



REGIONE PUGLIA



PROVINCIA di  
BARLETTA-ANDRIA-TRANI



COMUNE di  
MINERVINO MURGE



COMUNE di  
ANDRIA



COMUNE di  
SPINAZZOLA



Edison Rinnovabili Spa  
Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano

Progettazione elettrica e Coordinamento Generale	 <p><b>STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA</b> MEZZINA dott. ing. Antonio Via T. Solis 128   71016 San Severo (FG) Tel. 0882.228072   Fax 0882.243651 e-mail: info@studiomezzina.net</p>		 		
Studio Idraulico Geologico-Ictiologico	<p><b>Dott. Nazario Di Lella</b> Tel./Fax 0882.991704   cell. 328 3250902 E-Mail: geol.dilella@gmail.com</p>		<p><b>STUDIO FALCONE</b> Ingegneria <b>Ing. Antonio Falcone</b> Tel. 0884.534378   Fax. 0884.534378 E-Mail: antonio.falcone@studiofalcone.eu</p>		
Studio archeologico	 <p><b>NOSTOI s.r.l.</b> <b>Dott.ssa Maria Grazia Liseno</b> Tel. 0972.081259   Fax 0972.83694 E-Mail: mgliseno@nostoisrl.it</p>		 <p><b>VEGA sas</b> LANDSCAPE ECOLOGY &amp; URBAN PLANNING Via dell'Unità, 62 - 71121 Foggia - Tel. 0881.750263 - Fax 1784412324 mail: info@studiovega.org - website: www.studiovega.org</p>		
Opera	<p align="center"><b>PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 59,4MW COSTITUITO DA N°9 AEROGENERATORI TIPO SG155 DA 6,6MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.</b></p>				
Oggetto	Nome Elaborato: 12_VIA_02_Relazione geologica	Folder: VIA_02_Relazioni tecniche e di progetto			
	Descrizione Elaborato: Relazione geologica				
00	Gennaio 2024	Emissione per progetto definitivo	Geol. N. Di Lella	TAUW Italia S.r.l	Edison Rinnovabili S.p.A.
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione
Scala:	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>				
Formato: A4/A3	Codice progetto AU <input type="text"/>				

Sommario

1.	PREMESSA .....	2
2.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	3
3.	TETTONICA E SISMICITÀ .....	6
4.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA .....	16
5.	IDROGEOLOGIA E CARATTERI DI PERMEABILITA' .....	22
6.	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE LOCALI .....	27
7.	CARATTERI GEOLOGICO-TECNICI DEI TERRENI AFFIORANTI .....	30
8.	PROGRAMMAZIONE INDAGINI SUPPLETIVE .....	59
9.	CONCLUSIONI .....	60

## 1. PREMESSA

Il sottoscritto Dott. Geol. Nazario Di Lella iscritto all'Ordine dei Geologi della Puglia con il n. 345, su incarico della società EDISON RINNOVABILI S.P.A., con sede legale in via Buonaparte, 3120121 Milano (MI), P.IVA: 12921540154, Indirizzo pec: rinnovabili@pec.edison.it , ha eseguito il presente studio Geologico - Geotecnico a corredo del "PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE (BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO".

Lo studio è stato finalizzato a perseguire i seguenti obiettivi:

- individuare i litotipi presenti e le loro caratteristiche giacaturali;
- individuare i fenomeni geomorfologici, con specifico riguardo alla stabilità dell'area;
- determinare la situazione idrogeologica locale, con particolare riguardo per l'infiltrazione e la circolazione delle acque nel sottosuolo;
- caratterizzazione geotecnica e sismica del sito in relazione alle opere previste di progetto.

La caratterizzazione del sito e le indagini espletate sono state eseguite in relazione a quanto previsto dalle normative vigenti (Legge 2/2/74 n° 64 - D.M. 21/1/81 - D.M. 11/3/88 - O.P.C.M. 3274 – NTC 2018 e s.m.i.) ed hanno avuto lo scopo principale di accertare (in fase di Progetto Definitivo) le caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni costituenti il sito, soprattutto in funzione delle strutture che andranno a costituire le opere di progetto e della loro interazione con il terreno costituente il sito stesso.

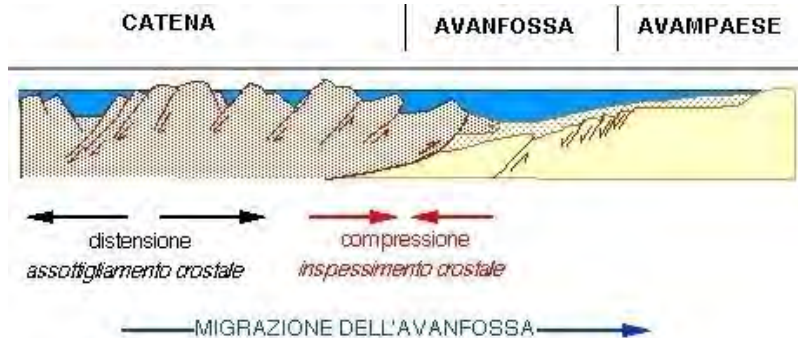
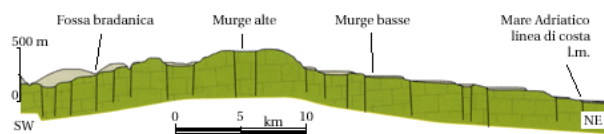
Nei paragrafi successivi si riportano le risultanze dello studio eseguito su un'area più estesa di quella interessata dal progetto, ai fini della definizione del quadro geologico generale di riferimento in fase di progettazione esecutiva, con un rilevamento geologico di dettaglio ed acquisizione di informazioni di carattere bibliografico disponibile per la zona oggetto di studio.

## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

### Introduzione e geologia regionale

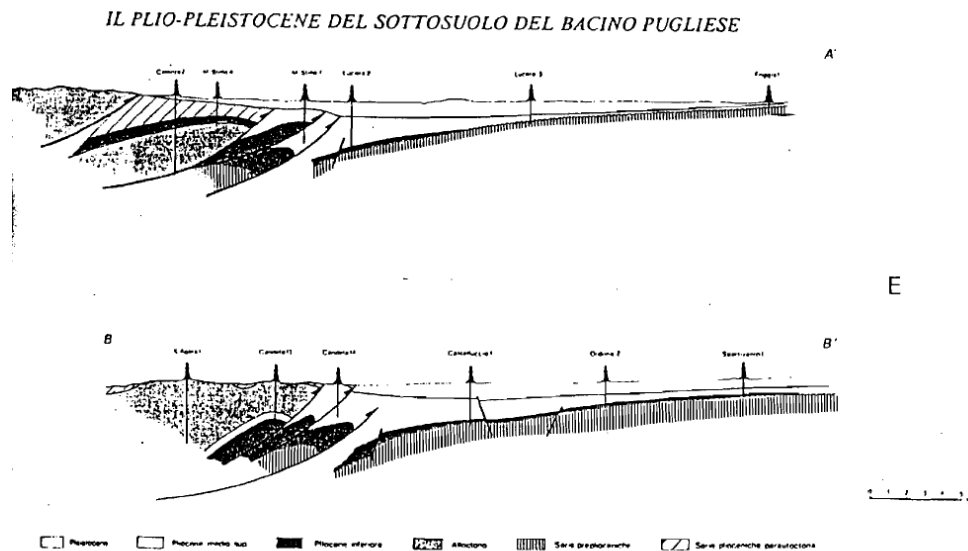
Nel territorio pugliese affiorano successioni carbonatiche e terrigene appartenenti alle tre unità Stratigrafico-Strutturali:

- Catena;
- Avanfossa Appenninica;
- Avampaese Apulo-Garganico.



