

Aregu Wind srl

Parco Eolico Aregu sito nei Comuni di Giave, Cossoine e Cheremule (SS)

Relazione tecnica sulle indagini geofisiche

Dicembre 2022



**REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**



Comune di Cheremule



Comune di Cossoine



Comune di Giave

Committente:

Aregu Wind srl

Aregu Wind srl
Via Sardegna, 40
00187 Roma
P.IVA/C.F. 16181141009

Titolo del Progetto:

**Parco Eolico Aregu sito nei Comuni di Giave, Cossoine e
Cheremule (SS)**

Documento:

Relazione tecnica sulle indagini geofisiche

N° Documento:

IT-VesAre-CLP-CIV-TR-24

Progettista:

GEOSERVICE S.r.l.
Dott. Geol. Andrea Carcangiu

Rev	Data Revisione	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
0	02/12/2022	Prima emissione			

COMUNI DI GIAVE-COSSOINE-CHEREMULE

PROVINCIA SASSARI (SS)

RELAZIONE TECNICA SULLE
INDAGINI GEOFISICHE
(M.A.S.W - Sismica a Rifrazione - Tomografia Elettrica)
Progetto di realizzazione Parco eolico Aregu

N° Tavola	Scala Disegno	Data	Data Aggiornamento	Redatto:
R1	varie	02/12/2022	--	A.Carcangiu D.Succu

Oggetto:	Scala Plottaggio	CTB
RELAZIONE TECNICA	1.1	--

Committente:
Aregu Wind Srl
Via Sardegna, 40 - 00187 Roma
P.I. 16181141009

Cantiere: Comuni di Giave-Cossoine-
Cheremule (SU)



GEOSERVICE

GEOSERVICE S.r.l.

Sede: Località Su Moriscau - 09028 Sestu (CA)
Sede legale: Via D. Cimarosa, 22 - 09050 Villa San Pietro (CA)
Capitale Sociale: € 20.000,00
Tel. 3474032606; Fax: 1782206528;
P.IVA/C.F.: 03008730925 - R.E.A.: 239536 di Cagliari
mail: info@geoservicesardegna.com;
PEC: geoservice.sas@pec.it
www.geoservicesardegna.com

Il Direttore Tecnico
Dott. Geol. Andrea Carcangiu

Collaboratore
Dott. Geol. Daniele Succu

Sommario

1	PREMESSA	2
2	PROGRAMMA DELLE INDAGINI SVOLTE.....	2
3	RILIEVO TOPOGRAFICO	3
4	INDAGINI SISMICHE: MASW	14
4.1	Tecnica e parametri utilizzati	14
4.2	Strumentazione utilizzata.....	15
4.3	Elaborazione dei dati.....	15
4.4	CATEGORIE DI SOTTOSUOLO - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018).....	17
4.5	VALORI DI VELOCITÀ DELLE ONDE P ED S PER I PRINCIPALI LITOTIPI.....	19
4.6	DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI DI DEFORMAZIONE E DI RESISTENZA AL TAGLIO DALLE INDAGINI SISMICHE	20
5	SISMICA A RIFRAZIONE.....	21
5.1	Strumentazione utilizzata.....	22
5.2	Elaborazione dei dati.....	22
5.3	Valutazione della escavabilità delle rocce.....	27
6	TOMOGRAFIA ELETTRICA	29
6.1	Metodologia impiegata, strumentazione e software.....	29
6.1.1	Tecnica e parametri utilizzati	29
6.1.2	Geometria delle acquisizioni	29
6.1.3	Strumentazione e attrezzatura utilizzata	30
6.1.4	Elaborazione dei dati e software.....	30
6.2	Valori di resistività di letteratura.....	31
6.3	RISULTATI INDAGINI DEL SITO SMT01.....	33
6.3.1	MASW M1 (SMT01).....	33
6.3.2	Rifrazione R1 e Tomografia elettrica T1	35
6.4	RISULTATI INDAGINI DEL SITO SMT02.....	37
6.4.1	MASW M2 (SMT02).....	37
6.4.2	Rifrazione R2 e Tomografia elettrica T2	39
6.5	RISULTATI INDAGINI DEL SITO SMT03.....	41
6.5.1	MASW M3 (SMT03).....	41
6.5.2	Rifrazione R3 e Tomografia elettrica T3	43
6.6	RISULTATI INDAGINI DEL SITO SMT04.....	45
6.6.1	MASW M4 (SMT04).....	45
6.6.2	Rifrazione R4 e Tomografia elettrica T4	47
6.7	RISULTATI INDAGINI DEL SITO SMT05.....	49
6.7.1	MASW M5 (SMT05).....	49
6.7.2	Rifrazione R5 e Tomografia elettrica T5	51
7	INDICAZIONI PER LA DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI GEOMECCANICI.....	53
8	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	54

1 PREMESSA

La presente relazione redatta su incarico della Aregu Wind Srl descrive le attività delle indagini geofisiche realizzate nell'ambito del progetto di realizzazione del Parco Eolico "Aregu" sito nei territori comunali di Giave, Cossoine, Cheremule in provincia di Sassari.

Le prospezioni geofisiche sono state realizzate impiegando la metodologia sismica e geoelettrica, seguono le specifiche e le caratteristiche delle metodologie impiegate:

1. L'indagine sismica con tecnica MASW (Multichannel Analysis of SurfaceWaves) è una tecnica di indagine non invasiva che, attraverso la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , è in grado di ricostruire una sismo-stratigrafia atta a permettere la definizione della categoria di suolo ai sensi del DM 17/01/2018.
2. L'indagine sismica a rifrazione con acquisizione ed elaborazione tomografica in onde longitudinali (P) permette di ricostruire l'andamento stratigrafico, nel senso di spessori elastomogenei, andando a stimare lo stato di addensamento e/o fratturazione del terreno investigato. È molto utile anche per classificare la cosiddetta "rippabilità" degli ammassi rocciosi e per ottenere per via indiretta una classificazione dell'ammasso roccioso.
3. La tomografia elettrica è una tecnica geofisica che restituisce, del sottosuolo investigato, l'immagine 2D della distribuzione della resistività elettrica. Trova le sue migliori applicazioni in situazioni complesse, dove può manifestare tutto il suo elevato potere risolutivo, sia laterale che verticale.

A supporto della progettazione geotecnica e strutturale, tramite le MASW sono stati determinati sulla base di correlazioni bibliografiche i parametri elastici dinamici derivati dalle indagini sismiche e il modulo statico di deformazione.

Come previsto dal Piano Indagini di progetto sono stati realizzati in totale n° 5 stendimenti di MASW, n°5 stendimenti di sismica a rifrazione in onde P e n° 5 stendimenti di tomografia elettrica.

Fanno parte integrante della presente relazione i seguenti allegati:

- Tavola 1. Planimetria generale ubicazione indagini – scala 1:25.000
- Tavole 2-3-4-5-6. Planimetria di dettaglio ubicazione indagini geofisiche – scala 1:1.000
- Allegato 1.MASW: Sismogramma acquisiti- spettri velocità di fase/frequenza - Curve di dispersione
- Allegato 2. Sismica a rifrazione: dromocrone osservate e calcolate e raggi sismici
- Allegato 3. Documentazione fotografica indagini geofisiche.

2 PROGRAMMA DELLE INDAGINI SVOLTE

Le prospezioni geofisiche sono state articolate secondo il seguente programma, realizzato in data 17, 21, 24 Novembre 2022:

1. Esecuzione di n°5 stendimenti di tomografia elettrica, sismica con tecnica MASW e rifrazione in onde P. Le basi sismiche MASW ricadono lungo il medesimo allineamento delle rifrazioni così come le tomografie elettriche che hanno il medesimo centro ma sono solo leggermente più lunghe (v. schema seguente).

2. Rilievo topografico tramite GPS differenziale STONEX S70G (geofoni, punti di shot, elettrodi /picchetti) e restituzione dei profili altimetrici da impiegare nelle sezioni di tomografia elettrica e sismica.
3. Elaborazione dei dati tramite analisi delle prospezioni acquisite in campagna, applicazione filtri, e restituzione grafica delle sezioni sismiche con l'impiego di software specialistici.

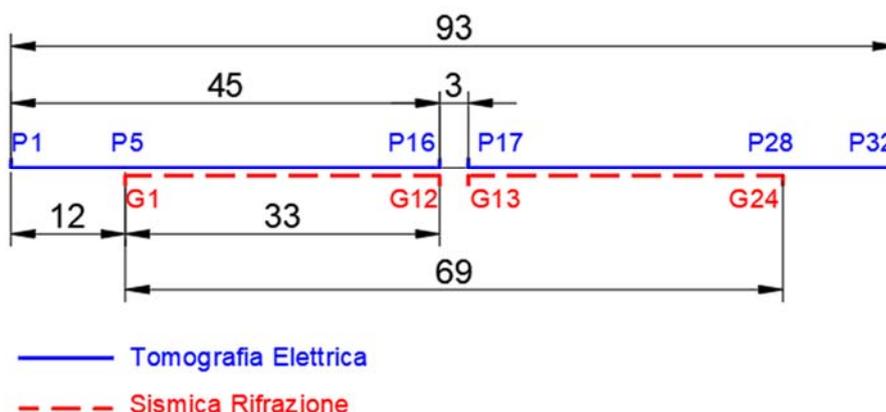
L'ubicazione generale è riportata nella **Tavola 1** mentre quella di dettaglio nelle **Tavole 2, 3, 4, 5 e 6**.

Nella seguente tabella si riporta il quadro riassuntivo delle indagini svolte, con le sigle identificative, la direzione di esecuzione (da geofono o elettrodo iniziale a quello finale) e la loro lunghezza complessiva.

Tabella 1. Quadro riassuntivo delle indagini svolte

Stendimento	Metodologie	Orientamento	Geofoni/ Picchetti	Interdistanza	Lunghezza(m)
R/M 1 (SMT01)	Rifrazione/Masw	NE-SW	24	3,0	69,0
R/M 2 (SMT02)	Rifrazione/Masw	N-S	24	2,5	57,5
R/M 3 (SMT03)	Rifrazione/Masw	E-W	24	3,0	69,0
R/M 4 (SMT04)	Rifrazione/Masw	SW-NE	24	3,0	69,0
R/M 5 (SMT05)	Rifrazione/Masw	S-N	24	3,0	69,0
T1 (SMT01)	Tomografia Elettrica	NE-SW	32	3,0	93,0
T2 (SMT02)	Tomografia Elettrica	NS	32	2,5	77,5
T3 (SMT03)	Tomografia Elettrica	E-W	32	3,0	93,0
T4 (SMT04)	Tomografia Elettrica	SW-NE	32	3,0	93,0
T5 (SMT05)	Tomografia Elettrica	S-N	32	3,0	93,0

Corrispondenza Tomografia Elettrica con Sismica a Rifrazione
Acquisizioni con interdistanza pari a 3 m



3 RILIEVO TOPOGRAFICO

Di seguito si riportano i dati del rilievo topografico in termini di coordinate Gauss Boaga e quote assolute in m s.l.m. e relative in m da p.c. eseguito tramite GPS differenziale Stonex S70G di ciascun geofono e shot/energizzazione degli stendimenti di sismica a rifrazione in onde P. Si precisa che i valori altimetrici dei seguenti profili, con l'aggiunta delle quote degli elettrodi iniziali e finali, sono stati utilizzati anche per l'elaborazione delle tomografie elettriche in quanto sono stati eseguiti lungo lo stesso profilo.

Legenda:

G1: Nome Geofono; S1: Nome Shot/energizzazione

Est/Nord: Longitudine e Latitudine, Coordinate Gauss Boaga

QA-QR: Quote altimetriche assolute (m.s.l.m) e relative in (m.p.c)

Tabella 2. Dati topografici sismica a rifrazione SMT01

Nome punto	Progressive (m)	Est (Longitudine)	Nord (Latitudine)	QA: Quota assoluta (m.s.l.m)	QR: Quota Relativa (m.p.c)
S1	-1,5	1473029,52	4481473,64	556,94	0,38
G1	0	1473030,70	4481474,54	557,13	0,57
G2	3	1473033,21	4481476,14	557,18	0,62
G3	6	1473035,70	4481477,82	557,32	0,76
S2	7,5	1473036,97	4481478,62	557,25	0,69
G4	9	1473038,23	4481479,43	557,26	0,69
G5	12	1473040,73	4481481,02	557,41	0,85
G6	15	1473043,22	4481482,68	557,66	1,09
S3	16,5	1473044,49	4481483,52	557,68	1,12
G7	18	1473045,77	4481484,29	557,72	1,15
G8	21	1473048,29	4481485,93	557,94	1,37
G9	24	1473050,78	4481487,59	558,14	1,57
S4	25,5	1473052,05	4481488,42	558,23	1,66
G10	27	1473053,33	4481489,17	558,34	1,78
G11	30	1473055,80	4481490,79	558,57	2,01
G12	33	1473058,31	4481492,40	558,86	2,29
S5	34,5	1473059,61	4481493,20	559,00	2,44
G13	36	1473060,86	4481493,97	559,14	2,58
G14	39	1473063,33	4481495,64	559,41	2,85
G15	42	1473065,78	4481497,25	559,72	3,16
S6	43,5	1473067,08	4481498,06	559,82	3,25
G16	45	1473068,31	4481498,82	560,01	3,45
G17	48	1473070,82	4481500,45	560,34	3,77
G18	51	1473073,41	4481501,99	560,63	4,07
S7	52,5	1473074,63	4481502,86	560,77	4,21
G19	54	1473075,91	4481503,62	560,98	4,42
G20	57	1473078,42	4481505,23	561,29	4,73
G21	60	1473080,93	4481506,85	561,61	5,04
S8	61,5	1473082,17	4481507,67	561,75	5,19
G22	63	1473083,44	4481508,45	561,94	5,38
G23	66	1473085,92	4481510,09	562,11	5,55
G24	69	1473088,43	4481511,69	562,32	5,75
S9	70,5	1473089,65	4481512,55	562,37	5,81

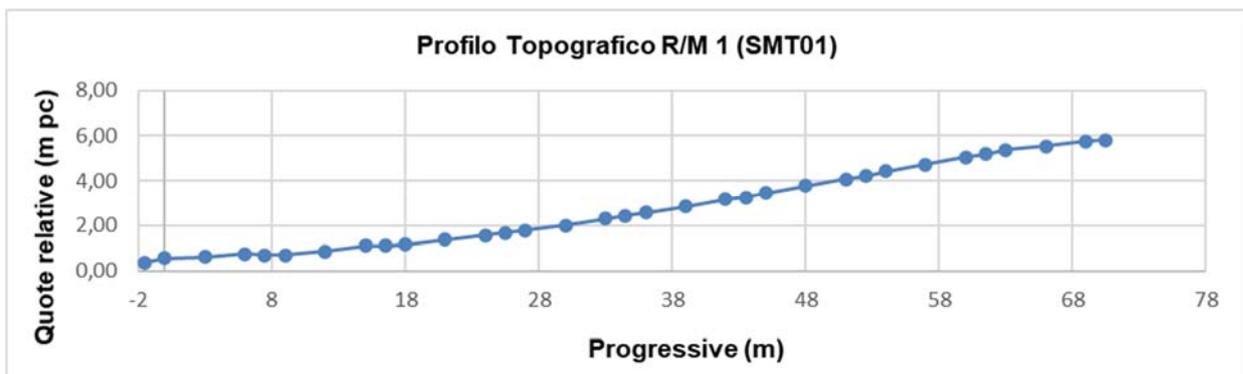
Profilo topografico R/M1

Tabella 3. Dati topografici tomografia elettrica SMT01

Nome punto	Progressive (m)	Est (Longitudine)	Nord (Latitudine)	Quota assoluta (m.s.l.m)	Quota Relativa (m.p.c)
SMT01-P1	0	1473020,69	4481467,87	556,56	0,00
SMT01-P2	3	1473023,16	4481469,57	556,68	0,12
SMT01-P3	6	1473025,71	4481471,22	556,78	0,22
SMT01-P4	9	1473028,20	4481472,85	556,94	0,38
SMT01-P5	12	1473030,70	4481474,54	557,13	0,57
SMT01-P6	15	1473033,21	4481476,14	557,18	0,62
SMT01-P7	18	1473035,70	4481477,82	557,32	0,76
SMT01-P8	21	1473038,23	4481479,43	557,26	0,69
SMT01-P9	24	1473040,73	4481481,02	557,41	0,85
SMT01-P10	27	1473043,22	4481482,68	557,66	1,09
SMT01-P11	30	1473045,77	4481484,29	557,72	1,15
SMT01-P12	33	1473048,29	4481485,93	557,94	1,37
SMT01-P13	36	1473050,78	4481487,59	558,14	1,57
SMT01-P14	39	1473053,33	4481489,17	558,34	1,78
SMT01-P15	42	1473055,80	4481490,79	558,57	2,01
SMT01-P16	45	1473058,31	4481492,40	558,86	2,29
SMT01-P17	48	1473060,86	4481493,97	559,14	2,58
SMT01-P18	51	1473063,33	4481495,64	559,41	2,85
SMT01-P19	54	1473065,78	4481497,25	559,72	3,16
SMT01-P20	57	1473068,31	4481498,82	560,01	3,45
SMT01-P21	60	1473070,82	4481500,45	560,34	3,77
SMT01-P22	63	1473073,41	4481501,99	560,63	4,07
SMT01-P23	66	1473075,91	4481503,62	560,98	4,42
SMT01-P24	69	1473078,42	4481505,23	561,29	4,73
SMT01-P25	72	1473080,93	4481506,85	561,61	5,04
SMT01-P26	75	1473083,44	4481508,45	561,94	5,38
SMT01-P27	78	1473085,92	4481510,09	562,11	5,55
SMT01-P28	81	1473088,43	4481511,69	562,32	5,75
SMT01-P29	84	1473090,98	4481513,33	562,52	5,96
SMT01-P30	87	1473093,46	4481514,95	562,67	6,10
SMT01-P31	90	1473096,02	4481516,55	562,90	6,34
SMT01-P32	93	1473098,52	4481518,21	562,98	6,42

Profilo topografico T1

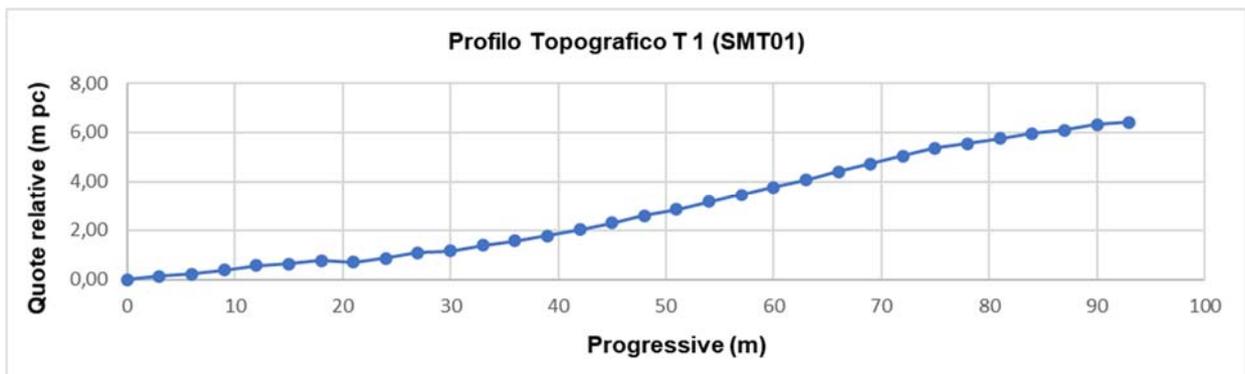


Tabella 4. Dati topografici sismica a rifrazione SMT02

Nome punto	Progressive (m)	Est (Longitudine)	Nord (Latitudine)	Quota assoluta (m.s.l.m)	Quota Relativa (m.p.c)
S1	-1,25	1470823,18	4480787,15	430,37	0,37
G1	0	1470823,21	4480785,89	430,70	0,70
G2	2,5	1470823,46	4480783,43	430,82	0,82
G3	5	1470823,55	4480780,90	430,83	0,83
S2	6,25	1470823,61	4480779,63	430,91	0,91
G4	7,5	1470823,76	4480778,42	431,13	1,13
G5	10	1470823,96	4480775,97	431,09	1,09
G6	12,5	1470824,17	4480773,47	431,36	1,36
S3	13,75	1470824,23	4480772,23	431,54	1,53
G7	15	1470824,36	4480771,03	431,32	1,32
G8	17,5	1470824,57	4480768,53	431,51	1,50
G9	20	1470825,02	4480765,99	431,65	1,65
S4	21,25	1470825,14	4480764,84	431,74	1,74
G10	22,5	1470825,33	4480763,62	431,73	1,73
G11	25	1470825,65	4480761,09	432,06	2,05
G12	27,5	1470825,96	4480758,63	432,13	2,13
S5	28,75	1470826,06	4480757,44	432,04	2,04
G13	30	1470826,15	4480756,15	432,22	2,21
G14	32,5	1470826,62	4480753,71	432,36	2,36
G15	35	1470827,01	4480751,15	432,57	2,56
S6	36,25	1470827,27	4480750,00	432,58	2,58
G16	37,5	1470827,51	4480748,68	432,66	2,65
G17	40	1470827,89	4480746,28	432,93	2,92
G18	42,5	1470828,23	4480743,79	433,20	3,20
S7	43,75	1470828,44	4480742,64	433,28	3,28
G19	45	1470828,54	4480741,41	433,60	3,59
G20	47,5	1470828,79	4480738,96	433,76	3,76
G21	50	1470829,08	4480736,47	433,94	3,94
S8	51,25	1470829,28	4480735,29	433,77	3,77
G22	52,5	1470829,29	4480734,01	434,10	4,10
G23	55	1470829,60	4480731,51	434,24	4,24
G24	57,5	1470829,83	4480729,02	434,20	4,20
S9	58,75	1470829,91	4480727,87	434,16	4,16

Profilo topografico R/M2

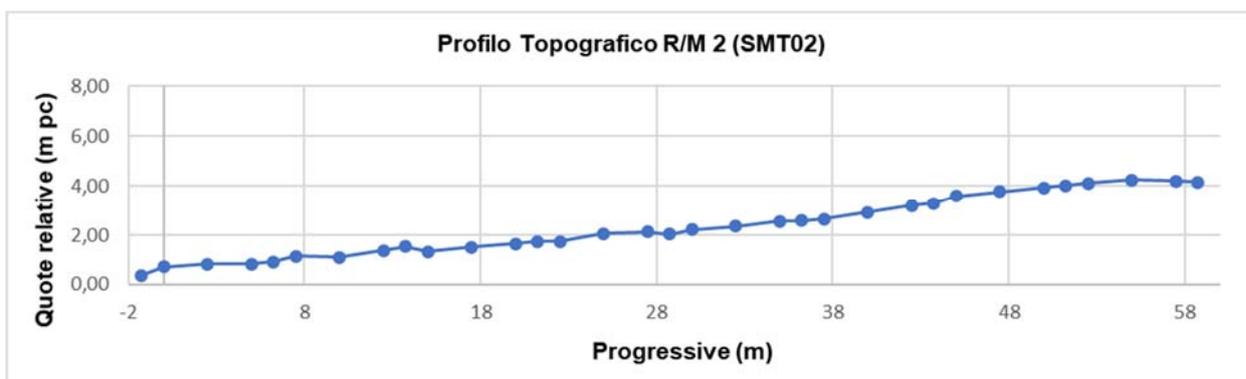


Tabella 5. Dati topografici tomografia elettrica SMT02

Nome punto	Progressive (m)	Est (Longitudine)	Nord (Latitudine)	Quota assoluta (m.s.l.m)	Quota Relativa (m.p.c)
SMT02-P1	0	1470822,72	4480795,71	430,00	0,00
SMT02-P2	2,5	1470822,74	4480793,35	430,06	0,06
SMT02-P3	5	1470822,90	4480790,89	430,15	0,14
SMT02-P4	7,5	1470823,09	4480788,34	430,39	0,39
SMT02-P5	10	1470823,21	4480785,89	430,70	0,70
SMT02-P6	12,5	1470823,46	4480783,43	430,82	0,82
SMT02-P7	15	1470823,55	4480780,90	430,83	0,83
SMT02-P8	17,5	1470823,76	4480778,42	431,13	1,13
SMT02-P9	20	1470823,96	4480775,97	431,09	1,09
SMT02-P10	22,5	1470824,17	4480773,47	431,36	1,36
SMT02-P11	25	1470824,36	4480771,03	431,32	1,32
SMT02-P12	27,5	1470824,57	4480768,53	431,51	1,50
SMT02-P13	30	1470825,02	4480765,99	431,65	1,65
SMT02-P14	32,5	1470825,33	4480763,62	431,73	1,73
SMT02-P15	35	1470825,65	4480761,09	432,06	2,05
SMT02-P16	37,5	1470825,96	4480758,63	432,13	2,13
SMT02-P17	40	1470826,15	4480756,15	432,22	2,21
SMT02-P18	42,5	1470826,62	4480753,71	432,36	2,36
SMT02-P19	45	1470827,01	4480751,15	432,57	2,56
SMT02-P20	47,5	1470827,51	4480748,68	432,66	2,65
SMT02-P21	50	1470827,89	4480746,28	432,93	2,92
SMT02-P22	52,5	1470828,23	4480743,79	433,20	3,20
SMT02-P23	55	1470828,54	4480741,41	433,60	3,59
SMT02-P24	57,5	1470828,79	4480738,96	433,76	3,76
SMT02-P25	60	1470829,08	4480736,47	433,94	3,94
SMT02-P26	62,5	1470829,29	4480734,01	434,10	4,10
SMT02-P27	65	1470829,60	4480731,51	434,24	4,24
SMT02-P28	67,5	1470829,83	4480729,02	434,20	4,20
SMT02-P29	70	1470830,02	4480726,55	434,30	4,30
SMT02-P30	72,5	1470830,09	4480724,05	434,47	4,47
SMT02-P31	75	1470829,58	4480722,28	434,51	4,51
SMT02-P32	77,5	1470830,04	4480719,44	434,52	4,52

Profilo topografico T2

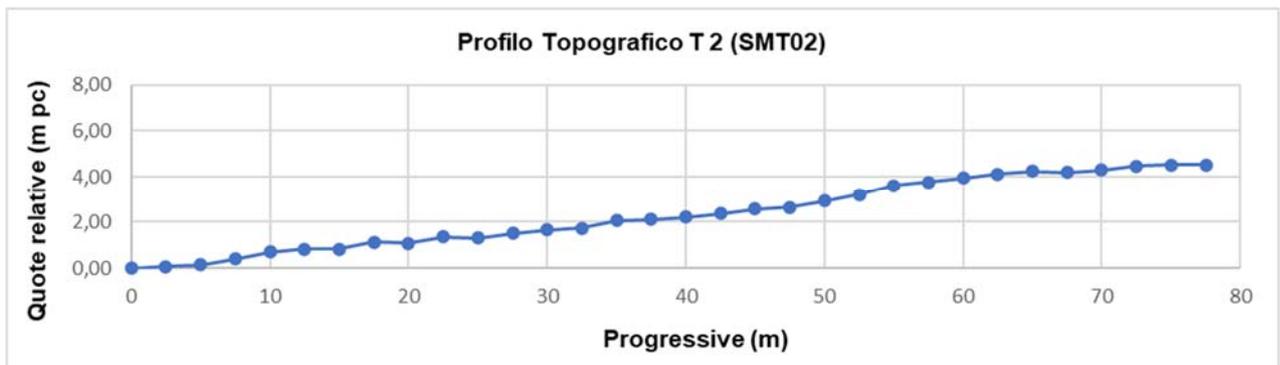


Tabella 6. Dati topografici sismica a rifrazione SMT03

Nome punto	Progressive (m)	Est (Longitudine)	Nord (Latitudine)	Quota assoluta (m.s.l.m)	Quota Relativa (m.p.c)
S1	-1,5	1469249,21	4479799,66	307,81	5,90
G1	0	1469247,71	4479799,18	307,13	5,94
G2	3	1469244,76	4479798,81	307,01	5,82
G3	6	1469241,80	4479798,29	306,84	5,65
S2	7,5	1469240,33	4479798,32	307,12	5,55
G4	9	1469238,85	4479797,88	306,64	5,45
G5	12	1469235,91	4479797,43	306,42	5,24
G6	15	1469232,97	4479796,90	306,16	4,97
S3	16,5	1469231,48	4479796,81	306,40	4,86
G7	18	1469230,02	4479796,32	305,94	4,75
G8	21	1469227,09	4479795,82	305,64	4,45
G9	24	1469224,19	4479795,29	305,45	4,26
S4	25,5	1469222,72	4479795,18	305,62	4,12
G10	27	1469221,27	4479794,73	305,16	3,97
G11	30	1469218,35	4479794,15	305,04	3,85
G12	33	1469215,43	4479793,53	304,80	3,61
S5	34,5	1469213,91	4479793,42	304,86	3,53
G13	36	1469212,41	4479793,28	304,63	3,44
G14	39	1469209,50	4479792,62	304,34	3,15
G15	42	1469206,58	4479792,13	304,18	2,99
S6	43,5	1469205,01	4479791,89	303,74	2,88
G16	45	1469203,69	4479791,42	303,95	2,77
G17	48	1469200,77	4479790,75	303,75	2,56
G18	51	1469197,87	4479790,14	303,51	2,32
S7	52,5	1469196,31	4479790,00	302,77	2,22
G19	54	1469194,97	4479789,48	303,30	2,11
G20	57	1469192,03	4479788,80	303,05	1,86
G21	60	1469189,09	4479788,18	302,83	1,64
S8	61,5	1469187,50	4479788,14	301,90	1,52
G22	63	1469186,18	4479787,45	302,59	1,40
G23	66	1469183,28	4479786,74	302,38	1,19
G24	69	1469180,34	4479786,16	302,10	0,91
S9	70,5	1469178,75	4479786,23	301,27	0,82

Profilo topografico R/M3

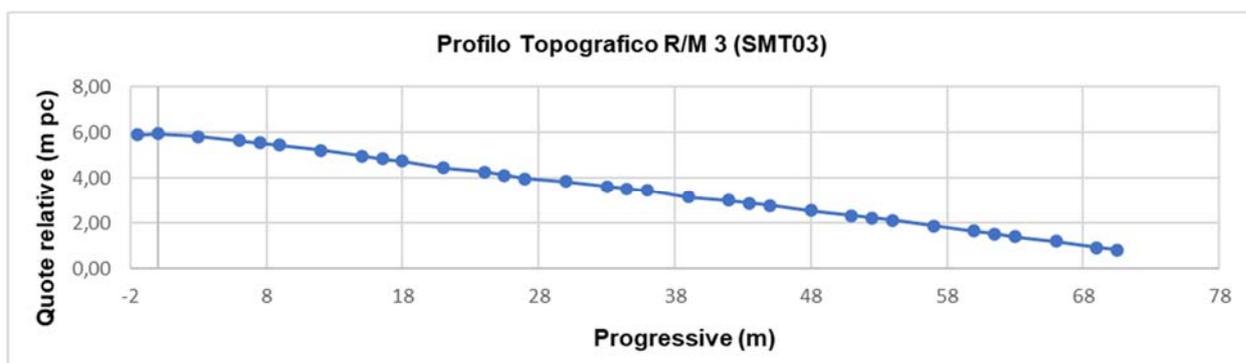


Tabella 7. Dati topografici tomografia elettrica SMT03

Nome punto	Progressive (m)	Est (Longitudine)	Nord (Latitudine)	Quota assoluta (m.s.l.m)	Quota Relativa (m.p.c)
SMT03-P1	0	1469259,52	4479800,68	308,31	7,12
SMT03-P2	3	1469256,63	4479800,39	308,03	6,84
SMT03-P3	6	1469253,69	4479799,99	307,80	6,62
SMT03-P4	9	1469250,70	4479799,59	307,44	6,25
SMT03-P5	12	1469247,71	4479799,18	307,13	5,94
SMT03-P6	15	1469244,76	4479798,81	307,01	5,82
SMT03-P7	18	1469241,80	4479798,29	306,84	5,65
SMT03-P8	21	1469238,85	4479797,88	306,64	5,45
SMT03-P9	24	1469235,91	4479797,43	306,42	5,24
SMT03-P10	27	1469232,97	4479796,90	306,16	4,97
SMT03-P11	30	1469230,02	4479796,32	305,94	4,75
SMT03-P12	33	1469227,09	4479795,82	305,64	4,45
SMT03-P13	36	1469224,19	4479795,29	305,45	4,26
SMT03-P14	39	1469221,27	4479794,73	305,16	3,97
SMT03-P15	42	1469218,35	4479794,15	305,04	3,85
SMT03-P16	45	1469215,43	4479793,53	304,80	3,61
SMT03-P17	48	1469212,41	4479793,28	304,63	3,44
SMT03-P18	51	1469209,50	4479792,62	304,34	3,15
SMT03-P19	54	1469206,58	4479792,13	304,18	2,99
SMT03-P20	57	1469203,69	4479791,42	303,95	2,77
SMT03-P21	60	1469200,77	4479790,75	303,75	2,56
SMT03-P22	63	1469197,87	4479790,14	303,51	2,32
SMT03-P23	66	1469194,97	4479789,48	303,30	2,11
SMT03-P24	69	1469192,03	4479788,80	303,05	1,86
SMT03-P25	72	1469189,09	4479788,18	302,83	1,64
SMT03-P26	75	1469186,18	4479787,45	302,59	1,40
SMT03-P27	78	1469183,28	4479786,74	302,38	1,19
SMT03-P28	81	1469180,34	4479786,16	302,10	0,91
SMT03-P29	84	1469177,50	4479785,34	301,84	0,65
SMT03-P30	87	1469174,65	4479784,61	301,58	0,39
SMT03-P31	90	1469171,69	4479783,91	301,39	0,20
SMT03-P32	93	1469168,84	4479783,08	301,19	0,00

Profilo topografico T3

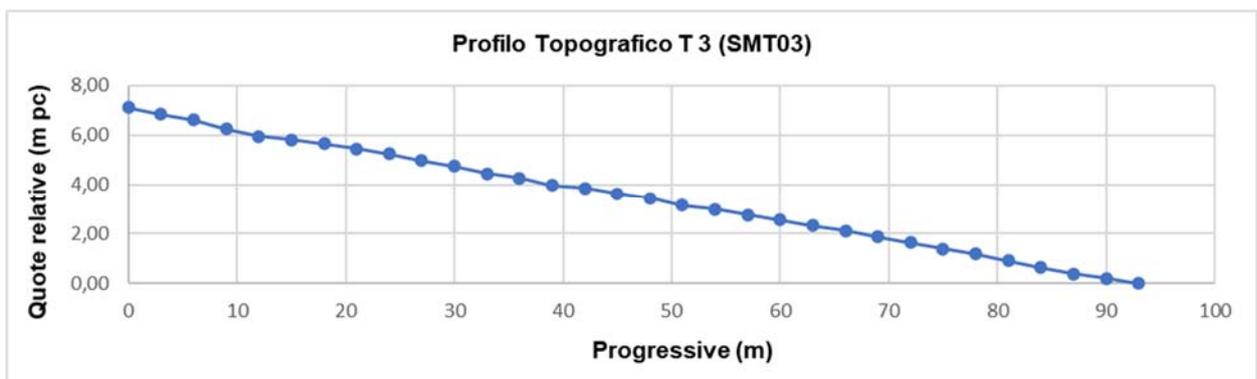


Tabella 8. Dati topografici sismica a rifrazione SMT04

Nome punto	Progressive (m)	Est (Longitudine)	Nord (Latitudine)	Quota assoluta (m.s.l.m)	Quota Relativa (m.p.c)
S1	-1,5	1468516,22	4478166,75	356,87	0,59
G1	0	1468517,44	4478167,52	356,57	0,30
G2	3	1468520,07	4478169,14	356,46	0,19
G3	6	1468522,64	4478170,69	356,39	0,12
S2	7,5	1468523,89	4478171,55	356,35	0,07
G4	9	1468525,07	4478172,45	356,32	0,05
G5	12	1468527,53	4478174,13	356,28	0,01
G6	15	1468529,95	4478175,87	356,27	0,00
S3	16,5	1468531,34	4478176,53	356,26	-0,02
G7	18	1468532,52	4478177,46	356,31	0,04
G8	21	1468534,96	4478179,15	356,32	0,04
G9	24	1468537,46	4478180,78	356,32	0,05
S4	25,5	1468538,75	4478181,57	356,33	0,05
G10	27	1468540,07	4478182,31	356,32	0,04
G11	30	1468542,45	4478184,04	356,33	0,05
G12	33	1468545,03	4478185,57	356,38	0,10
S5	34,5	1468546,32	4478186,34	356,38	0,11
G13	36	1468547,52	4478187,21	356,43	0,16
G14	39	1468550,05	4478188,82	356,47	0,19
G15	42	1468552,60	4478190,46	356,50	0,23
S6	43,5	1468553,80	4478191,33	356,57	0,29
G16	45	1468555,11	4478192,03	356,61	0,33
G17	48	1468557,62	4478193,63	356,76	0,48
G18	51	1468560,17	4478195,26	356,87	0,59
S7	52,5	1468561,44	4478196,02	356,92	0,65
G19	54	1468562,74	4478196,81	356,94	0,67
G20	57	1468565,21	4478198,46	357,17	0,89
G21	60	1468567,68	4478200,14	357,48	1,21
S8	61,5	1468569,01	4478200,88	357,60	1,33
G22	63	1468570,24	4478201,66	357,74	1,46
G23	66	1468572,78	4478203,28	358,03	1,76
G24	69	1468575,22	4478204,84	358,48	2,21
S9	70,5	1468576,53	4478205,70	358,67	2,39

