRT70 della Consuma				
SONDAGGIO:	1	CAMPIONE:	CR1	PROFONDITA': m 3.4-3.9

CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	25,5	%
Peso di volume	16,7	kN/m ³
Peso di volume secco	13,3	kN/m ³
Peso di volume saturo	18,3	kN/m ³
Peso specifico	27,0	kN/m ³
Indice dei vuoti	1,028	
Porosità	50,7	%
Grado di saturazione	68,5	%
Limite di liquidità	44,1	%
Limite di plasticità	24,3	%
Indice di plasticità	19,8	%
Indice di consistenza	0,94	
Passante al set. n° 42	SI	
Limite di ritiro		%
CNR-UNI 10006/00	A2-7	I.G. = 1

ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia	54,4	%
Sabbia	20,5	%
Limo	13,7	%
Argilla	11,4	%
D 10	0,001442	mm
D 50	2,774054	mm
D 60	5,296185	mm
D 90	22,793390	mm
Passante set. 10	45,6	%
Passante set. 42	31,7	%
Passante set. 200	25,8	%

PERMEABILITA'

Coefficiente k	cm/sec
----------------	--------

COMPRESSIONE

σ	kPa
c_u	kPa
σ_{Rim}	kPa
$c_{u \text{ Rim}}$	kPa

TAGLIO DIRETTO

Prova consolidata-lenta		
C'	12,1	kPa
ϕ'	31,9	°
C'_{Res}		kPa
ϕ'_{Res}		°

COMPRESSIONE TRIASSIALE

C.D.	C _d	kPa	ϕ_d	°
C.U.	C' _{cu}	kPa	ϕ'_{cu}	°
	C _{cu}	kPa	ϕ_{cu}	°
U.U.	C _u	kPa	ϕ_u	°

PROVA EDOMETRICA

σ kPa	E kPa	Cv cm ² /sec	k cm/sec

FOTOGRAFIA



OSSERVAZIONI

Tipo di campione: Cilindrico Qualità del campione: Q 4

Posizione delle prove			cm	Rp kPa	VT kPa	cm	DESCRIZIONE DEL CAMPIONE
CF	GR	TD					
			0				Argilliti con trovanti arenacei e siltiti
			10	225			MUNSELL SOIL COLOR: 2.5Y 6/3 Light yellowish brown
			20				Classificazione del terreno in base alla resistenza al pocket penetrometer e vane test
			30				24.5 - 49.1 kPa molle
			40				49.1 - 98.1 kPa plastico
							98.1 - 196.2 kPa consistente
							196.2 - 392.4 kPa molto consistente
							>392,4 kPa duro
						45	Le caratteristiche naturali del campione non hanno permesso la preparazione di provini idonei ad esser sottoposti a prova edometrica e a prova ELL

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDITA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01415	Allegato 1	DATA DI EMISSIONE: 31/03/21	Inizio analisi: 25/03/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 75 del 12/02/21		Apertura campione: 17/03/21	Fine analisi: 29/03/21

COMMITTENTE: TECNA srl per Regione Toscana				
RIFERIMENTO: SRT70 della Consuma				
SONDAGGIO: 1		CAMPIONE: CR1		PROFONDITA': m 3.4-3.9

CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO

Classificazione secondo: CNR-UNI 10006/00

ANALISI GRANULOMETRICA

LIMITI DI CONSISTENZA

Passante setaccio 10 (2 mm)	45,6	%	Limite di liquidità	44,1	%
Passante setaccio 40 (0.42 mm)	31,7	%	Limite di plasticità	24,3	%
Passante setaccio 200 (0.075 mm)	25,8	%	Indice di plasticità	19,8	%

CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO: A2-7

INDICE DI GRUPPO: 1

Tipi usuali dei materiali principali:
Ghiaia limosa o argillosa e sabbia

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01411	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 31/03/21	Inizio analisi: 17/03/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 75 del 12/02/21		Apertura campione: 17/03/21	Fine analisi: 18/03/21

COMMITTENTE: TECNA srl per Regione Toscana				
RIFERIMENTO: SRT70 della Consuma				
SONDAGGIO: 1		CAMPIONE: CR1		PROFONDITA': m 3.4-3.9

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 2216-10

Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 25,5 %

Struttura del materiale:

☐ Omogeneo

☐ Stratificato

☒ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01412	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 31/03/21	Inizio analisi: 17/03/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 75 del 12/02/21		Apertura campione: 17/03/21	Fine analisi: 17/03/21

COMMITTENTE: TECNA srl per Regione Toscana				
RIFERIMENTO: SRT70 della Consuma				
SONDAGGIO: 1		CAMPIONE: CR1		PROFONDITA': m 3.4-3.9

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377 T 15/E

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale = 16,7 kN/m³

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDITA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01413	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 31/03/21	Inizio analisi: 19/03/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 75 del 12/02/21		Apertura campione: 17/03/21	Fine analisi: 22/03/21
COMMITTENTE: TECNA srl per Regione Toscana			
RIFERIMENTO: SRT70 della Consuma			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: CR1	PROFONDITA': m	3.4-3.9
<u>PESO SPECIFICO DEI GRANULI</u>			
Modalità di prova: Norma ASTM D 854-10			

γ_s = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) (kN/m³) = 27,0 kN/m³

γ_{sc} = Peso specifico dei granuli corretto a 20° (kN/m³) = 27,0 kN/m³

Metodo: ☒ A ☐ B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 18,0 °C

Disaerazione eseguita sotto vuoto

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AD-ITA-ACCREDITA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01414 Allegato 1

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 75 del 12/02/21

DATA DI EMISSIONE: 31/03/21

Inizio analisi: 29/03/21

Apertura campione: 17/03/21

Fine analisi: 30/03/21

COMMITTENTE: TECNA srl per Regione Toscana

RIFERIMENTO: SRT70 della Consuma

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: CR1

PROFONDITA': m 3.4-3.9

ABACO DI CASAGRANDE

Modalità di prova: Norma ASTM D 4318-10

Limite di liquidità	44,1	%
Limite di plasticità	24,3	%
Indice di plasticità	19,8	%
Indice di consistenza	0,94	
Passante al set. n° 42	SI	

C - Argille inorganiche

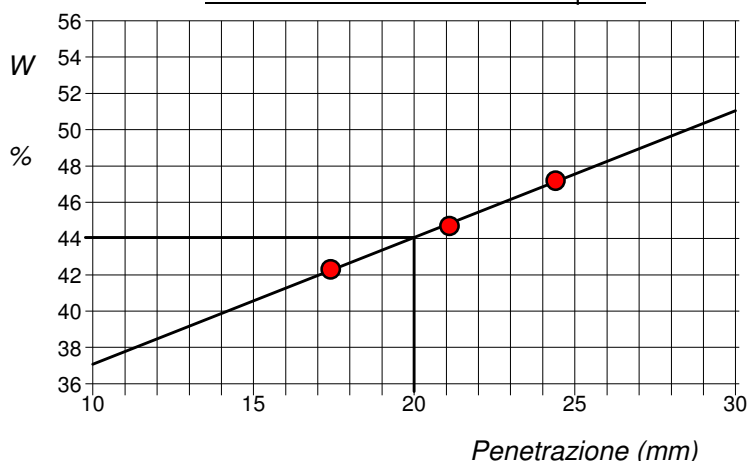
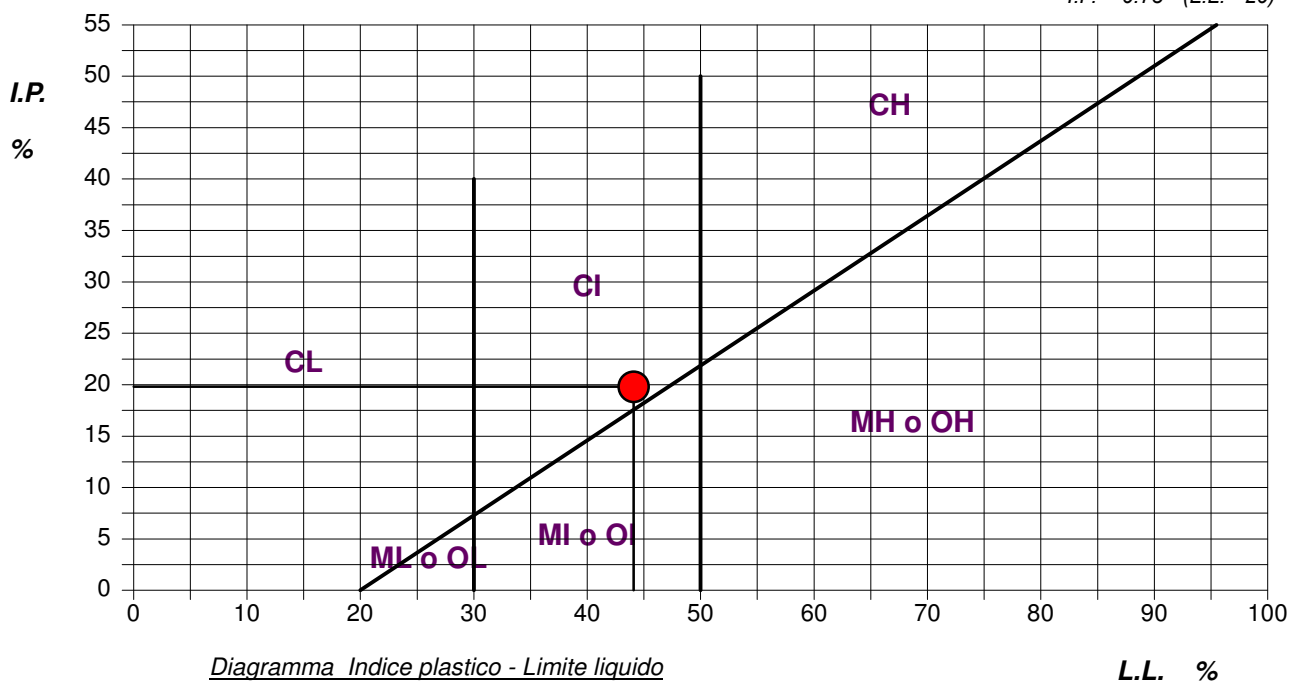
M - Limi inorganici

O - Argille e limi organici

L - Bassa compressibilità

I - Media compressibilità

H - Alta compressibilità

Determinazione del Limite di liquidità**ABACO DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE** $I.P. = 0.73 \cdot (L.L. - 20)$ 

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA: 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01415 Pagina 1/1

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 75 del 12/02/21

DATA DI EMISSIONE: 31/03/21 Inizio analisi: 25/03/21

Apertura campione: 17/03/21 Fine analisi: 29/03/21

COMMITTENTE: TECNA srl per Regione Toscana

RIFERIMENTO: SRT70 della Consuma

SONDAGGIO: 1

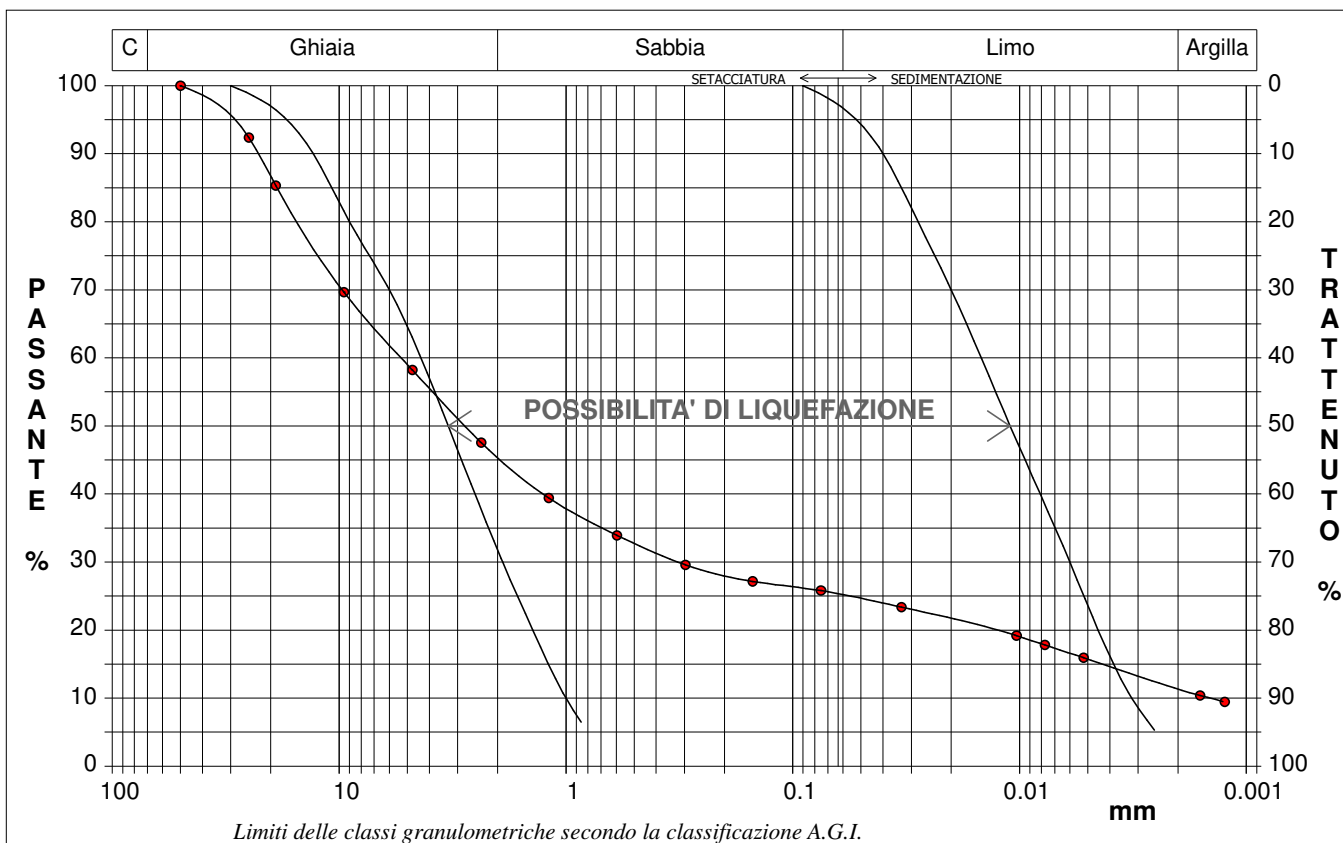
CAMPIONE: CR1

PROFONDITA': m 3.4-3.9

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma A.G.I. 1977

Ghiaia	54,4 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	45,6 %	D10	0,00144 mm	
Sabbia	20,5 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	31,7 %	D30	0,31770 mm	
Limo	13,7 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	25,8 %	D50	2,77405 mm	
Argilla	11,4 %			D60	5,29619 mm	
Coefficiente di uniformità		3673,68	Coefficiente di curvatura	13,22	D90	22,79339 mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
50,0000	100,00	2,3600	47,53	0,0750	25,80	0,0016	10,38		
25,0000	92,38	1,1900	39,41	0,0331	23,37	0,0012	9,45		
19,0000	85,31	0,5950	33,92	0,0103	19,19				
9,5200	69,64	0,2970	29,58	0,0077	17,80			Setacci	10
4,7500	58,21	0,1500	27,16	0,0052	15,95			Punti sediment.	6

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01416 Pagina 1/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 75 del 12/02/21

DATA DI EMISSIONE: 31/03/21 Inizio analisi: 19/03/21

Apertura campione: 17/03/21 Fine analisi: 22/03/21

COMMITTENTE: TECNA srl per Regione Toscana

RIFERIMENTO: SRT70 della Consuma

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: CR1

PROFONDITA': m 3.4-3.9

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

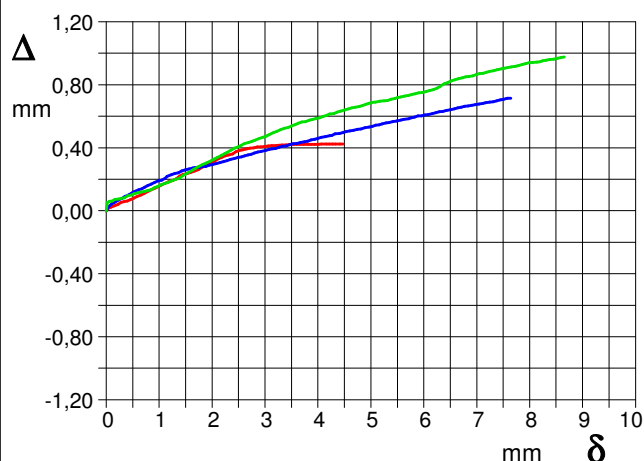
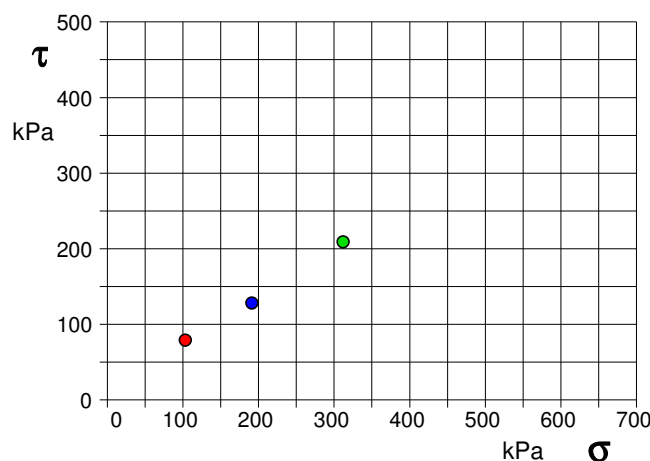
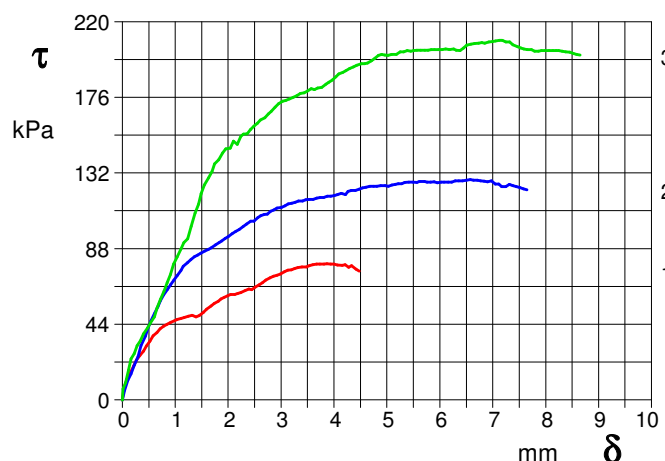
Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Pressione verticale (kPa):	103	191	312
Tensione a rottura (kPa):	79	128	209
Deformazione orizzontale a rottura (mm):	3,86	6,58	7,12
Deformazione verticale a rottura (mm):	0,42	0,65	0,87
Umidità iniziale e umidità finale (%):	--- 45,9	--- 31,2	--- 47,5
Peso di volume iniziale e finale (kN/m³):	16,0 24,5	17,9 26,0	16,3 26,6

DIAGRAMMATensione - Pressione verticale

Tipo di prova: Consolidata - lenta

Velocità di deformazione: 0,010 mm / min

Tempo di consolidazione (ore): 24

DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AD-ITA-ACCREDITA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01416	Pagina 0/4	DATA DI EMISSIONE: 31/03/21	Inizio analisi: 19/03/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 75 del 12/02/21		Apertura campione: 17/03/21	Fine analisi: 22/03/21

COMMITTENTE: TECNA srl per Regione Toscana			
RIFERIMENTO: SRT70 della Consuma			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: CR1	PROFONDITA': m	3.4-3.9