Il Settore più occidentale, Catena, è costituito da terreni di età compresa tra il Mesozoico ed il Pliocene, in contatto tettonico di sovrascorrimento con i termini del Miocene sup. dell'Avampaese deformato.

Tali terreni rappresentano una potente coltre di ricoprimento costituita da formazioni alquanto eterogenee come litologia, indicate in letteratura con il termine generico di "Alloctono".



Attraverso dati provenienti da perforazioni Agip e sondaggi Sismici profondi, evidenziano come tale coltre aumenti di spessore procedendo verso SW.

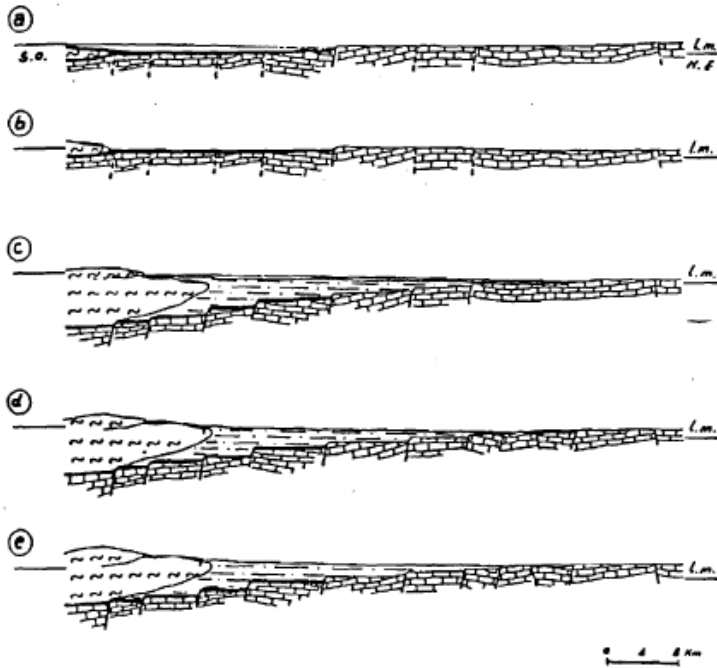
La parte centrale, Avanfossa appenninica, è costituita da depositi plio-pleistocenici poggianti in trasgressione sui calcari pre-pliocenici della Piattaforma apula ribassati a gradinata verso SW da un sistema di faglie dirette a direzione appenninica.

Alcuni Autori interpretano tale area come bacino subsidente, compreso tra il paleomargine dell'Appennino e dell'Avampaese nel quale si sono depositi, a partire dal Pliocene Inf., sedimenti terrigeni.

Alla fine del Pliocene medio, per tutto il Pliocene superiore e parte del Pleistocene, una importante fase tettonica di abbassamento del substrato carbonatico provocò una estesa migrazione del bacino e della linea di costa verso NE.

Nello stesso tempo, dal margine della catena appenninica, in via di sollevamento, scivolarono per gravità verso il bacino, cospicue masse "alloctone".

Seguì poi, alla fine del Pleistocene inferiore, un generale sollevamento della regione, più pronunciato sul lato appenninico, determinando la migrazione del mare pleistocenico verso l'attuale linea di costa.



LEGENDA

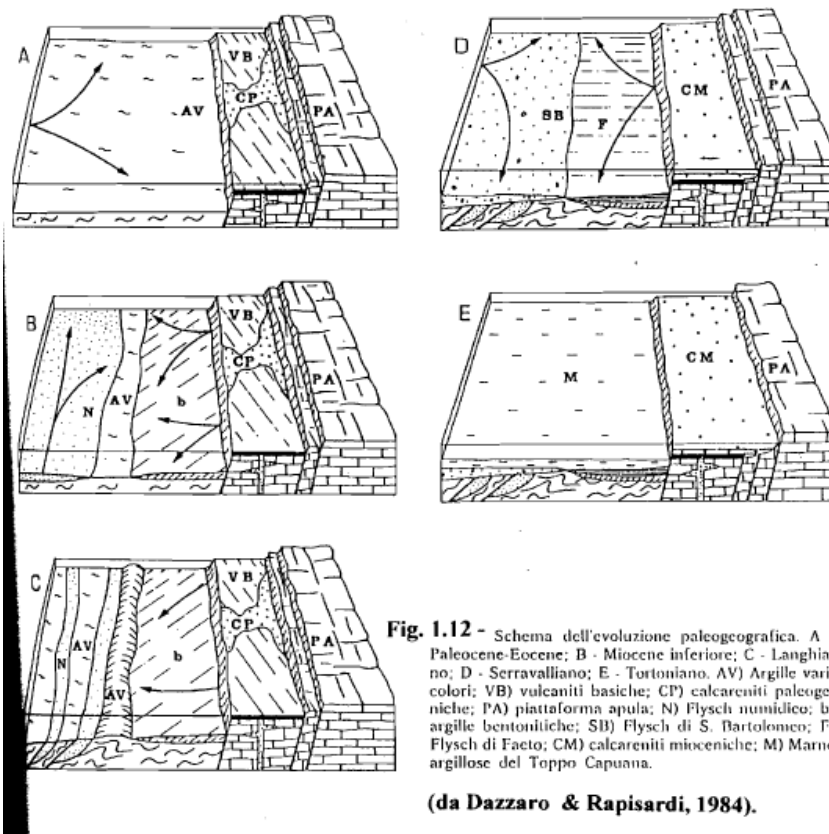
- (a) Pliocene inf. medio : ABBASSAMENTO
  - (b) " " " : SOLLEVAMENTO
  - (c) Pliocene sup. - Pleistocene medio : ABBASSAMENTO
  - (d) " " " " : SOLLEVAMENTO
  - (e) Pleistocene sup. - Olocene : SOLLEVAMENTO
- DEPOSITI DELL'INTERVALLO III  
(PLIOCENE SUP. - PLEISTOCENE MEDIO)
  - DEPOSITI DELL'INTERVALLO II  
(PLIOCENE INF. - MEDIO)
  - ALLECTONO  
(CRETACEO - MIOCENE)
  - AVAMPASSE CALCAREO  
(CRETACEO - MIOCENE)

### 3. TETTONICA E SISMICITÀ.

I settori di Catena, Avanfossa e Avampaese, oltre che per caratteri litostratigrafici delle successioni affioranti differiscono anche per caratteri tettonici.