Profilo topografico R/M4

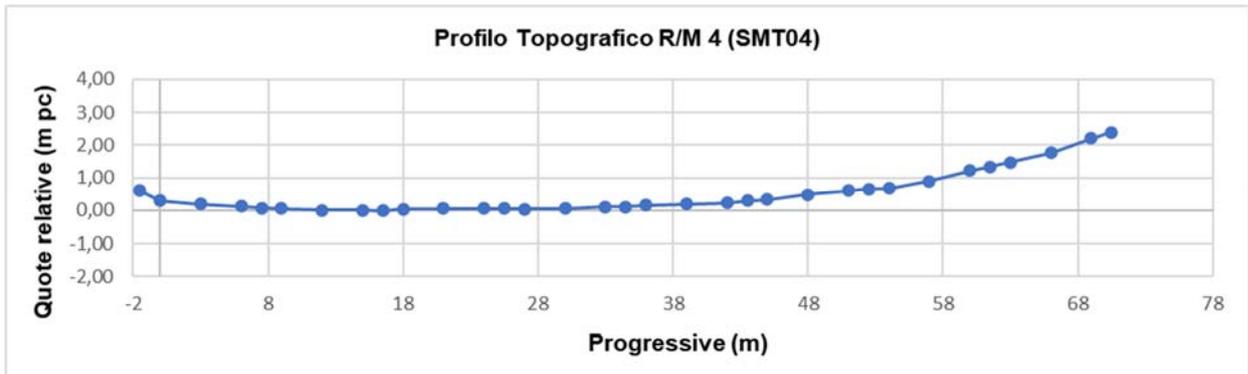


Tabella 9. Dati topografici tomografia elettrica SMT04

Nome punto	Progressive (m)	Est (Longitudine)	Nord (Latitudine)	Quota assoluta (m.s.l.m)	Quota Relativa (m.p.c)
SMT04-P1	0	1468507,62	4478160,67	356,84	0,56
SMT04-P2	3	1468510,02	4478162,44	356,85	0,58
SMT04-P3	6	1468512,45	4478164,17	356,81	0,53
SMT04-P4	9	1468515,00	4478165,93	356,83	0,56
SMT04-P5	12	1468517,44	4478167,52	356,57	0,30
SMT04-P6	15	1468520,07	4478169,14	356,46	0,19
SMT04-P7	18	1468522,64	4478170,69	356,39	0,12
SMT04-P8	21	1468525,07	4478172,45	356,32	0,05
SMT04-P9	24	1468527,53	4478174,13	356,28	0,01
SMT04-P10	27	1468529,95	4478175,87	356,27	0,00
SMT04-P11	30	1468532,52	4478177,46	356,31	0,04
SMT04-P12	33	1468534,96	4478179,15	356,32	0,04
SMT04-P13	36	1468537,46	4478180,78	356,32	0,05
SMT04-P14	39	1468540,07	4478182,31	356,32	0,04
SMT04-P15	42	1468542,45	4478184,04	356,33	0,05
SMT04-P16	45	1468545,03	4478185,57	356,38	0,10
SMT04-P17	48	1468547,52	4478187,21	356,43	0,16
SMT04-P18	51	1468550,05	4478188,82	356,47	0,19
SMT04-P19	54	1468552,60	4478190,46	356,50	0,23
SMT04-P20	57	1468555,11	4478192,03	356,61	0,33
SMT04-P21	60	1468557,62	4478193,63	356,76	0,48
SMT04-P22	63	1468560,17	4478195,26	356,87	0,59
SMT04-P23	66	1468562,74	4478196,81	356,94	0,67
SMT04-P24	69	1468565,21	4478198,46	357,17	0,89
SMT04-P25	72	1468567,68	4478200,14	357,48	1,21
SMT04-P26	75	1468570,24	4478201,66	357,74	1,46
SMT04-P27	78	1468572,78	4478203,28	358,03	1,76
SMT04-P28	81	1468575,22	4478204,84	358,48	2,21
SMT04-P29	84	1468577,78	4478206,42	358,77	2,50
SMT04-P30	87	1468580,35	4478208,00	359,02	2,75
SMT04-P31	90	1468582,87	4478209,58	359,27	2,99
SMT04-P32	93	1468585,41	4478211,17	359,71	3,43

Profilo topografico T4

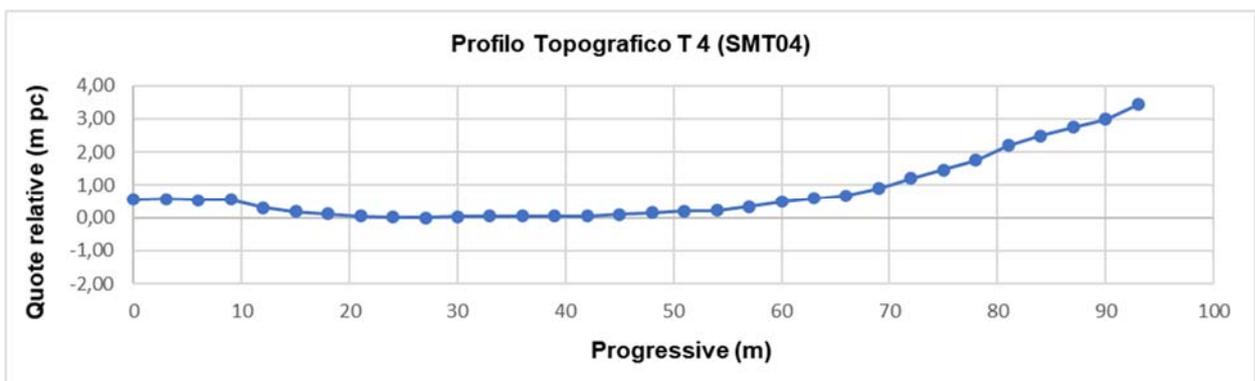


Tabella 10. Dati topografici sismica a rifrazione SMT05

Nome punto	Progressive (m)	Est (Longitudine)	Nord (Latitudine)	Quota assoluta (m.s.l.m)	Quota Relativa (m.p.c)
S1	-1,5	1467913,06	4478489,38	250,48	1,10
G1	0	1467913,58	4478490,79	250,42	1,05
G2	3	1467914,77	4478493,56	250,50	1,13
G3	6	1467915,76	4478496,36	250,62	1,24
S2	7,5	1467916,34	4478497,71	250,56	1,19
G4	9	1467916,80	4478499,16	250,52	1,15
G5	12	1467917,96	4478501,86	250,72	1,34
G6	15	1467919,01	4478504,59	250,89	1,52
S3	16,5	1467919,57	4478505,88	250,93	1,55
G7	18	1467920,14	4478507,24	250,86	1,49
G8	21	1467921,14	4478510,05	251,08	1,71
G9	24	1467922,22	4478512,82	251,33	1,95
S4	25,5	1467922,71	4478514,15	251,38	2,01
G10	27	1467923,21	4478515,50	251,43	2,06
G11	30	1467924,24	4478518,29	251,68	2,30
G12	33	1467925,29	4478521,05	251,97	2,60
S5	34,5	1467925,75	4478522,47	252,10	2,73
G13	36	1467926,36	4478523,76	252,23	2,86
G14	39	1467927,33	4478526,52	252,71	3,33
G15	42	1467928,32	4478529,29	253,09	3,71
S6	43,5	1467928,81	4478530,74	253,27	3,90
G16	45	1467929,33	4478532,06	253,47	4,09
G17	48	1467930,39	4478534,85	253,91	4,54
G18	51	1467931,41	4478537,64	254,33	4,95
S7	52,5	1467931,94	4478539,02	254,66	5,29
G19	54	1467932,43	4478540,38	254,87	5,50
G20	57	1467933,37	4478543,19	255,32	5,94
G21	60	1467934,45	4478545,95	255,80	6,43
S8	61,5	1467934,98	4478547,33	256,03	6,65
G22	63	1467935,47	4478548,72	256,28	6,91
G23	66	1467936,47	4478551,51	256,76	7,39
G24	69	1467937,57	4478554,23	257,23	7,85
S9	70,5	1467938,08	4478555,61	257,53	8,16

Profilo topografico R/M5

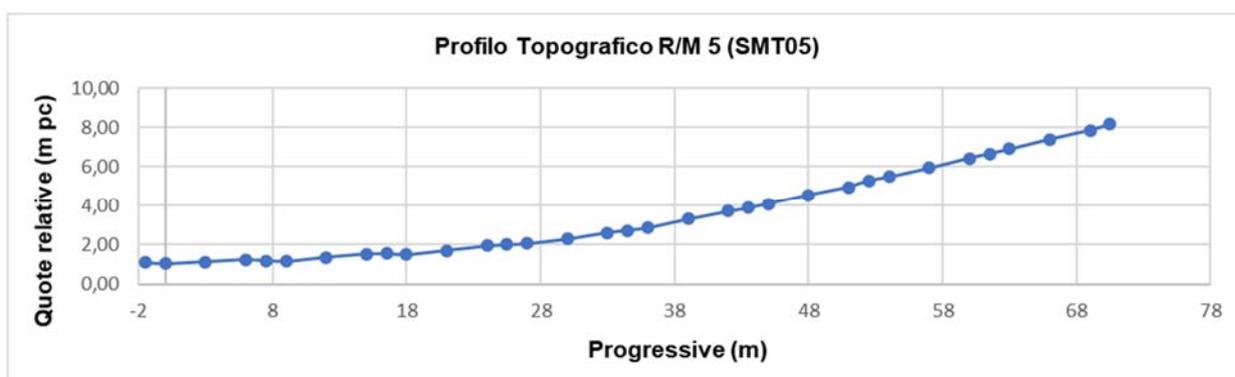
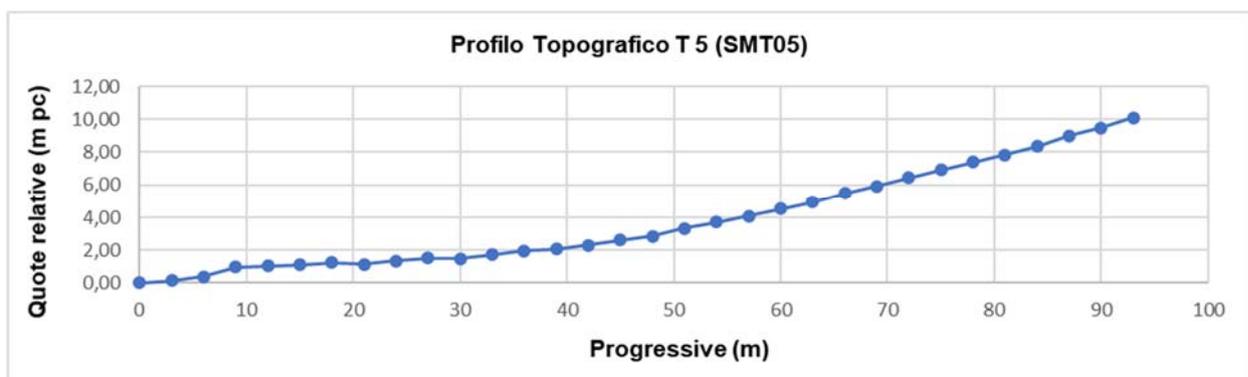


Tabella 11. Dati topografici tomografia elettrica SMT05

Nome punto	Progressive (m)	Est (Longitudine)	Nord (Latitudine)	Quota assoluta (m.s.l.m)	Quota Relativa (m.p.c)
SMT05-P1	0	1467909,14	4478479,46	249,37	0,00
SMT05-P2	3	1467910,33	4478482,25	249,53	0,16
SMT05-P3	6	1467911,45	4478485,10	249,78	0,40
SMT05-P4	9	1467912,54	4478487,97	250,36	0,98
SMT05-P5	12	1467913,58	4478490,79	250,42	1,05
SMT05-P6	15	1467914,77	4478493,56	250,50	1,13
SMT05-P7	18	1467915,76	4478496,36	250,62	1,24
SMT05-P8	21	1467916,80	4478499,16	250,52	1,15
SMT05-P9	24	1467917,96	4478501,86	250,72	1,34
SMT05-P10	27	1467919,01	4478504,59	250,89	1,52
SMT05-P11	30	1467920,14	4478507,24	250,86	1,49
SMT05-P12	33	1467921,14	4478510,05	251,08	1,71
SMT05-P13	36	1467922,22	4478512,82	251,33	1,95
SMT05-P14	39	1467923,21	4478515,50	251,43	2,06
SMT05-P15	42	1467924,24	4478518,29	251,68	2,30
SMT05-P16	45	1467925,29	4478521,05	251,97	2,60
SMT05-P17	48	1467926,36	4478523,76	252,23	2,86
SMT05-P18	51	1467927,33	4478526,52	252,71	3,33
SMT05-P19	54	1467928,32	4478529,29	253,09	3,71
SMT05-P20	57	1467929,33	4478532,06	253,47	4,09
SMT05-P21	60	1467930,39	4478534,85	253,91	4,54
SMT05-P22	63	1467931,41	4478537,64	254,33	4,95
SMT05-P23	66	1467932,43	4478540,38	254,87	5,50
SMT05-P24	69	1467933,37	4478543,19	255,32	5,94
SMT05-P25	72	1467934,45	4478545,95	255,80	6,43
SMT05-P26	75	1467935,47	4478548,72	256,28	6,91
SMT05-P27	78	1467936,47	4478551,51	256,76	7,39
SMT05-P28	81	1467937,57	4478554,23	257,23	7,85
SMT05-P29	84	1467938,68	4478556,94	257,72	8,35
SMT05-P30	87	1467939,70	4478559,72	258,37	9,00
SMT05-P31	90	1467940,81	4478562,48	258,84	9,47
SMT05-P32	93	1467941,80	4478565,20	259,46	10,09

Profilo topografico T5

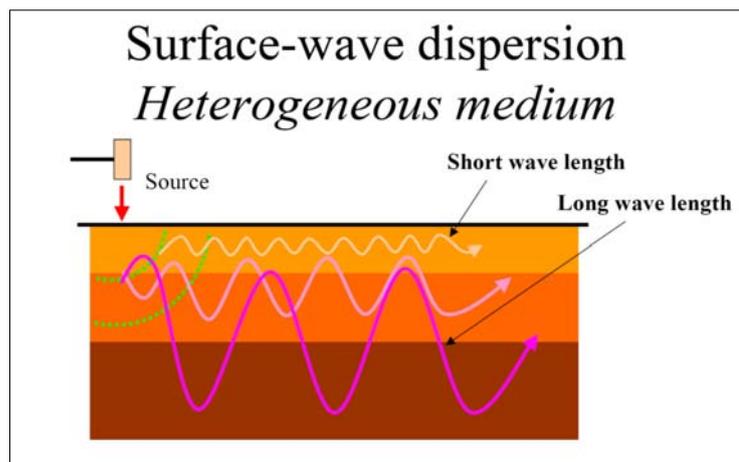


4 INDAGINI SISMICHE: MASW

4.1 Tecnica e parametri utilizzati

“Il metodo MASW (Multichannel Analysis of SurfaceWaves) è una tecnica di indagine non invasiva, che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.” (da *Caratterizzazione sismica dei suoli con il metodo MASW (Multichannel Analysis of SurfaceWaves – V. Roma 2006)*). L'indagine svolta ha visto l'applicazione di tecnica M.A.S.W. di tipo attivo, ossia misura del comportamento dei terreni a seguito di un'energizzazione.



da SAGEEP2003

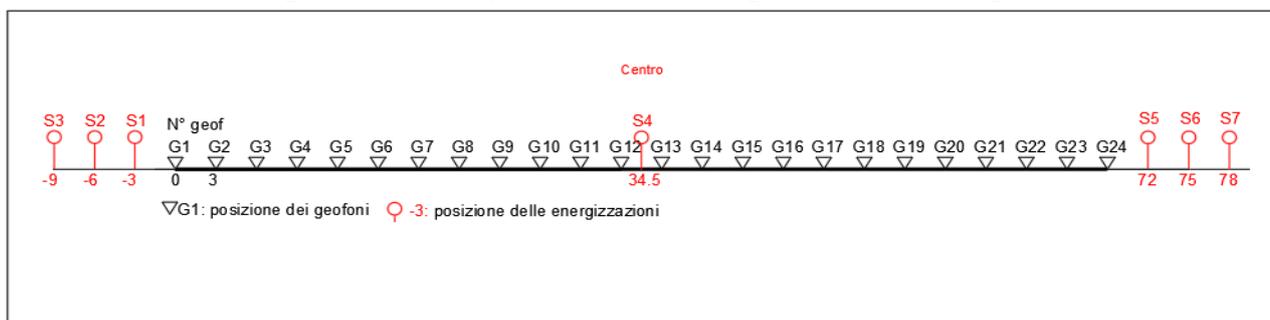
L'indagine si sviluppa mediante la materializzazione sul terreno di una linea retta mediante la posa di una fettuccia metrica. A seguire vengono posizionati i geofoni intervallati ad una distanza pari a 3,0m e 2,5 in funzione anche della disponibilità di spazio. Esternamente alla stesa geofonica, da ora base sismica, a distanza di interesse che può essere pari ad un multiplo della distanza intergeofonica ma anche variabile (in funzione delle disponibilità di cantiere), sia in andata (ovvero in prossimità del geofono 1) che al ritorno (ovvero all'ultimo geofono posizionato sulla base sismica), vengono svolte delle energizzazioni mediante massa battente pari a Kg 10,0. Nel caso in esame, sono state svolte le energizzazioni in “andata” e in “ritorno” con distanza dal geofono 1 e dal geofono 24 crescente e pari a multipli della distanza intergeofonica (v. schema).

Il metodo risulta efficace se la base sismica è ubicata su piano a pendenza costante e per una stratificazione piano parallela al piano topografico. Al fine di svolgere al meglio la campagna geofisica M.A.S.W., è utile che lo sviluppo lineare della base sismica sia limitata in lunghezza secondo i siti.

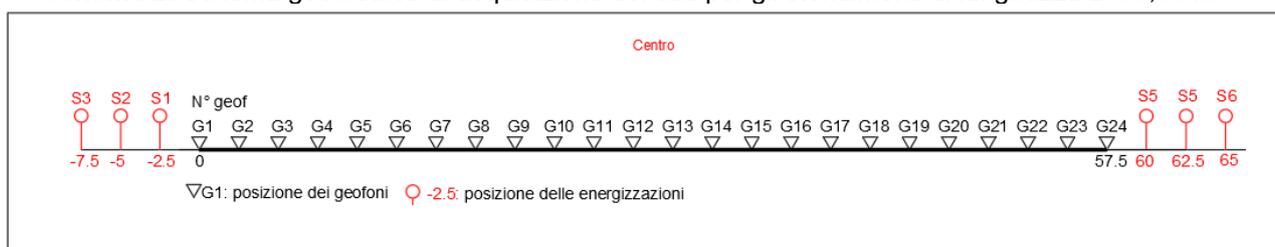
La maggior profondità di caratterizzazione raggiunta è legata alla minor frequenza registrata. Come già indicato nella figura, una frequenza alta caratterizza gli strati superficiali. La registrazione delle frequenze minori è destinata ai geofoni più lontani dalla sorgente.

Il numero di geofoni utile all'esecuzione ottimale di un'indagine M.A.S.W. è risultato, per il cantiere svolto, di 24 geofoni dei quali sono state utilizzate tutte le tracce. Il tempo dell'acquisizione è stato definito tra 1.00 e 2.00 secondi.

Schema 1. Schema geometrico di acquisizione dei dati per gli stendimenti di lunghezza L=69,0 m



Schema 2. Schema geometrico di acquisizione dei dati per gli stendimenti di lunghezza L=57,50 m



4.2 Strumentazione utilizzata

Per l'esecuzione del cantiere d'interesse, ci siamo avvalsi di una strumentazione di acquisizione DoReMi, prodotto dalla SARA electronicinstruments, 24bit con frequenza di campionamento 1000 Hz per ognuno dei canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali SARA electronics con frequenza propria di 4.5 Hz. Per l'energizzazione ci siamo avvalsi di mazza battente da 10 kg impattante su piastra di battuta in duralluminio, diametro 18 cm, spessore 4 cm, peso 2 kg.

4.3 Elaborazione dei dati

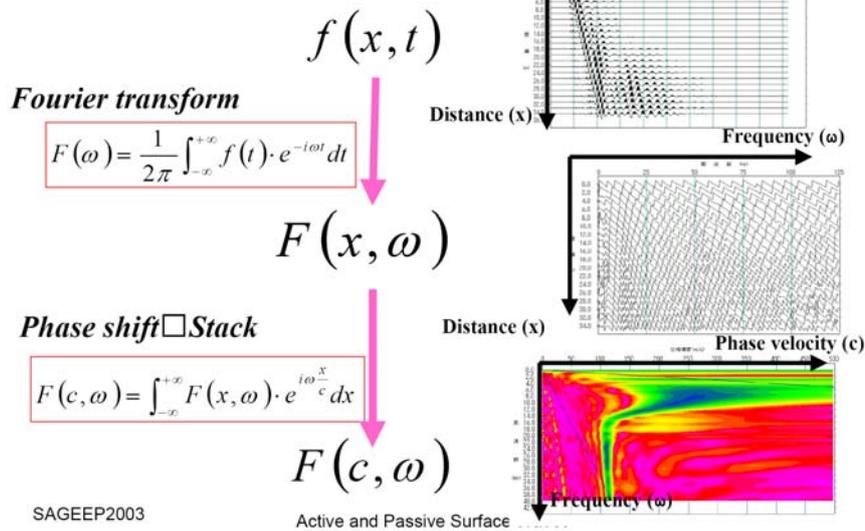
Il metodo interpretativo della M.A.S.W. si compone dei seguenti passaggi di analisi dei segnali acquisiti:

- individuazione della variazione del segnale acquisito nel tempo
- analisi di Fourier con definizione dei contenuti spettrali acquisiti nei segnali
- stacking dello spostamento di fase con definizione delle velocità di rotazione retrograda compatibile con il campo di frequenza definita.

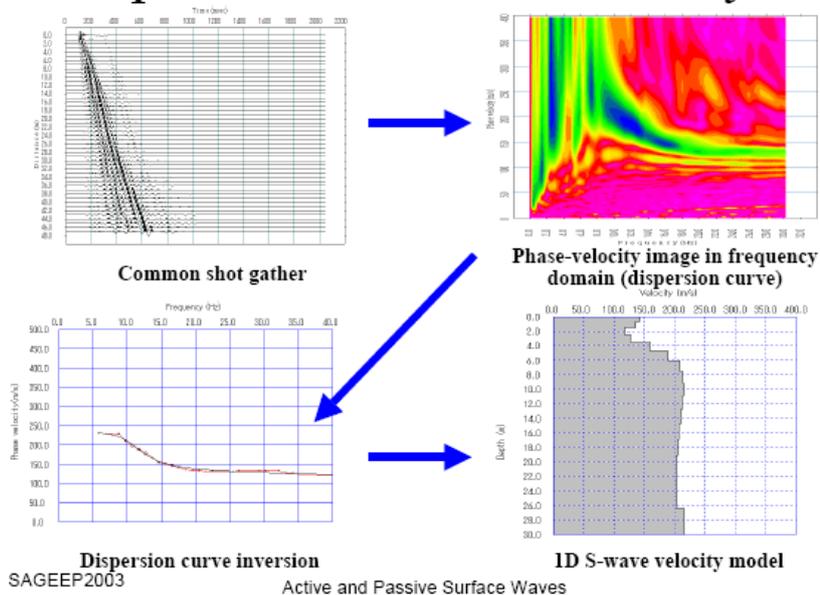
A posteriori dell'analisi matematica del segnale acquisito, definito un modello stratigrafico compatibile con la geologia locale, si provvede all'inversione della curva di dispersione ottenendo la sismo-stratigrafia.

A seguire è indicato il procedimento di elaborazione che ha prodotto il profilo di velocità grazie all'impiego del software ZondST2D.

τ -p transform in Frequency domain (MASW)



Dispersion curve and its analysis



4.4 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018)

Le “Norme Tecniche per le Costruzioni” – Decreto del 19/01/2018 definiscono le regole per progettare l’opera sia in zona sismica che in zona non sismica.

Per la valutazione delle azioni sismiche di progetto deve essere valutata l’influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto nel suolo superficiale.

Ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto, l’effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3 del citato Decreto. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II del suddetto decreto, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l’approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2 del Decreto.

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove, tra le quali le MASW costituiscono la metodologia maggiormente adoperata.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall’espressione

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

h_i spessore dell’*i*-esimo strato;

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

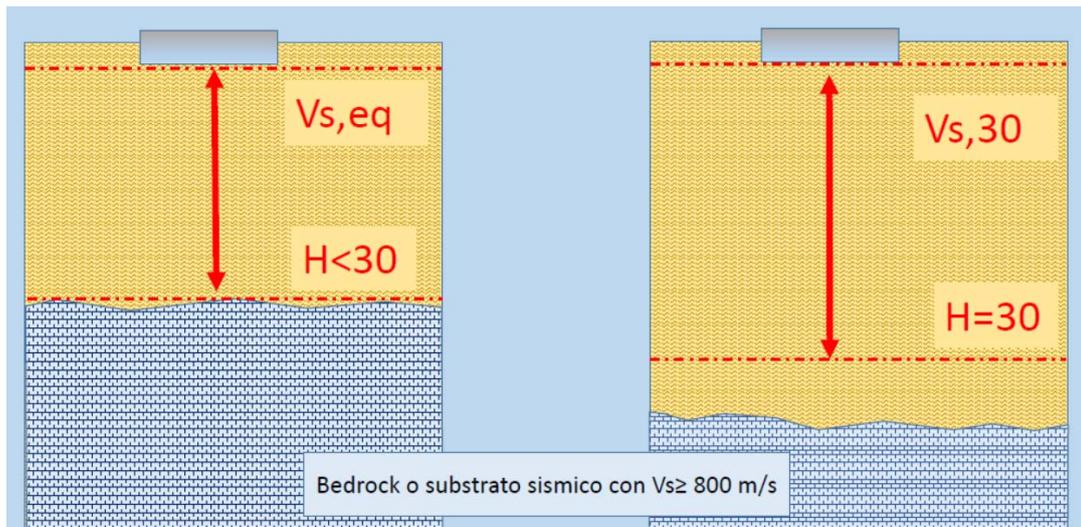
N numero di strati;

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

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato H è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell’opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione (v. schema seguente).

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Schema di Calcolo delle $V_{s,eq}$ e delle $V_{s,30}$



Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle NTC 2018. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Tabella 3.2.II. Categorie di sottosuolo (Fonte NTC 2018)

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

4.5 VALORI DI VELOCITÀ DELLE ONDE P ED S PER I PRINCIPALI LITOTIPI

Nella seguente tabella si riportano i valori di velocità delle onde P ed S dei principali litotipi riferibili anche al contesto geologico in esame (Fonte: Hearey e Brooks 1991, Bala et al 2005, Corrao e Coco 2006, bibliografia specialistica reperibile in rete).

Litotipi	Vp [m/s] min-max	Vs [m/s] min-max
TERRENI E ACQUA		
Alluvioni	400 - 2000	200 - 800
Sabbia asciutta	200 - 1000	80 - 400
Sabbia satura (in funzione anche del grado di saturazione)	600 - 2300	250 - 450
Sabbia siltosa	600 - 1900	200 - 600
Sabbia e ghiaia	300 - 1800	300 - 600
Limo	650 - 1250	240 - 480
Argilla	1000 - 2500	300 - 600
Argilla sabbiosa	600 - 2500	200 - 450
Acqua	1450 - 1500	0
ROCCE SEDIMENTARIE		
Argillite	2100 - 4400	550 - 2100
Arenaria	1500 - 6000	950 - 3100
Arenaria fratturate	800 - 2100	360 - 950
Calcere	2000 - 7000	1000 - 3300
Calcere fratturato	750 - 1500	330 - 1000
Calcarenite	1400 - 4400	800 - 2500
Calcarenite fratturata	600 - 1300	330 - 800
Marna	1500 - 4500	600 - 1.500
ROCCE IGNEE		
Basalto	1800 - 5000	1000 - 3000
Basalto fratturato	950 - 1350	480 - 700
Granitoidi	1600 - 5000	900 - 3000
Granitoidi fratturati	1000 - 1750	500 - 900
Piroclastite coerente	750 - 2500	350 - 1100
Piroclastite incoerente	350 - 1000	160 - 450

In particolare si ricorda che le velocità delle onde P misurate per terreni perfettamente saturi ($S_r = 100\%$) dipendono talora in maniera decisiva dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale e perciò tale valore può non essere rappresentativo delle proprietà meccaniche del materiale in questione. Invece le velocità delle onde S sono caratteristiche delle vibrazioni trasmesse prevalentemente dal solo scheletro solido e perciò rappresentative delle proprietà meccaniche del terreno. Ne consegue che per alcuni terreni al di sotto della falda le uniche onde in grado di fornire informazioni precise sulla rigidità del terreno sono quelle di taglio (S).

4.6 DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI DI DEFORMAZIONE E DI RESISTENZA AL TAGLIO DALLE INDAGINI SISMICHE

Di seguito si indicano le correlazioni bibliografiche che possono essere utilizzate per il calcolo dei parametri di deformazione dinamici calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input V_p , V_s e densità per ciascun sismostato definito dalle indagini geofisiche.

$$\text{Coefficiente di Poisson } \nu = \frac{V_p^2 - 2 V_s^2}{2 (V_p^2 - V_s^2)}$$

$$\text{Modulo di Young dinamico } E_d = \gamma V_s^2 [(3V_p^2 - 4 V_s^2)/(V_p^2 - V_s^2)]$$

$$\text{Modulo di taglio (rigidità) } G_0 = \gamma V_s^2$$

$$\text{Modulo di comprimibilità o di Bulk } K = \gamma (V_p^2 - 4/3 V_s^2)$$

Determinazione del modulo di Young statico E_s

Per la determinazione del modulo di Young statico E_s dal modulo dinamico E_d si può applicare la nota relazione proposta da Rzhevsky e Novik (1971) valida per i moduli misurati in MPa o Kg/cm²:

$$E_{\text{stat}} = \frac{E_{\text{din}} - 0.97}{8.3}$$

Per gli ammassi rocciosi la bibliografia specialistica suggerisce di applicare un coefficiente pari a 0,8-1,0 per la roccia integra e un coefficiente via via più basso per quelle fratturate in relazione al grado di fratturazione.

$$E_{\text{stat}} = E_{\text{din}} \times (0.3/1.0)$$

Si sottolinea tuttavia come i valori ottenuti con la suddetta formulazione sia un modulo di elasticità e quindi non può essere utilizzato per determinare ad esempio cedimenti di fondazione quando il carico delle fondazioni dà luogo a elevate deformazioni (superiori al limite di elasticità) poiché in quei casi la componente plastica è predominante su quella elastica.

Correlazioni con N_{spt} e parametri geotecnici

Nella letteratura specializzata sono ormai reperibili moltissime correlazioni tra il numero di colpi (N_{spt}) del Penetrometro Standard e la velocità delle onde di taglio (V_s). Le principali correlazioni sono di tipo esponenziale, con $N_{\text{spt}} = (V_s/\alpha)^\beta$ con i coefficienti α e β variabili in funzione del tipo di terreno. Si ricorda che il numero di colpi di cui si parla è quello necessario per far avanzare di 30 cm nel terreno la punta del campionatore Raymond standard.

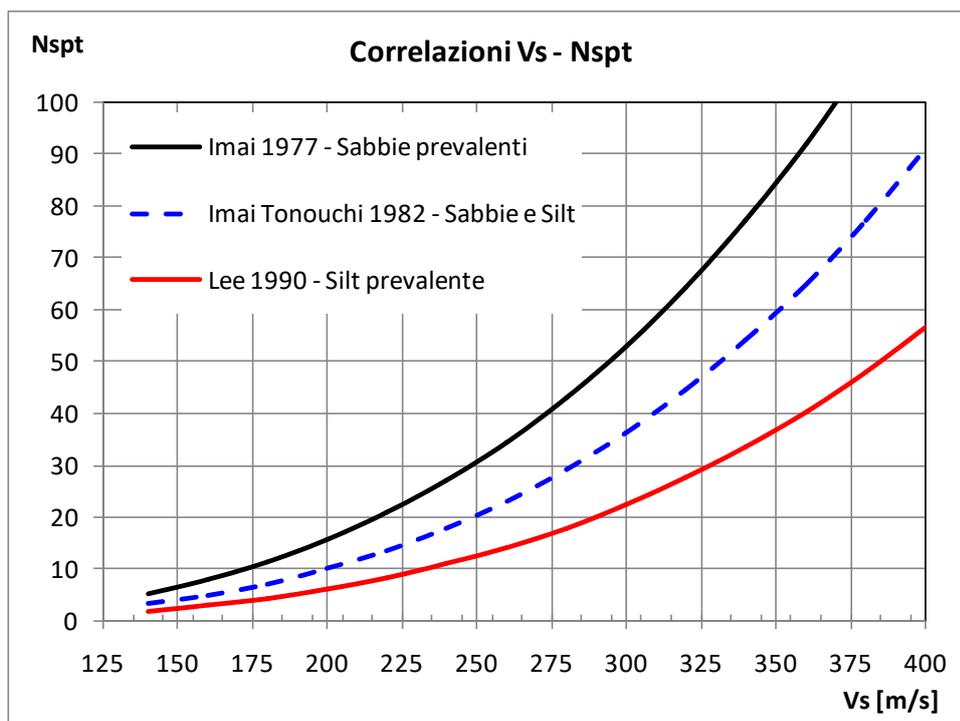
A tale scopo si illustrano le correlazioni proposte da Imai 1977, Imai e Tonuchi (1982) e Lee (1990) valide per tre differenti tipologie di terreni che caratterizzano in genere tutti i terreni:

$$N_{\text{SPT}} = \left(\frac{V_s}{80,6}\right)^{3,021} \text{ valida per i terreni prevalentemente sabbiosi - Imai (1977)}$$

$$N_{\text{SPT}} = \left(\frac{V_s}{97,0}\right)^{3,184} \text{ valida per i terreni misti sabbioso-siltosi - Imai e Tonuchi (1982)}$$

$$N_{\text{SPT}} = \left(\frac{V_s}{114,43}\right)^{3,226} \text{ valida per terreni prevalentemente fini/siltosi - Lee (1990)}$$

Dove: N_{spt} = numero di colpi del Penetrometro Standard e V_s = Velocità delle onde di taglio



Noto il valore di Nspt si calcolano i seguenti parametri geotecnici dei terreni:

Parametri geotecnici	Metodologie – Relazioni
Resistenza al taglio ϕ	<p>Terreni sabbiosi</p> <p>Entro i 6 m di profondità- Peck-Hanson&Thornburn, $\phi = 0,28 Nspt + 27,2$</p> <p>Oltre i 6 m di profondità- Japanese National Railway, $\phi = 0,30 Nspt + 27$</p> <p>Terreni: <u>sabbie fini o limose</u></p> $\phi = \sqrt{15Nspt + 15}$
Modulo di deformazione E (o di Young)	<p>Schmertmann (valido per sabbie e terreni prevalentemente sabbiosi)</p> <p>$E(Kg/cm^2) = 2B Nspt$ dove</p> <p>B=4 (sabbia fine), B=6 (sabbia media), B=10 (sabbia grossolana)</p> <p>D'Appolonia et Alii. (valido per sabbia+ghiaia e sabbie sovraconsolidate)</p> <p>$E (Kg/cm2) = 7,71 Nspt + 191$ (ghiaia + sabbia)</p> <p>Tornaghi(valido per sabbia + ghiaia)</p> <p>$E (MPa) = B sNspt$ (B=7 MPa)</p>

5 SISMICA A RIFRAZIONE

In ambito d'indagini indirette l'esplorazione geofisica di sismica a rifrazione in onde P risulta tra le metodologie più affermate e meglio sperimentate. Il metodo si basa sugli effetti di rifrazione del segnale sismico in corrispondenza dell'interfaccia tra un mezzo soprastante a velocità sismica minore rispetto ad uno strato sottostante al primo con velocità sismica inferiore.