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm
0,034	6,9	0,02	0,045	5,5	0,03	0,014	6,3	0,05
0,150	15,8	0,03	0,227	20,0	0,07	0,163	23,8	0,07
0,270	23,0	0,05	0,436	36,9	0,10	0,343	34,3	0,08
0,401	28,4	0,06	0,609	50,1	0,13	0,534	44,8	0,11
0,521	34,1	0,08	0,781	61,1	0,16	0,724	58,4	0,12
0,658	39,1	0,10	0,978	69,8	0,19	0,912	72,9	0,15
0,784	42,9	0,12	1,148	77,7	0,22	1,108	87,7	0,17
0,917	45,1	0,14	1,362	83,2	0,24	1,302	100,9	0,20
1,038	46,7	0,16	1,563	86,6	0,27	1,489	119,9	0,23
1,172	47,9	0,18	1,760	90,2	0,28	1,692	132,8	0,27
1,317	49,2	0,20	1,945	93,9	0,29	1,894	143,5	0,30
1,454	48,9	0,23	2,145	98,1	0,31	2,099	150,5	0,34
1,590	52,7	0,24	2,346	102,2	0,33	2,287	154,6	0,37
1,739	56,2	0,26	2,559	106,0	0,34	2,490	159,3	0,41
1,866	58,7	0,29	2,740	108,1	0,36	2,691	164,0	0,43
1,992	60,6	0,31	2,926	111,5	0,38	2,885	170,3	0,46
2,126	61,2	0,33	3,133	114,0	0,39	3,083	174,1	0,49
2,242	62,5	0,35	3,329	115,7	0,41	3,299	177,0	0,51
2,389	64,4	0,36	3,532	116,7	0,43	3,504	179,8	0,54
2,515	65,6	0,38	3,742	117,8	0,44	3,693	181,4	0,56
2,653	68,1	0,39	3,941	118,4	0,46	3,903	184,9	0,58
2,789	71,0	0,40	4,136	120,2	0,47	4,093	189,6	0,60
2,922	72,6	0,41	4,324	121,9	0,49	4,298	192,7	0,62
3,062	74,4	0,41	4,539	123,3	0,50	4,519	195,6	0,64
3,197	75,7	0,41	4,750	124,3	0,52	4,705	197,2	0,66
3,318	77,0	0,42	4,965	124,7	0,53	4,903	200,9	0,68
3,476	77,3	0,42	5,161	125,4	0,55	5,087	200,9	0,69
3,601	78,5	0,42	5,336	126,4	0,56	5,317	202,5	0,70
3,732	78,9	0,42	5,569	126,4	0,58	5,506	203,2	0,72
3,864	79,2	0,42	5,761	126,7	0,59	5,715	203,5	0,73
4,002	79,0	0,42	5,954	126,3	0,60	5,901	203,8	0,75
4,158	78,2	0,42	6,161	126,7	0,62	6,111	204,1	0,76
4,276	77,1	0,42	6,360	127,4	0,63	6,308	203,5	0,79
4,414	76,0	0,42	6,577	128,1	0,65	6,511	206,3	0,82
			6,771	127,4	0,66	6,729	207,6	0,85
			6,973	127,5	0,67	6,928	208,2	0,86
			7,165	124,1	0,69	7,122	209,1	0,87
			7,378	124,7	0,70	7,318	208,2	0,89
			7,579	122,8	0,71	7,532	204,7	0,90
						7,733	203,8	0,92
						7,920	203,2	0,93
						8,139	203,2	0,94
						8,313	202,8	0,96
						8,524	201,6	0,97

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AD-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01416 Pagina 3/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 75 del 12/02/21

DATA DI EMISSIONE: 31/03/21 Inizio analisi: 19/03/21

Apertura campione: 17/03/21 Fine analisi: 22/03/21

COMMITTENTE: TECNA srl per Regione Toscana

RIFERIMENTO: SRT70 della Consuma

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: CR1

PROFONDITA': m 3.4-3.9

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1

Pressione (kPa)	103
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,907
Sezione (cm²):	31,17
T ₅₀ (min)	0,0
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,000

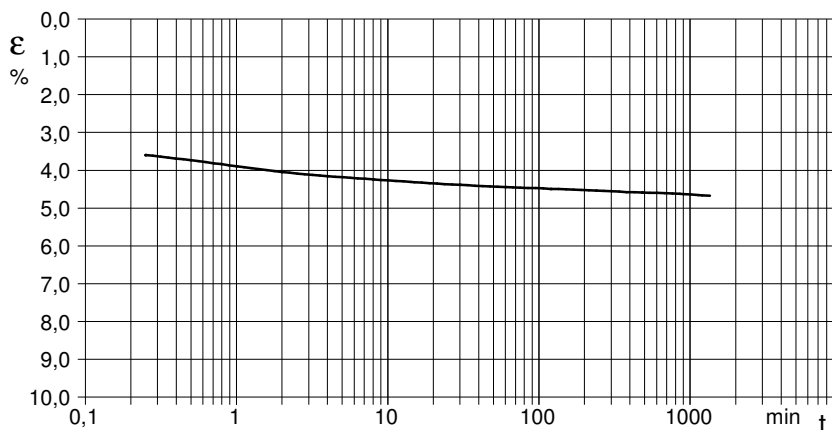


Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2

Pressione (kPa)	191
Altezza iniziale (cm)	2,030
Altezza finale (cm)	1,830
Sezione (cm²):	31,57
T ₅₀ (min)	0,0
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,000

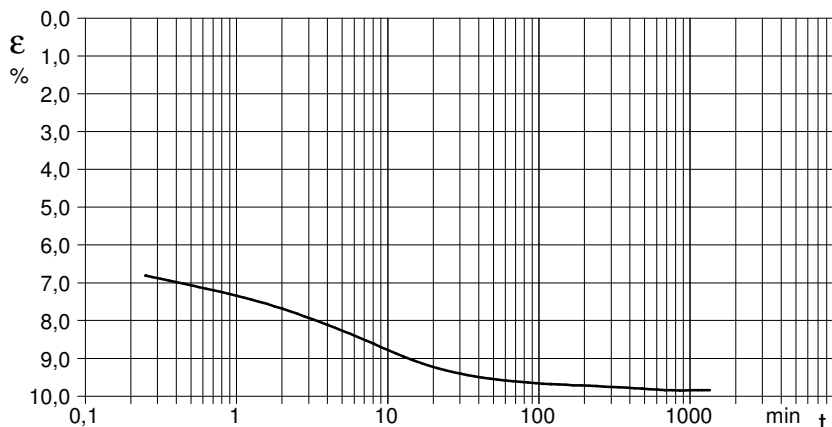
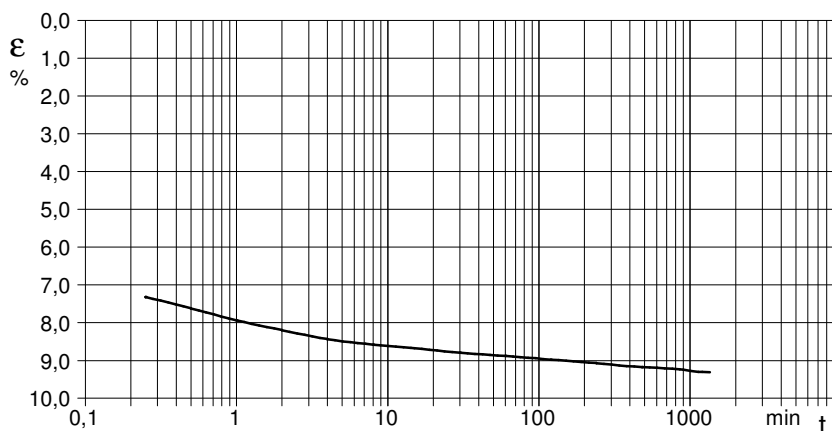


Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3

Pressione (kPa)	312
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,814
Sezione (cm²):	31,64
T ₅₀ (min)	0,0
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,000



Vs = Velocità stimata di prova Df = Deformazione a rottura stimata

tf = 50 x T₅₀

Vs = Df / tf

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01416	Pagina 4/4	DATA DI EMISSIONE: 31/03/21	Inizio analisi: 19/03/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 75 del 12/02/21		Apertura campione: 17/03/21	Fine analisi: 22/03/21

COMMITTENTE: TECNA srl per Regione Toscana				
RIFERIMENTO: SRT70 della Consuma				
SONDAGGIO:	1	CAMPIONE:	CR1	PROFONDITA': m 3.4-3.9

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

[illegible]

COMMITTENTE:	TECNA srl per Regione Toscana		
RIFERIMENTO:	SRT70 della Consuma		
SONDAGGIO:	1	CAMPIONE:	CR1
		PROFONDITA': m	3.4-3.9

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Pressione verticale (kPa):	103	191	312
Tensione a rottura (kPa):	79	128	209
Deformazione orizzontale a rottura (mm):	3,86	6,58	7,12
Deformazione verticale a rottura (mm):	0,42	0,65	0,87
Umidità iniziale e umidità finale (%):	--- 45,9	--- 31,2	--- 47,5
Peso di volume iniziale e finale (kN/m³):	16,0 24,5	17,9 26,0	16,3 26,6

DIAGRAMMA

Tensione - Pressione verticale

Coesione: 12,1 kPa
Angolo di attrito interno: 31,9 °

Tipo di prova: Consolidata - lenta
Velocità di deformazione: 0,010 mm / min
Tempo di consolidazione (ore): 24

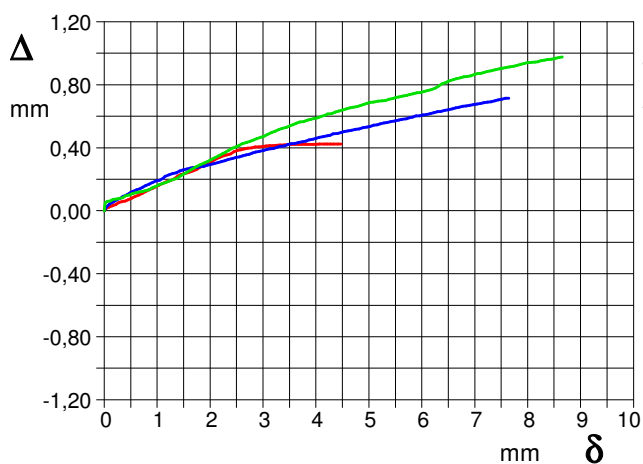
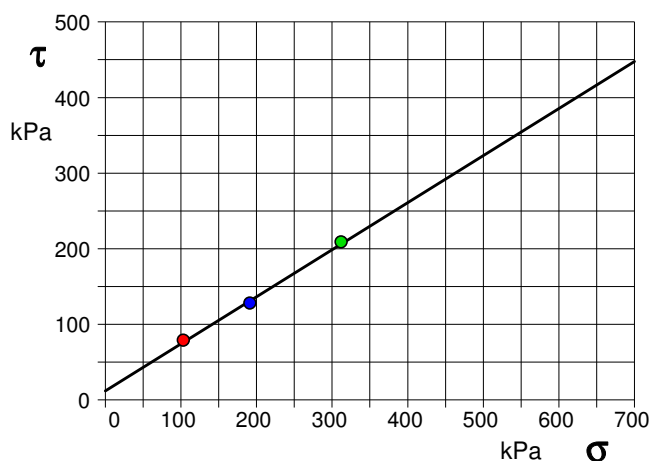


DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.

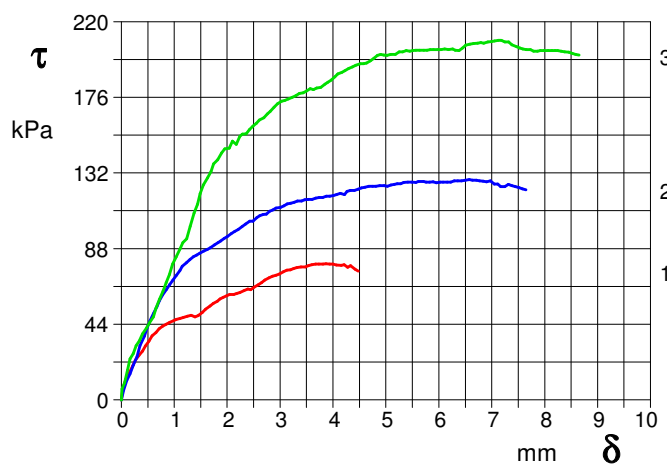


DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AD-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

COMMITTENTE:	TECNA srl per Regione Toscana		
RIFERIMENTO:	SRT70 della Consuma		
SONDAGGIO:	1	CAMPIONE:	CR2 PROFONDITA': m 5.0-5.4

CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	13,8	%
Peso di volume		kN/m ³
Peso di volume secco		kN/m ³
Peso di volume saturo		kN/m ³
Peso specifico	25,9	kN/m ³
Indice dei vuoti		
Porosità		%
Grado di saturazione		%
Limite di liquidità	33,6	%
Limite di plasticità	22,3	%
Indice di plasticità	11,3	%
Indice di consistenza	1,75	
Passante al set. n° 42	SI	
Limite di ritiro		%
CNR-UNI 10006/00	A6	I.G. = 1

ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia	44,4	%
Sabbia	19,9	%
Limo	17,7	%
Argilla	18,0	%
D 10	0,000445	mm
D 50	1,121012	mm
D 60	2,940732	mm
D 90	24,614400	mm
Passante set. 10	55,6	%
Passante set. 42	42,7	%
Passante set. 200	36,4	%

PERMEABILITA'

Coefficiente k	cm/sec
----------------	--------

COMPRESSIONE

σ	kPa
c_u	kPa
σ_{Rim}	kPa
$c_{u\ Rim}$	kPa

TAGLIO DIRETTO

Prova consolidata-lenta	
c'	kPa
ϕ'	°
c'_{Res}	kPa
ϕ'_{Res}	°

COMPRESSIONE TRIASSIALE

C.D.	C_d	kPa	ϕ_d	°
C.U.	C'_{cu}	kPa	ϕ'_{cu}	°
	C_{cu}	kPa	ϕ_{cu}	°
	C_u	kPa	ϕ_u	°

PROVA EDOMETRICA

σ kPa	E kPa	C_v cm ² /sec	k cm/sec

FOTOGRAFIA**OSSERVAZIONI**

Tipo di campione: Cilindrico Qualità del campione: Q 2	
--	--

Posizione delle prove	cm	Rp kPa	VT kPa	cm	DESCRIZIONE DEL CAMPIONE
CF GR	0				Argilliti con litici siltitici e arenacei MUNSELL SOIL COLOR: 10YR 6/1 Gray
	10				
	20				Le caratteristiche naturali del campione (consistenza e granulometria) non hanno permesso la preparazione di provini idonei ad esser sottoposti a prove meccaniche
	30				
				39	

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDITA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01420	Allegato 1	DATA DI EMISSIONE: 31/03/21	Inizio analisi: 26/03/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 75 del 12/02/21		Apertura campione: 17/03/21	Fine analisi: 29/03/21

COMMITTENTE: TECNA srl per Regione Toscana				
RIFERIMENTO: SRT70 della Consuma				
SONDAGGIO: 1		CAMPIONE: CR2		PROFONDITA': m 5.0-5.4

CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO

Classificazione secondo: CNR-UNI 10006/00

ANALISI GRANULOMETRICA

Passante setaccio 10 (2 mm)	55,6	%
Passante setaccio 40 (0.42 mm)	42,7	%
Passante setaccio 200 (0.075 mm)	36,4	%

LIMITI DI CONSISTENZA

Limite di liquidità	33,6	%
Limite di plasticità	22,3	%
Indice di plasticità	11,3	%

CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO: A6**INDICE DI GRUPPO: 1**

Tipi usuali dei materiali principali:
Argille poco compressibili

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDITA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01417	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 31/03/21	Inizio analisi: 17/03/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 75 del 12/02/21		Apertura campione: 17/03/21	Fine analisi: 18/03/21

COMMITTENTE: TECNA srl per Regione Toscana				
RIFERIMENTO: SRT70 della Consuma				
SONDAGGIO: 1		CAMPIONE: CR2		PROFONDITA': m 5.0-5.4

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 2216-10

Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 13,8 %

Struttura del materiale:

☐ Omogeneo

☐ Stratificato

☒ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDITA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01418	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 31/03/21	Inizio analisi: 19/03/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 75 del 12/02/21		Apertura campione: 17/03/21	Fine analisi: 22/03/21
COMMITTENTE: TECNA srl per Regione Toscana			
RIFERIMENTO: SRT70 della Consuma			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: CR2	PROFONDITA': m	5.0-5.4
<u>PESO SPECIFICO DEI GRANULI</u>			
Modalità di prova: Norma ASTM D 854-10			

γ_s = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) (kN/m³) = 25,9 kN/m³

γ_{sc} = Peso specifico dei granuli corretto a 20° (kN/m³) = 25,9 kN/m³

Metodo: ☒ A ☐ B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 18,0 °C

Disaerazione eseguita sotto vuoto

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA: 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01419 Allegato 1

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 75 del 12/02/21

DATA DI EMISSIONE: 31/03/21 Inizio analisi: 29/03/21

Apertura campione: 17/03/21 Fine analisi: 30/03/21

COMMITTENTE: TECNA srl per Regione Toscana

RIFERIMENTO: SRT70 della Consuma

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: CR2

PROFONDITA': m 5.0-5.4

ABACO DI CASAGRANDE

Modalità di prova: Norma ASTM D 4318-10

Limite di liquidità	33,6	%
Limite di plasticità	22,3	%
Indice di plasticità	11,3	%
Indice di consistenza	1,75	
Passante al set. n° 42	SI	

C - Argille inorganiche

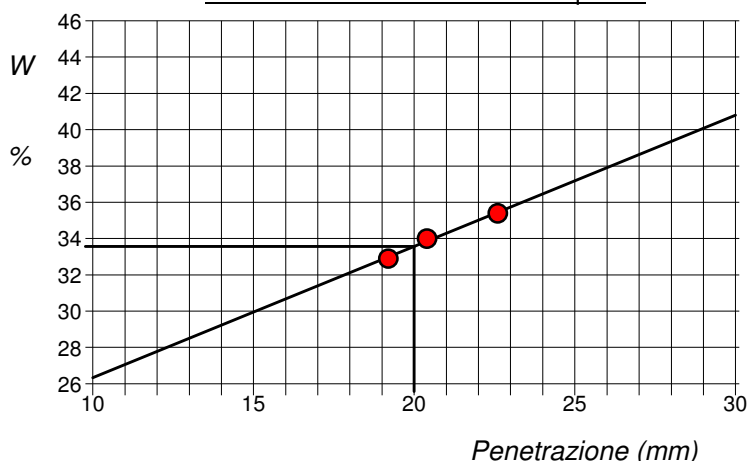
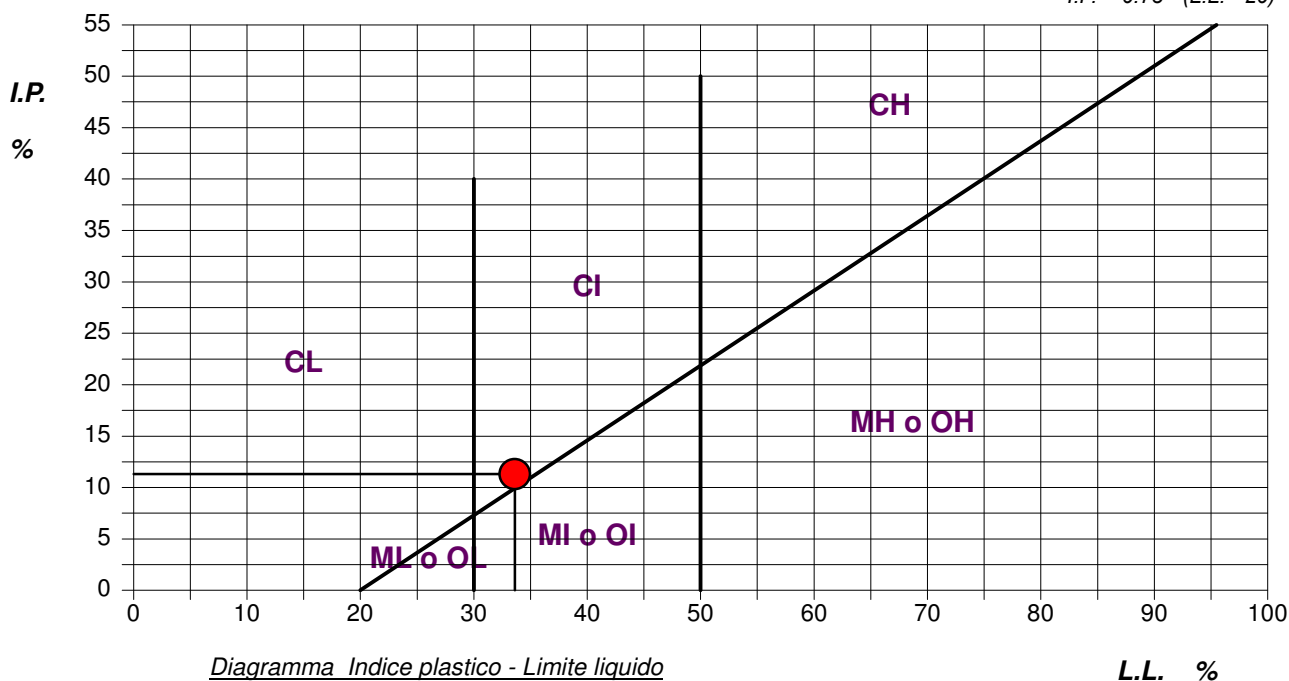
M - Limi inorganici

O - Argille e limi organici

L - Bassa compressibilità

I - Media compressibilità

H - Alta compressibilità

Determinazione del Limite di liquidità**ABACO DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE** $I.P. = 0.73 \cdot (L.L. - 20)$ 

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA: 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01420 Pagina 1/1