La zona più occidentale, costituita in prevalenza da terreni Flyshoidi, risulta interessata da una tettonica molto complessa, caratterizzata da strutture plicative e di accavallamento legate alla fase tettonogenetica langhiano-tortoniana che ha portato alla formazione di più scaglie con vergenza a NE (Dazzaro & Rapisardi).

Ai raccorciamenti dovuti a tali fasi tettoniche si sono aggiunti quelli delle fasi pliocenica e pleistocenica. Gli effetti più evidenti di questa ultima fase compressiva si riscontrano al bordo appenninico, dove unità flyscioidi sono accavallate per faglie inverse su sedimenti dell'Avanfossa.



Le strutture distensive, infine, rappresentate da faglie dirette e verticali, allungate circa N-S, sono l'effetto delle fasi di sollevamento medio-supra pleistoceniche che hanno interessato la parte esterna della catena.

La zona centrale, ove affiora la serie plio-quadernaria dell'Avanfossa, è caratterizzata da un assetto tranquillo con giacitura degli strati pressoché orizzontale. La tettonica profonda, ricostruita attraverso i pozzi dell'Agip Mineraria, evidenzia l'esistenza di un substrato carbonatico pre-pliocenico suddiviso in più blocchi, dislocati da faglie dirette, progressivamente abbassati a NE (Sella et al, 1988).

La zona nord-orientale corrisponde al rilievo del Gargano / Murge che, dal punto di vista strutturale, assume nel complesso l'aspetto di un horst, leggermente piegato in direzione NW-SE, il primo, delimitato nettamente su tre lati (a SO, a N ed a S) da faglie dirette (Martinis, 1964), come tableaux orientato in direzione NW-SE, il secondo, appena inclinato in direzione E, a partire dai territori di Canosa-Minervino M., fino a oltre il comprensorio del barese, compenetrandosi lateralmente con la struttura ionico-salentina.

La parte centro-meridionale del rilievo, Murgia e Penisola Salentina, assumono nel complesso l'aspetto di un pianalto continuo orientato NW-SE, leggermente tiltato in direzione NE, nettamente separato come dominio all'altezza dell'arco ionico-salentino (Taranto) da una lineazione trasversa rappresentata dalla Faglia Nord Salentina (W-E).

Le principali direttrici Tettoniche si presentano con i seguenti andamenti: NO-SE appenninico; NE-SO antiappenninico; E-O garganico-salentino.

Il sistema di faglie a direzione appenninica è predominante, mentre il sistema antiappenninico, meno diffuso del precedente, determina una ulteriore suddivisione a zolle dei plateaux.

Le discontinuità ad andamento E-O sono le meno frequenti ma orientamenti analoghi si osservano anche in faglie minori e diaclasi. A questo sistema appartengono le faglie trascorrenti delle Tremiti e S.Marco in L.-Mattinata (Gargano) e le Faglie Nord e Sud Salentine (Salento).

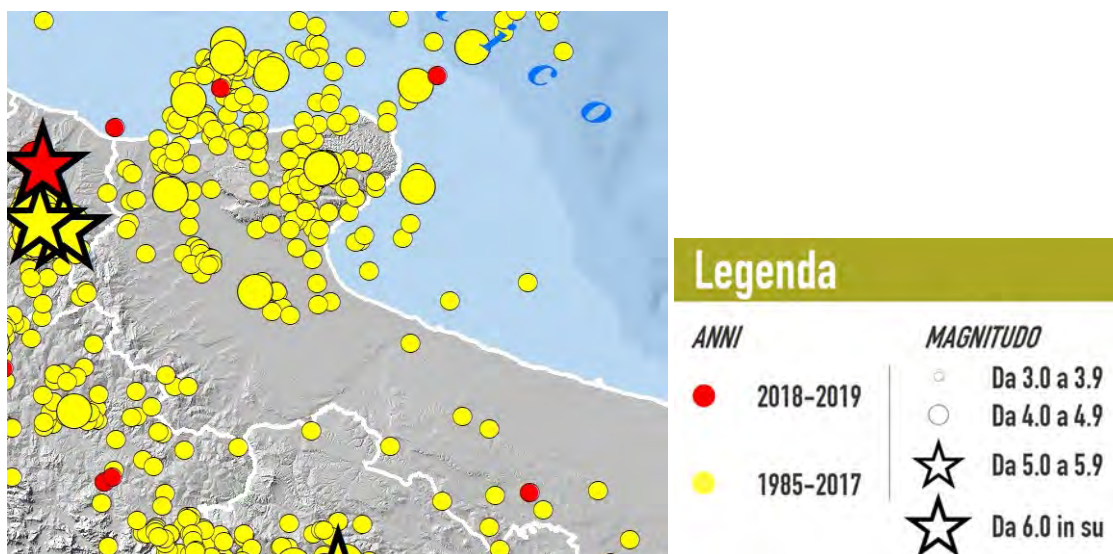
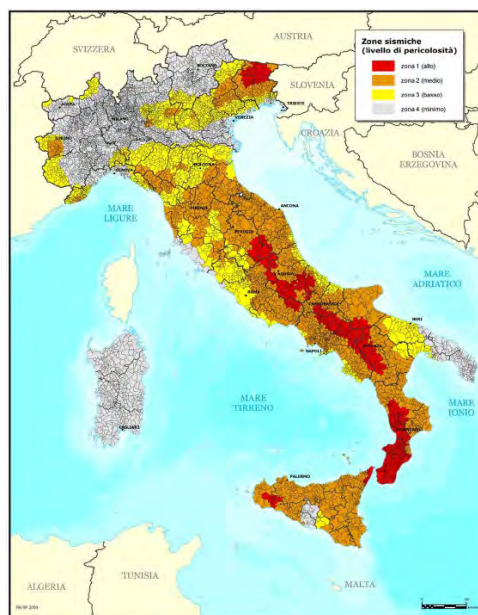