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in un punto in superficie (punto di energizzazione/sparo), in corrispondenza di una molteplicità di ricevitori (geofoni) disposti allineati sulla superficie topografica.

Varie metodologie di interpretazione si sono susseguite nel tempo, passando dalle valutazioni di spessori e velocità in funzione del tempo all'intercetta fino a giungere alle più classiche interpretazioni mediante il General Reciprocal Method di Palmer '72.

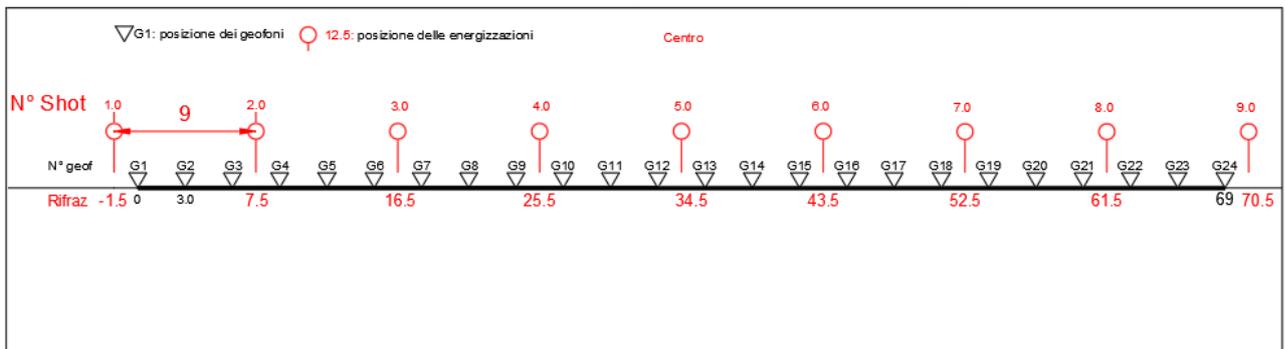
Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà fisico - meccaniche dei terreni e il grado di addensamento e/o la compattezza dei materiali da queste attraversati.

Le profondità raggiunte sono al massimo la metà della distanza compresa tra lo shot esterno e l'ultimo geofono della stesa sismica sviluppata. È comunque generalmente considerato che la profondità esplorata non superi 1/3 dello sviluppo geometrico sopradescritto. La capacità risolutiva in termini di spessore degli strati sismici viene ad essere valutato in circa il 25/30% della distanza geofonica.

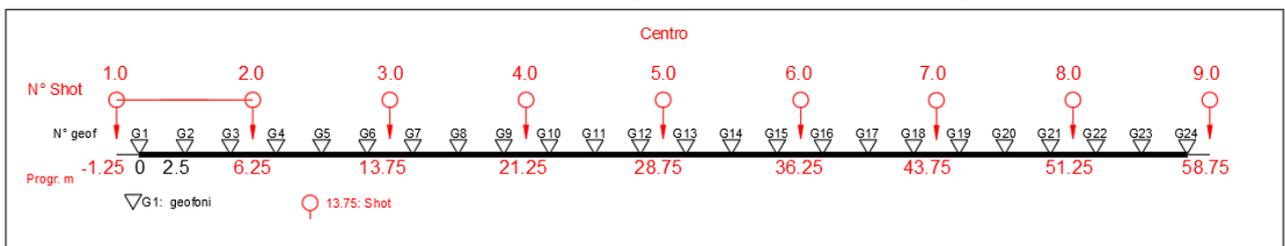
Nel caso in esame, in funzione della lunghezza degli stendimenti sono state eseguite 9 energizzazioni-shot rispettivamente per tutti gli stendimenti, al fine di meglio descrivere la geometria degli orizzonti rifrattori lungo l'intera base sismica come meglio specificato nello schema di seguito rappresentato.

Schema delle acquisizioni di sismica a rifrazione in onde P

Schema 3: Stendimento di sismica a rifrazione in onde P con 24 geofoni, interdistanza di 3,0 m, lunghezza complessiva 69,0 e 57,5 m



Schema 4: Stendimento di sismica a rifrazione in onde P con 24 geofoni, interdistanza di 2,5 m, lunghezza complessiva 57,50 m



5.1 Strumentazione utilizzata

Per l'indagine eseguita è stata impiegata una strumentazione di acquisizione modello DoReMi a 24 bit, prodotto dalla SARA electronics instruments, con frequenza di campionamento 5000 Hz per ognuno dei canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali e orizzontali della SARA electronics con frequenza propria di 10 Hz. Il numero di canali è risultato pari a n° 24 per tutti gli stendimenti.

Per l'energizzazione delle onde P ci siamo avvalsi di una mazza battente da 10 kg impattante verticalmente su piastra di battuta in duralluminio, diametro 18 cm, spessore 4 cm, peso 2 kg.

La quota relativa di ciascun geofono-shot è stata rilevata tramite GPS differenziale STONEX S70G in modo da poter ricostruire la morfologia del terreno e utilizzarla in fase di elaborazione dei dati acquisiti.

5.2 Elaborazione dei dati

I dati delle prospezioni sono costituiti dalla geometria d'acquisizione (posizioni e quote relative dei punti scoppio e dei geofoni) e dai tempi di primo arrivo delle onde elastiche di compressione (onde P), determinati manualmente sulle registrazioni riprodotte a schermo (picking dei primi arrivi).

La qualità dei dati è risultata nel complesso buona e il picking è stato realizzato facilmente per tutte le basi sismiche. Nelle figure che seguono si riportano alcune schermate delle operazioni eseguite.

L'inversione dei dati è stata eseguita secondo i criteri della tomografia sismica, mediante apposito software specialistico basato su tecniche di ottimizzazione non lineare. La sovrapposizione tra dromocrone sperimentali e calcolate ha portato a valori ottimi con valori dell'RMS<5%.

In particolare, l'elaborazione dei dati di sismica a rifrazione è stata eseguita secondo il metodo tomografico impiegando il software Rayfract4.01, che parte da un modello iniziale generato con la tecnica Deltat-V. Successivamente viene effettuata l'inversione iterativa del modello con la tecnica WET (WavepathEikonalTraveltimetomography processing) che analizza la propagazione dei vari fronti d'onda generati nei punti di tiro fino ad ogni geofono.

Il modello stratigrafico ottenuto come insieme di elementi caratterizzati da una specifica velocità viene quindi rappresentato mediante il contour a linee di isovelocità. La colorazione dei vari elementi secondo una scala cromatica riferita a specifici intervalli di velocità facilita l'immediata visione dei risultati

Figura 1: Sismogramma shot a 7,5 m di R1(SMT01)

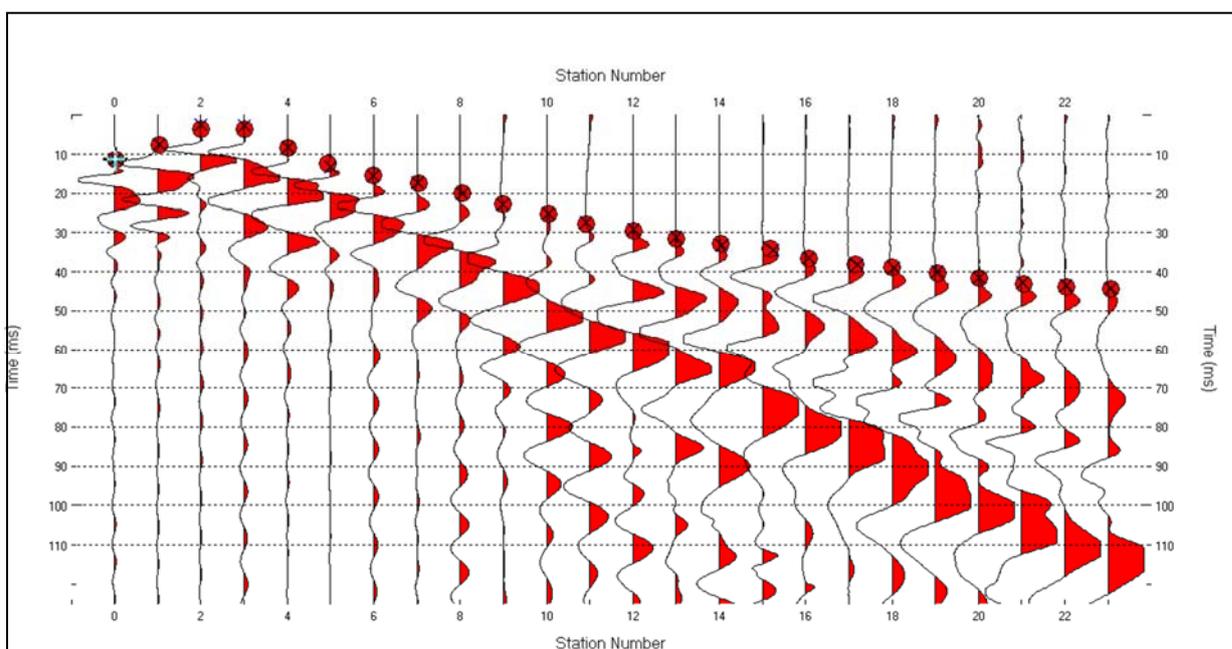


Figura 2: Sismogramma shot a 43,5 m di R1(SMT01)

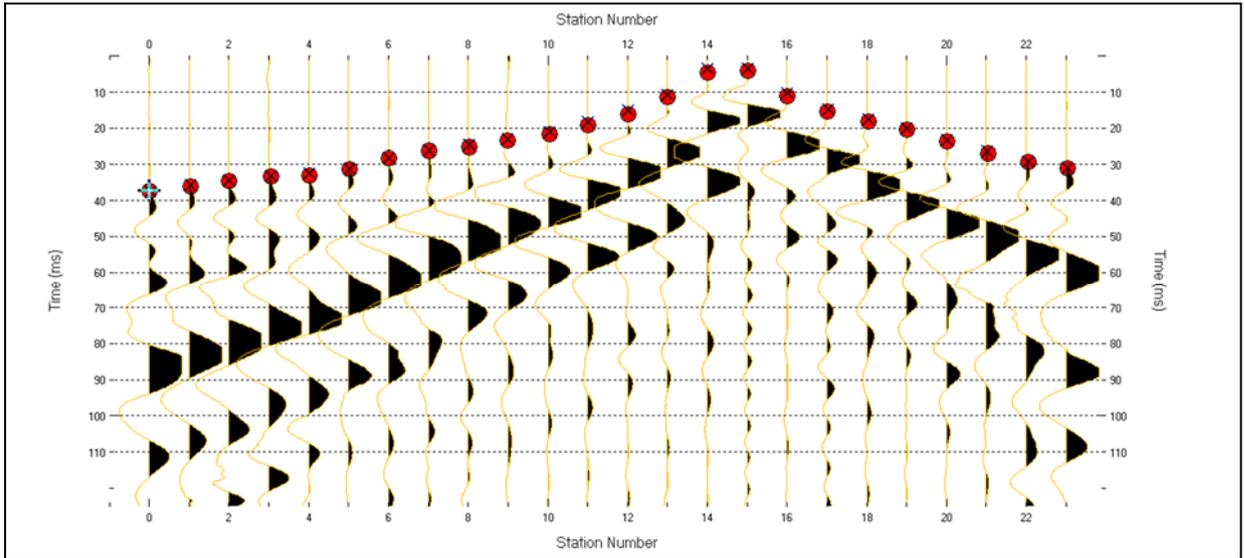


Figura 3: Sismogramma shot a 28,75 m di R2(SMT02)

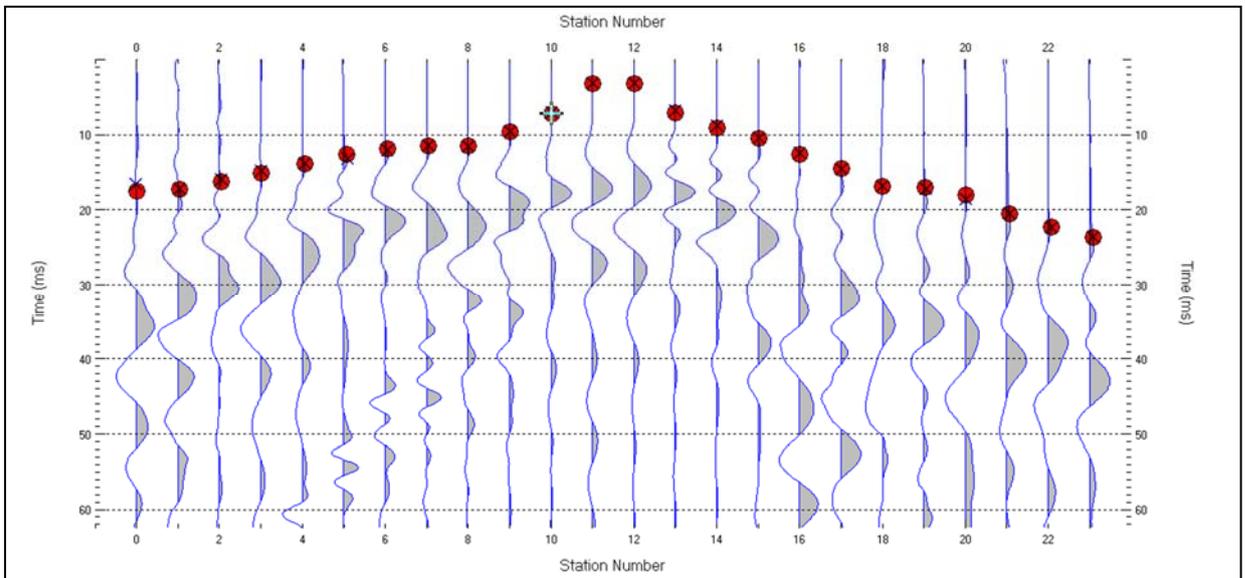


Figura 4: Sismogramma shot a 43,75 m di R2(SMT02)

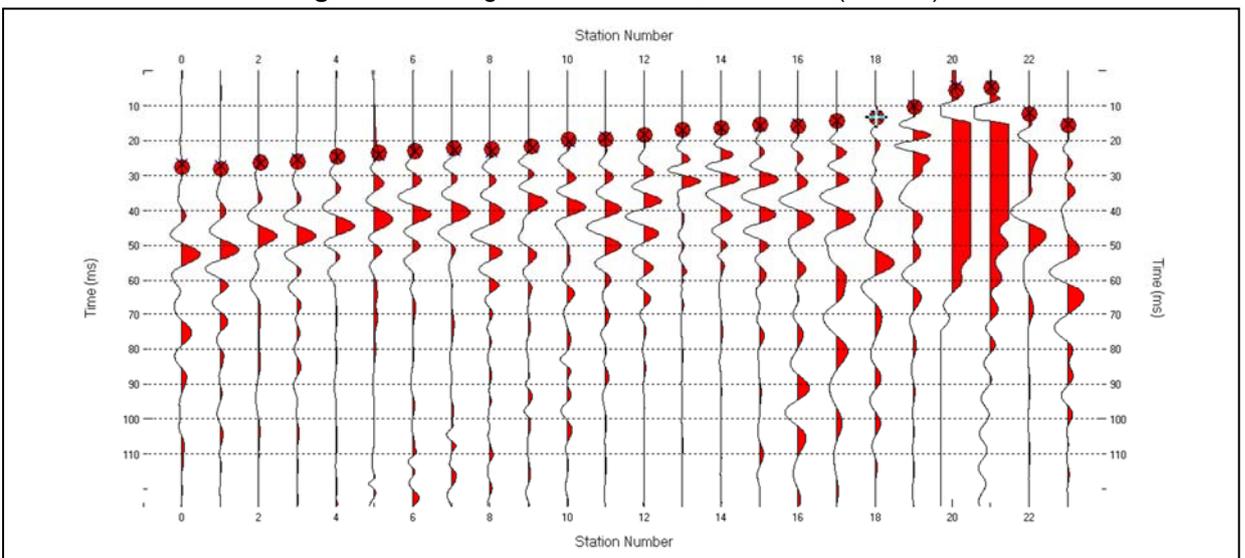


Figura 5: Sismogramma shot a -1,5 m di R3(SMT03)

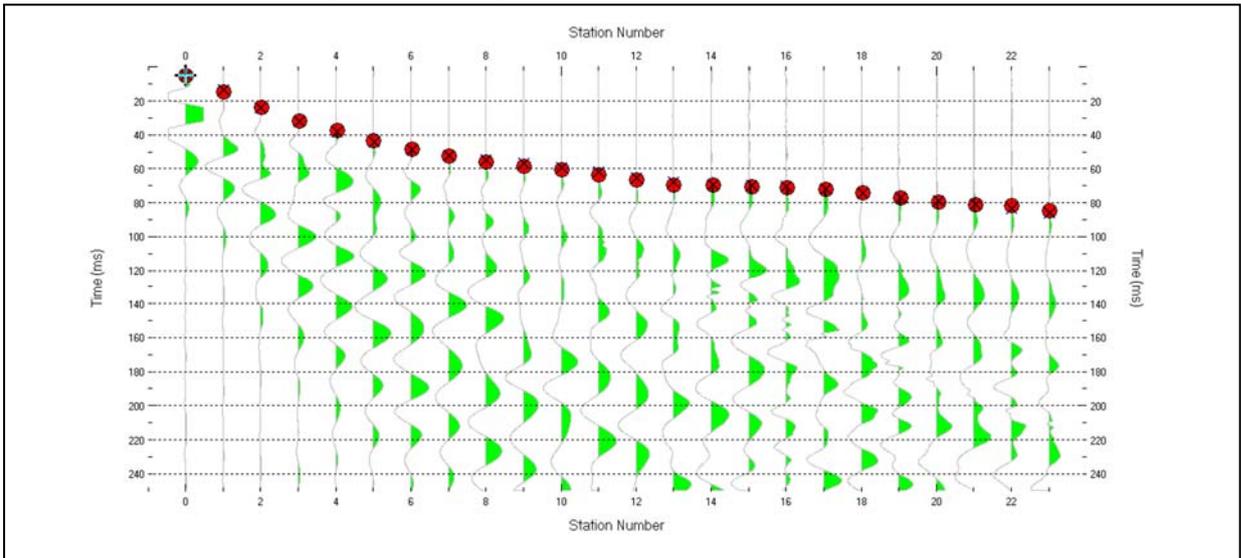


Figura 6: Sismogramma shot a 70,5 m di R3(SMT03)

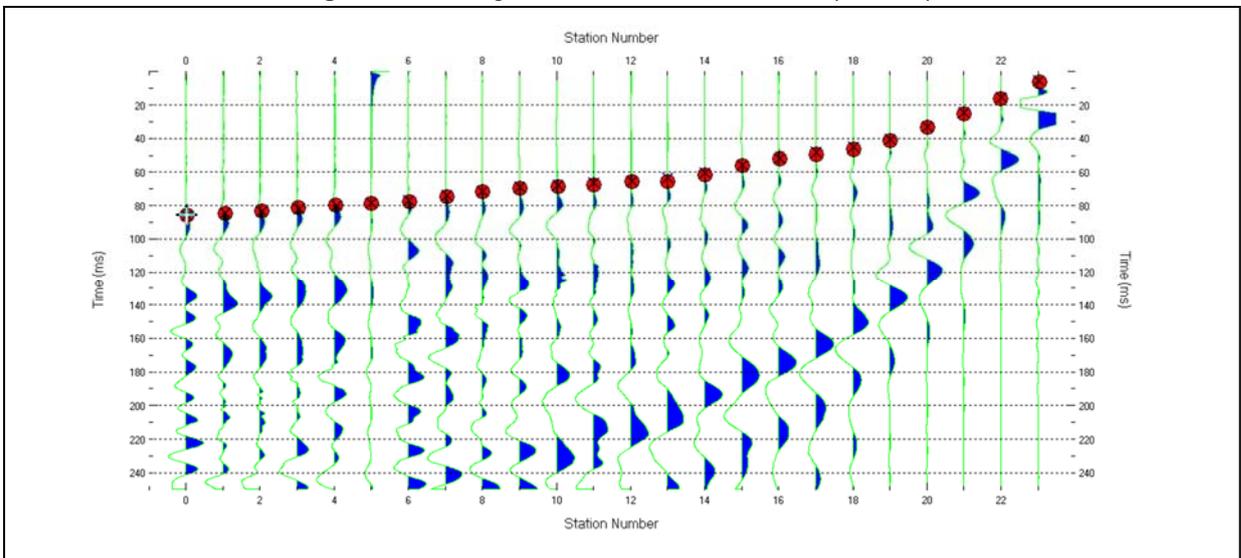


Figura 7: Sismogramma shot a -1,5 m di R4(SMT04)

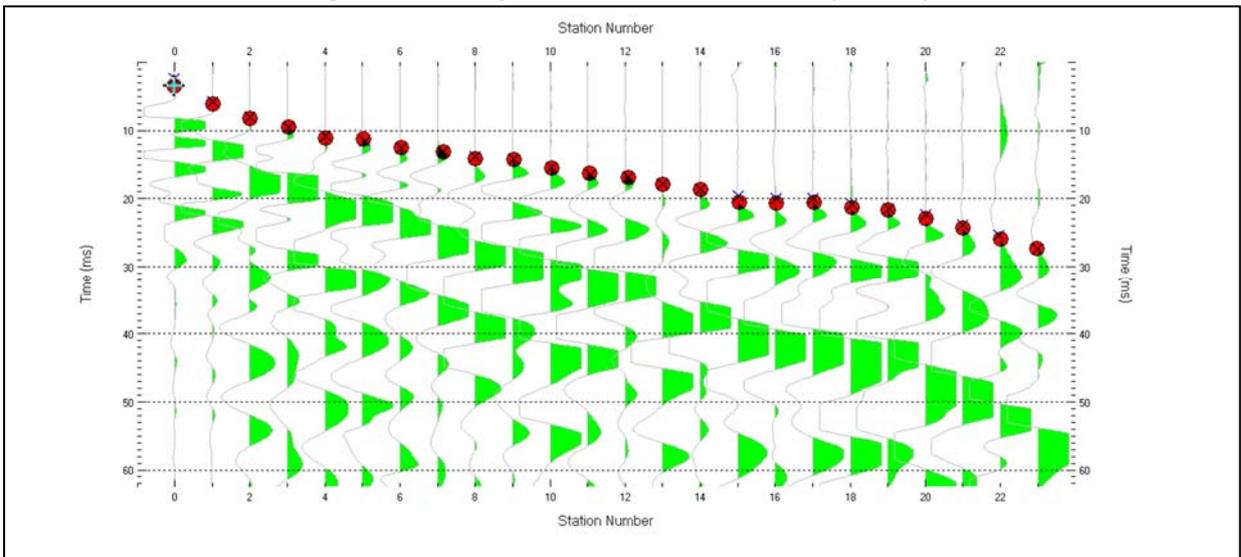


Figura 8: Sismogramma shot a 34,5 m di R4(SMT04)

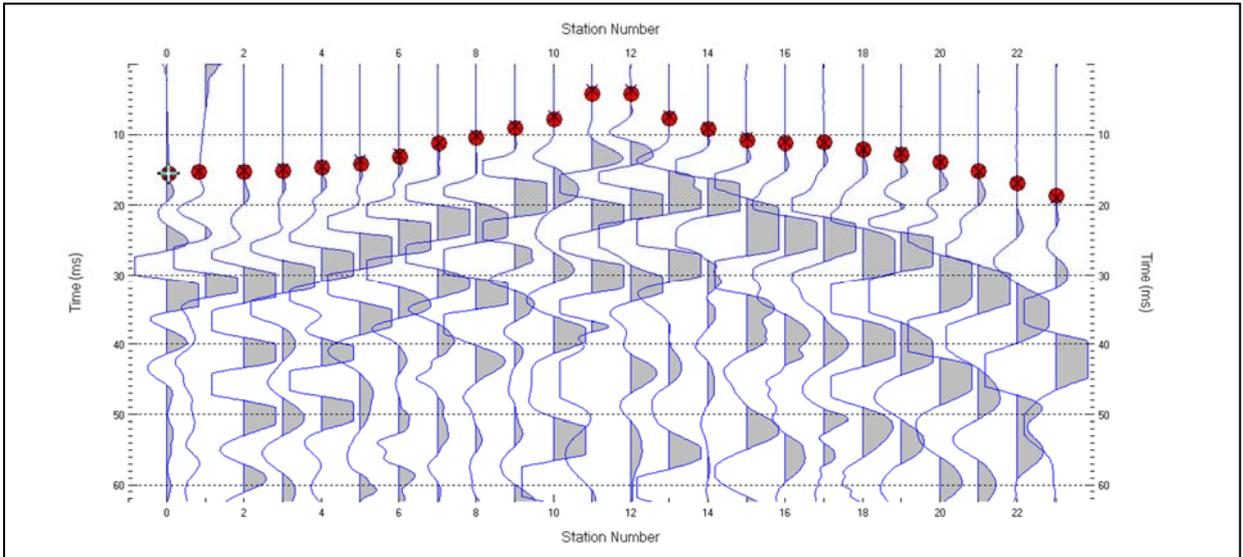


Figura 9: Sismogramma shot a 25,5 m di R5(SMT05)

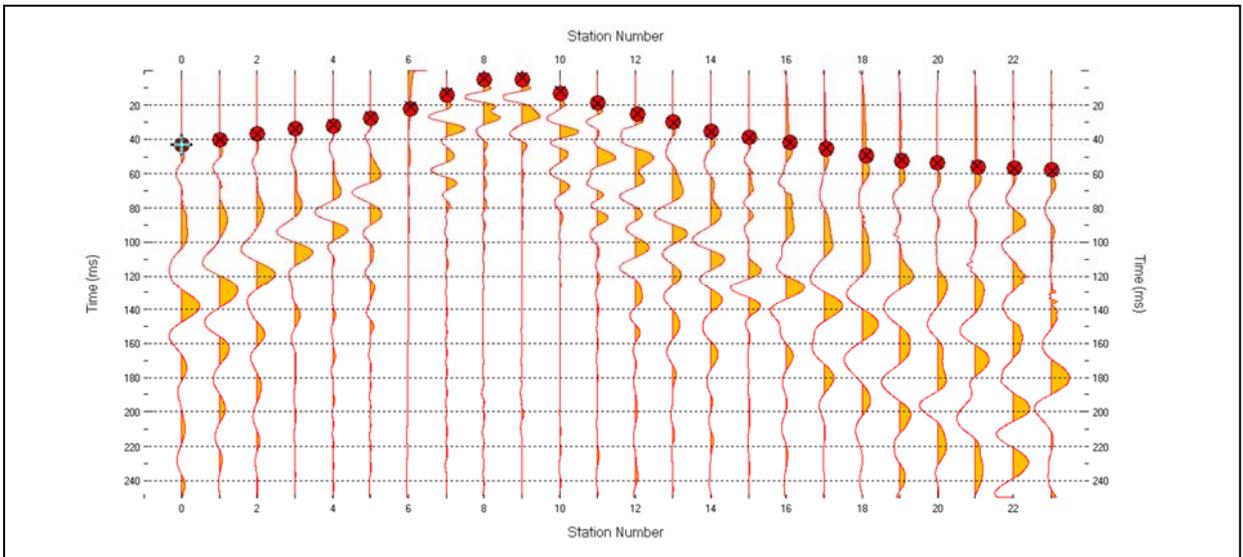
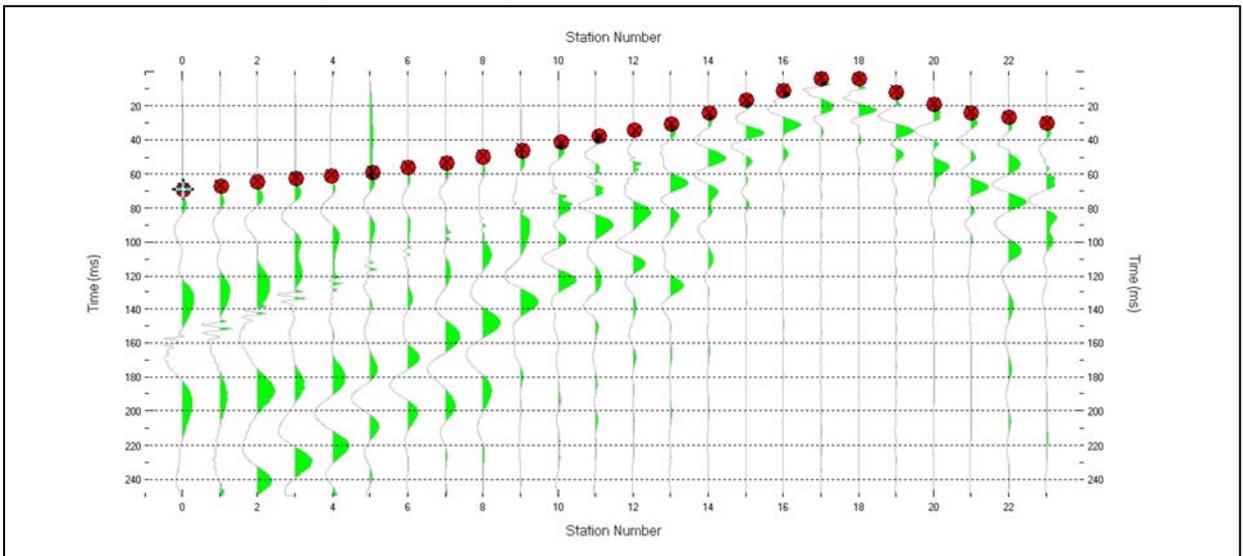


Figura 10: Sismogramma shot a 52,5 m di R5(SMT05)



5.3 Valutazione della escavabilità delle rocce

Per escavabilità o *rippabilità* si intende la facilità con cui un terreno o una roccia possono essere scavati meccanicamente e dipende, secondo la letteratura tecnica, da diversi fattori della roccia quali la resistenza a compressione monoassiale, il grado di fratturazione, la spaziatura delle discontinuità, la velocità di propagazione delle onde sismiche, le caratteristiche delle discontinuità (apertura, continuità, grado di alterazione... etc) nonché dalle caratteristiche proprie dei mezzi di scavo.

Il *ripping* è di solito eseguito da un mezzo meccanico (dozer) opportunamente attrezzato e le cui dimensioni sono determinate dalla durezza e compattezza dei materiali da abbattere. La roccia che risultasse troppo difficile per essere strappata a causa della mancanza di superfici interne di debolezza, viene generalmente frammentata con altri metodi (tra cui l'uso del martello demolitore e l'uso dell'esplosivo) e per questo definita "roccia da mina".

In genere, la *rippabilità* può essere desunta direttamente dal valore della velocità delle onde sismiche superficiali misurate in sito attraverso la prospezione sismica a rifrazione (onde P, longitudinali). Tale metodo risulta forse il più speditivo ed esaustivo poiché indirettamente tiene conto anche dei altri fattori e caratteristiche della roccia sopracitati.

In letteratura sono disponibili numerosi studi volti a correlare la velocità delle onde sismiche con le caratteristiche di scavabilità e *rippabilità* degli ammassi rocciosi. Il più conosciuto è quello sintetizzato nella tabella riportata nel "*Handbook of Ripping*"¹ della Caterpillar che però generalmente risulta eccessivamente "ottimista", nel senso che, ad esempio, ammassi rocciosi con velocità sino a 2200 m/s sono definiti *rippabili*, quando in realtà richiedono l'uso di martello demolitore.

Una ricerca approfondita nella letteratura internazionale, ha permesso di rintracciare correlazioni alternative che, nella pratica risultano più realistiche, soprattutto considerate le attrezzature normalmente utilizzate nelle nostre zone. Esse sono riportate nelle tabelle seguenti e sono quelle utilizzate per le valutazioni successive, permettendo la divisione degli ammassi rocciosi presenti nelle aree indagate nelle seguenti classi:

- A. $V_p < 600$ m/s: ammasso roccioso scavabile;
- B. $600 < V_p < 1000$ m/s: ammasso facilmente *rippabile*;
- C. $1000 < V_p < 1400$ m/s: ammasso *rippabile* con difficoltà;
- D. $V_p > 1400$ m/s: ammasso non *rippabile* (indispensabile l'uso di martello demolitore).

A titolo esaustivo si riportano anche la correlazione utilizzata dal **California Department of Transportation**, che risulta *leggermente più ottimista in termini di scavabilità*:

Velocity (m/s)	Rippability
< 1050	Easily Ripped
1050 – 1500	Moderately Difficult
1500 – 2000	Difficult Ripping / Light Blasting
> 2000	Blasting Required

¹twelfth edition - February 2000 - Caterpillar inc- Peoria , Illinois

6 TOMOGRAFIA ELETTRICA

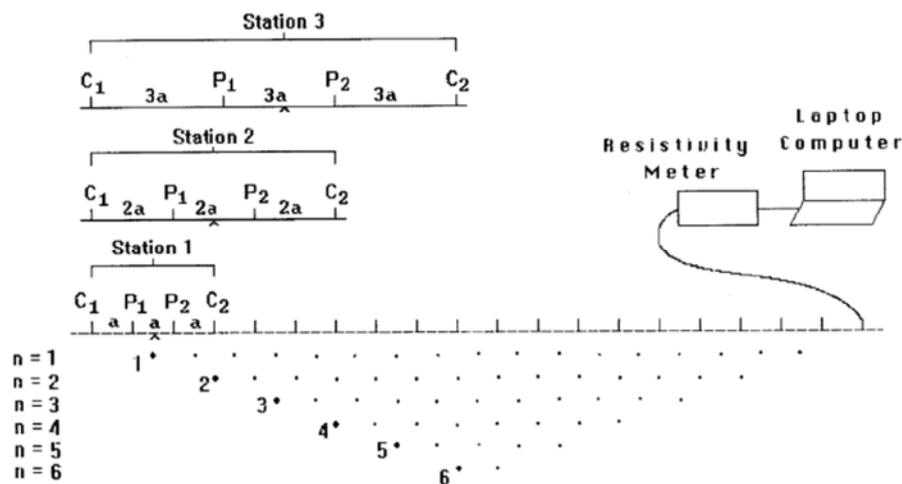
6.1 Metodologia impiegata, strumentazione e software

6.1.1 Tecnica e parametri utilizzati

La scopo dei metodi geofisici è quello di ottenere informazioni sulla natura e struttura del sottosuolo attraverso una serie di misure opportunamente effettuate in superficie. Il metodo utilizzato in questa indagine ricade fra i metodi geoelettrici "attivi", cioè quelli che utilizzano correnti elettriche artificialmente immesse nel terreno, con l'intento di misurare la resistività apparente degli strati attraversati dalla corrente elettrica.

La tecnica tomografica si compone di uno stendimento costituito nel caso specifico da un massimo di 48 elettrodi posti ad un'interdistanza costante l'uno dall'altro, che vengono gestiti automaticamente dallo strumento di misura e commutati alternativamente come elettrodi di corrente e di misura di differenza di potenziale (d.d.p.).

La metodologia permette l'acquisizione di una considerevole quantità di dati sulla resistività "apparente", rappresentativi sia delle variazioni laterali, che verticali lungo il profilo così da generare una Tomografia Elettrica lungo una linea sul terreno.



L'utilizzo appropriato dei programmi d'inversione consente l'elaborazione delle sezioni di resistività in grado di riprodurre accuratamente le variazioni del parametro fisico. La resistività rappresenta una proprietà fisica molto importante, poiché dipende da vari fattori quali, la natura dei terreni e delle rocce, la saturazione dell'acqua, la porosità della roccia, e tutte le anomalie locali generate da strutture localizzate come cavità, corpi di discarica, tracce di dispersione d'inquinanti, etc..

La **profondità d'esplorazione** è variabile secondo il dispositivo e della risoluzione richiesta; mediamente è pari a circa 1/5 della lunghezza dello stendimento.

6.1.2 Geometria delle acquisizioni

Per ciascun stendimento sono state impiegate tre geometrie di acquisizione, come di seguito specificato:

- Quadripolo di Wenner
- Quadripolo di Wenner Schlumberger
- Quadripolo Dipolo-Dipolo

Ogni metodo utilizzato ha delle caratteristiche proprie e come tale tende meglio a rappresentare specifiche strutture presenti nel sottosuolo. In particolare:

- Il quadripolo di Wenner (di seguito W) presenta caratteristiche per il quale risulta maggiormente idoneo nell'investigazione di strutture orizzontali (quali quelle sedimentarie o laviche).
- Il quadripolo di Wenner-Schlumberger (di seguito WS) risulta essere un buon compromesso per l'investigazione sia di strutture orizzontali che verticali (faglie, dicchi, cavità),
- Il quadripolo Dipolo-Dipolo (di seguito DD) è prevalentemente idoneo nell'investigazione di strutture verticale (faglie, dicchi, cavità), mentre risulta essere poco adatto in presenza di strutture orizzontali, quali quelle sedimentarie.

