

# AUTORIZZAZIONE UNICA EX D. LGS. N. 387/2003



## PROGETTO DEFINITIVO PARCO EOLICO GALLURA

Titolo elaborato:

### RELAZIONE GEOLOGICA

PA	GD	GD	EMISSIONE	21/04/23	0	0
REDATTO	CONTR.	APPROV.	DESCRIZIONE REVISIONE DOCUMENTO	DATA	REV	

#### PROPONENTE



**SARDEGNA PRIME S.R.L.**

VIA A. DE GASPERI N. 8  
74023 GROTTAGLIE (TA)

#### CONSULENZA



**GE.CO.D'OR S.R.L.**

VIA A. DE GASPERI N. 8  
74023 GROTTAGLIE (TA)

#### PROGETTISTA

ING. GAETANO D'ORONZIO  
VIA GOITO 14 – COLOBRARO (MT)

#### GEOLOGO

**DOTT. PIER LUIGI ANASPARRI**

VIA B. CROCE, 79  
63100 ASCOLI PICENO (AP)

Codice  
LTEG016

Formato  
A4

Scala  
/

Foglio  
1 di 46

## I N D I C E

1. PREMESSA	2
3. UBICAZIONE GEOGRAFICA	4
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO DELLA ZONA	7
5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	13
6. COMPATIBILITÀ CON IL P.A.I. VIGENTE	17
7. VINCOLO IDROGEOLOGICO	19
<i>7.1 Terre e rocce da scavo</i>	<i>21</i>
8. RISULTATI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE GENERALI	23
9. MODELLO GEOTECNICO PRELIMINARE E PRIME INDICAZIONI SULLE STRUTTURE DI FONDAZIONE	25
10. MODELLO SISMICO DELLA ZONA	27
<i>10.1 Sismicità storica dell'area</i>	<i>28</i>
<i>10.2 Determinazione delle categoria di suolo e topografica</i>	<i>29</i>
11. PIANO INDAGINI DA EFFETTUARE PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVO-ESECUTIVA DEGLI AEROGENERATORI E DELLE SOTTOSTAZIONI	31
12. INQUADRAMENTO DI DETTAGLIO DELLE AREE DI SEDIME DEGLI AEROGENERATORI	32
13. OPERE ELETTRICHE	43
14. CONCLUSIONI	44

## 1. PREMESSA

Il sottoscritto **dott. Geol. Pier Luigi Anasparri**, titolare dello Studio Tecnico di Geologia con sede in Via Roma, 91 di Folignano (AP) è stato incaricato dalla **Ge.Co.Dor s.r.l. di Grottaglie**, di effettuare uno **studio geologico-geomorfologico-idrogeologico per l’Autorizzazione Unica Ex D.Lgs n°387/2003 del Progetto Definitivo Parco Eolico Gallura su proposta della SARDEGNA PRIME s.r.l.**

Il nuovo parco eolico “**Gallura**” sarà costituito da:

- **n°11 aerogeneratori**, di altezza complessiva all’hub di 114 metri ed un diametro del rotore di 172 metri;
- **Stazione Elettrica di trasformazione Utente 150/33 kV**, nel Comune di Luras;
- **BESS – Battery Energy Storage System**, nel Comune di Luras;

Il parco eolico sarà collegato in antenna a 150 kV su una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150 kV in GIS denominata “Tempio” (prevista da Piano di Sviluppo di Terna).

A tal fine è stato eseguito un rilevamento geologico di superficie, acquisiti dati di bibliografia e consultate le cartografie geologico-idrogeologiche presenti per l’area in oggetto.

Inoltre è stata effettuata **un’indagine sismica per la caratterizzazione generale dell’area del parco**, mediante l’esecuzione di prove sismiche.

I dati tecnici sono stati elaborati secondo le **“Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”** contenute nel **D.M. Del 14/01/2008**, nell’aggiornamento con **Decreto 17 gennaio 2018** e nella **Circolare del 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.**, attraverso la modellazione geologica e geotecnica.

Fanno parte della presente relazione i seguenti elaborati interni:

*Allegato.1 – Report delle indagini effettuate*

Fanno parte della presente relazione i seguenti elaborati esterni:

*Tavola.1 – Inquadramento cartografico*

*Tavola.2 – Inquadramento geologico*

*Tavola.3 – Stralci planimetrici con sovrapposizione del PAI vigente*

## **2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

**D.M. del 11/03/1988 e relative istruzioni** *Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione*

**Ministero delle infrastrutture e dei Trasporti - DECRETO 17 gennaio 2018**

*Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (GU Serie Generale n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8).*

**Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Allegato al Voto n. 36 del 27/07/2007** *Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale;*

**Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del Bacino Unico Regione**

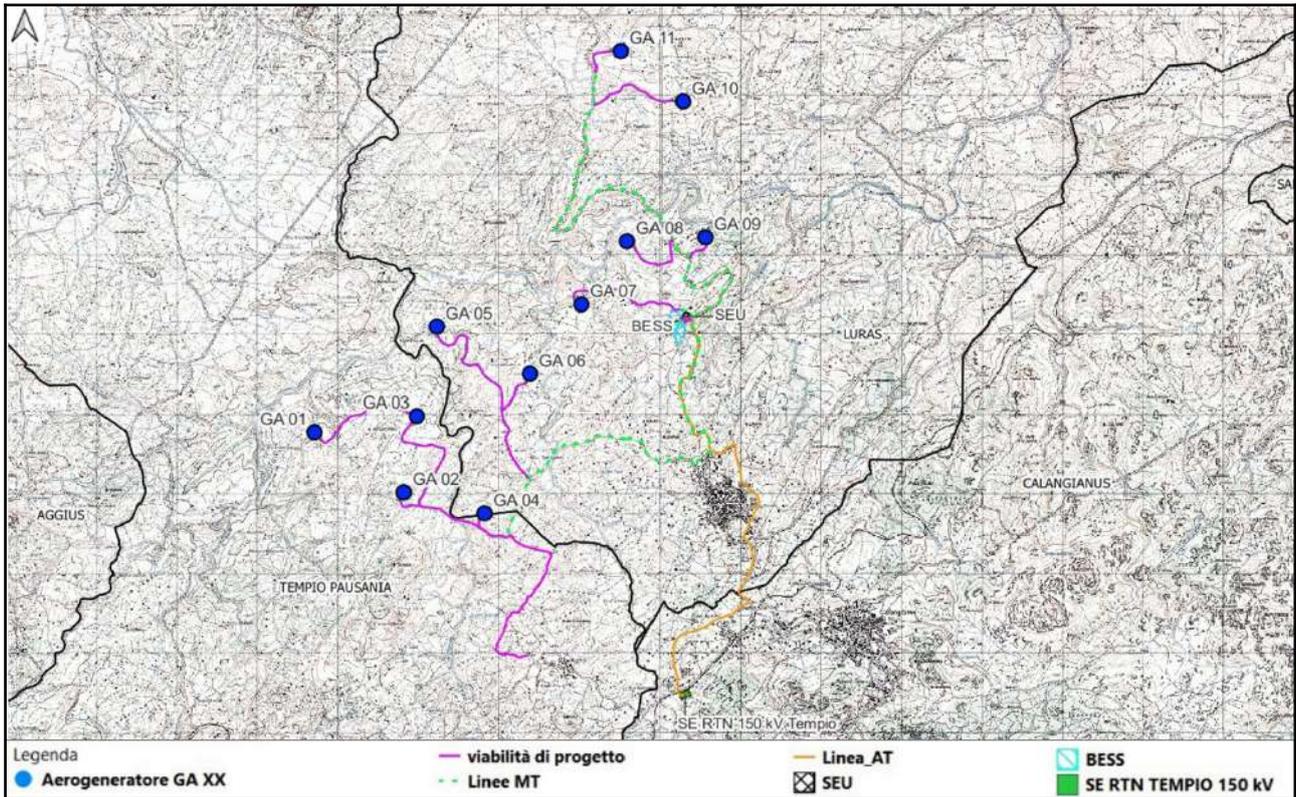
**Sardegna** *ai sensi della legge n. 183/1989 e del decreto-legge n. 180/1998, con le relative fonti normative di conversione, modifica e integrazione*

**Vincolo Idrogeologico** *ai sensi del R.D.L. 3267/23 e R.D. 1126/1926*

### **3. UBICAZIONE GEOGRAFICA**

L'area del **nuovo parco eolico "Gallura"**, si sviluppa prevalentemente nel territorio comunale di Luras (PZ) dove ricadano 8 aerogeneratori (GA04 ÷ GA11) mentre gli aerogeneratori GA01 ÷ GA3, ricadono nel comune di Tempio Pausania.

Complessivamente, come detto, **saranno installati n°11 aerogeneratori, realizzata una stazione elettrica di trasformazione e un'area dedicata all'accumulo di energia (site nel comune di LURAS)**, oltre alle opere elettriche (cavidotti) necessarie; la Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150 kV in GIS denominata "Tempio" ricade nel comune di Calangianus.



*Fig.1 – Aree del Parco Eolico*

Gli aerogeneratori, installati a Nord del Monte Limbara, sono ubicati a quote comprese tra i 445,90 metri (GA\_04) e i 262,2 metri (GA\_08).

Cartograficamente, data la loro ubicazione, gli aerogeneratori, la sottostazione e la BESS sono ricompresi nella tavoletta I.G.M. in scala 1:25.000 “Calangianus” IV°NE del foglio 181 della Carta d’Italia mentre la stazione elettrica TERNA è ricompresa nella tavoletta “Tempio Pausania” IV°NE del foglio 181 della Carta d’Italia (vedi Tavola 1); inoltre gli elementi del parco eolico sono ricompresi nelle sezioni CTRN\_443020, CTRN\_443030, CTRN\_443060 e CTRN\_443070 della Carta Tecnica della Regione Sardegna in scala 1:10.000 (vedi Tavola 3).

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa sull'ubicazione cartografica e con le rispettive coordinate WGS84:

ID	Comune (Provincia)	Informazioni catastali		Coordinate geografiche		DROTORE [m]	Hhub [m]	HTOT [m]
		Foglio	P.IIa	Latitudine [°]	Longitudine [°]			
<b>GA01</b>	Tempio Pausania (SS)	161	28	40.944209	9.114506	172	114	200
<b>GA02</b>	Tempio Pausania (SS)	1	72	40.937420	9.127765	172	114	200
<b>GA03</b>	Tempio Pausania (SS)	1	37	40.946034	9.129671	172	114	200
<b>GA04</b>	Luras (SS)	18	59	40.935028	9.139665	172	114	200
<b>GA05</b>	Luras (SS)	18	14	40.956035	9.132634	172	114	200
<b>GA06</b>	Luras (SS)	18	103	40.950686	9.146434	172	114	200
<b>GA07</b>	Luras (SS)	19	110	40.958569	9.154009	172	114	200
<b>GA08</b>	Luras (SS)	19	4	40.965673	9.160778	172	114	200
<b>GA09</b>	Luras (SS)	16	148	40.966117	9.172209	172	114	200
<b>GA10</b>	Luras (SS)	12	57	40.981420	9.168951	172	114	200
<b>GA11</b>	Luras (SS)	12	22	40.987169	9.159870	172	114	200
<b>SEU 150/33 kV</b>	Luras (SS)	23	26	40.957092	9.169247			
<b>BESS</b>	Luras (SS)	23	26	40.955719	9.168323			
<b>SE RTN 150 kV Tempio</b>	Calangianus (SS)	45	-	40.914218	9.167793			

*Tab.1 – Tabella riepilogativa*

#### 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO DELLA ZONA

Il basamento geologico della Gallura, è rappresentato prevalentemente da **rocce intrusive granitoidi appartenenti all'insieme di plutonici, che costituiscono il batolite ercinico sardo-corso.**

L'area in esame, è caratterizzata esclusivamente da un basamento di roccia intrusiva granitoide, ovvero trattasi di granitoidi tardo ercinici; essi costituiscono circa un quarto dell'isola ed, insieme alle intrusioni granitoidi della Corsica, formano il Batolite Sardo-corso.

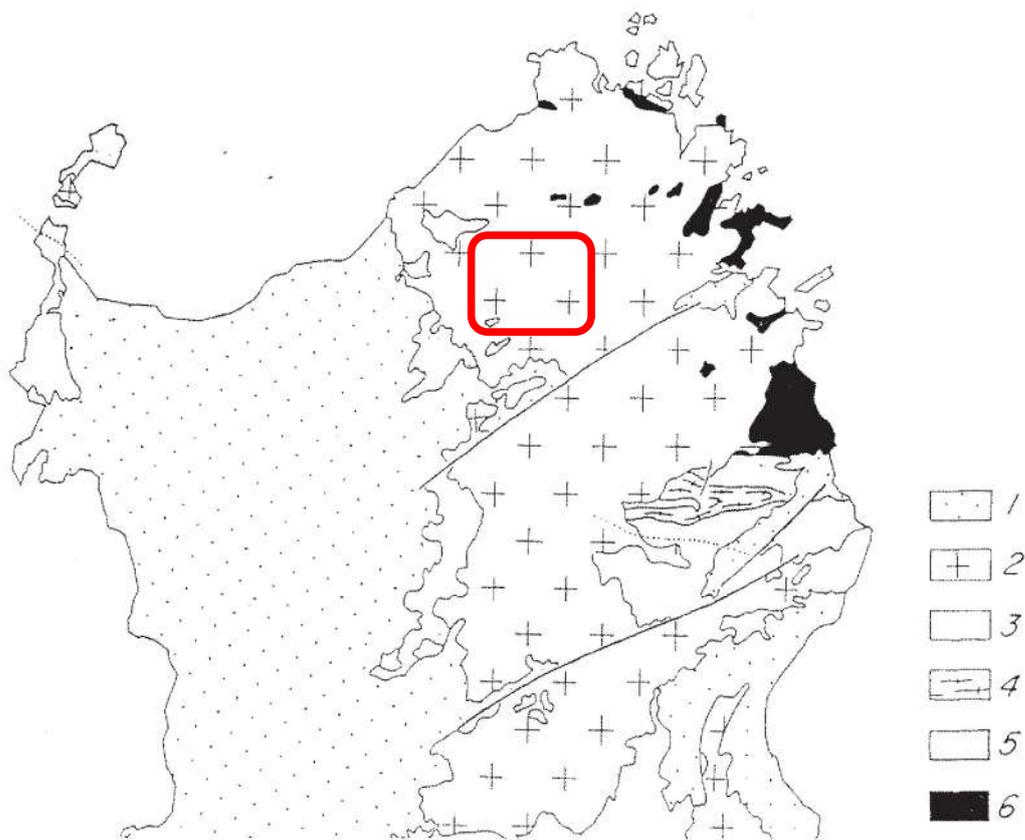


Fig. 1 - Schema strutturale sintetico della Sardegna settentrionale; 1) formazioni post-erciniche; 2) rocce granitoidi; 3) metamorfiti di facies di scisti verdi; 4) affioramenti di ortogneiss; 5) metamorfiti di facies anfibolitica; 6) migmatiti [da L. CARMIGNANI et AL., 1982].

*Fig.2 – Schema strutturale sintetico Sardegna Settentrionale*

**Questo è il batolite più importante della Catena ercinica Europea, esteso per una lunghezza di 400 Km ed una larghezza di oltre 50.**

La messa in posto del batolite sardo è da ricondurre alla tettonica estensionale legata al collasso gravitativo della catena ercinica.

Tale tettonica, in Sardegna, è sicuramente attiva a partire da almeno 307 Ma, cioè dalle più antiche età di chiusura delle muscoviti dei graniti anatettici della Gallura.

Dalla letteratura, si evince che le plutoniti del batolite sardo-corso sono schematicamente suddivisibili in tre grandi gruppi:

***Plutoniti basiche.*** Molto rare all'interno del Batolite Sardo; costituiscono masse di piccole dimensioni, quasi sempre inglobate all'interno di plutoniti acide.

***Monzograniti.*** Questi graniti presentano ampia varietà di facies, dovuta essenzialmente a diversi gradi di eterogranularità e di orientazione tessiturale. Detta variabilità, riscontrabile spesso all'interno di singole intrusioni, a conferire loro notevole disomogeneità tessiturale, ha grande rilevanza nella caratterizzazione merceologica di tali rocce, che sono ampiamente sfruttate per usi ornamentali. Tutti i monzograniti sono inquadrabili tra "le plutoniti tardo-tettoniche" e "post tettoniche",

***Leucomonzograniti.*** Affiorano diffusamente in tutti i settori del basamento sardo.

**Il complesso plutonico in aggiornamento in questa zona è interessato da 2 sistemi di fratturazione: i joints di raffreddamento e le fratture tettoniche secondarie.**

**Joints di raffreddamento** - Sono delle fratture primarie legate ai processi di raffreddamento dei graniti ed è possibile distinguerli dalla presenza di filoni e di adunamenti mineralogici;

Fratture tettoniche secondarie - L'origine delle fratture tettoniche secondarie è posteriore alla messa in posto dei plutoni granitici ed è probabilmente legata alla tettonica alpina;

I 2 sistemi di fratturazione principale sono:

- *il primo, di direzioni preferenziali N100-N150 e un secondo, con direzioni NS-N50 e un senso di movimento relativo destrale; entrambi non presentano fenomeni di ricristallizzazione e sono chiaramente post-raffreddamento dell'intrusione.*
- *Il secondo, rispetto al precedente, presenta un grado di fratturazione e una diffusione areale maggiore.*

Oltre a questi 2 importanti sistemi di fratturazione dalla carta tettonica se ne può rilevare un terzo, con una fratturazione meno intensa e probabilmente complementare ai primi 2, con direzione circa E-O.

Sono state **riconosciute alcune importanti faglie di direzioni comprese tra N20° e N50°** e quindi di probabile età ercinica riattivate in età alpina, che interessano l'area in esame.

**Dal punto di vista geomorfologico, il territorio appare distinto in varie zone**, differenti sia per il tipo di roccia che per il grado di fratturazione.

I leucograniti infatti, presenti prevalentemente nel Monte Limbara e nell'area di P.ta Bozzicu, si distinguono per la presenza di affioramenti continui e tormentati con rilievi elevati e molto acclivi, **mentre i monzograniti, che rappresentano il substrato geologico a cui appartiene il Parco Eolico Gallura, sono localizzati a quote sensibilmente più basse con acclività e forme dolci e regolari.**

Il paesaggio è dominato da un susseguirsi di altopiani granitici, irregolari e discontinui, la cui andatura è ostacolata da una moltitudine di piccole irregolarità di rilievi che sono soprattutto cavità o meglio delle vasche.

Talvolta, solo l'orizzontalità delle creste acute resta una testimonianza della loro esistenza; un tipico paesaggio di cresta è rappresentato da una successione di picchi e spaccature alternati a denti di sega che sono le serre.

Gli affioramenti rocciosi particolarmente acclivi, attraversati dai corsi d'acqua, sono caratterizzati da valli profonde e incassate i cui corsi d'acqua sono a tratti con meandri incastrati, generatisi a causa del particolare assetto strutturale del territorio.

Come detto, **gli aerogeneratori, verranno installati a Nord del Monte Limbara e ad Ovest dei Monti Ultana in una zona collinare a Nord degli abitati di Luras e Tempio Pausania.**

Nel dettaglio **gli aerogeneratori** e le opere connesse al Parco Eolico, interesseranno in Monzograniti, ovvero graniti grigio-rosati in genere a grana eterogenea (**vedi Tavola 2**).



*Fig.3 – Affioramento di monzograniti nelle vicinanze dell'aerogeneratore GA\_08*

Nelle aree di affioramento dei graniti si riscontra, laddove i caratteri morfologici lo consentono, una coltre di materiali di disfacimento che ricopre la roccia integra.

**I processi di arenizzazione**, generati dall'azione degli agenti atmosferici in combinazione con lo stato di fratturazione della roccia, **portano ad una progressiva degradazione della roccia originaria**, con conseguente formazione di una sovrastante zona di arenizzazione; in quest'ultima i fenomeni di alterazione si intensificano fino a generare dei detriti sciolti che definiamo coltri di disfacimento.

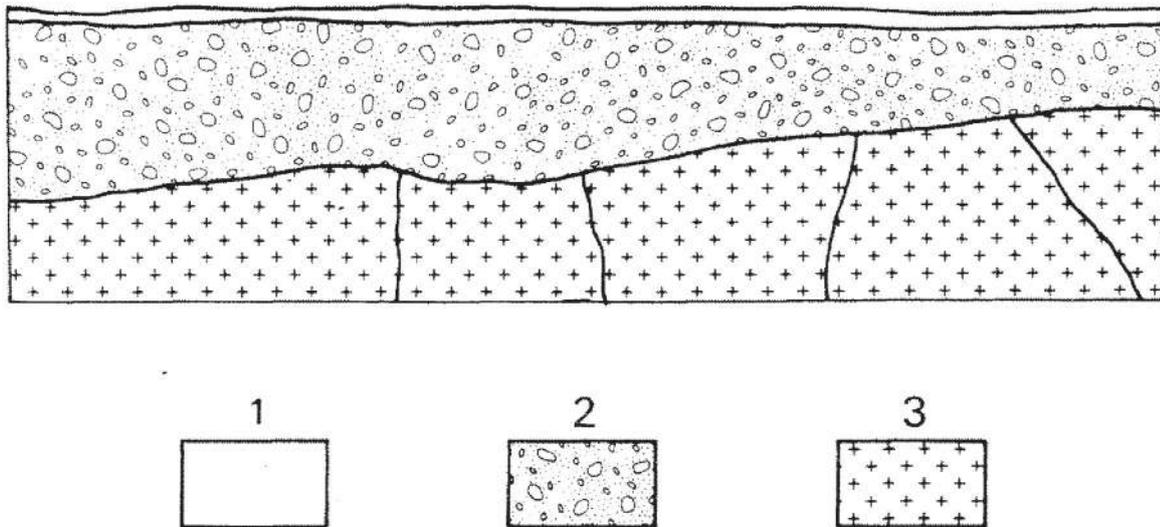


Fig.4 – Schema delle formazioni superficiali in sito  
(1 Suolo / 2 coltre di sabbie ghiaiose derivanti dalla degradazione dei graniti / 3 roccia granitica fessurata)

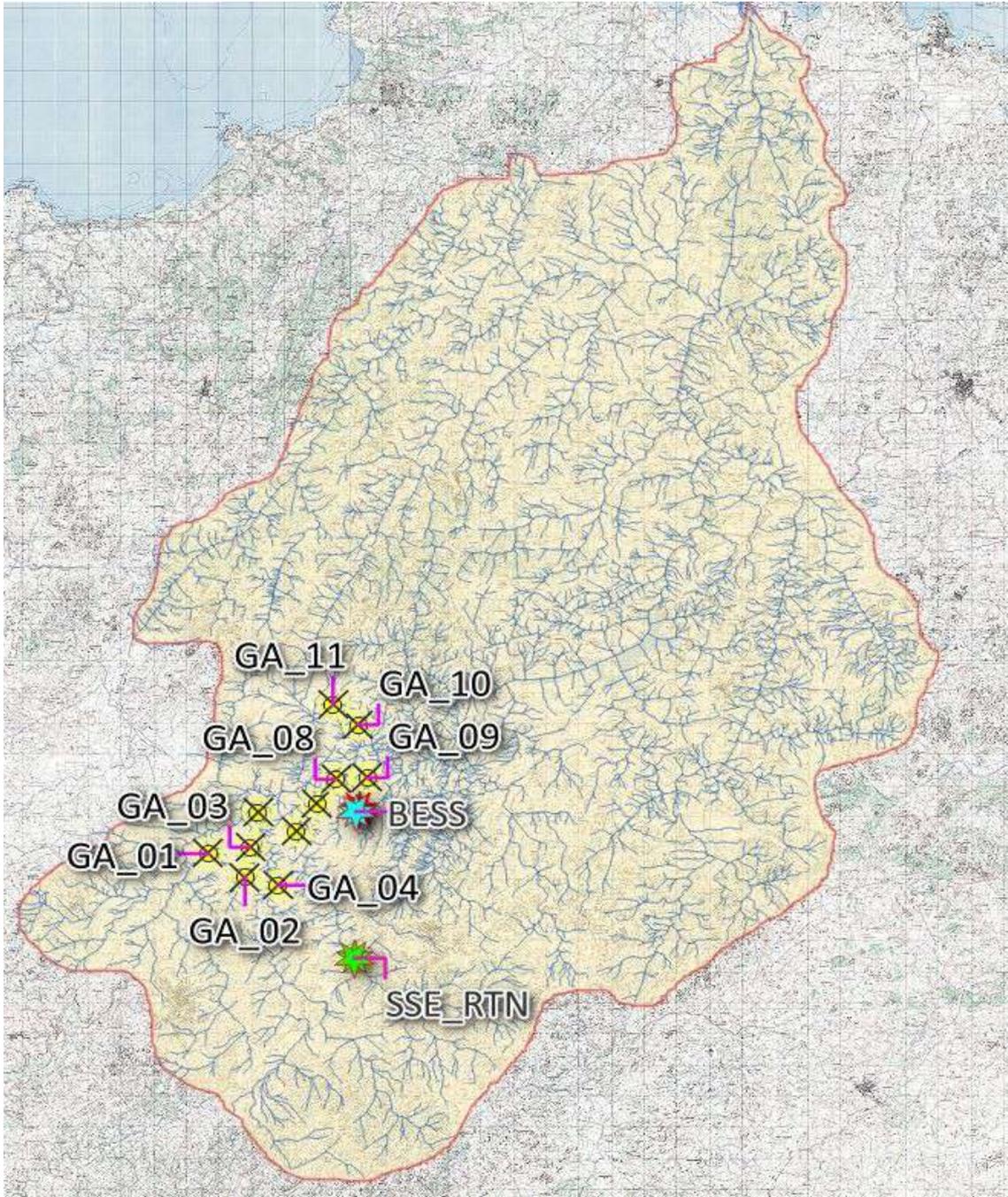
**Lo spessore di tale coltre è variabile ma generalmente non supera i 10,0 metri di spessore, ed è comunque legato alla morfologia sito specifica.**

