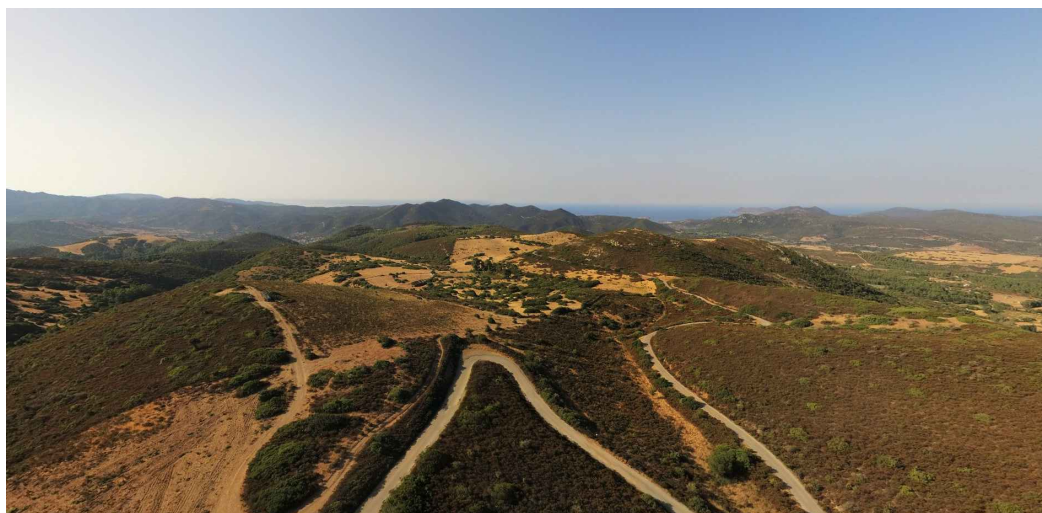


# PARCO EOLICO "KERSONESUS"

**COMUNE DI TEULADA**  
PROVINCIA DEL SUD SARDEGNA (SU)



## STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

**Elaborato:**

ELABORAZIONI SIA

**Relazione indagini geognostiche**

Codice elaborato:

**TL\_SIA\_AII.02**

Data: Marzo 2023

**Il committente:** Sardeolica s.r.l.

**Coordinamento:** FAD SYSTEM SRL - Società di ingegneria

Dott. Ing. Ivano Distinto

Dott. Ing. Carlo Foddis

**Elaborazione SIA:**

BIA s.r.l.  
Società di ingegneria

**Elaborato a cura di:**

Geoservice s.r.l.  
Dott. Geol. Andrea Carcangiu

rev.	data	descrizione revisione	rev.	data	descrizione revisione
0	16/03/2023	Emesso per procedura di VIA			

**RELAZIONE TECNICA SULLE  
INDAGINI GEOFISICHE**  
(M.A.S.W e Sismica a Rifrazione in onde P)  
*Realizzazione di un parco eolico in agro di Teulada (SU)*

N° Tavola	Scala Disegno	Data	Data Aggiornamento	Redatto:
<b>R1</b>	varie	15/11/2022	--	A.Carcangiu D.Succu

Oggetto:	Scala Plottaggio	CTB
<b>RELAZIONE TECNICA</b>	1.1	--

**Committente:**

FAD SYSTEM S.R.L.  
Via Argiolas n.134-09134 Cagliari (CA)  
P.IVA 03167950926

**Cantiere:** Località: agro di Teulada  
Comune di Teulada (SU)



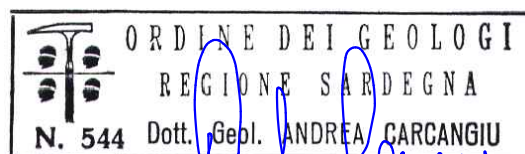
**GEOSERVICE**

**GEOSERVICE S.r.l.**

Sede: Casa Spadaccino - Loc. Su loi, km 13+400, SS 195  
Sulcitana, 09012 Torre degli Ulivi Capoterra (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](mailto:info@geoservicesardegna.com);  
PEC: [geoservice.sas@pec.it](mailto:geoservice.sas@pec.it)  
[www.geoservicesardegna.com](http://www.geoservicesardegna.com)  
L'Amministratore

Il Direttore Tecnico

Dott. Geol. Andrea Carcangiu



Collaboratore

Dott. Geol. Daniele Succu

## Sommario

1	PREMESSA .....	2
2	PROGRAMMA DELLE INDAGINI SVOLTE.....	3
3	RILIEVO TOPOGRAFICO .....	4
4	INDAGINI SISMICHE: MASW .....	7
4.1	Tecnica e parametri utilizzati .....	7
4.2	Strumentazione utilizzata.....	8
4.3	Elaborazione dei dati.....	8
4.4	CATEGORIE DI SOTTOSUOLO - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018).....	10
4.5	VALORI DI VELOCITÀ DELLE ONDE P ED S PER I PRINCIPALI LITOTIPI.....	12
4.6	DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI DI DEFORMAZIONE E DI RESISTENZA AL TAGLIO DALLE INDAGINI SISMICHE.....	13
5	SISMICA A RIFRAZIONE.....	15
5.1	Strumentazione utilizzata.....	15
5.2	Elaborazione dei dati.....	16
5.3	Valutazione della escavabilità delle rocce.....	19
5.4	RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO TL_SISM_01-TURBINA TL02 .....	21
5.4.1	M1-TL_SISM_01-TL02: MASW.....	21
5.4.2	R1-TL_SISM_01-TL02: Sismica a rifrazione in onde P.....	23
5.5	RISULTATI DELLE INDAGINI SITO TL_SISM_02-TURBINA TL05 .....	25
5.5.1	M2- TL_SISM_02-TL05: MASW.....	25
5.5.2	R2-TL_SISM_02-TL05: Sismica a rifrazione in onde P.....	27
5.6	RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO TL_SISM_03-TURBINA TL07 .....	29
5.6.1	M3-TL_SISM_03-TL07: MASW.....	29
5.6.2	R3-TL_SISM_03-TL07: Sismica a rifrazione in onde P.....	31
6	INDICAZIONI PER LA DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI GEOMECCANICI.....	33
7	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....	34

## 1 PREMESSA

La presente relazione descrive le attività delle indagini geofisiche realizzate su incarico conferito dalla Società FAD SYSTEM S.R.L nell'ambito del progetto "Realizzazione di un parco eolico in agro di Teulada (SU)".

Le prospezioni geofisiche sono state realizzate impiegando la metodologia MASW e della sismica a rifrazione in onde P, seguono le specifiche e le caratteristiche delle tecniche 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. E' molto utile anche per classificare la cosiddetta "rippabilità" degli ammassi rocciosi e per ottenere per via indiretta una classificazione dell'ammasso roccioso.

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 richiesto dalla committenza sono stati realizzati in totale n° 3 stendimenti di MASW e n°3 stendimenti di sismica a rifrazione in onde P lungo il medesimo allineamento.

Fanno parte integrante della presente relazione i seguenti allegati:

- Tavola 1. Inquadramento generale dell'area di indagini – scala 1:10.000
- Tavole 2-3-4. Planimetria di dettaglio ubicazione indagini geofisiche – scala 1:500
- 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:

1. In data 08 Novembre 2022 esecuzione di n°3 stendimenti di sismica con tecnica MASW e rifrazione in onde P. Si ricorda che tutte le basi sismiche MASW ricadono lungo il medesimo allineamento delle rifrazioni.
2. Rilievo topografico tramite GPS differenziale STONEX S70G (geofoni, punti di shot) e restituzione dei profili altimetrici da impiegare nelle sezioni di sismica a rifrazione in onde P.
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**.

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

**Tabella 1.** Quadro riassuntivo delle indagini svolte

<b>Stendimento</b>	<b>Metodo di indagine geofisico</b>	<b>Orientamento</b>	<b>Lunghezza(m)</b>
M1-TL_SISM_01-TL02	MASW	ESE-WNW	69,0
R1-TL_SISM_01-TL02	Sismica a rifrazione in onde P	ESE-WNW	69,0
M2-TL_SISM_02-TL05	MASW	NW-SE	69,0
R2-TL_SISM_02-TL05	Sismica a rifrazione in onde P	NW-SE	69,0
M3-TL_SISM_03-TL07	MASW	SE-NW	69,0
R3-TL_SISM_03-TL07	Sismica a rifrazione in onde P	SE-NW	69,0

### 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.

Legenda:

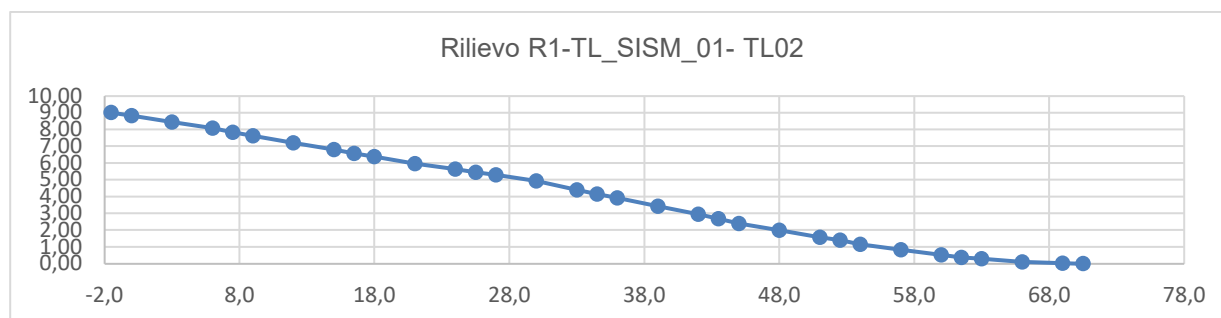
G1: Nome Geofono; S1: Nome Shot/energizzazione

Est/Nord: Longitudine e Latitudine, in Coordinate Gauss Boaga

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

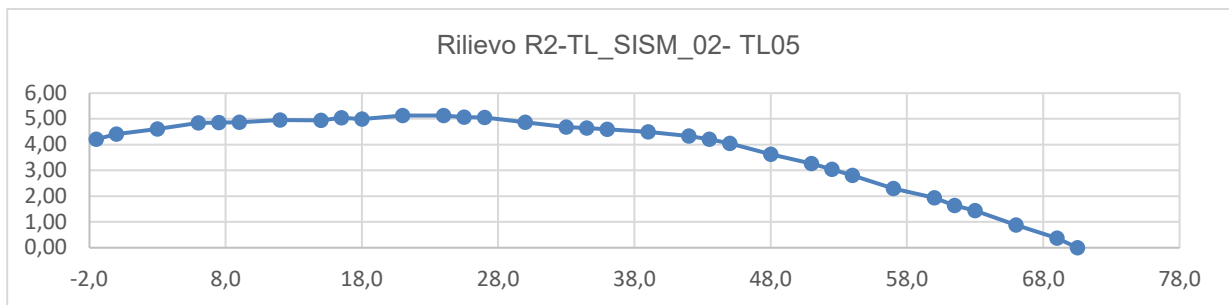
#### STENDIMENTO R1-TL\_SISM\_01- TL02

Nome punto	Progressive (m)	Est (Longitudine)	Nord (Latitudine)	QA: Quota assoluta (m.s.l.m)	QR: Quota Relativa (m.p.c)
S1	-1,5	1479465,03	4317385,33	370,56	9,01
G1	0	1479463,55	4317385,44	370,36	8,81
G2	3	1479460,58	4317385,85	369,99	8,44
G3	6	1479457,70	4317386,20	369,63	8,08
S2	7,5	1479456,14	4317386,49	369,38	7,84
G4	9	1479454,74	4317386,72	369,16	7,61
G5	12	1479451,83	4317387,01	368,76	7,21
G6	15	1479448,86	4317387,39	368,35	6,81
S3	16,5	1479447,33	4317387,73	368,12	6,57
G7	18	1479445,92	4317387,79	367,92	6,37
G8	21	1479442,99	4317388,07	367,50	5,95
G9	24	1479439,98	4317388,54	367,18	5,63
S4	25,5	1479438,55	4317388,76	366,99	5,44
G10	27	1479437,08	4317388,77	366,83	5,28
G11	30	1479434,24	4317389,26	366,47	4,92
G12	33	1479431,27	4317389,70	365,94	4,40
S5	34,5	1479429,78	4317390,14	365,69	4,14
G13	36	1479428,36	4317390,06	365,46	3,91
G14	39	1479425,44	4317390,45	364,96	3,41
G15	42	1479422,51	4317390,70	364,49	2,95
S6	43,5	1479420,92	4317391,00	364,22	2,67
G16	45	1479419,55	4317391,08	363,94	2,40
G17	48	1479416,62	4317391,50	363,53	1,98
G18	51	1479413,66	4317391,87	363,11	1,56
S7	52,5	1479412,29	4317392,13	362,94	1,40
G19	54	1479410,85	4317392,08	362,69	1,14
G20	57	1479407,87	4317392,52	362,37	0,83
G21	60	1479404,91	4317392,84	362,07	0,52
S8	61,5	1479403,40	4317392,96	361,91	0,36
G22	63	1479401,96	4317393,16	361,83	0,29
G23	66	1479399,01	4317393,41	361,65	0,10
G24	69	1479396,03	4317393,79	361,57	0,03
S9	70,5	1479394,50	4317393,95	361,55	0,00



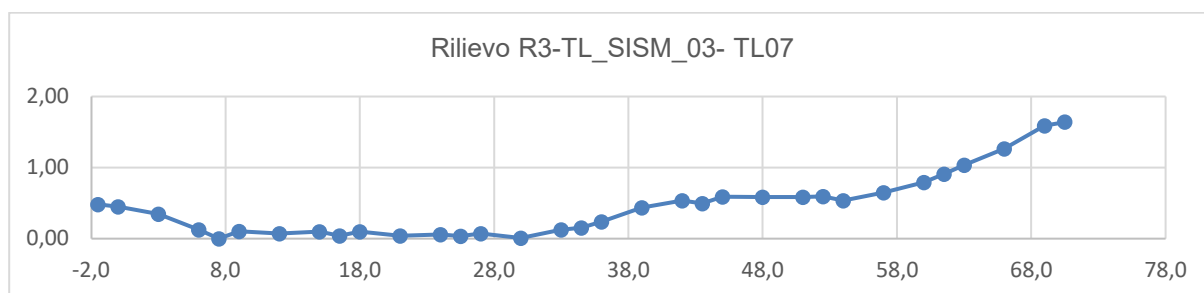
**STENDIMENTO R2-TL\_SISM\_02- TL05**

Nome punto	Progressive (m)	Est (Longitudine)	Nord (Latitudine)	Quota assoluta (m.s.l.m)	Quota Relativa (m.p.c)
S1	-1,5	1479311,53	4316086,05	327,14	4,21
G1	0	1479312,58	4316084,92	327,34	4,40
G2	3	1479314,48	4316082,61	327,54	4,61
G3	6	1479316,43	4316080,34	327,77	4,83
S2	7,5	1479317,43	4316079,35	327,78	4,85
G4	9	1479318,38	4316078,15	327,80	4,87
G5	12	1479320,30	4316075,79	327,88	4,94
G6	15	1479322,21	4316073,52	327,87	4,93
S3	16,5	1479323,19	4316072,37	327,96	5,03
G7	18	1479324,15	4316071,33	327,92	4,99
G8	21	1479326,20	4316069,18	328,06	5,13
G9	24	1479328,21	4316066,88	328,06	5,13
S4	25,5	1479329,17	4316065,65	328,00	5,06
G10	27	1479330,21	4316064,64	327,99	5,05
G11	30	1479332,09	4316062,35	327,80	4,87
G12	33	1479334,18	4316060,17	327,60	4,67
S5	34,5	1479335,20	4316059,08	327,57	4,64
G13	36	1479336,28	4316058,10	327,52	4,58
G14	39	1479338,40	4316055,99	327,43	4,49
G15	42	1479340,45	4316053,73	327,26	4,32
S6	43,5	1479341,52	4316052,70	327,14	4,20
G16	45	1479342,51	4316051,61	326,97	4,04
G17	48	1479344,51	4316049,44	326,55	3,62
G18	51	1479346,54	4316047,23	326,20	3,26
S7	52,5	1479347,48	4316046,08	325,98	3,04
G19	54	1479348,49	4316044,94	325,73	2,80
G20	57	1479350,48	4316042,85	325,22	2,29
G21	60	1479352,59	4316040,69	324,87	1,94
S8	61,5	1479353,55	4316039,74	324,57	1,64
G22	63	1479354,62	4316038,71	324,38	1,44
G23	66	1479356,70	4316036,60	323,82	0,88
G24	69	1479358,78	4316034,60	323,30	0,37
S9	70,5	1479359,88	4316033,63	322,93	0,00