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 75 del 12/02/21

DATA DI EMISSIONE: 31/03/21 Inizio analisi: 26/03/21

Apertura campione: 17/03/21 Fine analisi: 29/03/21

COMMITTENTE: TECNA srl per Regione Toscana

RIFERIMENTO: SRT70 della Consuma

SONDAGGIO: 1

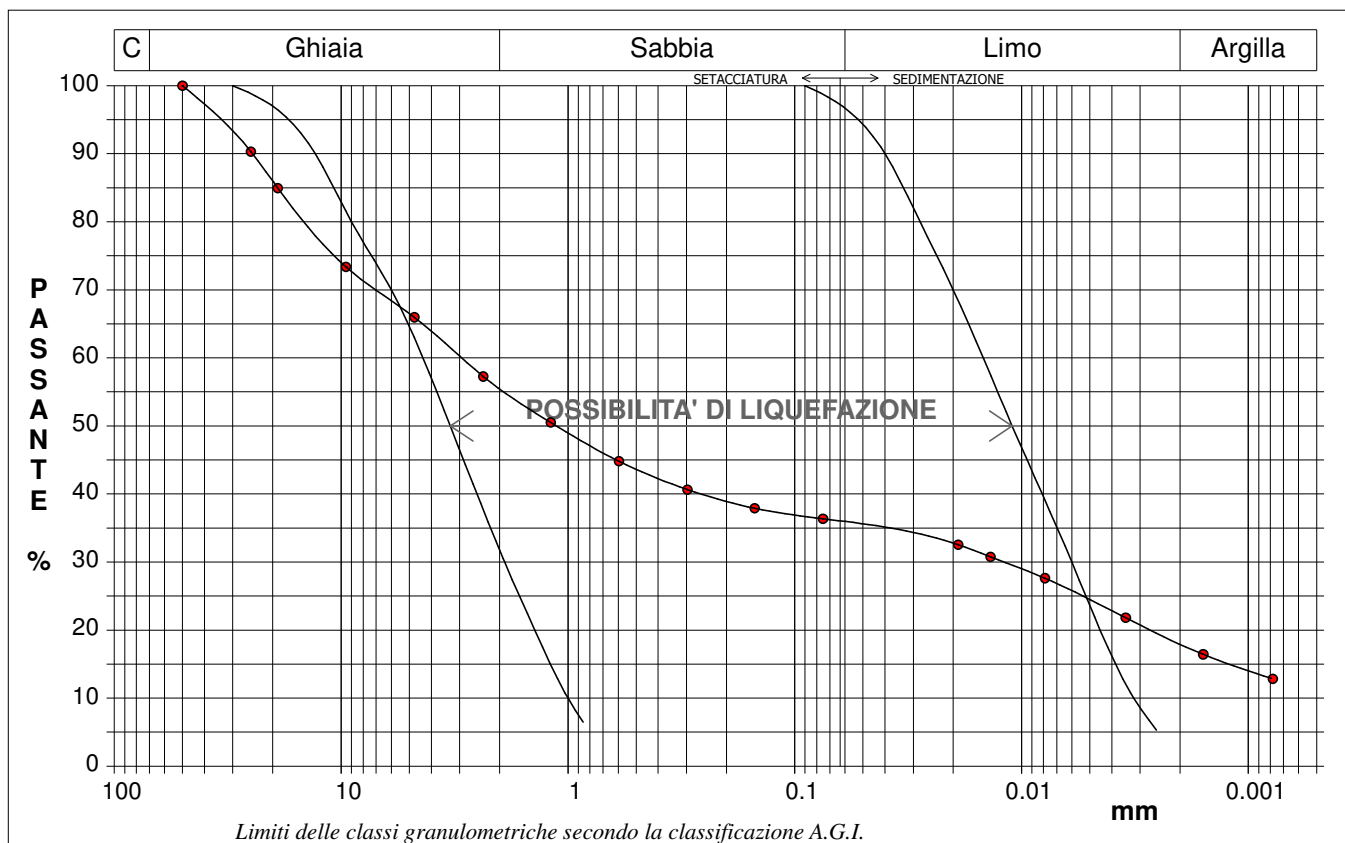
CAMPIONE: CR2

PROFONDITA': m 5.0-5.4

ANALISI GRANULOMETRICA

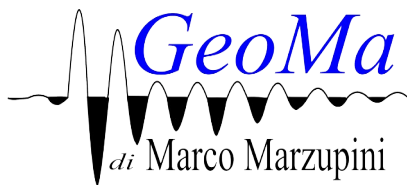
Modalità di prova: Norma A.G.I. 1977

Ghiaia	44,4 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	55,6 %	D10	0,00044 mm	
Sabbia	19,9 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	42,7 %	D30	0,01200 mm	
Limo	17,7 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	36,4 %	D50	1,12101 mm	
Argilla	18,0 %			D60	2,94073 mm	
Coefficiente di uniformità		6611,59	Coefficiente di curvatura	0,11	D90	24,61440 mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
50,0000	100,00	2,3600	57,26	0,0750	36,36	0,0016	16,43		
25,0000	90,30	1,1900	50,49	0,0190	32,54	0,0008	12,85		
19,0000	84,94	0,5950	44,80	0,0137	30,75				
9,5200	73,36	0,2970	40,64	0,0079	27,61			Setacci	10
4,7500	65,97	0,1500	37,90	0,0035	21,80			Punti sediment.	6

2021



www.Geoma.it

Cell: 328-7255608

Fax: +391782206474

Email: Marzupinimarco@gmail.com

Email Pec: Geoma.marzupini@pec.it

Skype: Geoma. Marzupini

Sede: Via Laparelli Pitti 10 Arezzp

C.F. MRZMRC83B01A390P

PIVA 03318000928

REPORT

SISMICA TOMOGRAFICA MASW HVSr

LOCALITÀ:	Consuma	ID:	9917001522021M	DATA:	24/02/21
------------------	----------------	------------	-----------------------	--------------	-----------------

Indice generale

PREMESSA.....	3
INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	3
TIPOLOGIA INDAGINI.....	4
UBICAZIONE INDAGINI.....	4
METODOLOGIE E STRUMENTAZIONI ADOTTATE.....	6
METODOLOGIE.....	6
SISMICA A RIFRAZIONE.....	6
M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves).....	7
ONDE DI RAYLEIGH.....	7
ONDE DI LOVE.....	7
STRUMENTAZIONE.....	8
SISMICA.....	8
INDAGINI.....	9
MASW A (Sito A).....	9
PRIMA FASE.....	10
SECONDA FASE.....	10
HVSR A.....	12
SISMICA (Sito B).....	16
PROFILO 01 (SR 01).....	16
UBICAZIONE.....	17
GOOGLE EARTH.....	18
TOPOGRAFICO.....	19
ELABORAZIONE.....	20
DIAGRAMMA.....	22
PROFILO 02 (SR 02).....	23
UBICAZIONE.....	24
GOOGLE EARTH.....	25
TOPOGRAFICO.....	26
ELABORAZIONE.....	27
DIAGRAMMA.....	29
HVSR B.....	30
MASW C (Sito C).....	34
PRIMA FASE.....	35
SECONDA FASE.....	35
HVSR C.....	37
CONCLUSIONI.....	41
MASW A.....	42
SISMICA SR01.....	44
TOMOGRAFIA (Onde P).....	44
STATIGRAFIA (Onde P).....	45
DATI e PROFONDITA'.....	46
TOMOGRAFIA (Onde SH).....	47
STATIGRAFIA (Onde SH).....	48
DATI e PROFONDITA'.....	49
SISMICA SR 02.....	50
TOMOGRAFIA (Onde P).....	50
STATIGRAFIA (Onde P).....	51
DATI e PROFONDITA'.....	52
TOMOGRAFIA (Onde SH).....	53
STATIGRAFIA (Onde SH).....	54
DATI e PROFONDITA'.....	55
MASW C.....	56

PREMESSA

In località *Passo della Consuma, Omomorto e Le Cupole (Pratovecchio Stia)* in data 24 febbraio 2021 (Illustrazione 1), sono state eseguite delle misurazioni geofisiche con il fine di esaminare l'andamento sismo-stratigrafico del sito ed eventuali anomalie.

Le indagini effettuate comprendono:

- Una Masw e un HVSR (nominato rispettivamente Sito A) in località Le Cupole
- Due sismiche a rifrazione e un HVSR (nominata rispettivamente SR01 e SR02) per l'acquisizione delle onde P e SH nel Sito B in località Omomorto
- Una Masw e HVSR (nominato rispettivamente Sito C) in località Omomorto

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Lo studio è stato eseguito presso le località *Passo della Consuma, Omomorto e Le Cupole (Pratovecchio Stia)*



Illustrazione 1: Ubicazione indagine sismica (non in scala)

TIPOLOGIA INDAGINI

Le indagini sono state suddivise nel seguente modo:

- Sismica a rifrazione con acquisizione delle onde P e Sh ed elaborazione sia Tomografica sia di 80,5 m
- Sismica a rifrazione con acquisizione delle onde P e Sh ed elaborazione sia Tomografica sia di 69 m
- Masw con acquisizione di quattro stazioni
- HVSr con acquisizione di 2700 s

UBICAZIONE INDAGINI

Le indagini sono state eseguite con le seguenti ubicazioni:

PROFILI SISMICI SR01 e SR02

I profili sismici sono stati eseguiti presso sito B

- Il profilo SR01 incrocia il 2 al 21° geofono
- Il profilo SR02 incrocia il 1 al 12 ° geofono

MASW

Le Masw sono state eseguite presso il sito A e C

HVSr

Gli HVSr sono stati effettuati uno per in ogni sito



METODOLOGIE E STRUMENTAZIONI ADOTTATE

METODOLOGIE

SISMICA A RIFRAZIONE

La sismica a rifrazione ha lo scopo di determinare direttamente la velocità di propagazione, all'interno del mezzo in esame sia mediante onde di compressione (onde P) sia di taglio (onde S).

Tale tecnica si basa sulla misurazione di onde sismiche in un punto del terreno rilevando l'arrivo, lungo uno stendimento mediante ricevitori equidistanziati (geofoni).

Il metodo sismico a rifrazione si basa sul concetto della birifrazione delle onde sismiche a seguito del fronte d'onda conico. Le onde prodotte da una sorgente artificiale che verranno analizzate in questa indagine, saranno quelle birifratte, cioè quelle che giungono a incidere con un angolo critico in una discontinuità sismica (intesa come variazione di impedenza acustica).

Tali onde verranno rifratte con un angolo di 90° che si propagano parallelamente alla discontinuità fino a venire rifratte verso la superficie con lo stesso angolo di incidenza. Supponiamo di avere un suolo composto da solo due strati (velocità V_1 , e V_2), una sorgente puntiforme che genera onde elastiche e uno stendimento di geofoni. Generando onde elastiche mediante una energizzazione del suolo si avrà che le onde che incontreranno i geofoni disposti lungo uno stendimento saranno le onde dirette poi, quando l'onda rifratta avrà percorso una certa distanza alla velocità V_2 , essa arriverà prima dell'onda diretta.

Riportando tutto in un diagramma spazio – tempo, con in ascisse la distanza x ed in ordinate il tempo di percorrenza dell'onda, avremo che l'onda diretta è una retta passante per l'origine e con pendenza uguale a $1/V_1$, mentre l'onda rifratta è una retta con pendenza pari a $1/V_2$ che interseca l'asse dei tempi in un punto (chiamato intercetta o tempo di intersezione) di ordinata pari a $2h \cos i_c/V_1$. I due arrivi si intersecano in corrispondenza di un'ascissa x_c (detta distanza critica o di ginocchio) per la quale i tempi di percorrenza dell'onda diretta e rifratta sono uguali, cioè

$$x_c = 2h \cdot \sqrt{\frac{v_2 + v_1}{v_2 - v_1}}$$

Per $x < x_c$ arriverà ai ricevitori prima l'onda diretta e poi l'onda rifratta mentre per $x > x_c$ giungerà prima l'onda rifratta.

Se il terreno presenterà più di due strati (la maggior parte dei casi) si adopererà la formula :

$$t_n = 2 \sum_{k=1}^{n-1} \frac{h_k \cos i_{(k,n)}}{V_k} + \frac{x}{V_n} = I_n + \frac{x}{V_n}$$

Tale espressione in x è l'equazione di una retta con pendenza pari a $1/V_n$.

Il diagramma spazio – tempo (dromocrona) sarà quindi costituito da n rette, la prima delle quali passante per l'origine è relativa all'onda diretta ed ha pendenza pari a $1/V_1$, mentre le altre, con pendenza $1/V_k$ ($k = \dots, n$), rappresentano le onde rifratte da ciascuno strato: tali rette intersecheranno l'asse dei tempi in un'ordinata data dal primo termine del 2° membro detto “tempo intercetto”.

M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Il M.A.S.W. è una tecnica d'indagine recente che sfrutta le onde superficiali di Rayleigh e Love (in questo studio verranno utilizzate solamente le prime). Il metodo mira ad una caratterizzazione sismica del sottosuolo basandosi sull'analisi della dispersione geometrica delle onde di superficie. Le onde superficiali si creano quando il fronte d'onda nel terreno incontra una discontinuità fisica, che può essere sia la superficie terreno-atmosfera (il nostro caso), sia il passaggio areato-consolidato (Thorne L & Wallace T.C, 1995., *Modern Global Seismology*,). Nella discontinuità, la somma del moto delle onde riflesse e rifratte, dà origine alle onde superficiali.

ONDE DI RAYLEIGH

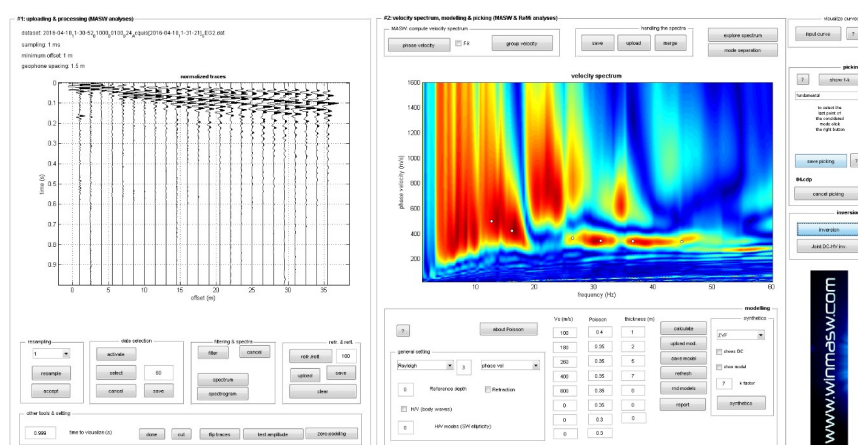
L'interazione delle onde P e SV sulla superficie libera dà origine alle onde di Rayleigh che si muovono con un movimento ellittico delle particelle nello strato superficiale avente un asse dell'ellisse parallelo alla direzione dell'onda e l'altro ortogonale alla superficie libera.

ONDE DI LOVE

La riflessione totale delle onde SH dà origine alle onde di Love, che si muovono con moto delle particelle perpendicolare alla direzione di propagazione, ma polarizzato nel piano orizzontale.

Le onde superficiali, a differenza di quelle di volume (P ed S), hanno le seguenti proprietà:

Sono dispersive in mezzi non omogenei (perché variano la propria velocità a seconda della frequenza). La velocità di propagazione è lievemente più bassa rispetto alle onde S. La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Love e Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle V_s , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati. Un'ulteriore proprietà importante è la diminuzione dell'ampiezza che diminuisce con radice quadrata della distanza dalla sorgente. Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è l'inverso della lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite il processo d'inversione.



STRUMENTAZIONE

SISMICA

- Un sistema di energizzazione per le onde P : Le onde P vengono create mediante l'uso di una massa battente (maglio) del peso di 10 kg battuta sul piano campagna.
- Un sistema composto da 24 geofoni da 4,5 Hz con massa interna a moto verticale (Geospace GS11D 4.5Hz 4kΩ).
- Due cavi telemetrici modulari di 60 m l'uno con convertitori A/D a 16 bit equi-distanziati ogni 5 m.
- Un sistema di raccolta dati Doremi della Sara Electronics collegato a un notebook mediante cavo seriale, nel quale è stato installato il programma di acquisizione dati.

Per entrambe le misurazioni sono state utilizzate anche i seguenti strumenti:

- Ricevitore Satellitare Zenith 35 pro della Geomax con acquisizione dei satelliti GPS/GLONASS e posizionamento RTK con precisione in modalità Cinematica orizzontale di $10\text{ mm} \pm 1\text{ ppm (rms)}$.

INDAGINI

MASW A (Sito A)

La Masw A e HVSR A sono stati eseguiti presso località le Cupole Passo della Consuma .



L'indagine viene condotta in due fasi principali:

PRIMA FASE

La prima fase avviene in campagna con l'acquisizione multicanale dei segnali sismici, mediante il sismografo DoReMi a 24 canali della SARA electronic instruments s.r.l..

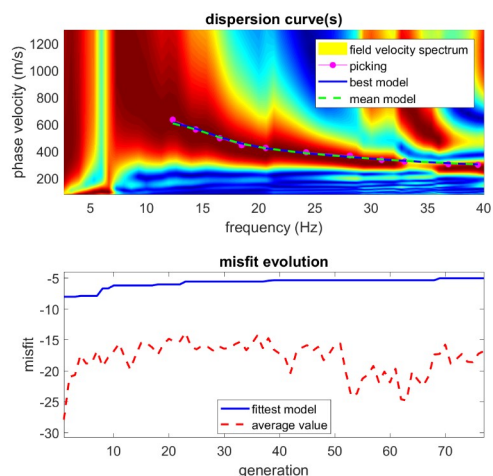
L'acquisizione viene effettuata mediante 24 geofoni verticali da 4,5 Hz distanziati di 2 m per una lunghezza totale dello stendimento di 46 metri. Le energizzazioni, eseguite mediante una mazza, vengono effettuate con offset (dal primo geofono) di -2 -4 -8 m e +2 +4 +8.



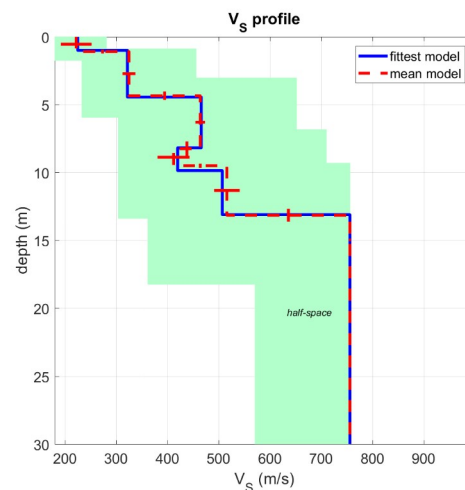
Illustrazione 2: Stendimento

SECONDA FASE

La seconda fase, che consiste nell'elaborazione dei dati acquisiti in campagna, è stata eseguita mediante il software WinMASW 5,0 ACADEMY della EliaSoft. Il programma, dopo il calcolo dello spettro di velocità, richiede il picking della curva di dispersione che poi mediante inversioni e modellizzazioni permetterà la ricostruzione del profilo delle velocità delle onde s nel terreno. Tutte queste fasi devono essere seguite accuratamente dall'operatore mediante la verifica, attraverso l'utilizzo di modelli, della qualità dei dati, ma soprattutto della loro possibile congruità con i dati geologici del sito. Qui di seguito vengono riportati i più importanti passaggi dell'elaborazione (Illustrazione 6 e Illustrazione 3):



www.winmasw.com



dataset: 2021-02-15_11-37-52_01000_00100_024_Acquis_0102_SEG2.dat
 dispersion curve: 02.cdp
 Vs30 & VsE (best model): 537 537 m/s
 Vs30 & VsE (mean model): 538 538 m/s

Illustrazione 3: Inversione della curva di dispersione

HVSR A

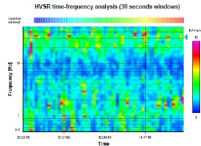
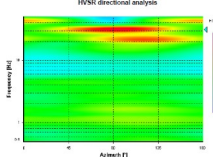
L'analisi HVSR viene condotta in due fasi principali:

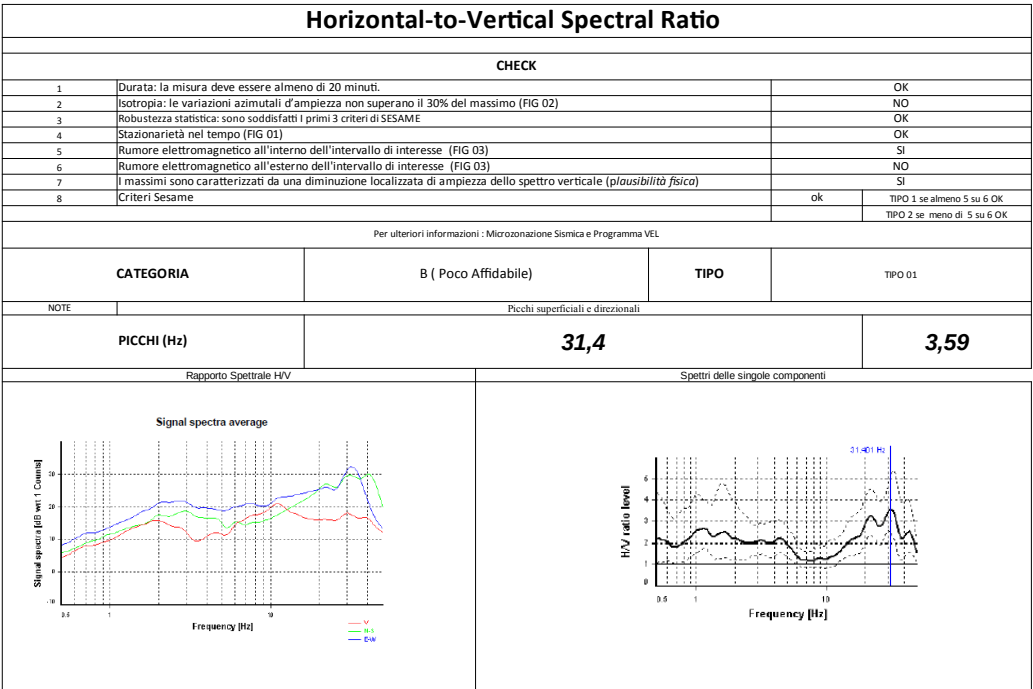
1. La prima fase è avvenuta in campagna con l'acquisizione dei segnali sismici, mediante le misure del microtremore ambientale della durata variabile ma mai minore ai 2700 secondi con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento, il tromografo digitale GeoBox 24 bit della SARA electronic instruments s.r.l., è dotato di una terna di sensori ortogonali da 2 Hz orientati N-S , E O e verticale. Il segnale viene campionato a 300 Hz per evitare eventuale aliasing. Tutte le analisi sono state disposte in direzione NS magnetico mediante bussola Brunton
2. La seconda fase, che consiste nell'elaborazione dei dati acquisiti in campagna, è stata eseguita mediante il software winMASW5,0 ACADEMY della EliaSoft e Geopsy. Il programma, basato sulle linee guida del progetto europeo SESAME, divide l'elaborazione nei seguenti passaggi:
 1. Ricampionamento a 128 Hz del segnale
 2. Rimozione manuale di eventuali transienti
 3. Larghezza delle finestre d'analisi 40 s e liscio con ampiezza pari al 10%
 4. Calcolo dello spettro mediante metodo di Nakamura
 5. Controllo della persistenza del segnale cioè della continuità nella registrazione e quindi coerenza
 6. Analisi della direttività del segnale (in caso di sorgente di rumore con direzione predominante questa viene eliminata nella fase 2)

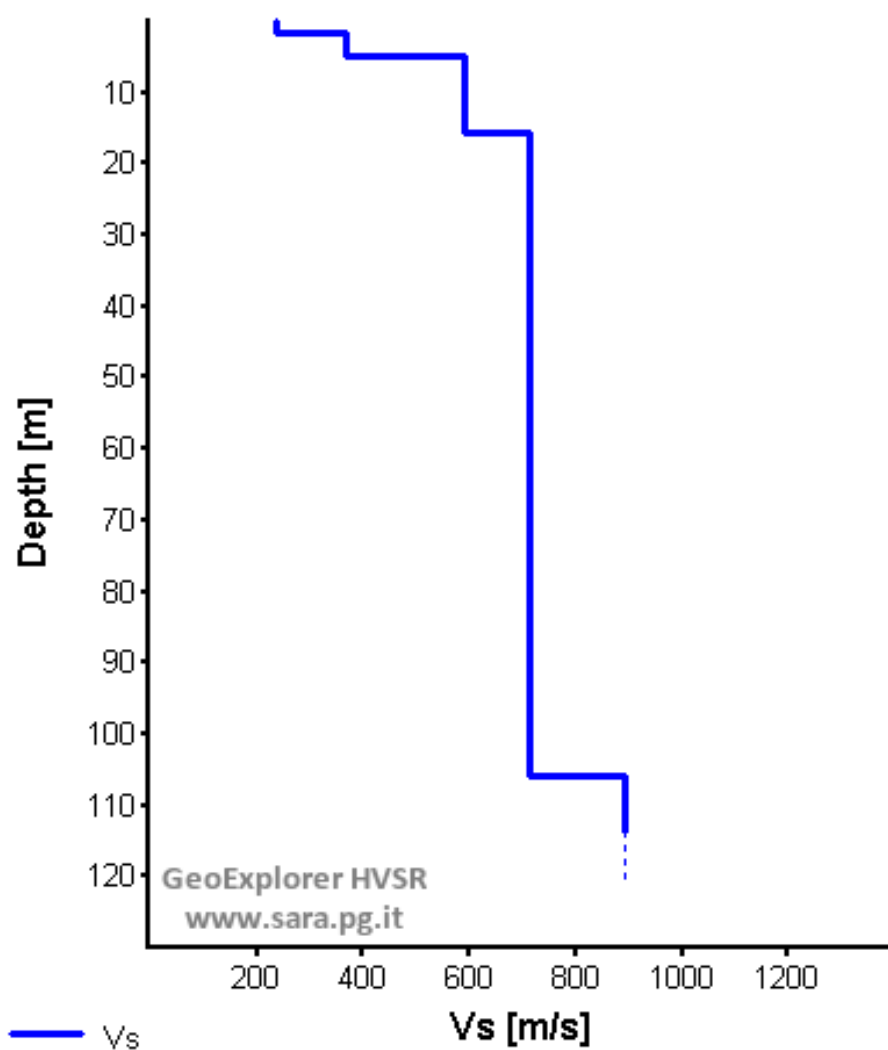
Tutte queste fasi devono essere seguite accuratamente dall'operatore mediante la verifica, attraverso l'utilizzo di modelli, della qualità dei dati ma soprattutto della loro possibile congruità con i dati geologici del sito .



Un ulteriore controllo della qualità dell'acquisizione HVSR viene basato sulla classificazione proposta nelle attività di MS dell'Abruzzo (*Albarelli-Mucciarelli, 2010*):

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio					4.1																																				
PICCO (Hz)	31.109 ± 5.542	AMPIEZZA	3,59	Selected f0 frequency	31,4																																				
DATI ELABORATI																																									
Date	24/02/21																																								
Time	2021																																								
Dataset	123123																																								
Sampling frequency (Hz)	300																																								
Window length (sec)	20																																								
Length temporal sequence (min)	45																																								
Length of analysed temporal sequence (min)	36																																								
Tapering (%)	15																																								
CONTROLLI																																									
Criteria for a reliable H/V curve																																									
<table><tr><th colspan="3">HVSR curve reliability criteria</th></tr><tr><td>$f_0 > 10 / L_w$</td><td>90 valid windows (length > 0.32 s) out of 90</td><td>OK</td></tr><tr><td>$n_w(f_0) > 200$</td><td>56392.41 > 200</td><td>OK</td></tr><tr><td>$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$</td><td>Exceeded 0 times in 25</td><td>OK</td></tr><tr><th colspan="3">HVSR peak clarity criteria</th></tr><tr><td>$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$</td><td>12.97512 Hz</td><td>OK</td></tr><tr><td>$\exists f' \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$</td><td>50 Hz</td><td>OK</td></tr><tr><td>$A_0 > 2$</td><td>3.59 > 2</td><td>OK</td></tr><tr><td>$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$</td><td>4.76% <= 5%</td><td>OK</td></tr><tr><td>$\sigma_1 < v(f_0)$</td><td>5.54184 >= 1.57007</td><td>NO</td></tr><tr><td>$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$</td><td>1.42243 < 1.58</td><td>OK</td></tr><tr><td colspan="2">Overall criteria fulfillment</td><td>OK</td></tr></table>						HVSR curve reliability criteria			$f_0 > 10 / L_w$	90 valid windows (length > 0.32 s) out of 90	OK	$n_w(f_0) > 200$	56392.41 > 200	OK	$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 25	OK	HVSR peak clarity criteria			$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	12.97512 Hz	OK	$\exists f' \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	50 Hz	OK	$A_0 > 2$	3.59 > 2	OK	$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	4.76% <= 5%	OK	$\sigma_1 < v(f_0)$	5.54184 >= 1.57007	NO	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.42243 < 1.58	OK	Overall criteria fulfillment		OK
HVSR curve reliability criteria																																									
$f_0 > 10 / L_w$	90 valid windows (length > 0.32 s) out of 90	OK																																							
$n_w(f_0) > 200$	56392.41 > 200	OK																																							
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 25	OK																																							
HVSR peak clarity criteria																																									
$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	12.97512 Hz	OK																																							
$\exists f' \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	50 Hz	OK																																							
$A_0 > 2$	3.59 > 2	OK																																							
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	4.76% <= 5%	OK																																							
$\sigma_1 < v(f_0)$	5.54184 >= 1.57007	NO																																							
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.42243 < 1.58	OK																																							
Overall criteria fulfillment		OK																																							
Stazionarietà nel tempo FIG 01		Isotropia FIG 02		Rumore FIG 03																																					
																																									





SISMICA (Sito B)

PROFILO 01 (SR 01)

La linea sismica è stata coperta per mezzo di 24 geofoni verticali con distanza intergeofonica di 3,5 m per l'acquisizione delle onde P e SH. Qui di seguito vengono riportati i parametri di acquisizione adottati :

Lunghezza stendimento totale	98,5 m
Lunghezza "geofonica"	80,5 m
Offset max	8 m
Numero stazioni	7
Stazione esterne	4
Distanza intergeofonica	3,5 m
Dislivello max	-----
Risoluzione	2 m
Datum	950
Tipo indagine	Sismica a rifrazione tomografica e GRM superficiale con acquisizione delle Onde P e SH



UBICAZIONE

Qui di seguito vengono riportate le coordinate, acquisite mediante il GPS differenziale, dei vari geofoni:

Id	Long	Lat	Quota	Offset
100	1713784,852	4851237,579	961,464	0
101	1713784,844	4851234,414	960,58	3,5
102	1713785,233	4851231,581	960,094	7
103	1713785,075	4851227,702	959,049	10,5
104	1713785,222	4851224,918	958,235	14
105	1713785,299	4851221,355	956,891	17,5
106	1713785,266	4851218,782	956,157	21
107	1713785,421	4851215,059	955,186	24,5
108	1713785,585	4851211,95	954,514	28
109	1713785,79	4851207,413	953,536	31,5
110	1713785,86	4851204,249	952,791	35
111	1713786,206	4851200,848	952,188	38,5
112	1713786,308	4851198,46	951,645	42
113	1713786,773	4851194,987	950,946	45,5
114	1713787,027	4851191,62	950,103	49
115	1713787,318	4851188,046	949,186	52,5
116	1713787,914	4851184,824	948,245	56
117	1713788,193	4851181,503	947,417	59,5
118	1713788,627	4851178,039	946,764	63
119	1713789,02	4851174,82	946,039	66,5
120	1713789,4	4851171,211	945,269	70
121	1713790,008	4851167,917	944,632	73,5
122	1713790,275	4851164,472	944,049	77
123	1713790,743	4851161,161	943,465	80,5

Note

Le coordinate sono in EPSG 3003 Monte Mario / Italy zone 1

GOOGLE EARTH



TOPOGRAFICO

10 M

0 M

SR 01

0 M

CONSUMA

SR 02

80.5 M

69 M

100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223

10

115

—



12

ELABORAZIONE

L'elaborazione e la successiva modellizzazione dei dati è stata eseguita mediante il programma ReflexW e Rayfract:

1. Aggiornamento delle headers e creazione dei database. In questa fase vengono caricati i sismogrammi e impostate le caratteristiche dello stendimento: quote, offset ecc. Questa procedura è uguale sia per lo studio delle onde P che per le onde S essendo identico lo stendimento.
2. Picking dei primi arrivi sia per le tracce delle onde P che le onde Sh.
Prima di questa fase, se presente, vengono adottati dei filtri per eliminare o ridurre eventuali rumori (corrente elettrica alternata) o segnali non ritenuti utili. Successivamente è stato effettuato il picking dei primi arrivi (Illustrazione 4).

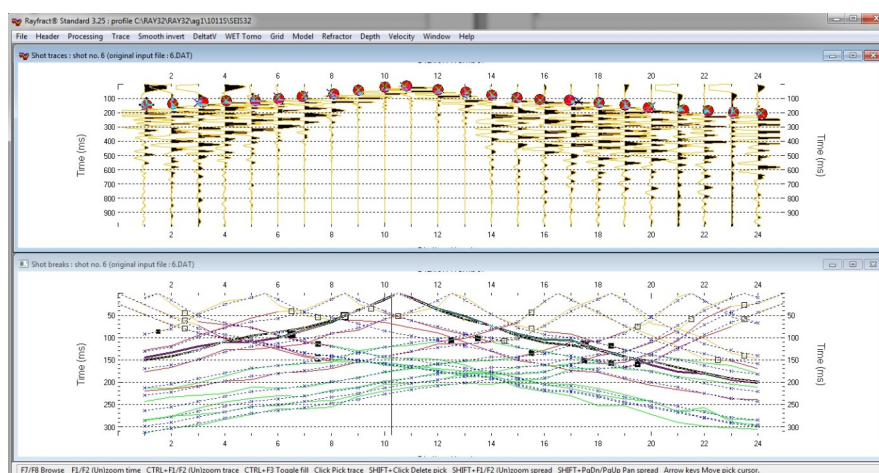


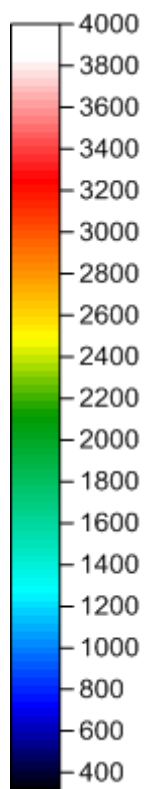
Illustrazione 4: Picking

3. Simulazione e inversione mediante il software Rayfract che utilizzando la tecnica WET, crea un modello del sottosuolo derivante da progressivi aggiustamenti, con iterazioni successive, del modello iniziale.
4. Modellizzazione e calcolo di un profilo del sottosuolo mediante piccoli aggiustamenti fino a un modello compatibile con la geologia del sito. Gli elaborati ottenuti dall'indagine, considerando le caratteristiche geologiche della zona, sono stati rappresentati mediante un scala cromatica che per le onde P è stata suddivisa in fasce di velocità comprese tra 400 m/s e 4000 m/s.

Per l'elaborazione sono stati utilizzati i seguenti programmi:

- Winsism 16,2 della **Geo2X**
- WinMasw Academy 6,0 della **Eliosoft**
- ReflexW 7,0 della **Sandmeier**

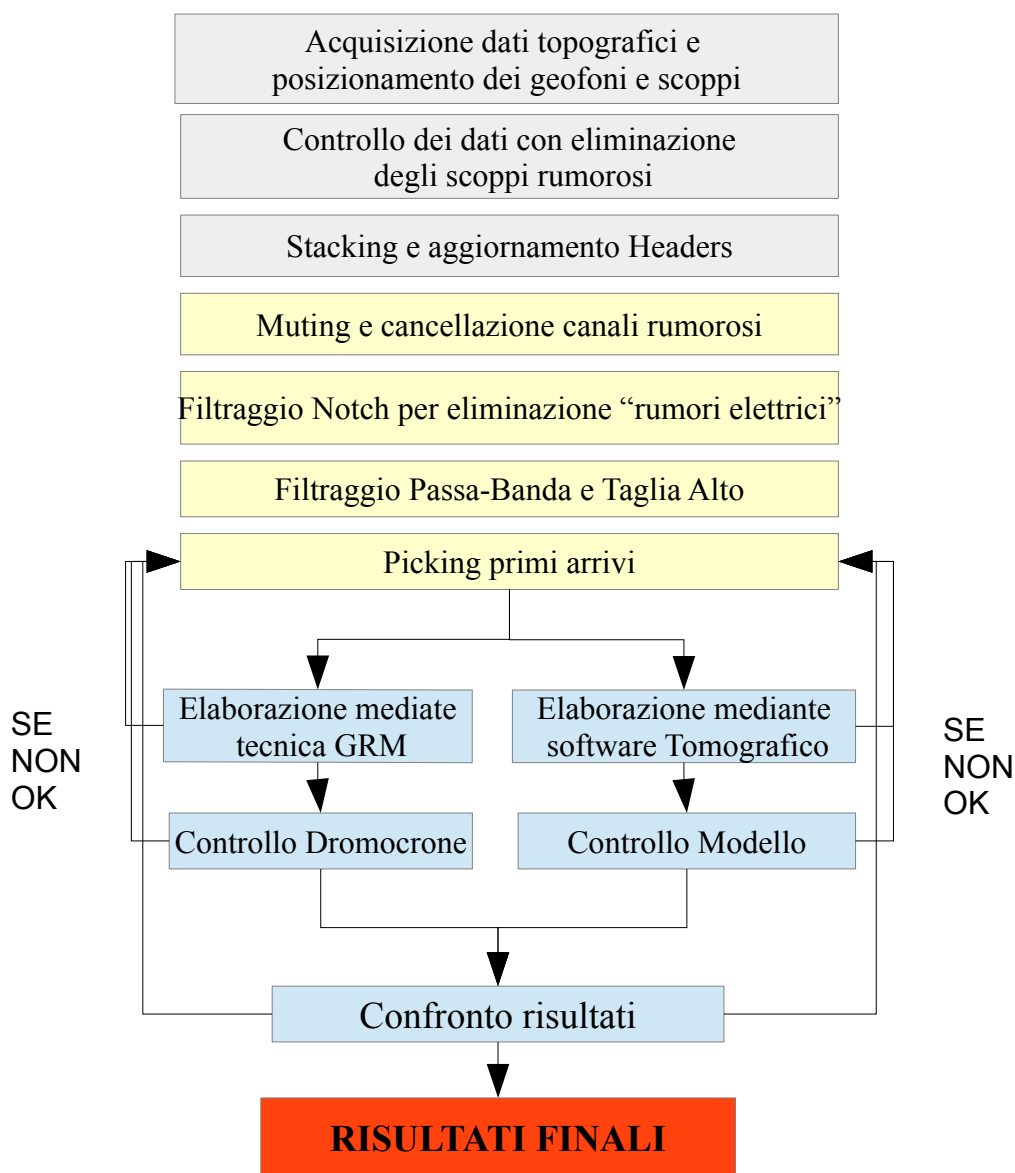
- Surfer della **Golden Software**
- Rayfract 3,52



*Illustrazione
5: Scala P*

DIAGRAMMA

I dati delle sismiche a rifrazione, una volta acquisiti in campagna, sono stati processati con i seguenti step:



PROFILO 02 (SR 02)

La linea sismica è stata coperta per mezzo di 24 geofoni verticali con distanza intergeofonica di 3 m per l'acquisizione delle onde P e SH. Qui di seguito vengono riportati i parametri di acquisizione adottati :

Lunghezza stendimento totale	87 m
Lunghezza "geofonica"	69 m
Offset max	9 m
Numero stazioni	7
Stazione esterne	4
Distanza intergeofonica	3 m
Dislivello max	-----
Risoluzione	2 m
Datum	950 slm
Tipo indagine	Sismica a rifrazione tomografica e GRM superficiale con acquisizione delle Onde P SH



UBICAZIONE

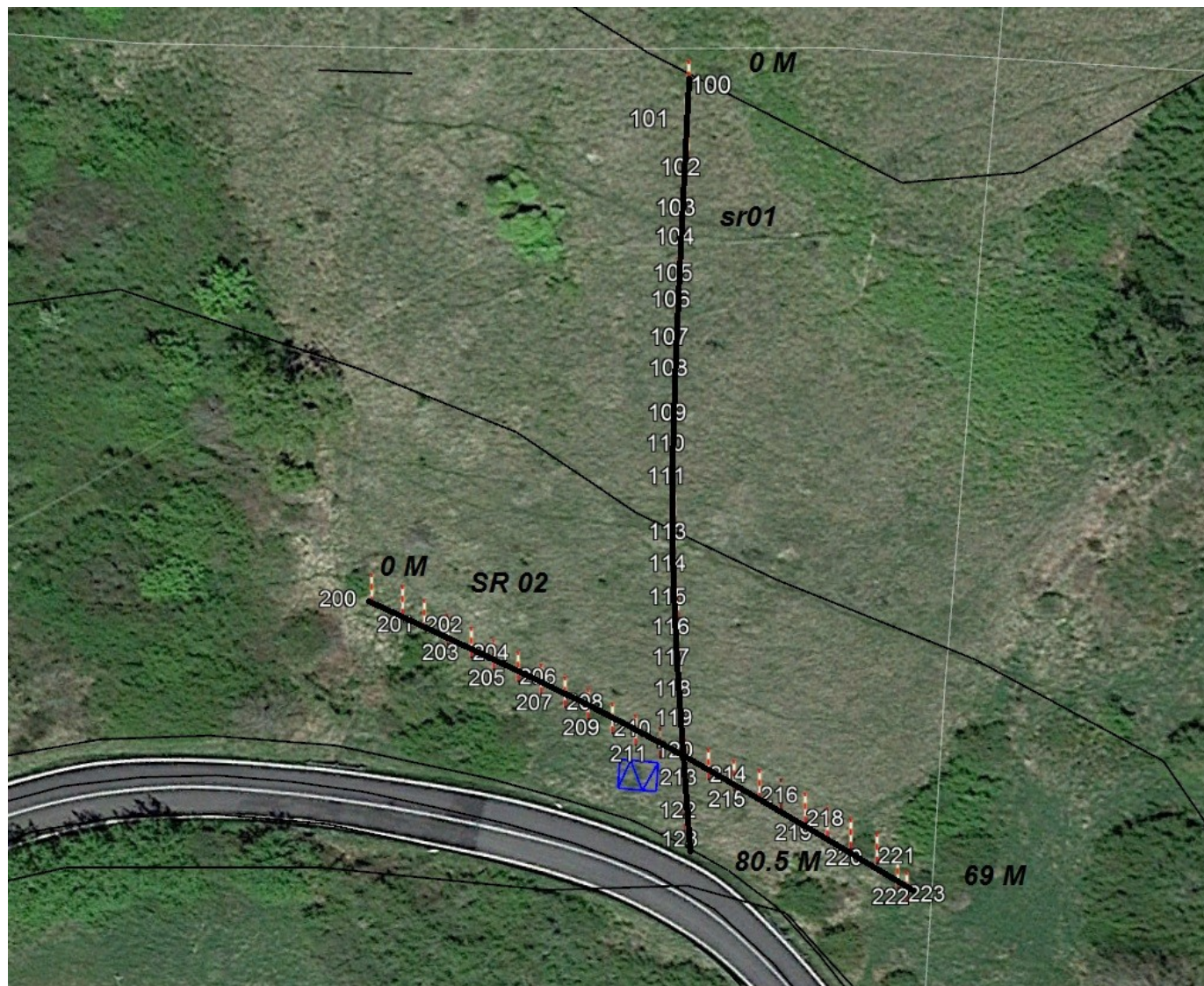
Qui di seguito vengono riportate le coordinate, acquisite mediante il GPS differenziale, dei vari geofoni:

Id	Long	Lat	Quota	Offset
200	1713754,022	4851183,808	943,894	0
201	1713757,489	4851182,7	943,812	3
202	1713759,971	4851181,365	943,559	6
203	1713762,642	4851179,937	943,421	9
204	1713765,395	4851178,625	943,459	12
205	1713767,978	4851177,466	943,455	15
206	1713770,796	4851176,335	943,538	18
207	1713773,478	4851175,138	943,525	21
208	1713776,246	4851173,926	943,625	24
209	1713778,905	4851172,797	943,789	27
210	1713781,717	4851171,444	943,99	30
211	1713784,372	4851170,335	944,207	33
212	1713787,182	4851169,204	944,433	36
213	1713790,06	4851168,187	944,717	39
214	1713792,681	4851167,235	944,88	42
215	1713795,564	4851166,203	945,061	45
216	1713798,475	4851165,387	945,17	48
217	1713800,917	4851164,531	945,178	51
218	1713803,706	4851163,176	945,012	54
219	1713806,287	4851161,778	945,006	57
220	1713808,972	4851160,681	945,178	60
221	1713811,966	4851159,286	944,868	63
222	1713814,433	4851156,772	944,895	66
223	1713815,538	4851155,342	944,967	69

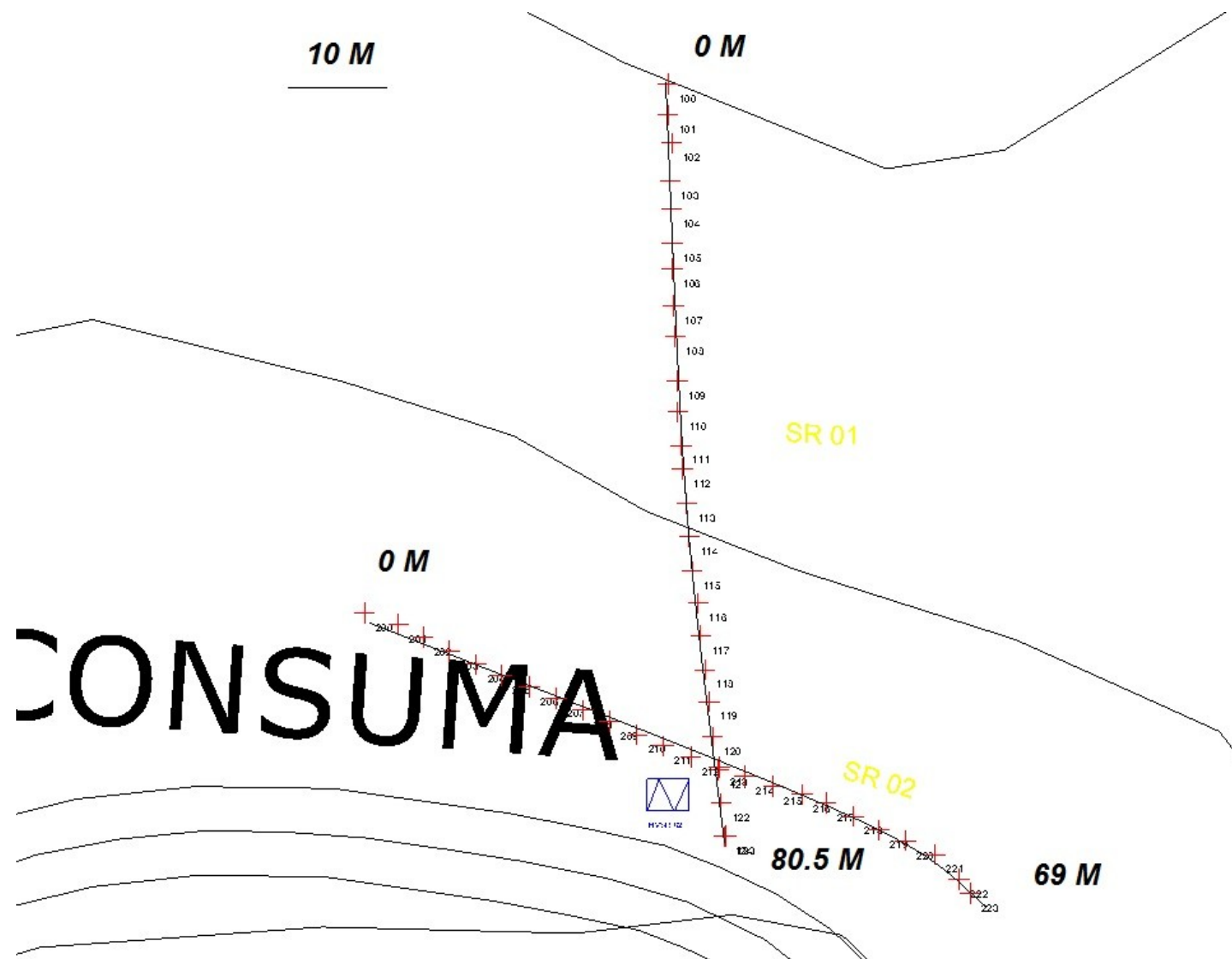
Note

Le coordinate sono in EPSG 3003 Monte Mario / Italy zone 1

GOOGLE EARTH



TOPOGRAFICO



ELABORAZIONE

L'elaborazione e la successiva modellizzazione dei dati è stata eseguita mediante il programma ReflexW e Rayfract:

5. Aggiornamento delle headers e creazione dei database. In questa fase vengono caricati i sismogrammi e impostate le caratteristiche dello stendimento: quote, offset ecc. Questa procedura è uguale sia per lo studio delle onde P che per le onde S essendo identico lo stendimento.
6. Picking dei primi arrivi sia per le tracce delle onde P che le onde Sh.
Prima di questa fase, se presente, vengono adottati dei filtri per eliminare o ridurre eventuali rumori (corrente elettrica alternata) o segnali non ritenuti utili. Successivamente è stato effettuato il picking dei primi arrivi (Illustrazione 6).

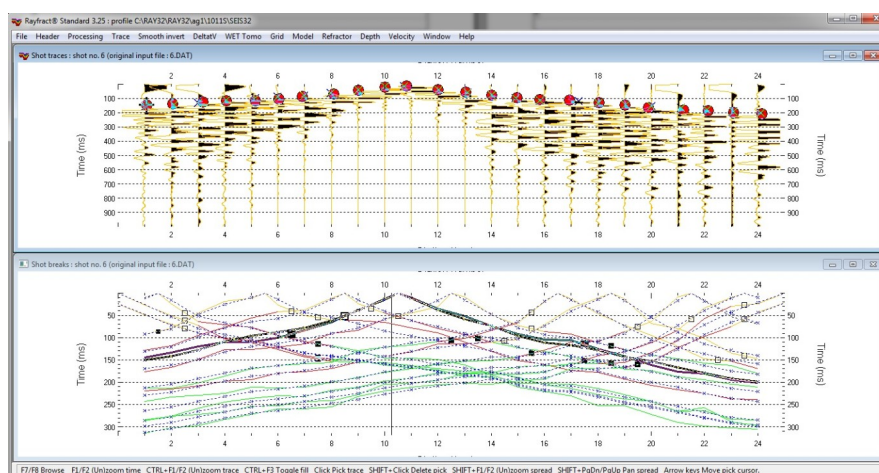


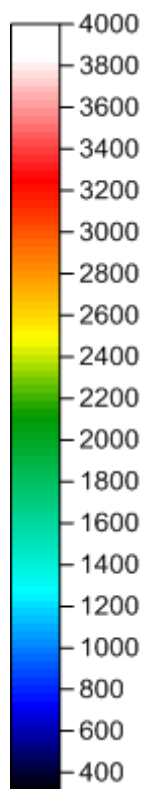
Illustrazione 4: Picking

7. Simulazione e inversione mediante il software Rayfract che utilizzando la tecnica WET, crea un modello del sottosuolo derivante da progressivi aggiustamenti, con iterazioni successive, del modello iniziale.
8. Modellizzazione e calcolo di un profilo del sottosuolo mediante piccoli aggiustamenti fino a un modello compatibile con la geologia del sito. Gli elaborati ottenuti dall'indagine, considerando le caratteristiche geologiche della zona, sono stati rappresentati mediante un scala cromatica che per le onde P è stata suddivisa in fasce di velocità comprese tra 400 m/s e 4000 m/s.

Per l'elaborazione sono stati utilizzati i seguenti programmi:

- Winsism 16,2 della **Geo2X**
- WinMasw Academy 6,0 della **Eliosoft**
- ReflexW 7,0 della **Sandmeier**

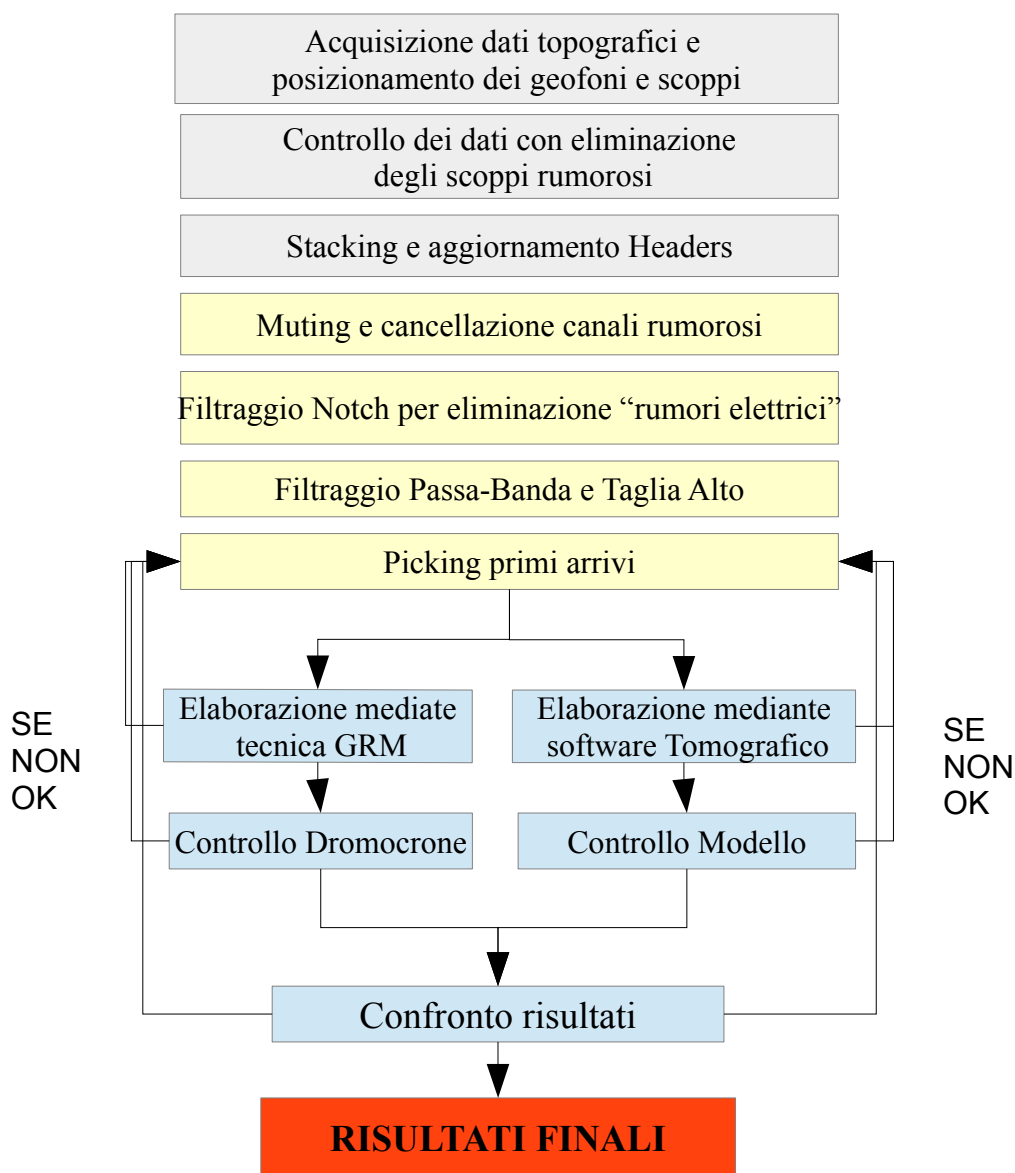
- Surfer della **Golden Software**
- Rayfract 3,52



*Illustrazione
7: Scala P*

DIAGRAMMA

I dati delle sismiche a rifrazione, una volta acquisiti in campagna, sono stati processati con i seguenti step:



HVSR B

L'analisi HVSR viene condotta in due fasi principali:

1. La prima fase è avvenuta in campagna con l'acquisizione dei segnali sismici, mediante le misure del microtremore ambientale della durata variabile ma mai minore ai 2700 secondi con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento, il tromografo digitale GeoBox 24 bit della SARA electronic instruments s.r.l., è dotato di una terna di sensori ortogonali da 2 Hz orientati N-S , E O e verticale. Il segnale viene campionato a 300 Hz per evitare eventuale aliasing. Tutte le analisi sono state disposte in direzione NS magnetico mediante bussola Brunton
2. La seconda fase, che consiste nell'elaborazione dei dati acquisiti in campagna, è stata eseguita mediante il software winMASW5,0 ACADEMY della EliaSoft e Geopsy. Il programma, basato sulle linee guida del progetto europeo SESAME, divide l'elaborazione nei seguenti passaggi:
 1. Ricampionamento a 128 Hz del segnale
 2. Rimozione manuale di eventuali transienti
 3. Larghezza delle finestre d'analisi 40 s e lisciamiento con ampiezza pari al 10%
 4. Calcolo dello spettro mediante metodo di Nakamura
 5. Controllo della persistenza del segnale cioè della continuità nella registrazione e quindi coerenza
 6. Analisi della direttività del segnale (in caso di sorgente di rumore con direzione predominante questa viene eliminata nella fase 2)

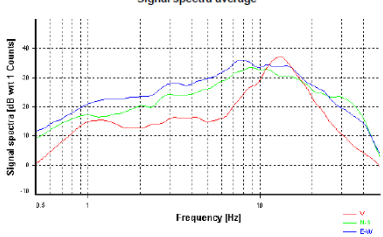
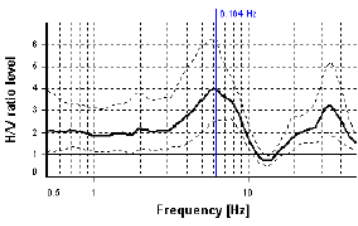
Tutte queste fasi devono essere seguite accuratamente dall'operatore mediante la verifica, attraverso l'utilizzo di modelli, della qualità dei dati ma soprattutto della loro possibile congruità con i dati geologici del sito .

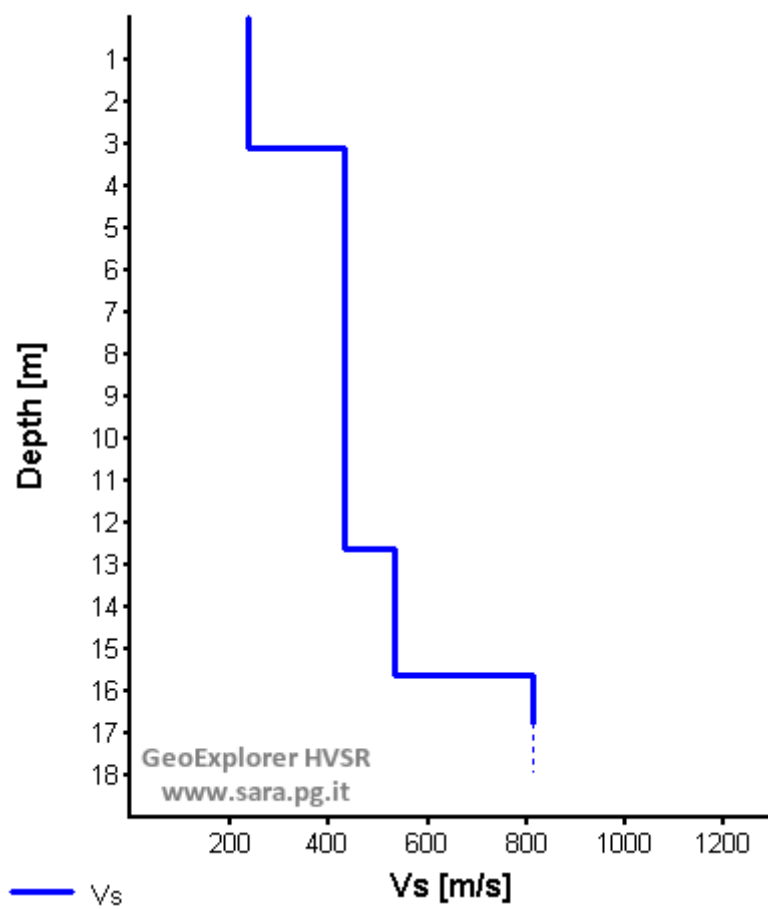


Un ulteriore controllo della qualità dell'acquisizione HVSR viene basato sulla classificazione proposta nelle attività di MS dell'Abruzzo (Albarelli-Mucciarelli, 2010):

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio					4,1																																				
PICCO (Hz)	6.293 ± 1.275	AMPIEZZA	3,96	Selected f0 frequency	6,16																																				
DATI ELABORATI																																									
Date	24/02/21																																								
Time	2021																																								
Dataset	12315																																								
Sampling frequency (Hz)	300																																								
Window length (sec)	20																																								
Length temporal sequence (min)	45																																								
Length of analysed temporal sequence (min)	38																																								
Tapering (%)	15																																								
CONTROLLI																																									
Criteria for a reliable H/V curve																																									
<table><tr><th colspan="3">HVSR curve reliability criteria</th></tr><tr><td>$f_0 > 10 / L_w$</td><td>150 valid windows (length > 1.62 s) out of 150</td><td>OK</td></tr><tr><td>$n_v(f_0) > 200$</td><td>18492.7 > 200</td><td>OK</td></tr><tr><td>$\sigma_n(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$</td><td>Exceeded 0 times in 29</td><td>OK</td></tr><tr><th colspan="3">HVSR peak clarity criteria</th></tr><tr><td>$\exists f' \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$</td><td>1.7556 Hz</td><td>OK</td></tr><tr><td>$\exists f' \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$</td><td>9.8152 Hz</td><td>OK</td></tr><tr><td>$A_0 > 2$</td><td>3.96 > 2</td><td>OK</td></tr><tr><td>$f_{max}\{A_{H/V}(f) \pm \sigma_n(f)\} = f_0 \pm 5\%$</td><td>26.19% > 5%</td><td>NO</td></tr><tr><td>$\sigma_n < 0.1(f_0)$</td><td>1.27508 >= 0.30821</td><td>NO</td></tr><tr><td>$\sigma_n(f_0) < 0.1(f_0)$</td><td>1.58051 >= 1.58</td><td>NO</td></tr><tr><td colspan="2">Overall criteria fulfillment</td><td>NO</td></tr></table>						HVSR curve reliability criteria			$f_0 > 10 / L_w$	150 valid windows (length > 1.62 s) out of 150	OK	$n_v(f_0) > 200$	18492.7 > 200	OK	$\sigma_n(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 29	OK	HVSR peak clarity criteria			$\exists f' \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	1.7556 Hz	OK	$\exists f' \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	9.8152 Hz	OK	$A_0 > 2$	3.96 > 2	OK	$f_{max}\{A_{H/V}(f) \pm \sigma_n(f)\} = f_0 \pm 5\%$	26.19% > 5%	NO	$\sigma_n < 0.1(f_0)$	1.27508 >= 0.30821	NO	$\sigma_n(f_0) < 0.1(f_0)$	1.58051 >= 1.58	NO	Overall criteria fulfillment		NO
HVSR curve reliability criteria																																									
$f_0 > 10 / L_w$	150 valid windows (length > 1.62 s) out of 150	OK																																							
$n_v(f_0) > 200$	18492.7 > 200	OK																																							
$\sigma_n(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 29	OK																																							
HVSR peak clarity criteria																																									
$\exists f' \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	1.7556 Hz	OK																																							
$\exists f' \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	9.8152 Hz	OK																																							
$A_0 > 2$	3.96 > 2	OK																																							
$f_{max}\{A_{H/V}(f) \pm \sigma_n(f)\} = f_0 \pm 5\%$	26.19% > 5%	NO																																							
$\sigma_n < 0.1(f_0)$	1.27508 >= 0.30821	NO																																							
$\sigma_n(f_0) < 0.1(f_0)$	1.58051 >= 1.58	NO																																							
Overall criteria fulfillment		NO																																							
Stazionarietà nel tempo																																									
FIG 01																																									
Isotropia																																									
FIG 02																																									
Rumore																																									
FIG 03																																									

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio				
CHECK				
1	Durata: la misura deve essere almeno di 20 minuti.	OK		
2	Isotropia: le variazioni azimutali d'ampiezza non superano il 30% del massimo (FIG 02)	NO		
3	Robustezza statistica: sono soddisfatti i primi 3 criteri di SESAME	OK		
4	Stazionarietà nel tempo (FIG 01)	OK		
5	Rumore elettromagnetico all'interno dell'intervallo di interesse (FIG 03)	SI		
6	Rumore elettromagnetico all'esterno dell'intervallo di interesse (FIG 03)	NO		
7	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale (<i>plausibilità fisica</i>)	SI		
8	Criteri Sesame	ok	TIPO 1 se almeno 5 su 6 OK	
			TIPO 2 se meno di 5 su 6 OK	
Per ulteriori informazioni : Microzonazione Sismica e Programma VEL				
CATEGORIA	B (Poco Affidabile)		TIPO	TIPO 02
NOTE	Picchi superficiali e direzionali e anomalo comportamento componente verticale			
PICCHI (Hz)	6,16			3,96
Rapporto Spettrale H/V		Spettri delle singole componenti		
<p>Signal spectra average</p> 				



MASW C (Sito C)

Nel Sito C che si trova presso località Omomorto sono state effettuate una Masw e un Hvsr.
L'analisi M.A.S.W. viene condotta in due fasi principali:



PRIMA FASE

La prima fase avviene in campagna con l'acquisizione multicanale dei segnali sismici, mediante il sismografo DoReMi a 24 canali della SARA electronic instruments s.r.l..