Dalle indagini preliminari svolte, nelle aree di sedime degli aerogeneratori **lo spessore massimo della coltre individuato è di 8,0 metri in corrispondenza della GA\_07.**

Complessivamente il rilevamento geomorfologico di superficie ha evidenziato per gran parte dell'area **ottime condizioni di equilibrio ed assenza di fenomeni gravitativi (vedi Tavola 3).**

## 5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'intero parco appartiene al **bacino idrografico del fiume Liscia che sfocia direttamente a mare, 35 Km più a Nord.**



*Fig. 5 – Ubicazione degli aerogeneratori all'interno dei bacini idrografici*



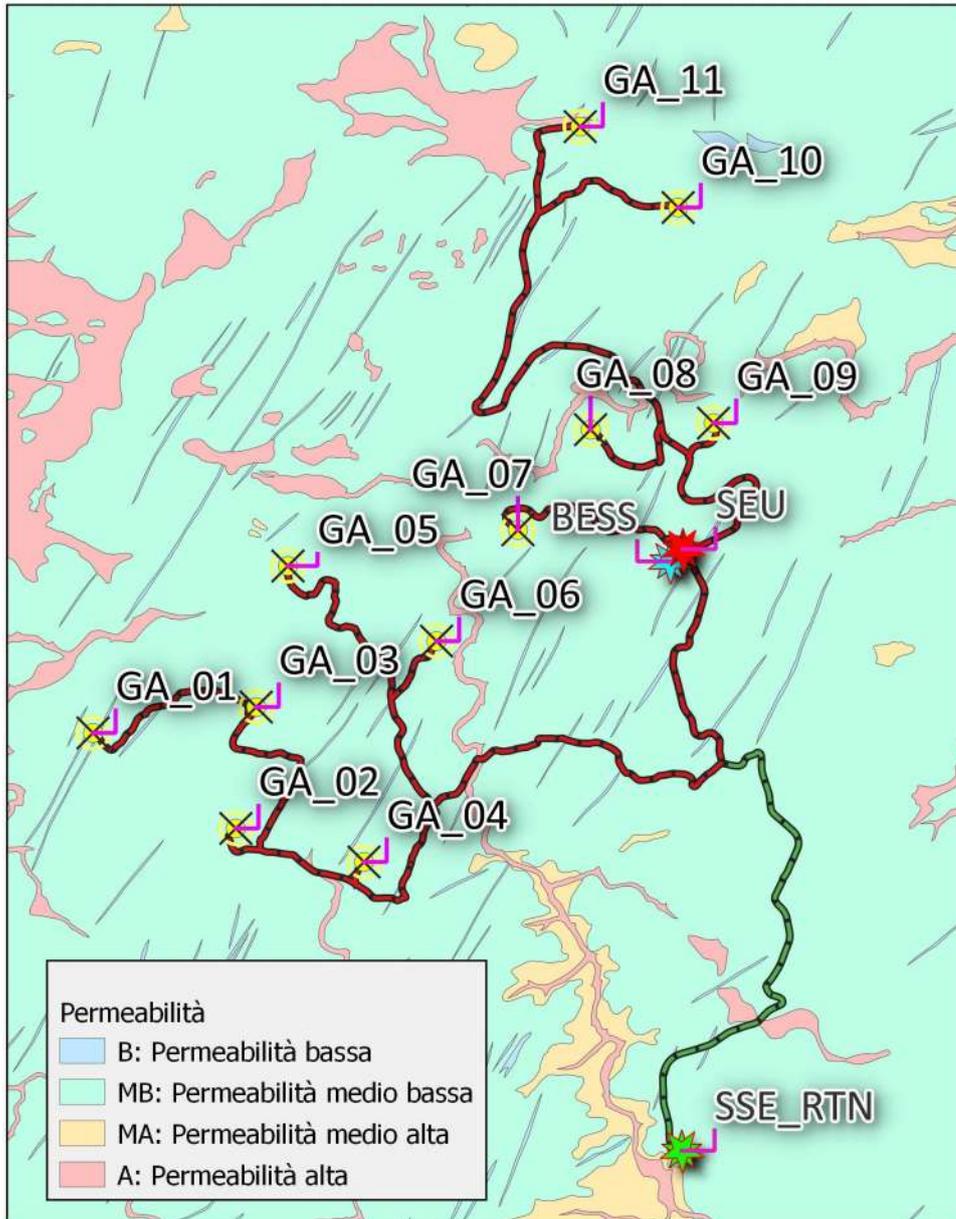
*Fig.6 - Vista da Sud – Ubicazione Aerogeneratori ed individuazione del bacino del Fiume Liscia*

Le condizioni di esistenza dell'acqua nel sottosuolo sono determinate dalla permeabilità, sia essa per fratturazione o per porosità, dei vari livelli componenti le varie serie idrogeologiche.

I terreni dell'area in esame possono considerarsi a permeabilità medio-bassa; in generale, sono costituiti da una formazione superficiale per lo più di tipo sabbioso-argillosa e limosa, alla quale segue il granito arenizzato.

La permeabilità dei graniti inalterati subaffioranti è da ritenersi molto scarsa; essa è legata alla fratturazione che può consentire un modesto

immagazzinamento d'acqua soltanto nell'immediata prossimità della superficie, dove le fratture sono allentate.



*Fig.7 - Carta idrogeologica della Regione Basilicata*

In definitiva, l'unica formazione permeabile è costituita dai prodotti di smantellamento e alterazione dei graniti, ovvero i terreni superficiali ed i depositi eluviali e colluviali.

Il complesso intrusivo dei monzograniti costituisce litologicamente il più alto grado di impermeabilità, ma al contempo, per la elevata percentuale di faglie e fratture, una zona di ricarica nella complessa circolazione delle acque nel sottosuolo.

Il complesso superficiale colluviale ed eluviale, costituisce il dreno naturale per le acque del sottosuolo provenienti da tutti i bacini.

Per quanto sopraccitato, si rileva quanto segue:

- *l'area in esame ha un substrato scarsamente permeabile ed una circolazione nel sottosuolo legata esclusivamente a faglie e/o fratture;*
- *numerose sono le manifestazioni sorgentizie di acque di fessurazione, ma poco significative, visibili solo nei periodi più piovosi e nelle scarpate delle vie perimetrali e di penetrazione della discarica, nel lato a monte, dove è più evidente la fratturazione e alterazione della roccia; nelle stagioni in cui le precipitazioni sono scarse, sono assenti.*

Sulla base del rilevamento effettuato in zona e delle caratteristiche geologiche dei litotipi indagati, è possibile affermare che sono presenti localmente falde superficiali di modesta entità ubicate all'interno della coltre colluviale, e falde idriche ben più importanti a profondità più elevate (**oltre i 100 metri di profondità dal p.c.**).

## 6. COMPATIBILITÀ CON IL P.A.I. VIGENTE

Il **Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) del bacino unico della Regione Sardegna**, è redatto ai sensi della legge n. 183/1989 e del decreto-legge n. 180/1998, con le relative fonti normative di conversione, modifica e integrazione (*approvato con Decreto del Presidente della Regione Sardegna n.67 del 10.07.2006 con tutti i suoi elaborati descrittivi e cartografici*).

Il P.A.I. è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla prevenzione del rischio idrogeologico, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato.

Dall'analisi della documentazione cartografica risulta che, **nessun aerogeneratore ricade all'interno di aree a rischio idrogeologico (vedi Tavola 3)**.

Nell'area del Parco Eolico Gallura sono tuttavia presenti alcune aree a rischio idrogeologico, e più precisamente **aree a rischio idraulico Hi1-P1 (Aree a pericolosità idraulica moderata o fascia geomorfologica)** ma che sono però **localizzate due zone e che interessano esclusivamente tratti stradali esistenti dove verrà posato il cavidotto.**

Le aree a rischio idraulico Hi1-P1 sono disciplinate all'art.30 delle N.T.A. (Norme Tecniche di Attuazione) del PAI Sardegna.

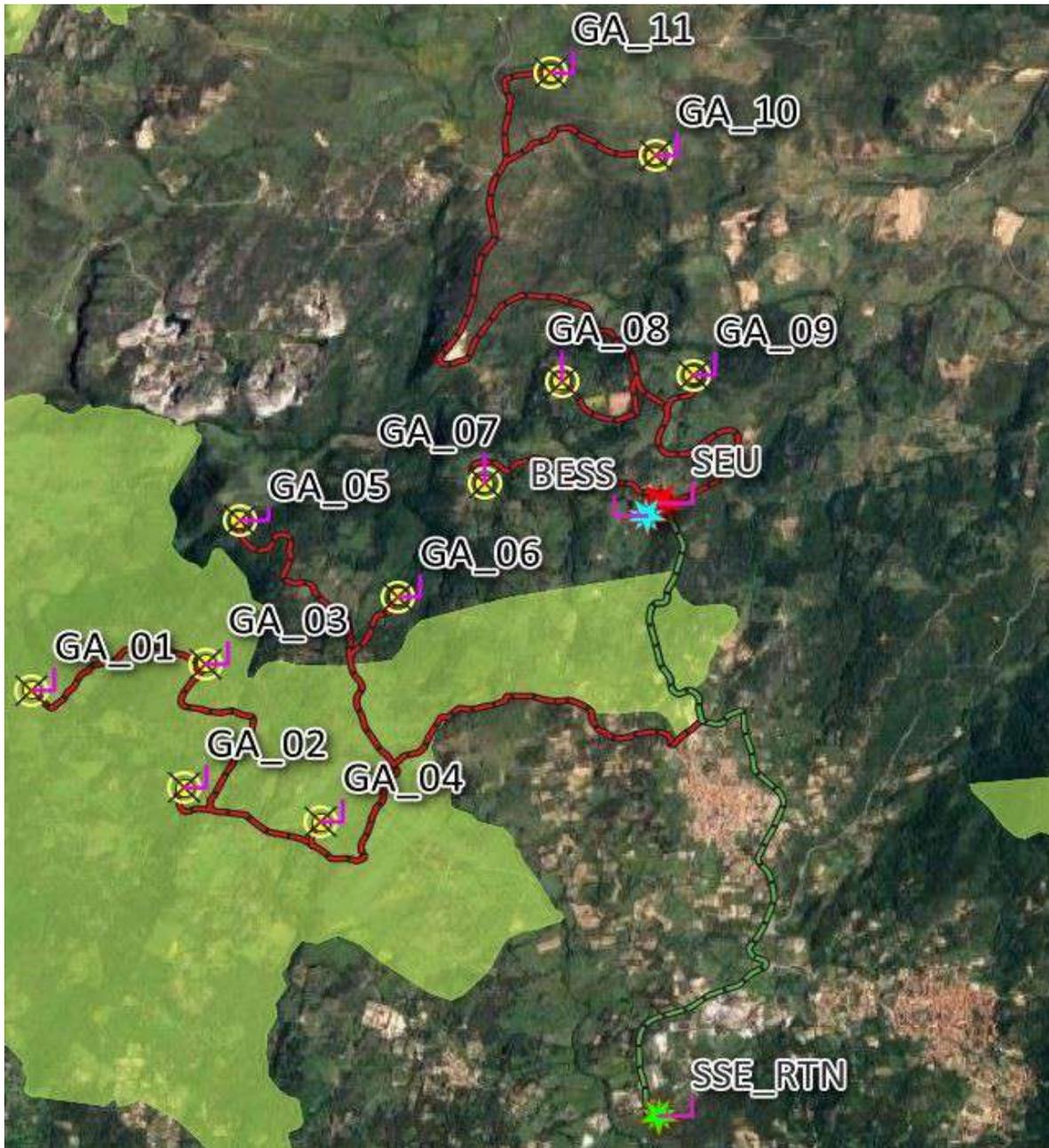
In conclusione, è possibile affermare che:

- **l'intervento risulta di dichiarato interesse pubblico;**
- **non risultano interventi PAI in previsione per le aree individuate;**

- **l'intervento non aumenterà il carico insediativo;**
- **saranno realizzati con tutti gli accorgimenti costruttivi per assicurare all'opera ed alle infrastrutture connesse stabilità e durabilità nel tempo;**
- **non risultano interferenze con misure di protezione civile dei comuni interessati.**

## 7. VINCOLO IDROGEOLOGICO

Ai sensi del R.D.L. 3267/23, gli aerogeneratori GA\_01 ÷ Ga\_04 ricadono all'interno di una vasta zona interessata dal vincolo idrogeologico.



*Fig.8 - Vincolo idrogeologico*

La realizzazione delle **opere accessorie (strade, piazzole) dovrà prevedere l'utilizzato di terreno granulare, avente buone caratteristiche geotecniche e buona permeabilità, tali da garantire la stabilità delle opere stesse.**

Per queste opere, **si potranno utilizzare terreni con forte componente granulare (es. misto cava)** che presentano **caratteristiche geotecniche affidabili** e non modificabili dall'aumento del contenuto in acqua, **ovvero i terreni superficiali caratterizzati da sabbie ghiaiose.**

Il materiale dovrà essere steso in strati, preferibilmente a mezzo di grader, su un piano di posa ripulito da materiali estranei, approntato al livello previsto dal progetto ed adeguatamente compattato; lo spessore finito dei singoli strati sciolti dovrà essere compreso tra 10 e 30 cm., in relazione al peso ed alla potenza dei mezzi costipanti impiegati.

Si consiglia la realizzazione di una **corretta regimazione delle acque superficiali mediante la realizzazione di canali di sgrondamento e di guardia;** le canalizzazioni di raccolta e smaltimento della acque meteoriche potranno essere realizzate mediante canali in terra rivestiti o con tubazioni in pead **avendo particolare cura nell'allontanare il più possibile le acque dai rilevati (si veda il relativo Elaborato Progettuale).**

Laddove le aree di intervento presentino pendenze elevate (superiori ai 10°), potrebbe essere necessario realizzare **opere di contenimento dei rilevati (es.gabbionate), o utilizzare opere di sostegno delle terre (es "terre armate").**

La realizzazione di gabbionate o terre armate presuppone necessariamente l'individuazione di un terreno di fondazione che sia stabile e con buone caratteristiche geotecniche.

Tuttavia **le opere in progetto** (*aerogeneratori, sottostazioni, cavidotti, piazzole e strade di accesso*) **non andranno a variare significativamente il regime delle acque di superficie della zona, né ovviamente ad interferire con il regime delle acque sotterranee che, come detto, risultano poco sviluppate.**

### **7.1 Terre e rocce da scavo**

L'art. 186 del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. stabilisce che **le terre e rocce da scavo, destinate all'effettivo utilizzo per reinterri, riempimenti, rilevati e macinati non costituiscono rifiuti** e sono, pertanto, esclusi dall'ambito di applicazione della Parte Quarta del decreto, **nel caso in cui si verifichino le seguenti condizioni obbligatorie e contestuali:**

- a) *siano impiegate direttamente nell'ambito di opere o interventi preventivamente individuati e definiti;*
- b) *sin dalla fase della produzione vi sia certezza dell'integrale utilizzo;*
- c) *l'utilizzo integrale della parte destinata a riutilizzo sia tecnicamente possibile senza necessità di preventivo trattamento o di trasformazioni preliminari per soddisfare i requisiti merceologici e di qualità ambientale idonei a garantire che il loro impiego non dia luogo ad emissioni e, più in generale, ad impatti ambientali qualitativamente e quantitativamente diversi da quelli ordinariamente consentiti ed autorizzati per il sito dove sono destinate ad essere utilizzate;*
- d) *sia garantito un elevato livello di tutela ambientale;*
- e) *sia accertato che non provengano da siti contaminati o sottoposti ad interventi di bonifica ai sensi del titolo V della Parte Quarta del decreto;*
- f) *le loro caratteristiche chimiche e chimico-fisiche siano tali che il loro impiego nel sito prescelto non determini rischi per la salute e per la qualità delle matrici ambientali interessate ed avvenga nel rispetto delle norme di tutela delle acque superficiali e sotterranee, della flora, della fauna, degli habitat e delle aree*

*naturali protette. In particolare deve essere dimostrato che il materiale da utilizzare non è contaminato con riferimento alla destinazione d'uso del medesimo, nonché la compatibilità (litologia, granulometria, geomeccanica, etc.) con il sito di destinazione;*

*g) la certezza del loro integrale utilizzo sia dimostrata.*

Date le caratteristiche granulometriche generali dei terreni che verranno coinvolti dalle opere del **Parco Eolico Gallura**, ovvero terreni a scheletro prevalentemente ghiaioso-sabbioso, **sarà possibile il riutilizzo delle stesse per la realizzazione delle piazzole, dei rilevati e delle strade, anche miscelati ai terreni granulari (es. materiale arido tipo A1, A2-4, A2-5, A3).**

## 8. RISULTATI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE GENERALI

Per la **caratterizzazione geognostica e sismica generale dell'area**, è stata programmata una campagna di indagini realizzata mediante l'esecuzione di **n°3 stendimenti sismici MASW e n°2 stendimenti sismici a RIFRAZIONE**, eseguiti dalla ditta **Geoservice S.r.l. di Torre del Ulivi Capoterra (CA)**

L'ubicazione delle prove è stata effettuata tenendo conto della posizione degli impianti eolici **in relazione alle autorizzazione agli accessi nelle aree private dove sono stati posti gli aerogeneratori che in questa fase progettuale non sono state ancora acquisite.**

STENDIMENTO M1				
Nome punto	Progressive (m)	Est (Longitudine)	Nord (Latitudine)	Quota Assoluta (m.s.l.m)
G1	0,00	1510765,78	4531740,24	430,10
G24	46,00	1510720,65	4531747,62	433,30

STENDIMENTO M2				
Nome punto	Progressive (m)	Est (Longitudine)	Nord (Latitudine)	Quota Assoluta (m.s.l.m)
G1	0,00	1514334,54	4534788,45	277,67
G24	46,00	1514296,71	4534813,94	272,52

STENDIMENTO M3				
Nome punto	Progressive (m)	Est (Longitudine)	Nord (Latitudine)	Quota Assoluta (m.s.l.m)
G1	0,00	1514248,77	4534097,85	364,12
G24	46,00	1514204,42	4534109,23	364,04

STENDIMENTO R1				
Nome punto	Progressive (m)	Est (Longitudine)	Nord (Latitudine)	Quota Assoluta (m.s.l.m)
G1	0,00	1509508,67	4533966,82	406,02
G24	46,00	1509464,60	4533979,66	406,23

STENDIMENTO R2				
Nome punto	Progressive (m)	Est (Longitudine)	Nord (Latitudine)	Quota Assoluta (m.s.l.m)
G1	0,00	1515198,25	4537634,42	418,50
G24	46,00	1515153,14	4537625,88	416,84

*Tab.2 – Tabella riepilogativa indagini*

La MASW1 è stata effettuata nelle vicinanze dell'aerogeneratore GA\_02, la MASW2 è stata effettuata nelle vicinanze dell'aerogeneratore GA\_02, mentre la MASW3 è stata effettuata in corrispondenza dell'aerogeneratore GA\_07.

Lo stendimento sismico multicanale tipo **MASW (Multichannel Spectral Analysis of Surface Waves)** permette di determinare la categoria di suolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_{seq}$ , mentre l'**esplorazione geofisica di sismica a rifrazione in onde P**, consente di valutare le proprietà fisico-meccaniche dei terreni ed il grado di addensamento e/o la compattezza dei materiali da queste attraversate.

La Rifrazione1 è stata effettuata nelle vicinanze dell'aerogeneratore GA\_05, mentre la Rifrazione2 è stata effettuata in corrispondenza dell'aerogeneratore GA\_10.

Le indagini sismiche sono state elaborate ai sensi del *Decreto Ministeriale del 17/01/2018 (Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni)* e della *Circolare n. 7 del 21/01/2019 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.*

## **9. MODELLO GEOTECNICO PRELIMINARE E PRIME INDICAZIONI SULLE STRUTTURE DI FONDAZIONE**

Le opere in progetto, come detto, interesseranno principalmente 3 unità o sub-unità e di seguito riassunte:

- 1) *Sub-unità intrusiva di Catala*
- 2) *Unità intrusiva di Laga del Liscia*
- 3) *Unità intrusiva di Luogosanto*

A tali litotipi è possibile assegnare le seguenti caratteristiche geotecniche medie, **desunte dalle indagini effettuate e da dati di bibliografia:**

### **1) Graniti fratturati**

$$\gamma = \text{peso di volume} = 2,4 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\phi = \text{angolo di attrito interno} = 45^\circ$$

$$C = \text{resistenza a compressione semplice} > 1000,0 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Ed = \text{modulo edometrico} = 500.000,0 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E = \text{modulo elastico} = 400.000,0 \text{ Kg/cm}^2$$

$$G_0 = \text{modulo di taglio} = 9000,0 \text{ Kg/cm}^2$$

Inoltre si riportano anche le **caratteristiche medie della coltre colluviale costituita da sabbie ghiaiose derivanti dalla degradazione dei graniti:**

### **2) Coltre costituita da sabbie ghiaiose**

$$\gamma = \text{peso di volume} = 2,1 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\phi = \text{angolo di attrito interno} = 31^\circ$$

$$c' = \text{coesione efficace} = 0,05 \text{ Kg/cm}^2$$

$c_u = \text{coesione non drenata} = 0,5 \text{ Kg/cm}^2$

$E_d = \text{modulo edometrico} = 300 \text{ Kg/cm}^2$

$E = \text{modulo elastico} = 1000,0 \text{ Kg/cm}^2$

$G_0 = \text{modulo di taglio} = 2000,0 \text{ Kg/cm}^2$

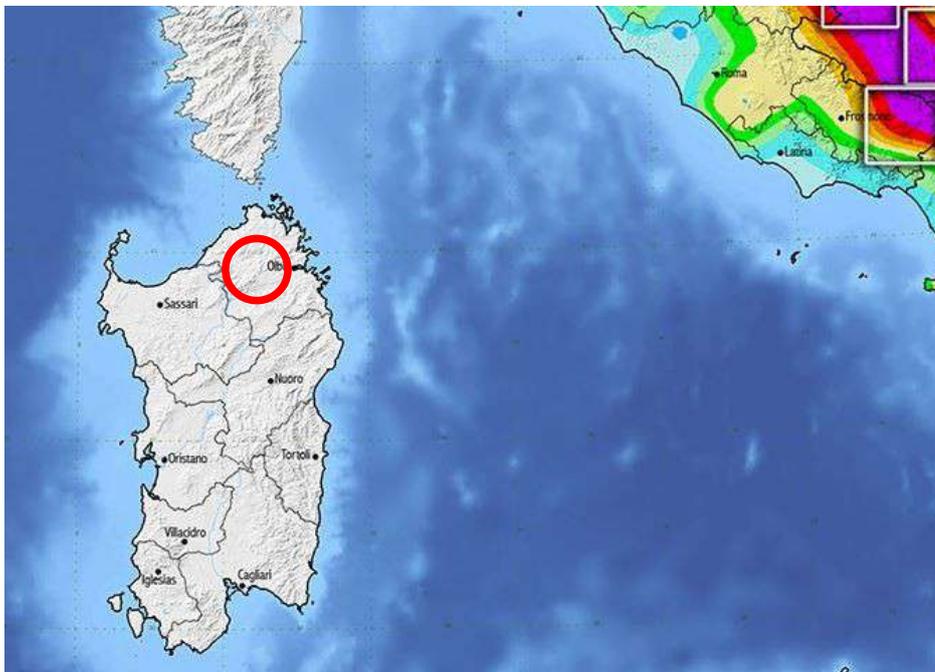
Sulla base delle indagini geognostiche generali è possibile **consigliare anche l'utilizzo di fondazioni superficiali.**

Tuttavia la scelta definitiva della tipologia di fondazione da utilizzare per gli aerogeneratori e per tutte le opere connesse, **sarà definita a seguito della campagna geognostica da effettuare in sede di progettazione definitivo-esecutiva.**

## 10. MODELLO SISMICO DELLA ZONA

I territori comunali di **Luras e Torre Pausania (SS)** in base all'**Ordinanza P.C.M. del 20 marzo 2003 n.3274**, approvata con **DGR 2000 del 04/11/2003**, sono classificati sismicamente come appartenente alla **“zona 4”**.