STENDIMENTO R3-TL\_SISM\_03- TL07

Nome punto	Progressive (m)	Est (Longitudine)	Nord (Latitudine)	Quota assoluta (m.s.l.m)	Quota Relativa (m.p.c)
S1	-1,5	1478626,79	4315492,91	340,75	0,48
G1	0	1478626,06	4315494,23	340,72	0,45
G2	3	1478624,64	4315496,80	340,61	0,35
G3	6	1478623,23	4315499,40	340,39	0,12
S2	7,5	1478622,61	4315500,80	340,27	0,00
G4	9	1478621,81	4315502,02	340,37	0,11
G5	12	1478620,33	4315504,83	340,34	0,07
G6	15	1478618,83	4315507,37	340,36	0,10
S3	16,5	1478618,30	4315508,73	340,30	0,04
G7	18	1478617,53	4315509,94	340,36	0,10
G8	21	1478616,02	4315512,52	340,31	0,04
G9	24	1478614,47	4315515,11	340,32	0,06
S4	25,5	1478613,76	4315516,34	340,30	0,04
G10	27	1478612,98	4315517,73	340,34	0,07
G11	30	1478611,46	4315520,29	340,28	0,01
G12	33	1478609,92	4315522,84	340,39	0,12
S5	34,5	1478609,14	4315524,06	340,42	0,15
G13	36	1478608,51	4315525,47	340,50	0,24
G14	39	1478607,02	4315528,05	340,70	0,44
G15	42	1478605,58	4315530,65	340,80	0,53
S6	43,5	1478604,80	4315531,87	340,76	0,50
G16	45	1478604,10	4315533,29	340,85	0,59
G17	48	1478602,66	4315535,88	340,85	0,59
G18	51	1478601,25	4315538,55	340,85	0,59
S7	52,5	1478600,58	4315539,82	340,86	0,59
G19	54	1478599,88	4315541,13	340,80	0,54
G20	57	1478598,45	4315543,72	340,91	0,65
G21	60	1478597,07	4315546,36	341,06	0,79
S8	61,5	1478596,29	4315547,70	341,17	0,91
G22	63	1478595,61	4315549,06	341,30	1,04
G23	66	1478594,22	4315551,62	341,53	1,27
G24	69	1478592,80	4315554,36	341,85	1,59
S9	70,5	1478592,25	4315555,61	341,91	1,64



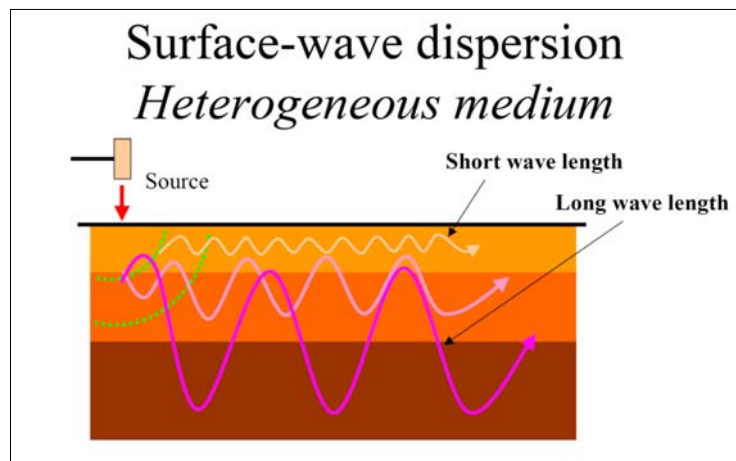


## 4 INDAGINI SISMICHE: MASW

### 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

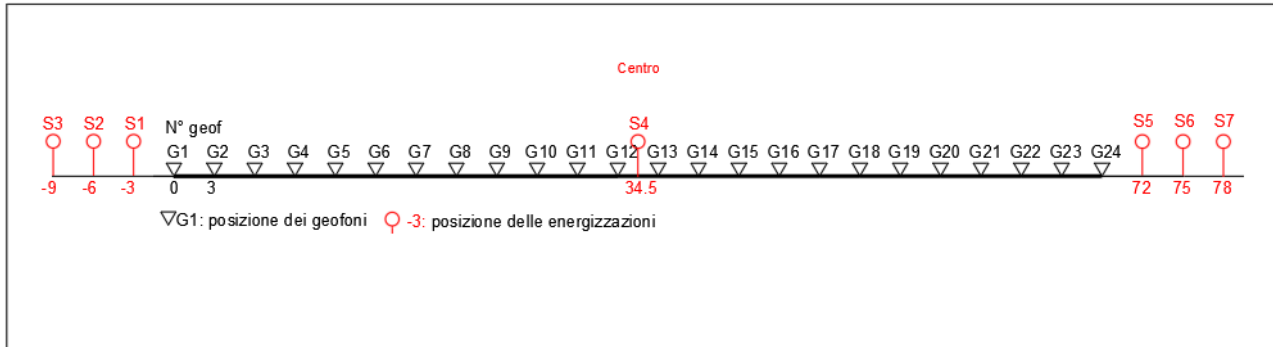
L'indagine si sviluppa mediante la materializzazione sul terreno di una linea retta mediante la posa di una fettuccia metrica. A seguire vengono posizionati i geofoni intervallati ad una distanza pari a 3,0 m in funzione anche della disponibilità di spazio. Esternamente alla stesa geofonica, da ora base 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



#### 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.

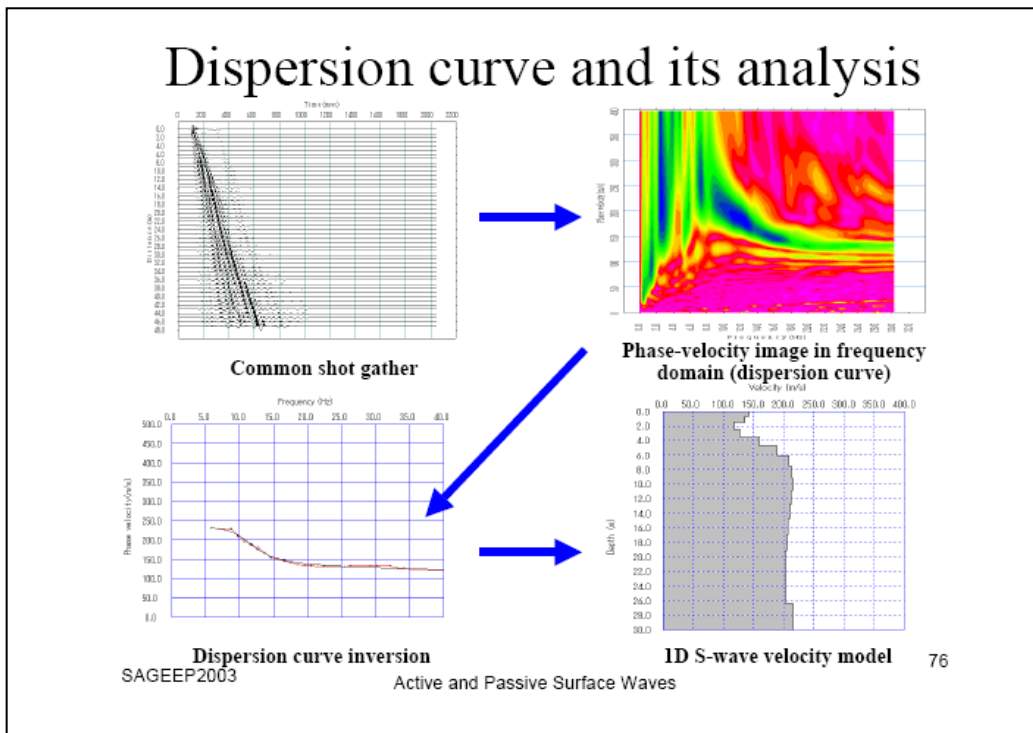
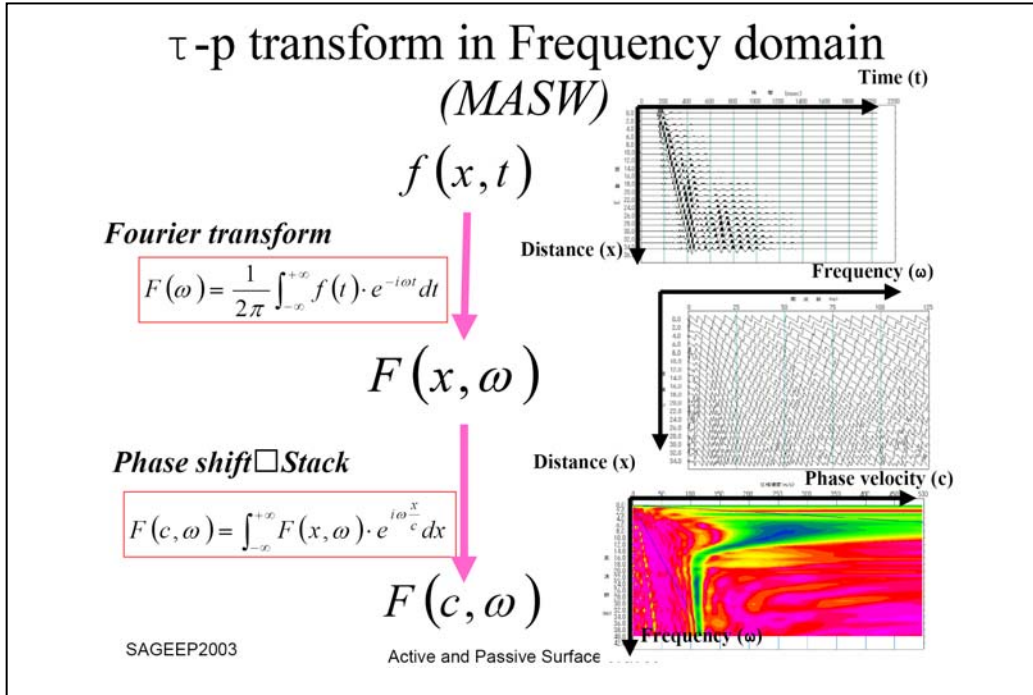
#### 4.3 Elaborazione dei dati

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.



#### 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;

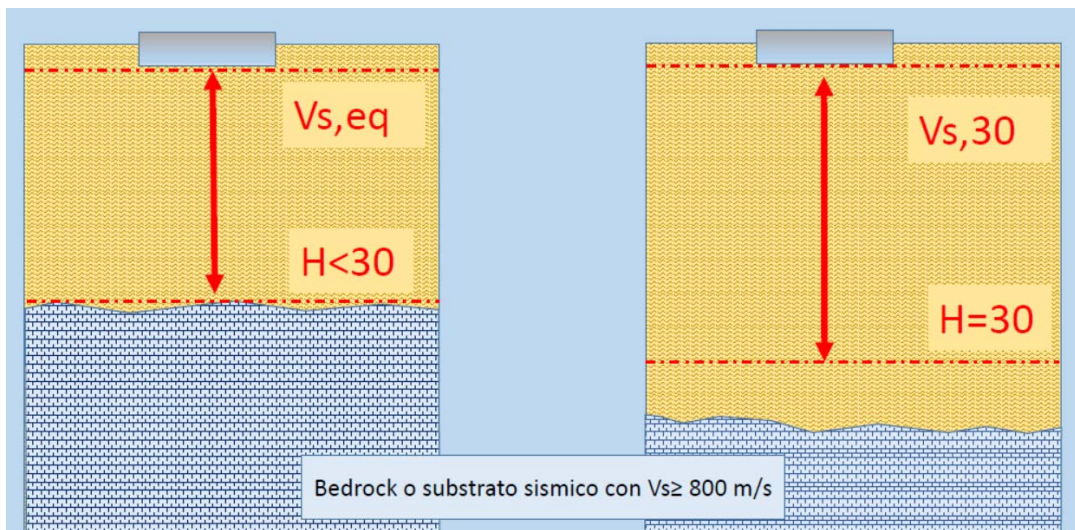
$N$  numero di strati;

$H$  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  $V_{seq}$  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
<b>A</b>	<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>B</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.
<b>C</b>	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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.
<b>D</b>	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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.
<b>E</b>	<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
<b>TERRENI E ACQUA</b>		
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
<b>ROCCE SEDIMENTARIE</b>		
Argillite	2100 - 4400	550 - 2100
Arenaria	1500 - 6000	950 - 3100
Arenaria fratturate	800 - 2100	360 - 950
Calccare	2000 - 7000	1000 - 3300
Calccare fratturato	750 - 1500	330 - 1000
Calcarenite	1400 - 4400	800 - 2500
Calcarenite fratturata	600 - 1300	330 - 800
Marna	1500 - 4500	600 - 1.500
<b>ROCCE IGNEE</b>		
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 rigidezza 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 sismostrato 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  $E_{din}$  si può applicare la nota relazione proposta da Rzhovsky e Novik (1971) valida per i moduli misurati in MPa o Kg/cm<sup>2</sup>:

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

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.

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

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 da 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  $N_{spt} = (V_s / \alpha)^\beta$  con i coefficienti  $\alpha$  e  $\beta$  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.

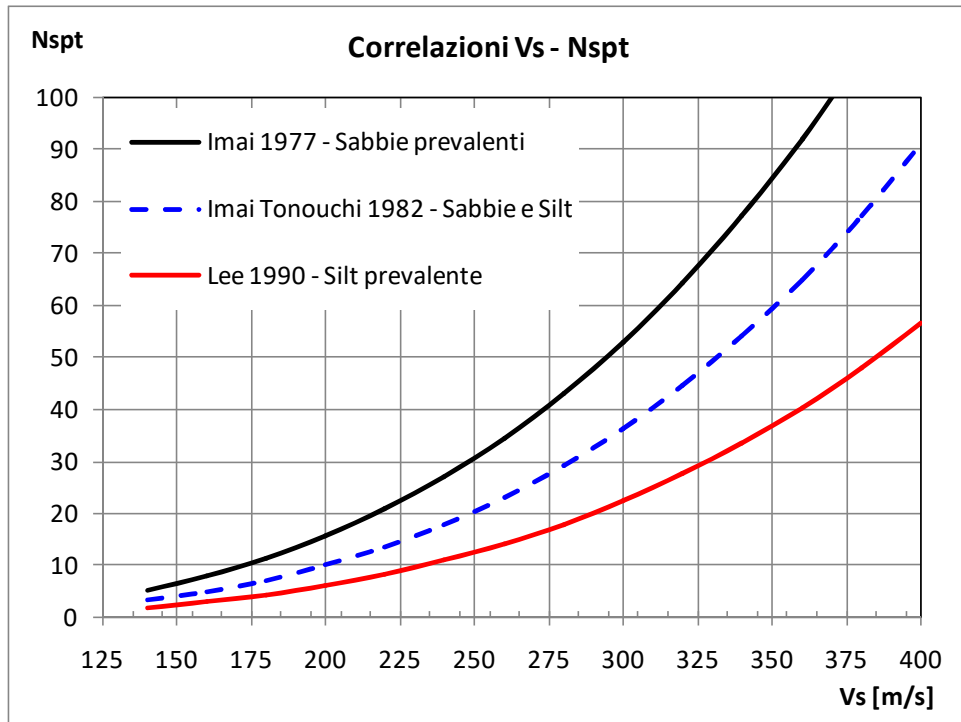
A tale scopo si illustrano le correlazioni proposte da Imai 1977, Imai e Tonuchi (1982) e Lee (1990) valide per tre differenti tipologie di terreni che caratterizzano in genere tutti i terreni:

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

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

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

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

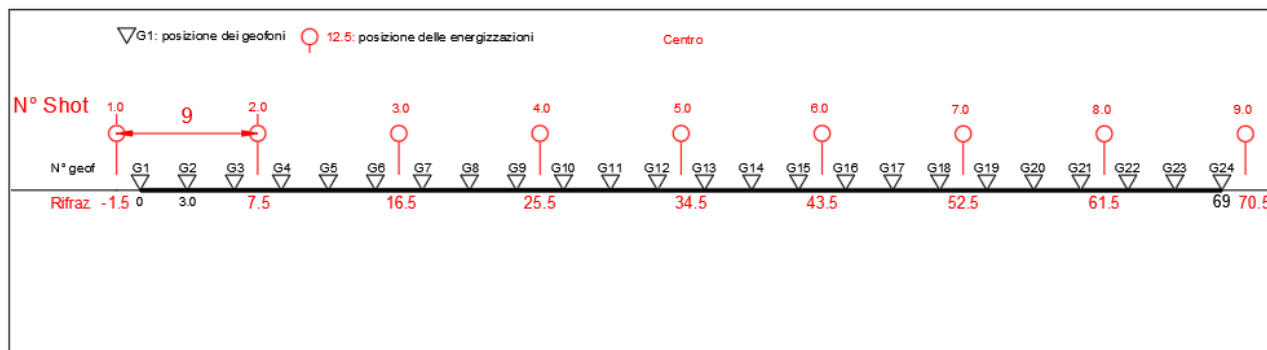
La tecnica di prospezione sismica a rifrazione consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in un punto in superficie (punto di energizzazione/sparo), in corrispondenza di una molteplicità di ricevitori (geofoni) disposti allineati sulla superficie topografica.

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 2:** Stendimento di sismica a rifrazione in onde P con 24 geofoni, interdistanza di 3,0 m, lunghezza complessiva 69,0 m

### 5.1 Strumentazione utilizzata

Per l'indagine eseguita è stata impiegata una strumentazione di acquisizione modello DoReMi a 24 bit, prodotto dalla SARA electronicsinstruments, 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).