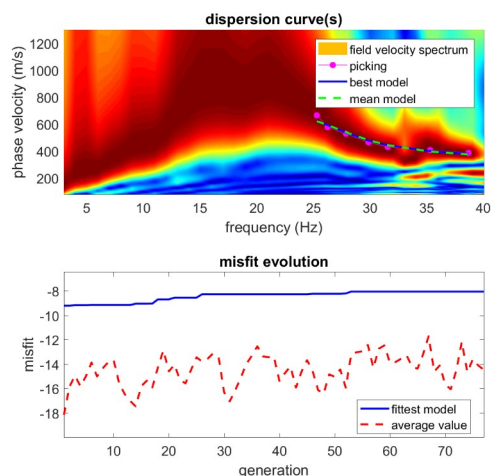
L'acquisizione viene effettuata mediante 24 geofoni verticali da 4,5 Hz distanziati di 2 m per una lunghezza totale dello stendimento di 46 metri. Le energizzazioni, eseguite mediante una mazza, vengono effettuate con offset (dal primo geofono) di -2 -4 -8 m e +2 +4 +8.



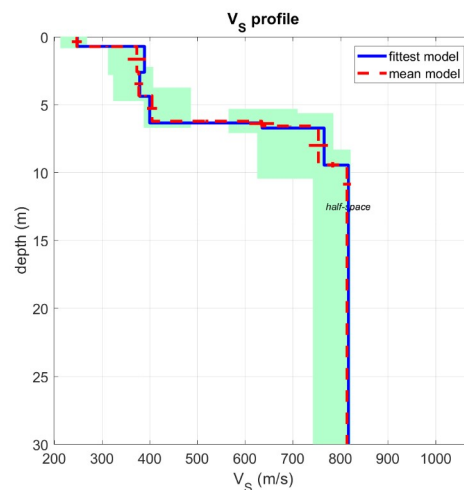
Illustrazione 8: Stendimento

SECONDA FASE

La seconda fase, che consiste nell'elaborazione dei dati acquisiti in campagna, è stata eseguita mediante il software WinMASW 5,0 ACADEMY della EliaSoft. Il programma, dopo il calcolo dello spettro di velocità, richiede il picking della curva di dispersione che poi mediante inversioni e modellizzazioni permetterà la ricostruzione del profilo delle velocità delle onde s nel terreno. Tutte queste fasi devono essere seguite accuratamente dall'operatore mediante la verifica, attraverso l'utilizzo di modelli, della qualità dei dati, ma soprattutto della loro possibile congruità con i dati geologici del sito. Qui di seguito vengono riportati i più importanti passaggi dell'elaborazione (Illustrazione 6 e Illustrazione 9):



www.winmasw.com



dataset: 2021-02-15_12-52-55_01000_00100_024_Acquis_0102_SEG2.dat
dispersion curve: 01.cdp
Vs30 & VsE (best model): 643 440 m/s
Vs30 & VsE (mean model): 641 438 m/s

Illustrazione 9: Inversione della curva di dispersione

HVSR C

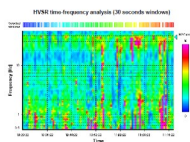
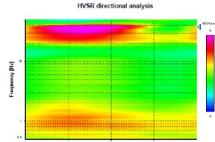
L'analisi HVSR viene condotta in due fasi principali:

1. La prima fase è avvenuta in campagna con l'acquisizione dei segnali sismici, mediante le misure del microtremore ambientale della durata variabile ma mai minore ai 2700 secondi con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento, il tromografo digitale GeoBox 24 bit della SARA electronic instruments s.r.l., è dotato di una terna di sensori ortogonali da 2 Hz orientati N-S , E O e verticale. Il segnale viene campionato a 300 Hz per evitare eventuale aliasing. Tutte le analisi sono state disposte in direzione NS magnetico mediante bussola Brunton
2. La seconda fase, che consiste nell'elaborazione dei dati acquisiti in campagna, è stata eseguita mediante il software winMASW5,0 ACADEMY della EliaSoft e Geopsy. Il programma, basato sulle linee guida del progetto europeo SESAME, divide l'elaborazione nei seguenti passaggi:
 1. Ricampionamento a 128 Hz del segnale
 2. Rimozione manuale di eventuali transienti
 3. Larghezza delle finestre d'analisi 40 s e liscio con ampiezza pari al 10%
 4. Calcolo dello spettro mediante metodo di Nakamura
 5. Controllo della persistenza del segnale cioè della continuità nella registrazione e quindi coerenza
 6. Analisi della direttività del segnale (in caso di sorgente di rumore con direzione predominante questa viene eliminata nella fase 2)

Tutte queste fasi devono essere seguite accuratamente dall'operatore mediante la verifica, attraverso l'utilizzo di modelli, della qualità dei dati ma soprattutto della loro possibile congruità con i dati geologici del sito .



Un ulteriore controllo della qualità dell'acquisizione HVSR viene basato sulla classificazione proposta nelle attività di MS dell'Abruzzo (*Albarelli-Mucciarelli, 2010*):

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio					4,1
PICCO (Hz)	35.593 ± 3.408	AMPIEZZA	4,59	Selected f0 frequency	37.823 Hz
DATI ELABORATI					
Date	24/02/21				
Time	2021				
Dataset	223131				
Sampling frequency (Hz)	300				
Window length (sec)	20				
Length temporal sequence (min)	45				
Length of analysed temporal sequence (min)	37				
Tapering (%)	15				
CONTROLLI					
Criteria for a reliable H/V curve					
HVSr curve reliability criteria					
f0 > 10 / Lw		10 valid windows (length > 0.26 s) out of 110		OK	
nu(f0) > 200		83210.97 > 200		OK	
σA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0		Exceeded 0 times in 21		OK	
HVSr peak clarity criteria					
∃ f' in [f0/4, f0] AH/V(f') < A0/2		17.15235 Hz		OK	
∃ f' in [f0, 4f0] AH/V(f') < A0/2		45.55814 Hz		OK	
A0 > 2		4.59 > 2		OK	
fpeak[AH/V(f) ± σA(f)] = f0 ± 5%		0% <= 5%		OK	
σH < σ(f0)		3.40843 >= 1.89116		NO	
σA(f0) < θ(f0)		1.39244 < 1.58		OK	
Overall criteria fulfillment				OK	
Stazionarietà nel tempo					
FIG 01					
					
Isotropia					
FIG 02					
					
Rumore					
FIG 03					

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

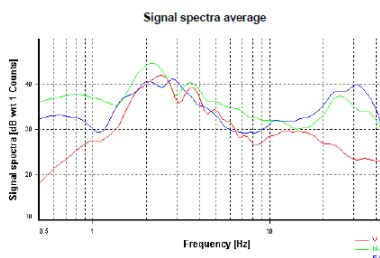
CHECK

1	Durata: la misura deve essere almeno di 20 minuti.		OK
2	Isotropia: le variazioni azimutali d'ampiezza non superano il 30% del massimo (FIG 02)		NO
3	Robustezza statistica: sono soddisfatti i primi 3 criteri di SESAME		OK
4	Stazionarietà nel tempo (FIG 01)		OK
5	Rumore elettromagnetico all'interno dell'intervallo di interesse (FIG 03)		SI
6	Rumore elettromagnetico all'esterno dell'intervallo di interesse (FIG 03)		NO
7	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale (<i>plausibilità fisica</i>)		SI
8	Criteri Sesame	ok	TIPO 1 se almeno 5 su 6 OK
			TIPO 2 se meno di 5 su 6 OK

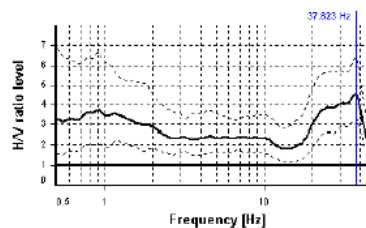
Per ulteriori informazioni : Microzonazione Sismica e Programma VEL

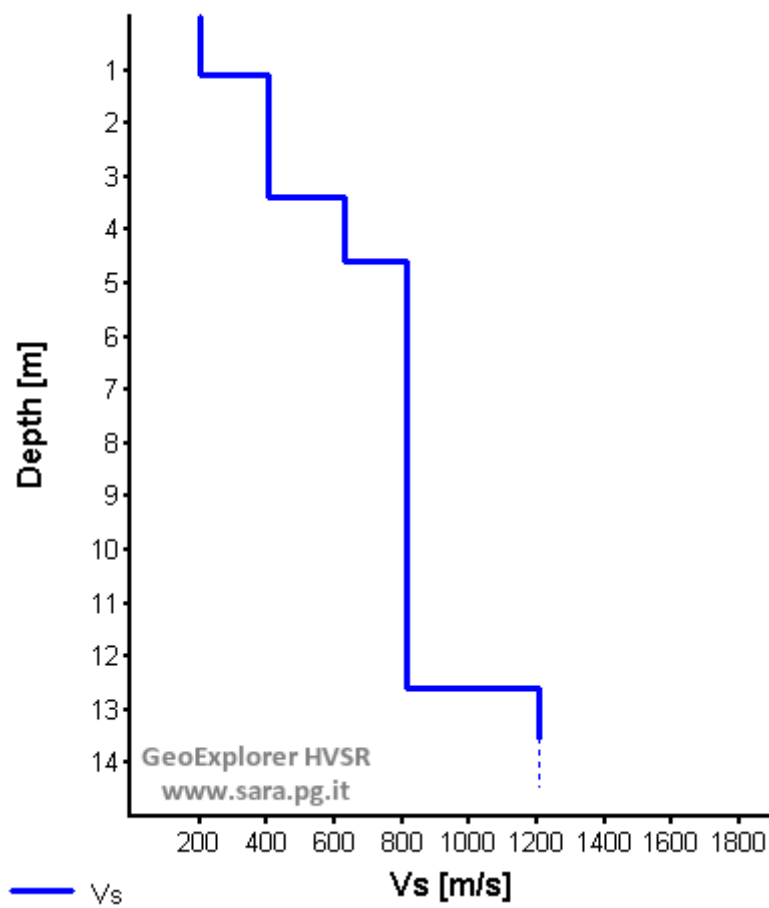
CATEGORIA	B (Poco Affidabile)	TIPO	TIPO 01
NOTE	Picchi superficiali e direzionali		
PICCHI (Hz)	37.823 Hz		4,59

Rapporto Spettrale H/V



Spettri delle singole componenti





CONCLUSIONI

Qui di seguito si riportano le tavole tomografiche, che potranno essere utilizzate per l'interpretativo:

- Masw A Sito A
- Sismica SR 01 e Sr 02 Sito B
- Masw B Sito C

MASW A

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire dai dati di sismica attiva (M.A.S.W.) ha consentito di determinare il profilo sismico verticale.

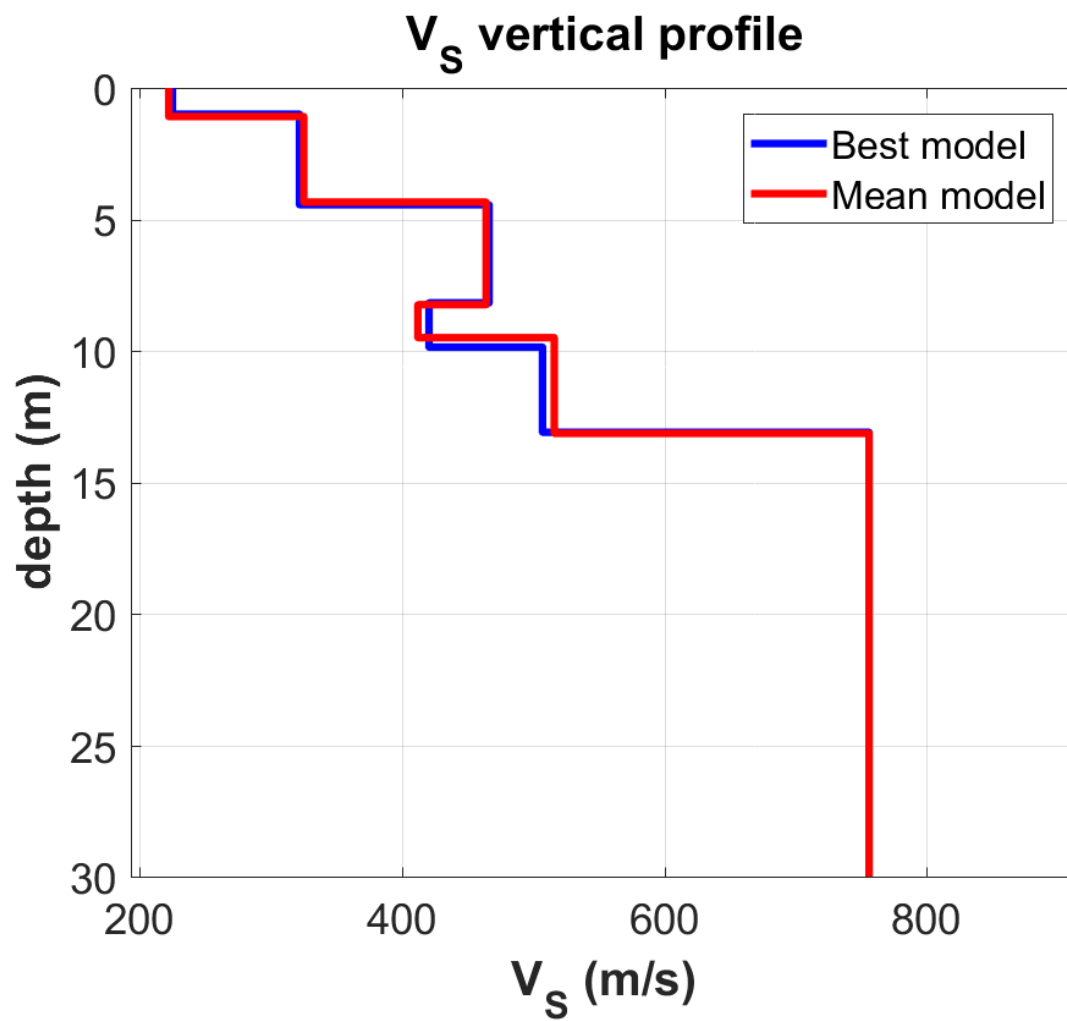
- Un primo sismo strato con velocità 222 m/s e spessore di 1,1 m.
- Un secondo sismo strato con velocità 325 m/s e spessore di 3,3 m.
- Un terzo sismo strato con velocità 464 m/s e spessore di 3,9 m.
- Un terzo sismo strato con velocità 412 m/s e spessore di 1,3 m.
- Un terzo sismo strato con velocità 516 m/s e spessore di 3,6 m.
- La sezione sismo-stratigrafica evidenzia al di sotto dei 13,2 m una velocità delle onde di taglio (Vs) di 756 m/s fino alla profondità di 30 m.

Qui di seguito vengono riportati in tabella i risultati ottenuti e sismo-stratigrammi.