Lo studio di pericolosità sismica, adottato con l'**O.P.C.M. del 28 aprile 2006 n. 3519**, attribuisce alle 4 zone sismiche degli intervalli di accelerazione orizzontale del suolo ( $a_g$ ), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni. Nel caso in esame l'accelerazione orizzontale del suolo ( $a_g$ ) risulta essere:



*Fig.9 – Mapa di pericolosità sismica del territorio*

<u>Zona sismica</u>	<u>Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag)</u>
1	ag >0.25
2	0.15 <ag ≤ 0.25
3	0.05 <ag ≤ 0.15
<b>4</b>	<b>ag ≤ 0.05</b>

Tab. 3 - Tabella dei valori di PGA con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni.

### **10.1 Sismicità storica dell'area**

Di seguito si riporta la sismicità storica dell'area per eventi sismici con Magnitudo ≥ 5,00 riportati nel “**Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - DBMI15**”, consultabile al sito <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>.

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4-5	2000	04	26	13	37	4	Tirreno centrale	265		4.77

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>.

Inoltre, si osserva come i comuni interessati dall'intervento non **rientrano nella zonazione sismogenetica ZS9 n°927**, secondo la mappa di pericolosità sismica (INGV - C. Meletti e G. Valensise, 2004) (**vedi Figg. 12 e 13**).

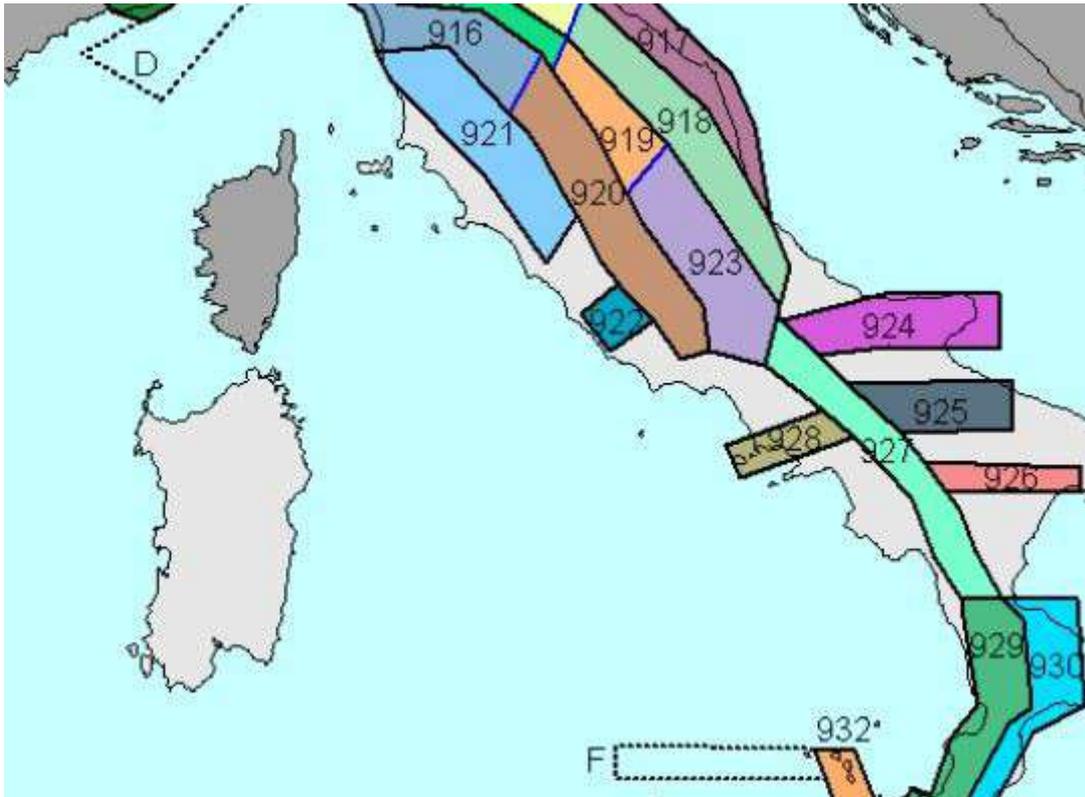


Fig.10 – Stralcio della Carta della Zonazione Sismogenetica ZS9 (da Meletti e Valensise, 2004, <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>)

## **10.2 Determinazione delle categoria di suolo e topografica**

### **Categoria di suolo**

Come previsto dalle NTC 2018 (Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni), per la **stima della pericolosità sismica dell'area**, è **necessario individuare la categoria di sottosuolo del sito mediante opportune indagini geofisiche.**

**Come detto sono state effettuate prove sismiche del tipo MASW (Multichannel Analysis Surface Wave) e RIFRAZIONE** per la determinazione delle V<sub>seq</sub>.

Il valore di V<sub>seq</sub> ricavato in tutte le prove sismiche, ha permesso di assegnare preliminarmente alle aree interessate la categoria di sottosuolo evidenziata nella tabella 3.2. Il allegata alle N.T.C. e di seguito riportata:

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<b><i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i></b> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

### **Categoria topografica**

Per l'assegnazione della categoria topografica si fa riferimento alla tabella 3.2.III (categorie topografiche) allegata alle Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17/01/2018, di seguito riportata:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

*Tab. 4 (3.2.III)*

**Si rimanda al paragrafo 12 per l'assegnazione della categoria topografica di ogni sito individuato per l'installazione degli aerogeneratori.**

## **11. PIANO INDAGINI DA EFFETTUARE PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVO-ESECUTIVA DEGLI AEROGENERATORI E DELLE SOTTOSTAZIONI**

Le indagini eseguite, rappresentano una **prima caratterizzazione di massima dei litotipi affioranti all'interno dell'area di progetto.**

Per la progettazione definitivo-esecutiva dei singoli aerogeneratori, delle rispettive piazzole e stradine di accesso **dovranno essere effettuate indagini geognostiche e sismiche aggiuntive**, con **prove in sito e di laboratorio** al fine di caratterizzare in maniera puntuale l'area di sedime delle opere da realizzare.

Tali prove saranno mirate per la **determinazione delle strutture di fondazione** e per la **realizzazione delle eventuali opere di contenimento.**

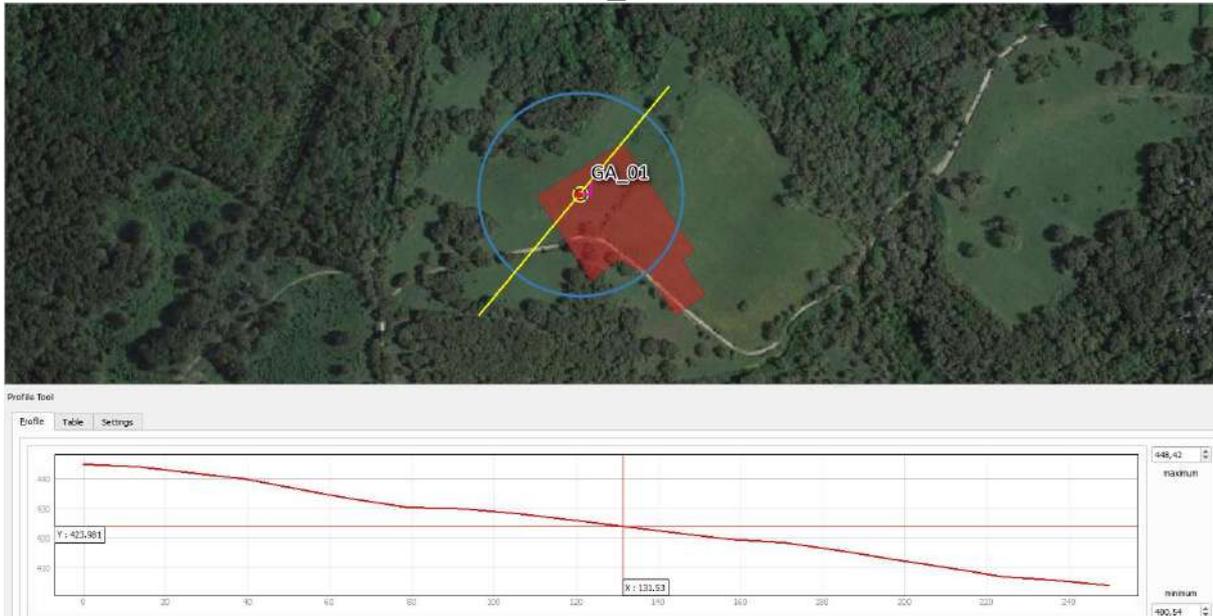
Nello specifico saranno effettuati:

- *Sondaggi geognostici a carotaggio continuo, con prove in S.P.T. in foro e prelievo di campioni;*
- *Prove geotecniche di laboratorio sui campioni prelevati;*
- *Istallazione di piezometri per il rilevamento della falda freatica se intercettata durante i sondaggi geognostici;*
- *Prove penetrometriche dinamiche DPSH;*
- *Prove sismiche tipo MASW e Rifrazione (ad eventuale integrazione di quanto già effettuato).*

## 12. INQUADRAMENTO DI DETTAGLIO DELLE AREE DI SEDIME DEGLI AEROGENERATORI

Di seguito, viene effettuata una sintetica descrizione delle aree di sedime degli aerogeneratori.

GA\_01



L'area di sedime dell'aerogeneratore GA\_01 è ubicata in località Petri di Fascu, sul versante esposto a Nord-Ovest di Contrapiana. La superficie topografica presenta una pendenza verso Nord-Est, con inclinazione di circa 13°

ID	Quota slm	Pendenza	Geologia	Presenza di dissesti
GA_1	425	8°	Monzograniti	No

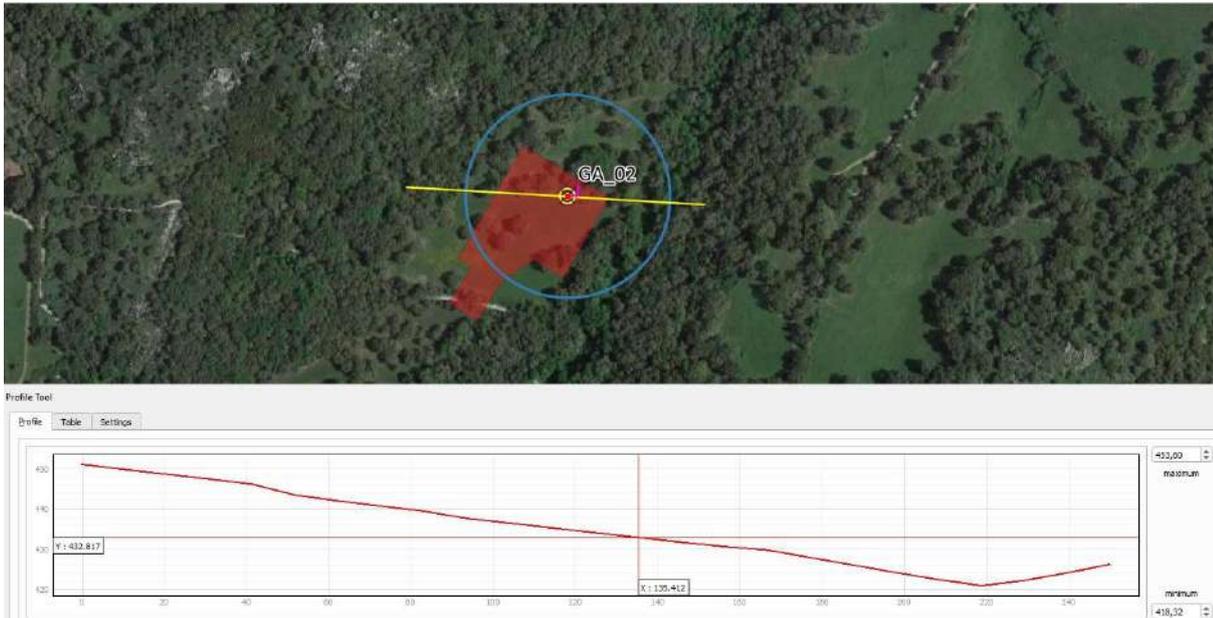
### Successione stratigrafica sintetica

da 0,00 a 5,70 m: Coltre di sabbie ghiaiose derivanti dalla degradazione dei graniti (2)

da 5,70 in poi: Roccia granitica mediamente fratturata (1)

Categoria Topografica "T1" – Categoria di sottosuolo "B"

## GA\_02



L'area di sedime dell'aerogeneratore GA\_02 è ubicata in località Sas Cannas, alla quota di 435,0 metri s.l.m. .

La superficie topografica presenta una pendenza verso Est, con inclinazione di circa 7°.

ID	Quota slm	Pendenza	Geologia	Presenza di dissesti
GA_2	435	7°	Monzograniti	No

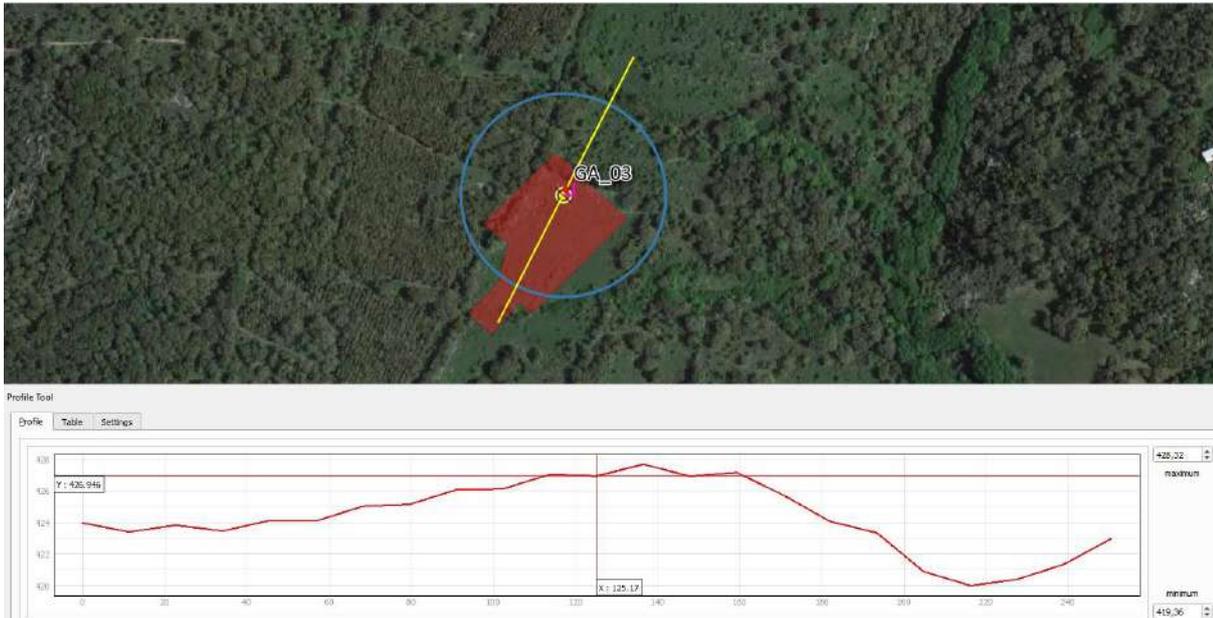
### Successione stratigrafica sintetica

da 0,00 a 5,70 m: Coltre di sabbie ghiaiose derivanti dalla degradazione dei graniti (2)

da 5,70 in poi: Roccia granitica mediamente fratturata (1)

Categoria Topografica "T1" – Categoria di sottosuolo "B"

### GA\_03



L'area di sedime dell'aerogeneratore GA\_03 è ubicata alla quota di 433,0 metri s.l.m. in località Lu Mavroni sul versante esposto ad Nord-Est di Monte Lu Casteddu.

La superficie topografica presenta una pendenza verso Nord-Est, con inclinazione di circa 12°.

ID	Quota slm	Pendenza	Geologia	Presenza di dissesti
GA_3	433	12°	Monzograniti	No

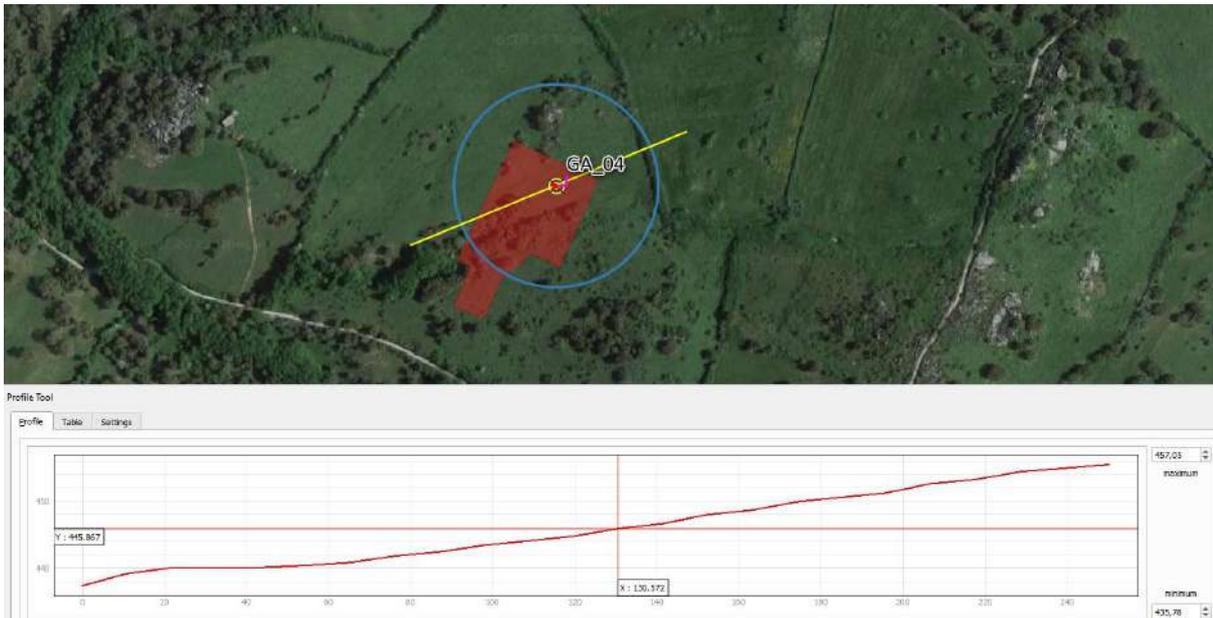
**Successione stratigrafica sintetica**

da 0,00 a 2,50 m: Coltre di sabbie ghiaiose derivanti dalla degradazione dei graniti (2)

da 2,50 in poi: Roccia granitica mediamente fratturata (1)

**Categoria Topografica "T1" – Categoria di sottosuolo "B"**

## GA\_04



L'area di sedime dell'aerogeneratore GA\_04 è ubicata in località Naracu Pileu alla quota di 440,0 metri s.l.m.

La superficie topografica presenta una pendenza verso Sud-Ovest, con inclinazione della superficie topografica nei punti di installazione di circa 4°.

ID	Quota slm	Pendenza	Geologia	Presenza di dissesti
GA_4	440	4°	Monzograniti	No

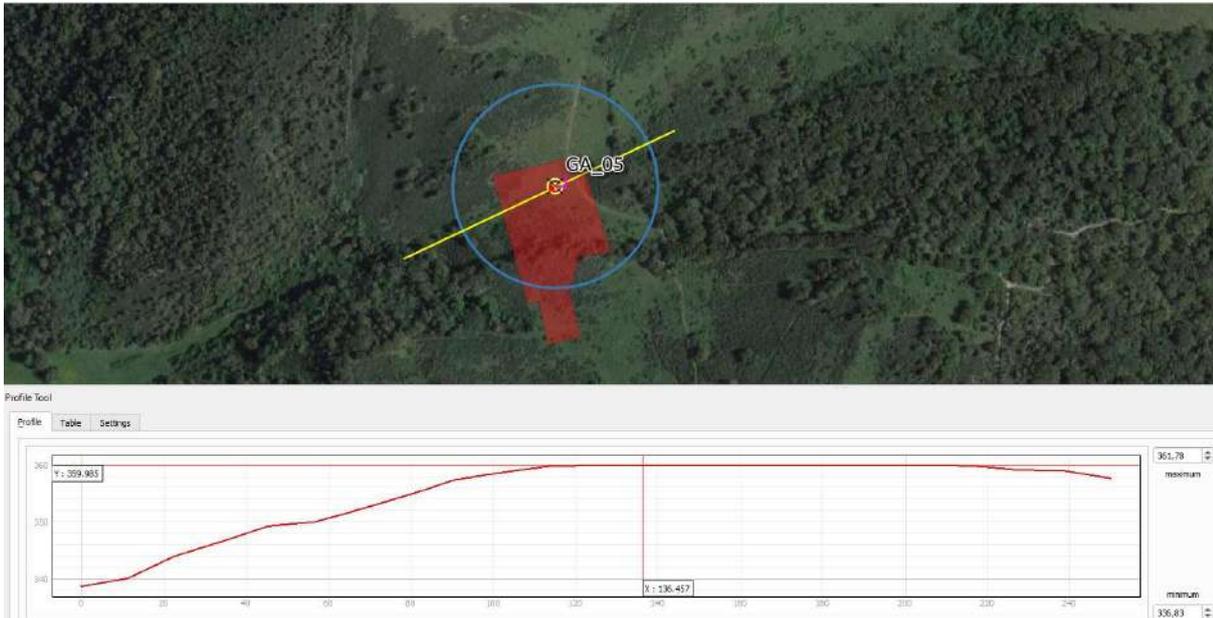
### Successione stratigrafica sintetica

da 0,00 a 2,50 m: Coltre di sabbie ghiaiose derivanti dalla degradazione dei graniti (2)

da 2,50 in poi: Roccia granitica mediamente fratturata (1)

Categoria Topografica "T1" – Categoria di sottosuolo "B"

## GA\_05



L'area di sedime dell'aerogeneratore AR\_05 è ubicata alla quota di 360,0 metri s.l.m. in località Petra Bianca.

La superficie topografica presenta una pendenza verso Sud-Est, con inclinazione di circa 5°

ID	Quota slm	Pendenza	Geologia	Presenza di dissesti
GA_5	360	5°	Monzograniti	No

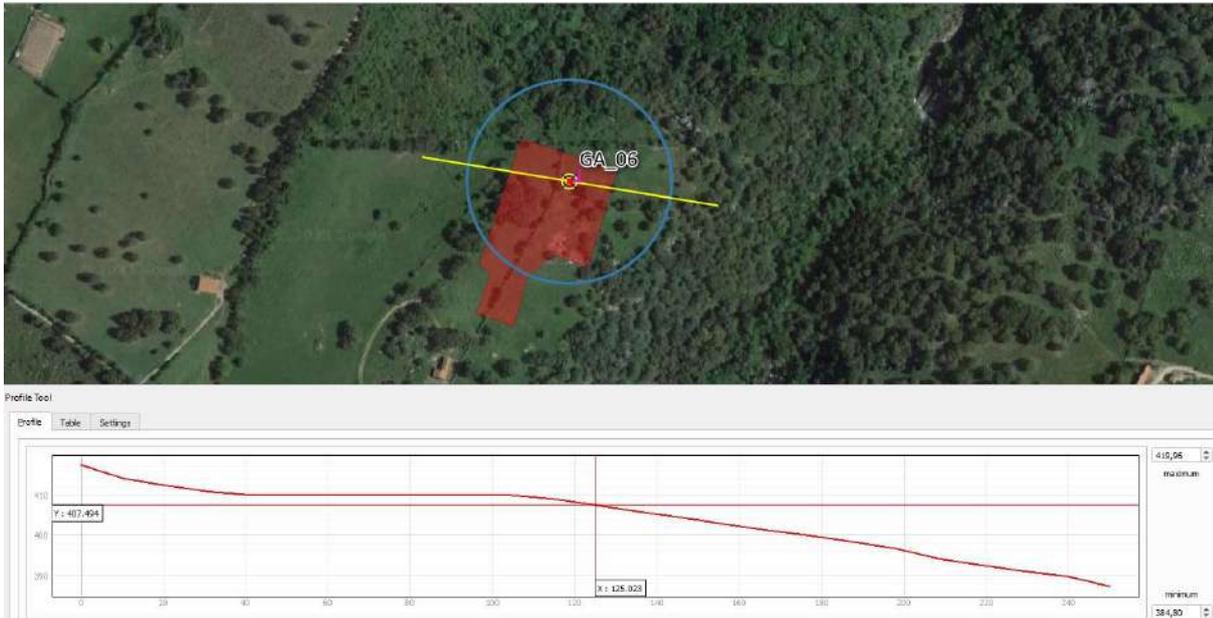
### Successione stratigrafica sintetica

da 0,00 a 6,00 m: Coltre di sabbie ghiaiose derivanti dalla degradazione dei graniti (2)

da 6,00 in poi: Roccia granitica mediamente fratturata (1)

Categoria Topografica "T1" – Categoria di sottosuolo "B"

## GA\_06



L'area di sedime dell'aerogeneratore GA\_06 è ubicata alla quota di 410,0 metri s.l.m. in località Cunzados, in sinistra idrografica del Fosso Cossidana.