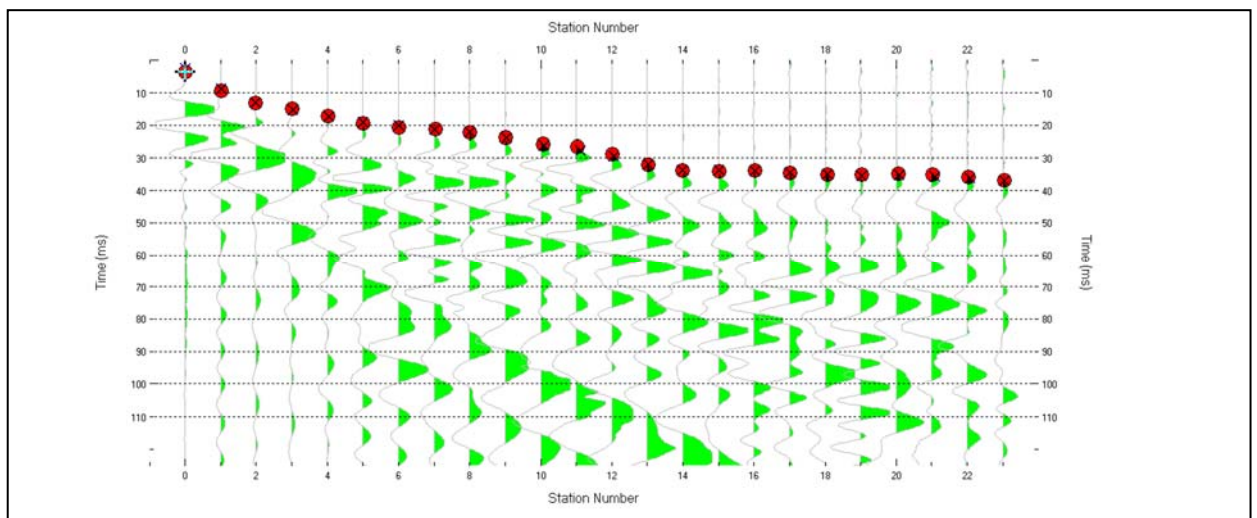
La qualità dei dati è risultata nel complesso buona e il picking è stato realizzato facilmente per tutte le basi sismiche. Nelle figure che seguono si riportano alcune schermate delle operazioni eseguite.

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%.

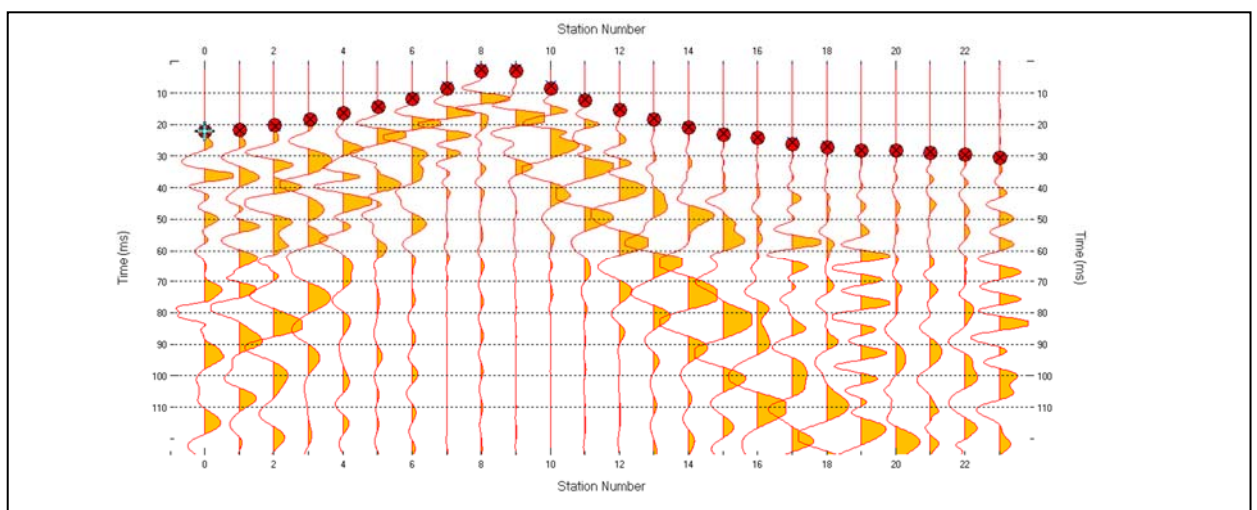
In particolare, l'elaborazione dei dati di sismica a rifrazione è stata eseguita secondo il metodo tomografico impiegando il software Rayfract 4.01, che parte da un modello iniziale generato con la tecnica Deltat-V. Successivamente viene effettuata l'inversione iterativa del modello con la tecnica WET (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

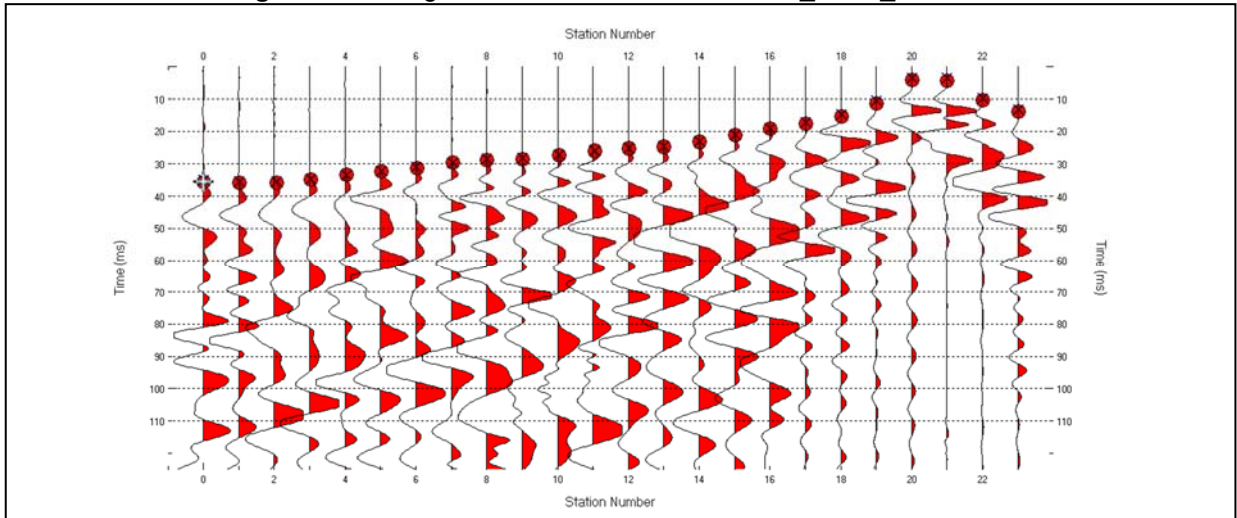
**Figura 1:** Sismogramma shot a -1,5 m di R1-TL\_SISM\_01- TL02



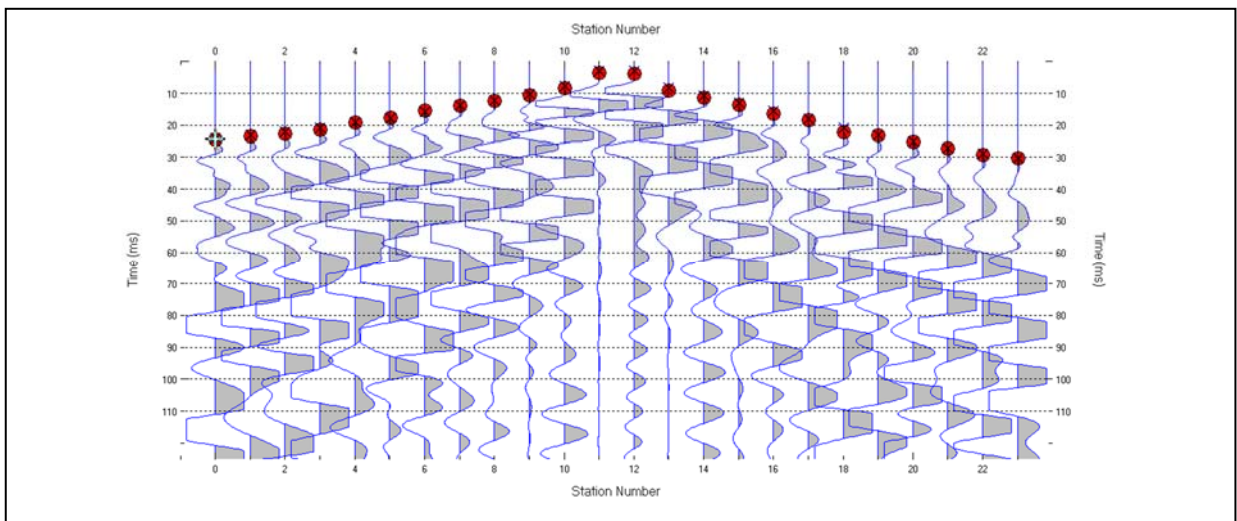
**Figura 2:** Sismogramma shot a 25,5 m di R1-TL\_SISM\_01- TL02



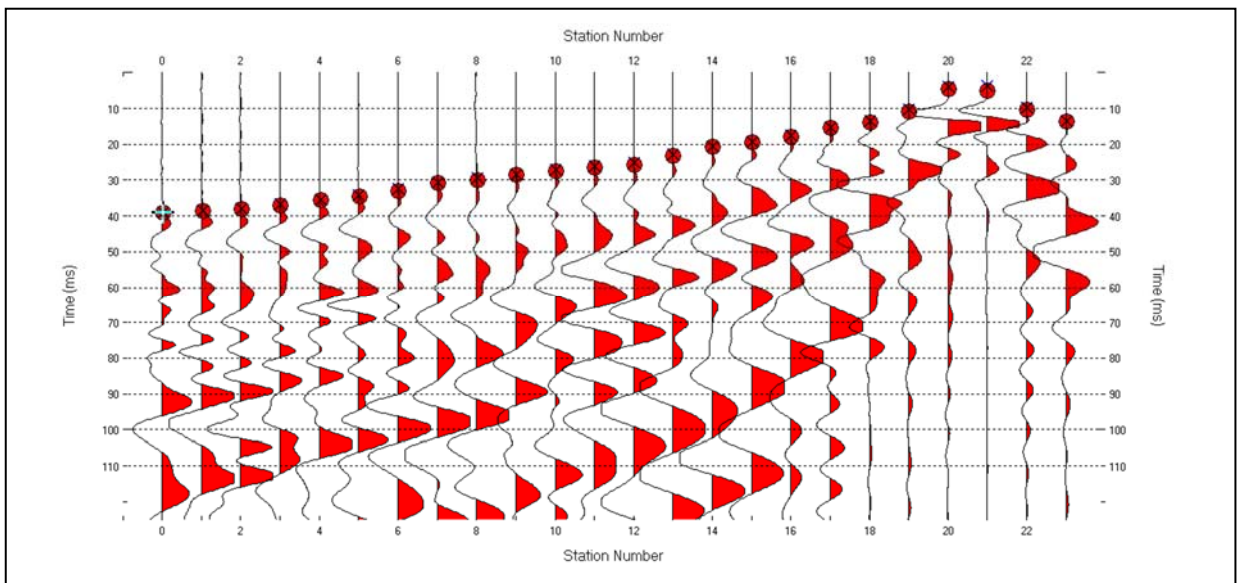
**Figura 3:** Sismogramma shot a 61,5 m di R1-TL\_SISM\_01- TL02



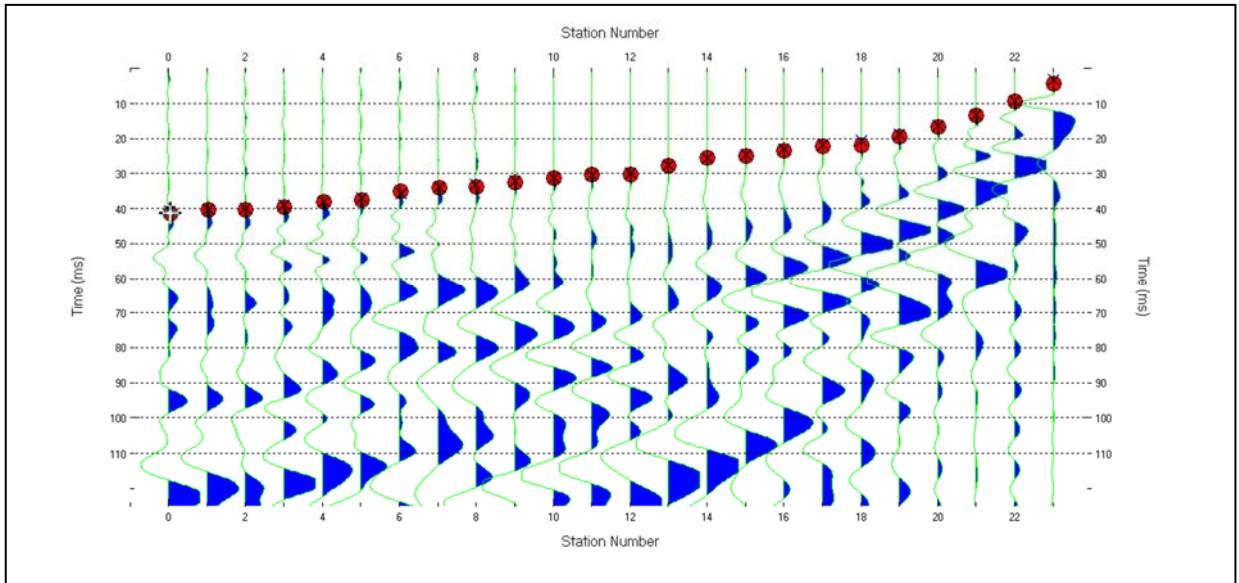
**Figura 4:** Sismogramma shot a 34,5 m di R2-TL\_SISM\_02- TL05



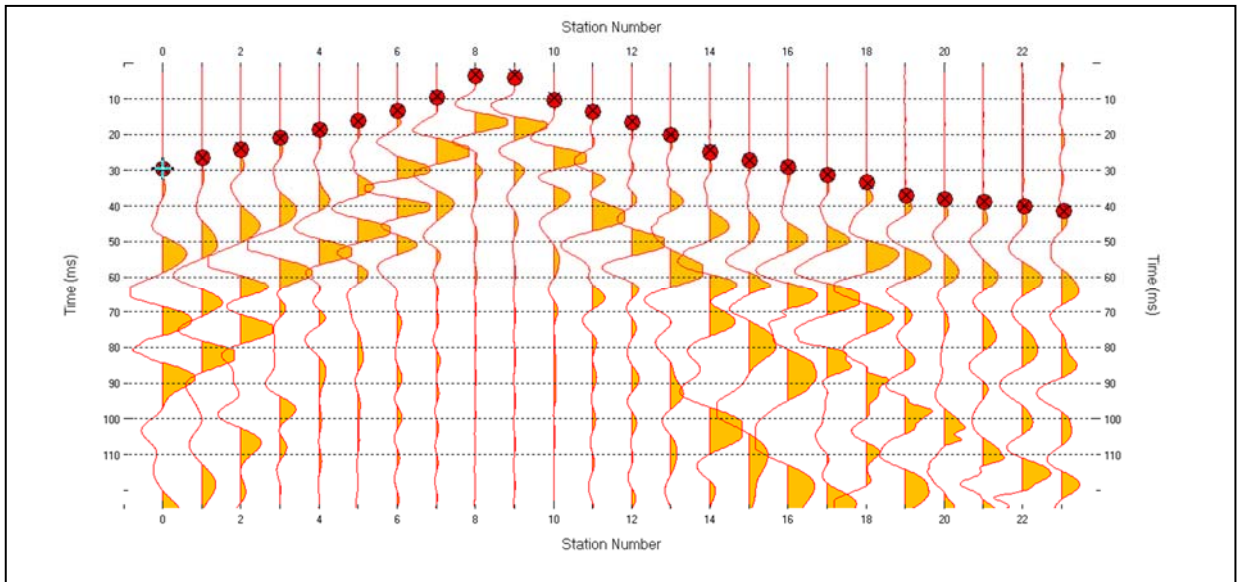
**Figura 5:** Sismogramma shot a 61,5 m di R2-TL\_SISM\_02- TL05



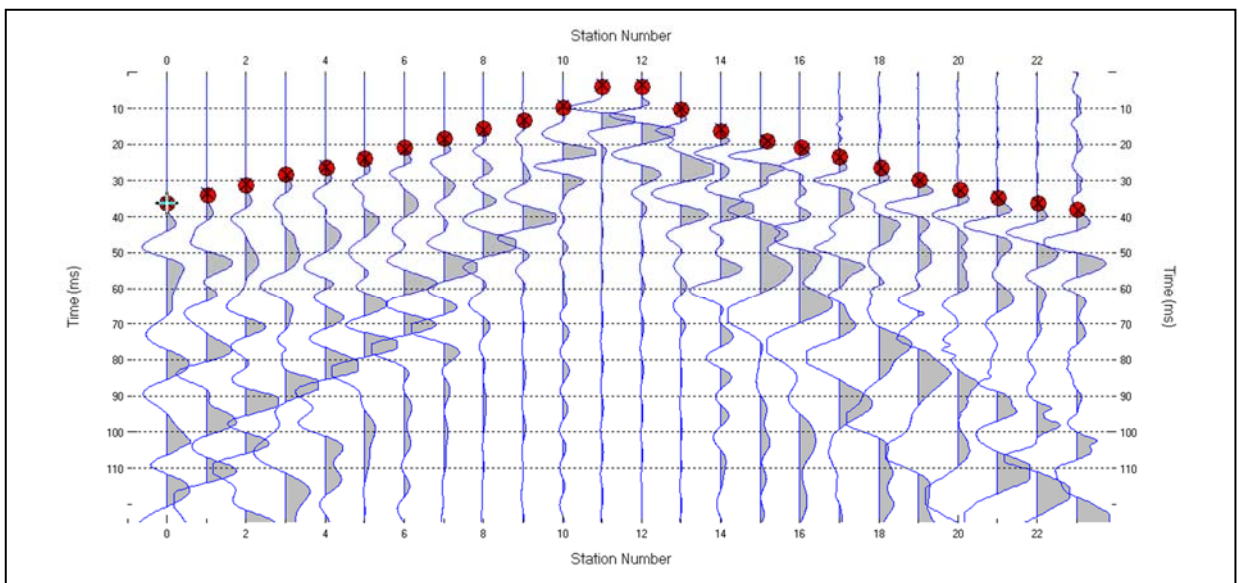
**Figura 6:** Sismogramma shot a 70,5 m di R2-TL\_SISM\_02- TL05



**Figura 7:** Sismogramma shot a 25,5 m di R3-TL\_SISM\_03- TL07



**Figura 8:** Sismogramma shot a 34,5 m di R3-TL\_SISM\_03- TL07



### 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*"<sup>1</sup> 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 Transportations**, 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

<sup>1</sup>twelfth edition - February 2000 - Caterpillar inc- Peoria , Illinois

nonché la correlazione edita dalla **Caterpillar** valida per la macchina operatrice D8 Ripper e relativa a varie tipologie di roccia.