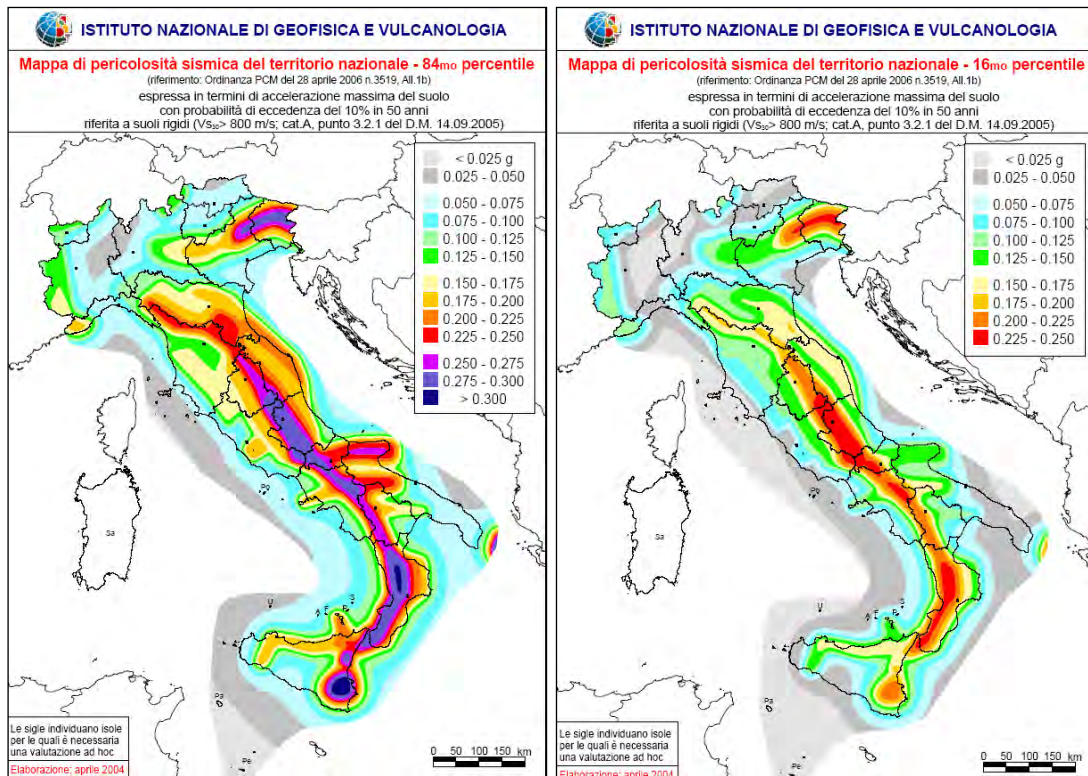


### 3.1 Sismicità Dell'area

Il territorio oggetto di studio, così come altri comuni della quasi totalità dei comuni della parte centro orientale della provincia, è classificata come a rischio sismico medio Zona 3.

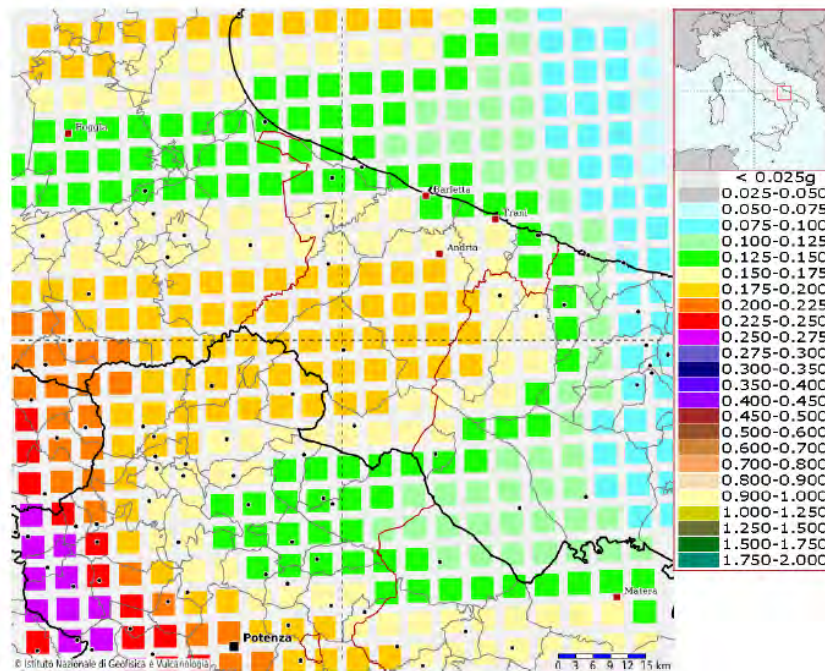
Ciò risulta dall'allegato (classificazione sismica dei comuni italiani) all'Ordinanza del P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" dal quale risulta che il territorio di studio è inserito in Zona Sismica 2 (medio Rischio) corrispondente ad un grado di sismicità pari a  $S = 9$ . secondo quanto indicato dalla vecchia normativa sismica dal D.M. 07.03.1981, il coefficiente di intensità sismica è così valutabile:  $C = S - 2 / 100 = 0,07$ .





Più in particolare, per l'area interessata dall'intervento, si riportano di seguito i parametri locali derivati dal modello di pericolosità sismica (INGV).

**Modello di pericolosità sismica del territorio nazionale MPS04-S1 (2004)**  
**Informazioni sul nodo con ID: 31896 - Latitudine: 41.106 - Longitudine: 16.078**

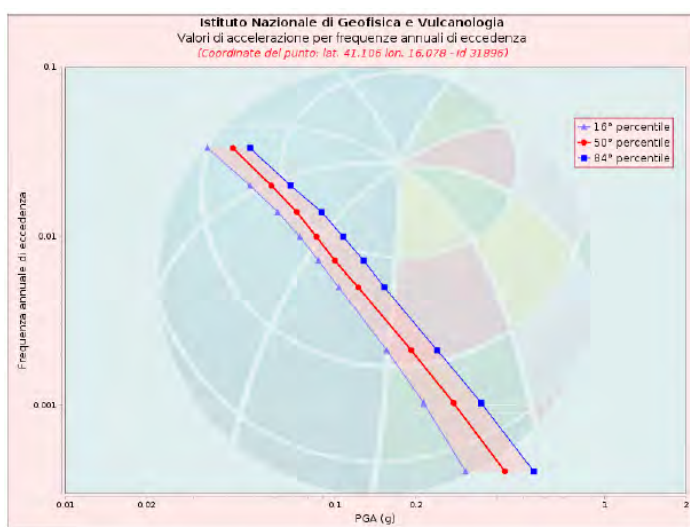


La mappa rappresenta il modello di pericolosità sismica per l'Italia e i diversi colori indicano il valore di scuotimento (PGA = Peak Ground Acceleration; accelerazione di picco del suolo, espressa in termini di g, l'accelerazione di gravità) atteso con una probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni su suolo rigido

(classe A, Vs30 > 800 m/s) e pianeggiante. Le coordinate selezionate individuano un nodo della griglia di calcolo identificato con l'ID 31896 (posto al centro della mappa). Per ogni nodo della griglia sono disponibili numerosi parametri che descrivono la pericolosità sismica, riferita a diversi periodi di ritorno e diverse accelerazioni spettrali.