La superficie topografica presenta una pendenza verso Est, con inclinazione di circa 8°

ID	Quota slm	Pendenza	Geologia	Presenza di dissesti
GA_6	410	8°	Monzograniti	No

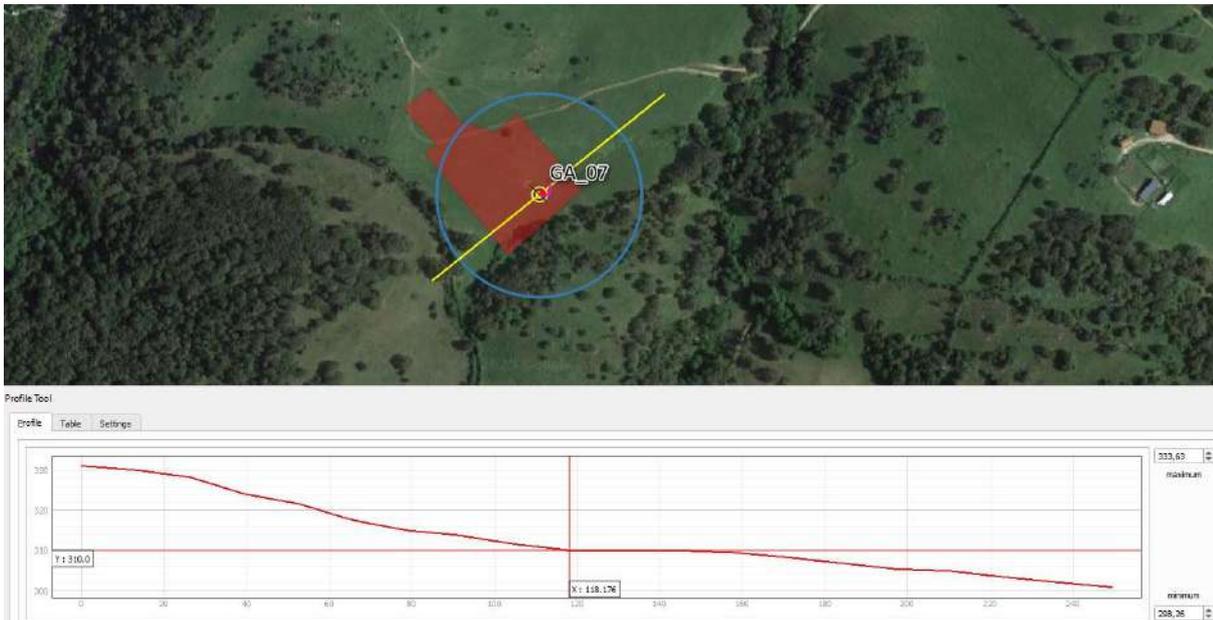
### Successione stratigrafica sintetica

da 0,00 a 3,00 m: Coltre di sabbie ghiaiose derivanti dalla degradazione dei graniti (2)

da 3,00 in poi: Roccia granitica mediamente fratturata (1)

Categoria Topografica "T1" – Categoria di sottosuolo "B"

## GA\_07



L'area di sedime dell'aerogeneratore GA\_07 è ubicata alla quota di 315,0 metri s.l.m. in località Cucurendos, in destra idrografica del Fosso Cossidana.

La superficie topografica presenta una pendenza verso Est, con inclinazione di circa 7°.

ID	Quota slm	Pendenza	Geologia	Presenza di dissesti
GA_7	315	7°	Monzograniti	No

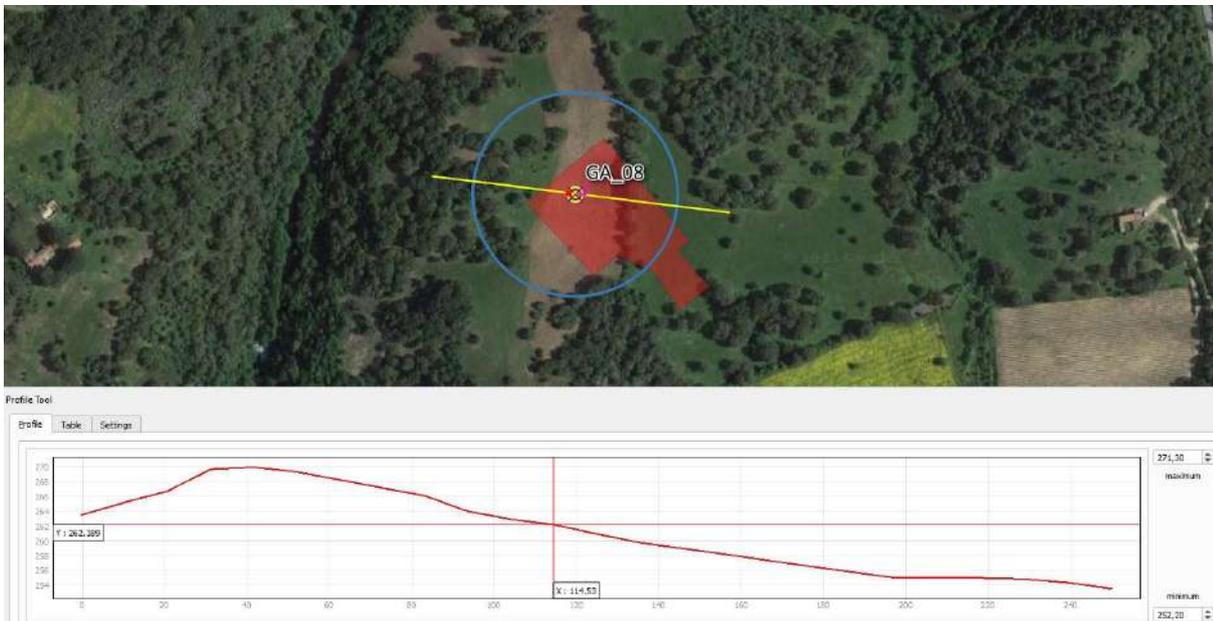
### Successione stratigrafica sintetica

da 0,00 a 8,00 m: Coltre di sabbie ghiaiose derivanti dalla degradazione dei graniti (2)

da 8,00 in poi: Roccia granitica mediamente fratturata (1)

Categoria Topografica "T1" – Categoria di sottosuolo "B"

## GA\_08



L'area di sedime dell'aerogeneratore GA\_08 è ubicata in destra idrografica del R. Carana, alla quota di 275,0 metri s.l.m.

La superficie topografica presenta una pendenza verso est, con inclinazione di circa 5°

ID	Quota slm	Pendenza	Geologia	Presenza di dissesti
GA_8	275	5°	Monzograniti	No

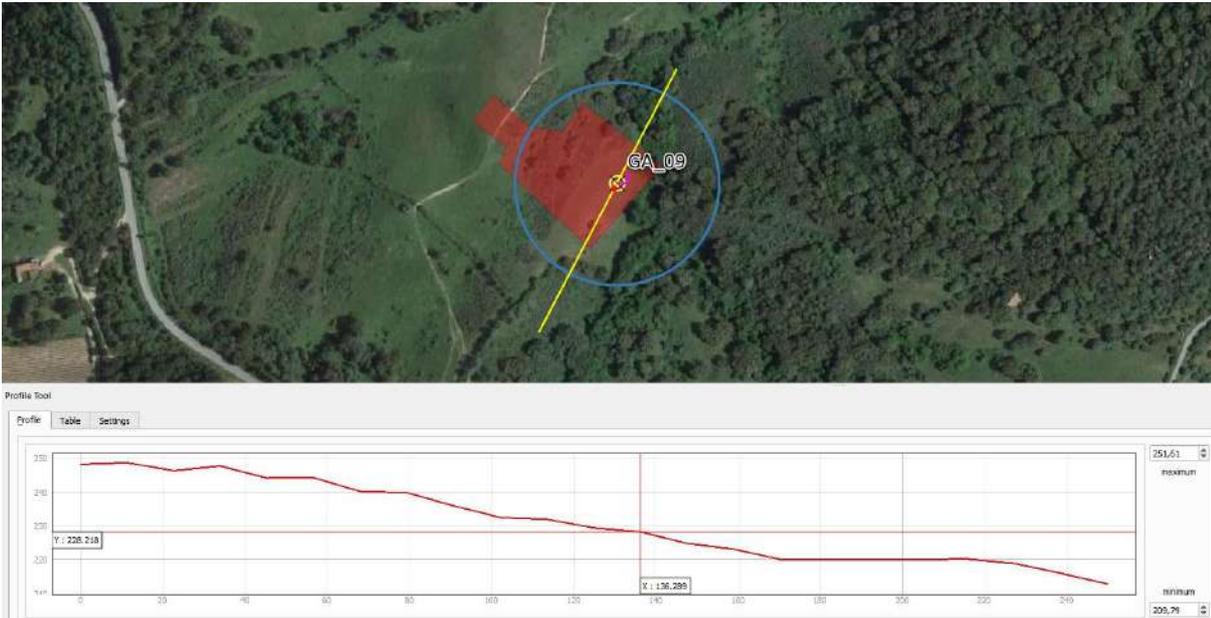
### Successione stratigrafica sintetica

da 0,00 a 3,00 m: Coltre di sabbie ghiaiose derivanti dalla degradazione dei graniti (2)

da 3,00 in poi: Roccia granitica mediamente fratturata (1)

Categoria Topografica "T1" – Categoria di sottosuolo "B"

## GA\_09



L'area di sedime dell'aerogeneratore GA\_09 è ubicata in località Su Molino, in destra idrografica del R. Carana, alla quota di 230,0 metri s.l.m.

La superficie topografica presenta una pendenza verso Sud-Sud-Ovest, con inclinazione di circa 7°.

ID	Quota slm	Pendenza	Geologia	Presenza di dissesti
GA_9	230	7°	Monzograniti	No

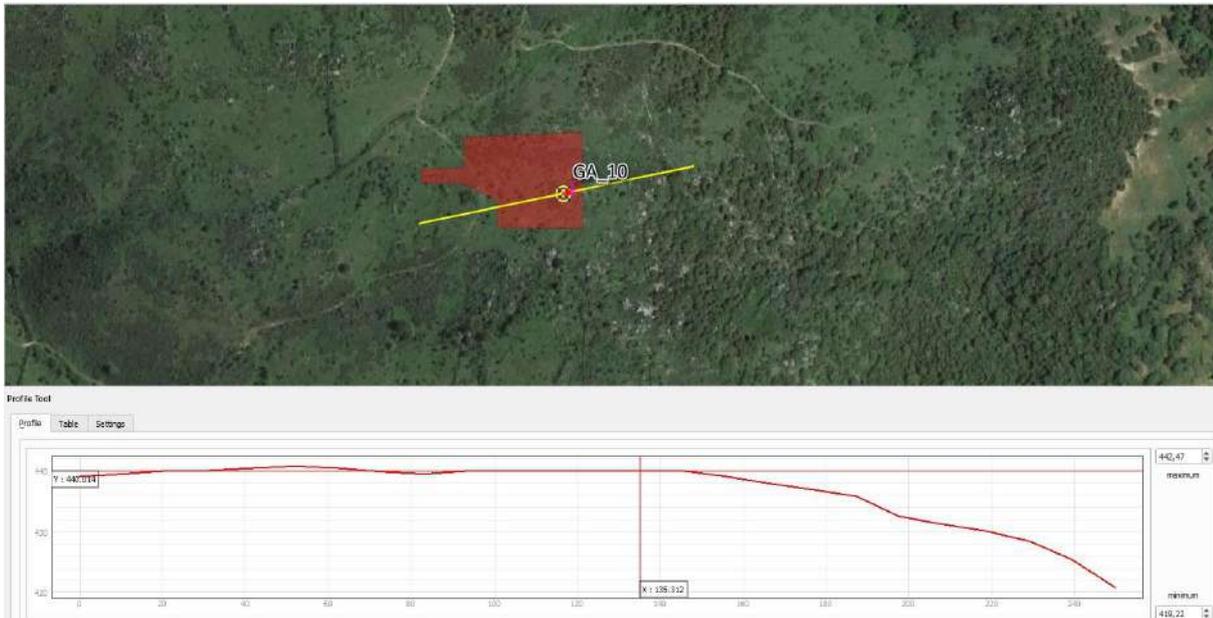
### Successione stratigrafica sintetica

da 0,00 a 6,10 m: Coltre di sabbie ghiaiose derivanti dalla degradazione dei graniti (2)

da 6,10 in poi: Roccia granitica mediamente fratturata (1)

Categoria Topografica "T1" – Categoria di sottosuolo "B"

## GA\_10



L'area di sedime dell'aerogeneratore GA\_10 è ubicata in corrispondenza del colle di San Leonardo, alla quota di 440,0 metri s.l.m.

La superficie topografica presenta una blanda pendenza in direzione Est-Ovest e di circa verso 12° in direzione Nord-Sud.

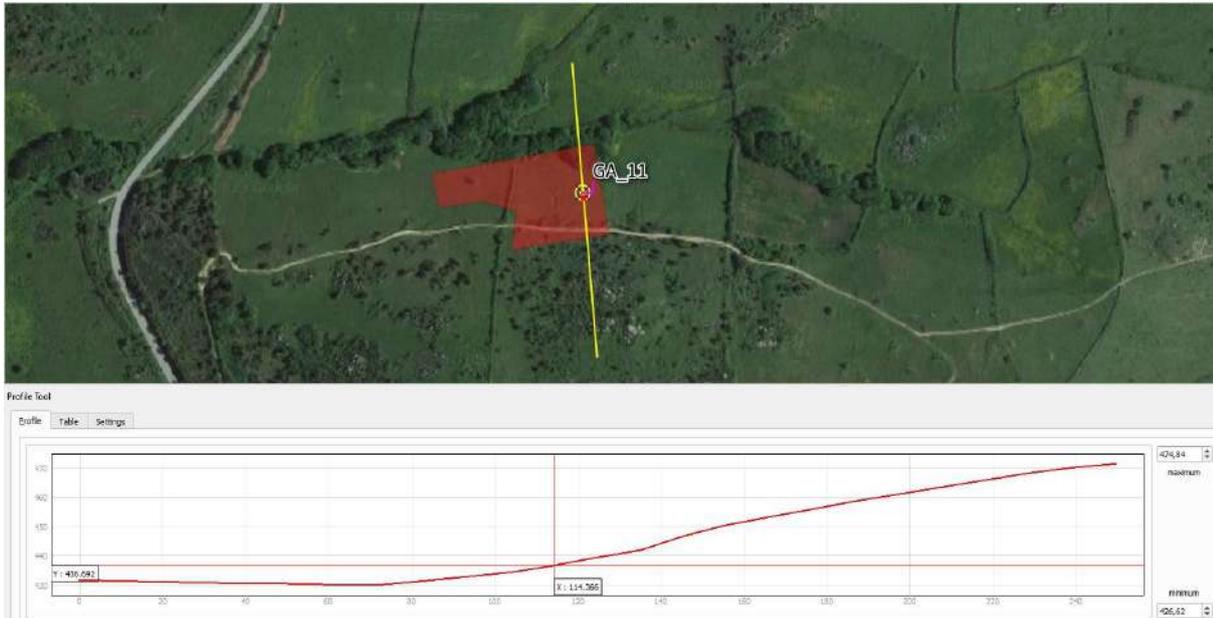
ID	Quota slm	Pendenza	Geologia	Presenza di dissesti
GA_10	440	2° - 12°	Monzograniti	No

### Successione stratigrafica sintetica

da 0,00 a 1,0 m: Coltre di sabbie ghiaiose derivanti dalla degradazione dei graniti (2)  
da 1,0 in poi: Rocca granitica mediamente fratturata (1)

Categoria Topografica "T1" – Categoria di sottosuolo "B"

## GA\_11



L'area di sedime dell'aerogeneratore GA\_11 è ubicata in località San Pietro, alla quota di 438,0 metri s.l.m., su un versante esposto a Nord.

La superficie topografica presenta una pendenza verso Nord, con inclinazione di circa 12°.

ID	Quota slm	Pendenza	Geologia	Presenza di dissesti
GA_11	438	12°	Monzograniti	No

### Successione stratigrafica sintetica

da 0,00 ÷ a 2,0 m: Coltre di sabbie ghiaiose derivanti dalla degradazione dei graniti (2)  
da 2,0 in poi: Roccia granitica mediamente fratturata (1)

Categoria Topografica "T1" – Categoria di sottosuolo "B"

### **13. OPERE ELETTRICHE**

L'energia elettrica prodotta sarà convogliata nella **stazione elettrica di trasformazione (SEU)** di luras mediante cavi interrati.

Tali cavidotti, **interrati ad una profondità non inferiore a 1,6 metri**, saranno infilati all'interno di corrugati di idonea sezione.

Essi andranno ad interessare principalmente carreggiate stradali esistenti, e pertanto ogni lavorazione sarà eseguita nel rispetto delle prescrizioni degli "Enti proprietari" e gestori del tratto di strada interessato.

Laddove le strade si sviluppino sui versanti è consigliabile, compatibilmente con l'ubicazione di altri sottoservizi già presenti, spostare il tracciato del cavidotto lato monte, onde evitare di interessare eventuali terreni di riporto.

**I tracciati individuati per i cavidotti interrati, che ricadono tutti su tratti stradali esistenti, interessano aree a rischio idraulico Hi1-P1 (Aree a pericolosità idraulica moderata o fascia geomorfologica) per brevissimi tratti.**

## 14. CONCLUSIONI

La **SARDEGNA PRIME s.r.l.** intende realizzare il **nuovo parco eolico "GALLURA"** costituito da **n°11 aerogeneratori** da realizzarsi nei territori comunali di Luras e Tempio Pausania mentre le opere elettriche interesseranno anche il comune di Calangianus.

Sono state effettuate delle indagini per l'inquadrimento stratigrafico-geotecnico-sismico generale dei siti di interesse; **i risultati hanno messo in evidenza la presenza del basamento geologico (Monzograniti) ricoperti da una coltre colluviale di spessore variabile.**

Infine data la morfologia del sito, dovranno essere effettuati movimenti terra e pertanto il progetto prevede di:

- curare la **regimazione delle acque superficiali** mediante la realizzazione di canali e fossi di guardia;
- utilizzare **materiali con buone caratteristiche geotecniche** (materiale arido tipo A1, A2-4, A2-5, A3) per la realizzazione di strade e piazzole, mediante miscelazione con i terreni ottenuti dagli sbancamenti;
- prevedere, laddove necessario, **il contenimento dei rilevati mediante la realizzazione di gabbionate o terre armate**, opportunamente fondate.

La natura geologico-tessiturale dei terreni della zona determina la possibilità di infiltrazione delle acque meteoriche e di quelle di versante all'interno della coltre colluviale, ed in parte all'interno del basamento geologico; tale situazione da origine a falde idriche modeste ubicate all'interno

della coltre che andranno individuate e valuate in sede di progettazione definitivo-esecutiva.

Da quanto esposto, **è possibile concludere che le caratteristiche morfologiche e geologiche del sito individuato per l'installazione di aerogeneratori, ovvero per la produzione di energia eolica, ben si prestano per la realizzazione di tale opera** in quanto:

- *gli spessori della coltre colluviale risultano variabili ma con buone caratteristiche geotecniche mentre il basamento geologico presenta ottime caratteristiche geotecniche;*
- *gli elementi del parco che interessano aree a rischio idraulico sono esclusivamente da ricondurre alle opere elettriche (cavidotti) e per brevi tratti;*
- *le opere tutte non andranno a modificare in maniera significativa il regime delle acque superficiali né tanto meno quello profondo, che si sviluppa maggiormente a profondità elevate*

Dall'indagine geologica, idrogeologica, geotecnica e sismica condotta sull'area, e tenuto conto delle prescrizioni sopra descritte in fase progettuale, **si ritiene preliminarmente che l'opera possa essere realizzata in condizioni di sicurezza geologica, idrogeologica ed idraulica.**

IL GEOLOGO

dott. Pier Luigi Anasparri



Ascoli Piceno, Aprile 2023

**RISULTATO DELLE INDAGINI EFFETTUATE**

# INDAGINI GEOFISICHE (MASW-SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P)

*Parco Eolico*

N° Tavola	Scala Disegno	Data	Data Aggiornamento	Redatto:
<b>R1</b>	varie	06/03/2023	--	A.Carcangiu M.Usai

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

**Committente:**

**Ge.co.DOr SRL**  
Via A. De Gasperi, n° 8  
74023 Grottaglie (TA)  
P.IVA 01348440775

**Cantiere:** agro dei Comuni di Luras e  
Tempio Pausania (SS)



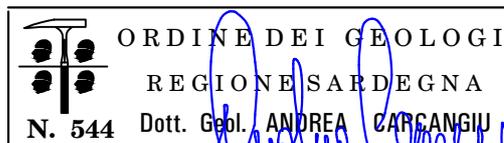
## GEOSERVICE

**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. Marco Usai

## Sommario

1	PREMESSA .....	2
2	PROGRAMMA DELLE INDAGINI SVOLTE.....	3
3	RILIEVO TOPOGRAFICO .....	3
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.....	13
4.6	Determinazione dei parametri di deformazione e di resistenza al taglio dalle indagini sismiche...14	
5	SISMICA A RIFRAZIONE.....	16
5.1	Strumentazione utilizzata.....	16
5.2	Elaborazione dei dati.....	17
5.3	Valutazione della escavabilità delle rocce.....	20
6	RISULTATI DELLE INDAGINI M1 .....	22
6.1	MASW M1 .....	22
7	RISULTATI DELLE INDAGINI M2 .....	24
7.1	MASW M2 .....	24
8	RISULTATI DELLE INDAGINI M3 .....	26
8.1	MASW M3 .....	26
9	RISULTATI DELLE INDAGINI R1 .....	28
9.1	Sismica a rifrazione R1.....	28
10	RISULTATI DELLE INDAGINI R2 .....	30
10.1	Sismica a rifrazione R2.....	30
11	INDICAZIONI PER LA DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI GEOMECCANICI.....	32
12	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....	33

## 1 PREMESSA

La presente relazione descrive le attività delle indagini geofisiche realizzate su incarico conferito dall'Ing Bruno Manca per conto della Edison SpA, realizzate nell'ambito del progetto "Realizzazione di un parco eolico nei territori comunali di Luras e Tempio Pausania (SS)".

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. È 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 n° 3 stendimenti di MASW e n°2 stendimenti di sismica a rifrazione in onde P.

Fanno parte integrante della presente relazione i seguenti allegati:

- Tavola 1. Inquadramento generale dell'area di indagini – scala 1:10.000
- Tavole 2-3-4-5-6. 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:

1. In data 23 febbraio 2023 esecuzione di n°3 stendimenti di sismica con tecnica MASW e n°2 stendimenti di sismica a Rifrazione in onde P.
2. Rilievo topografico tramite GPS differenziale STONEX S70G e livella topografica digitale (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 della zona di indagine è riportata nella **Tavola 1** mentre quella di dettaglio di ciascuna base sismica 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 iniziale a quello finale) e la loro lunghezza complessiva.

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

Sigla Stendimento	Metodologia di indagine	Orientamento	Interdistanza geofonica [m]	Lunghezza [m]
M1	MASW	E-W	2,0	46,0
R1	Sismica a rifrazione in onde P	SE-NW	2,0	46,0
M2	MASW	SE-NW	2,0	46,0
R2	Sismica a rifrazione in onde P	NE-SW	2,0	46,0
M3	MASW	SE-NW	2,0	46,0

## 3 RILIEVO TOPOGRAFICO

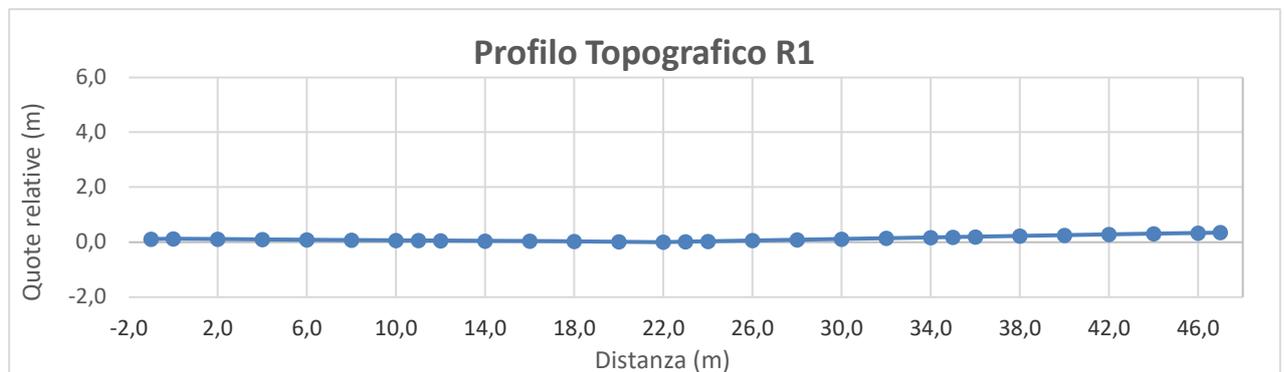
Di seguito si riportano i dati del rilievo topografico in termini di coordinate Gauss Boaga e quote assolute in m.s.l.m e relative in m da p.c. eseguito tramite GPS differenziale Stonex S70G di ciascun geofono e shot/energizzazione degli stendimenti di sismica a rifrazione in onde P. Mentre per le M.A.S.W gli estremi delle basi sismiche.