Sulla base dei dati bibliografici, da cui emerge che le varie aree sono caratterizzate dalla presenza di rocce metamorfiche (Metarenarie e metasiltiti) sottostanti a coltri eluvio-colluviali, a velocità di 2000 m/s corrispondono materiali già difficilmente rippabili, mentre per velocità oltre 2400 m/s il mezzo meccanico D8 non è più sufficiente, per cui sarà necessario l'utilizzo di un mezzo meccanico più grande (D9 o D10) o l'utilizzo di altri metodi di abbattimento quali la demolizione meccanica, l'uso di micro-cariche o in estrema ipotesi, se le strutture esistenti lo permettono, l'uso dell'esplosivo.

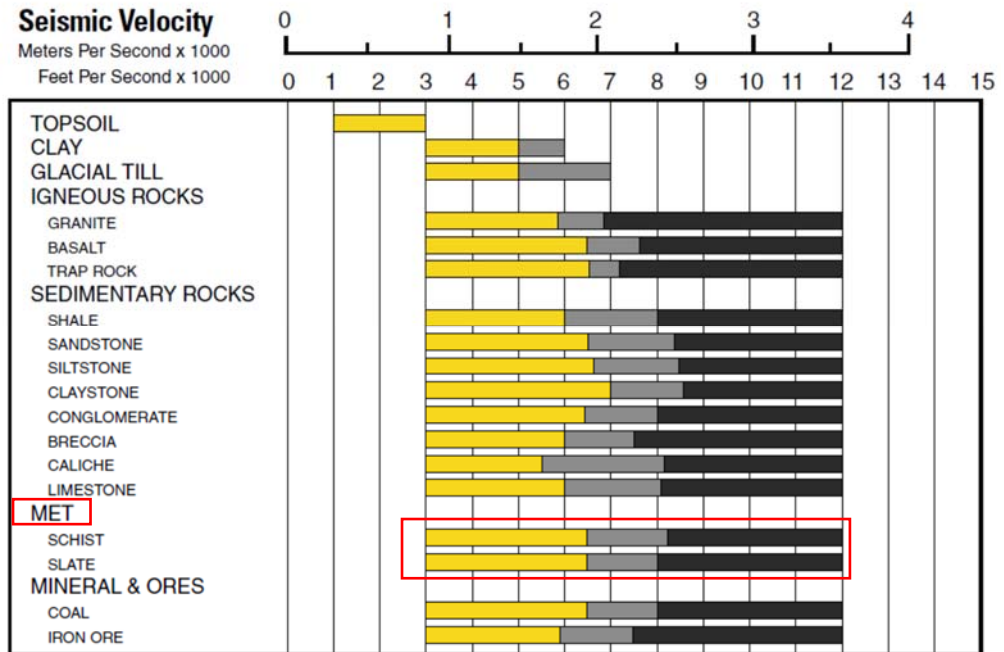
### D8R Ripper Performance

- Multi or Single Shank No. 8 Series D Ripper
- Estimated by Seismic Wave Velocities

- RIPPABLE
- MARGINAL
- NON-RIPPABLE

### Seismic Velocity

Meters Per Second x 1000  
Feet Per Second x 1000



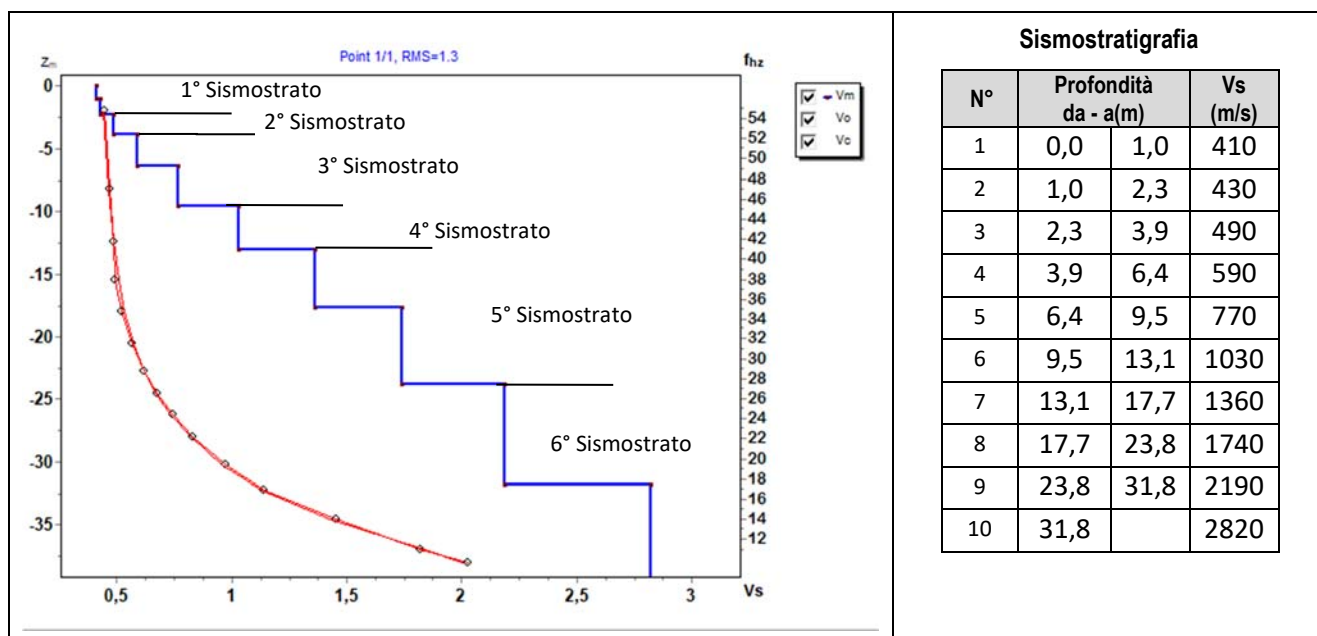
## 5.4 RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO TL\_SISM\_01-TURBINA TL02

### 5.4.1 M1-TL\_SISM\_01-TL02: MASW

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M1-TL\_SISM\_01-TL02, 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 – 2,3	1° sismostrato con Vs tra <b>410 e 430 m/s</b> , Terre mediamente addensate
2,3 – 3,9	2° sismostrato con Vs di <b>490 m/s</b> , Terre molto addensate e/o rocce intensamente fratturate
3,9 – 9,5	3° sismostrato con Vs tra <b>590 e 770 m/s</b> , Roccia tenera e/o intensamente fratturata
9,5 – 13,1	4° sismostrato con Vs di <b>1030 m/s</b> , Substrato roccioso debolmente fratturato
13,1 – 23,8	5° sismostrato con Vs tra <b>1360 e 1740 m/s</b> , Substrato roccioso sano
23,8–31,8	6° sismostrato con Vs tra <b>2190 e 2820 m/s</b> , Substrato roccioso sano

#### MASW M1-TL\_SISM\_01-TL02 - 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, Vs,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 **9,5 m** ( $V_s > 800$  m/s)

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **9,5 m** di profondità dal p.c. è pari a:  **$V_{s,eq} = 9,5/0,0171 = 557$  m/s.**

Ciò consente di classificare il terreno come **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 $\gamma$	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio $G_0$	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0-2,3	terre	1.600	840	420	0,33	755	91	284	755
2	2,3-3,9	10%	1.700	980	490	0,33	1.089	109	412	1.089
3	3,9-9,5	10%	1.800	1.360	680	0,33	2.216	222	834	2.216
4	9,5-13,1	15%	2.000	2.060	1.030	0,33	5.659	849	2.118	5.659
5	13,1-23,8	20%	2.100	3.100	1.550	0,33	13.455	2.691	5.041	13.455
6	23,8-31,8	30%	2.200	5.010	2.505	0,33	36.815	11.044	13.808	36.815

### Indicazioni per la determinazione di N<sub>spt</sub> e parametri geotecnici

Sulla base delle correlazioni fornite nei precedenti paragrafi è possibile stimare una correlazione tra Vs e N<sub>spt</sub>, 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.

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



### 5.4.2 R1-TL\_SISM\_01-TL02: Sismica a rifrazione in onde P

Nella sezione di sismica a rifrazione R1-TL\_SISM\_01-TL02 è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento R1-TL_SISM_01-TL02	ONDE P	
	Sismostrati	Profondità da pc (m)
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 2,5/4,0	400-1000
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 2,5/4,0 a 6,0/10,0	1000-2000
C: Unità delle rocce debolmente fratturate (rippabili con difficoltà)	Da 6,0/10,0 a 8,0/14,0	2000-2400
D: Unità delle rocce da debolmente fratturate a sane (non rippabili)	Da 8,0/14,0 a 26,0-32,0	2400-4800

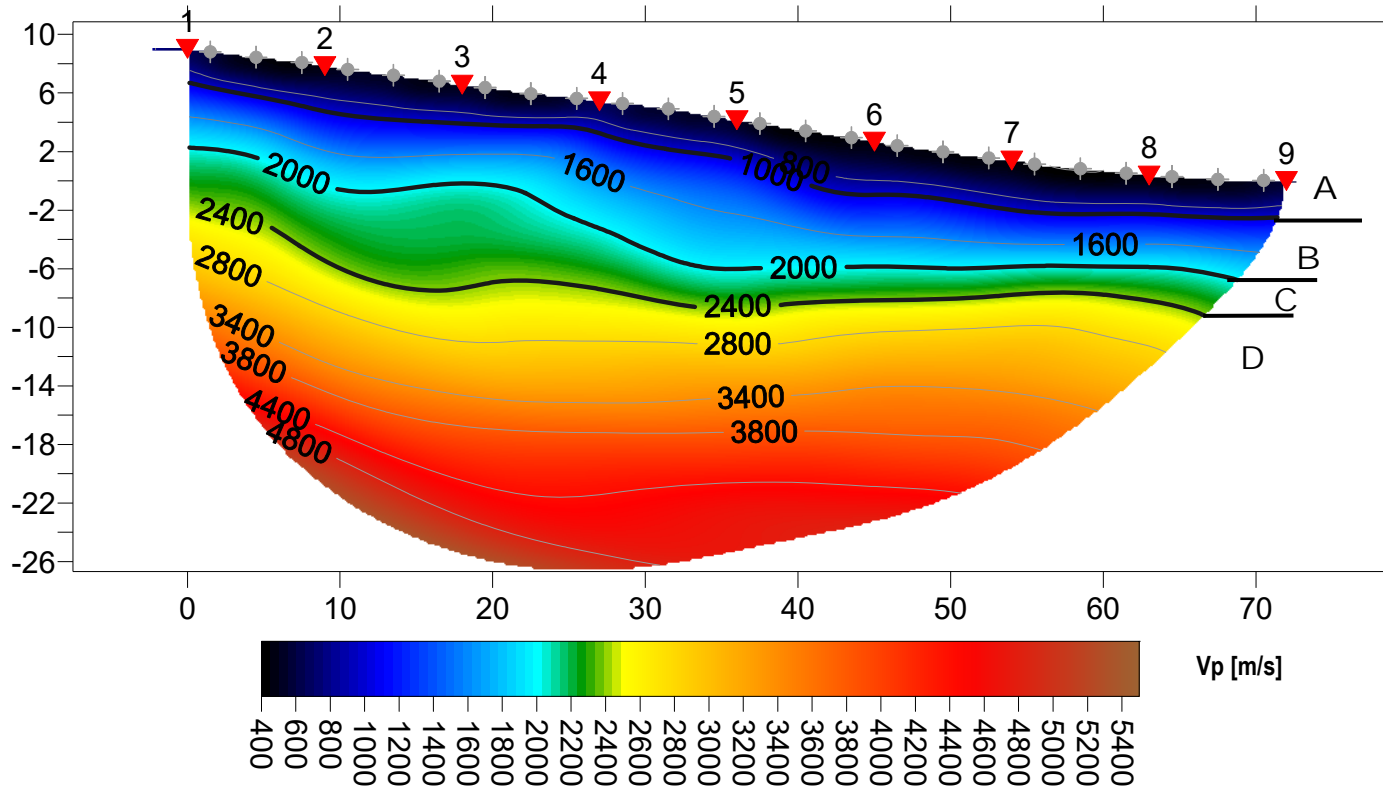
Dall'esame della sezione sismica si riconoscono 4 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s ai 4800 m/s. Il sismostrato A, caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabili), presenta spessori compresi tra 2,5 e 4,0 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 circa parallelo al piano campagna e alcune variazioni di spessore, si rileva fino a profondità comprese tra 6,0 e 10,0 m dal p.c. Il sismostrato C, caratterizzato da rocce debolmente fratturate (rippabili con difficoltà) presenta maggiori variazioni di spessore rispetto ai precedenti, infatti si osservano maggior spessori nella parte sinistra della sezione rispetto alla parte destra dove si assottiglia notevolmente. Questo sismostrato si osserva fino a profondità comprese tra 8,0 e 14,0 dal p.c. Il sismostrato D, caratterizzato da rocce debolmente fratturate e sane (non rippabili) si osserva invece fino alla massima profondità di indagine, circa 26,0/32,0 m di profondità dal p.c e rappresenta un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità alte. Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento abbastanza graduale delle Vp con alcune 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 6,0 e 10,0 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre già a profondità comprese tra 8,0 e 14,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

**Base Sismica R1-TL\_SISM\_01-TL02 - Rifrazione in onde P - Orientazione: ESE-WNW**

Quota relativa 0,00= 361,55 m slm

R1-TL\_SISM\_01- TL02 RMS error 1.5%=0.33ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.0% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



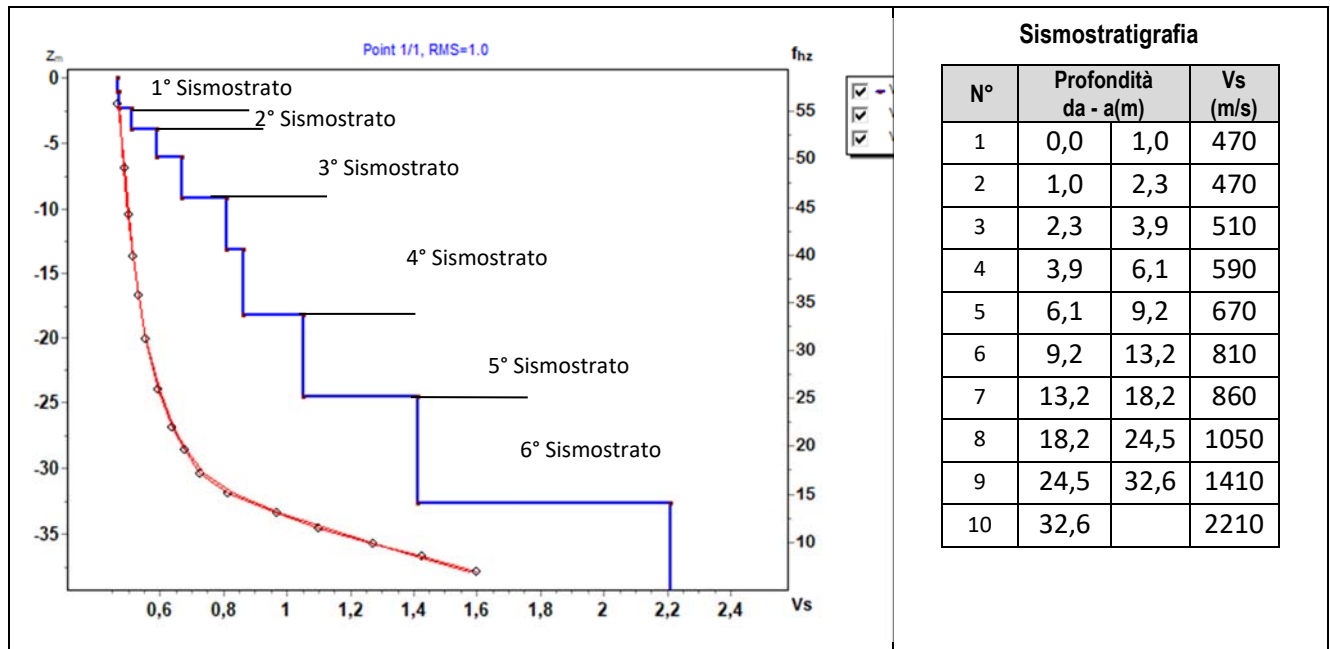
## 5.5 RISULTATI DELLE INDAGINI SITO TL\_SISM\_02-TURBINA TL05

### 5.5.1 M2- TL\_SISM\_02-TL05: MASW

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M2- TL\_SISM\_02-TL05, 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 – 2,3	1° sismostrato con Vs di <b>470 m/s</b> , Terre mediamente addensate
2,3 – 3,9	2° sismostrato con Vs di <b>510 m/s</b> , Terre molto addensate e/o roccia intensamente fratturata
3,9 – 9,2	3° sismostrato con Vs tra <b>590 e 670 m/s</b> , Roccia tenera e/o intensamente fratturata
9,2 – 18,2	4° sismostrato con Vs di <b>860 m/s</b> , Substrato roccioso fratturato
18,2 – 24,5	5° sismostrato con Vs di <b>1050 m/s</b> , Substrato roccioso debolmente fratturato
24,5 – 32,6	6° sismostrato con Vs tra <b>1410 e 2210 m/s</b> , Substrato roccioso sano

#### MASW M2- TL\_SISM\_02-TL05 - 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, Vs,eq (in m/s), definita dall'espressione

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

con:

*hi* spessore dell'*i*-esimo strato;

*V<sub>S,i</sub>* 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 **9,2 m** (Vs>800 m/s)

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **9,2 m** di profondità dal p.c. è pari a: **Vs eq = 9,2/0,0164=561 m/s**.