Il W e il WS si distinguono anche per un minore "rumore" delle acquisizioni, ossia una miglior rapporto tra segnale acquisito e disturbo della misura, nonché per una maggiore capacità di investigazione in profondità.

6.1.3 Strumentazione e attrezzatura utilizzata

La strumentazione utilizzata per lo studio è composta dai seguenti dispositivi:

- sistema di misurazione ed acquisizione formato da un georesistivimetro completo di unità di energizzazione ed un computer per la gestione automatica delle acquisizioni (apparecchiatura per tomografia elettrica Mod. Polares della PASI) che fornisce la corrente da immettere nel sottosuolo con una tensione in uscita di picco di $\pm 700V$ ed una corrente variabile fra 5 e 2.000 mA.;
- n° 2MUX per la gestione automatica delle acquisizioni in cui gli elettrodi collegati all'unità di acquisizione ed energizzazione sono in grado di funzionare alternativamente come elettrodi di corrente e di potenziale;
- N° 2 cavi per 16 elettrodi *cabla A-B-M-N* con connettore per MUX
- 32 elettrodi in acciaio inox



6.1.4 Elaborazione dei dati e software

L'**elaborazione tomografica** consiste, nella suddivisione dello spazio bidimensionale della sezione in celle secondo uno schema definito con riferimento alla distribuzione e alla dispersione dei dati. Per ognuna delle celle è calcolata la resistività apparente che soddisfa il complesso delle misure eseguite, su questo schema è applicato il metodo d'ottimizzazione dei minimi quadrati modificando il modello di partenza, in maniera iterativa in modo che si riduca la differenza tra i valori di resistività apparente calcolati e quelli effettivamente misurati.

Il **grafico** che ne deriva è una sezione bidimensionale in cui le zone ad uguale resistività sono raffigurate da aree caratterizzate dal medesimo colore. Le tinte blu rappresentano resistività basse, poi si passa a colori che vanno dal verde al giallo e infine al rosso che rappresenta litologie a resistività via via sempre più alte.

Le misure sperimentali sono state elaborate mediante uno specifico programma di interpretazione tomografica denominato "ZONDRES2D". Il programma d'interpretazione tomografica ZONDRES2D elabora un modello bidimensionale di resistività del sottosuolo che soddisfa i valori sperimentali acquisiti con le varie interdistanze dello stendimento.

6.2 Valori di resistività di letteratura

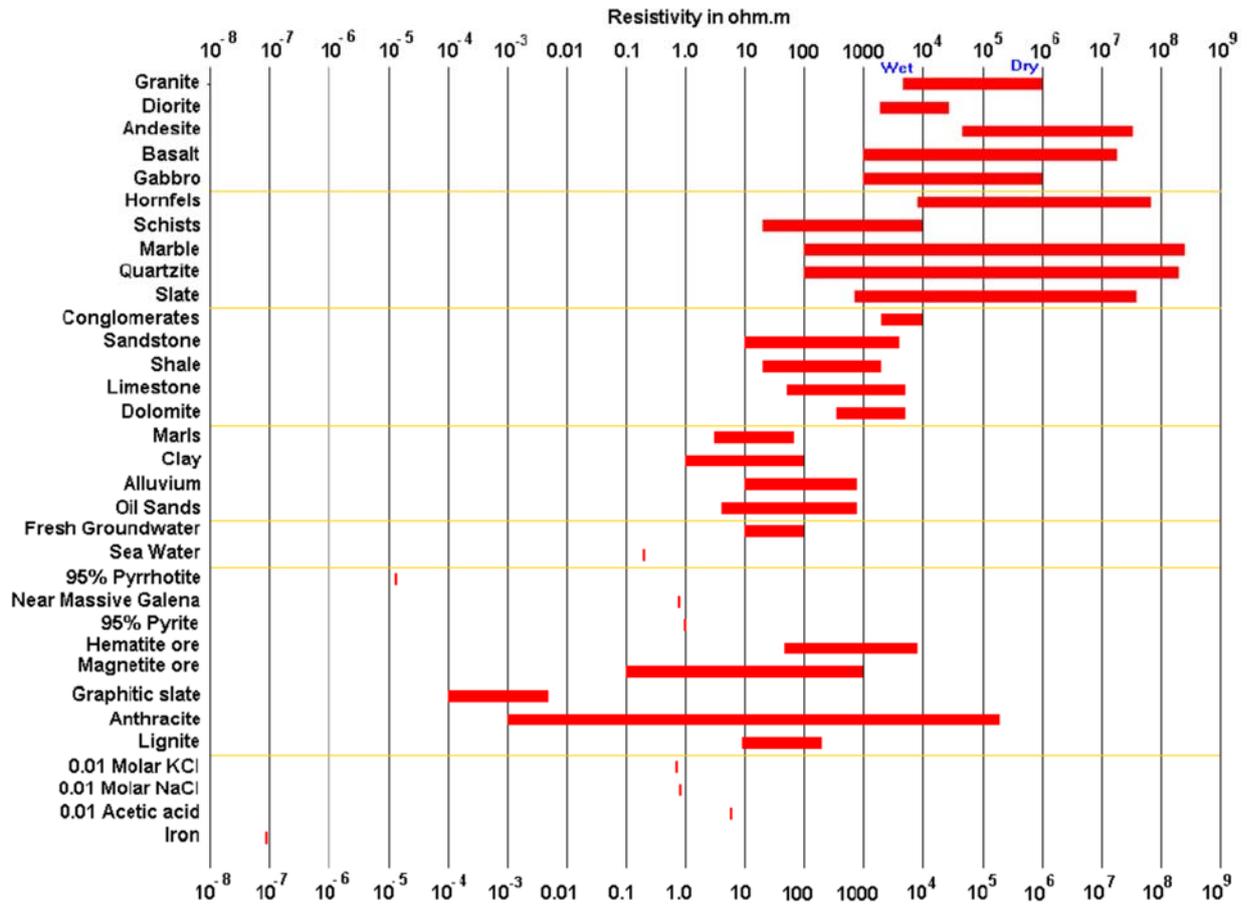
La resistività rappresenta una proprietà fisica molto importante poiché dipende da vari fattori quali, la natura dei terreni e delle rocce, la saturazione dell'acqua, la porosità della roccia, e tutte le anomalie locali generate da strutture localizzate come cavità, corpi di discarica, tracce di dispersione d'inquinanti etc. Nella **tabella 13** e nella **Figura 1** si riporta il range di resistività dei materiali geologici tratta rispettivamente da Telford *et al.* del 1990 e da Tutorial : 2-D and 3-D electrical imaging surveys by Dr. M.H.Loke (1996-2015), utili per un raffronto con i valori misurati lungo le sezioni di resistività.

Per quanto riguarda l'eventuale presenza di vuoti e cavità naturali si ricorda che questi in genere sono identificati con delle anomalie di elevata resistività rispetto ai valori dei terreni circostanti, salvo che non siano colme d'acqua (v. in cavità carsiche) e in questi casi le anomalie possono assumere un valore di resistività minore rispetto all'ammasso roccioso circostante.

Tabella 12. Valori di resistività di rocce, terreni e acqua

Litotipi - terreni	Resistività elettrica (Ohm·m)	
	Valore minimo	Valore massimo
Alluvioni	10	800
Argilla (acqua dolce)	5	15
Argilla (acqua salata)	1	10
Ghiaia, ciottoli e massi	100	500
Limo	8	20
Sabbia asciutta	80	200
Sabbia satura d'acqua dolce	30	50
Sabbia satura d'acqua salata	10	30
Sabbia e olio	4	800
Torba	8	20
Litotipi – rocce sedimentarie		
	Valore minimo	Valore massimo
Arenaria	1	$6,4 \cdot 10^8$
Argillite	10	800
Calcere poroso	50	$5 \cdot 10^3$
Calcere compatto	10^3	10^7
Conglomerato	$2 \cdot 10^3$	10^4
Dolomia	350	$8 \cdot 10^3$
Duomo salino	30	$6 \cdot 10^5$
Marna	3	70
Carbone	0,70	2,0
Litotipi – rocce ignee		
	Valore minimo	Valore massimo
Andesite	150	$4,5 \cdot 10^4$
Basalto	10	$1,3 \cdot 10^7$
Riolite	100	$5 \cdot 10^4$
Granito	300	10^6
Tufo	500	10^5
Litotipi – rocce metamorfiche		
	Valore minimo	Valore massimo
Anfibolite	50	10^4
Argilloscisto (Ardesia)	600	$4 \cdot 10^7$
Gneiss	$7 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^6$
Marmo	100	$2 \cdot 10^8$
Quarzite	10	$2 \cdot 10^8$
Scisto	20	10^4
Scisto grafítico	10	100
Skarn	250	$2 \cdot 10^8$
Resistività elettrica (Ohm·m)		
Acqua	Valore minimo	Valore massimo
Dolce	7	30-50
Salmastra	0,2	0,5
Di mare	-	< 0,2
Salamoia	-	0,04

Figura 1. Valori di resistività di rocce, terreni e minerali



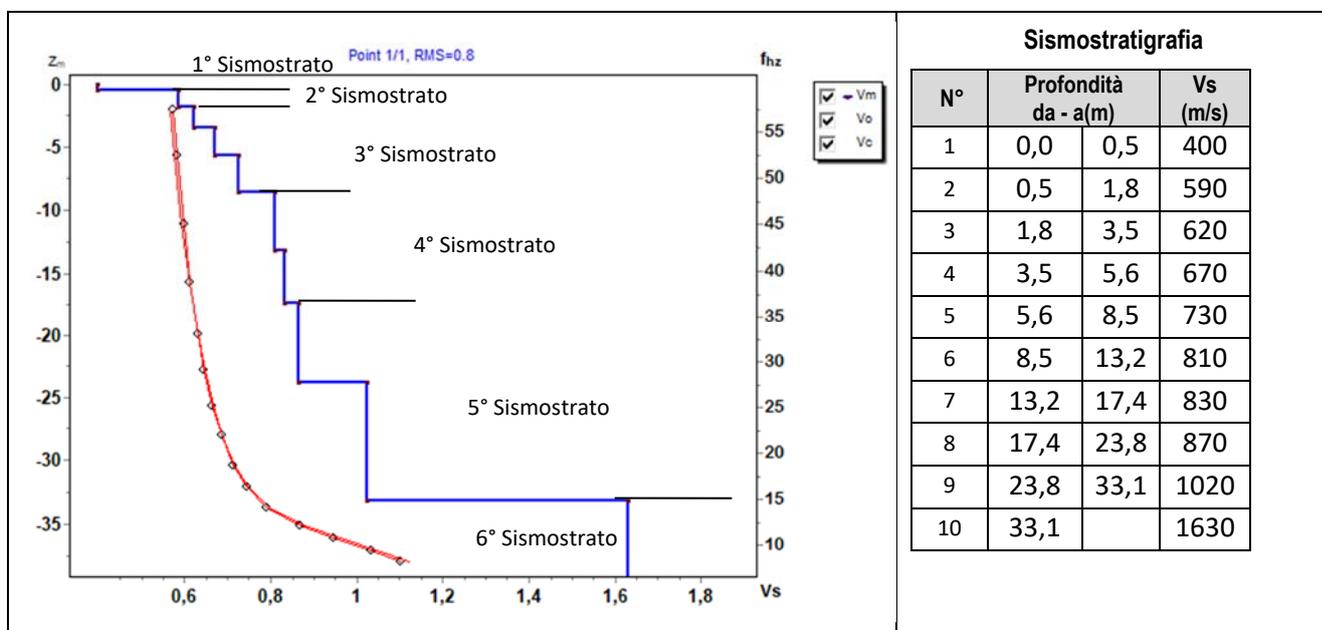
6.3 RISULTATI INDAGINI DEL SITO SMT01

6.3.1 MASW M1 (SMT01)

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M1, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0 – 0,5	1° sismostrato con Vs di 400 m/s , Terre molto addensate
0,5 – 1,8	2° sismostrato con Vs di 590 m/s , Roccia tenera e/o intensamente fratturata
1,8 – 8,5	3° sismostrato con Vs tra 620 e 730 m/s , Roccia tenera e/o intensamente fratturata
8,5 – 17,4	4° sismostrato con Vs tra 810 e 830 m/s , Substrato roccioso intensamente fratturato
17,4 – 33,1	5° sismostrato con Vs tra 870 e 1020 m/s , Substrato roccioso fratturato
>33,1	6° sismostrato con Vs di 1630 m/s , Substrato roccioso sano

MASW M1 - PROFILO Vs



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

h_i spessore dell'*i*-esimo strato;

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

N numero di strati;

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

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **8,5 m** ($V_s > 800$ m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **8,5 m** di profondità dal p.c. è pari a: $V_{s,eq} = 8,5/0,0133 = 638$ m/s che dà luogo ad una categoria B, ossia:

Categoria B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Nella **tabella 4** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Tabella 4. Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G ₀	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0-0,5	terre	1.600	800	400	0,33	686	82	255	686
2	0,5-1,8	10%	1.700	1.180	590	0,33	1.579	158	588	1.579
3	1,8-8,5	15%	1.800	1.350	675	0,33	2.187	328	824	2.187
4	8,5-17,4	20%	2.000	1.640	820	0,33	3.589	718	1.344	3.589
5	17,4-33,1	25%	2.100	1.890	945	0,33	5.001	1.250	1.873	5.001
6	>33,1	30%	2.200	3.260	1.630	0,33	15.583	4.675	5.845	15.583

Indicazioni per la determinazione di N_{spt} e parametri geotecnici

Sulla base delle correlazioni fornite nei precedenti paragrafi è possibile stimare una correlazione tra Vs e N_{spt}, i parametri di resistenza al taglio e di deformazione. Nel caso in esame trattandosi di materiali a granulometria grossolana si consiglia di impiegare la correlazione di Imai (1977) di seguito indicata.

$$N_{SPT} = \left(\frac{V_s}{80,6} \right)^{3,021} \text{ valida per i terreni prevalentemente sabbiosi - Imai (1977)}$$

6.3.2 Rifrazione R1 e Tomografia elettrica T1

Nella sezione di sismica a rifrazione **R1** è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento R1	ONDE P	
	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 2,0/4,0	400-1000
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 2,0/4,0 a 8,0/12,0	1000-1800
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 8,0/12,0 a 13,0/16,0	1800-2200
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	Da 13,0/16,0 a 20,0/24,0	2200-2800

Dall'esame della sezione si riconoscono 4 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s ai 2800 m/s. Il sismostrato A caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabile) presenta spessori compresi tra 2,0 e 4,0 metri da p.c e un andamento quasi parallelo al piano campagna. Il sismostrato B caratterizzato da rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta leggere variazioni di spessore e si rileva fino a profondità comprese tra 8,0 e 12,0 m dal p.c. Il sismostrato C composto da rocce poco fratturate e sane (rippabili con difficoltà) si osserva invece fino a profondità comprese tra 13,0 e 16,0 m di profondità dal p.c. Il sismostrato D rappresenta invece un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità medio-alte e si riscontra fino alla massima profondità di indagine, ovvero 20,0/24,0 m dal p.c. Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento abbastanza graduale delle Vp con leggere variazioni di equidistanza generate dalla maggiore o minore densità del materiale roccioso.

In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 8,0 e 12,0 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a profondità comprese tra 13,0 e 16,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

La sezione di tomografia elettrica T1, realizzata con 3 differenti geometrie di acquisizione (Wenner, Wenner Schulmberger e Dipolo Dipolo) mette in luce la presenza di terreni caratterizzati da resistività medie²; nello specifico si rileva di un primo elettrostrato (ES1) di spessore pari a circa 8,0/12,0 m riconducibile alla coltre di terreni superficiali e rocce tenere o intensamente fratturate, caratterizzati da resistività media con valori tra 50 e 180 $\Omega \cdot m$; segue un secondo elettrostrato (Es2) caratterizzato da valori bassi di resistività (tra 16 e 50 $\Omega \cdot m$) riconducibile alla presenza del substrato roccioso.

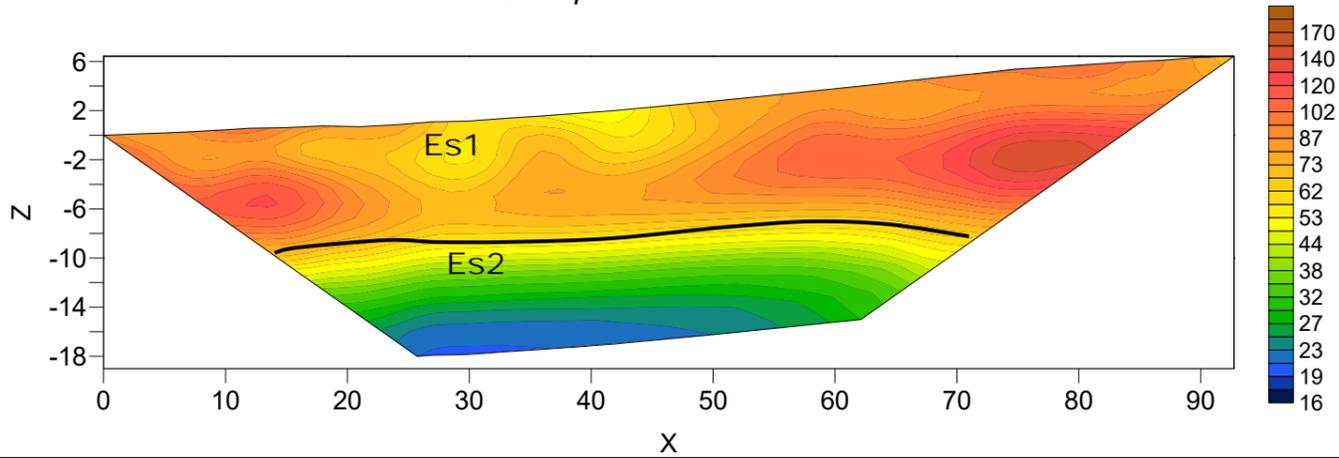
Il confronto con il grafico della sismica a rifrazione mette in luce che non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità).

² I termini di resistività "bassa" e "media" utilizzati nel seguito delle descrizioni si riferiscono al confronto tra i differenti stendimenti e al contesto litologico che vede la presenza di rocce (daciti, riodaciti dalla SMT1 a SMT4 e da calcareniti in SMT5) caratterizzate in generale da valori bassi di resistività (

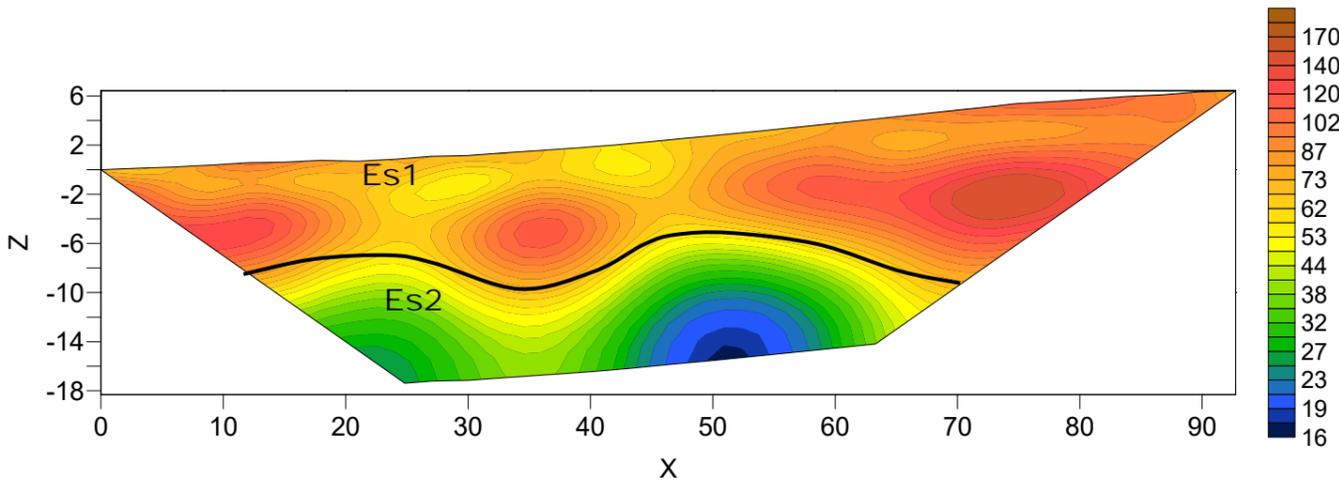
Stendimento di tomografia elettrica: T1-Lungh: 93,0 m - Orientazione: NE-SW

Scala Grafica - Quota relativa 0,00= 556,56 m slm

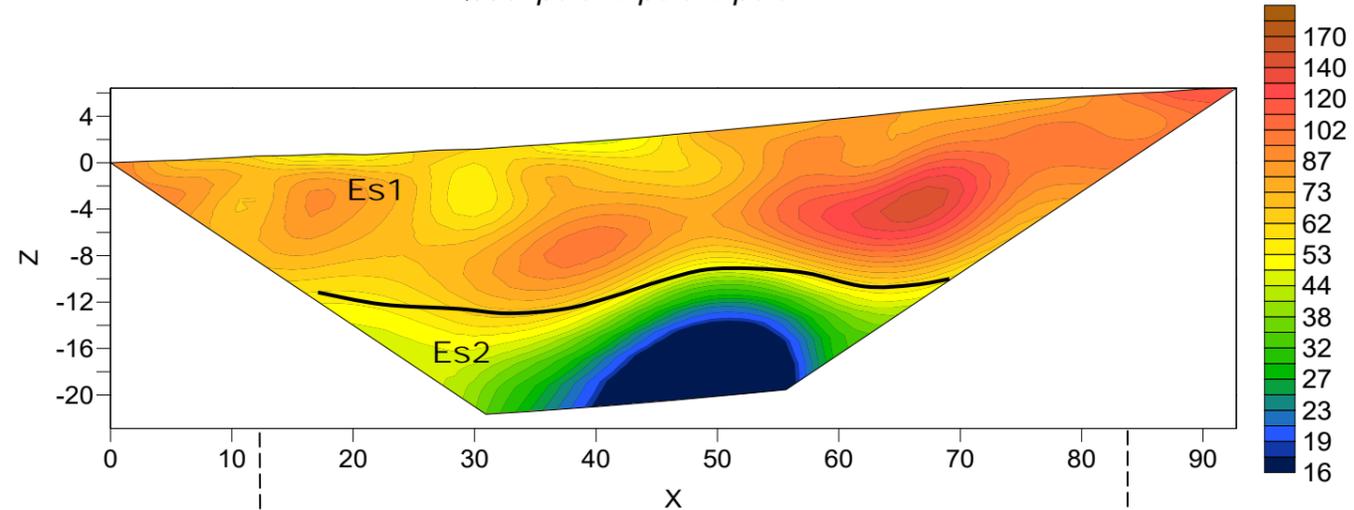
Quadripolo: Wenner



Quadripolo: Wenner-Schulberg



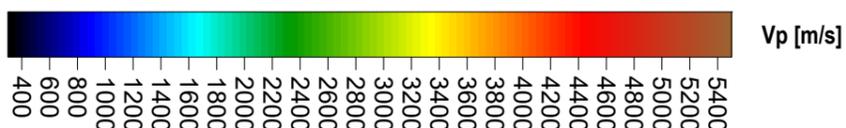
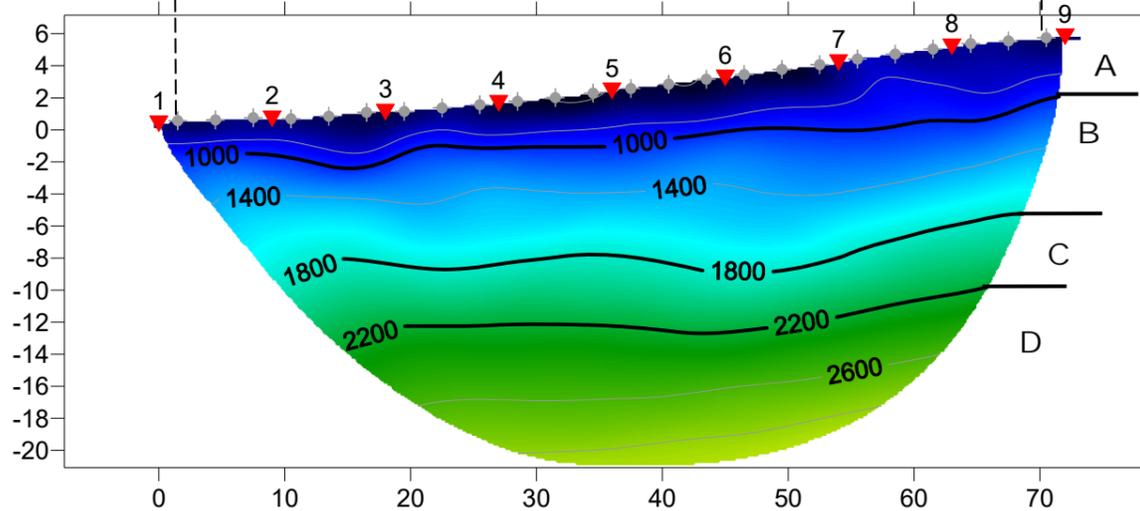
Quadripolo: Dipolo-Dipolo



Base Sismica R1 - Rifrazione in onde P - Lunghezza: 69,0 m Orientazione: NE-SW

Quota relativa 0,00= 556,56 m slm

SMT01-R1 RMS error 1.7%=0.44ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.5% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



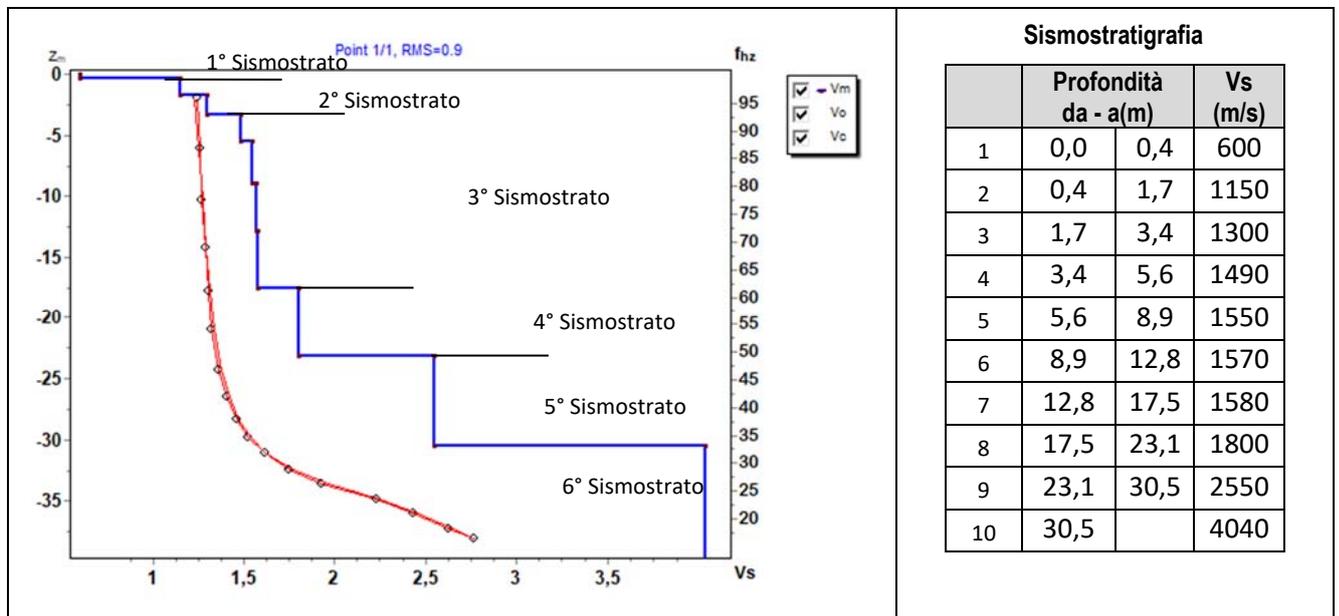
6.4 RISULTATI INDAGINI DEL SITO SMT02

6.4.1 MASW M2 (SMT02)

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M2, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 – 0,4	1° sismostrato con Vs di 600m/s , Terre molto addensate
0,4 – 3,4	2° sismostrato con Vs tra 1150 e 1300 m/s , Substrato roccioso da debolmente fratturato a sano
3,4 – 17,5	3° sismostrato con Vs tra 1490 e 1580 m/s Substrato roccioso sano
17,5 – 23,1	4° sismostrato con Vs di 1800 m/s , Substrato roccioso sano
23,1 – 30,5	5° sismostrato con Vs di 2550 m/s , Substrato roccioso sano
>30,5	6° sismostrato con Vs di 4040 m/s , Substrato roccioso sano

MASW M2 - PROFILO Vs



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

h_i spessore dell'*i*-esimo strato;

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

N numero di strati;

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

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **0,4 m** ($V_s > 800$ m/s), che dà luogo ad una Categoria A di sottosuolo, ossia:

Categoria A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Nella **tabella 5** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Tabella 5. Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G_0	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0-0,4	terre	1.800	1.200	600	0,33	1.726	208	647	1.726
2	0,4-3,4	15%	1.900	2.450	1.225	0,33	7.600	1.140	2.854	7.600
3	3,4-17,5	20%	2.000	3.070	1.535	0,33	12.563	2.513	4.717	12.563
4	17,5-23,1	25%	2.100	3.600	1.800	0,33	18.143	4.536	6.806	18.143
5	23,1-30,5	30%	2.200	5.100	2.550	0,33	38.148	11.445	14.308	38.148

Indicazioni per la determinazione di N_{spt} e parametri geotecnici

Sulla base delle correlazioni fornite nei precedenti paragrafi è possibile stimare una correlazione tra Vs e N_{spt}, i parametri di resistenza al taglio e di deformazione. Nel caso in esame trattandosi di materiali a granulometria grossolana si consiglia di impiegare la correlazione di Imai (1977) di seguito indicata.

$$N_{SPT} = \left(\frac{V_s}{80,6} \right)^{3,021} \text{ valida per i terreni prevalentemente sabbiosi - Imai (1977)}$$

6.4.2 Rifrazione R2 e Tomografia elettrica T2

Nella sezione di sismica a rifrazione **R2** è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento R2	ONDE P	
	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 1,0/2,0	400-1000
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 1,0/2,0 a 3,0/6,0	1000-1800
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 3,0/6,0 a 4,0/8,0	1800-2200
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	Da 4,0/8,0 a 20,0/22,0	2200-4800

Dall'esame della sezione si riconoscono 4 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s ai 4800 m/s. Il sismostrato A caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabile) presenta spessori molto ridotti compresi tra 1,0 e 2,0 metri da p.c e un andamento parallelo al piano campagna. Il sismostrato B caratterizzato da rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta leggerissime variazioni di spessore e si rileva fino a profondità comprese tra 3,0 e 6,0 m dal p.c. Il sismostrato C composto da rocce poco fratturate e sane (rippabili con difficoltà) si osserva invece fino a profondità comprese tra 4,0 e 8,0 m di profondità dal p.c. Il sismostrato D rappresenta invece un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità alte e si riscontra fino alla massima profondità di indagine, ovvero 20,0/22,0 m dal p.c. Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento graduale delle Vp con leggere variazioni di equidistanza generate dalla maggiore o minore densità del materiale roccioso.

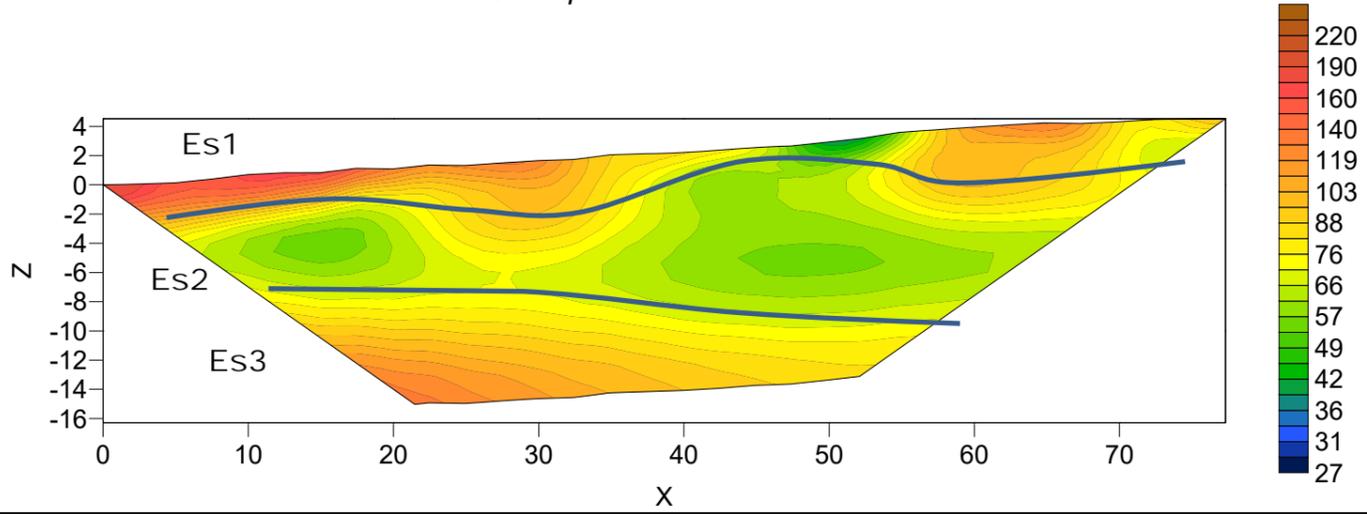
In termini di grado di rippabilità si evidenzia che già a partire da profondità comprese tra 3,0 e 6,0 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a profondità comprese tra 4,0 e 8,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

La sezione di tomografia elettrica T2, realizzata con 3 differenti geometrie di acquisizione (Wenner, Wenner Schulmberger e Dipolo Dipolo) mette in luce la presenza di terreni caratterizzati da resistività medie; nello specifico si rileva la presenza di un primo elettrostrato (ES1) di spessore pari a circa 3,0/4,0 m riconducibile alla coltre di terreni superficiali con valori tra 80 e 220 $\Omega \cdot m$, segue un secondo elettrostrato (Es2) sino a circa 8 m di profondità caratterizzato da valori inferiori di resistività (tra 40 e 80 $\Omega \cdot m$) riconducibile alla presenza di rocce tenere/fratturate e chiude la sequenza un terzo elettrostrato caratterizzato da valori crescenti di resistività riconducibile al substrato roccioso.

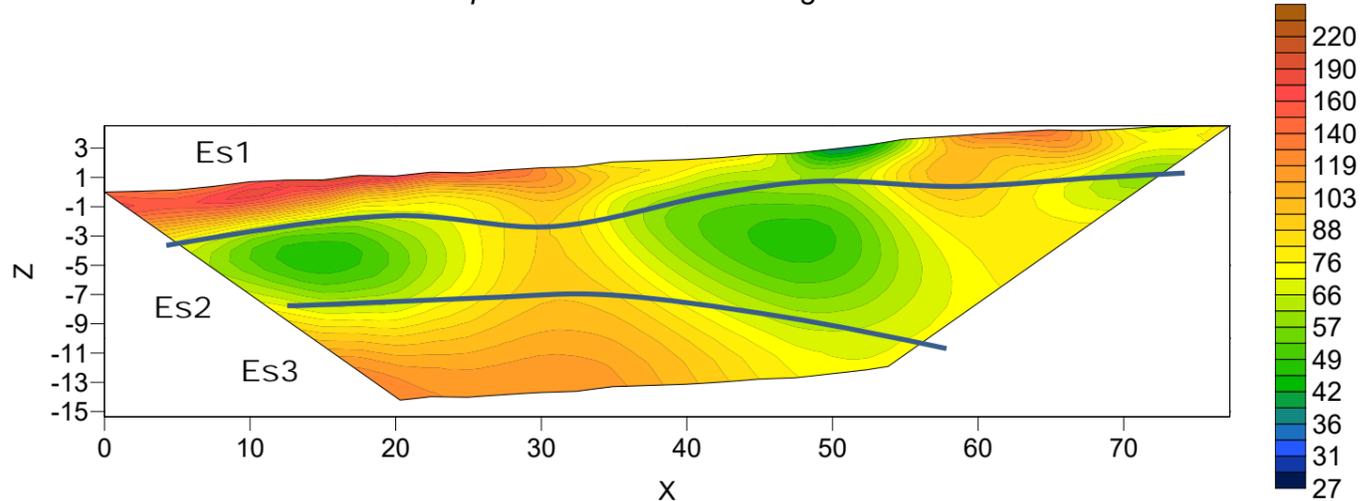
Il confronto con il grafico della sismica a rifrazione mette in luce che non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità).