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)

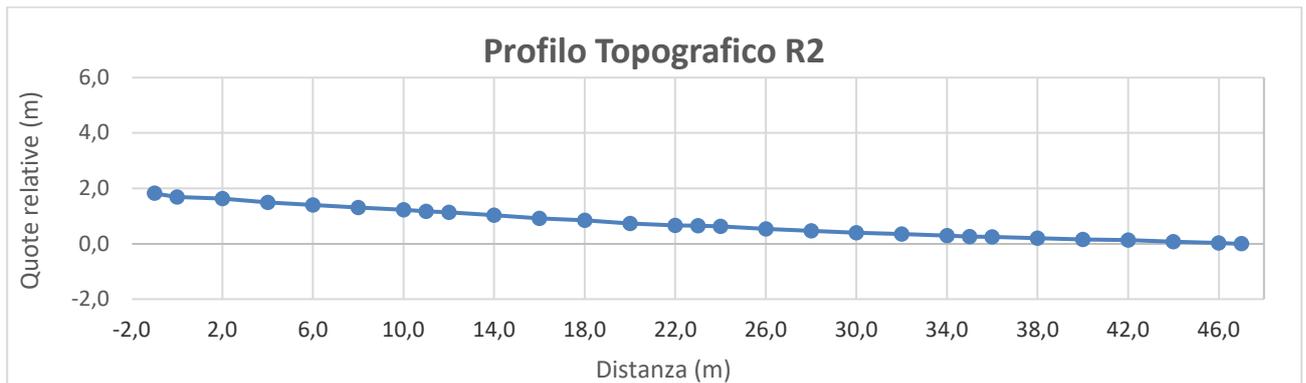
**STENDIMENTO R1**

Nome punto	Progressive (m)	Est (Longitudine)	Nord (Latitudine)	QA: Quota Assoluta (m.s.l.m)	QR: Quota Relativa (m.p.c)
S1	-1,00			406,01	0,11
G1	0,00	1509508,67	4533966,82	406,02	0,12
G2	2,00			406,01	0,10
G3	4,00			406,00	0,09
G4	6,00			405,98	0,08
G5	8,00			405,97	0,07
G6	10,00			405,96	0,06
S2	11,00			405,96	0,06
G7	12,00			405,95	0,05
G8	14,00			405,94	0,04
G9	16,00			405,93	0,03
G10	18,00			405,92	0,02
G11	20,00			405,91	0,01
G12	22,00	1509487,53	4533972,84	405,90	0,00
S3	23,00			405,91	0,01
G13	24,00			405,93	0,03
G14	26,00			405,96	0,06
G15	28,00			405,98	0,08
G16	30,00			406,01	0,11
G17	32,00			406,04	0,14
G18	34,00			406,07	0,17
S4	35,00			406,08	0,18
G19	36,00			406,09	0,19
G20	38,00			406,12	0,22
G21	40,00			406,15	0,25
G22	42,00			406,18	0,28
G23	44,00			406,21	0,30
G24	46,00	1509464,60	4533979,66	406,23	0,33
S5	47,00			406,25	0,35



**STENDIMENTO R2**

Nome punto	Progressive (m)	Est (Longitudine)	Nord (Latitudine)	Quota Assoluta (m.s.l.m)	Quota Relativa (m.p.c)
S1	-1,00	1515199,50	4537634,90	418,63	1,82
G1	0,00	1515198,25	4537634,42	418,50	1,69
G2	2,00	1515196,24	4537634,17	418,44	1,63
G3	4,00	1515194,35	4537633,76	418,30	1,49
G4	6,00	1515192,37	4537633,41	418,21	1,39
G5	8,00	1515190,42	4537633,01	418,12	1,31
G6	10,00	1515188,43	4537632,65	418,03	1,22
S2	11,00	1515187,42	4537632,48	417,98	1,17
G7	12,00	1515186,48	4537632,27	417,94	1,13
G8	14,00	1515184,49	4537631,81	417,84	1,03
G9	16,00	1515182,59	4537631,54	417,73	0,92
G10	18,00	1515180,62	4537631,14	417,66	0,84
G11	20,00	1515178,65	4537630,80	417,54	0,73
G12	22,00	1515176,64	4537630,42	417,48	0,67
S3	23,00	1515175,67	4537630,43	417,46	0,64
G13	24,00	1515174,69	4537630,13	417,44	0,63
G14	26,00	1515172,64	4537629,74	417,34	0,53
G15	28,00	1515170,74	4537629,44	417,28	0,47
G16	30,00	1515168,77	4537629,04	417,21	0,40
G17	32,00	1515166,87	4537628,69	417,16	0,34
G18	34,00	1515164,88	4537628,29	417,11	0,30
S4	35,00	1515163,89	4537628,39	417,07	0,26
G19	36,00	1515162,92	4537627,89	417,06	0,25
G20	38,00	1515160,91	4537627,44	417,01	0,20
G21	40,00	1515158,97	4537627,10	416,96	0,15
G22	42,00	1515157,01	4537626,70	416,94	0,13
G23	44,00	1515155,08	4537626,32	416,89	0,08
G24	46,00	1515153,14	4537625,88	416,84	0,03
S5	47,00	1515152,17	4537625,94	416,81	0,00



**STENDIMENTO M1**

Nome punto	Progressive (m)	Est (Longitudine)	Nord (Latitudine)	Quota Assoluta (m.s.l.m)
G1	0,00	1510765,78	4531740,24	430,10
G24	46,00	1510720,65	4531747,62	433,30

**STENDIMENTO M2**

Nome punto	Progressive (m)	Est (Longitudine)	Nord (Latitudine)	Quota Assoluta (m.s.l.m)
G1	0,00	1514334,54	4534788,45	277,67
G24	46,00	1514296,71	4534813,94	272,52

**STENDIMENTO M3**

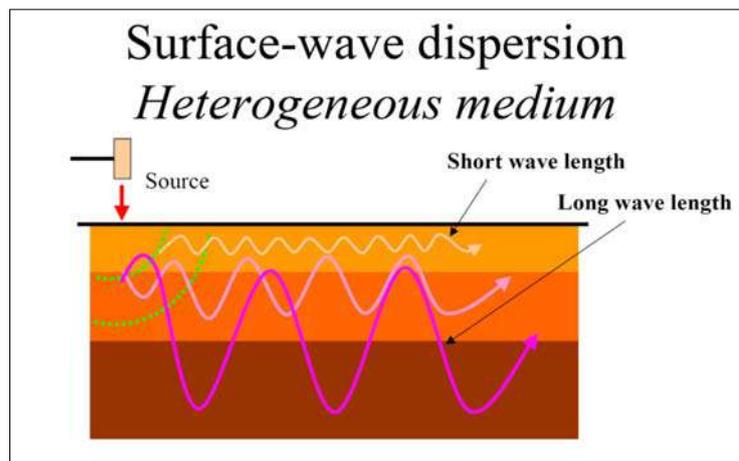
Nome punto	Progressive (m)	Est (Longitudine)	Nord (Latitudine)	Quota Assoluta (m.s.l.m)
G1	0,00	1514248,77	4534097,85	364,12
G24	46,00	1514204,42	4534109,23	364,04

## 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=46,0 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.

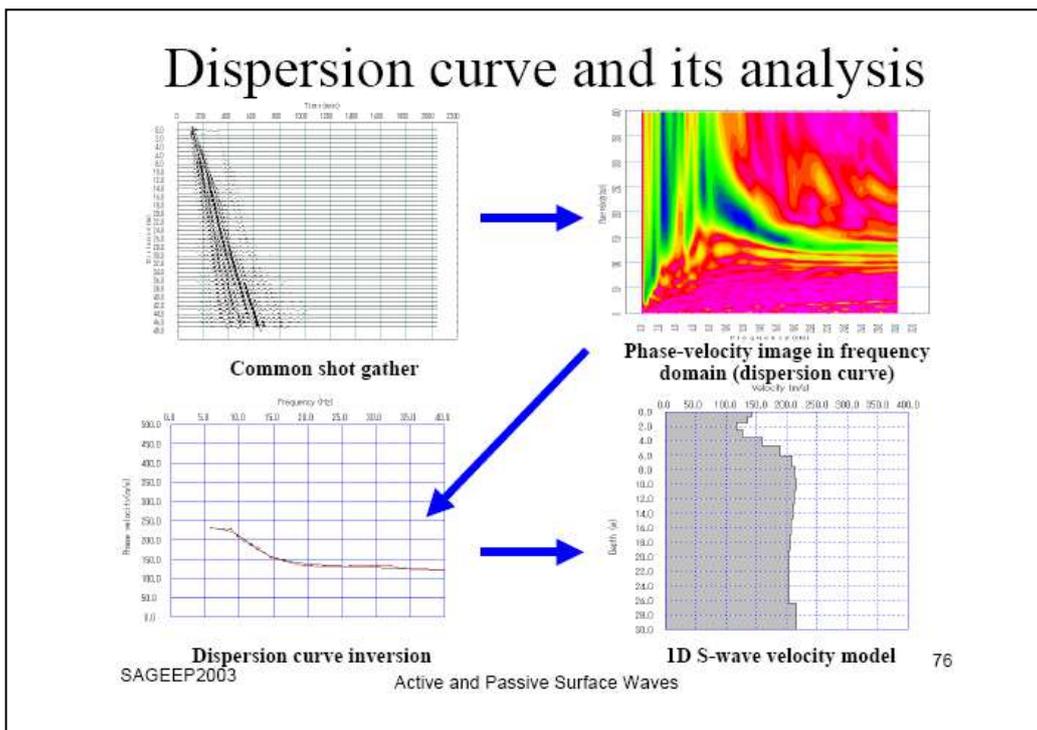
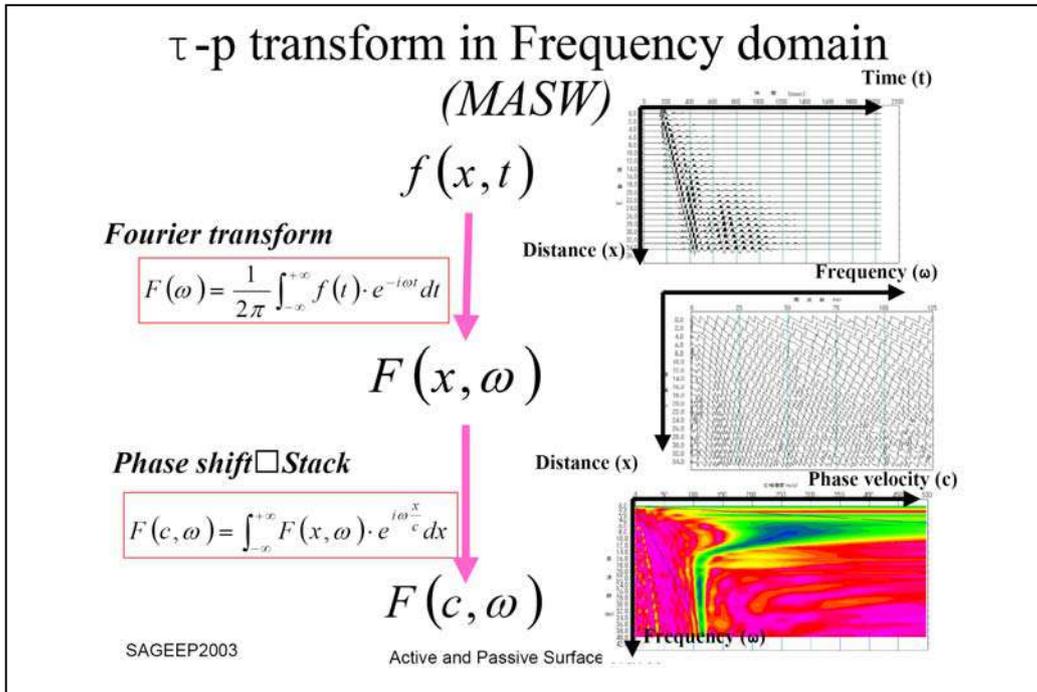
#### 4.3 Elaborazione dei dati

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;

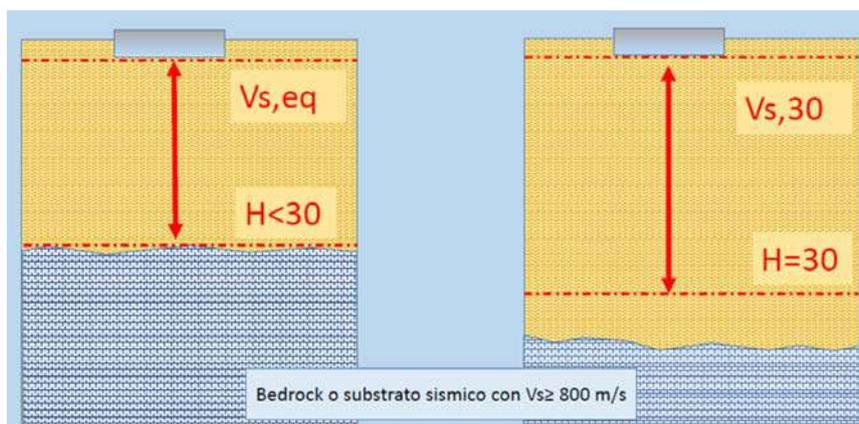
$N$  numero di strati;

$H$  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  $V_{s,30}$**

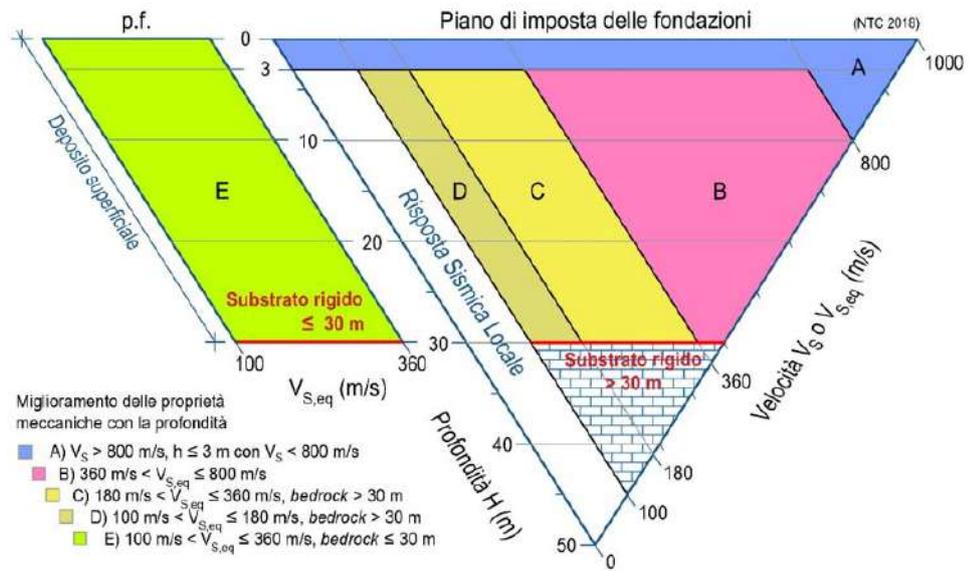


Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II. Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle NTC 2018. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie 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)

<b>Categoria</b>	<b>Descrizione</b>
<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>Depositi 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>Depositi 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.

### Schema categorie di sottosuolo ai sensi delle NTC 2018



#### 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
Calcare	2000 - 7000	1000 - 3300
Calcare 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
<b>ROCCE METAMORFICHE</b>		
Anfibolite	1500-7100	500-3500
Argilloscisto	1400-5400	500-3000
Gneiss	1500-7000	500-3500
Marmo	1500-6900	400-2500
Quarzite	400-6000	1800-4000
Scisto	1500-5700	500-3500
Serpentinite	2000-6500	800-3000

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 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  $E_d$  si può applicare la nota relazione proposta da Rzhevsky e Novik (1971) valida per i moduli misurati in MPa o Kg/cm<sup>2</sup>:

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

Per gli ammassi rocciosi la bibliografia specialistica suggerisce di applicare un coefficiente pari a 0,15-1,0 per la roccia integra e un coefficiente via via più basso per quelle fratturate in relazione al grado di fratturazione.

$$E_{\text{stat}} = E_{\text{din}} \times (0.15/1.0)$$

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 $N_{\text{spt}}$ e parametri geotecnici

Nella letteratura specializzata sono ormai reperibili moltissime correlazioni tra il numero di colpi ( $N_{\text{spt}}$ ) 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  $\alpha$  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.

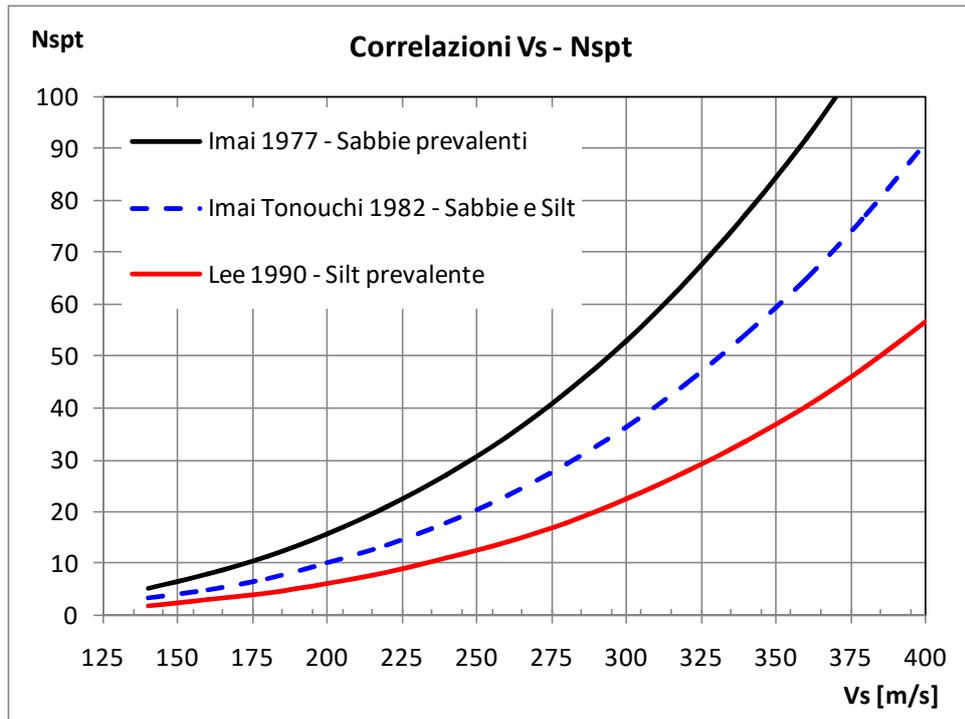
A tale scopo si illustrano le correlazioni proposte da Imai 1977, Imai e Tonuchi (1982) e Lee (1990) valide per tre differenti tipologie di terreni che caratterizzano in genere tutti i terreni:

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

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

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

Dove:  $N_{\text{spt}}$  = 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></p> <p><u>Terreni: sabbie fini o limose</u>  <math>\phi = \sqrt{15Nspt} + 15</math></p>
Modulo di deformazione <b>E</b> (o di Young)	<p><b>Schmertmann</b> (valido per sabbie e terreni prevalentemente sabbiosi)  <math>E(Kg/cm^2) = 2B Nspt</math> dove  <math>B=4</math> (sabbia fine), <math>B=6</math> (sabbia media), <math>B=10</math> (sabbia grossolana)</p> <p><b>D'Appolonia et Alii.</b> (valido per sabbia+ghiaia e sabbie sovraconsolidate)  <math>E (Kg/cm2) = 7,71 Nspt + 191</math> (ghiaia + sabbia)</p> <p><b>Tornaghi</b> (valido per sabbia + ghiaia)  <math>E (MPa) = B \sqrt{Nspt}</math> (<math>B=7</math> 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.

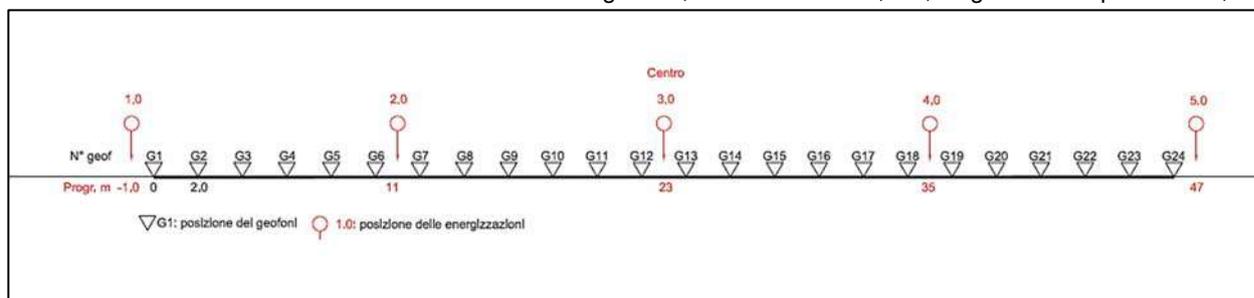
Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà fisico - meccaniche dei terreni e il grado di addensamento e/o la compattezza dei materiali da queste attraversati.

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 5 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 2**

Stendimento di sismica a rifrazione in onde P con 24 geofoni, interdistanza di 2,0 m, lunghezza complessiva 46,0 m



### 5.1 Strumentazione utilizzata

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

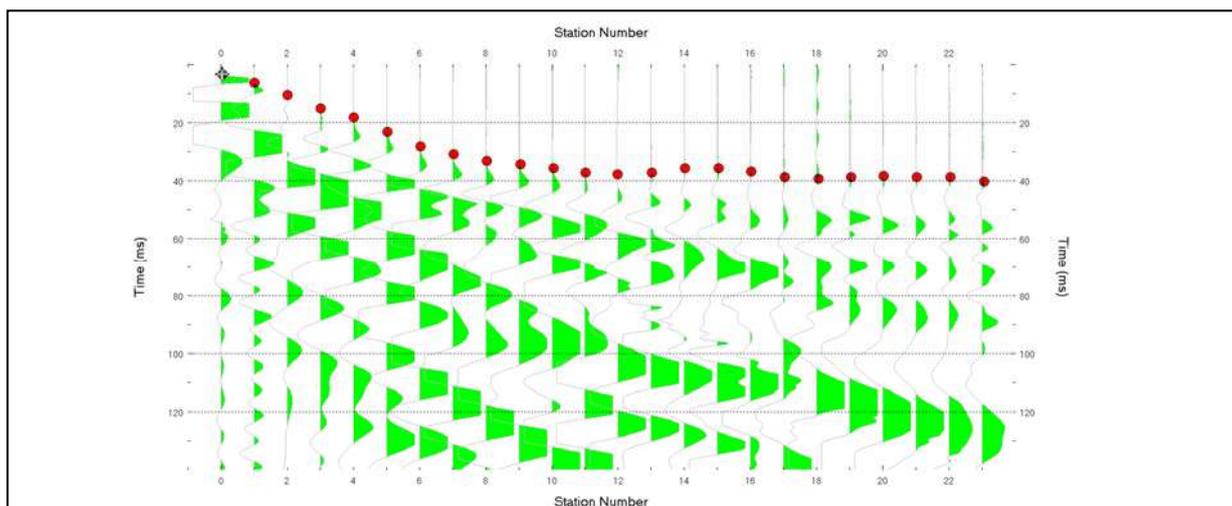
La qualità dei dati è risultata nel complesso buona e il picking è stato realizzato facilmente per tutte le basi sismiche. Nelle figure che seguono si riportano alcune schermate delle operazioni eseguite.

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%.