Ciò consente di classificare il terreno come **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 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 $\gamma$	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio $G_0$	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0-2,3	terre	1.600	940	470	0,33	941	114	353	941
2	2,3-3,9	10%	1.700	1.020	510	0,33	1.177	118	441	1.177
3	3,9-9,2	10%	1.800	1.260	630	0,33	1.903	190	716	1.903
4	9,2-18,2	15%	1.900	1.720	860	0,33	3.746	562	1.402	3.746
5	18,2-24,5	20%	2.000	2.100	1.050	0,33	5.884	1.177	2.207	5.884
6	24,5-32,6	25%	2.100	3.620	1.810	0,33	18.349	4.587	6.884	18.349

### Indicazioni per la determinazione di N<sub>spt</sub> e parametri geotecnici

Sulla base delle correlazioni fornite nei precedenti paragrafi è possibile stimare una correlazione tra Vs e N<sub>spt</sub>, 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.

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

### 5.5.2 R2-TL\_SISM\_02-TL05: Sismica a rifrazione in onde P

Nella sezione di sismica a rifrazione R2-TL\_SISM\_02-TL05 è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

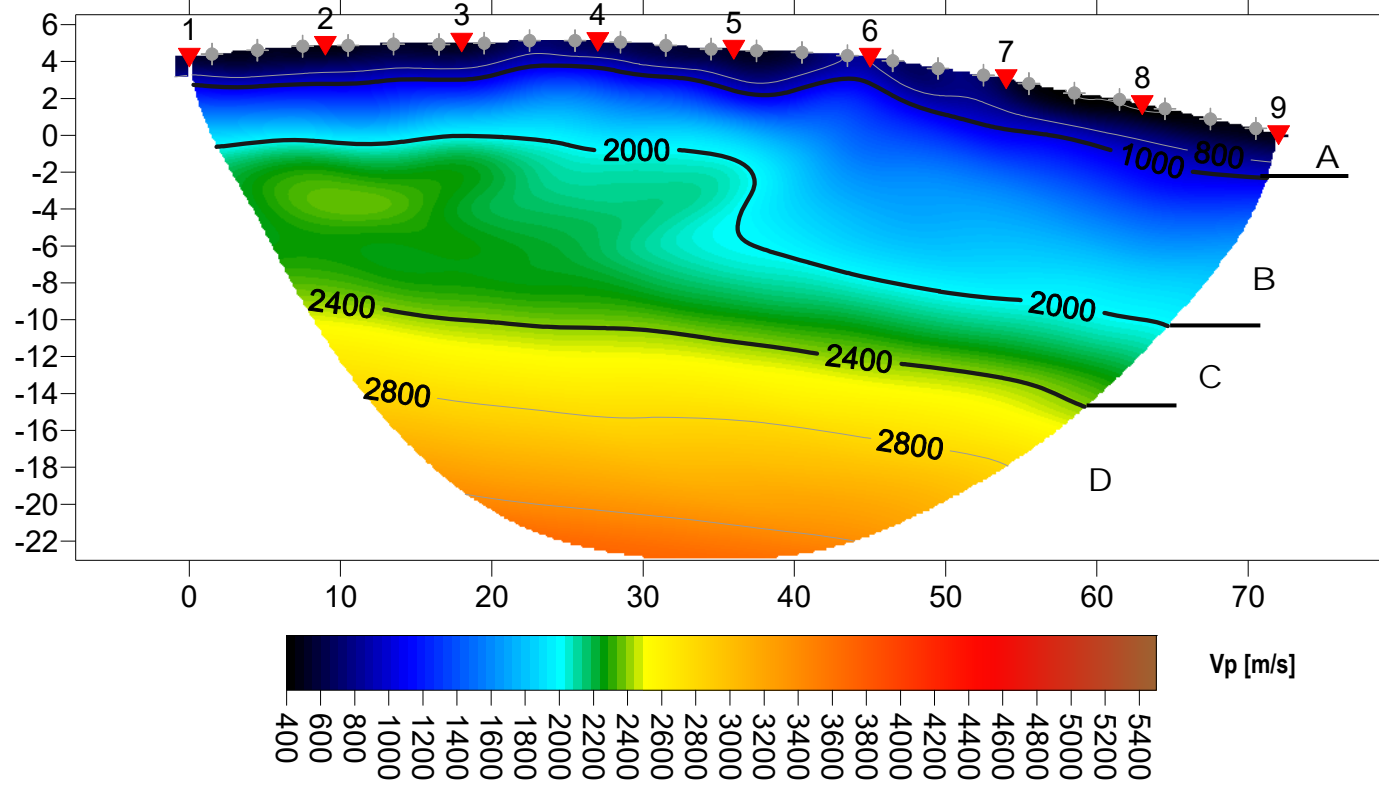
Stendimento R2-TL_SISM_02-TL05	ONDE P	
	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
Sismostrati		
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 2,5/3,0	400-1000
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 2,5/3,0 a 5,0/12,0	1000-2000
C: Unità delle rocce debolmente fratturate (rippabili con difficoltà)	Da 5,0/12,0 a 14,0/18,0	2000-2400
D: Unità delle rocce da debolmente fratturate a sane (non rippabili)	Da 14,0/18,0 a 22,0-27,0	2400-3400

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 3400 m/s. Il sismostrato A, caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabili), presenta spessori compresi tra 2,5 e 3,0 metri da p.c e un andamento parallelo al piano campagna. Il sismostrato B caratterizzato da rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta notevoli variazioni di spessore e si rileva fino a profondità comprese tra 5,0 e 12,0 m dal p.c. Il sismostrato C, caratterizzato da rocce debolmente fratturate (rippabili con difficoltà) presenta anch'esso importanti variazioni di spessore e si rileva fino a profondità comprese tra 14,0 e 18,0 dal p.c. Il sismostrato D, caratterizzato da rocce debolmente fratturate e sane (non rippabili) si osserva invece fino alla massima profondità di indagine, tra 22,0 e 27,0 m di profondità dal p.c e rappresenta un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità alte. Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento generale dei valori delle Vp con diverse variazioni di spessore nei sismostrati B e C generate dalla maggiore o minore densità locale del materiale roccioso.

In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 5,0 e 12,0 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre già a profondità comprese tra 14,0 e 18,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

**Base Sismica R2-TL\_SISM\_02-TL05 - Rifrazione in onde P - Orientazione: NW-SE**  
Quota relativa 0,00= 322,93 m slm

R2-TL\_SISM\_02-TL05 RMS error 1.9%=0.40ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.0% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



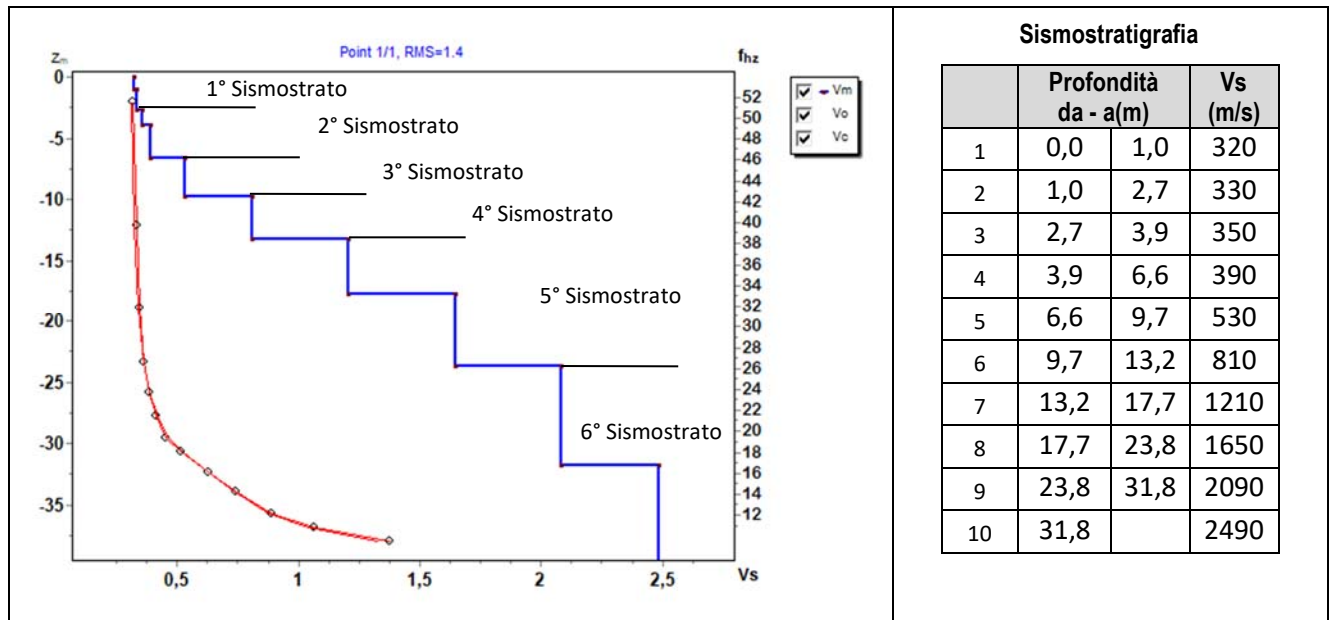
## 5.6 RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO TL\_SISM\_03-TURBINA TL07

### 5.6.1 M3-TL\_SISM\_03-TL07: MASW

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M3-TL\_SISM\_03-TL07, 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 – 2,7	1° sismostrato con Vs tra <b>320 e 330 m/s</b> , Terre mediamente addensate
2,7– 3,9	2° sismostrato con Vs di <b>350 m/s</b> , Terre mediamente addensate
3,9 – 9,7	3° sismostrato con Vs tra <b>390 e 530 m/s</b> , Roccia tenera e/o intensamente fratturata
9,7 – 13,2	4° sismostrato con Vs di <b>810 m/s</b> , Substrato roccioso fratturato
13,2 – 23,8	5° sismostrato con Vs tra <b>1210 e 1650 m/s</b> , Substrato roccioso da debolmente fratturato a sano
23,8 – 31,8	6° sismostrato con Vs tra <b>2090 e 2490 m/s</b> , Substrato roccioso sano

#### MASW M3-TL\_SISM\_03-TL03 - 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, Vs,eq (in m/s), definita dall'espressione

con:

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

$h_i$  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 **9,7 m** ( $V_s > 800$  m/s)

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **9,7 m** di profondità dal p.c. è pari a:  **$V_s eq = 9,7/0,0244 = 398$  m/s.**

Ciò consente di classificare il terreno come **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 <sub>0</sub>	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0-2,7	terre	1.600	650	325	0,33	451	54	167	451
2	2,7-3,9	terre	1.700	700	350	0,33	559	68	206	559
3	3,9-9,7	5%	1.800	920	460	0,33	1.020	51	382	1.020
4	9,7-13,2	15%	1.900	1.620	810	0,33	3.325	499	1.245	3.325
5	13,2-23,8	20%	2.000	2.860	1.430	0,33	10.905	2.181	4.089	10.905
6	23,8-31,8	25%	2.100	4.580	2.290	0,33	29.371	7.343	11.013	29.371

### Indicazioni per la determinazione di N<sub>spt</sub> e parametri geotecnici

Sulla base delle correlazioni fornite nei precedenti paragrafi è possibile stimare una correlazione tra Vs e N<sub>spt</sub>, 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.

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



### 5.6.2 R3-TL\_SISM\_03-TL07: Sismica a rifrazione in onde P

Nella sezione di sismica a rifrazione R3-TL\_SISM\_03-TL07 è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento R3-TL_SISM_03-TL07	ONDE P	
	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
Sismostrati		
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 2,5/4,5	400-1000
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 2,5/4,5 a 13,0/15,0	1000-2000
C: Unità delle rocce debolmente fratturate (rippabili con difficoltà)	Da 13,0/15,0 a 16,0/18,0	2000-2400
D: Unità delle rocce da debolmente fratturate a sane (non rippabili)	Da 16,0/18,0 a 22,0	2400-3200

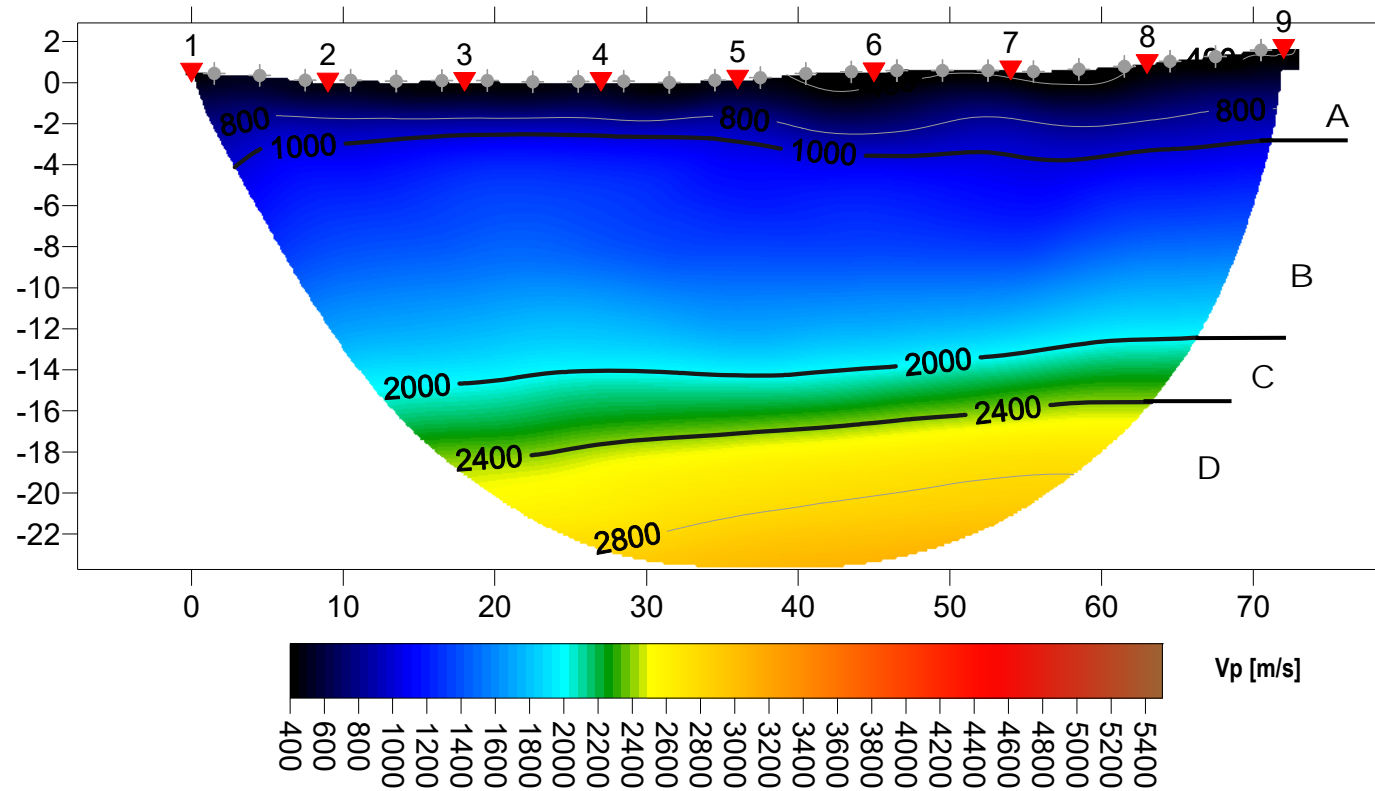
Dall'esame della sezione si riconoscono 4 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s ai 3200 m/s. Il sismostrato A, caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabili), presenta spessori compresi tra 2,5 e 4,5 metri 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 leggere variazioni di spessore, si rileva fino a profondità comprese tra 13,0 e 15,0 m dal p.c. Il sismostrato C, caratterizzato da rocce debolmente fratturate (rippabili con difficoltà) presenta anch'esso leggere variazioni di spessore e si rileva fino a profondità comprese tra 16,0 e 18,0 dal p.c. Il sismostrato D, caratterizzato da rocce debolmente fratturate e sane (non rippabili) si osserva invece fino alla massima profondità di indagine, ovvero 22,0 m di profondità dal p.c e rappresenta un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità alte. Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento abbastanza graduale delle Vp con alcune 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 13,0 e 15,0 m dal p.c i terreni risultano difficilmente rippabili, mentre a profondità comprese tra 16,0 e 18,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