Tabella 1: PROFILO SISMICO E DATI

VS e PARAMETRI ELASTICI						
Strato	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Rapporto (Vp/Vs)	Spessore (m)	Profondità (m)	
1	222	384	1,73	1,1	0	-1,1
2	325	781	2,40	3,3	-1,1	-4,4
3	464	1026	2,21	3,9	-4,4	-8,3
4	412	1415	3,43	1,3	-8,3	-9,6
5	516	1269	2,46	3,6	-9,6	-13,2
6	756	1992	2,63	16,8	-13,2	-30

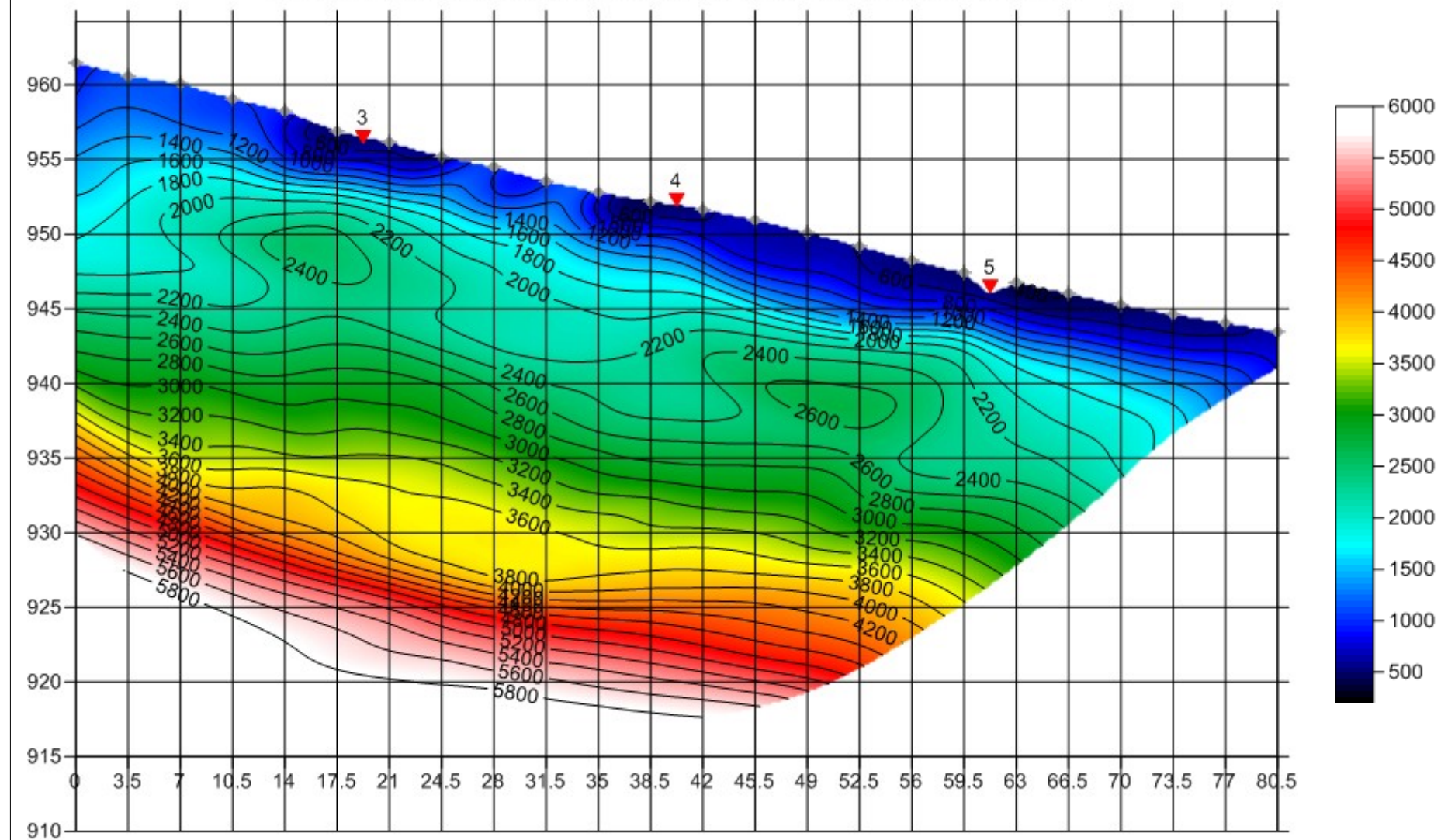
Strato	Poisson v	Densità (g/cm³)	Shear G (kPa)	Bulk Ev (kPa)	Young E (kPa)
1	0,25	1,87	92161,08	152861,28	230216,82
2	0,40	1,97	208081,25	924181,50	580664,51
3	0,37	2,07	445662,72	1584822,36	1222405,29
4	0,45	2,03	344580,32	3605076,32	1001822,24
5	0,40	2,1	559137,60	2636241,30	1566652,30
6	0,42	2,2	1257379,20	7053235,20	3560557,58



SISMICA SR01

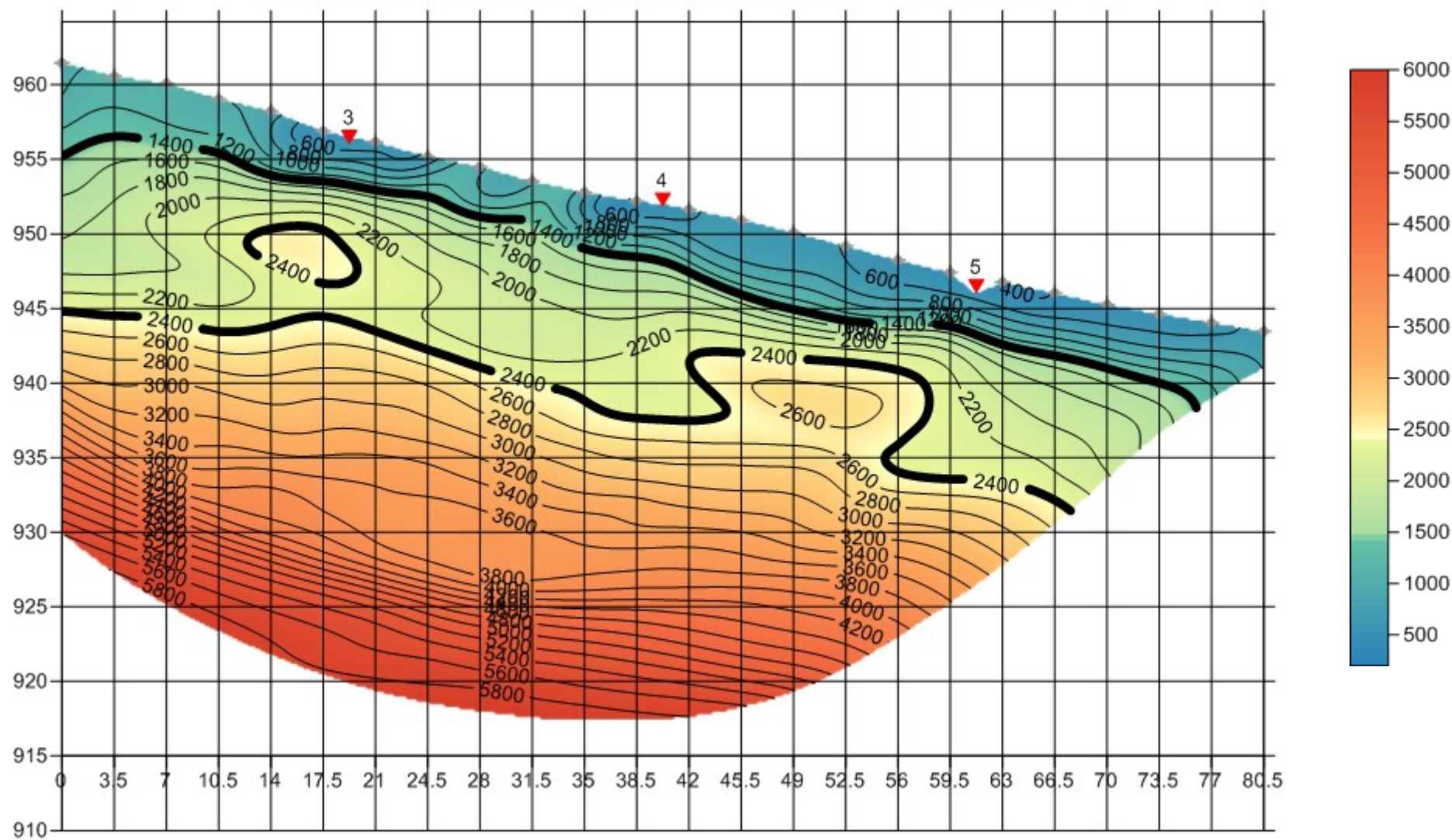
TOMOGRAFIA (Onde P)

3 RMS error 6.8%=1.86ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.5% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



STATIGRAFIA (Onde P)

3 RMS error 6.8%=1.86ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.5% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



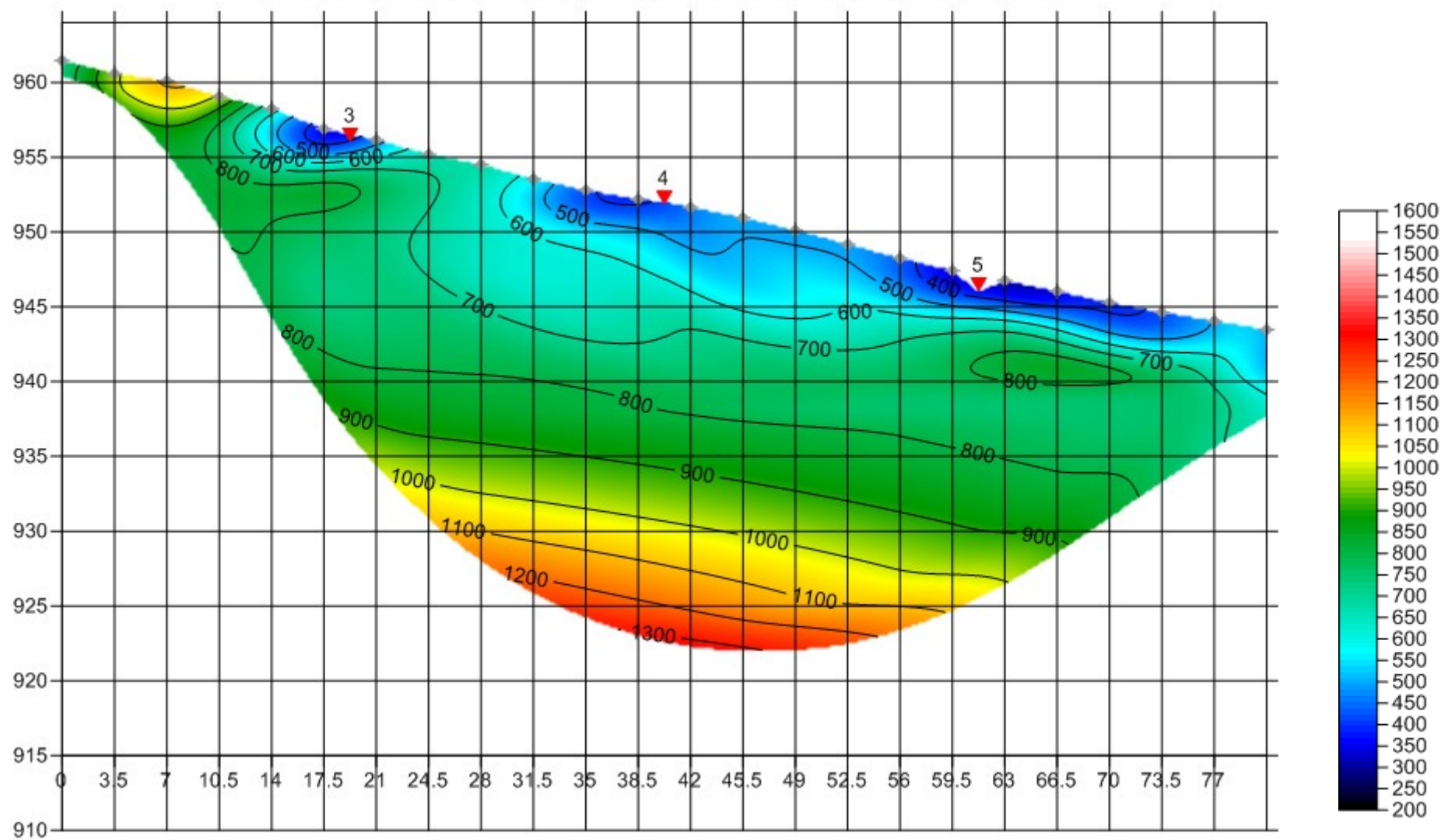
DATI e PROFONDITA'

I risultati ottenuti dalla sezione eseguita con onde compressionali indicano la presenza di due superfici rifrangenti. La prima si localizza a una profondità tra 4 m e 6 m (Tomografia onde P) mentre la seconda a circa 10-15 m.

Quota	Offset	1400 m/s		2400 m/s	
		Quota	Spessore	Quota	Spessore
961,46	0,00	955,24	6,22	944,85	10,40
960,58	3,50	956,45	4,13	944,57	11,88
960,09	7,00	955,89	4,20	944,11	11,79
959,05	10,50	955,34	3,71	943,36	11,97
958,24	14,00	953,85	4,38	943,83	10,02
956,89	17,50	953,39	3,50	944,48	8,91
956,16	21,00	952,92	3,23	943,36	9,56
955,19	24,50	952,27	2,91	942,25	10,02
954,51	28,00	950,97	3,54	941,04	9,93
953,54	31,50	950,60	2,93	939,93	10,67
952,79	35,00	949,21	3,58	938,72	10,49
952,19	38,50	948,47	3,72	937,61	10,86
951,65	42,00	947,26	4,38	937,70	9,56
950,95	45,50	946,15	4,80	941,69	4,46
950,10	49,00	944,85	5,25	941,51	3,34
949,19	52,50	943,92	5,27	941,14	2,78
948,25	56,00	943,92	4,32	940,58	3,34
947,42	59,50	943,55	3,87	933,52	10,02
946,76	63,00	942,90	3,86	933,06	9,84
946,04	66,50	941,88	4,16	931,76	10,12
945,27	70,00	941,14	4,13	929,63	11,51
944,63	73,50	940,02	4,61		
944,05	77,00				
943,47	80,50				

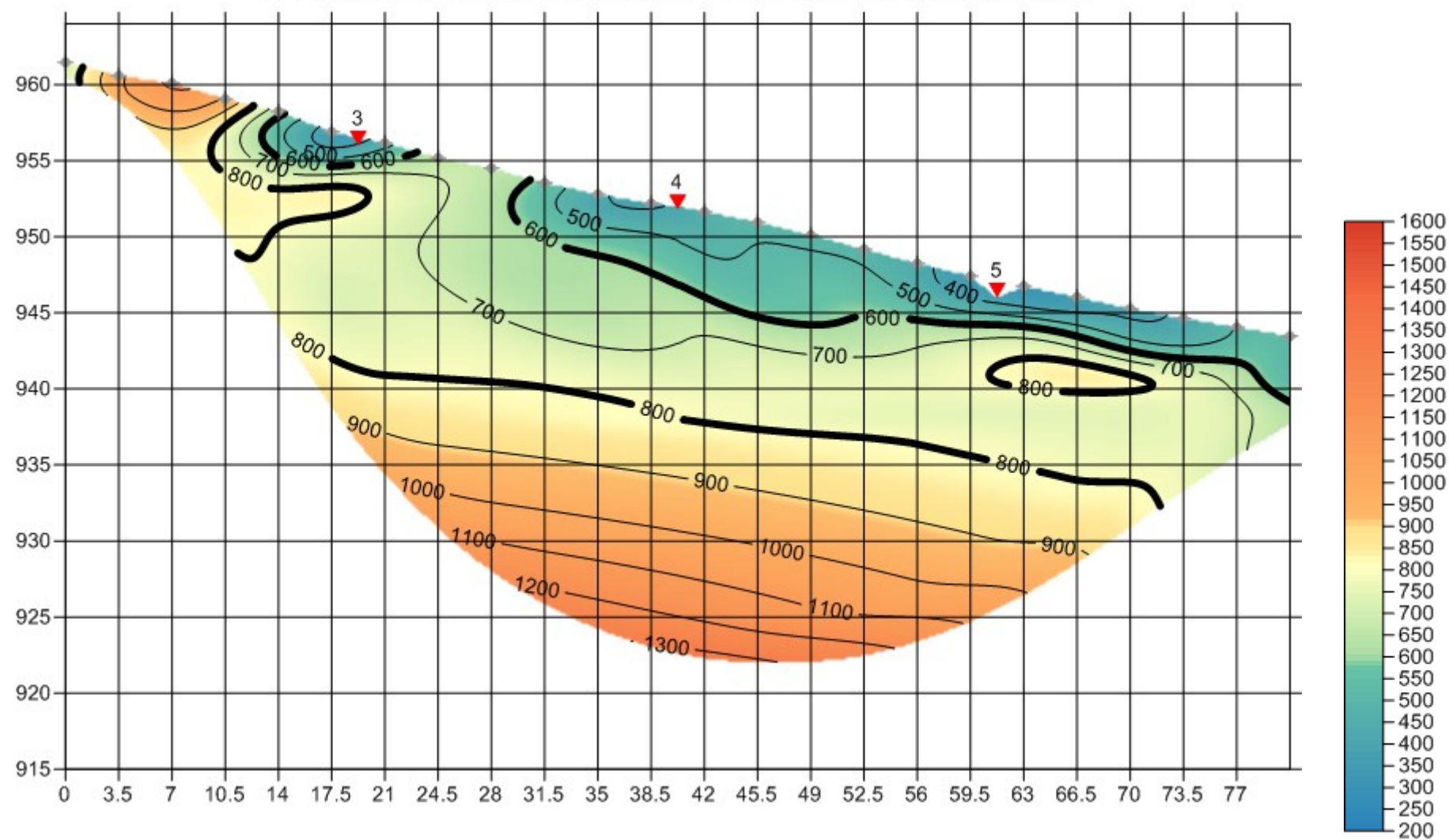
TOMOGRAFIA (Onde SH)

3 RMS error 6.7%=3.95ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.0% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



STATIGRAFIA (Onde SH)

3 RMS error 6.7%=3.95ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.0% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



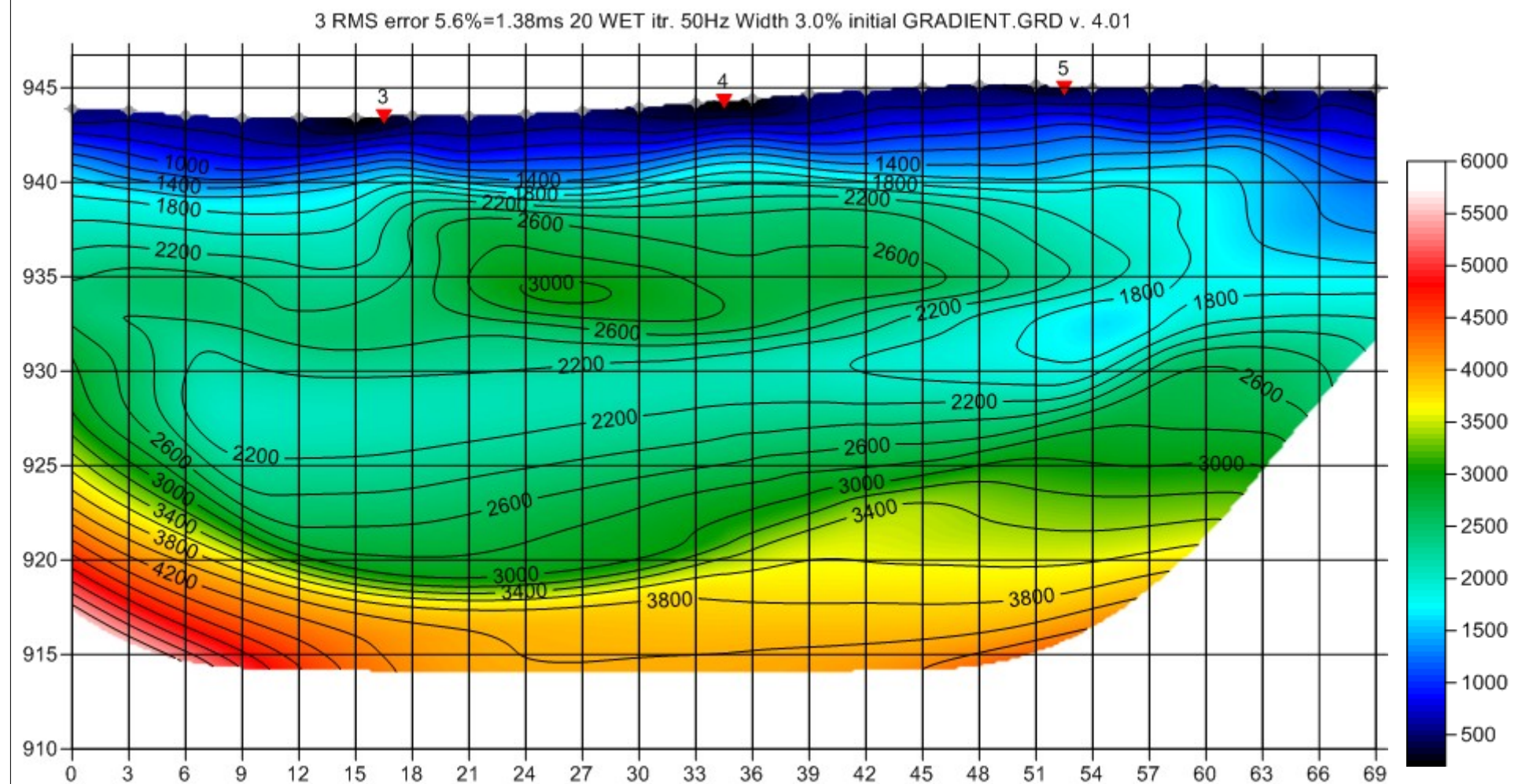
DATI e PROFONDITA'

I risultati ottenuti dalla sezione eseguita con onde di taglio indicano la presenza di due superfici rifrangenti. La prima si localizza a una profondità tra 4 m e 6 m (Tomografia onde sh) mentre la seconda a circa 10-15 m.