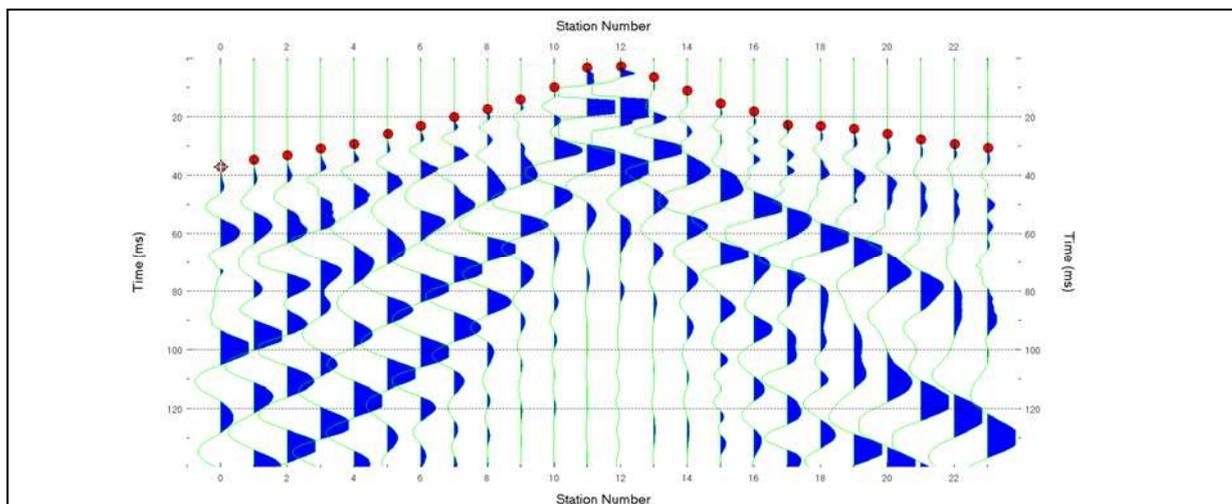
In particolare, l'elaborazione dei dati di sismica a rifrazione è stata eseguita secondo il metodo tomografico impiegando il software Rayfract 4.01, che parte da un modello iniziale generato con la tecnica Deltat-V. Successivamente viene effettuata l'inversione iterativa del modello con la tecnica WET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

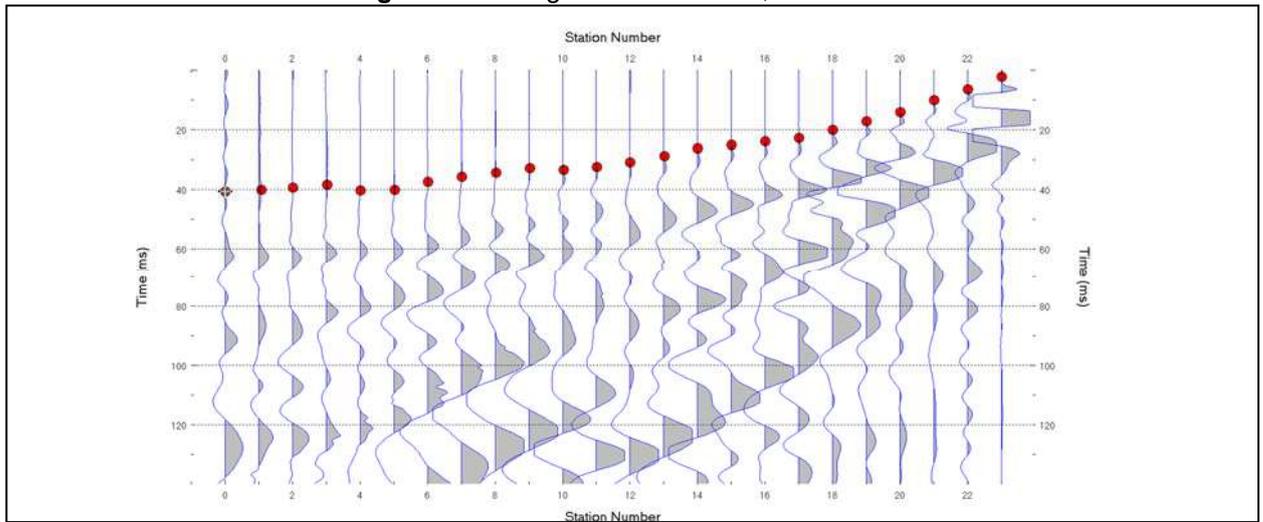
**Figura 1:** Sismogramma shot a -1,0 m di R1



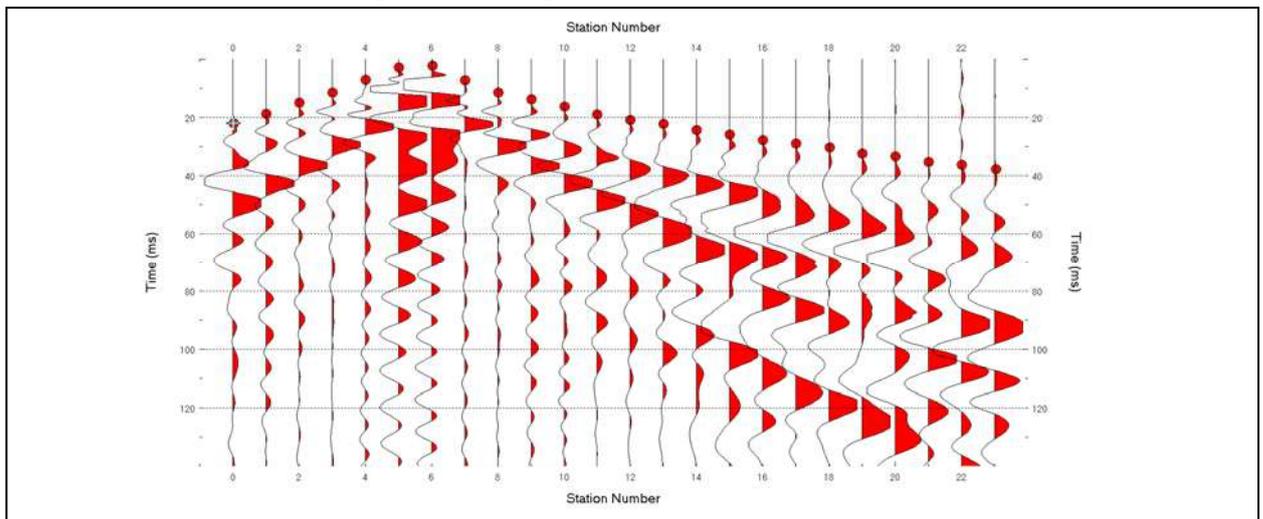
**Figura 2:** Sismogramma shot a 23,0 m di R1



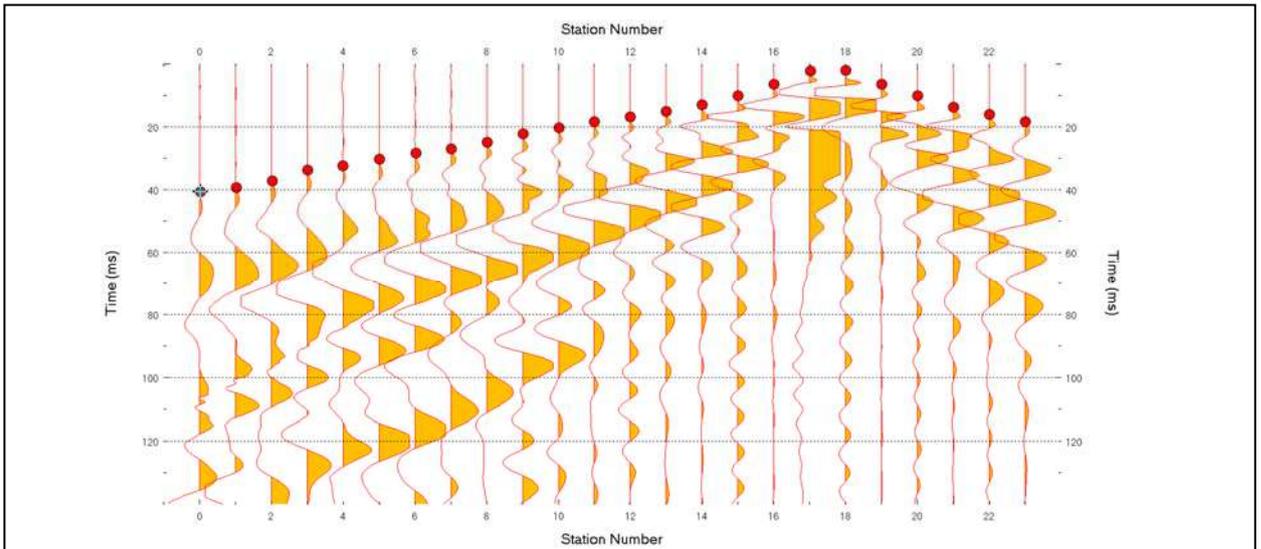
**Figura 3:** Sismogramma shot a 47,0 m di R1



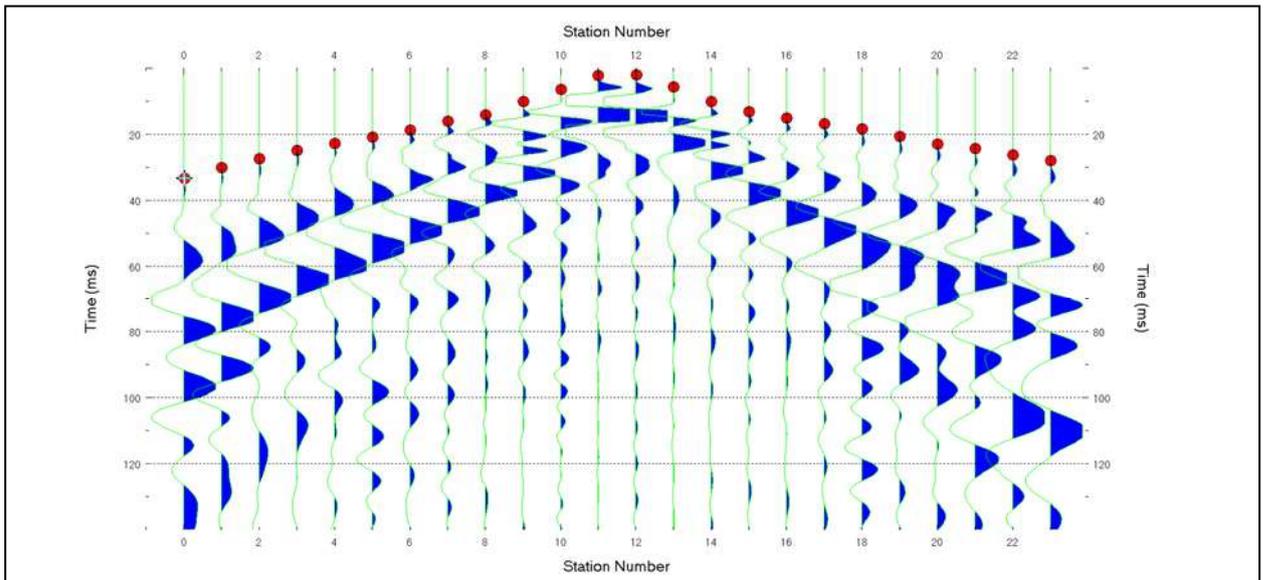
**Figura 4:** Sismogramma shot a 11,0 m di R2



**Figura 5:** Sismogramma shot a 35,0 m di R2



**Figura 6:** Sismogramma shot a 23,0 m di R2



### 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 di 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 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

<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.

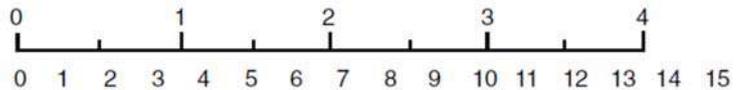
Sulla base dei dati bibliografici, da cui emerge che le varie aree sono caratterizzate dalla presenza di rocce di origine granitica sottostanti dei modesti spessori di coltri eluvio-colluviali, dall'esame della tabella sotto riportata per velocità di **1700 m/s** corrispondono materiali già difficilmente rippabili, mentre per velocità oltre **2000 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

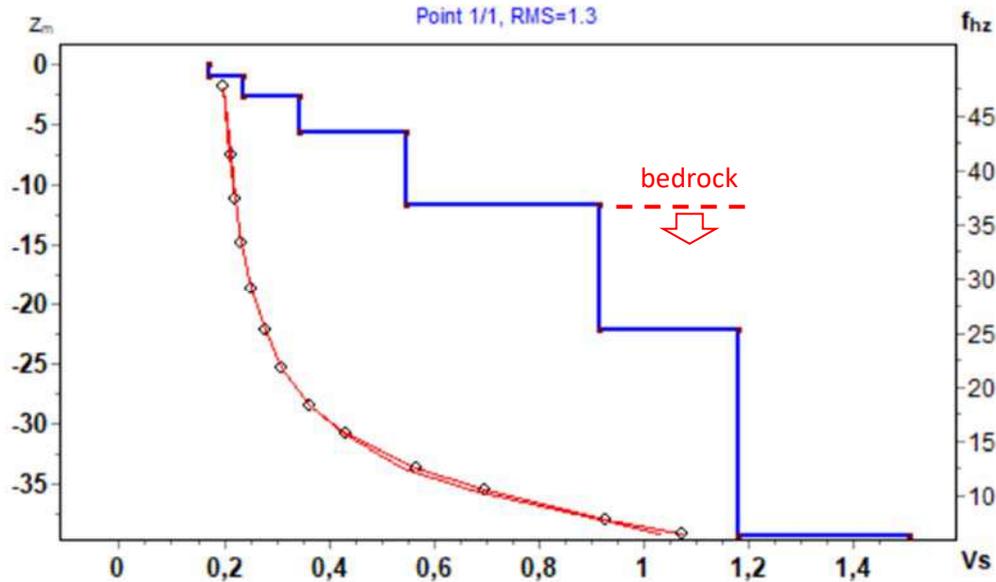


## 6 RISULTATI DELLE INDAGINI M1

### 6.1 MASW M1

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$  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  $V_s$ .

Profilo  $V_s$



Sismostratigrafia e calcolo  $V_{s,eq}$

Strato [N.]	z [m]	hi [m]	$V_s$ [m/s]	$Z_{(cal)}$ [m]	$h_{i(cal)}$ [m]	$h_{i(cal)}/V_s$ [sec]
1	1,00	1,00	170,00	1,00	1,00	0,00588
2	2,60	1,60	240,00	2,60	1,60	0,00667
3	5,70	3,10	340,00	5,70	3,10	0,00912
4	11,70	6,00	550,00	11,70	6,00	0,01091
5	22,30	10,60	910,00	22,30	0,00	0,00000
6	39,40	17,10	1180,00	30,00	0,00	0,00000
7	40,00	0,60	1510,00	30,00	0,00	0,00000

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.

Dall'esame del profilo delle  $V_s$  si evince una profondità del substrato (bedrock) pari a **11,70 m** ( $V_s > 800$  m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **11,70 m** di profondità dal p.c. e piano di posa delle fondazioni è pari a:

Piano di posa [m da p.c.]	Vs eq [m/s]	Categoria sottosuolo NTC'18
a 0,0	359,16	E
≥ 0,0 a 4,34	493,66	B
> 4,34	> 800	A

Ciò consente di classificare il terreno per fondazioni poste tra p.c. e 4,34 m di profondità 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 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]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0-1,0	terre	2 000	340	170	0,33	157	19	59	157
2	1,0-2,6	terre	2 100	480	240	0,33	324	39	118	324
3	2,6-5,7	terre	2 300	680	340	0,33	706	85	265	706
4	5,7-11,7	12%	2 400	1 100	550	0,33	1 932	232	726	1 932
5	11,7-22,3	25%	2 400	1 820	910	0,33	5 296	1.324	1 991	5 296

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

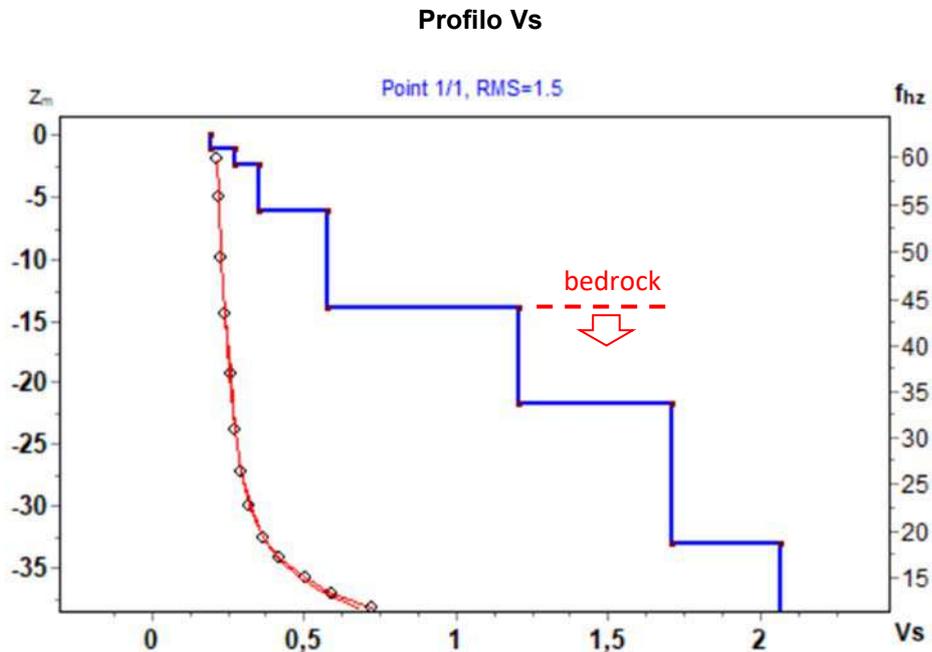
Sulla base delle correlazioni fornite nei precedenti paragrafi è possibile stimare una correlazione tra Vs e N<sub>spt</sub>, i parametri di resistenza al taglio e di deformazione. Nel caso in esame trattandosi di materiali a granulometria grossolana si consiglia di impiegare la correlazione di Imai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

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

## 7 RISULTATI DELLE INDAGINI M2

### 7.1 MASW M2

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.



Sismostratigrafia e calcolo Vs eq

Strato [N.]	z [m]	hi [m]	Vs [m/s]	Z(cal) [m]	hi(cal) [m]	hi(cal)/Vs [sec]
1	1,10	1,10	190,00	1,10	1,10	0,00579
2	2,50	1,40	270,00	2,50	1,40	0,00519
3	6,10	3,60	350,00	6,10	3,60	0,01029
4	13,90	7,80	580,00	13,90	7,80	0,01345
5	21,80	7,90	1210,00	21,80	0,00	0,00000
6	33,10	11,30	1710,00	30,00	0,00	0,00000
7	40,00	6,90	2070,00	30,00	0,00	0,00000

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, Vs<sub>eq</sub> (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.

Dall'esame del profilo delle Vs si evince una profondità del substrato (bedrock) pari a **13,90 m** (Vs>800 m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **13,90 m** di profondità dal p.c. e piano di posa delle fondazioni è pari a:

Piano di posa [m da p.c.]	Vs eq [m/s]	Categoria sottosuolo NTC'18
da 0,0 a 5,44	da 355 a 360	B
> 5,44	> 800	A

Ciò consente di classificare il terreno per fondazioni poste tra 0,00 e 5,44 m di profondità 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 <sub>0</sub>	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,00-1,10	terre	2 000	380	190,0	0,33	196	24	69	196
2	1,10-2,50	terre	2 100	540	270,0	0,33	412	50	157	412
3	2,50-6,10	terre	2 300	700	350,0	0,33	755	91	284	755
4	6,10-13,90	15%	2 400	1 160	580,0	0,33	2 157	324	804	2 157
5	13,9-21,80	25%	2 400	2 420	1210,0	0,33	9 375	2 344	3 511	9 375

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

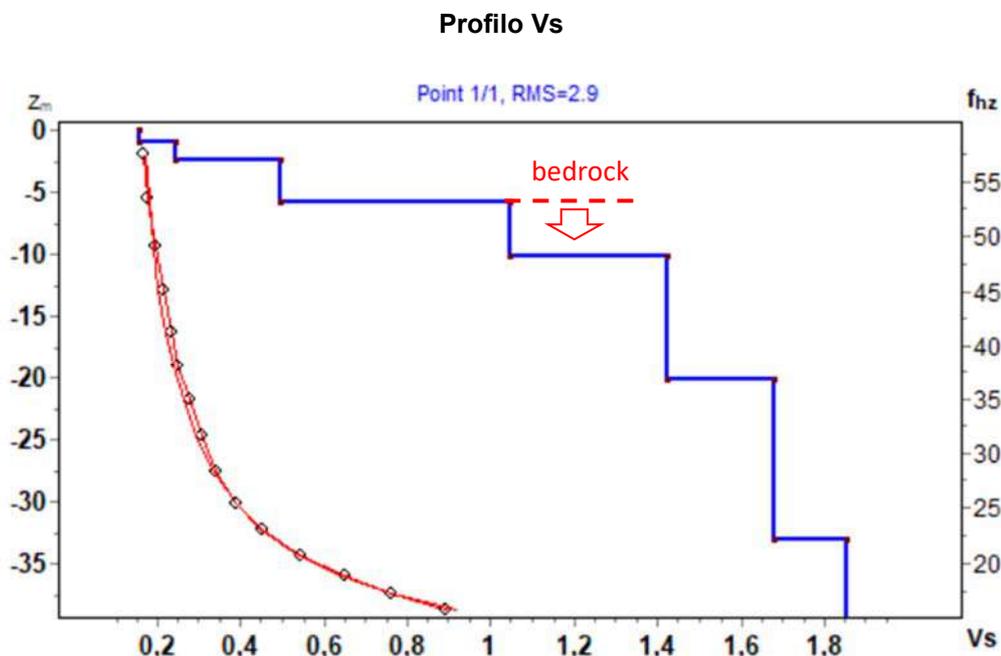
Sulla base delle correlazioni fornite nei precedenti paragrafi è possibile stimare una correlazione tra Vs e N<sub>spt</sub>, i parametri di resistenza al taglio e di deformazione. Nel caso in esame trattandosi di materiali a granulometria grossolana si consiglia di impiegare la correlazione di Imai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

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

## 8 RISULTATI DELLE INDAGINI M3

### 8.1 MASW M3

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.



Sismostratigrafia e calcolo Vs eq

Strato [N.]	z [m]	hi [m]	Vs [m/s]	Z <sub>(cal)</sub> [m]	hi <sub>(cal)</sub> [m]	hi <sub>(cal)</sub> /Vs [sec]
1	1,00	1,00	160,00	1,00	1,00	0,00625
2	2,50	1,50	240,00	2,50	1,50	0,00625
3	5,90	3,40	490,00	5,90	3,40	0,00694
4	10,20	4,30	1040,00	10,20	0,00	0,00000
5	20,20	10,00	1420,00	20,20	0,00	0,00000
6	33,10	12,90	1680,00	30,00	0,00	0,00000
7	40,00	6,90	1850,00	30,00	0,00	0,00000

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, Vs<sub>eq</sub> (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.