Stendimento di tomografia elettrica: T2-Lungh: 77,50 m - Orientazione: N-S
 Scala Grafica - Quota relativa 0,00= 430,00 m slm

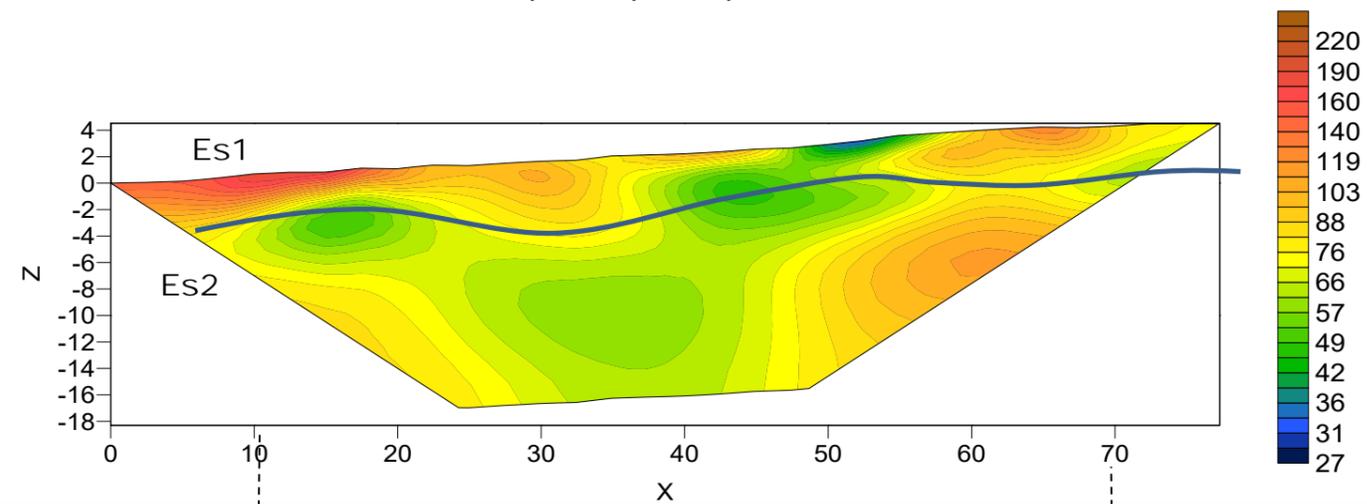
Quadripolo: Wenner



Quadripolo: Wenner-Schulmberger

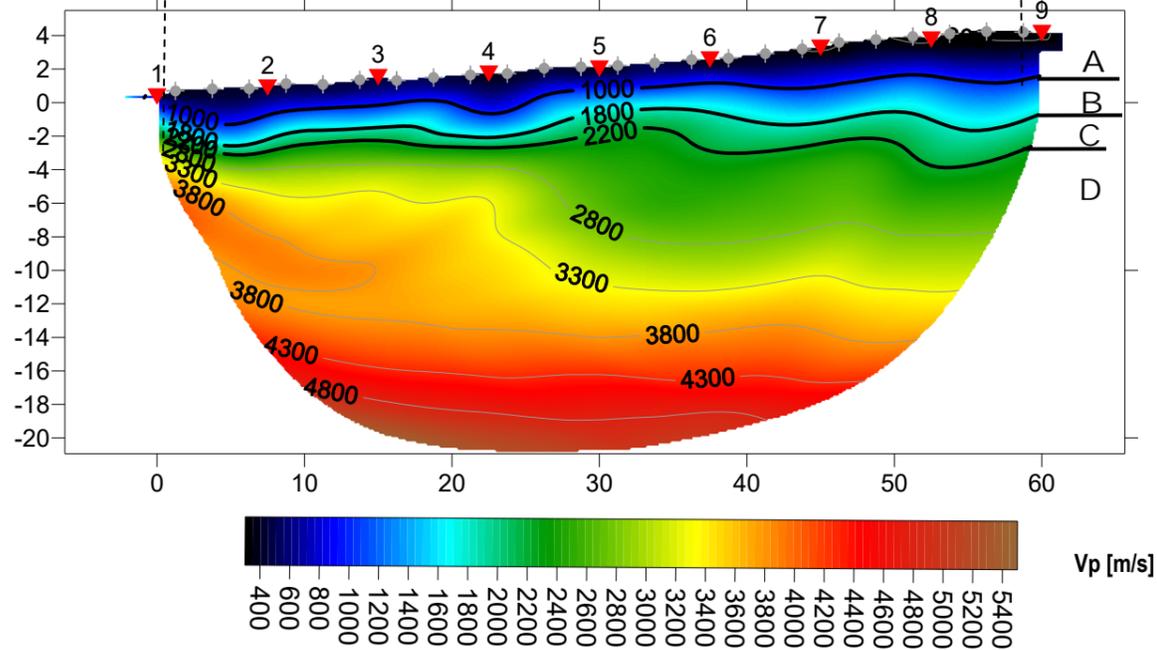


Quadripolo: Dipolo-Dipolo



Base Sismica R2 - Rifrazione in onde P - Lunghezza: 57,50 m Orientazione: N-S
 Quota relativa 0,00= 430,00 m slm

SMT02-Ray RMS error 3.0%=0.50ms 20 WET itr. 50Hz Width 2.5% initial GRADIEN.T.GRD v. 4.01



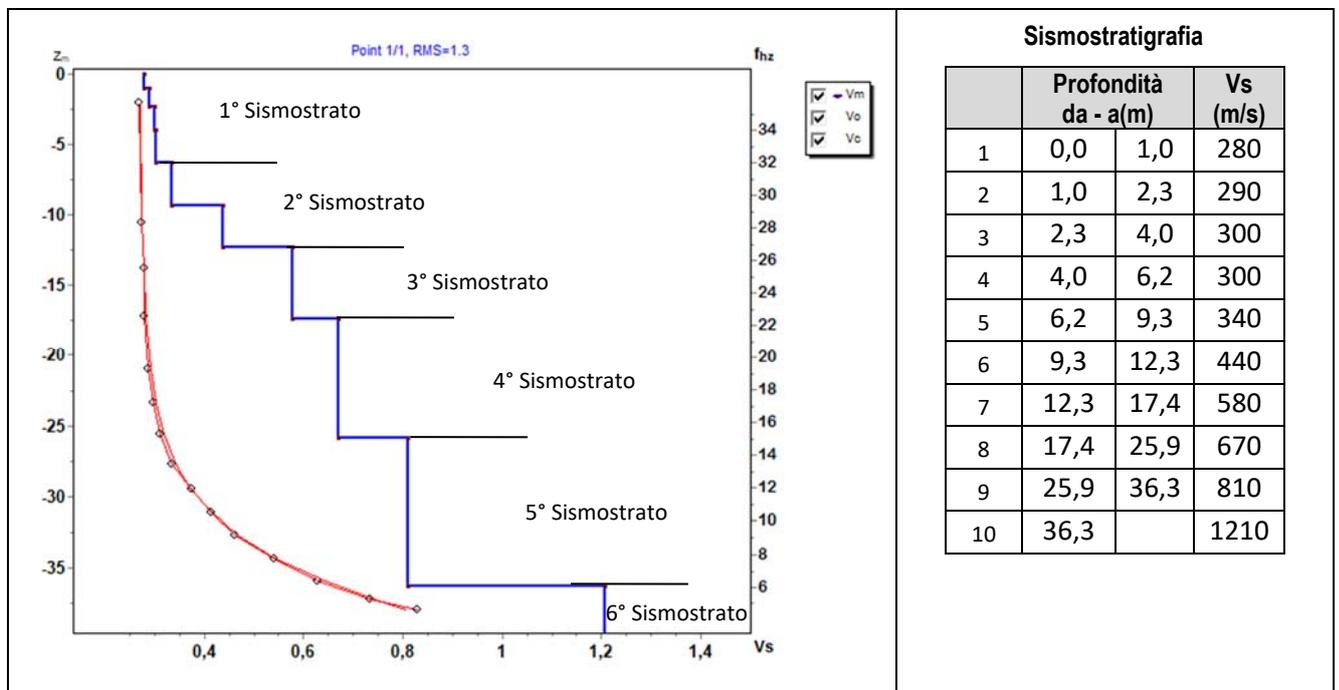
6.5 RISULTATI INDAGINI DEL SITO SMT03

6.5.1 MASW M3 (SMT03)

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M3, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 – 6,2	1° sismostrato con Vs tra 280 e 300 m/s , Terre poco addensate
6,2 – 12,3	2° sismostrato con Vs tra 340 e 440 m/s , Terre mediamente addensate
12,3 – 17,4	3° sismostrato con Vs di 580 m/s Roccia tenera e/o intensamente fratturata
17,4 – 25,9	4° sismostrato con Vs di 670 m/s , Roccia tenera e/o intensamente fratturata
25,9 – 36,3	5° sismostrato con Vs di 810 m/s , Substrato roccioso intensamente fratturato
>36,3	6° sismostrato con Vs di 1210 m/s , Substrato roccioso sano

MASW M3 - PROFILO Vs



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

h_i spessore dell'*i*-esimo strato;

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

N numero di strati;

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

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **25,9 m** ($V_s > 800$ m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **25,9 m** di profondità dal p.c. è pari a: **$V_{s,eq} = 25,9/0,0586 = 442$ m/s** che dà luogo ad una categoria B, ossia:

Categoria B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Nella **tabella 6** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Tabella 6. Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G ₀	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0-6,2	terre	1.600	580	290	0,33	363	44	137	363
2	6,2-12,3	terre	1.700	780	390	0,33	686	82	255	686
3	12,3-17,4	10%	1.900	1.160	580	0,33	1.706	171	637	1.706
4	17,4-25,9	15%	1.900	1.340	670	0,33	2.275	341	853	2.275
5	25,9-36,3	15%	2.000	1.620	810	0,33	3.501	525	1.314	3.501
6	>36,3	20%	2.100	2.420	1.210	0,33	8.198	1.640	3.079	8.198

Indicazioni per la determinazione di N_{spt} e parametri geotecnici

Sulla base delle correlazioni fornite nei precedenti paragrafi è possibile stimare una correlazione tra Vs e N_{spt}, i parametri di resistenza al taglio e di deformazione. Nel caso in esame trattandosi di materiali a granulometria grossolana si consiglia di impiegare la correlazione di Imai (1977) di seguito indicata.

$$N_{SPT} = \left(\frac{V_s}{80,6} \right)^{3,021} \text{ valida per i terreni prevalentemente sabbiosi - Imai (1977)}$$

6.5.2 Rifrazione R3 e Tomografia elettrica T3

Nella sezione di sismica a rifrazione **R3** è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento R3	ONDE P	
Sismostrati	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 10,0/11,0	400-1000
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 10,0/11,0 a 19,0/20,0	1000-1800
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 19,0/20,0 a 20,0/24,0	1800-2200

Dall'esame della sezione si riconoscono 3 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s ai 2200 m/s. Il sismostrato A caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabile) presenta spessori elevati compresi tra 10,0 e 11,0 metri da p.c e un andamento parallelo al piano campagna. Il sismostrato B caratterizzato da rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta anch'esso un andamento parallelo al piano campagna e leggerissime variazioni di spessore, si rileva fino a profondità comprese tra 19,0 e 20,0 m dal p.c. Il sismostrato C composto da rocce poco fratturate e sane (rippabili con difficoltà) si riscontra fino alla massima profondità di indagine, ovvero 20,0/24,0 m di profondità dal p.c. Dall'osservazione della sezione sismica si osservano nel complesso valori di V_p abbastanza bassi, riconducibili alla presenza di elevati spessori di terre, seguiti da rocce tenere e/o intensamente fratturate.

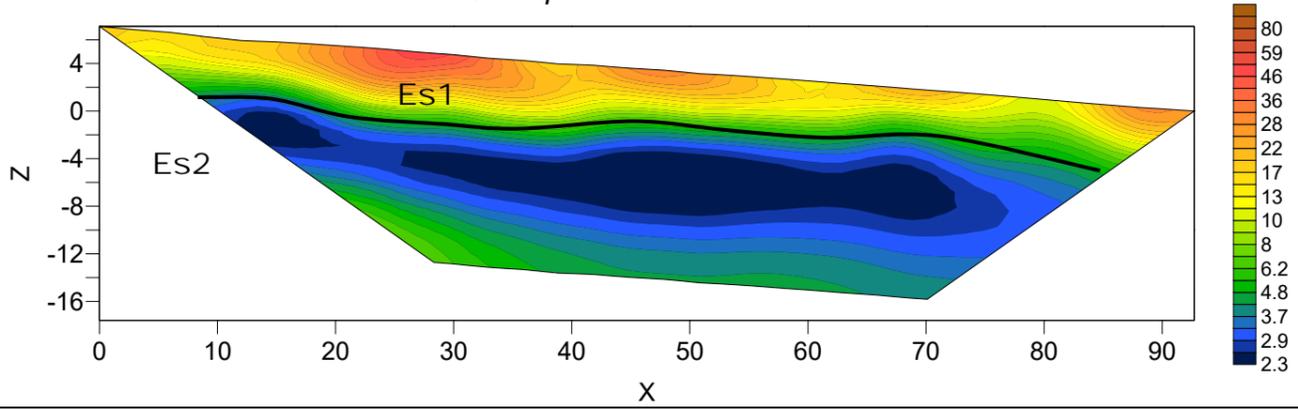
In termini di grado di rippabilità si evidenzia che tutti i terreni sono rippabili; in particolare fino a profondità comprese tra 19,0 e 20,0 m dal p.c i terreni risultano rippabili e, solo oltre tale profondità, si riscontrerà la presenza di materiale difficilmente rippabile.

La sezione di tomografia elettrica T3, realizzata con 3 differenti geometrie di acquisizione (Wenner, Wenner Schulmberger e Dipolo Dipolo) mette in luce la presenza di terreni caratterizzati da resistività medio bassa; nello specifico si distingue un primo elettrostrato (ES1) di spessore pari a circa 6,0 m riconducibile alla coltre di terreni superficiali con valori tra 10 e 80 $\Omega \cdot m$, segue un secondo elettrostrato (Es2) caratterizzato da valori molto bassi di resistività (tra 2 e 10 $\Omega \cdot m$) riconducibile alla presenza di terreni e rocce alternati (argille?) e chiude la sequenza un terzo elettrostrato (ES3) ben individuabile nella configurazione Dipolo-Dipolo caratterizzato da valori crescenti di resistività riconducibile al substrato roccioso.

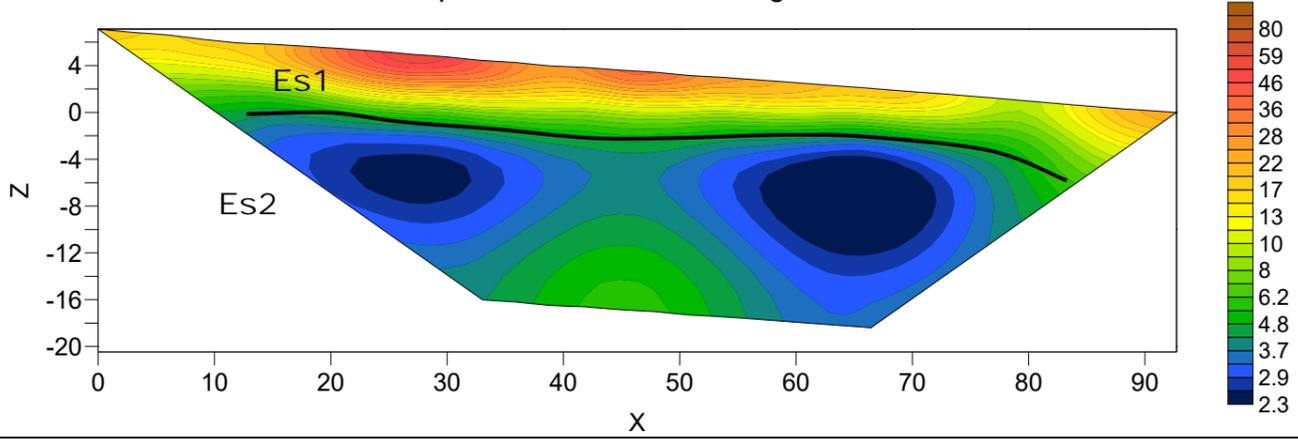
Il confronto con il grafico della sismica a rifrazione mette in luce che non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità).

Stendimento di tomografia elettrica: T3-Lungh: 93,0 m - Orientazione: E-W
 Scala Grafica - Quota relativa 0,00= 301,19 m slm

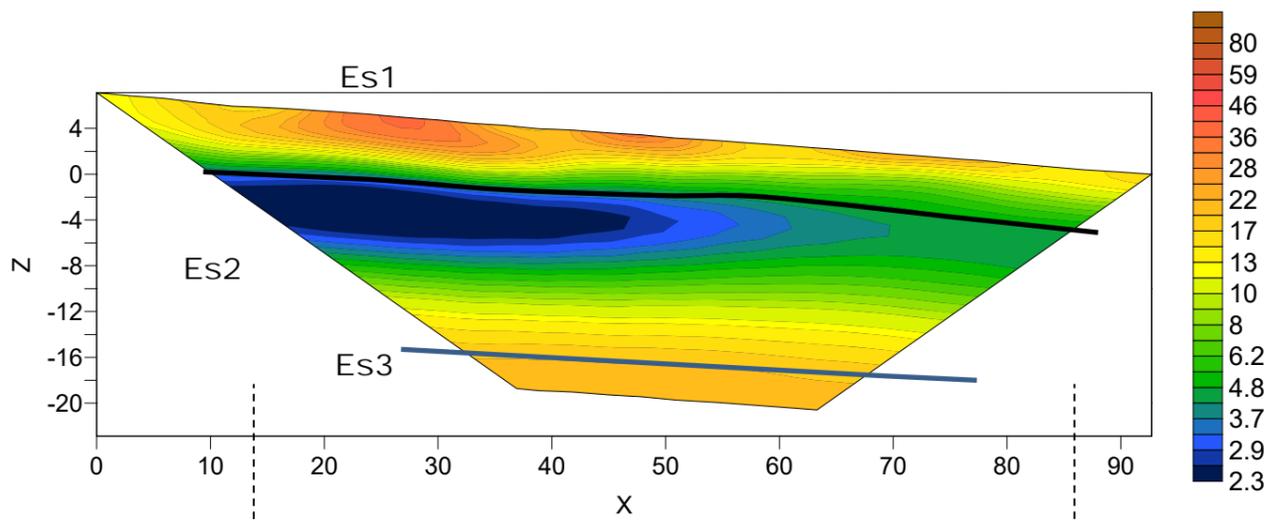
Quadripolo: Wenner



Quadripolo: Wenner-Schulmberger

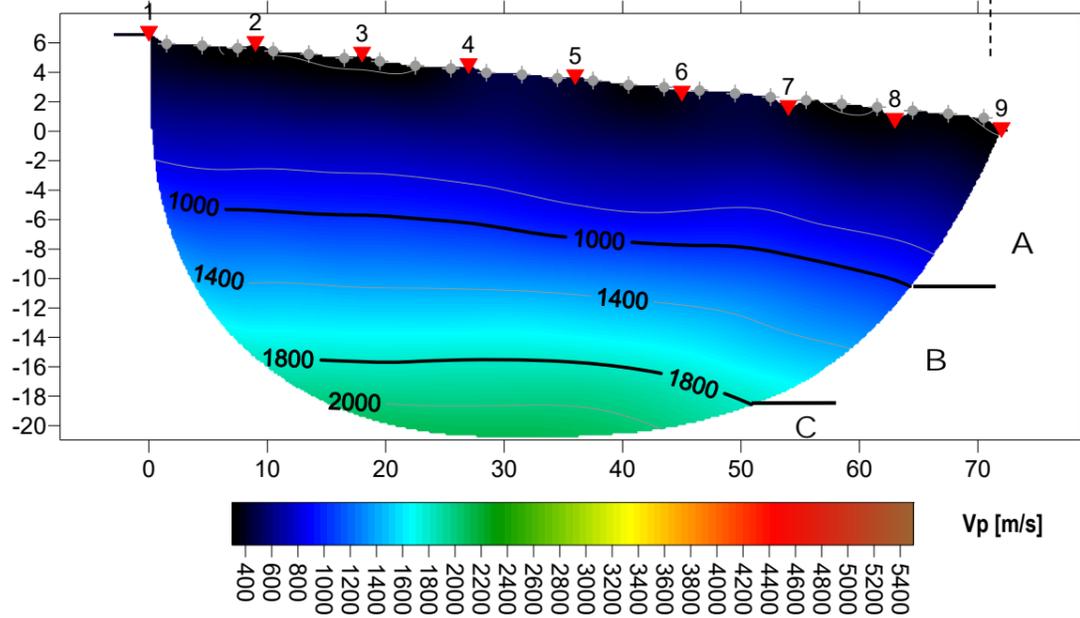


Quadripolo: Dipolo-Dipolo



Base Sismica R3: - Rifrazione in onde P – Lunghezza: 69,0 m - Orientazione: E-W
 Quota relativa 0,00= 301,19 m slm

SMT03-Ray RMS error 1.9%=0.91ms 20 WET itr. 50Hz Width 9.0% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



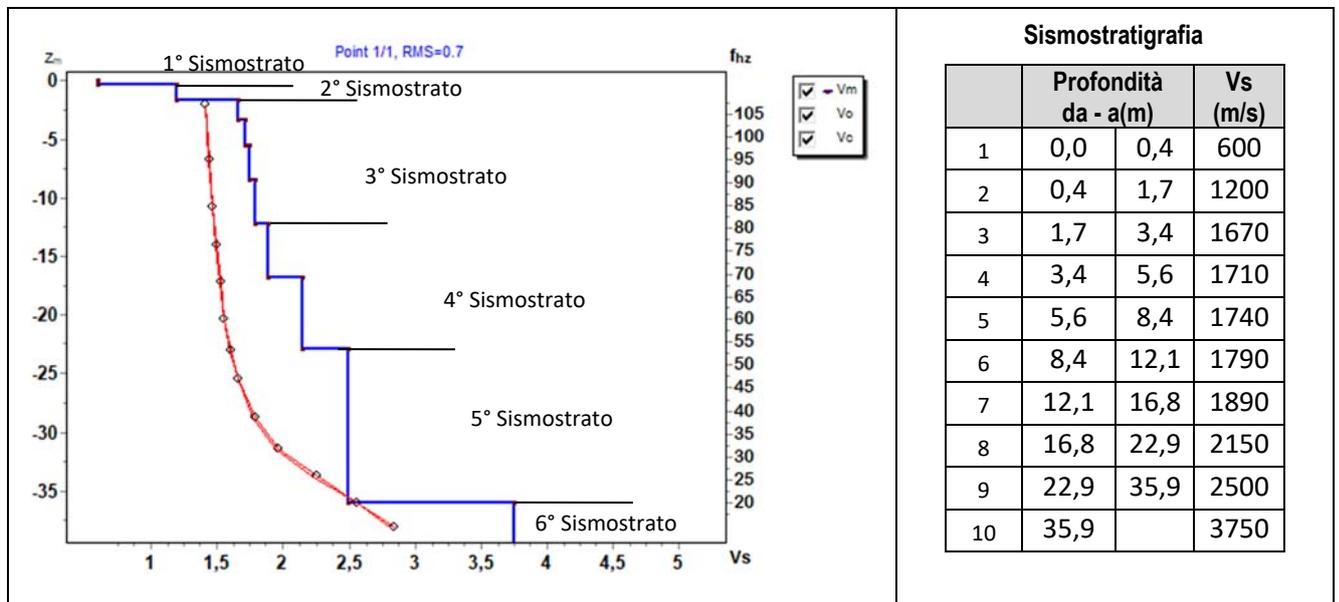
6.6 RISULTATI INDAGINI DEL SITO SMT04

6.6.1 MASW M4 (SMT04)

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M4, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 – 0,4	1° sismostrato con Vs di 600 m/s , Terre molto addensate e/o roccia intensamente fratturata
0,4 – 3,4	2° sismostrato con Vs tra 1200 e 1670 m/s , Substrato roccioso fratturato
3,4 – 12,1	3° sismostrato con Vs tra 1710 e 1790 m/s Substrato roccioso sano
12,1 – 22,9	4° sismostrato con Vs tra 1890 e 2150 m/s , Substrato roccioso sano
22,9 – 35,9	5° sismostrato con Vs di 2500 m/s , Substrato roccioso sano
>35,9	6° sismostrato con Vs di 3750 m/s , Substrato roccioso sano

MASW M4 - PROFILO Vs



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

h_i spessore dell'*i*-esimo strato;

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

N numero di strati;

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

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **0,4 m** ($V_s > 800$ m/s), che dà luogo ad una Categoria A di sottosuolo, ossia:

Categoria A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Nella **tabella 7** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Tabella 7. Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G_0	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0-0,4	terre	1.800	1.200	600	0,33	1.726	208	647	1.726
2	0,4-3,4	15%	1.900	2.870	1.435	0,33	10.434	1.565	3.913	10.434
3	3,4-12,1	25%	2.100	3.500	1.750	0,33	17.152	4.288	6.433	17.152
4	12,1-22,9	25%	2.100	4.040	2.020	0,33	22.850	5.712	8.571	22.850
5	22,9-35,9	30%	2.200	5.000	2.500	0,33	36.668	11.000	13.749	36.668

Indicazioni per la determinazione di N_{spt} e parametri geotecnici

Sulla base delle correlazioni fornite nei precedenti paragrafi è possibile stimare una correlazione tra Vs e N_{spt}, i parametri di resistenza al taglio e di deformazione. Nel caso in esame trattandosi di materiali a granulometria grossolana si consiglia di impiegare la correlazione di Imai (1977) di seguito indicata.

$$N_{SPT} = \left(\frac{V_s}{80,6} \right)^{3,021} \text{ valida per i terreni prevalentemente sabbiosi - Imai (1977)}$$

6.6.2 Rifrazione R4 e Tomografia elettrica T4

Nella sezione di sismica a rifrazione **R4** è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento R4	ONDE P	
	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 0,5/1,0	400-1000
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 0,5/1,0 a 2,0/3,5	1000-1800
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 2,0/3,5 a 3,0/5,0	1800-2200
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	Da 3,0/5,0 a 20,0/21,0	2200-4500

Dall'esame della sezione sismica si riconoscono 4 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s ai 4500 m/s. Il sismostrato A caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabile) presenta spessori molto ridotti compresi tra 0,5 e 1,0 metri da p.c e un andamento parallelo al piano campagna. Il sismostrato B caratterizzato da rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta anch'esso spessori ridotti e si rileva fino a profondità comprese tra 2,0 e 3,5 m dal p.c. Il sismostrato C composto da rocce poco fratturate e sane (rippabili con difficoltà) si osserva invece fino a profondità comprese tra 3,0 e 5,0 m di profondità dal p.c. con spessori sempre molto ridotti. Il sismostrato D rappresenta invece un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità alte e si riscontra fino alla massima profondità di indagine, ovvero 20,0/21,0 m dal p.c. Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento graduale delle Vp con valori alti già nei primi metri di profondità e con leggere variazioni di equidistanza generate dalla maggiore o minore densità del materiale roccioso.

In termini di grado di rippabilità si evidenzia che già a partire da profondità comprese tra 2,0 e 3,5 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a profondità comprese tra 3,0 e 5,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

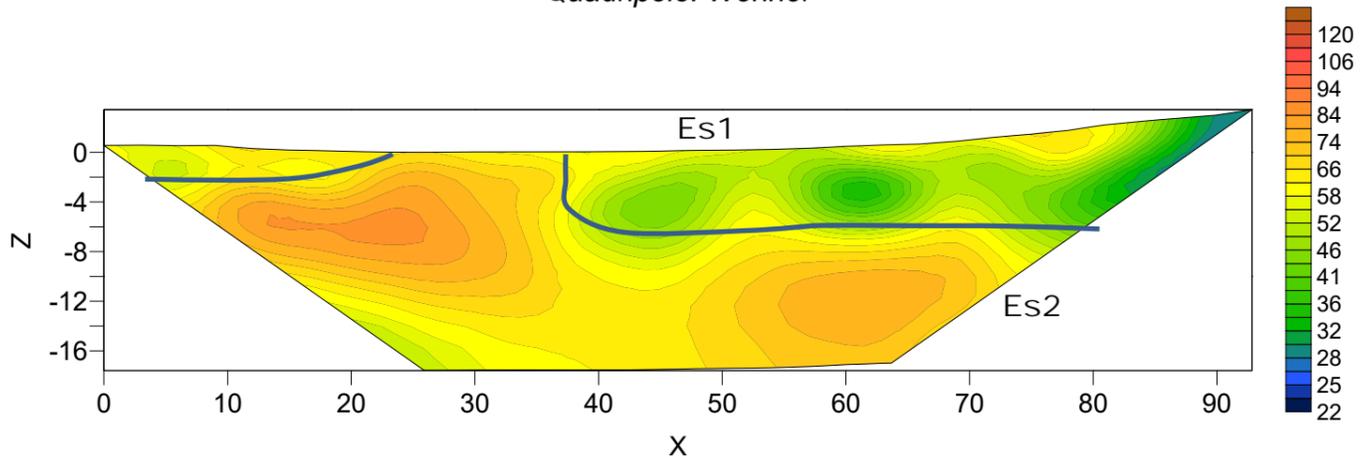
La sezione di tomografia elettrica T4, realizzata con 3 differenti geometrie di acquisizione (Wenner, Wenner Schulmberger e Dipolo Dipolo) mette in luce la presenza di terreni caratterizzati da resistività medio bassa; nello specifico si rileva un primo elettrostrato (ES1) di spessore variabile e compreso tra 2,0 e 6,0 m riconducibile sia alla coltre di terreni superficiali che al capellaccio delle substrato roccioso con valori tra 30 e 60 $\Omega \cdot m$, segue un secondo elettrostrato (Es2) con locali variazioni di resistività presumibilmente legate alla presenza di zone fratturate/alterate con presenza d'acqua. In generale in questa tipologia di terreni la tomografia non riesce a discriminare le differenti litofacies probabilmente a causa del fatto che non sono caratterizzate da contrasti di resistività apprezzabili.

Il confronto con il grafico della sismica a rifrazione mette in luce che non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità).

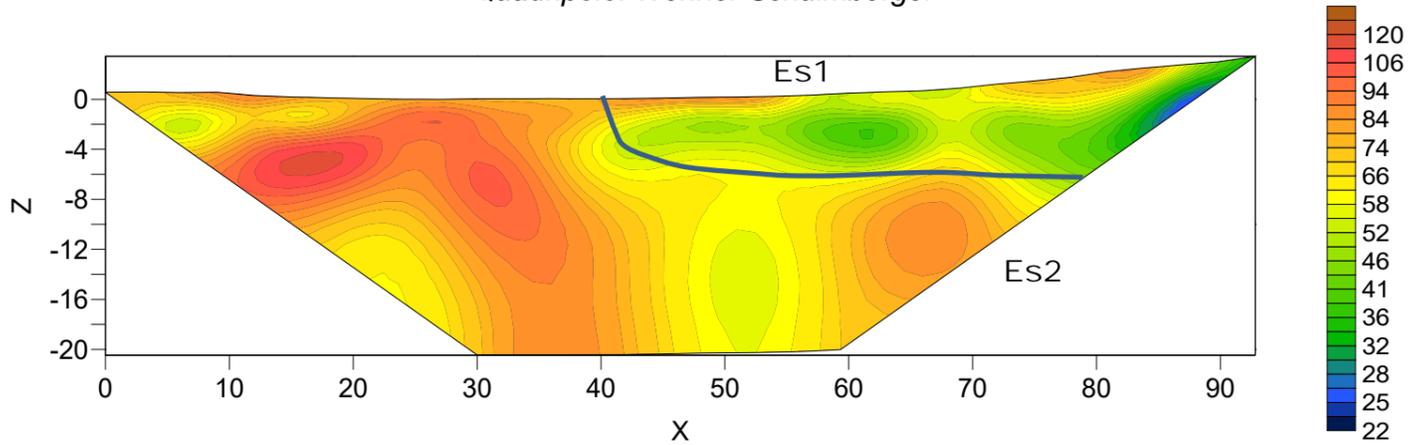
Stendimento di tomografia elettrica: T4-Lungh: 93,0 m - Orientazione: SW-NE

Scala Grafica - Quota relativa 0,00= 356,27 m slm

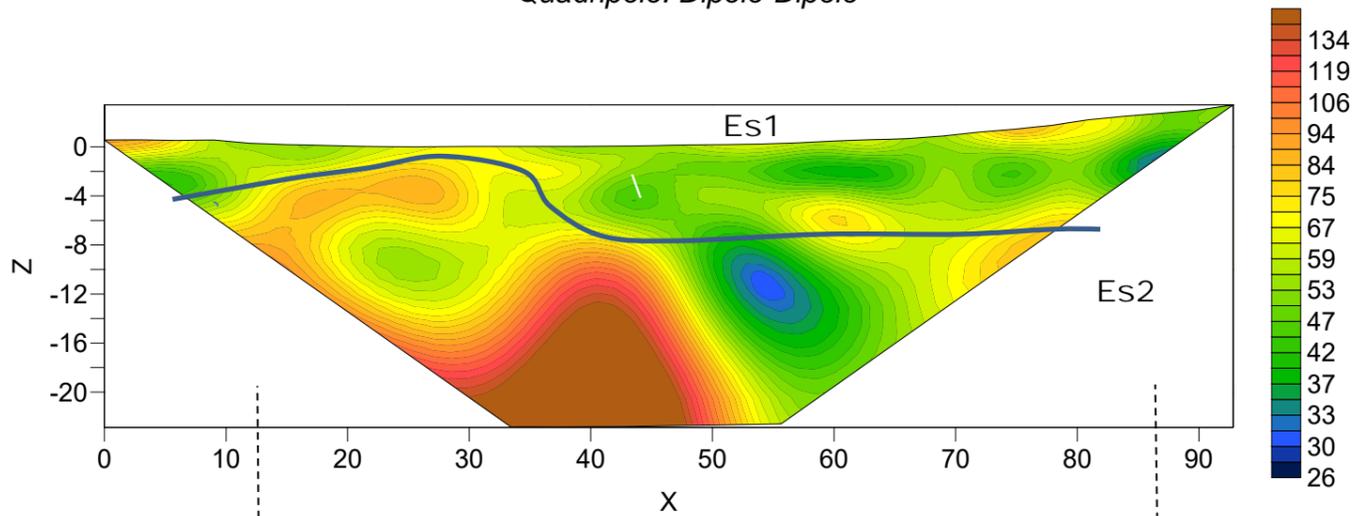
Quadripolo: Wenner



Quadripolo: Wenner-Schulmberger



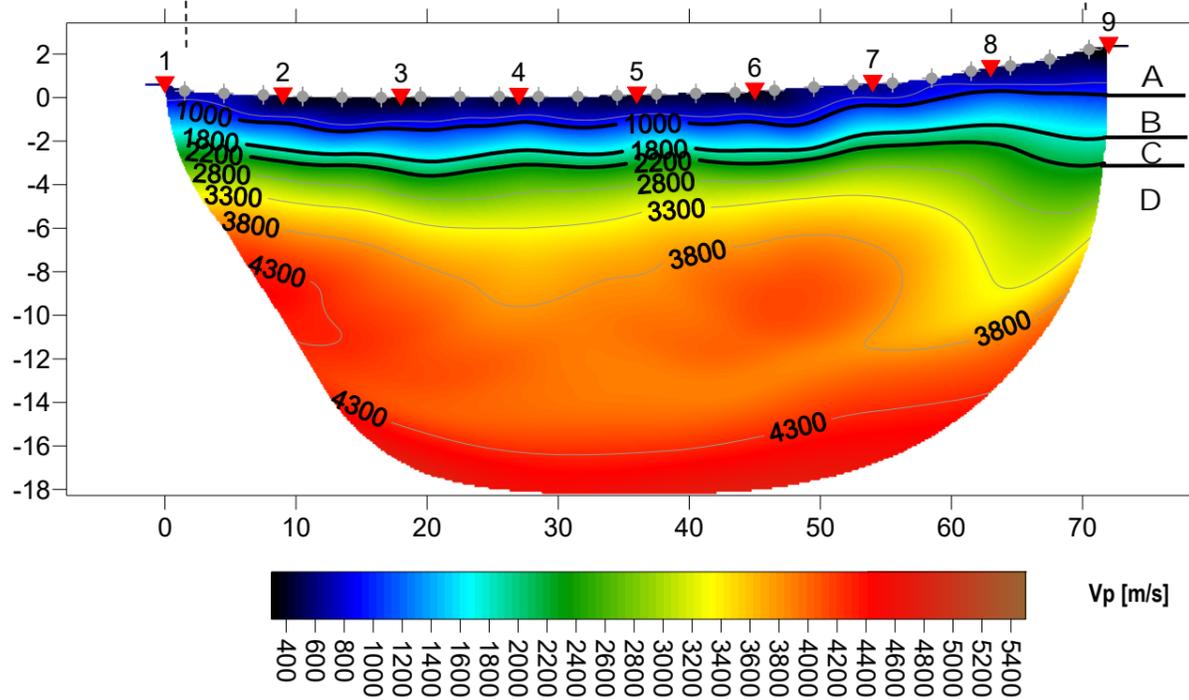
Quadripolo: Dipolo-Dipolo



Base Sismica R4 - Rifrazione in onde P – Lunghessa: 69,0 m - Orientazione: SW-NE

Quota relativa 0,00= 356,27 m slm

SMT04 RMS error 2.0%=0.29ms 20 WET itr. 50Hz Width 2.5% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