**Base Sismica R3-TL\_SISM\_03-TL07 - Rifrazione in onde P - Orientazione: SE-NW**

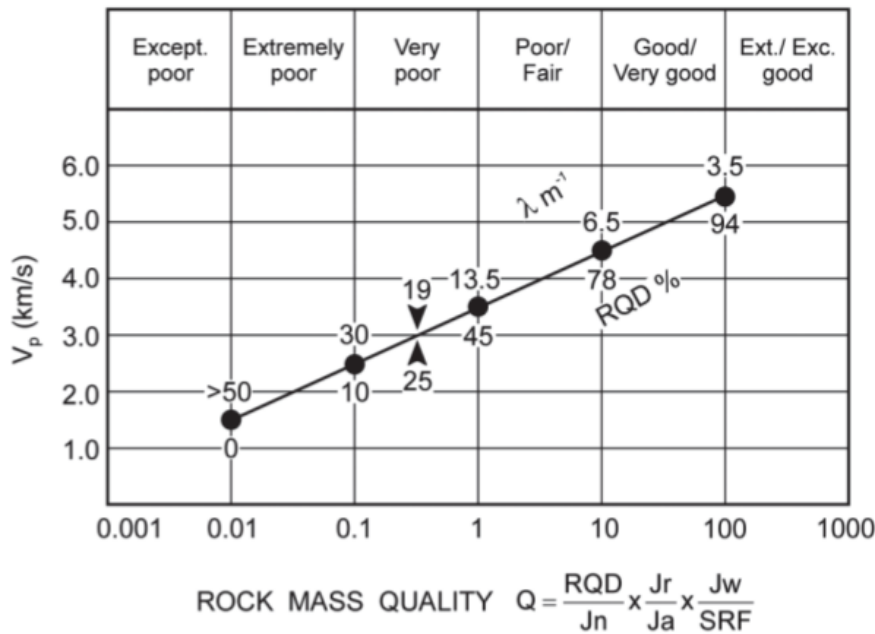
Quota relativa 0,00= 340,27 m slm

R3-TL\_SISM\_03-TL07 RMS error 1.2%=0.34ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.5% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



## 6 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  $V_p$  con RQD e  $\lambda$  (fratture per metro) e il relativo indici di qualità dell’ammasso roccioso di Barton (Q).



Sulla base dei litotipi individuati potranno essere realizzate le opportune correlazioni.

## 7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La prospezione geofisica attraverso l'impiego delle tecniche MASW e sismica a rifrazione in onde P ha permesso di ricostruire con un buon grado di precisione l'assetto lito-stratigrafico dell'area in esame e dedurne le caratteristiche sismiche.

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 andamenti 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-TL_SISM_01-TL02	9,5	557	B
M2-TL_SISM_02-TL05	9,2	561	B
M3-TL_SISM_03-TL07	9,7	398	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 in onde P 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 e i suoi differenti gradi di fratturazione.

Di seguito vengono riportati gli schemi riassuntivi dei gradi di rippabilità e relative profondità in m dal p.c dei diversi sismostrati identificati in ogni sito di indagine.

Stendimento R1-TL_SISM_01-TL02	
Sismostrati	Profondità da pc (m)
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 2,5/4,0
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 2,5/4,0 a 6,0/10,0
C: Unità delle rocce debolmente fratturate (rippabili con difficoltà)	Da 6,0/10,0 a 8,0/14,0
D: Unità delle rocce da debolmente fratturate a sane (non rippabili)	Da 8,0/14,0 a 26,0-32,0

Stendimento R2-TL_SISM_02-TL05	
Sismostrati	Profondità da pc (m)
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 2,5/3,0
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 2,5/3,0 a 5,0/12,0
C: Unità delle rocce debolmente fratturate (rippabili con difficoltà)	Da 5,0/12,0 a 14,0/18,0
D: Unità delle rocce da debolmente fratturate a sane (non rippabili)	Da 14,0/18,0 a 22,0-27,0

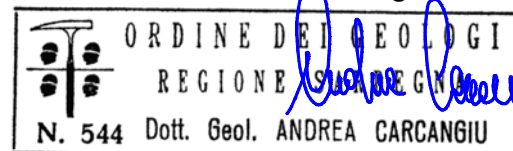
<b>Stendimento R3-TL_SISM_03-TL07</b>	
<b>Sismostrati</b>	<b>Profondità da pc (m)</b>
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 2,5/4,5
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 2,5/4,5 a 13,0/15,0
C: Unità delle rocce debolmente fratturate (rippabili con difficoltà)	Da 13,0/15,0 a 16,0/18,0
D: Unità delle rocce da debolmente fratturate a sane (non rippabili)	Da 16,0/18,0 a 22,0

Per quanto sopra considerato il contesto geologico in esame in fase di progettazione definitiva/esecutiva si consiglia di eseguire delle indagini geognostiche e geofisiche di maggiore dettaglio (in es. sondaggi a carotaggio e geofisica eseguita con stendimenti ubicati a raggiera rispetto al centro della torre eolica).

Villa San Pietro, li 15 Novembre 2022

**Collaboratori**  
**Dott. Geol. Daniele Succu**

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



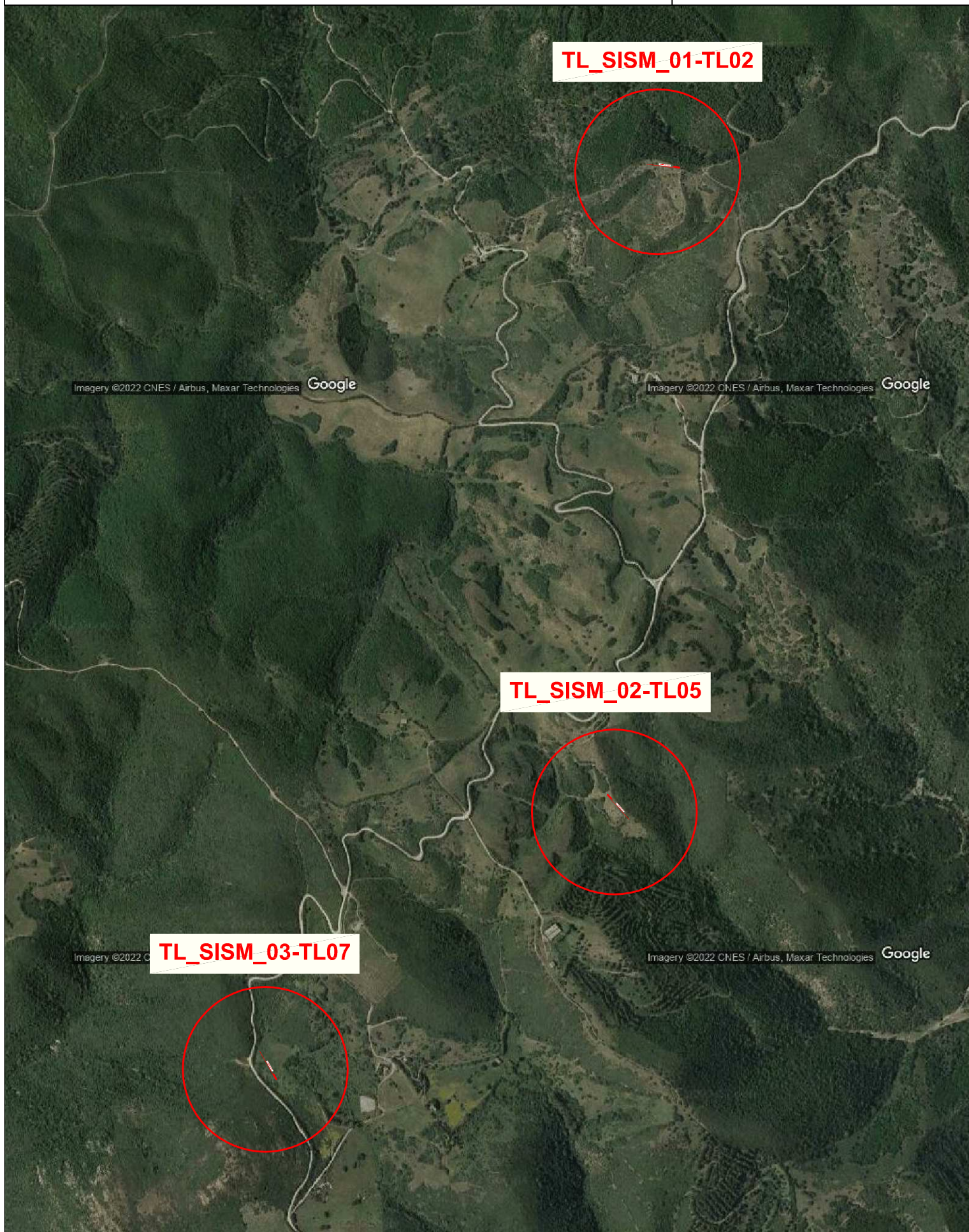
# Tavola 1 : INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA DI INDAGINE

Progetto: Parco eolico Teulada (SU)

Scala 1:10.000

## Legenda

 AREA DI INDAGINE



**Tavola 2 : PLANIMETRIA DI DETTAGLIO UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE TL\_SISM\_01-TL02**

Progetto: Parco eolico Teulada (SU)

Scala 1:500

**Legenda**

Stendimento Sismico TL\_SISM\_01-TL02 - Lunghezza = 69,0 m

 Direzione stendimento sismico dal primo all'ultimo geofono



**Tavola 3 : PLANIMETRIA DI DETTAGLIO UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE TL\_SISM\_02-TL05**

Progetto: Parco eolico Teulada (SU)

Scala 1:500

**Legenda**

Stendimento Sismico TL\_SISM\_02-TL05 - Lunghezza = 69,0 m

 Direzione stendimento sismico dal primo all'ultimo geofono





**Tavola 4 : PLANIMETRIA DI DETTAGLIO UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE TL\_SISM\_03-TL07**

Progetto: Parco eolico Teulada (SU)

Scala 1:500

**Legenda**

Stendimento Sismico TL\_SISM\_03-TL07 - Lunghezza = 69,0 m

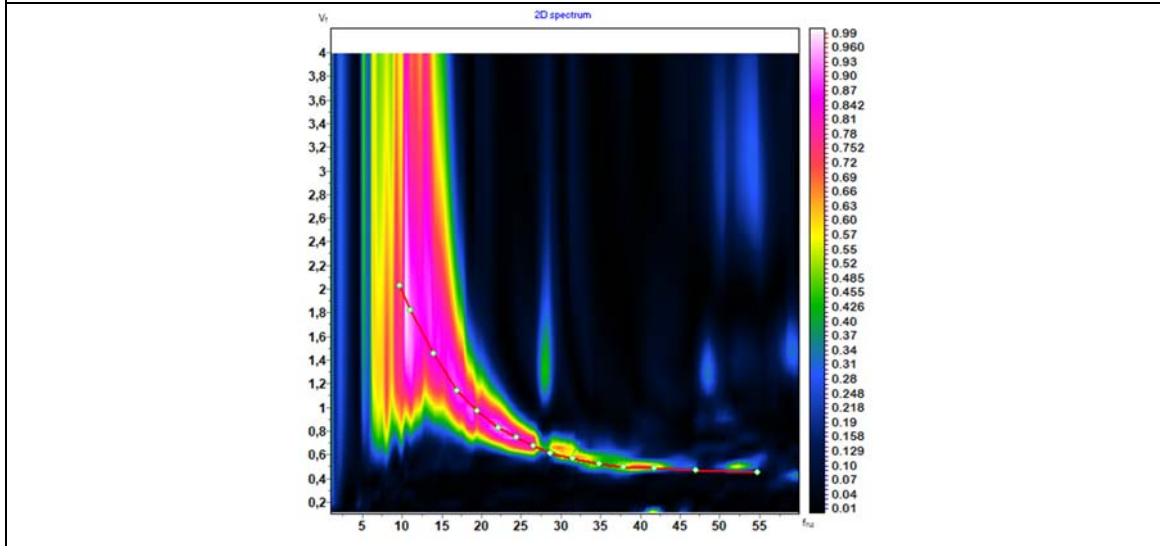
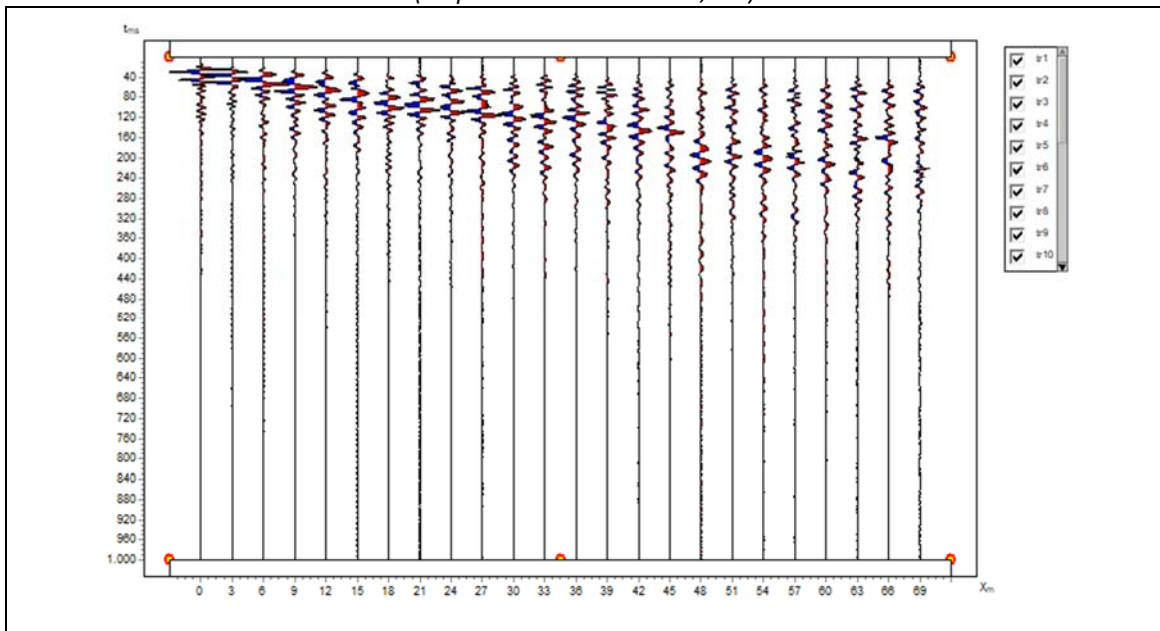
 Direzione stendimento sismico dal primo all'ultimo geofono



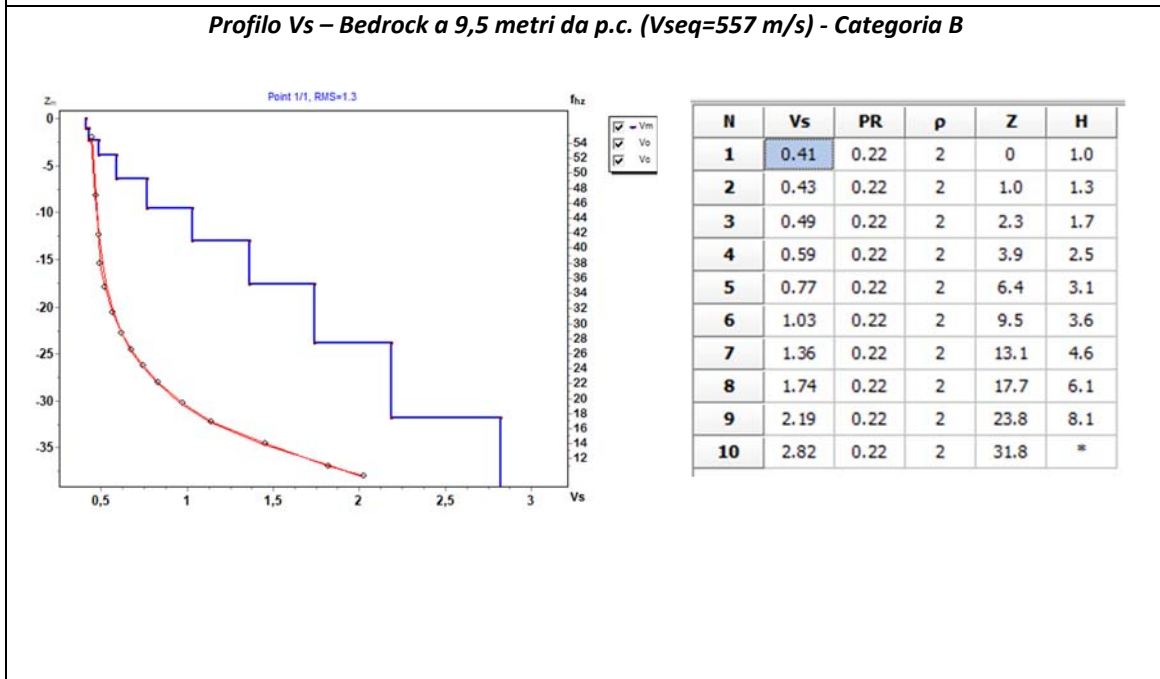
# ALLEGATO 1

## MASW: M1-TL\_SISM\_01-TL02

Sismogramma acquisito- Spettro velocità di fase/frequenza  
 Curva di dispersione sperimentale e calcolata con profilo Vs  
 (Acquisizione con shot a -6,0 m)