Dall'esame del profilo delle Vs si evince una profondità del substrato (bedrock) pari a **5,90 m** (Vs>800 m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **5,90 m** di profondità dal p.c. e piano di posa delle fondazioni è pari a:

Piano di posa [m da p.c.]	Vs eq [m/s]	Categoria sottosuolo NTC'18
da 0,0 a 0,87	da 160 a 360,15	E
da 0,88 a 1,44	da 360,15 a 392,76	B
> 1,44	> 800	A

Ciò consente di classificare il terreno per fondazioni poste tra 0,88 e 1,44 m di profondità 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]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,00-1,00	terre	2.000	320	160,0	0,33	137	17	49	137
2	1,00-2,50	terre	2.100	480	240,0	0,33	324	39	118	324
3	2,50-5,90	terre	2.300	980	490,0	0,33	1 471	178	549	1 471
4	5,90-10,20	12%	2.400	2.080	1040,0	0,33	6 924	831	2 599	6 924
5	10,20-20,20	20%	2.400	2.840	1420,0	0,33	12 906	2 581	4 835	12 906

#### 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.

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

## 9 RISULTATI DELLE INDAGINI R1

### 9.1 Sismica a rifrazione R1

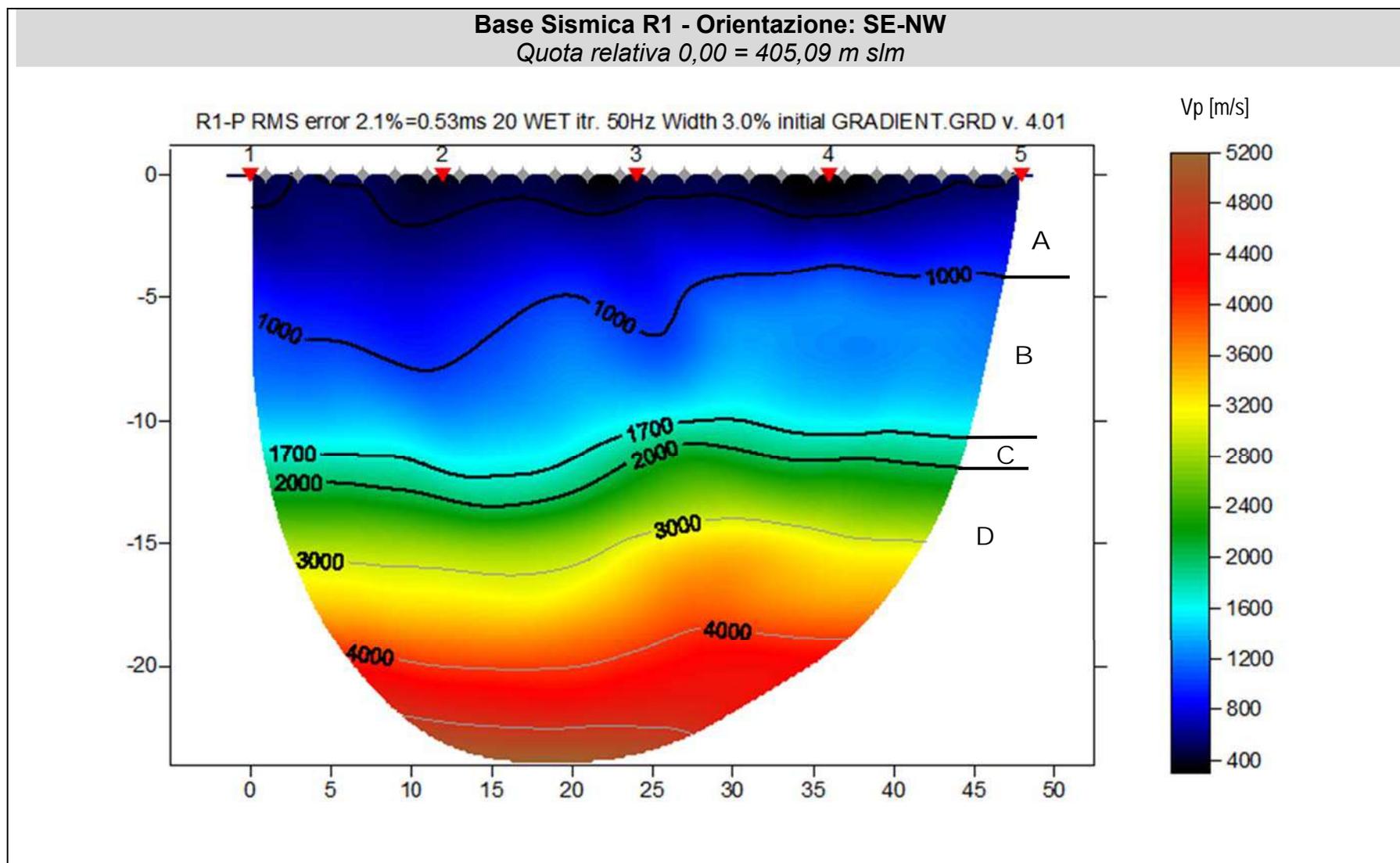
Nella sezione di sismica a rifrazione R1 è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento R1	ONDE P	
	Sismostrati	Profondità da pc (m)*
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 3,5/8,0	400-1000
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 3,5/8,0 a 10,0/12,4	1000-1700
C: Unità delle rocce debolmente fratturate (rippabili con difficoltà)	Da 10,0/12,4 a 11,0/13,5	1700-2000
D: Unità delle rocce da debolmente fratturate a sane (non rippabili)	Da 11,0/13,5 a 25,0	2000-4500

*\*calcolata dalla zona mediana della sezione*

Dall'esame della sezione sismica è possibile distinguere 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 rippabili), presenta spessori compresi tra 3,5 e 8,0 metri da p.c e un andamento irregolare rispetto al piano campagna. Il sismostrato B caratterizzato da rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta anch'esso un andamento irregolare rispetto al piano campagna con alcune variazioni di spessore; si rileva fino a profondità comprese tra 10,0 e 12,4 m dal p.c. Il sismostrato C, caratterizzato da rocce debolmente fratturate (rippabili con difficoltà) presenta uno spessore minore rispetto ai precedenti; questo sismostrato si osserva fino a profondità comprese tra 11,0 e 13,5 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 25,0 m e rappresenta un substrato lapideo non rippabile. Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento abbastanza graduale delle Vp con alcune variazioni del gradiente generate dalla maggiore o minore densità del materiale roccioso.

In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 10,0 e 12,4 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a profondità tra 11,0 e 13,5 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.



## 10 RISULTATI DELLE INDAGINI R2

### 10.1 Sismica a rifrazione R2

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
Sismostrati		
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 2,4/5,2	400-1000
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 2,4/5,2 a 9,4/12,2	1000-1700
C: Unità delle rocce debolmente fratturate (rippabili con difficoltà)	Da 9,4/12,2 a 13,0	1700-2000

*\*calcolata dalla zona mediana della sezione*

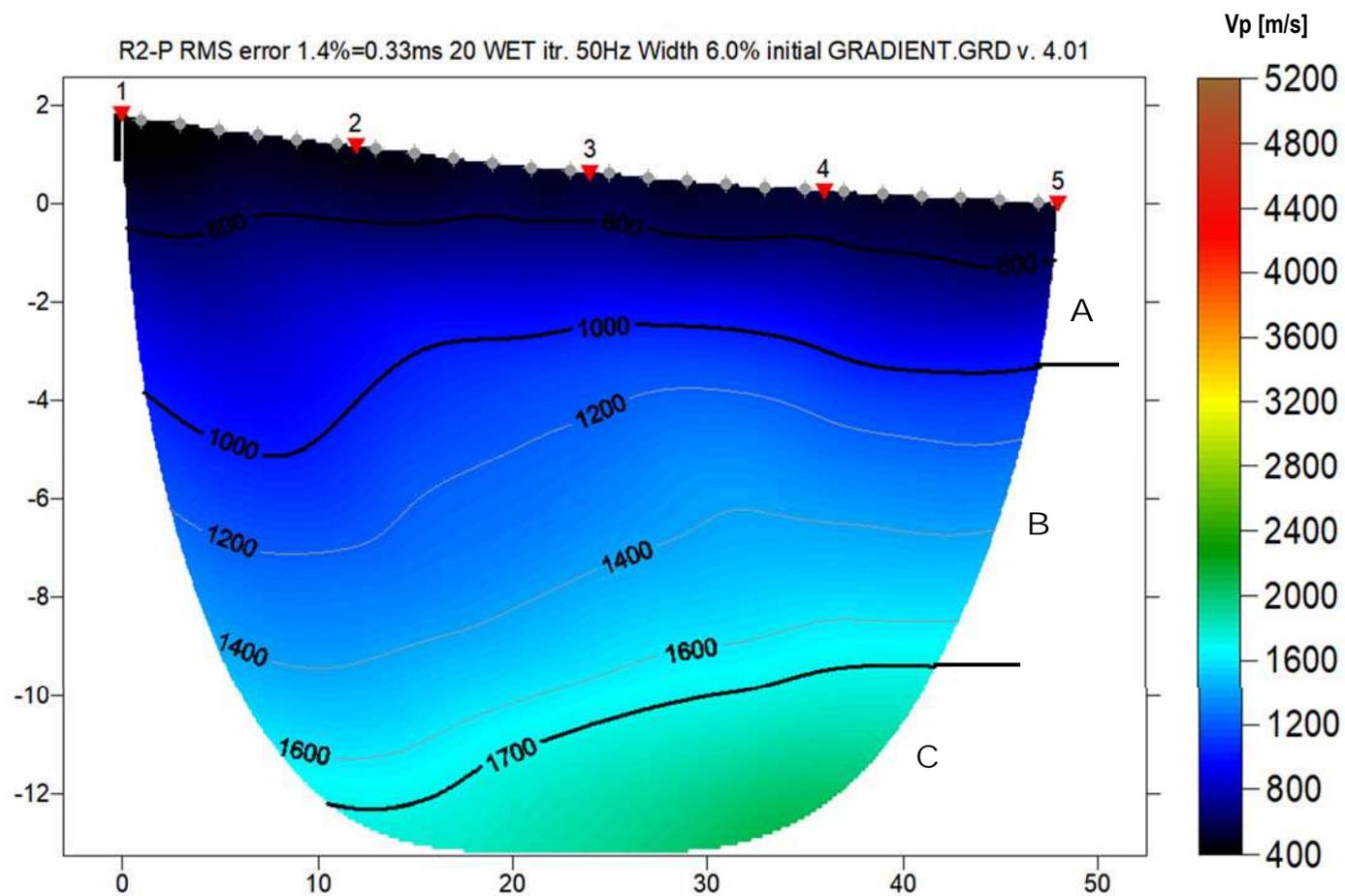
Dall'esame della sezione sismica è possibile distinguere 3 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s ai 2000 m/s.

Il sismostrato A, caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabili), presenta spessori compresi tra 2,4 e 5,2 metri da p.c e un andamento leggermente irregolare rispetto al piano campagna e inclinazione verso NE. Il sismostrato B caratterizzato da rocce intensamente fratturate (rippabili) presenta anch'esso un andamento leggermente irregolare rispetto al piano campagna con alcune variazioni di spessore e inclinazione verso NE, rilevabile fino a profondità comprese tra 9,4 e 12,2 m dal p.c. Il sismostrato C, caratterizzato da rocce debolmente fratturate (rippabili con difficoltà) presenta uno spessore limitato a qualche metro lungo tutta la sezione. Questo sismostrato si osserva fino alla massima profondità indagata, ossia circa 13,0 m. Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento abbastanza graduale delle Vp con alcune variazioni del gradiente generate dalla maggiore o minore densità del materiale roccioso.

In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 9,2 e 12,4 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili.

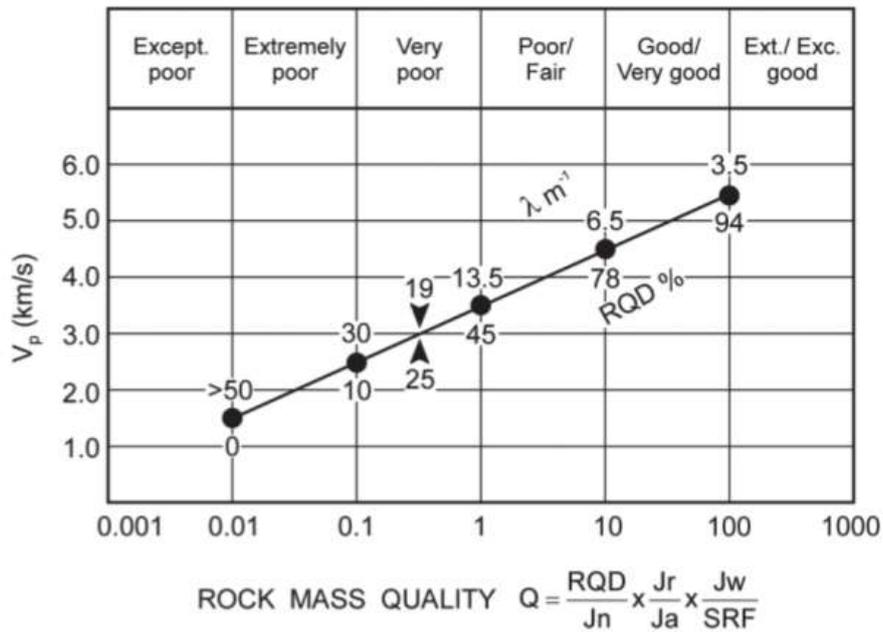
**Base Sismica R2 - Orientazione: NE-SW**

Quota relativa 0,00 = 416,81 m slm



## 11 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.

## 12 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]	$V_{se}^*$ [m/s]	Categoria sottosuolo (NTC2018)
M1	11,7	493,66*	B
M2	13,9	355,00**	B
M3	5,9	360,15***	B

\*con profondità piano di posa da  $\geq 0,0$  a 4,34 m p.c.; \*\* con piano di posa da 0.0 a 5,44 m p.c.; con piano di posa da 0.88 a 5,44 m p.c

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	
Sismostrati	Profondità da pc (m)
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 3,5/8,0
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 3,5/8,0 a 10,0/12,4
C: Unità delle rocce debolmente fratturate (rippabili con difficoltà)	Da 10,0/12,4 a 11,0/13,5
D: Unità delle rocce da debolmente fratturate a sane (non rippabili)	Da 11,0/13,5 a 25,0

Stendimento R2	
Sismostrati	Profondità da pc (m)
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 2,4/5,2
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 2,4/5,2 a 9,4/12,2
C: Unità delle rocce debolmente fratturate (rippabili con difficoltà)	Da 9,4/12,2 a 13,0

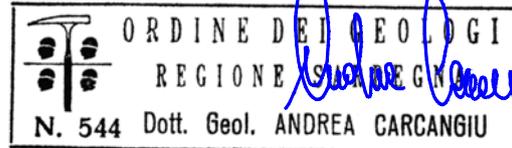
Per quanto sopra considerato il contesto geologico in esame in fase di progettazione definitiva/esecutiva si consiglia di eseguire delle indagini geognostiche e geofisiche di maggiore dettaglio (in es. sondaggi a carotaggio e geofisica eseguita con stendimenti ubicati a raggiera rispetto al centro degli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

*Villa San Pietro, li 06 marzo 2023*

**Collaboratori**

**Dott. Marco Usai**

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



# TAVOLA 1. PLANIMETRIA GENERALE CON INDAGINI GEOFISICHE E GEOGNOSTICHE

Progetto: Realizzazione di un parco eolico

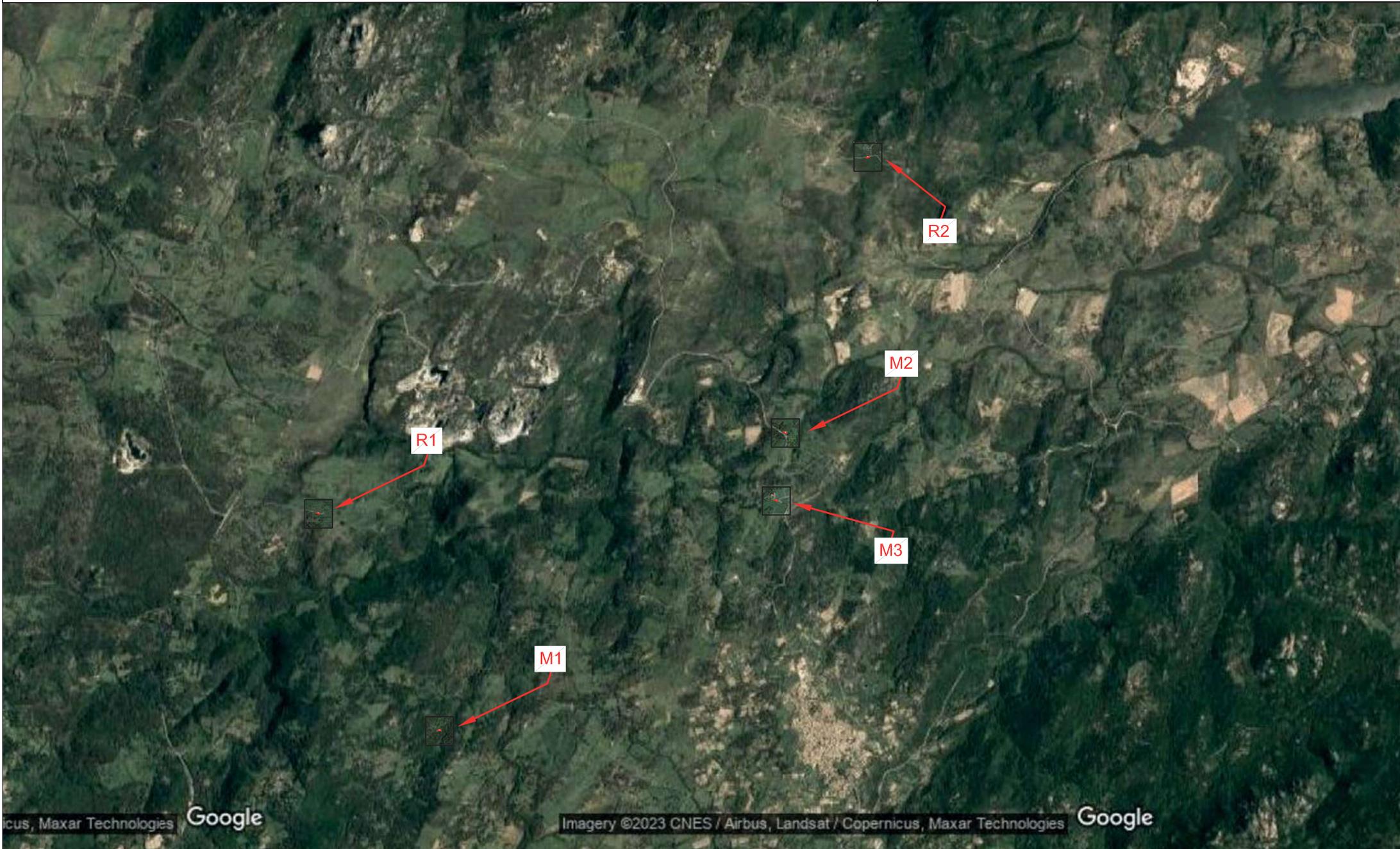
Località: Tempio-Luras (SS)

Scala 1:50.000

## Legenda



Indagini MASW-RIFRAZIONE



## TAVOLA 2. PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE R1

Progetto: Realizzazione di un parco eolico

Località: Tempio-Luras (SS)

Scala 1:1.000

## Legenda

Stendimento RIFRAZIONE **R1** - Lunghezza G1-G24= 46,0 m

➔ Direzione stendimento da G1 a G24



### TAVOLA 3. PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE R2

Progetto: Realizzazione di un parco eolico

Località: Tempio-Luras (SS)

Scala 1:1.000

### Legenda

Stendimento RIFRAZIONE R2 - Lunghezza G1-G24= 46,0 m

→ Direzione stendimento da G1 a G24



## TAVOLA 4. PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE M1

Progetto: Realizzazione di un parco eolico

Località: Tempio-Luras (SS)

Scala 1:1.000

## Legenda

Stendimento MASW **M1** - Lunghezza G1-G24= 46,0 m

→ Direzione stendimento da G1 a G24



## TAVOLA 5. PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE M2

Progetto: Realizzazione di un parco eolico

Località: Tempio-Luras (SS)

Scala 1:1.000

## Legenda

Stendimento MASW **M2** - Lunghezza G1-G24= 46,0 m

→ Direzione stendimento da G1 a G24



## TAVOLA 6. PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE M3

Progetto: Realizzazione di un parco eolico

Località: Tempio-Luras (SS)

Scala 1:1.000

## Legenda

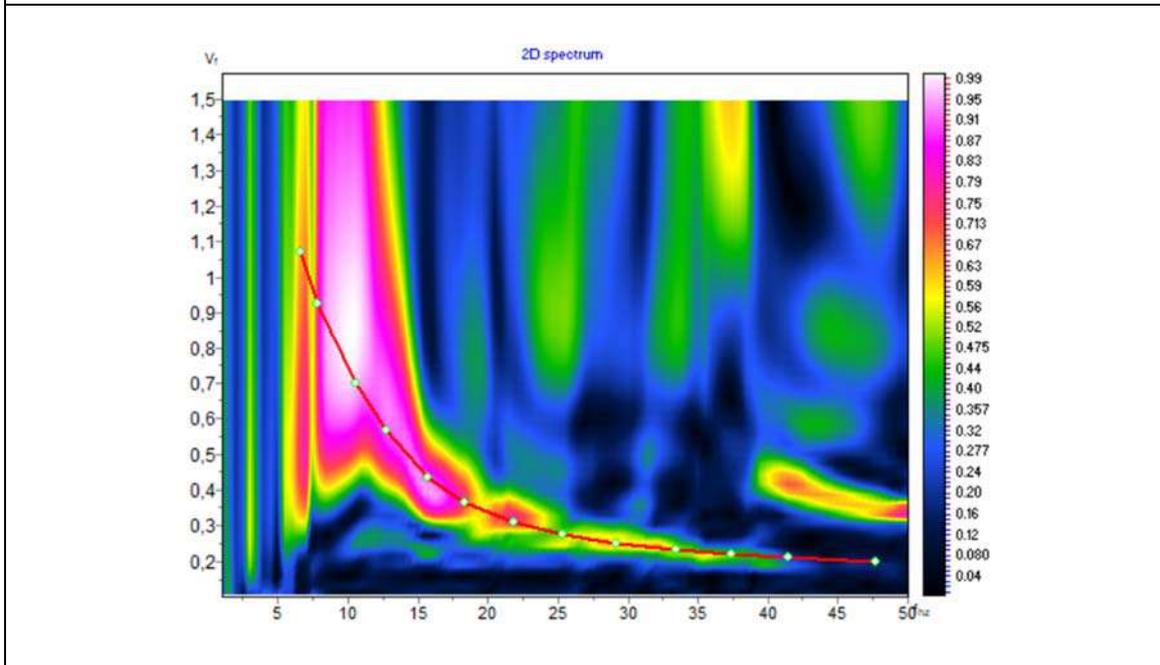
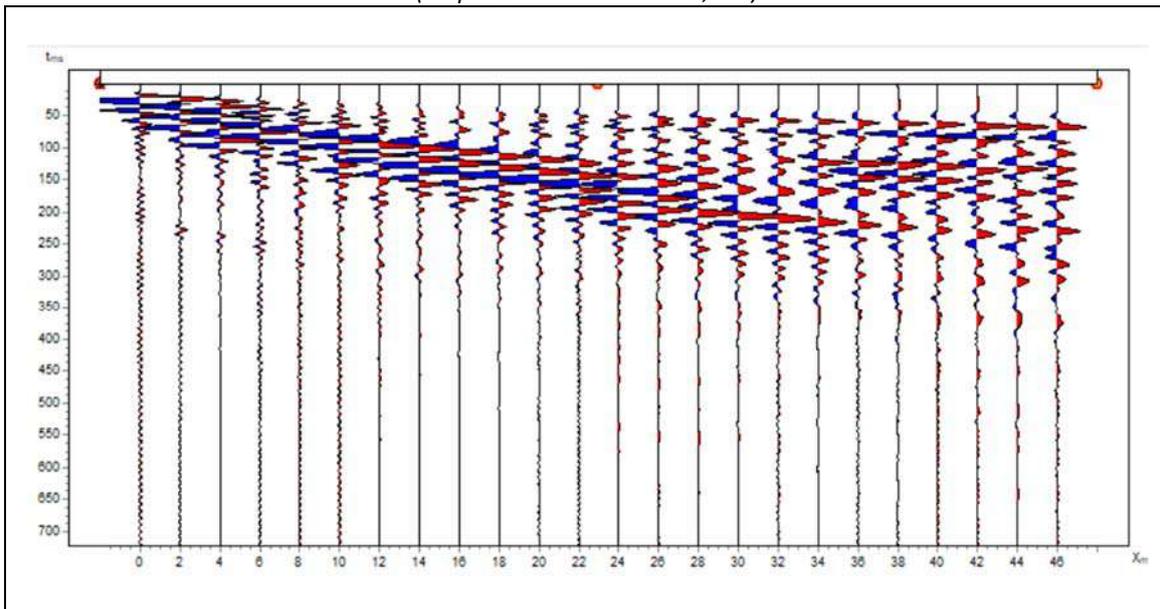
Stendimento MASW **M3** - Lunghezza G1-G24= 46,0 m

→ Direzione stendimento da G1 a G24

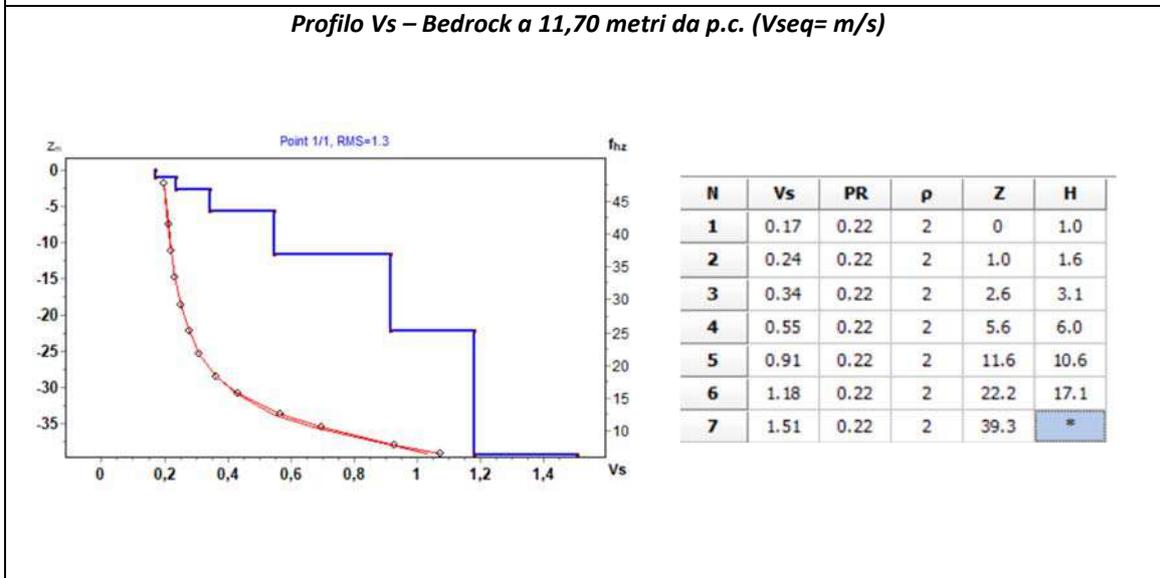


# ALLEGATO 1 MASW M1

Sismogramma acquisito - Spettro velocità di fase/frequenza  
Curva di dispersione sperimentale e calcolata con profilo Vs  
(Acquisizione con shot a -2,0 m)