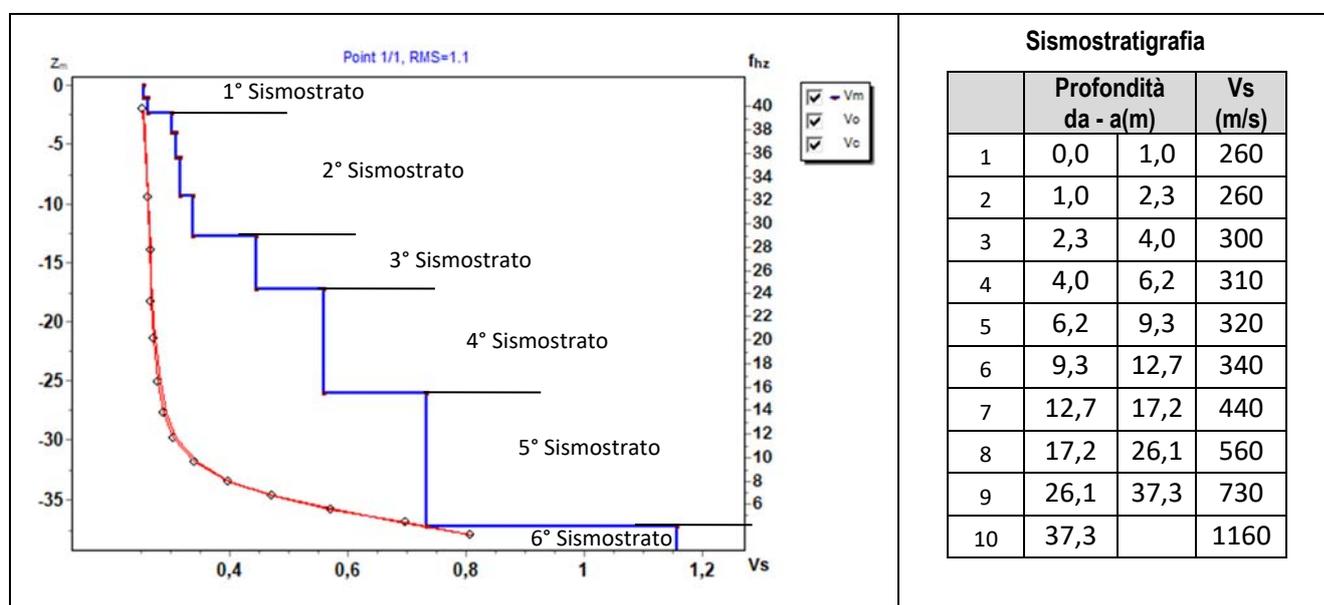
6.7 RISULTATI INDAGINI DEL SITO SMT05

6.7.1 MASW M5 (SMT05)

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M5, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 – 2,3	1° sismostrato con Vs di 260 m/s , Terre poco addensate
2,3 – 12,7	2° sismostrato con Vs tra 300 e 340 m/s , Terre mediamente addensate
12,7 – 17,2	3° sismostrato con Vs di 440 m/s Terre molto addensate e/o roccia tenera o intensamente fratturata
17,2 – 26,1	4° sismostrato con Vs di 560 m/s , Roccia tenera e/o intensamente fratturata
26,1 – 37,3	5° sismostrato con Vs di 730 m/s , Roccia intensamente fratturata
>37,3	6° sismostrato con Vs di 1160 m/s , Substrato roccioso debolmente fratturato

MASW M5 - PROFILO Vs



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

h_i spessore dell'*i*-esimo strato;

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

N numero di strati;

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

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **37,3 m** ($V_s > 800$ m/s), per cui il valore della velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$:

$V_{s30} = 30,0/0,072708 = 412$ m/s che dà luogo ad una categoria B, ossia:

Categoria B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Nella **tabella 8** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Tabella 8. Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G_0	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0-2,3	terre	1.600	520	260	0,33	284	34	108	284
2	2,3-12,7	terre	1.700	640	320	0,33	461	56	177	461
3	12,7-17,2	10%	1.800	880	440	0,33	932	93	353	932
4	17,2-26,1	15%	1.900	1.120	560	0,33	1.589	238	598	1.589
5	26,1-37,3	15%	2.000	1.460	730	0,33	2.844	427	1.069	2.844
6	>37,3	20%	2.100	2.320	1.160	0,33	7.532	1.506	2.824	7.532

Indicazioni per la determinazione di Nspt e parametri geotecnici

Sulla base delle correlazioni fornite nei precedenti paragrafi è possibile stimare una correlazione tra Vs e Nspt, i parametri di resistenza al taglio e di deformazione. Nel caso in esame trattandosi di materiali a granulometria grossolana si consiglia di impiegare la correlazione di Imai (1977) di seguito indicata.

$$N_{SPT} = \left(\frac{V_s}{80,6}\right)^{3,021} \text{ valida per i terreni prevalentemente sabbiosi - Imai (1977)}$$

6.7.2 Rifrazione R5 e Tomografia elettrica T5

Nella sezione di sismica a rifrazione **R5** è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento R5	ONDE P	
	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
Sismostrati		
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 6,0/11,0	400-1000
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 6,0/11,0 a 24,0	1000-1800

Dall'esame della sezione sismica, si riconoscono 2 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s ai 1800 m/s. Il sismostrato A caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabile) presenta spessori elevati compresi tra 6,0 e 11,0 metri da p.c e un andamento quasi parallelo al piano campagna con deboli variazioni di spessore. Il sismostrato B caratterizzato da rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta anch'esso spessori elevati e si rileva fino alla massima profondità di indagine, ovvero 24,0 m dal p.c. Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento graduale delle V_p con valori comunque bassi fino alla massima profondità di indagine. Si precisa che dai dati bibliografici è emerso che le rocce presenti in tale sito appartengono alla Formazione di Mores (RES a): Calcareniti e calcari bioclastici appartenenti alla successione Oligo-Miocenica del Logudoro.

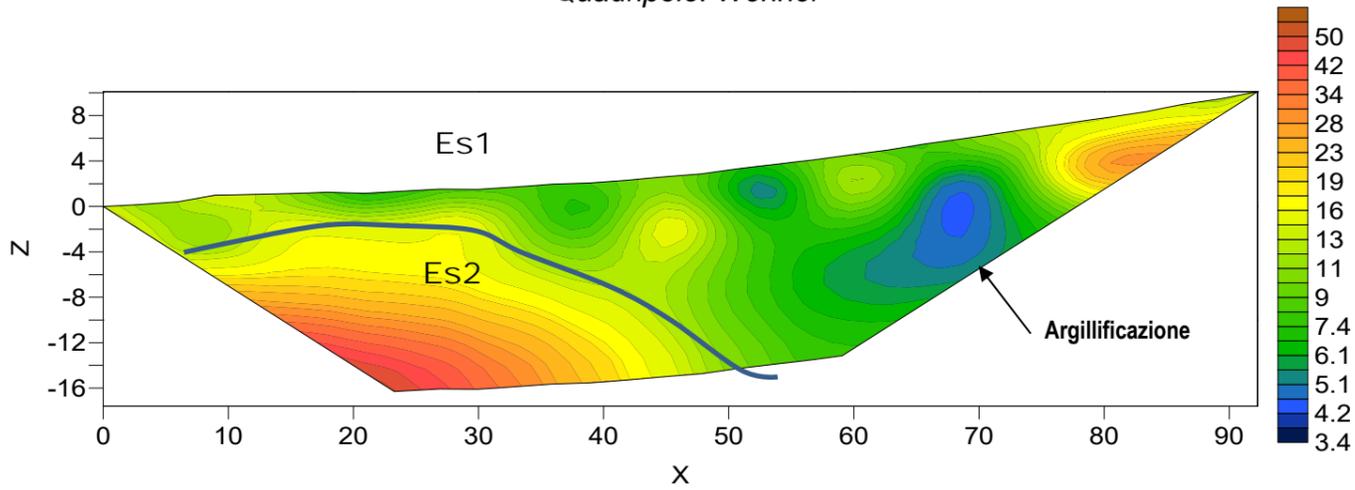
In termini di grado di rippabilità si evidenzia che i terreni osservati sono facilmente rippabili fino alla massima profondità di indagine. Esclusivamente a 24,0 m di profondità dal piano campagna si inizia a riscontrare la presenza di materiale difficilmente rippabile.

La sezione di tomografia elettrica T5, realizzata con 3 differenti geometrie di acquisizione (Wenner, Wenner Schulmberger e Dipolo Dipolo) mette in luce in generale che le litologie locali sono caratterizzate da terreni a bassa resistività e nello specifico è possibile distinguere un primo elettrostrato (ES1) di spessore crescente da sinistra verso destra della sezione e compreso tra 2 e 15 m riconducibile alla coltre di terreni superficiali e rocce fratturate/alterate con valori tra 2 e 10 $\Omega \cdot m$ interessati da intensa argillificazione e/o presenza d'acqua, segue un secondo elettrostrato (Es2) caratterizzato da valori leggermente maggiori (sino a 50 $\Omega \cdot m$) riconducibile alla presenza di rocce tenere/fratturate.

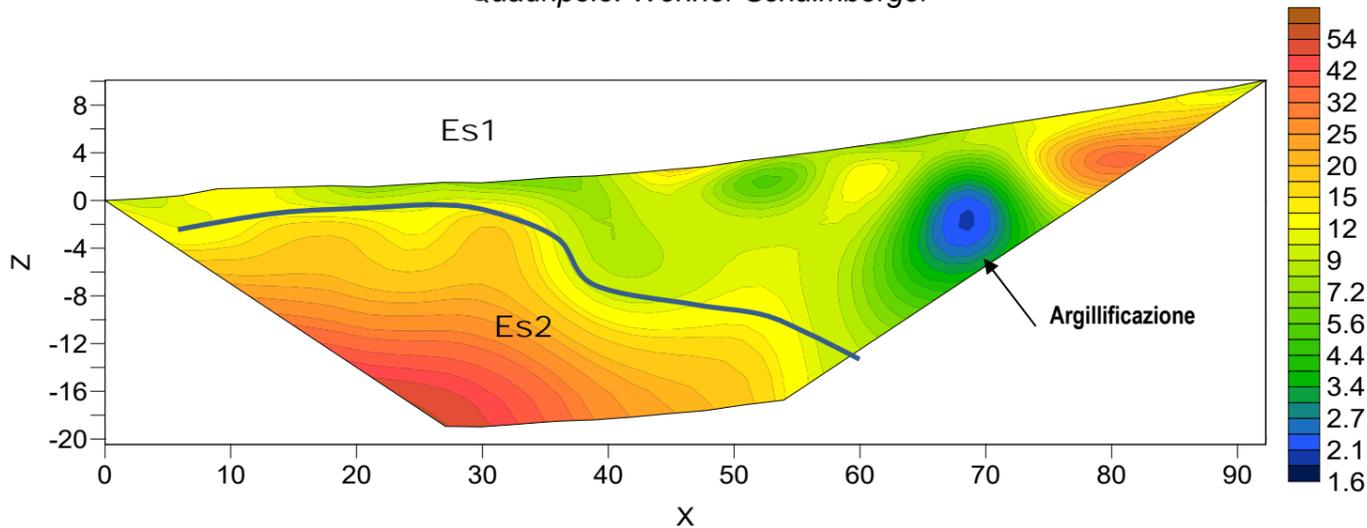
Il confronto con il grafico della sismica a rifrazione mette in luce che non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità).

Stendimento di tomografia elettrica: T5-Lungh: 93,0 m - Orientazione: S-N
 Scala Grafica - Quota relativa 0,00= 249,37 m slm

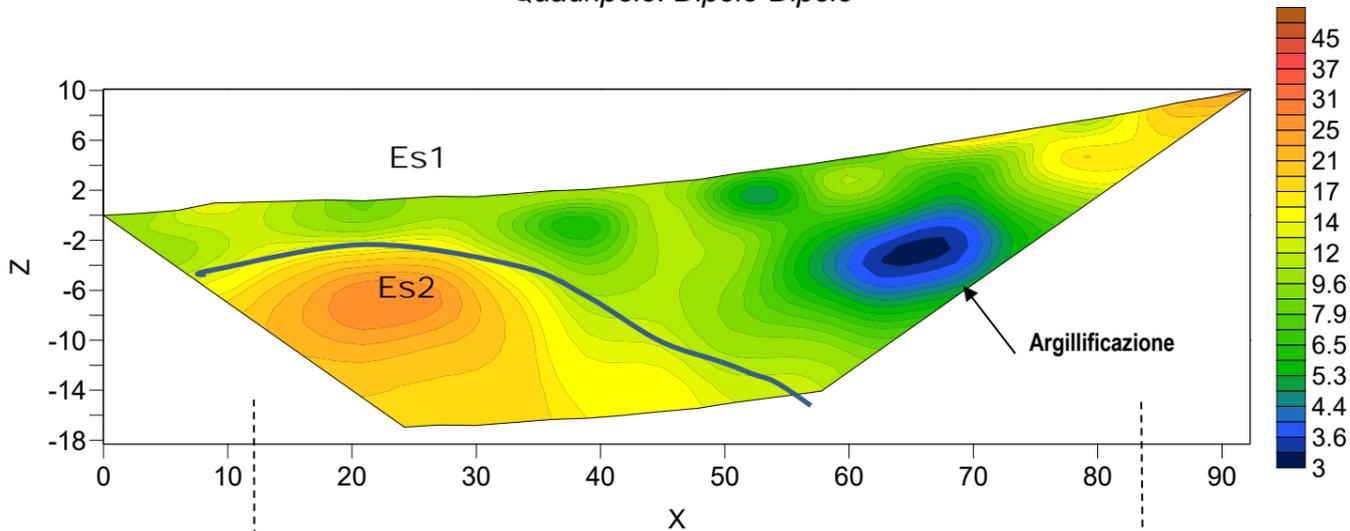
Quadripolo: Wenner



Quadripolo: Wenner-Schulmberger

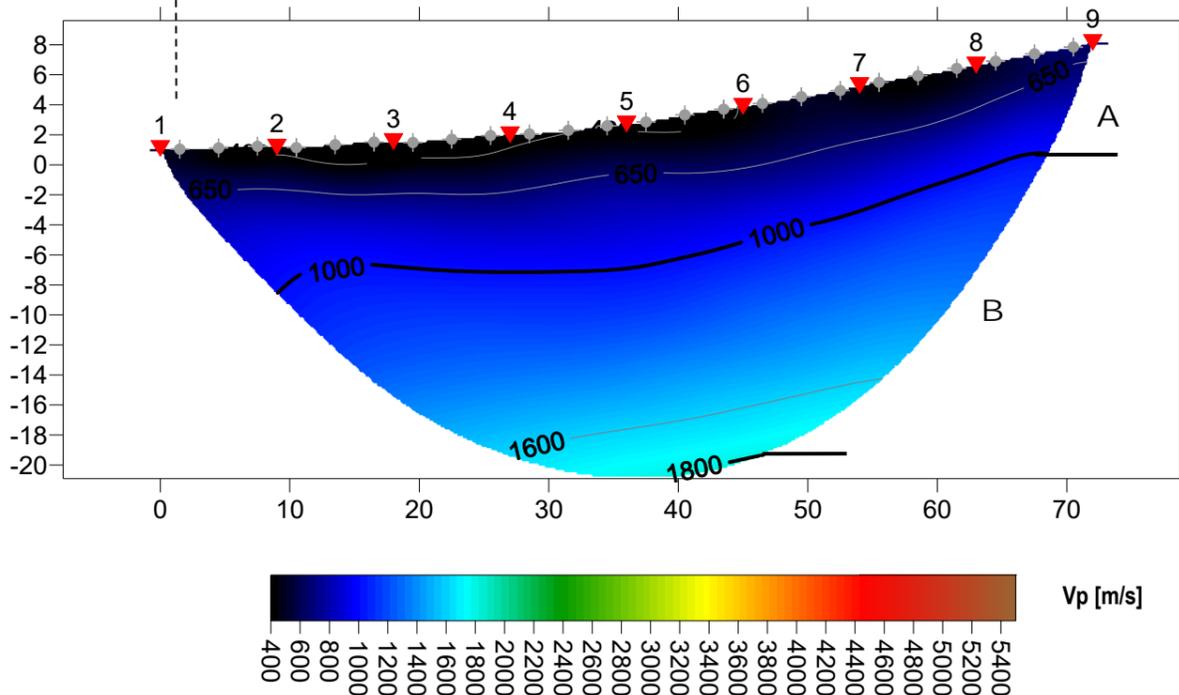


Quadripolo: Dipolo-Dipolo



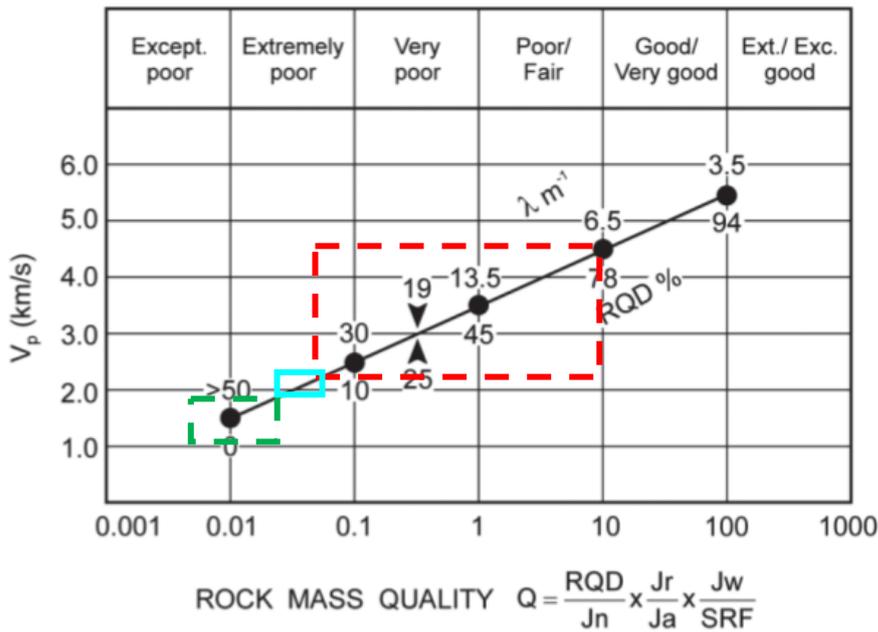
Base Sismica R5 - Rifrazione in onde P – Lunghessa: 69,0 m - Orientazione: S-N
 Quota relativa 0,00= 249,37 m slm

SMT05 RMS error 1.9%=0.75ms 20 WET itr. 50Hz Width 8.0% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



7 INDICAZIONI PER LA DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI GEOMECCANICI

Le prospezioni geofisiche possono essere utilizzate in situazioni molto complesse quali gli ammassi metamorfici molto fratturati o in assenza di indagini dirette (v. sondaggi geognostici) per la definizione spaziale di alcuni elementi degli ammassi rocciosi (fratture, RQD, etc). Tra questi quello che potrebbe essere impiegato nel contesto in esame, è quello di N. Barton (2002) – che ha cercato di correlare, attraverso relazioni empiriche, le velocità delle onde P con la qualità della roccia Q e quest’ultima con una serie di parametri meccanici. Il grafico mostra la correlazione tra Vp con RQD e λ (fratture per metro) e il relativo indici di qualità dell’ammasso roccioso di Barton (Q).



Sulla base dei litotipi individuati dalla sismica in via preliminare e previa successiva conferma tramite esecuzione di sondaggi geognostici si può applicare la correlazione ai sismostrati B, C e D. Il rettangolo verde indica il settore del sismostrato B, con un RQD compreso tra 0 e 7, un numero di fratture per metro che varia tra 50 e 45 e un indice di qualità Q medio di 0,01(ammasso roccioso estremamente scadente); il rettangolo celeste rappresenta il sismostrato C che ha valori di RQD compresi tra 3 e 70, un numero di fratture per metro compreso tra 40 e 35 e un valore dell'indice Q medio di 0,035 (ammasso roccioso da estremamente scadente a scadente/discreto); infine il rettangolo rosso rappresenta il sismostrato D che ha valori di RQD compresi tra 7 e 80, un numero di fratture per metro compreso tra 35 e 6,5 e un valore dell'indice Q tra min 0,035 e max 10. Da quanto sopra le 3 unità sismostratigrafiche possono essere classificate come segue:

Sismostrati	Vp (m/s)	RQD (%)	λ (1/m)	Q*
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	1000-1800	0-3	50-40	0.01-0.03
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	1800-2200	7-85	35-5	0.03-30
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	2200-4500			

*L'indice Q può essere correlato all'indice RMR della classificazione di Bieniawski con la relazione:

$$RMR=9\ln Q+44;$$

8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La prospezione geofisica attraverso l'impiego delle tecniche MASW, sismica a rifrazione in onde P e tomografia elettrica ha permesso di ricostruire con un buon grado di precisione l'assetto lito-stratigrafico dell'area in esame e dedurre le caratteristiche sismiche ed elettriche. Lungo la verticale indagata si evince la presenza di sismostrati con velocità V_p e V_s in genere crescente con la profondità con andamento e spessori indicati nei precedenti paragrafi, mentre tutti i terreni e rocce incontrati sono caratterizzati da valori di resistività da medio bassa a bassa.

Per quanto riguarda le MASW, lungo gli stendimenti si evince la presenza di sismostrati con velocità V_s crescente con la profondità sino ad incontrare il bed rock con andamento e spessori indicati nei precedenti paragrafi. La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per i differenti siti di indagine, che si ricorda sarà anche funzione del piano di posa delle fondazioni è riportata nel seguente schema riassuntivo:

Sigla Stendimento	Profondità substrato [m]	V_{seq} [m/s]	Categoria sottosuolo (NTC2018)
M1	8,50	638	B
M2	0,4	>800	A
M3	25,9	442	B
M4	0,4	>800	A
M5	>30,0	412	B

I dati derivati dalla MASW messi in correlazione con le bibliografiche indicate nei precedenti paragrafi hanno permesso di determinare i parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni e per correlazione ottenere una preliminare definizione dei parametri di resistenza al taglio.

L'elaborazione dei dati di sismica a rifrazione e di tomografia elettrica ha permesso di ricostruire l'assetto sismostratigrafico dei terreni. Nei precedenti paragrafi si illustrano i differenti sismostrati individuati dai quali è possibile distinguere i terreni delle coperture dal substrato roccioso. In termini di grado di rippabilità si evidenzia che in R2 e R4 a partire da pochi metri dal p.c. si incontrano terreni non rippabili (v. anche Masw) mentre per R3 e R5 i terreni risultano rippabili sino a circa 15-18 m e infine in R1 sino a 13,0 m.

L'impiego congiunto della tecnica della tomografia elettrica lungo il medesimo allineamento della sismica a rifrazione ha permesso di escludere la presenza di anomali riconducibili a zone di maggiore fratturazione e/o presenza di cavità di origine carsica.

Le prospezioni geofisiche in rifrazione sono state utilizzate anche per la definizione spaziale di alcuni elementi degli ammassi rocciosi (fratture, RQD, etc) e per la definizione per l'indice di qualità di Barton Q: si tratta chiaramente di correlazioni da impiegare con le dovute approssimazioni ma comunque utili in determinate situazioni nelle quali dai sondaggi è difficile ottenere dei parametri di caratterizzazione dell'ammasso roccioso.

Cagliari, lì 02 dicembre 2022

Collaboratori
Dott. Geol. Daniele Succu

Geoservice S.r.l.
Il Direttore Tecnico
Dott. Geol. Andrea Carcangiu

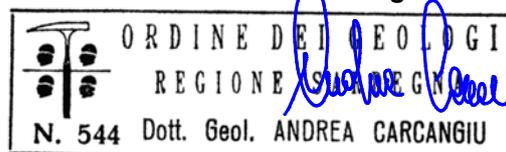


Tavola 1 : INQUADRAMENTO GENERALE DELLE AREE DI INDAGINE

Progetto: Parco eolico Aregu

Scala 1:25.000

Legenda

○ AREE DI INDAGINE

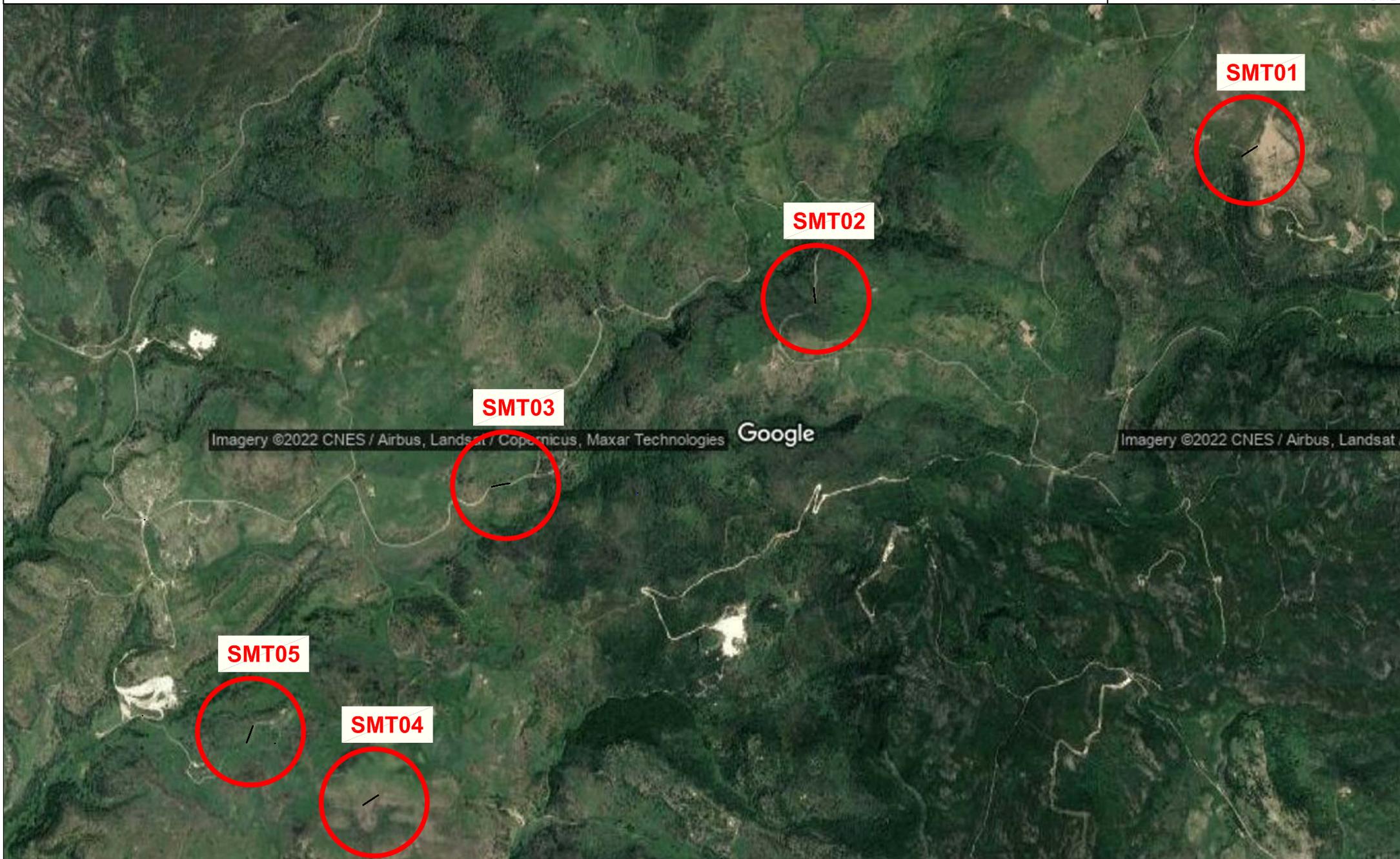


Tavola 2 : PLANIMETRIA DI DETTAGLIO UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE (SMT01)

Progetto: Parco eolico Aregu

Scala 1:1000

Legenda

Stendimento R/M1 - Lunghezza = 69,0 m

Stendimento T1 - Lunghezza = 93,0 m

 Direzione stendimento sismico dal primo all'ultimo geofono

 Direzione stendimento geoelettrico dal primo all'ultimo elettrodo



Tavola 3 : PLANIMETRIA DI DETTAGLIO UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE (SMT02)

Progetto: Parco eolico Aregu

Scala 1:1000

Legenda

Stendimento R/M2 - Lunghezza = 57,5 m

Stendimento T2 - Lunghezza = 77,5 m

→ Direzione stendimento sismico dal primo all'ultimo geofono

→ Direzione stendimento geoelettrico dal primo all'ultimo elettrodo

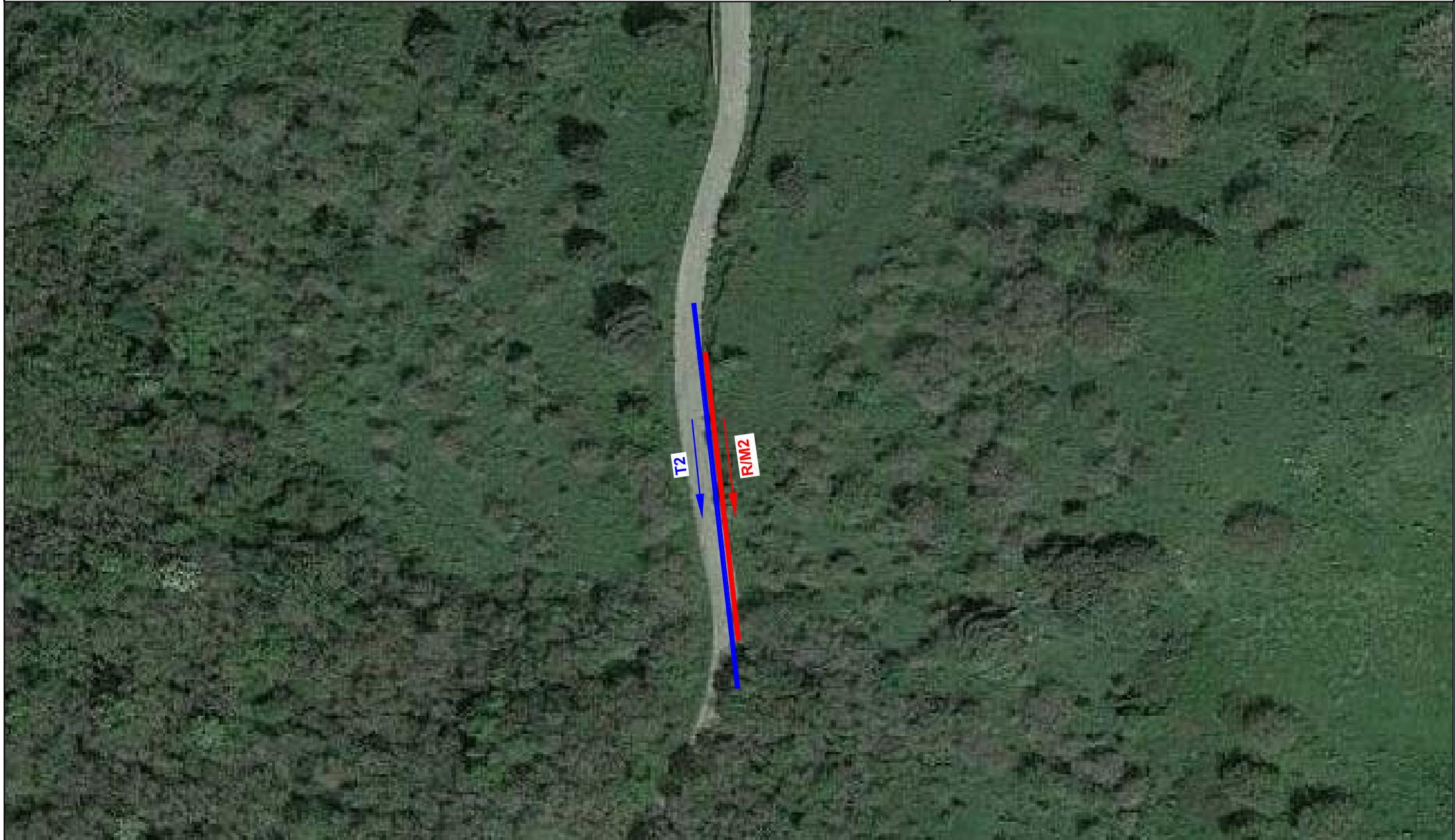


Tavola 4 : PLANIMETRIA DI DETTAGLIO UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE (SMT03)

Progetto: Parco eolico Aregu

Scala 1:1000

Legenda

Stendimento R/M3 - Lunghezza = 69,0 m

Stendimento T3 - Lunghezza = 93,0 m

 Direzione stendimento sismico dal primo all'ultimo geofono

 Direzione stendimento geoelettrico dal primo all'ultimo elettrodo

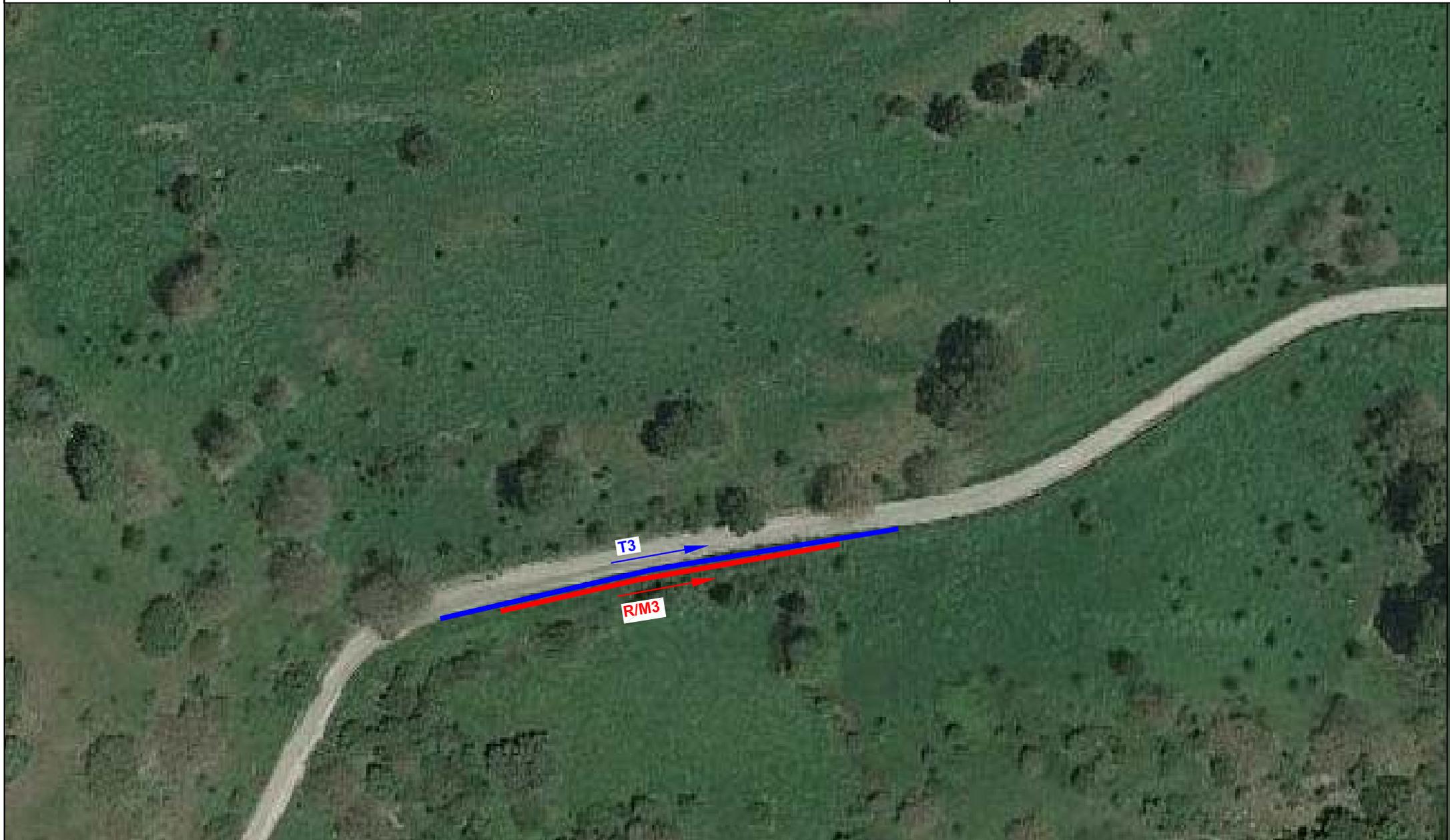


Tavola 5: PLANIMETRIA DI DETTAGLIO UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE (SMT04)