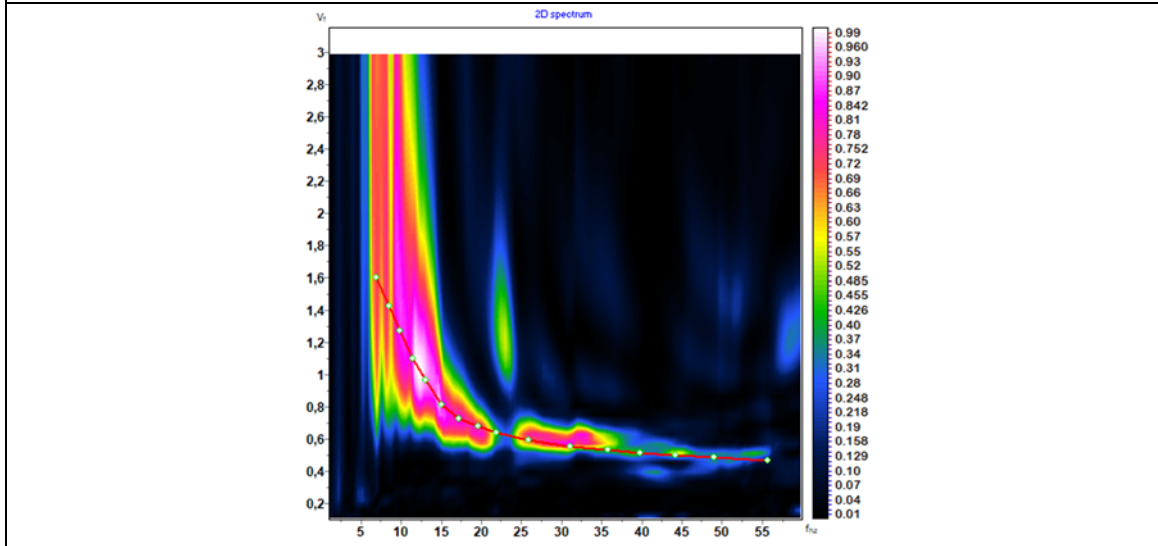
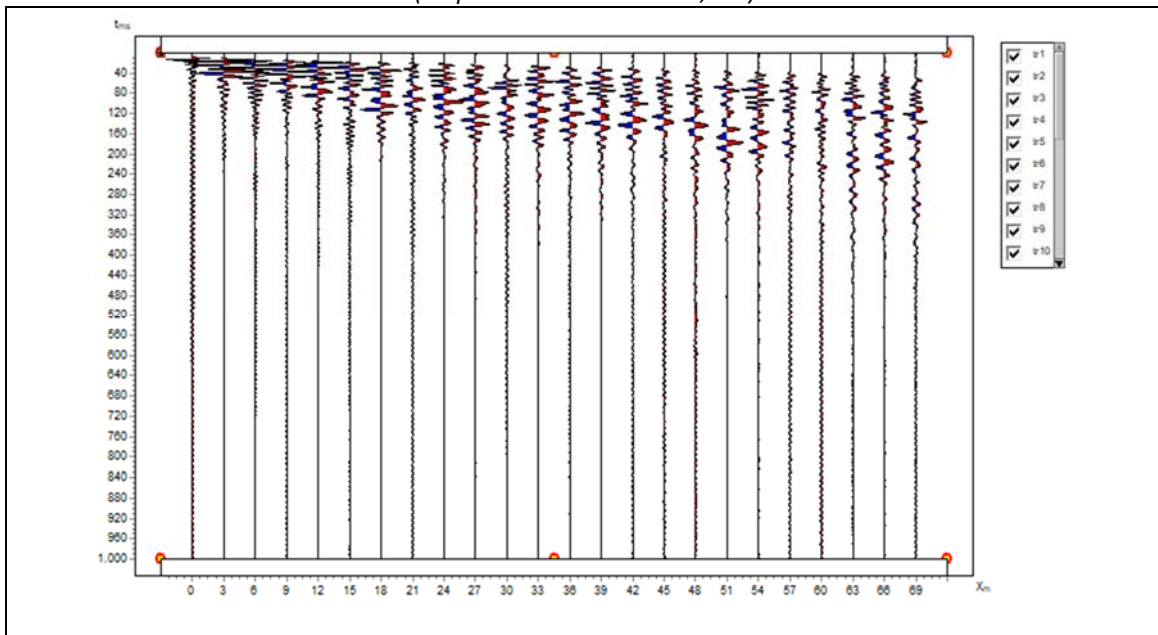
**Profilo Vs – Bedrock a 9,5 metri da p.c. (Vseq=557 m/s) - Categoria B**



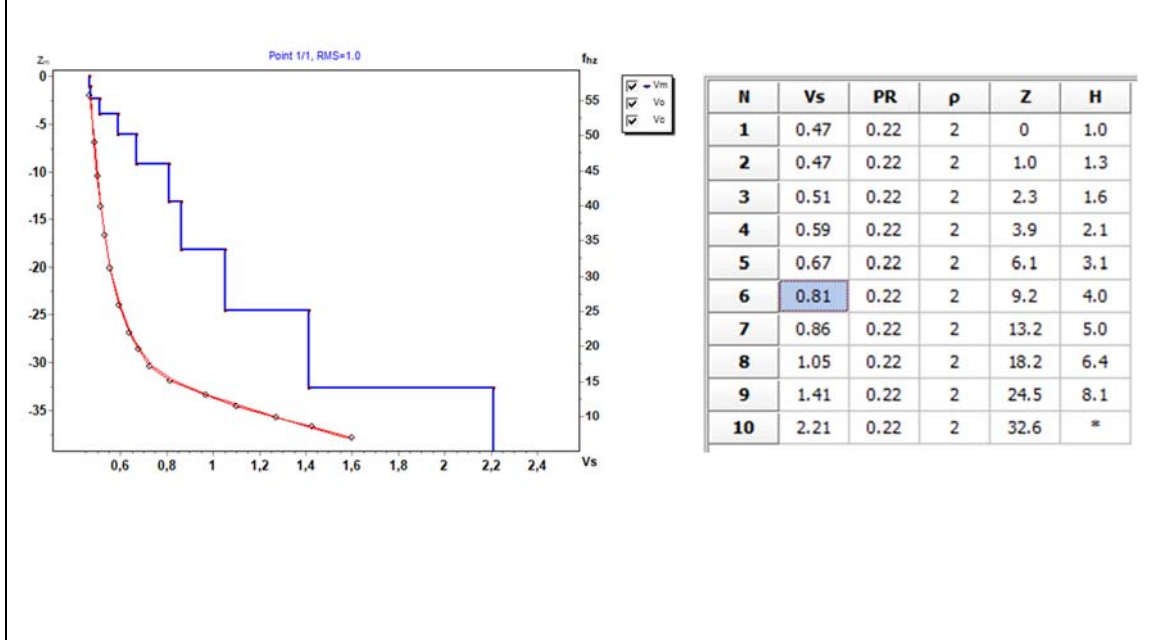
# ALLEGATO 1

## MASW: M2-TL\_SISM\_02- TL05

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 9,2 metri da p.c. (Vseq=561 m/s) - Categoria B**

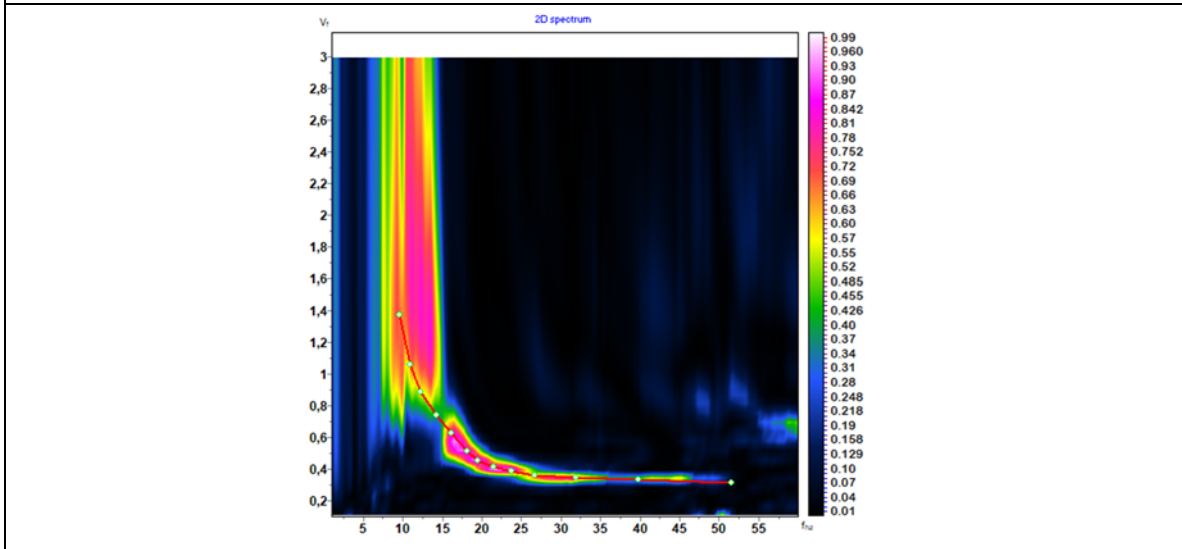
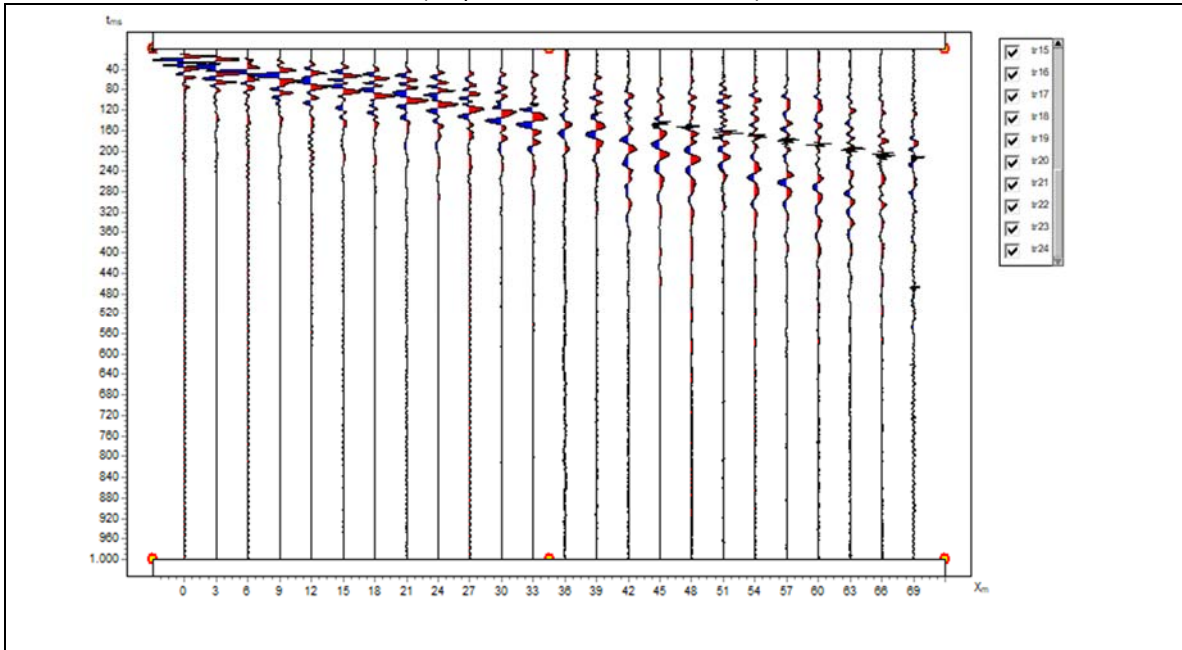


N	Vs	PR	$\rho$	Z	H
1	0.47	0.22	2	0	1.0
2	0.47	0.22	2	1.0	1.3
3	0.51	0.22	2	2.3	1.6
4	0.59	0.22	2	3.9	2.1
5	0.67	0.22	2	6.1	3.1
6	0.81	0.22	2	9.2	4.0
7	0.86	0.22	2	13.2	5.0
8	1.05	0.22	2	18.2	6.4
9	1.41	0.22	2	24.5	8.1
10	2.21	0.22	2	32.6	*

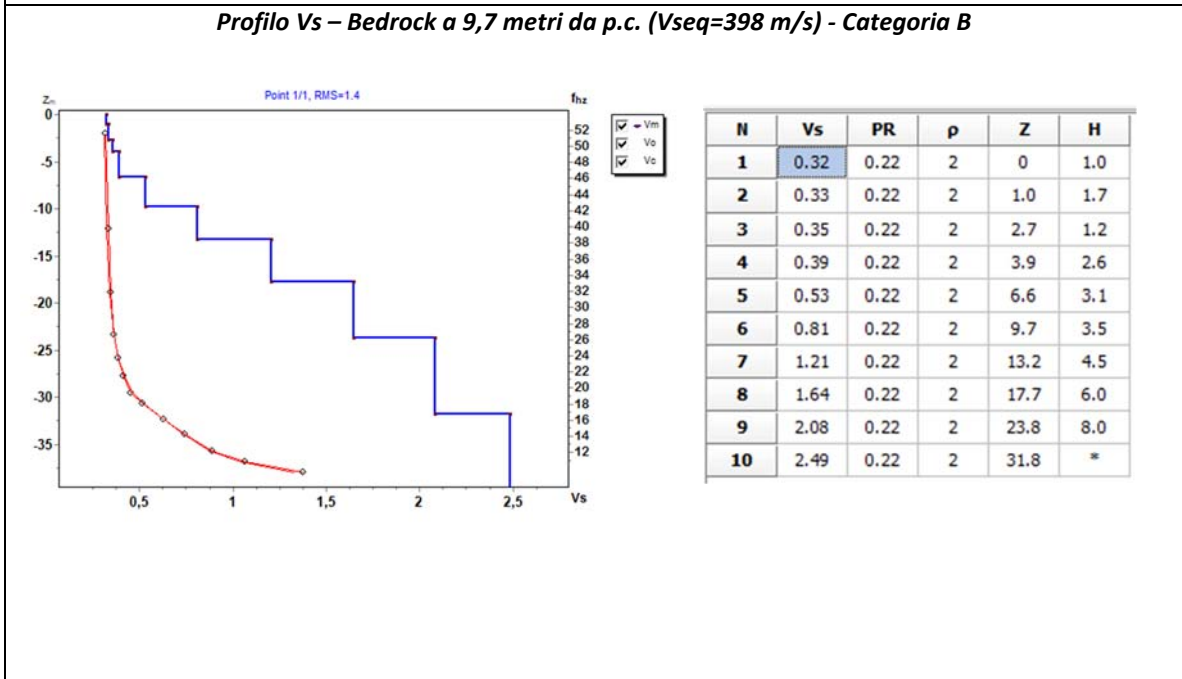
# ALLEGATO 1

## MASW: M3-TL\_SISM\_03- TL07

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



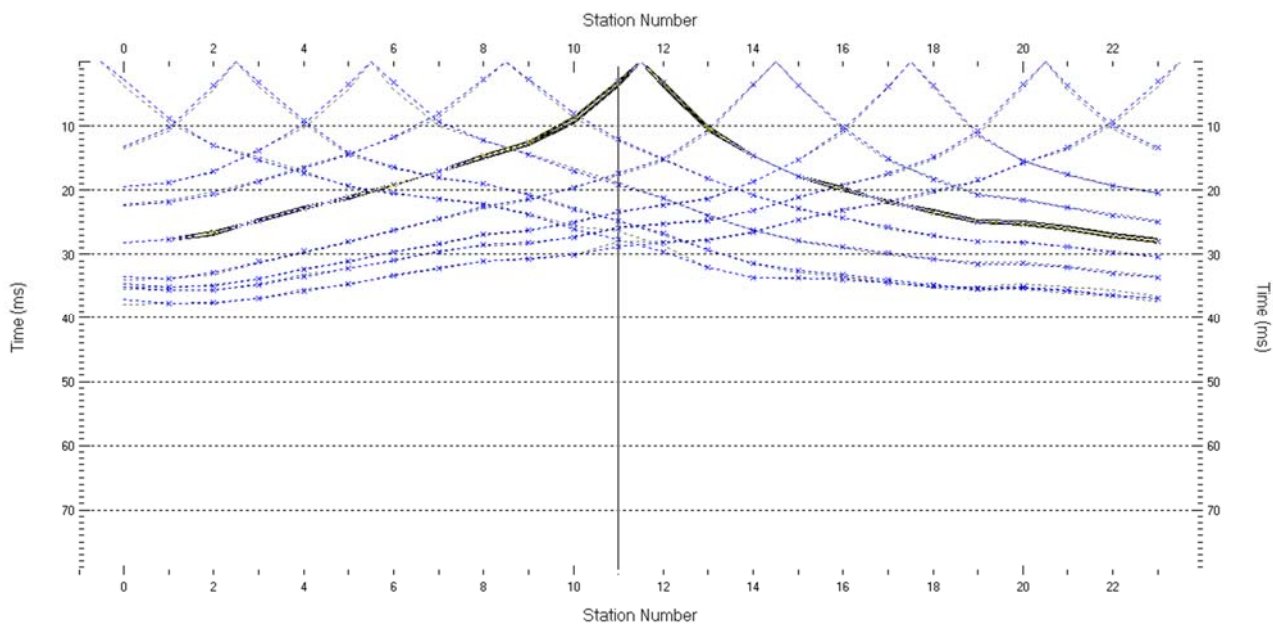
Profilo Vs – Bedrock a 9,7 metri da p.c. (Vseq=398 m/s) - Categoria B