### Curva di pericolosità

La pericolosità è l'insieme dei valori di scuotimento (in questo caso per la PGA) per diverse frequenze annuali di eccedenza (valore inverso del periodo di ritorno). La tabella riporta i valori mostrati nel grafico, relativi al valore mediano (50mo percentile) ed incertezza, espressa attraverso il 16° e l'84° percentile.

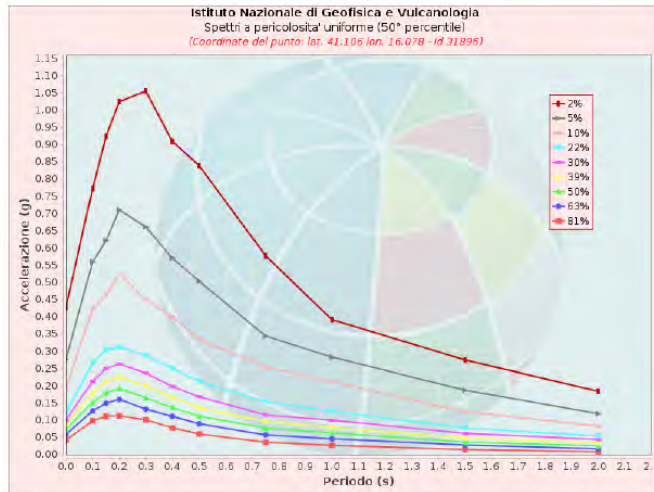


Frequenza annuale di ecc.	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.305	0.427	0.547
0.0010	0.214	0.275	0.349
0.0021	0.156	0.192	0.240
0.0050	0.104	0.122	0.153
0.0071	0.087	0.100	0.128
0.0099	0.074	0.086	0.108
0.0139	0.061	0.072	0.090
0.0199	0.049	0.058	0.069
0.0332	0.034	0.042	0.049

### Spettri a pericolosità uniforme

Gli spettri indicano i valori di scuotimento calcolati per 11 periodi spettrali, compresi tra 0 e 2 secondi. La PGA corrisponde al periodo pari a 0 secondi. Il grafico è relativo alle stime mediane (50mo percentile) proposte dal modello di pericolosità.

I diversi spettri nel grafico sono relativi a diverse probabilità di eccedenza (PoE) in 50 anni. La tabella riporta i valori mostrati nel grafico.

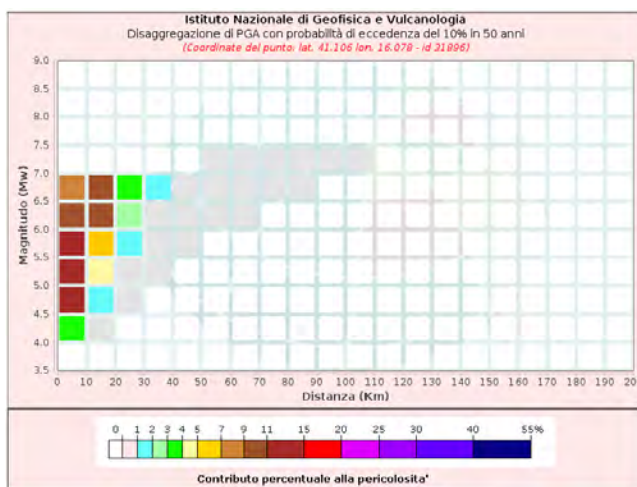


PoE in 50 anni	Accelerazione (g)											
	Periodo (s)											
	0,0	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	
2%	0,427	0,773	0,924	1,025	1,055	0,909	0,839	0,577	0,391	0,274	0,184	
5%	0,275	0,560	0,621	0,711	0,661	0,570	0,504	0,344	0,283	0,187	0,119	
10%	0,192	0,423	0,463	0,525	0,452	0,398	0,334	0,254	0,212	0,124	0,083	
20%	0,122	0,266	0,303	0,312	0,287	0,249	0,212	0,153	0,125	0,077	0,054	
30%	0,100	0,213	0,249	0,263	0,237	0,198	0,168	0,115	0,100	0,061	0,044	
39%	0,086	0,178	0,212	0,225	0,200	0,165	0,136	0,096	0,078	0,048	0,035	
50%	0,072	0,152	0,180	0,192	0,165	0,137	0,111	0,077	0,062	0,036	0,025	
63%	0,058	0,127	0,149	0,160	0,132	0,111	0,089	0,057	0,046	0,028	0,016	
81%	0,042	0,098	0,111	0,113	0,101	0,078	0,059	0,036	0,027	0,014	0,008	

### Grafico di disaggregazione

Il grafico rappresenta il contributo percentuale delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza epicentrale alla pericolosità del nodo, rappresentata in questo caso dal valore della PGA mediana, per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

La tabella riporta i valori mostrati nel grafico ed i valori medi di magnitudo, distanza ed epsilon.

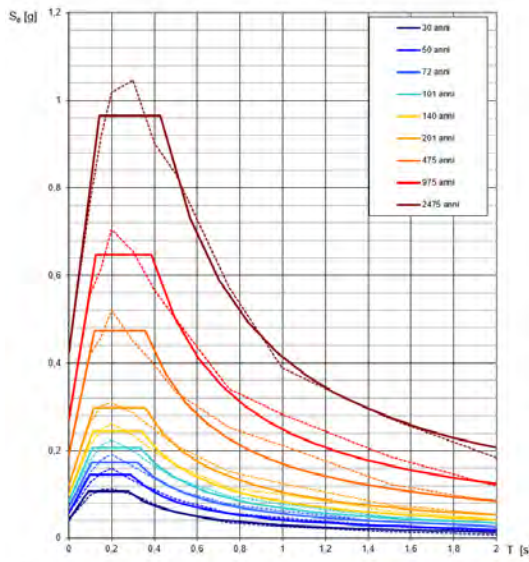


Distanza in Km	Magnitudo																	
	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	5,0-5,5	5,5-6,0	6,0-6,5	6,5-7,0	7,0-7,5	7,5-8,0	8,0-8,5	8,5-9,0							
0-10	0,0000	3,7000	11,2000	12,8000	12,3000	10,1000	7,2600	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000							
10-20	0,0000	0,2760	1,8200	4,2200	16,9600	19,0500	0,6700	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000							
20-30	0,0000	0,0000	0,0204	0,3880	1,2900	2,5200	3,7400	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000							
30-40	0,0000	0,0000	0,0000	0,0036	0,1560	0,5600	1,1200	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000							
40-50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0040	0,0782	0,2320	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000							
50-60	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0193	0,1570	0,0864	0,0000	0,0000	0,0000							
60-70	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0009	0,1030	0,1660	0,0000	0,0000	0,0000							
70-80	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0298	0,1150	0,0000	0,0000	0,0000							
80-90	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0027	0,3458	0,0000	0,0000	0,0000							
90-100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0097	0,0000	0,0000	0,0000							
100-110	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0011	0,0000	0,0000	0,0000							
110-120	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000							
120-130	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000							
130-140	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000							
140-150	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000							
150-160	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000							
160-170	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000							
170-180	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000							
180-190	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000							
190-200	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000							