Progetto: Parco eolico Aregu

Scala 1:1000

Legenda

Stendimento R/M4 - Lunghezza = 69,0 m

Stendimento T4 - Lunghezza = 93,0 m

 Direzione stendimento sismico dal primo all'ultimo geofono

 Direzione stendimento geoelettrico dal primo all'ultimo elettrodo



Tavola 5: PLANIMETRIA DI DETTAGLIO UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE (SMT05)

Progetto: Parco eolico Aregu

Scala 1:1000

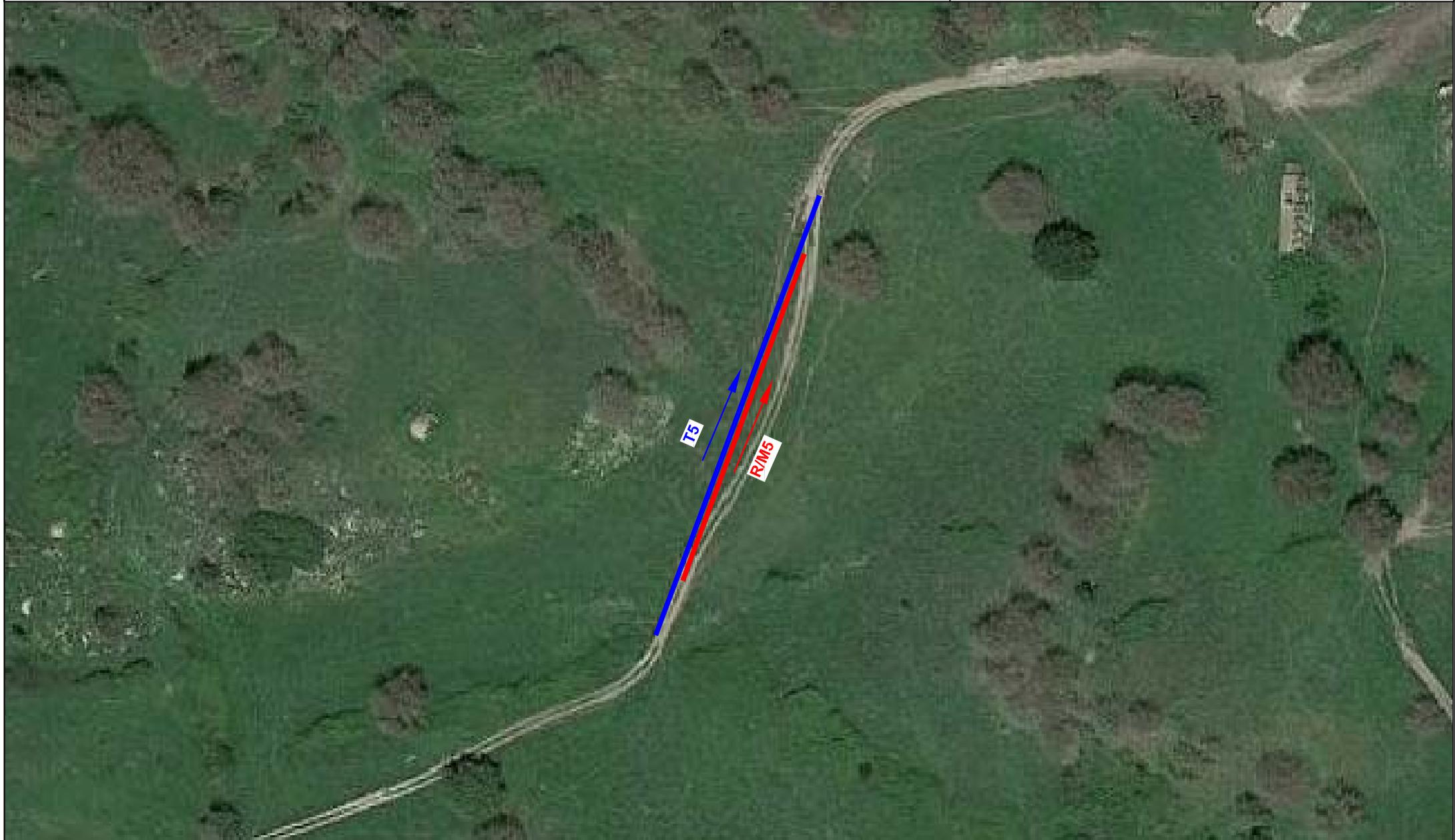
Legenda

Stendimento R/M5 - Lunghezza = 69,0 m

Stendimento T5 - Lunghezza = 93,0 m

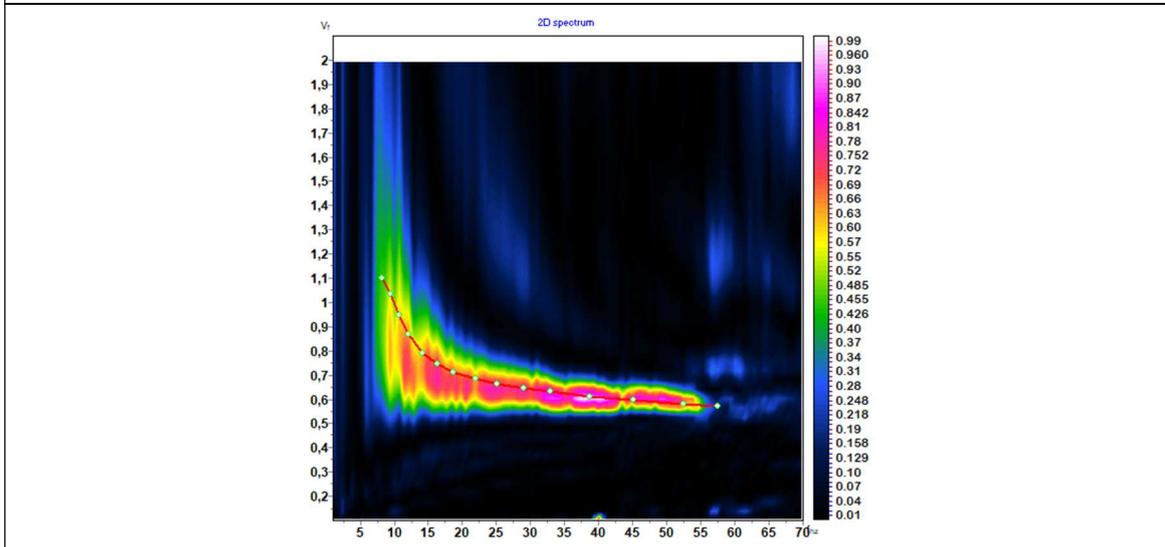
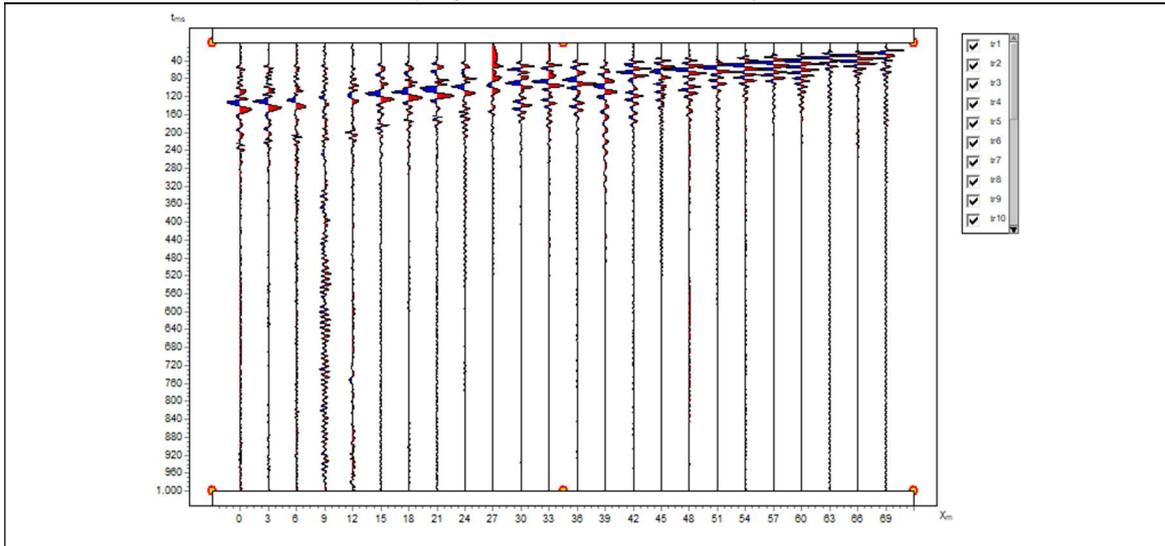
 Direzione stendimento sismico dal primo all'ultimo geofono

 Direzione stendimento geoelettrico dal primo all'ultimo elettrodo

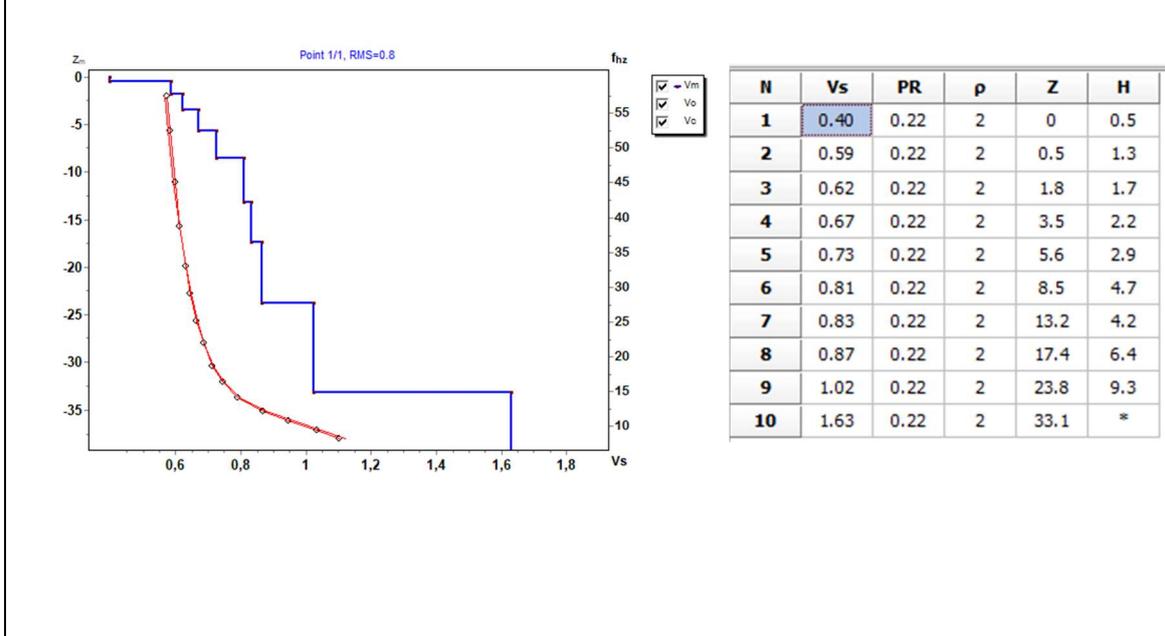


ALLEGATO 1 SMT01-MASW 1

Sismogramma acquisito- Spettro velocità di fase/frequenza
Curva di dispersione sperimentale e calcolata con profilo Vs
(Acquisizione con shot a 75,0 m)

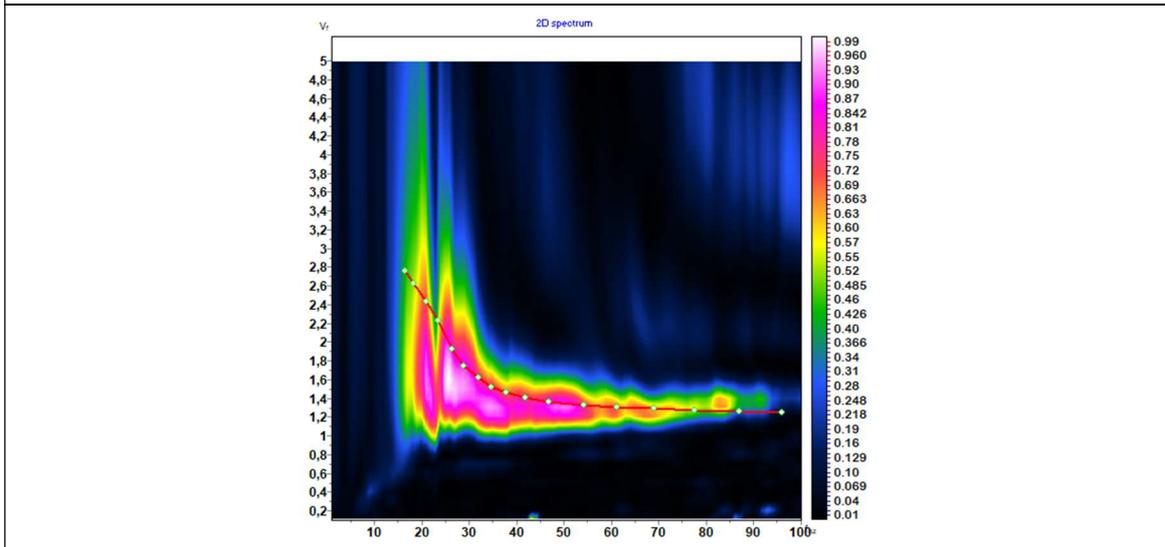
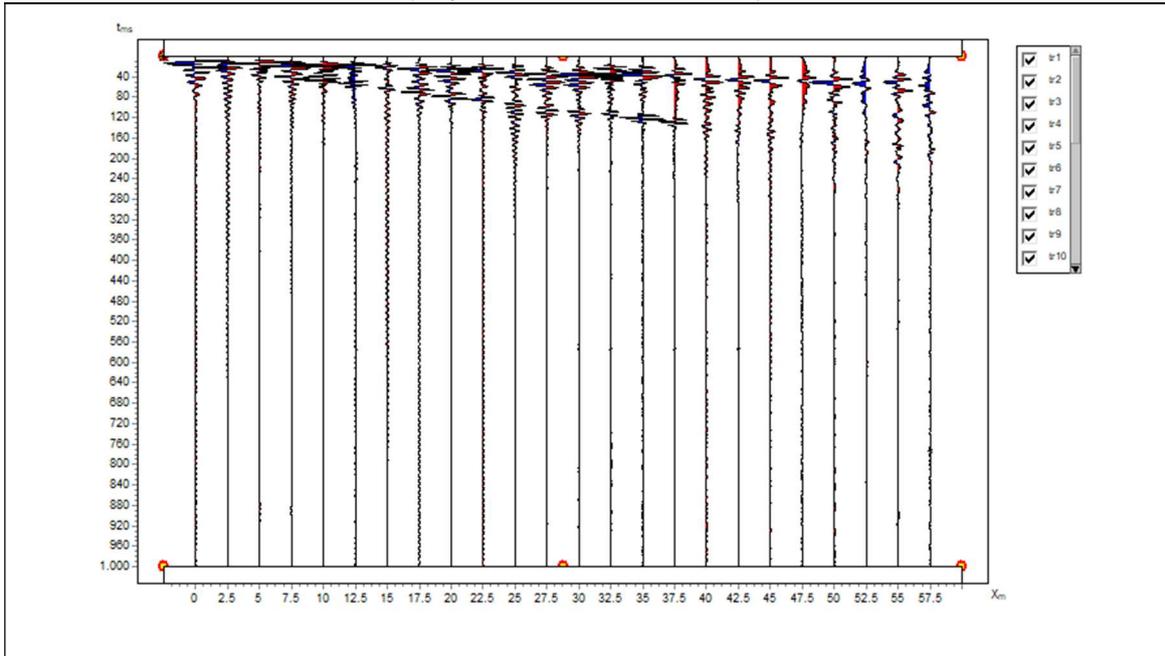


Profilo Vs – Bedrock a 8,5 metri da p.c. (Vseq=638 m/s) - Categoria B

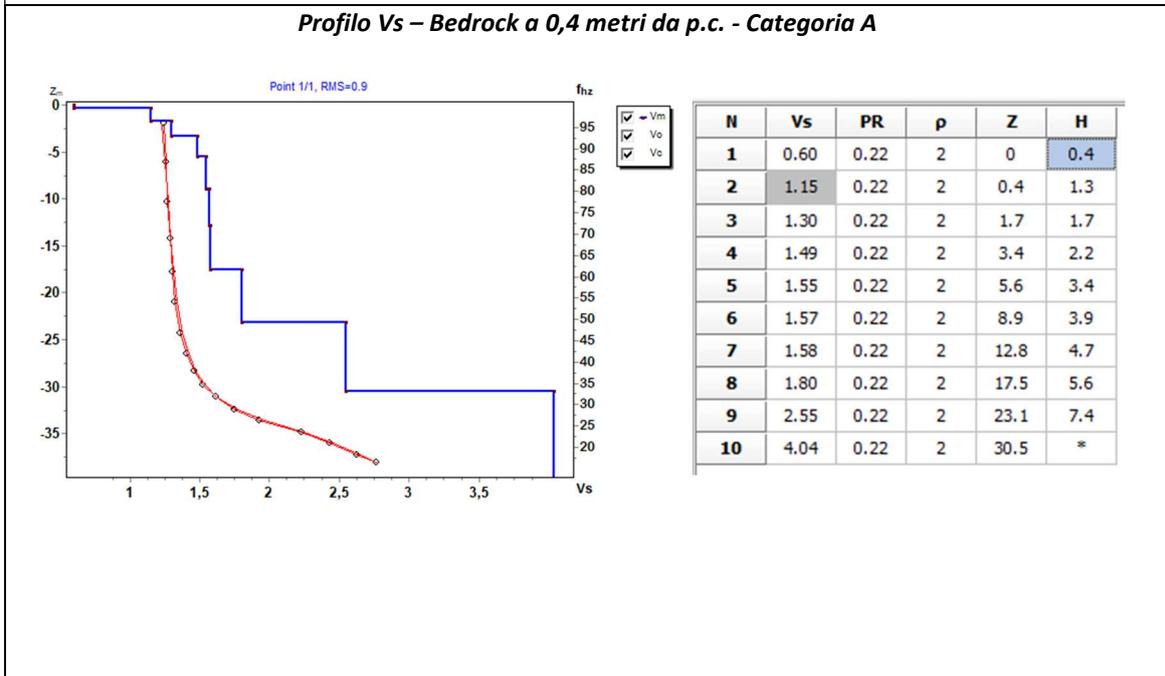


ALLEGATO 1 SMT02 – MASW 2

Sismogramma acquisito- Spettro velocità di fase/frequenza
Curva di dispersione sperimentale e calcolata con profilo Vs
(Acquisizione con shot a -2,50 m)

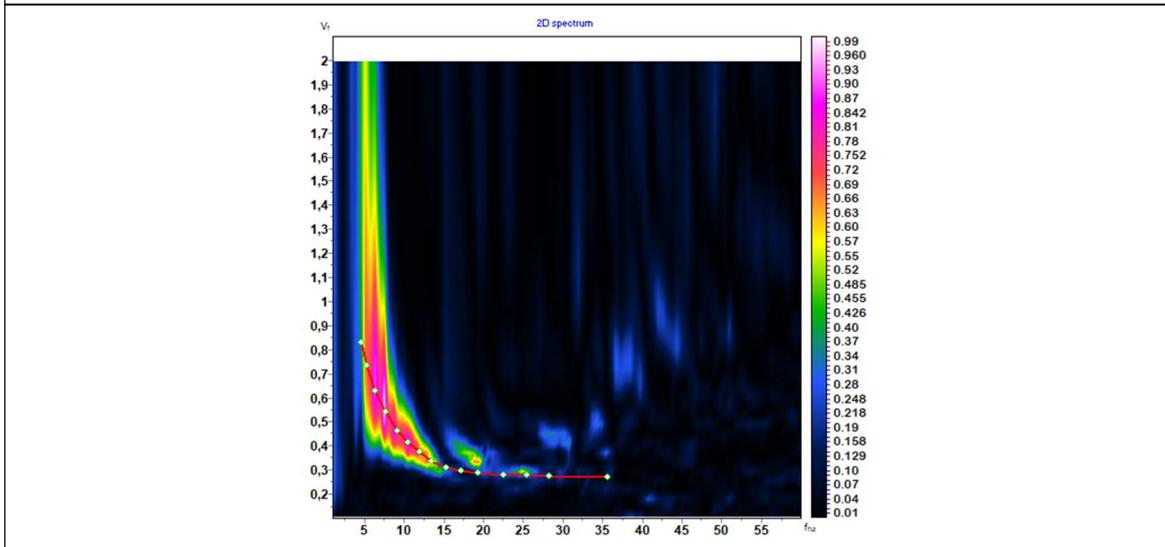
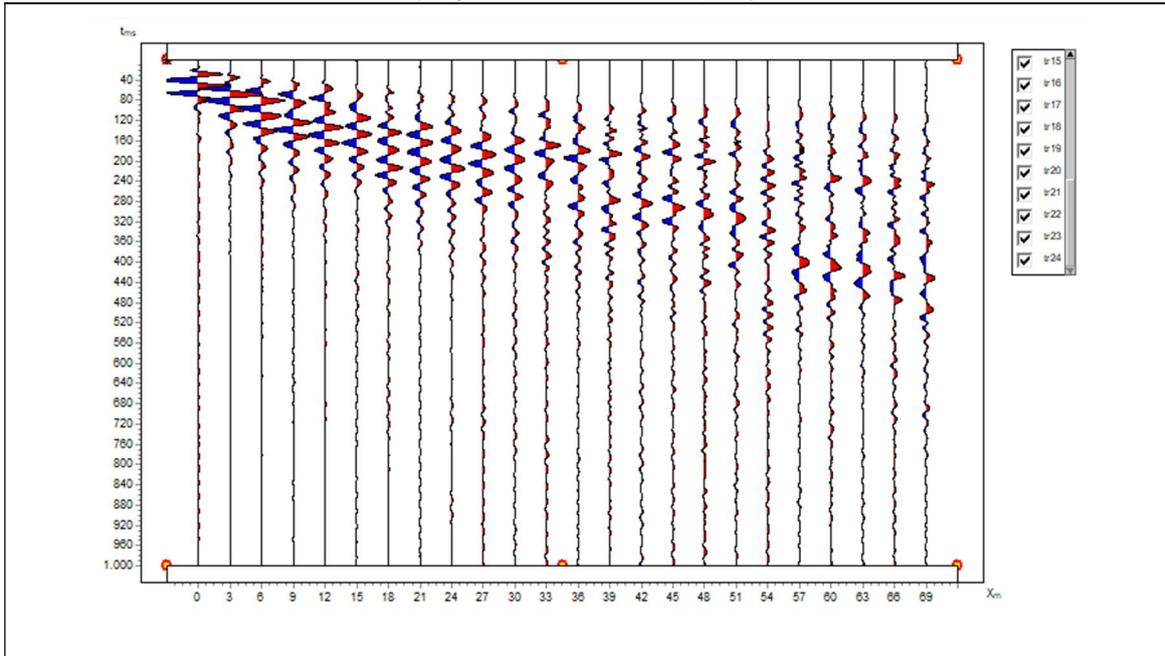


Profilo Vs – Bedrock a 0,4 metri da p.c. - Categoria A

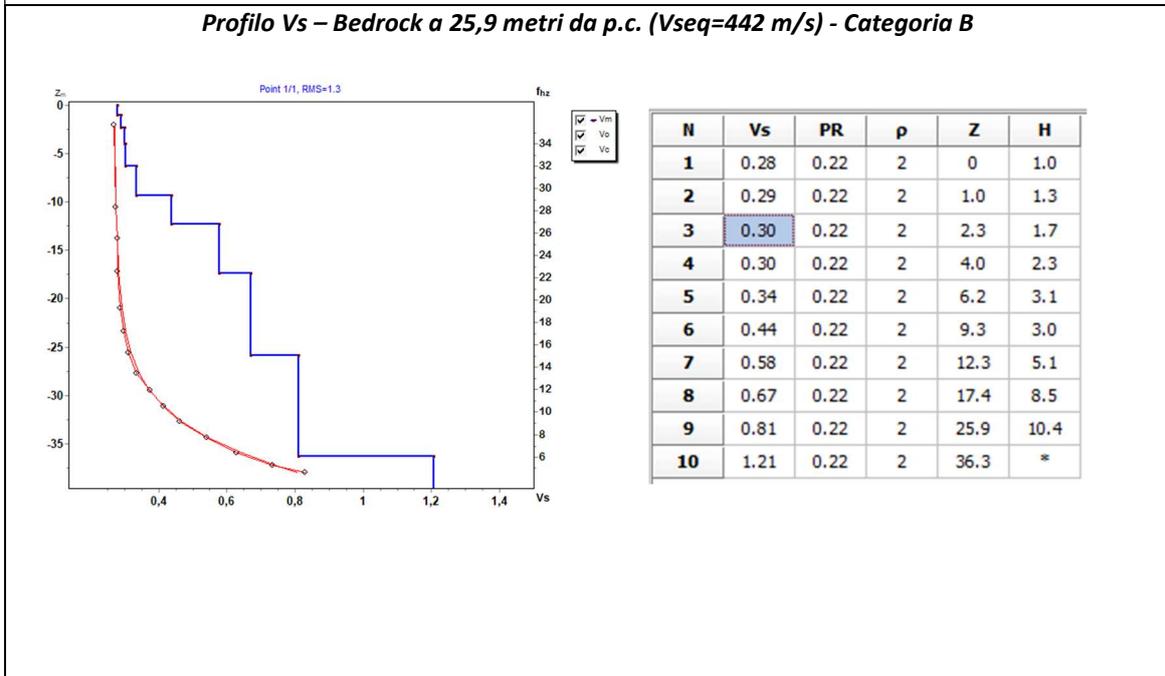


ALLEGATO 1 SMT03 – MASW 3

Sismogramma acquisito- Spettro velocità di fase/frequenza
Curva di dispersione sperimentale e calcolata con profilo Vs
(Acquisizione con shot a -3,0 m)

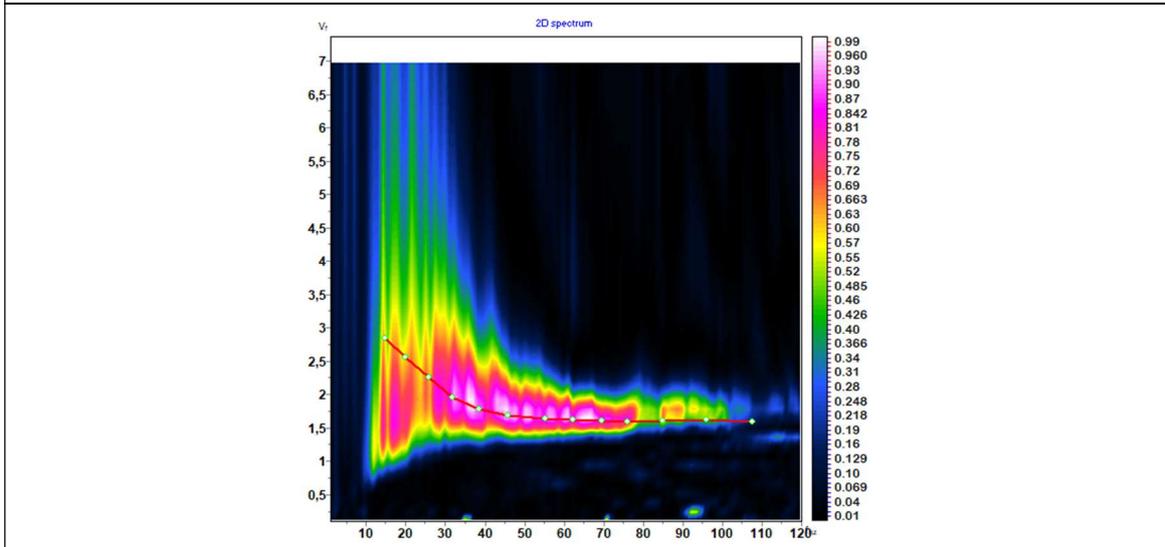
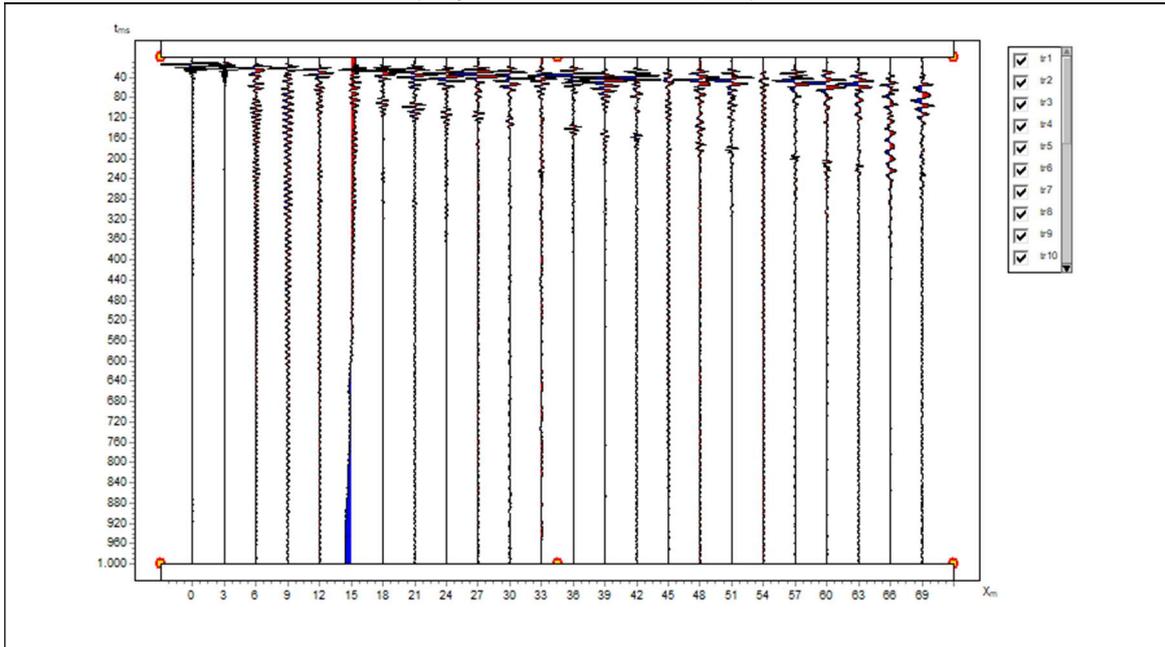


Profilo Vs – Bedrock a 25,9 metri da p.c. (Vseq=442 m/s) - Categoria B

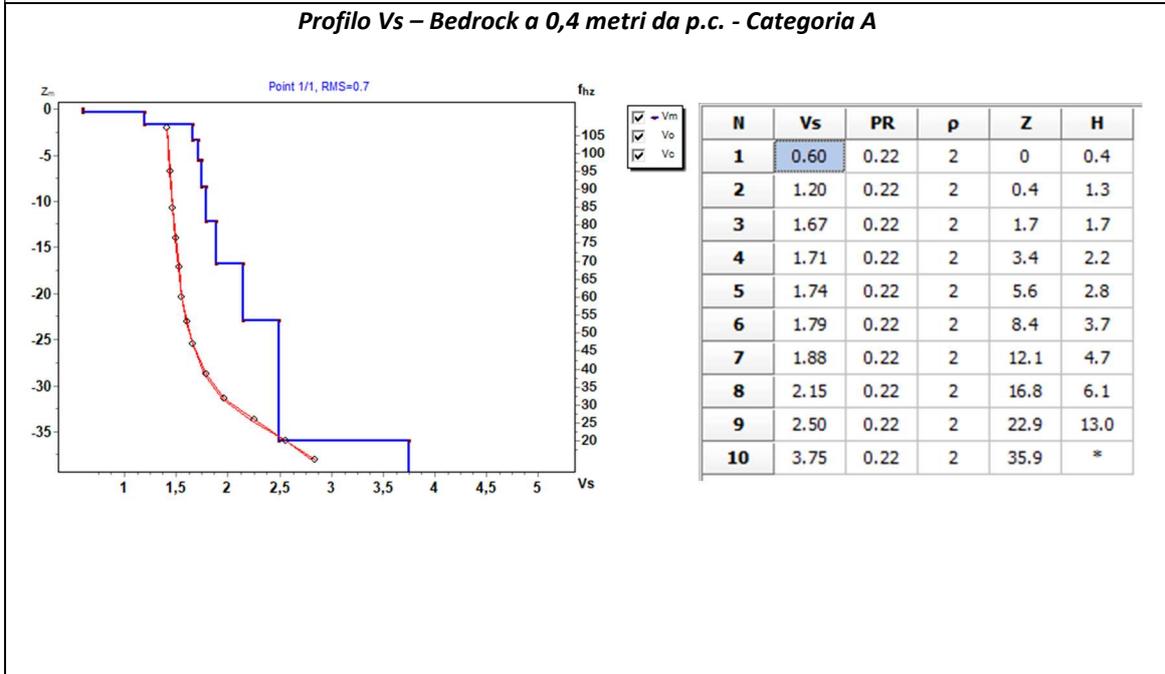


ALLEGATO 1 SMT04 – MASW 4

Sismogramma acquisito- Spettro velocità di fase/frequenza
Curva di dispersione sperimentale e calcolata con profilo Vs
(Acquisizione con shot a -9,0 m)



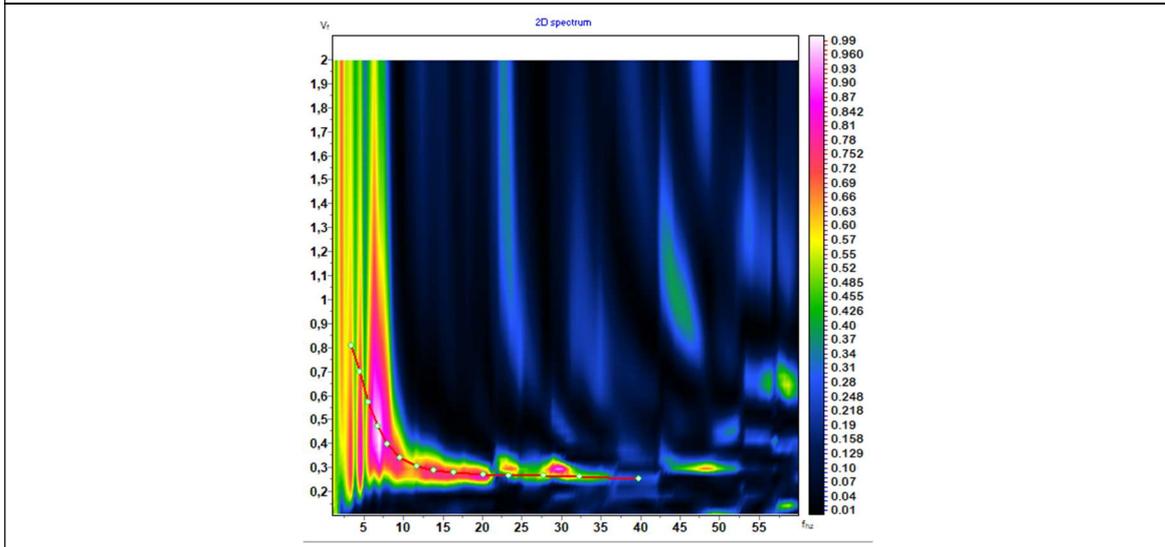
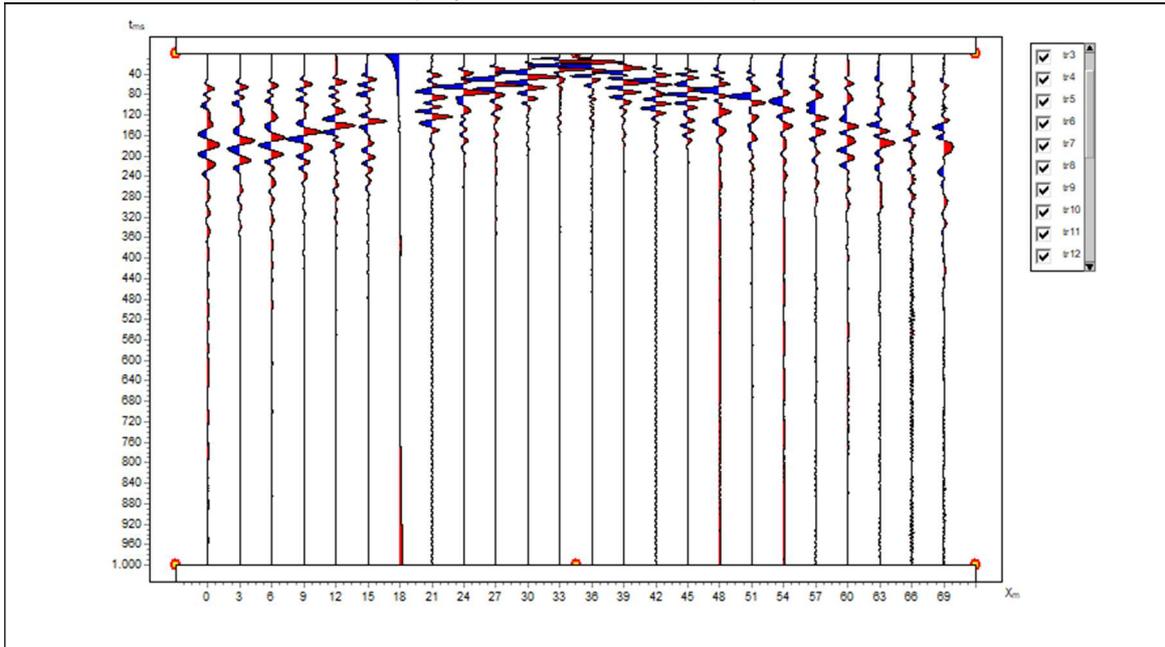
Profilo Vs – Bedrock a 0,4 metri da p.c. - Categoria A