Quota	Offset	600 m/s		800 m/s	
		Quota	Spessore	Quota	Spessore
961,46	0,00	959,85	1,62		
960,58	3,50	958,93	1,65		
960,09	7,00	958,20	1,90		
959,05	10,50	957,83	1,22		
958,24	14,00	957,56	0,68	943,84	13,72
956,89	17,50	954,53	2,36	942,14	12,39
956,16	21,00	954,90	1,26	941,01	13,89
955,19	24,50	954,53	0,65	940,56	13,98
954,51	28,00	953,52	0,99	940,44	13,08
953,54	31,50	949,86	3,68	939,76	10,09
952,79	35,00	948,67	4,12	939,54	9,13
952,19	38,50	947,57	4,62	938,41	9,16
951,65	42,00	945,73	5,91	937,73	8,01
950,95	45,50	944,54	6,40	937,39	7,16
950,10	49,00	944,45	5,65	937,05	7,40
949,19	52,50	944,82	4,37	936,82	8,00
948,25	56,00	944,63	3,61	936,48	8,15
947,42	59,50	944,08	3,33	935,46	8,62
946,76	63,00	943,90	2,86	934,56	9,34
946,04	66,50	943,26	2,78	933,99	9,27
945,27	70,00	942,43	2,83	933,43	9,01
944,63	73,50	942,07	2,56	932,07	10,00
944,05	77,00	941,61			
943,47	80,50	939,04			

SISMICA SR 02

TOMOGRAFIA (Onde P)

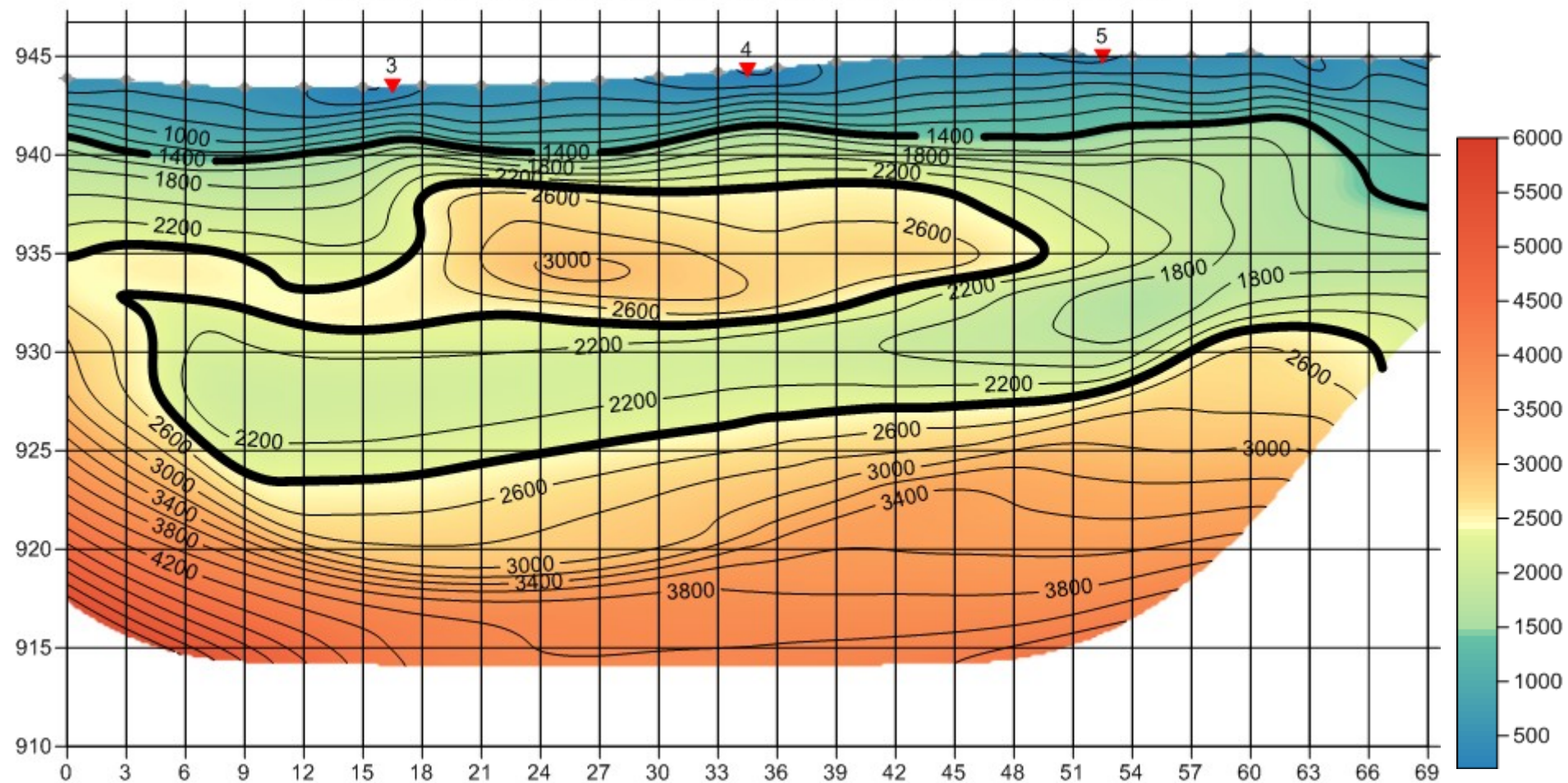


STATIGRAFIA (Onde P)

3 RMS error 5.6%=1.38ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.0% initial GRADIENT.GRD v. 4.01

This geological cross-section plot displays P-wave velocity contours and a color-coded velocity scale. The vertical axis represents depth in meters, ranging from 910 to 945. The horizontal axis represents distance in meters, ranging from 0 to 69. The plot shows several distinct geological layers. The top layer is blue, representing low velocity (500-1000 m/s). Below this is a green layer (1000-2000 m/s), followed by a yellow layer (2000-3000 m/s), and finally an orange/red layer (3000-6000 m/s) at the bottom. Contour lines are labeled with values such as 1000, 1400, 1800, 2200, 2600, 3000, 3400, 3800, and 4200. Three red arrows labeled 3, 4, and 5 point to specific locations on the surface. A color bar on the right side of the plot indicates the velocity scale from 500 to 6000 m/s.

3 RMS error 5.6%=1.38ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.0% initial GRADIENT.GRD v. 4.01

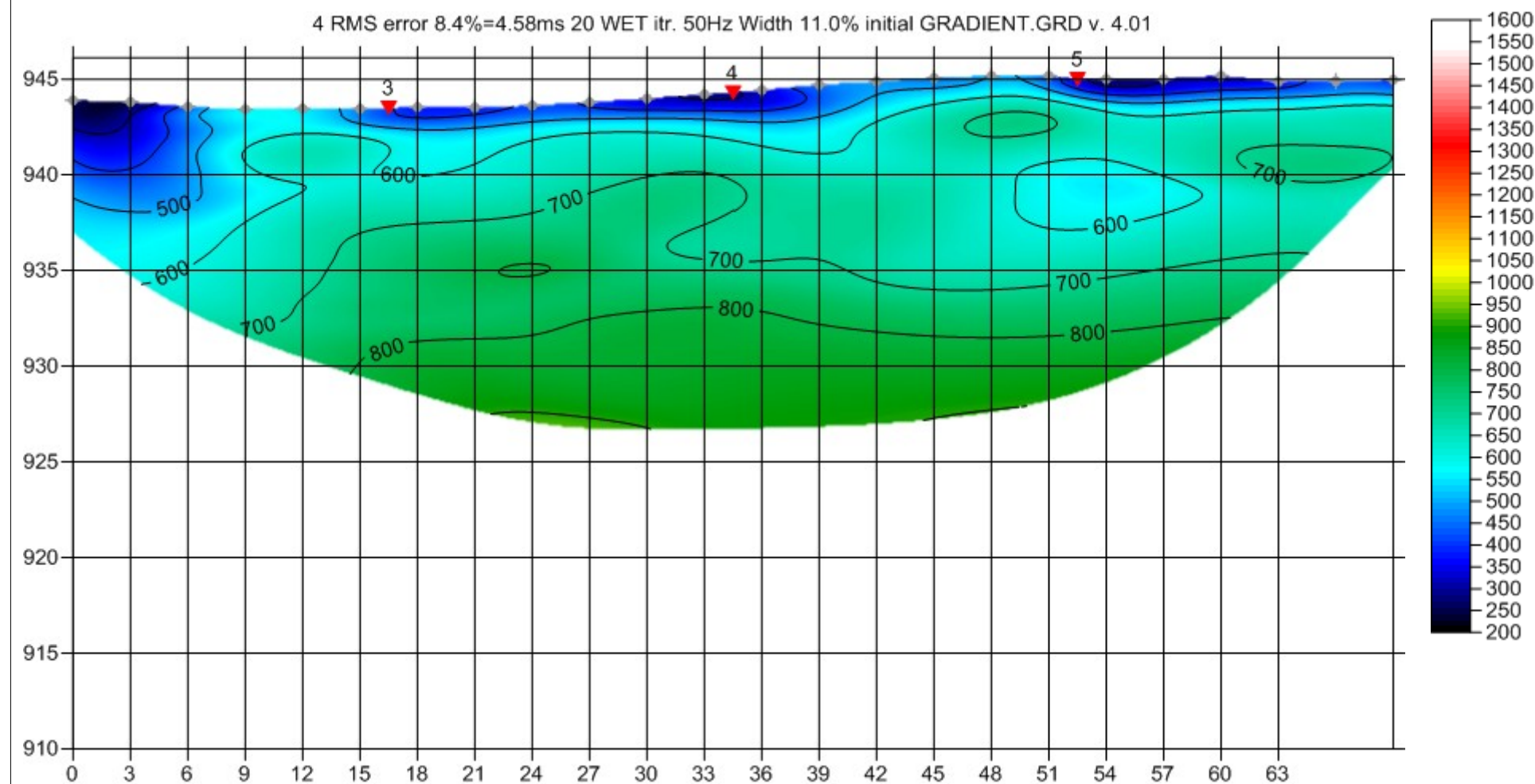


DATI e PROFONDITA'

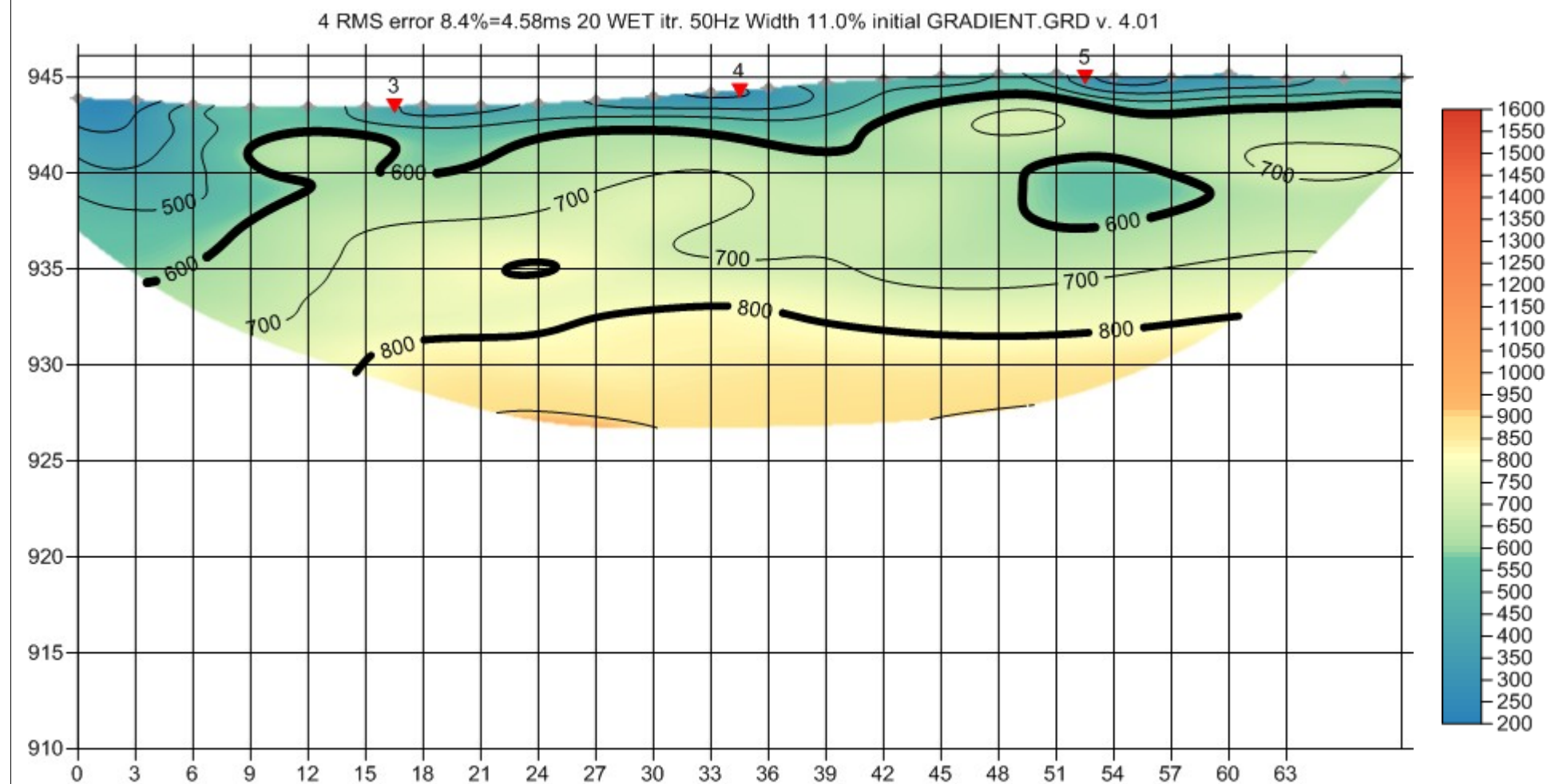
I risultati ottenuti dalla sezione eseguita con onde compressionali indicano la presenza di due superfici rifrangenti. La prima si localizza a una profondità tra 4 m e 5 m (Tomografia onde P) mentre la seconda a circa 18-22 m.

Quota	Offset	1400 m/s		2400 m/s	
		Quota	Spessore	Quota	Spessore
943,894	0	940,74	3,15	934,67	6,07
943,812	3	940,17	3,64	932,54	7,63
943,559	6	939,76	3,80	926,06	13,70
943,421	9	939,68	3,75	924,50	15,17
943,459	12	940,09	3,37	923,68	16,40
943,455	15	940,58	2,88	923,60	16,98
943,538	18	940,74	2,80	923,93	16,81
943,525	21	940,25	3,28	924,17	16,07
943,625	24	940,00	3,62	924,75	15,25
943,789	27	939,92	3,87	925,32	14,60
943,99	30	940,58	3,41	926,06	14,52
944,207	33	940,82	3,38	926,14	14,68
944,433	36	941,32	3,12	926,47	14,84
944,717	39	940,91	3,81	926,72	14,19
944,88	42	940,91	3,97	927,21	13,70
945,061	45	940,82	4,24	927,46	13,37
945,17	48	940,99	4,18	927,46	13,53
945,178	51	941,07	4,11	927,54	13,53
945,012	54	941,64	3,37	928,52	13,12
945,006	57	941,56	3,44	930,08	11,48
945,178	60	941,56	3,62	930,90	10,66
944,868	63	941,40	3,47	931,15	10,25
944,895	66	938,77	6,12	930,33	8,45
944,967	69	937,54	7,42	929,67	7,87

TOMOGRAFIA (Onde SH)



STATIGRAFIA (Onde SH)



DATI e PROFONDITA'

I risultati ottenuti dalla sezione eseguita con onde di taglio indicano la presenza di due superfici rifrangenti. La prima si localizza a una profondità tra 4 m e 5 m (Tomografia onde SH) mentre la seconda a circa 18-22 m.

Quota	Offset	600 m/s		800 m/s	
		Quota	Spessore	Quota	Spessore
943,894	0				
943,812	3	934,93	8,89		
943,559	6	934,85	8,71		
943,421	9	937,42	6,00		
943,459	12	939,35	4,11		
943,455	15	940,15	3,30	930,02	10,13
943,538	18	939,83	3,71	931,23	8,61
943,525	21	940,72	2,81	931,47	9,25
943,625	24	941,84	1,78	931,63	10,21
943,789	27	942,08	1,70	932,67	9,41
943,99	30	942,25	1,74	932,75	9,49
944,207	33	942,00	2,20	933,24	8,77
944,433	36	941,60	2,83	932,75	8,85
944,717	39	941,36	3,36	932,03	9,33
944,88	42	942,65	2,23	931,63	11,02
945,061	45	943,69	1,37	931,47	12,22
945,17	48	943,93	1,24	931,55	12,39
945,178	51	944,01	1,16	931,63	12,39
945,012	54	943,21	1,80	931,71	11,50
945,006	57	943,21	1,80	932,19	11,02
945,178	60	943,21	1,97	932,35	10,86
944,868	63	943,61	1,26		
944,895	66	943,61	1,28		
944,967	69	943,53	1,43		

MASW C

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire dai dati di sismica attiva (M.A.S.W.) ha consentito di determinare il profilo sismico verticale.

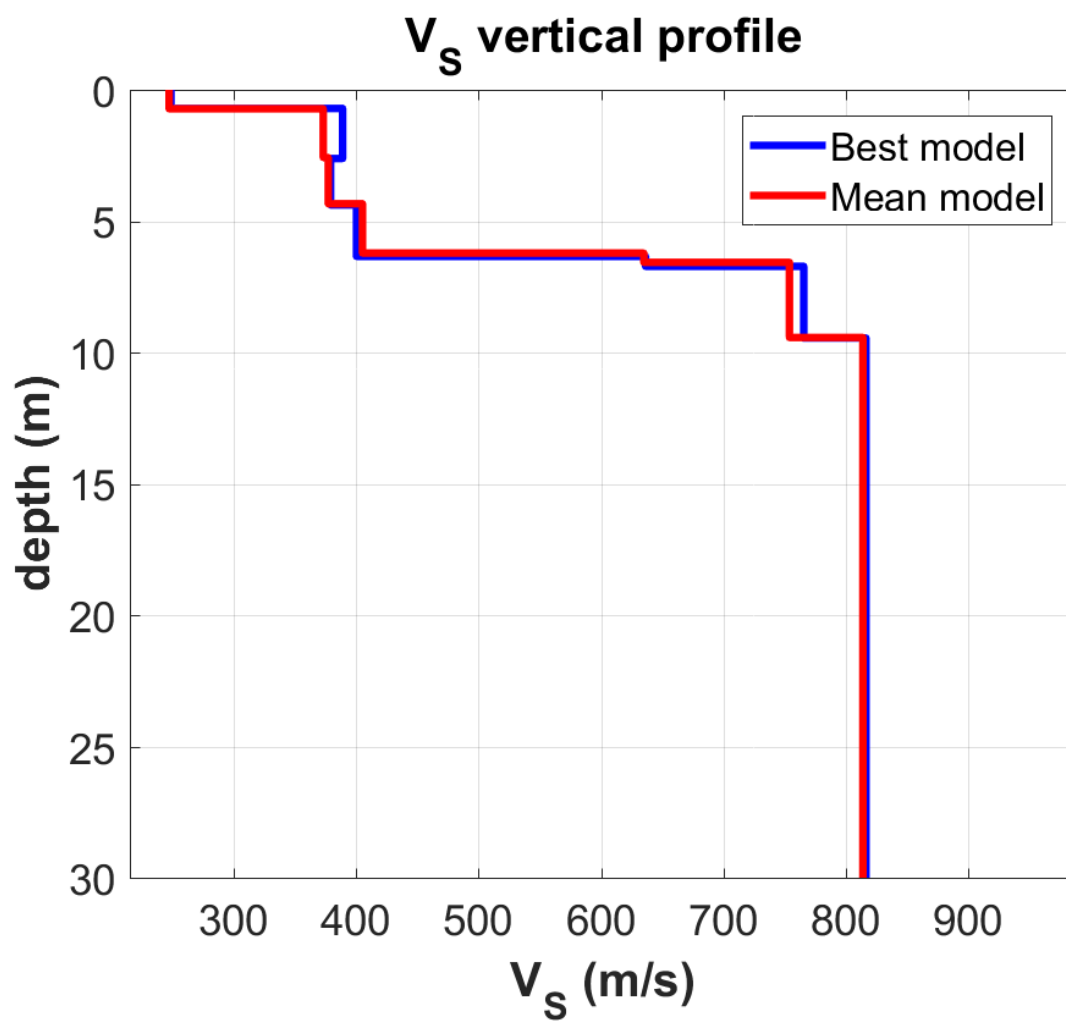
- Un primo sismo strato con velocità 247 m/s e spessore di 0,7 m.
- Un secondo sismo strato con velocità 373 m/s e spessore di 1,9 m.
- Un terzo sismo strato con velocità 377 m/s e spessore di 1,8 m.
- Un quarto sismo strato con velocità 405 m/s e spessore di 1,9 m.,
- Un quinto sismo strato con velocità 635 m/s e spessore di 0,4 m.
- Un sesto sismo strato con velocità 754 m/s e spessore di 2,9 m.
- La sezione sismo-stratigrafica evidenzia al di sotto dei 20,4 m una velocità delle onde di taglio (V_s) di 814 m/s fino alla profondità di 30 m.

Qui di seguito vengono riportati in tabella i risultati ottenuti e sismo-stratigrammi.

Tabella 2: PROFILO SISMICO E DATI

VS e PARAMETRI ELASTICI						
Strato	V_s (m/s)	V_p (m/s)	Rapporto (V_p/V_s)	Spessore (m)	Profondità (m)	
					da	a
1	247	458	1,9	0,7	0	-0,7
2	373	1264	3,4	1,9	-0,7	-2,6
3	377	1636	4,3	1,8	-2,6	-4,4
4	405	1995	4,9	1,9	-4,4	-6,3
5	635	1263	2,0	0,4	-6,3	-6,7
6	754	1629	2,2	2,9	-6,7	-9,6
7	814	1804	2,2	20,4	-9,6	-30

Strato	Poisson ν	Densità (g/cm^3)	Shear G (kPa)	Bulk E_v (kPa)	Young E (kPa)
1	0,29	1,90	115917,10	243995,47	300210,13
2	0,45	2,01	279649,29	2838503,24	812272,83
3	0,47	2,01	285679,29	4998851,24	841016,78
4	0,48	2,03	332970,75	7635489,75	984600,00
5	0,33	2,15	866933,75	2273701,68	2307524,58
6	0,36	2,20	1250735,20	4170363,27	3411188,65
7	0,37	2,22	1470963,12	5263519,36	4036839,22



24/02/21	Dott Marco Marzupini
	Id:9917001522021M