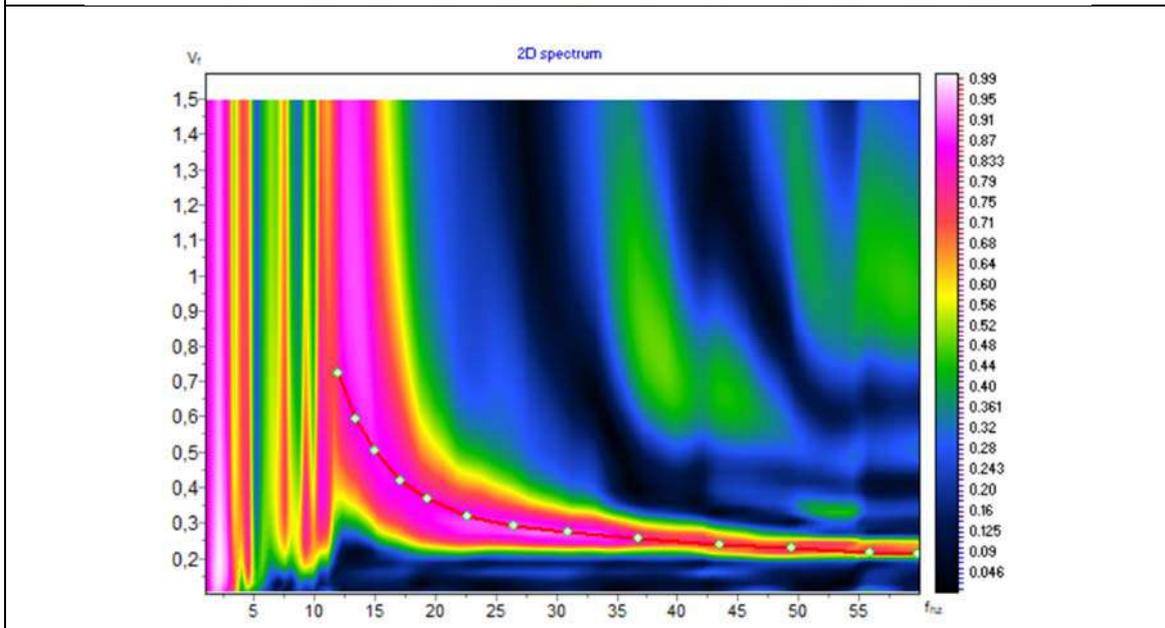
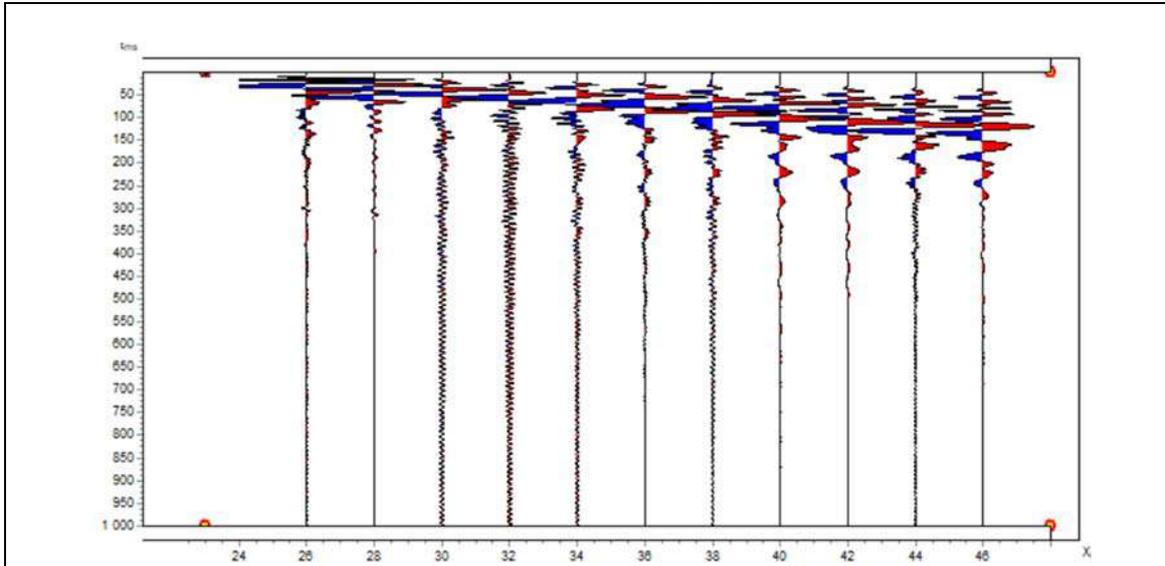


Profilo Vs – Bedrock a 11,70 metri da p.c. (Vseq= m/s)

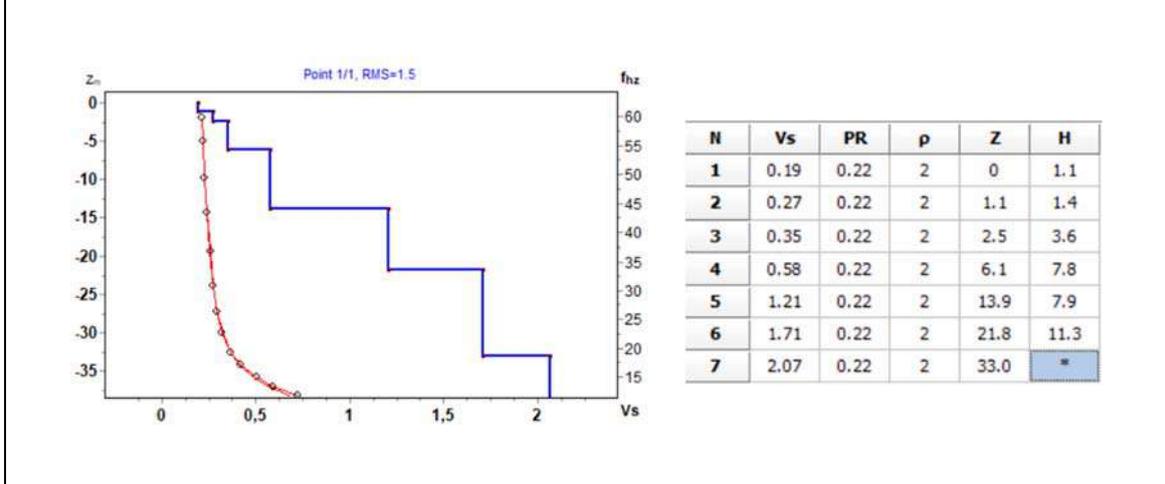


# ALLEGATO 1 MASW M2

Sismogramma acquisito - Spettro velocità di fase/frequenza  
Curva di dispersione sperimentale e calcolata con profilo Vs  
(Acquisizione con shot a 23,0 m)

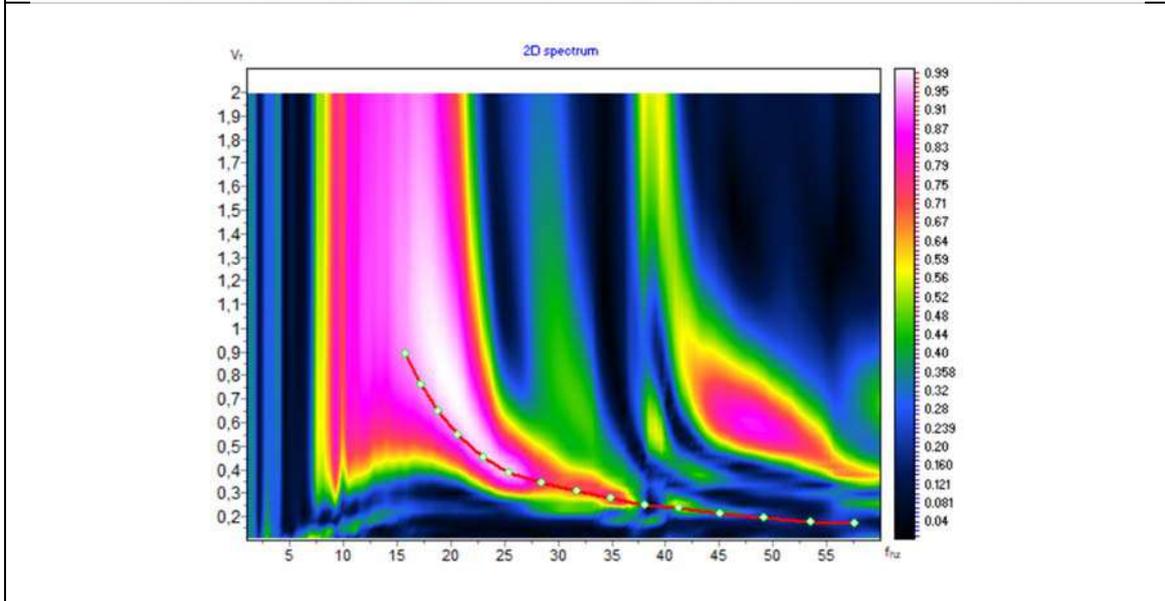
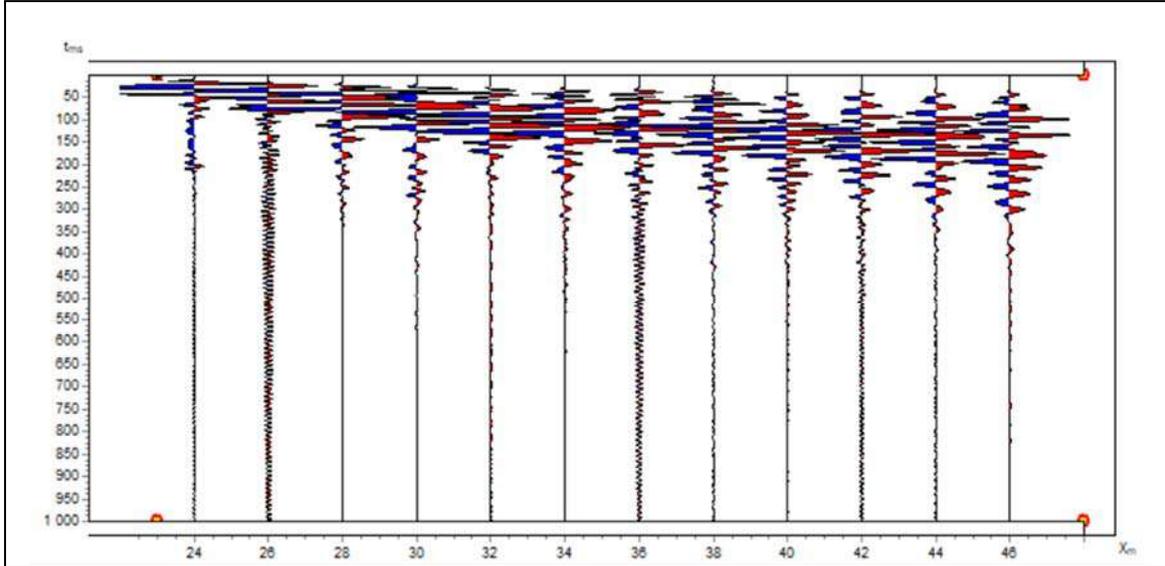


Profilo Vs – Bedrock a 13,90 metri da p.c. (Vseq= m/s)

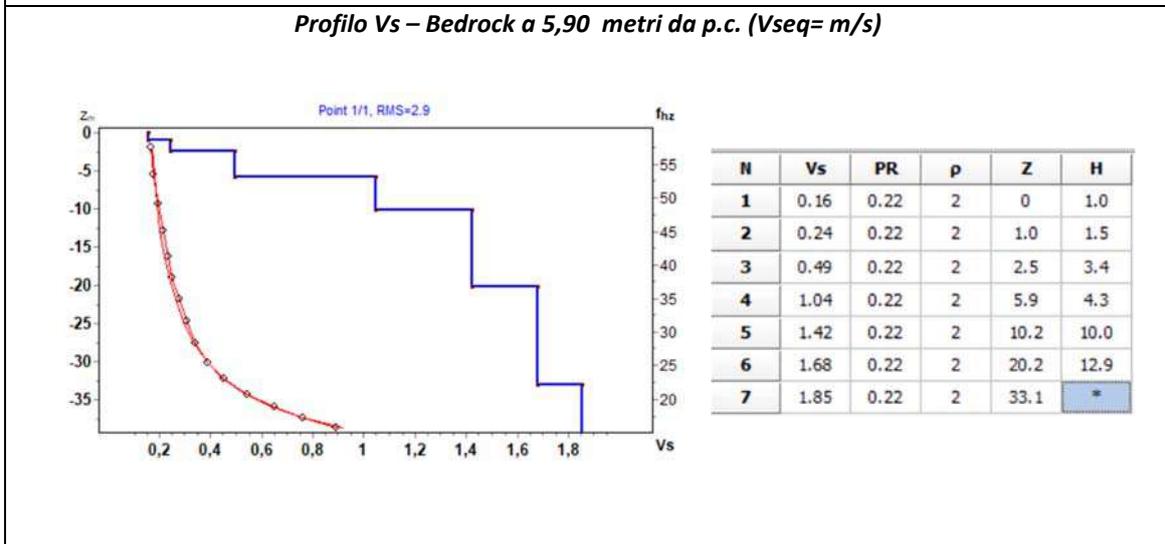


# ALLEGATO 1 MASW M3

Sismogramma acquisito - Spettro velocità di fase/frequenza  
Curva di dispersione sperimentale e calcolata con profilo Vs  
(Acquisizione con shot a 23,0 m)



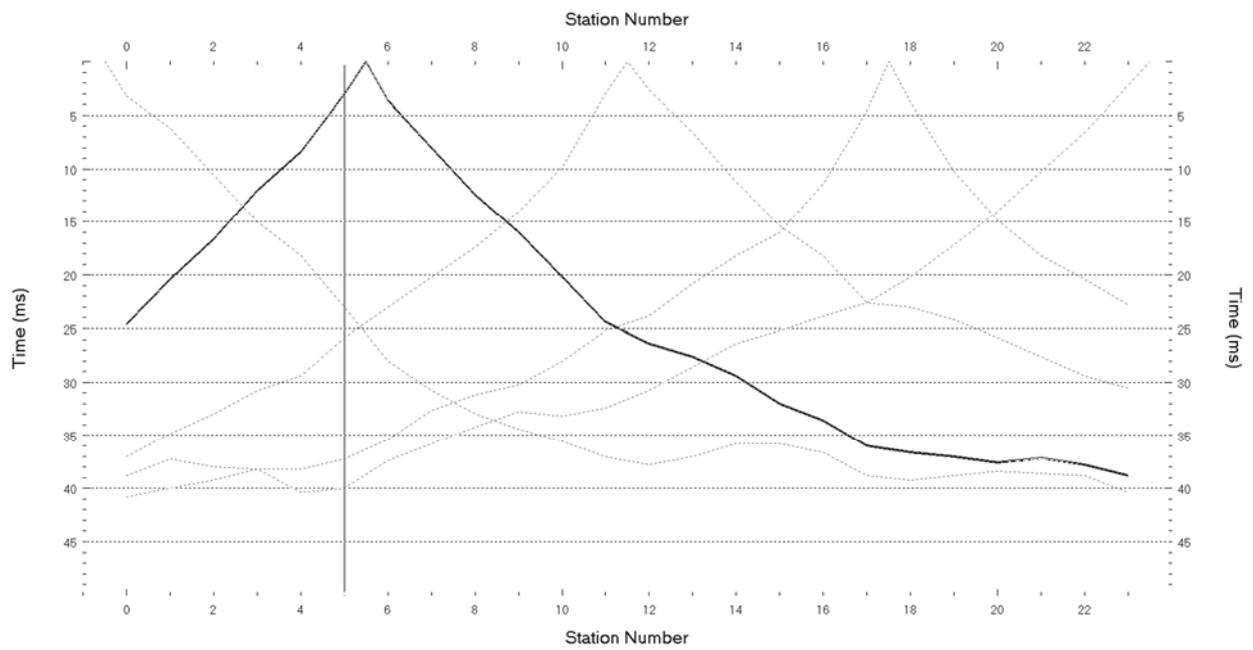
Profilo Vs – Bedrock a 5,90 metri da p.c. ( $V_{seq}$  = m/s)



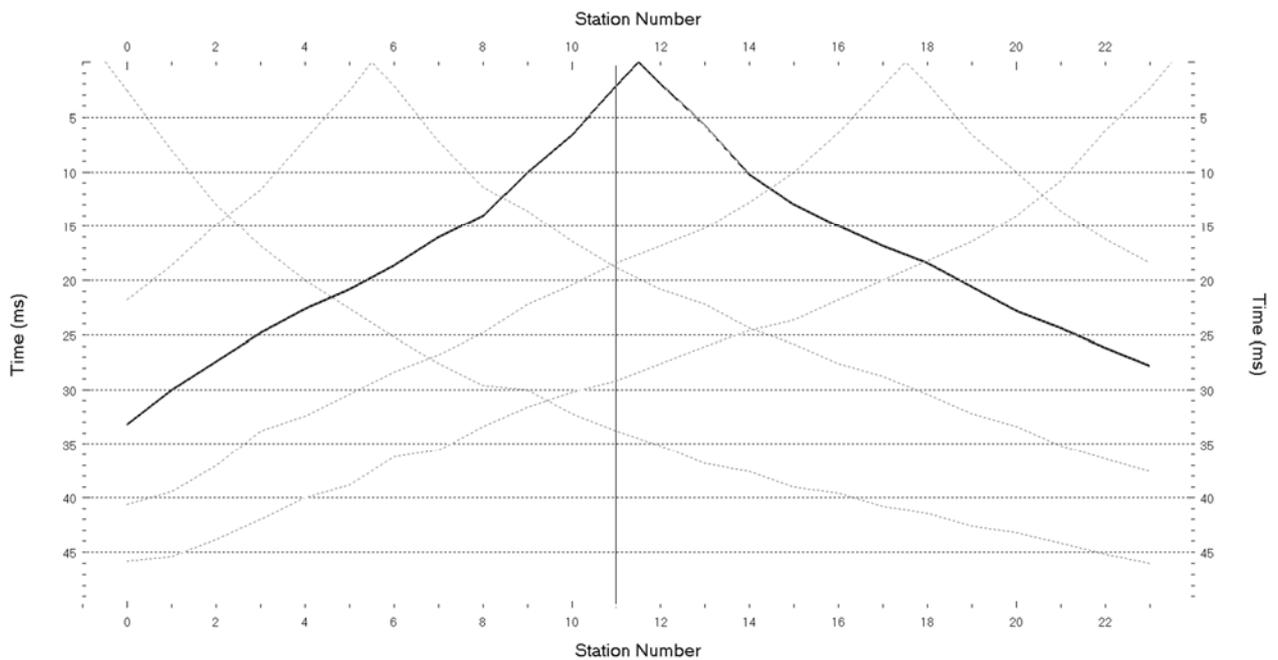
## ALLEGATO 2

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

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



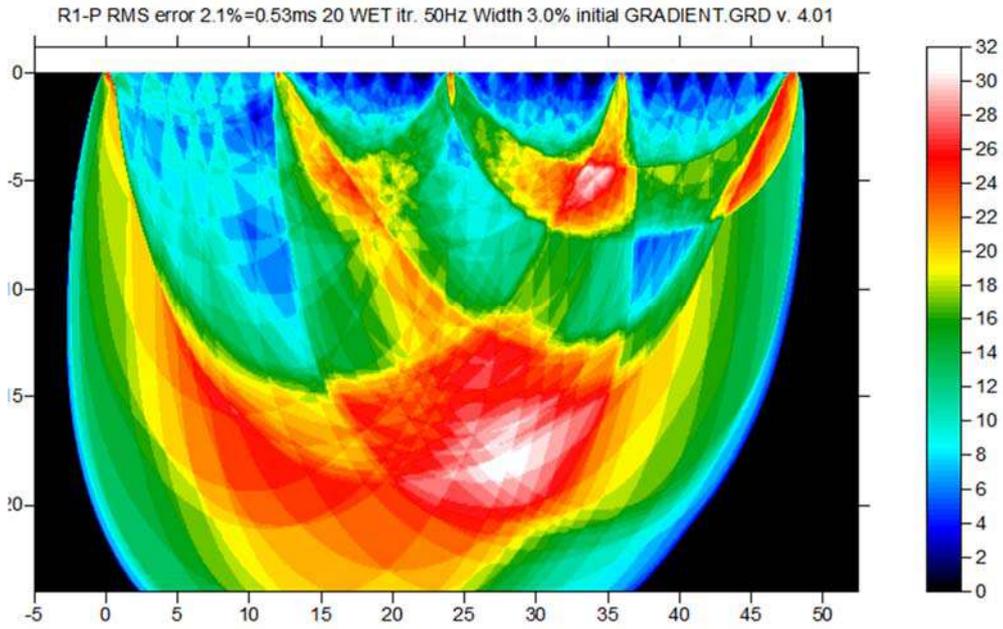
#### R2 - Sismica a rifrazione in onde P - dromocrone osservate e calcolate



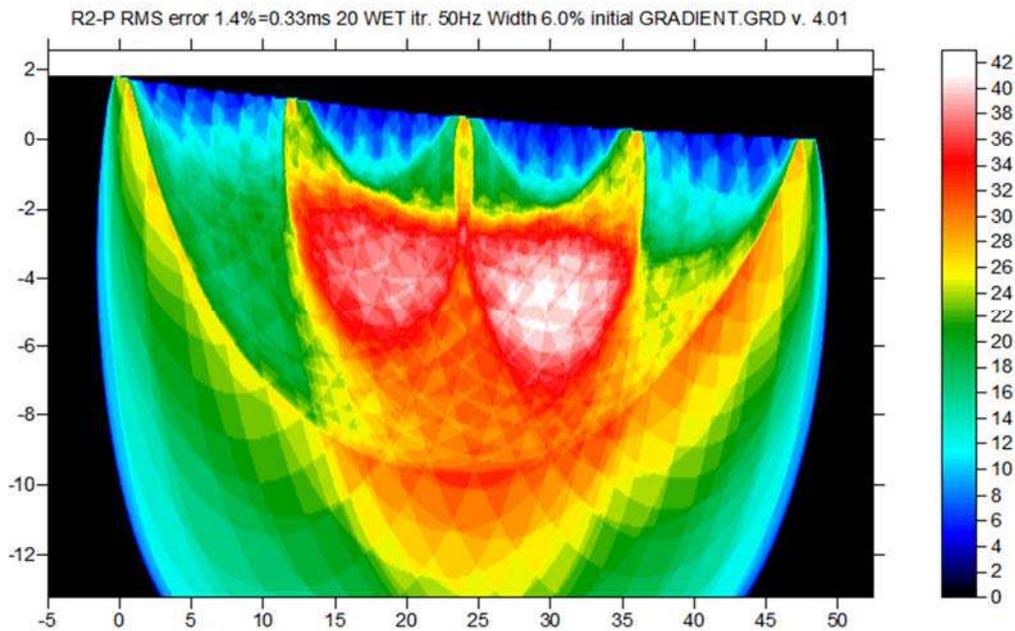
## ALLEGATO 2

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

#### R1- Sismica a rifrazione in onde P Copertura raggi sismici



#### R2 - Sismica a rifrazione in onde P Copertura raggi sismici



## Allegato 2: Documentazione fotografica indagini geofisiche

**Stendimento M1  
dal geofono 1 al geofono 24**



**Stendimento M1  
dal geofono 24 al geofono 1**



**Stendimento M2  
dal geofono 1 al geofono 24**



**Stendimento M2  
dal geofono 24 al geofono 1**



**Stendimento M3  
dal geofono 1 al geofono 24**



**Stendimento M3  
dal geofono 24 al geofono 1**



**Stendimento R1  
dal geofono 1 al geofono 24**



**Stendimento R1  
dal geofono 24 al geofono 1**



**Stendimento R2  
dal geofono 1 al geofono 24**



**Stendimento R2  
dal geofono 24 al geofono 1**