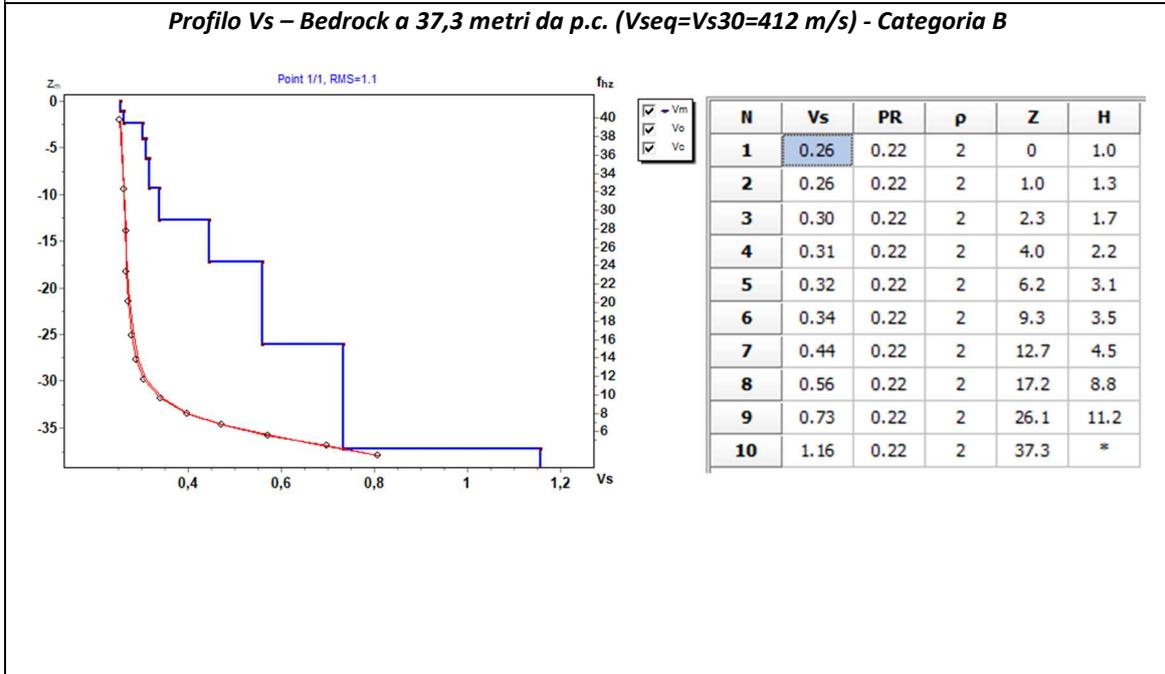
ALLEGATO 1

SMT05 – MASW 5

Sismogramma acquisito- Spettro velocità di fase/frequenza
 Curva di dispersione sperimentale e calcolata con profilo Vs
 (Acquisizione con shot a 34,5 m)



Profilo Vs – Bedrock a 37,3 metri da p.c. ($V_{seq}=V_{s30}=412$ m/s) - Categoria B

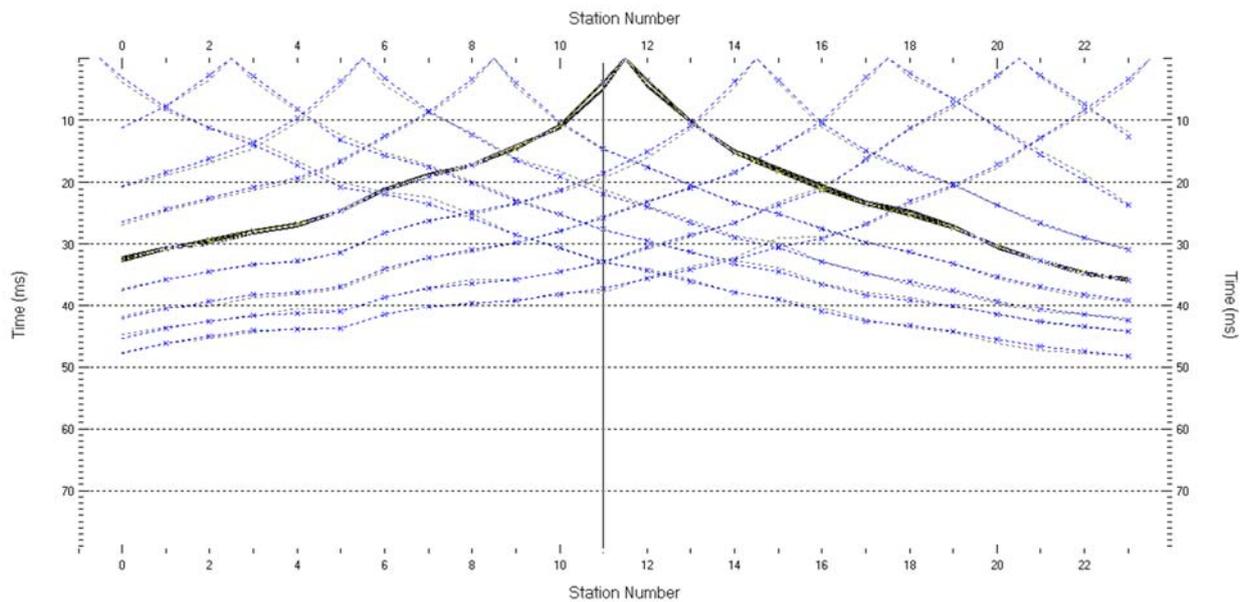


N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	0.26	0.22	2	0	1.0
2	0.26	0.22	2	1.0	1.3
3	0.30	0.22	2	2.3	1.7
4	0.31	0.22	2	4.0	2.2
5	0.32	0.22	2	6.2	3.1
6	0.34	0.22	2	9.3	3.5
7	0.44	0.22	2	12.7	4.5
8	0.56	0.22	2	17.2	8.8
9	0.73	0.22	2	26.1	11.2
10	1.16	0.22	2	37.3	*

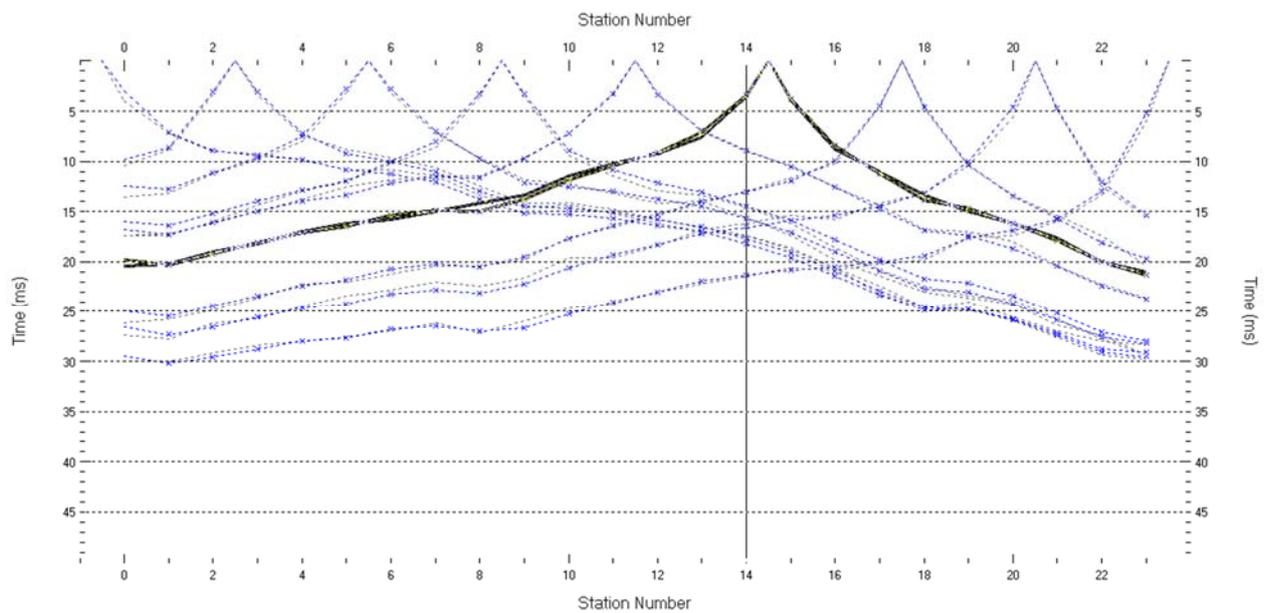
ALLEGATO 2

Sismica a rifrazione - dromocrone osservate e calcolate - grafico raggi sismici

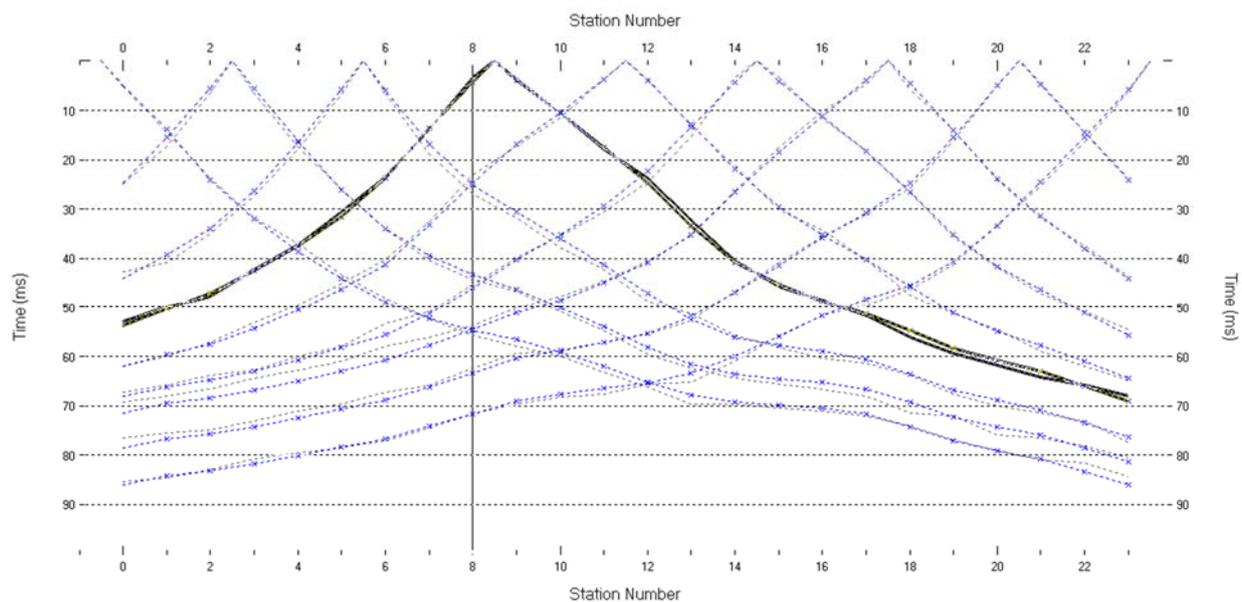
SMT01 - Sismica a rifrazione R1 in onde P - dromocrone osservate e calcolate



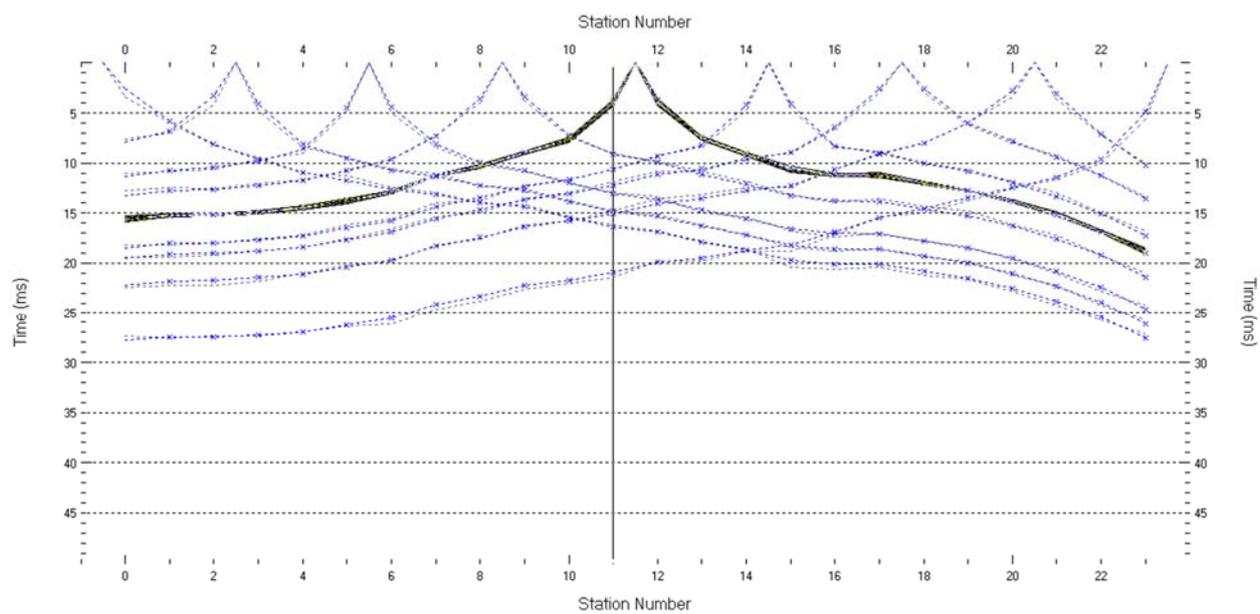
SMT02 - Sismica a rifrazione R2 in onde P - dromocrone osservate e calcolate



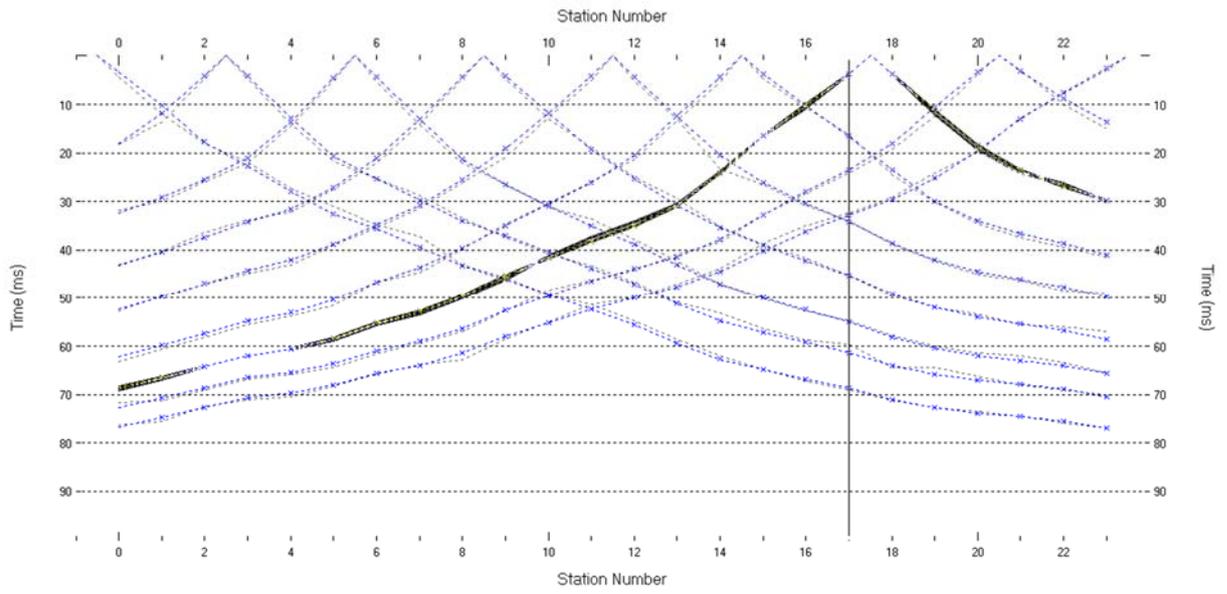
SMT03 - Sismica a rifrazione R3 in onde P - dromocrone osservate e calcolate



SMT04 - Sismica a rifrazione R4 in onde P - dromocrone osservate e calcolate



SMT05 - Sismica a rifrazione R5 in onde P - dromocrone osservate e calcolate



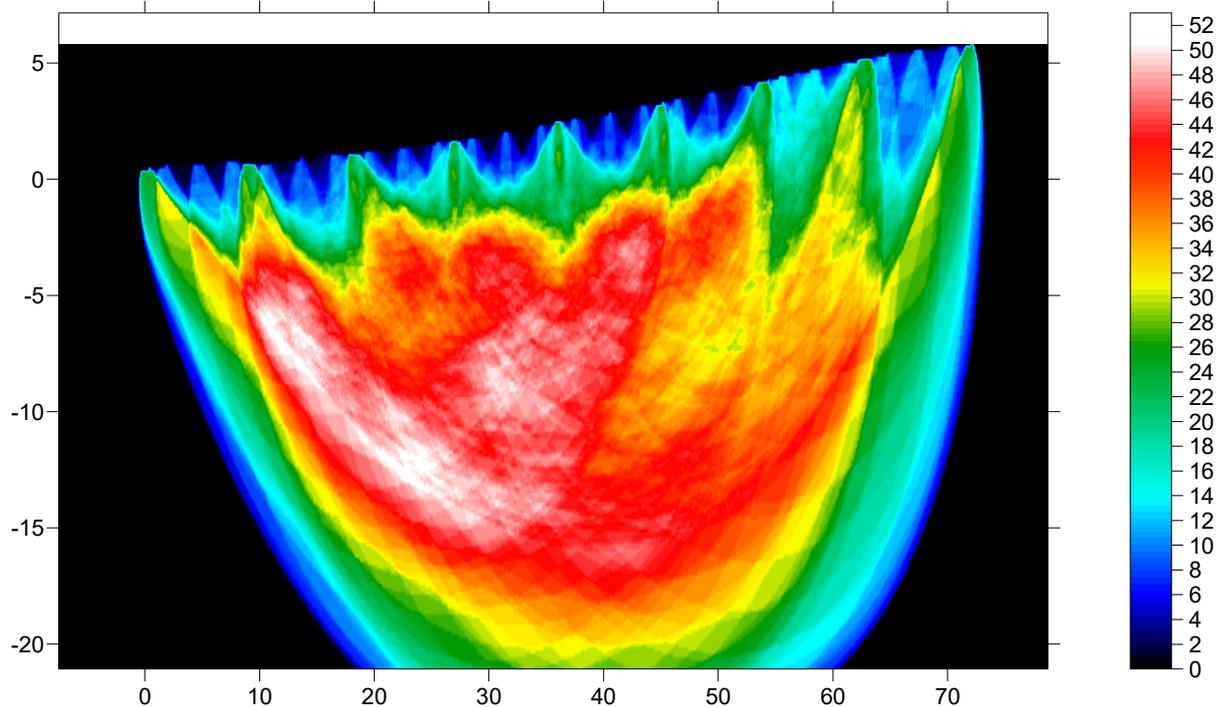
ALLEGATO 2

Sismica a rifrazione - dromocrone osservate e calcolate - grafico raggi sismici

SMT01 - Sismica a rifrazione R1 in onde P

Copertura raggi sismici

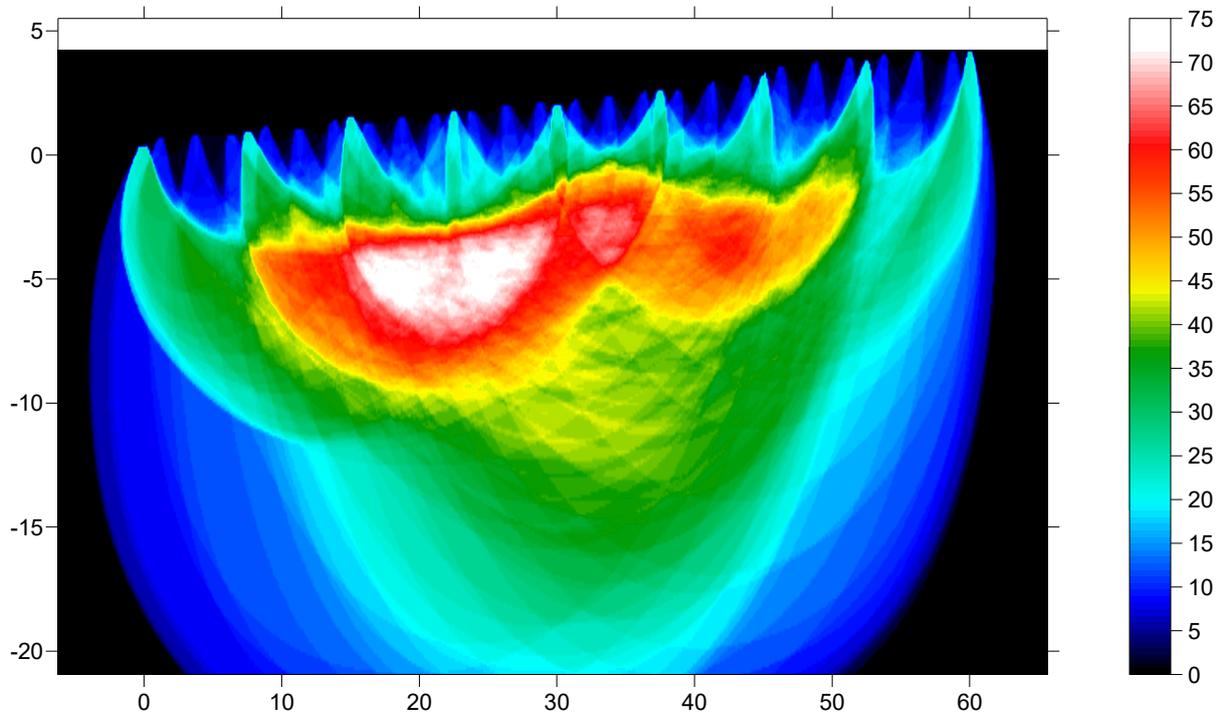
SMT01-R1 RMS error 1.7%=0.44ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.5% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



SMT02 - Sismica a rifrazione R2 in onde P

Copertura raggi sismici

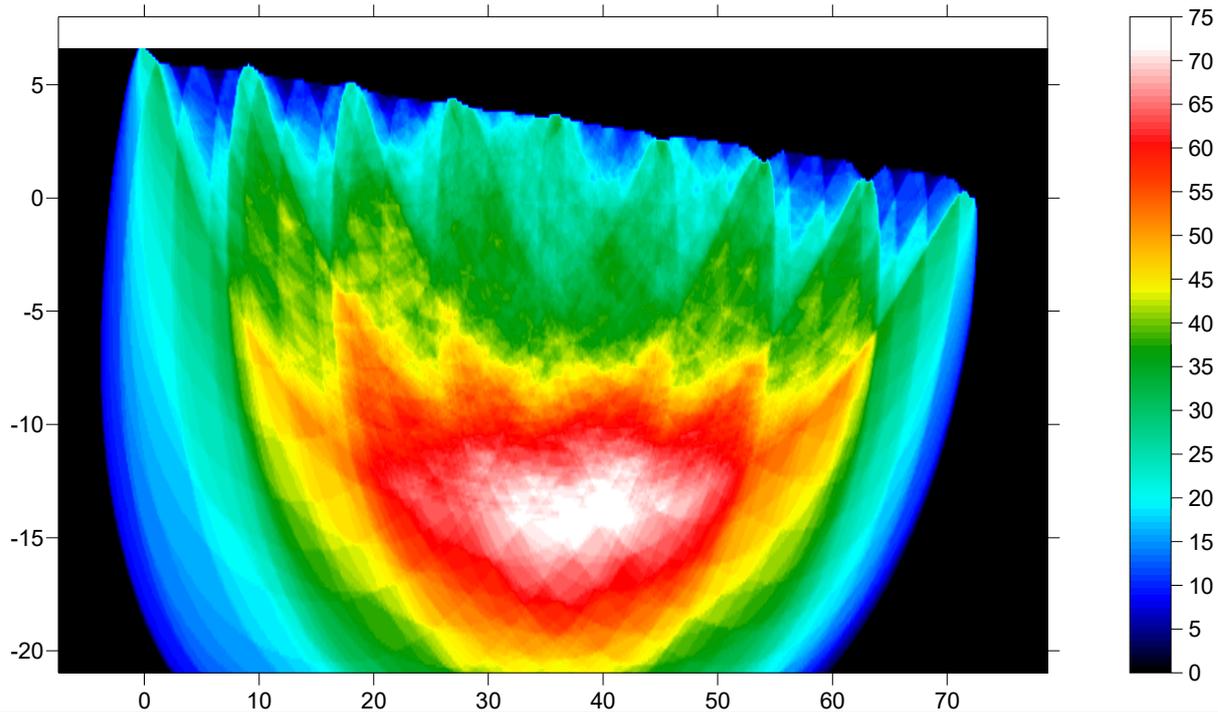
SMT02-Ray RMS error 3.0%=0.50ms 20 WET itr. 50Hz Width 2.5% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



SMT03 - Sismica a rifrazione R3 in onde P

Copertura raggi sismici

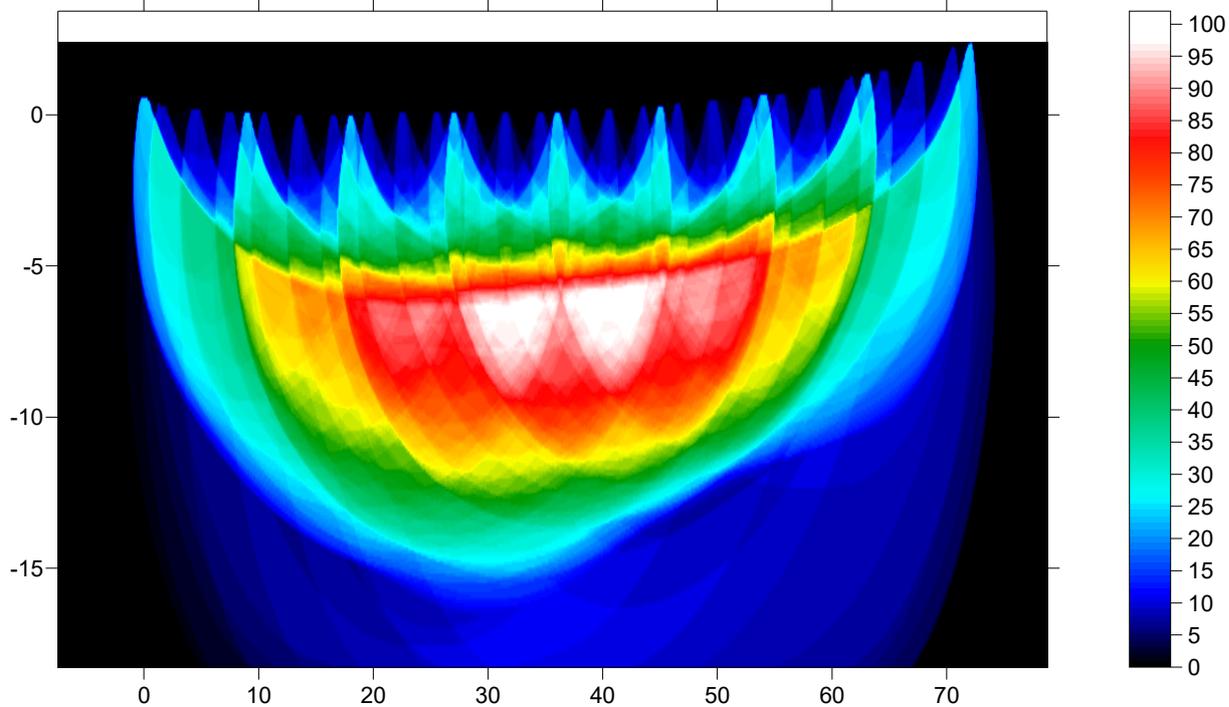
SMT03-Ray RMS error 1.9%=0.91ms 20 WET itr. 50Hz Width 9.0% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



SMT04 - Sismica a rifrazione R4 in onde P

Copertura raggi sismici

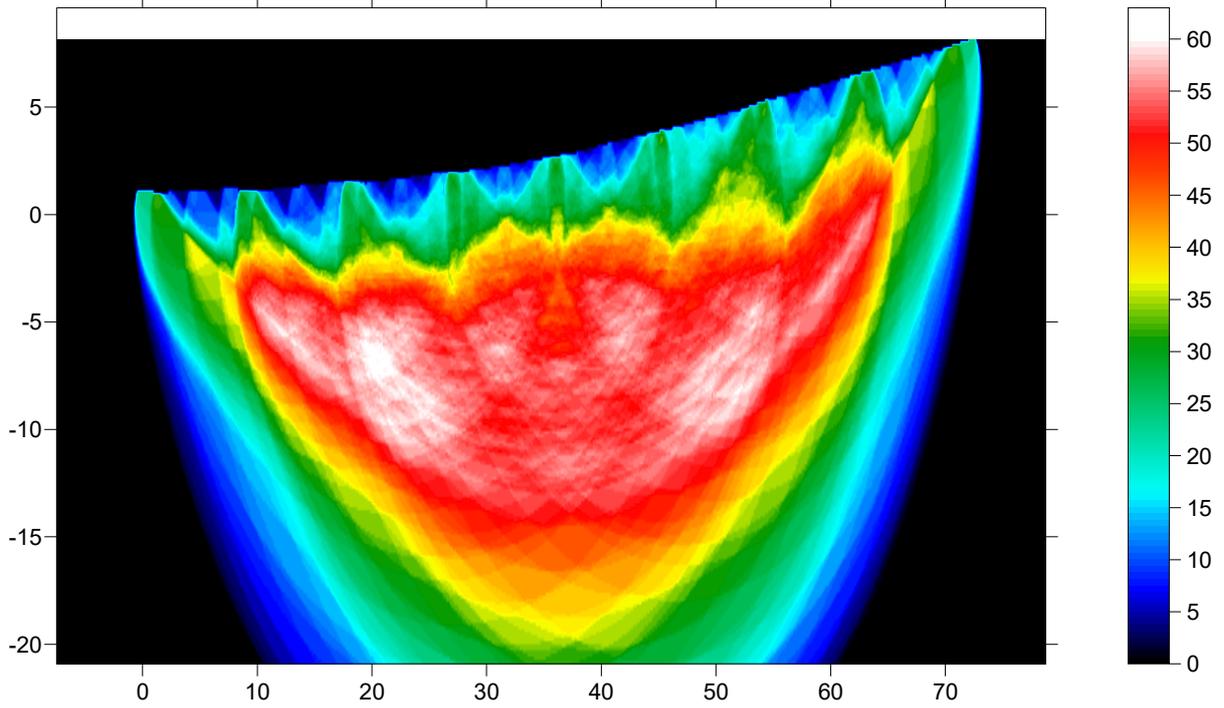
SMT04 RMS error 2.0%=0.29ms 20 WET itr. 50Hz Width 2.5% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



SMT05 - Sismica a rifrazione R5 in onde P

Copertura raggi sismici

SMT05 RMS error 1.9%=0.75ms 20 WET itr. 50Hz Width 8.0% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



Allegato 3: Documentazione fotografica indagini geofisiche

STENDIMENTO SMT01

Tomografia Elettrica SMT01 dall'elettrodo 1



Tomografia Elettrica SMT01 dall'elettrodo 32



Sismica a Rifrazione/Masw SMT01 dal Geofono 1



Sismica a Rifrazione/Masw SMT01 dal Geofono 24



STENDIMENTO SMT02

Tomografia Elettrica SMT02 dall'elettrodo 1



Tomografia Elettrica SMT02 dall'elettrodo 32



Sismica a Rifrazione/Masw SMT02 dal Geofono 1



Sismica a Rifrazione/Masw SMT02 dal Geofono 24



STENDIMENTO SMT03

Tomografia Elettrica SMT03 dall'elettrodo 1



Tomografia Elettrica SMT03 dall'elettrodo 32



Sismica a Rifrazione/Masw SMT03 dal Geofono 1



Sismica a Rifrazione/Masw SMT03 dal Geofono 24



STENDIMENTO SMT04

Tomografia Elettrica e Sismica a Rifrazione/Masw
SMT04 dall'elettrodo/geofono 1 al centro



Tomografia Elettrica e Sismica a Rifrazione/Masw
SMT04 dall'elettrodo centrale al 32

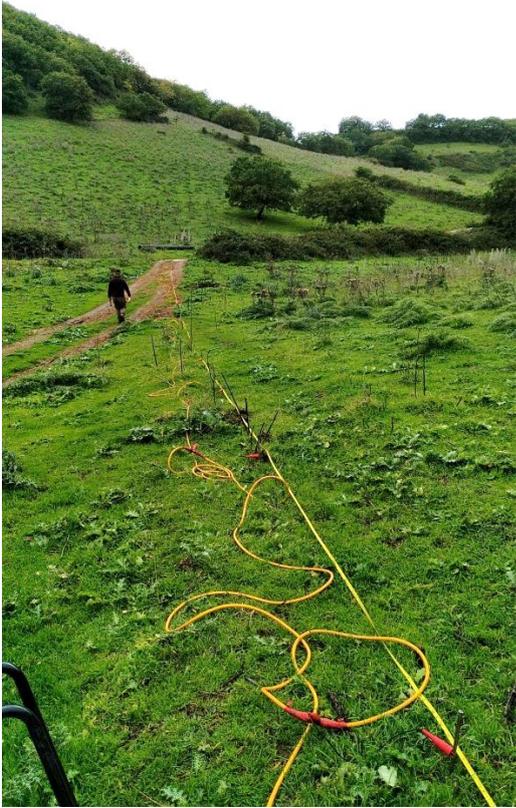


Tomografia Elettrica e Sismica a Rifrazione/Masw
SMT04 dal centro all'elettrodo/geofono 1

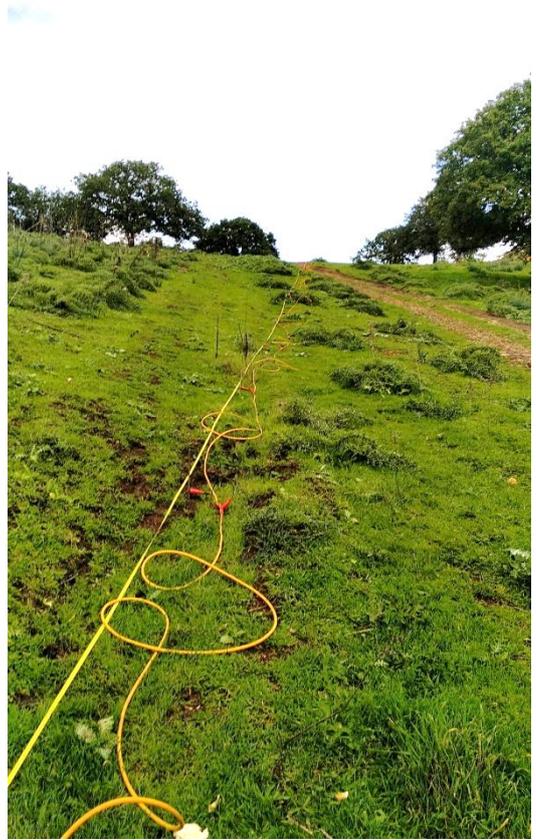


STENDIMENTO SMT05

Tomografia Elettrica SMT05 dall'elettrodo centrale al 1



Tomografia Elettrica SMT05 dall'elettrodo centrale al 32



Sismica a Rifrazione/Masw SMT05 dal Geofono 1