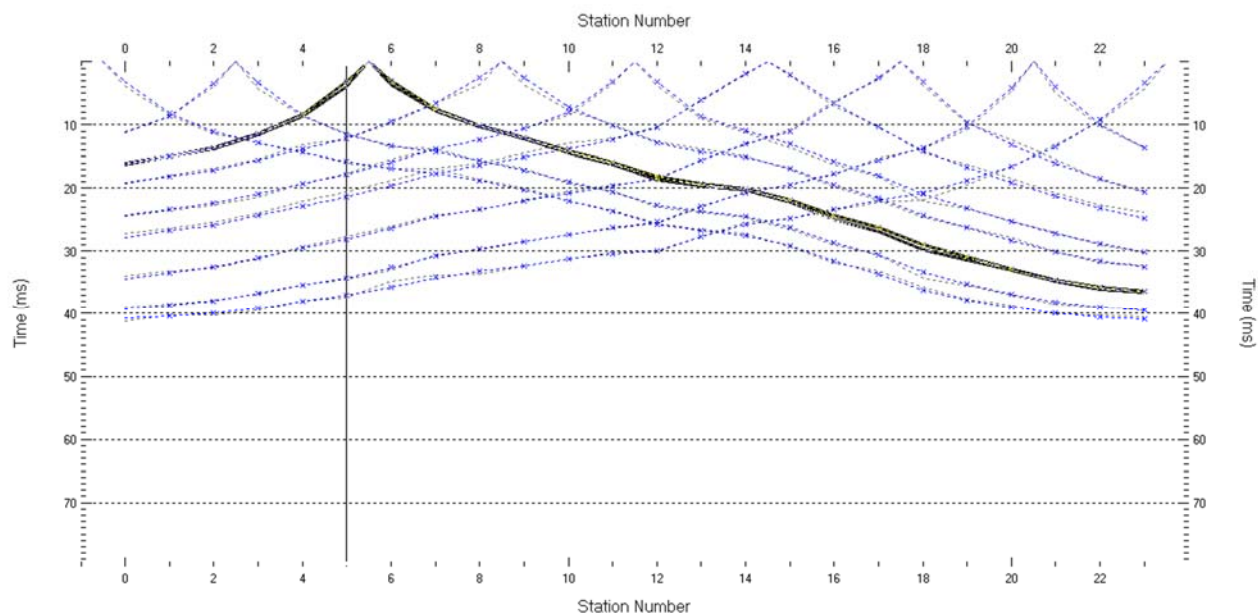
## ALLEGATO 2

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

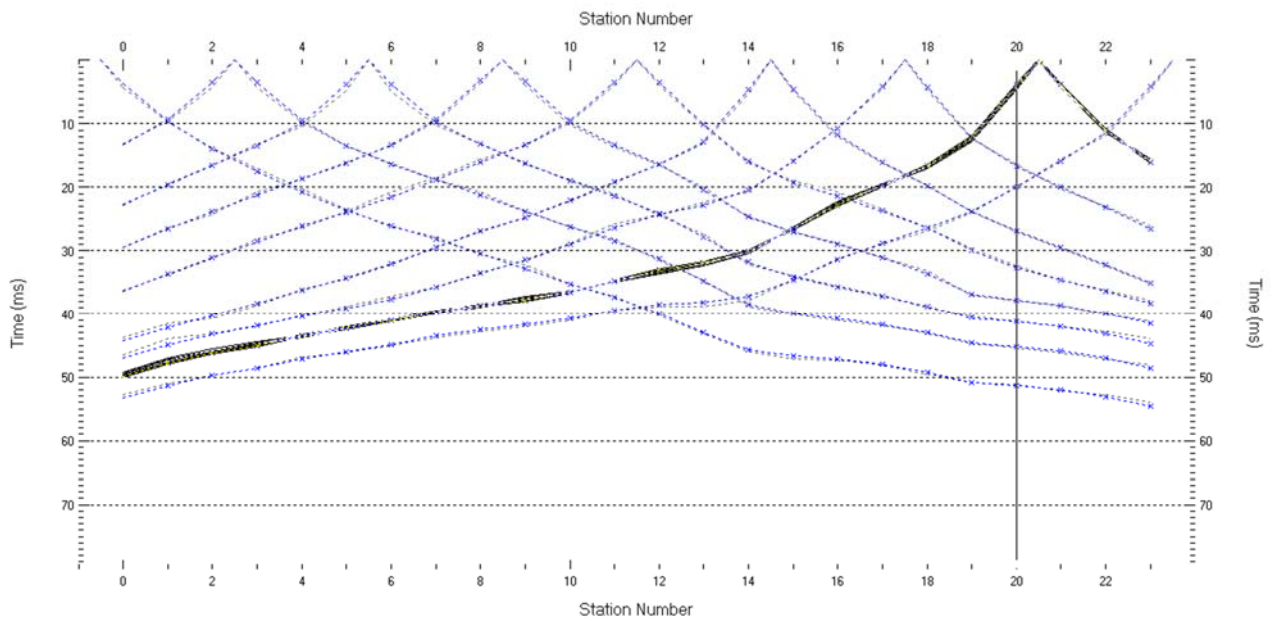
#### R1-TL\_SISM\_01- TL02- Sismica a rifrazione in onde P - dromocrone osservate e calcolate



#### R2-TL\_SISM\_02- TL05- Sismica a rifrazione in onde P - dromocrone osservate e calcolate



### R3-TL\_SISM\_03- TL07- Sismica a rifrazione in onde P - dromocrone osservate e calcolate



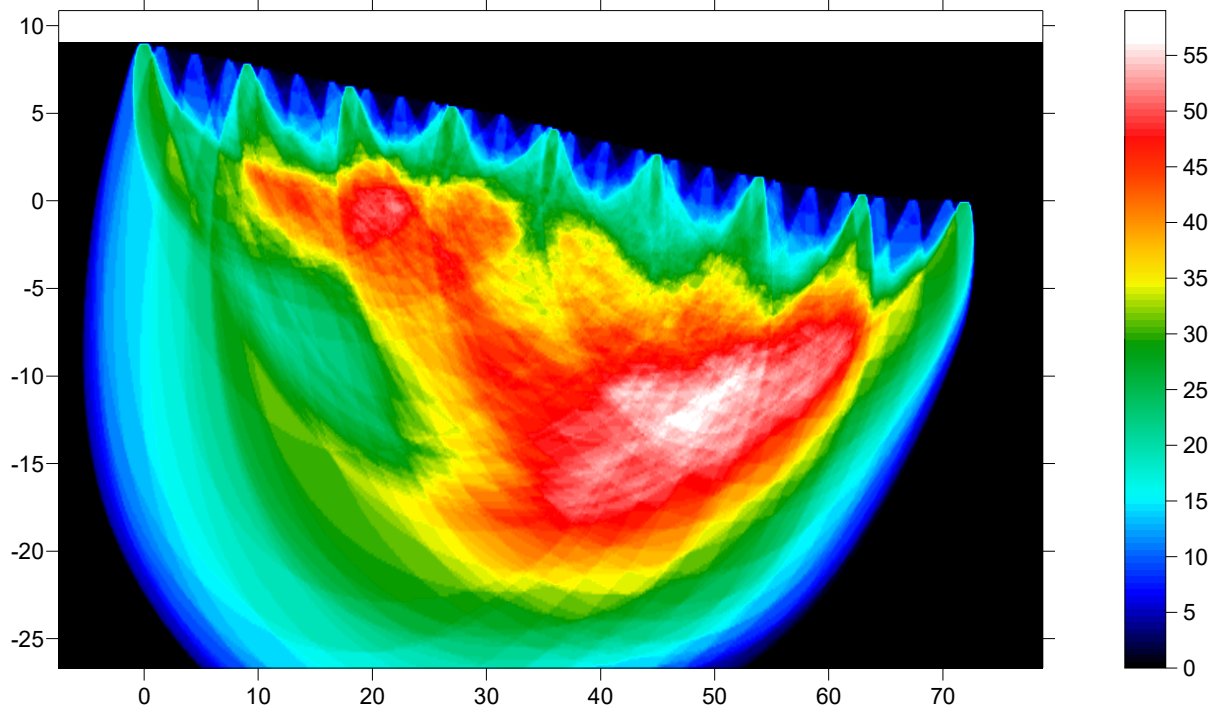
## ALLEGATO 2

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

#### R1-TL\_SISM\_01- TL02- Sismica a rifrazione in onde P

##### Copertura raggi sismici

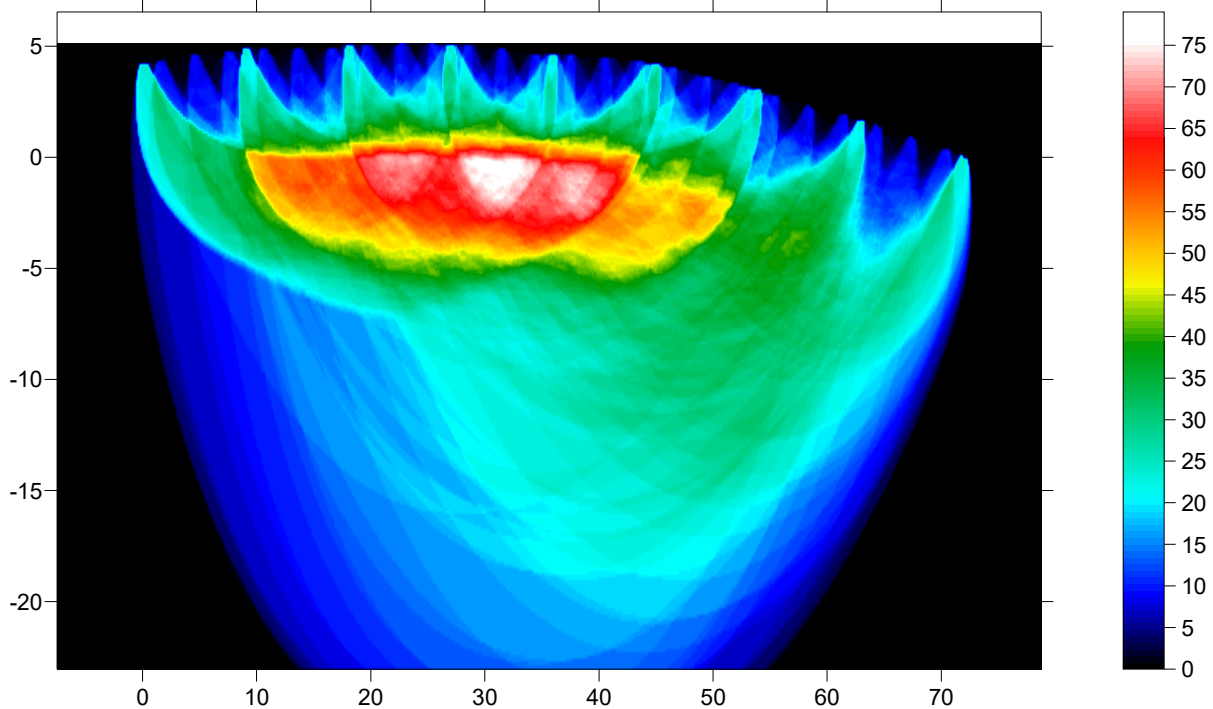
R1-TL\_SISM\_01- TL02 RMS error 1.5%=0.33ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.0% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



#### R2-TL\_SISM\_02- TL05- Sismica a rifrazione in onde P

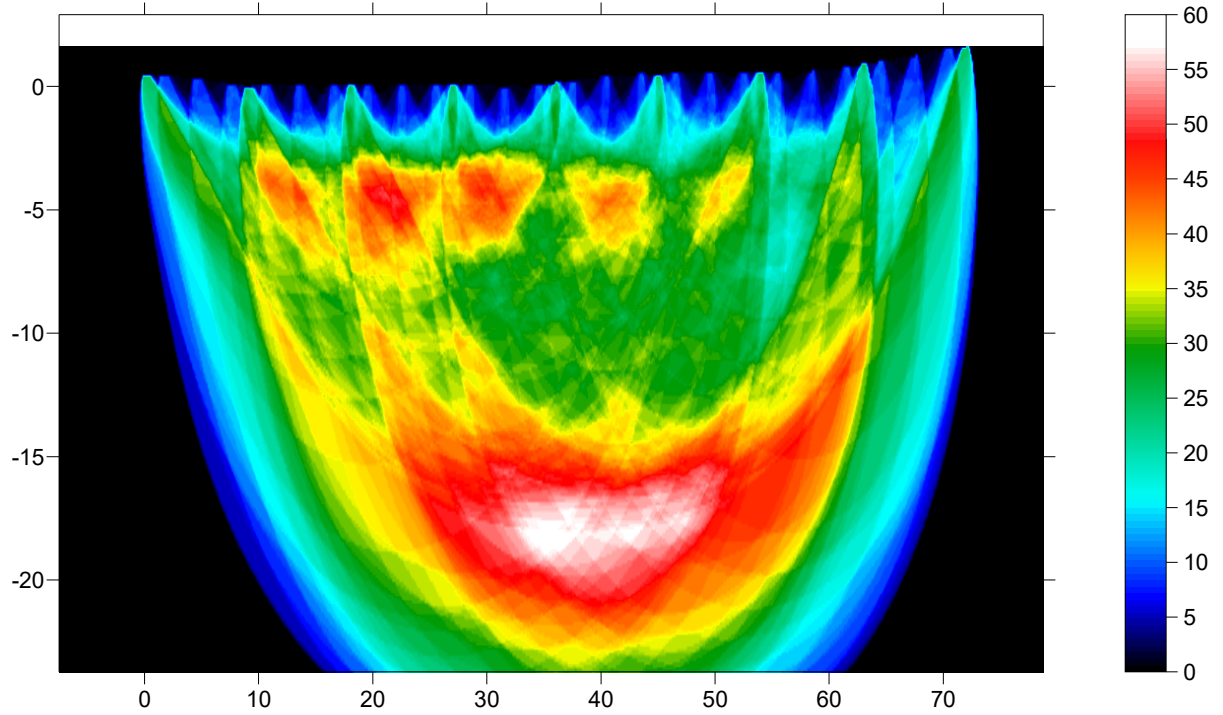
##### Copertura raggi sismici

R2-TL\_SISM\_02-TL05 RMS error 1.9%=0.40ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.0% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



**R3-TL\_SISM\_03- TL07- Sismica a rifrazione in onde P**  
**Copertura raggi sismici**

R3-TL\_SISM\_03-TL07 RMS error 1.2%=0.34ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.5% initial GRADIENT.GRD v. 4.01





## Allegato 3: Documentazione fotografica indagini geofisiche

Stendimento TL\_SISM\_01-TL02 dal geofono 1



Stendimento TL\_SISM\_01-TL02 dal geofono 24



Stendimento TL\_SISM\_01-TL02 dal centro al geofono 24



Stendimento TL\_SISM\_01-TL02 dal centro al geofono 1



**Stendimento TL\_SISM\_02-TL05 dal geofono 1**



**Stendimento TL\_SISM\_02-TL05 dal geofono 24**



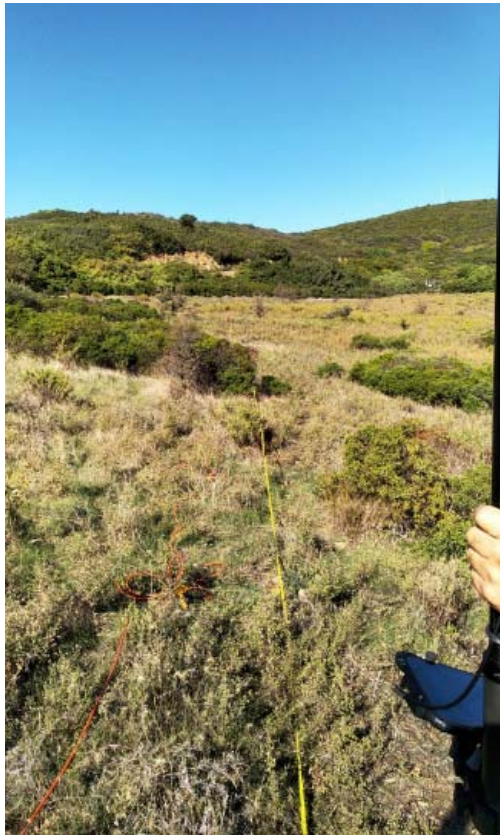
**Stendimento TL\_SISM\_02-TL05 dal centro al geofono 24**



**Stendimento TL\_SISM\_02-TL05 dal centro al geofono 1**



**Stendimento TL\_SISM\_03-TL07 dal geofono 1**



**Stendimento TL\_SISM\_03-TL07 dal geofono 24**



**Stendimento TL\_SISM\_03-TL07 dal centro al geofono 24**



**Stendimento TL\_SISM\_03-TL07 dal centro al geofono 1**