Valori Medi: magnitudo = 5,92 ; distanza = 30,7 ; epsilon = 0,613



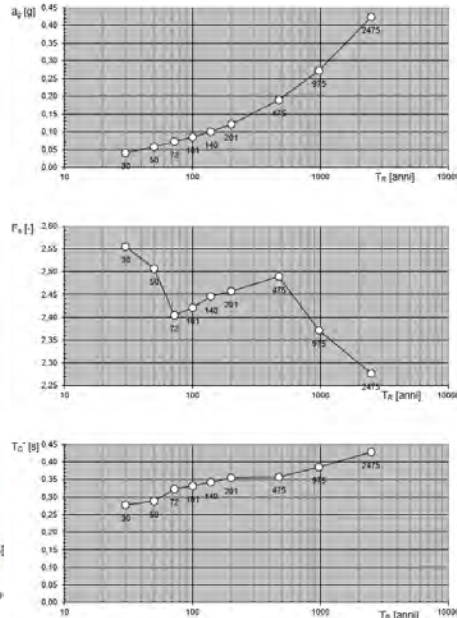
**Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento**



NOTA.  
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

**Valori dei parametri  $a_g, F_0, T_C^*$ : variabilità col periodo di ritorno  $T_R$**



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

**Valori dei parametri  $a_g, F_0, T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento**

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0,042	2,555	0,277
50	0,058	2,507	0,289
72	0,072	2,405	0,322
101	0,085	2,422	0,332
140	0,100	2,445	0,341
201	0,121	2,457	0,355
475	0,191	2,489	0,358
975	0,273	2,371	0,384
2475	0,424	2,276	0,428

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_n$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $k_U$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $T_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{vis} = 81\%$	<input type="text" value="120"/>
	SLD - $P_{vis} = 63\%$	<input type="text" value="201"/>
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{vis} = 10\%$	<input type="text" value="1898"/>
	SLC - $P_{vis} = 5\%$	<input type="text" value="2475"/>

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

LEGENDA GRAFICO

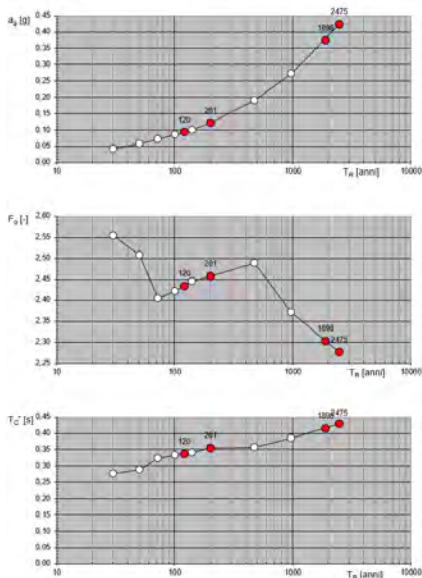
---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

---■--- Strategia scelta

Strategia di progettazione

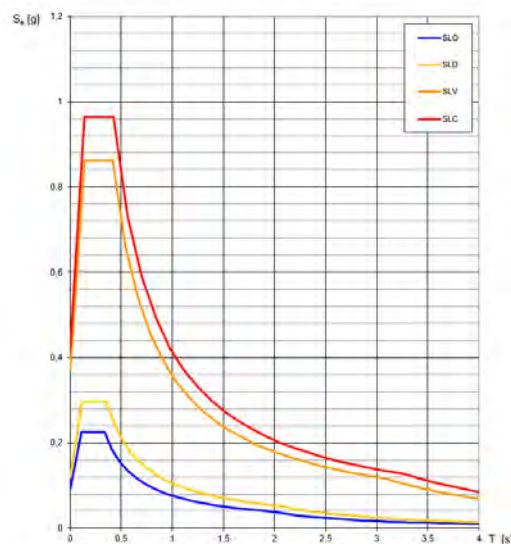
INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Valori di progetto dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  in funzione del periodo di ritorno  $T_R$



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

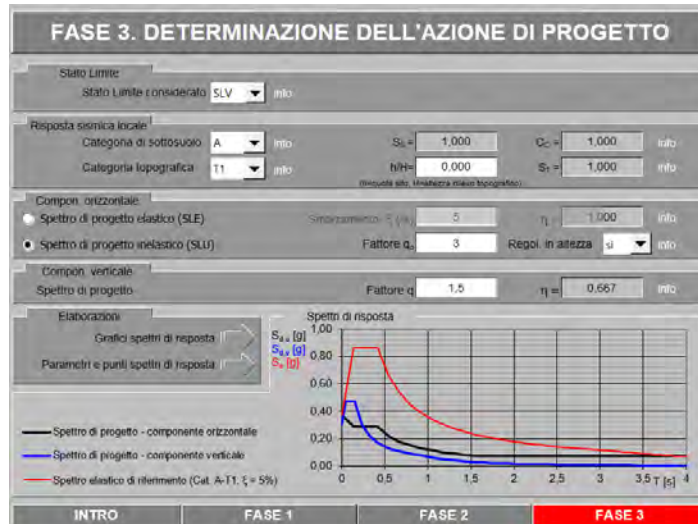


La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

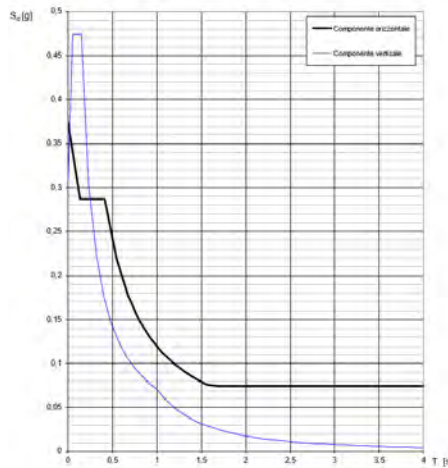
#### Valori dei parametri $a_g$ , $F_o$ , $T_C^*$ per i periodi di ritorno $T_R$ associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	120	0,093	2,434	0,337
SLD	201	0,121	2,457	0,355
SLV	1898	0,374	2,303	0,415
SLC	2475	0,424	2,276	0,428

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.



Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



La verifica dell'adeguatezza del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

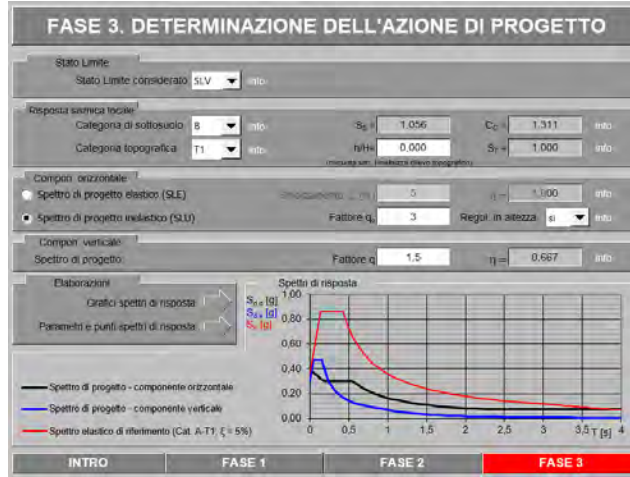
Parametri indipendenti		Punti dello spettro di risposta	
STATO LIMITE	SLV	T	S <sub>d</sub> (T)
A <sub>0</sub>	0,374 g	0,050	0,374
S <sub>d</sub>	1,000	0,100	0,374
S <sub>d</sub>	1,000	0,150	0,287
T <sub>0</sub>	1,000	0,200	0,245
T <sub>0</sub>	1,000	0,250	0,210
S <sub>d</sub>	1,000	0,300	0,180
S <sub>d</sub>	1,000	0,350	0,155
S <sub>d</sub>	1,000	0,400	0,135
S <sub>d</sub>	1,000	0,450	0,118
S <sub>d</sub>	1,000	0,500	0,103
S <sub>d</sub>	1,000	0,550	0,090
S <sub>d</sub>	1,000	0,600	0,079
S <sub>d</sub>	1,000	0,650	0,069
S <sub>d</sub>	1,000	0,700	0,060
S <sub>d</sub>	1,000	0,750	0,052
S <sub>d</sub>	1,000	0,800	0,045
S <sub>d</sub>	1,000	0,850	0,039
S <sub>d</sub>	1,000	0,900	0,034
S <sub>d</sub>	1,000	0,950	0,029
S <sub>d</sub>	1,000	1,000	0,025
S <sub>d</sub>	1,000	1,050	0,021
S <sub>d</sub>	1,000	1,100	0,018
S <sub>d</sub>	1,000	1,150	0,015
S <sub>d</sub>	1,000	1,200	0,013
S <sub>d</sub>	1,000	1,250	0,011
S <sub>d</sub>	1,000	1,300	0,009
S <sub>d</sub>	1,000	1,350	0,008
S <sub>d</sub>	1,000	1,400	0,007
S <sub>d</sub>	1,000	1,450	0,006
S <sub>d</sub>	1,000	1,500	0,005
S <sub>d</sub>	1,000	1,550	0,004
S <sub>d</sub>	1,000	1,600	0,004
S <sub>d</sub>	1,000	1,650	0,003
S <sub>d</sub>	1,000	1,700	0,003
S <sub>d</sub>	1,000	1,750	0,002
S <sub>d</sub>	1,000	1,800	0,002
S <sub>d</sub>	1,000	1,850	0,002
S <sub>d</sub>	1,000	1,900	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	1,950	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,000	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,050	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,100	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,150	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,200	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,250	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,300	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,350	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,400	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,450	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,500	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,550	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,600	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,650	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,700	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,750	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,800	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,850	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,900	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,950	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	3,000	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	3,050	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	3,100	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	3,150	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	3,200	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	3,250	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	3,300	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	3,350	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	3,400	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	3,450	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	3,500	0,001

La verifica dell'adeguatezza del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

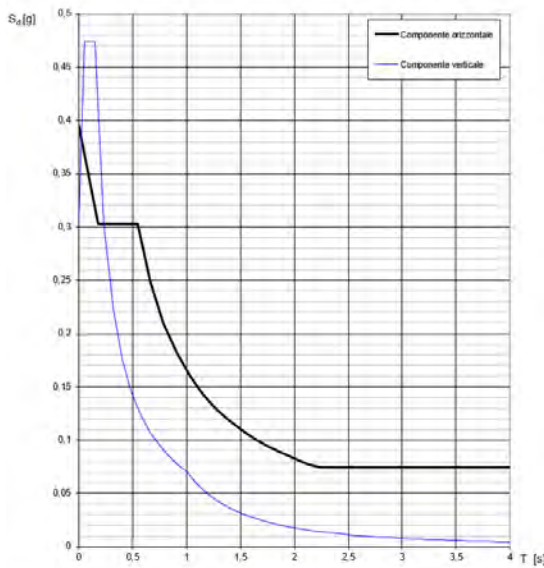
Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti		Punti dello spettro di risposta	
STATO LIMITE	SLV	T	S <sub>d</sub> (T)
A <sub>0</sub>	0,368 g	0,050	0,368
S <sub>d</sub>	1,000	0,100	0,368
S <sub>d</sub>	1,000	0,150	0,287
T <sub>0</sub>	1,000	0,200	0,245
T <sub>0</sub>	1,000	0,250	0,210
S <sub>d</sub>	1,000	0,300	0,180
S <sub>d</sub>	1,000	0,350	0,155
S <sub>d</sub>	1,000	0,400	0,135
S <sub>d</sub>	1,000	0,450	0,118
S <sub>d</sub>	1,000	0,500	0,103
S <sub>d</sub>	1,000	0,550	0,090
S <sub>d</sub>	1,000	0,600	0,079
S <sub>d</sub>	1,000	0,650	0,069
S <sub>d</sub>	1,000	0,700	0,060
S <sub>d</sub>	1,000	0,750	0,052
S <sub>d</sub>	1,000	0,800	0,045
S <sub>d</sub>	1,000	0,850	0,039
S <sub>d</sub>	1,000	0,900	0,034
S <sub>d</sub>	1,000	0,950	0,029
S <sub>d</sub>	1,000	1,000	0,025
S <sub>d</sub>	1,000	1,050	0,021
S <sub>d</sub>	1,000	1,100	0,018
S <sub>d</sub>	1,000	1,150	0,015
S <sub>d</sub>	1,000	1,200	0,013
S <sub>d</sub>	1,000	1,250	0,011
S <sub>d</sub>	1,000	1,300	0,009
S <sub>d</sub>	1,000	1,350	0,008
S <sub>d</sub>	1,000	1,400	0,007
S <sub>d</sub>	1,000	1,450	0,006
S <sub>d</sub>	1,000	1,500	0,005
S <sub>d</sub>	1,000	1,550	0,004
S <sub>d</sub>	1,000	1,600	0,004
S <sub>d</sub>	1,000	1,650	0,003
S <sub>d</sub>	1,000	1,700	0,003
S <sub>d</sub>	1,000	1,750	0,002
S <sub>d</sub>	1,000	1,800	0,002
S <sub>d</sub>	1,000	1,850	0,002
S <sub>d</sub>	1,000	1,900	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	1,950	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,000	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,050	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,100	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,150	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,200	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,250	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,300	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,350	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,400	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,450	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,500	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,550	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,600	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,650	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,700	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,750	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,800	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,850	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,900	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	2,950	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	3,000	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	3,050	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	3,100	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	3,150	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	3,200	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	3,250	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	3,300	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	3,350	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	3,400	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	3,450	0,001
S <sub>d</sub>	1,000	3,500	0,001

La verifica dell'adeguatezza del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.



Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



La verifica dell'adeguatezza del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

PARAMETRI INDIPENDENTI	
STATO LIMITE SLV	
$S_g$	0,374 g
$F_a$	2,303
$T_c$	0,415 s
$S_c$	1,056
$C_c$	1,311
$S_r$	1,000
$q$	3,000

PARAMETRI DIPENDENTI	
$S_0$	1,056
$\eta$	0,333
$T_B$	0,182 s
$T_C$	0,545 s
$T_D$	3,099 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_0 \cdot S_1 \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{1 - (T - T_c)^2} \geq 0,55, \eta = 1 - q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6 \& 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_2 / g = 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_y(T) = a_y \cdot S \cdot \eta \cdot F_s \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_s} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_y(T) = a_y \cdot S \cdot \eta \cdot F_s$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_y(T) = a_y \cdot S \cdot \eta \cdot F_s \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_y(T) = a_y \cdot S \cdot \eta \cdot F_s \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_y(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $\eta_{el}$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.6)

Punti dello spettro di risposta

T [s]	Sa [g]
0,000	0,395
0,182	0,363
0,545	0,303
0,665	0,248
0,788	0,210
0,909	0,182
1,031	0,160
1,152	0,143
1,274	0,130
1,395	0,118
1,516	0,109
1,638	0,101
1,759	0,094
1,881	0,088
2,002	0,082
2,124	0,078
2,245	0,075
2,367	0,072
2,488	0,070
2,610	0,070
2,731	0,070
2,853	0,070
2,974	0,070
3,096	0,070
3,218	0,070
3,340	0,070
3,462	0,070
3,584	0,070
3,706	0,070
3,828	0,070
3,950	0,070
4,072	0,070
4,194	0,070
4,316	0,070
4,438	0,070
4,560	0,070
4,682	0,070
4,804	0,070
4,926	0,070
5,048	0,070
5,170	0,070
5,292	0,070
5,414	0,070
5,536	0,070
5,658	0,070
5,780	0,070
5,902	0,070
6,024	0,070
6,146	0,070
6,268	0,070
6,390	0,070
6,512	0,070
6,634	0,070
6,756	0,070
6,878	0,070
7,000	0,070
7,122	0,069
7,244	0,069
7,366	0,069
7,488	0,069
7,610	0,069
7,732	0,069
7,854	0,069
7,976	0,069
8,098	0,069
8,220	0,069
8,342	0,069
8,464	0,069
8,586	0,069
8,708	0,069
8,830	0,069
8,952	0,069
9,074	0,069
9,196	0,069
9,318	0,069
9,440	0,069
9,562	0,069
9,684	0,069
9,806	0,069
9,928	0,069
10,050	0,069

La verifica dell'adeguatezza del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV

PARAMETRI INDIPENDENTI	
STATO LIMITE SLV	
$S_g$	0,395 g
$F_a$	1,900
$S_c$	1,000
$\eta$	1,500
$T_c$	0,950 s
$T_B$	0,150 s
$T_D$	1,000 s

PARAMETRI DIPENDENTI	
$S_0$	1,901
$S$	1,000
$\eta$	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_0 \cdot S_1 \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1 - q \quad (\text{NTC-08 § 3.2.3.5})$$

$$T_c = 1,35 \cdot F_a \cdot \left( \frac{a_2}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_y(T) = a_y \cdot S \cdot \eta \cdot F_s \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_s} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_c \quad S_y(T) = a_y \cdot S \cdot \eta \cdot F_s$$

$$T_c \leq T < T_D \quad S_y(T) = a_y \cdot S \cdot \eta \cdot F_s \cdot \left( \frac{T_c}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_y(T) = a_y \cdot S \cdot \eta \cdot F_s \cdot \left( \frac{T_c \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

T [s]	Sa [g]
0,000	3,209
0,060	3,474
0,150	3,474
0,215	3,302
0,309	3,222
0,405	3,175
0,490	3,145
0,575	3,124
0,660	3,108
0,745	3,095
0,830	3,085
0,915	3,078
1,000	3,071
1,084	3,069
1,168	3,060
1,251	3,043
1,335	3,036
1,419	3,033
1,503	3,029
1,586	3,025
1,670	3,023
1,754	3,021
1,838	3,019
1,922	3,017
2,006	3,015
2,090	3,014
2,174	3,013
2,258	3,012
2,342	3,011
2,426	3,011
2,510	3,011
2,594	3,011
2,678	3,010
2,762	3,009
2,846	3,009
2,930	3,008
3,014	3,007
3,098	3,007
3,182	3,006
3,266	3,005
3,350	3,005
3,434	3,005
3,518	3,005
3,602	3,005
3,686	3,005
3,770	3,005
3,854	3,005
3,938	3,005
4,022	3,005
4,106	3,005
4,190	3,005
4,274	3,005
4,358	3,005
4,442	3,005
4,526	3,005
4,610	3,005
4,694	3,005
4,778	3,005
4,862	3,005
4,946	3,005
5,030	3,005
5,114	3,005
5,198	3,005
5,282	3,005
5,366	3,005
5,450	3,005
5,534	3,005
5,618	3,005
5,702	3,005
5,786	3,005
5,870	3,005
5,954	3,005
6,038	3,005
6,122	3,005
6,206	3,005
6,290	3,005
6,374	3,005
6,458	3,005
6,542	3,005
6,626	3,005
6,710	3,005
6,794	3,005
6,878	3,005
6,962	3,005
7,046	3,005
7,130	3,005
7,214	3,005
7,298	3,005
7,382	3,005
7,466	3,005
7,550	3,005
7,634	3,005
7,718	3,005
7,802	3,005
7,886	3,005
7,970	3,005
8,054	3,005
8,138	3,005
8,222	3,005
8,306	3,005
8,390	3,005
8,474	3,005
8,558	3,005
8,642	3,005
8,726	3,005
8,810	3,005
8,894	3,005
8,978	3,005
9,062	3,005
9,146	3,005
9,230	3,005
9,314	3,005
9,398	3,005
9,482	3,005
9,566	3,005
9,650	3,005
9,734	3,005
9,818	3,005
9,902	3,005
9,986	3,005
10,070	3,005

La verifica dell'adeguatezza del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.



#### **4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA**

L'area d'interesse è ubicata a circa 4,5 Km SE dal nucleo urbano di Minervino M, in agro di Minervino, località "Intacca".

La quota del sito è compresa tra i 520 e i 590 m s.l.m., Il parco eolico risulta essere composto da n° 09 aereogeneratori di nuova generazione e di potenza maggiorata, in sostituzione di n° 16 aereogeneratori di vecchia generazione.

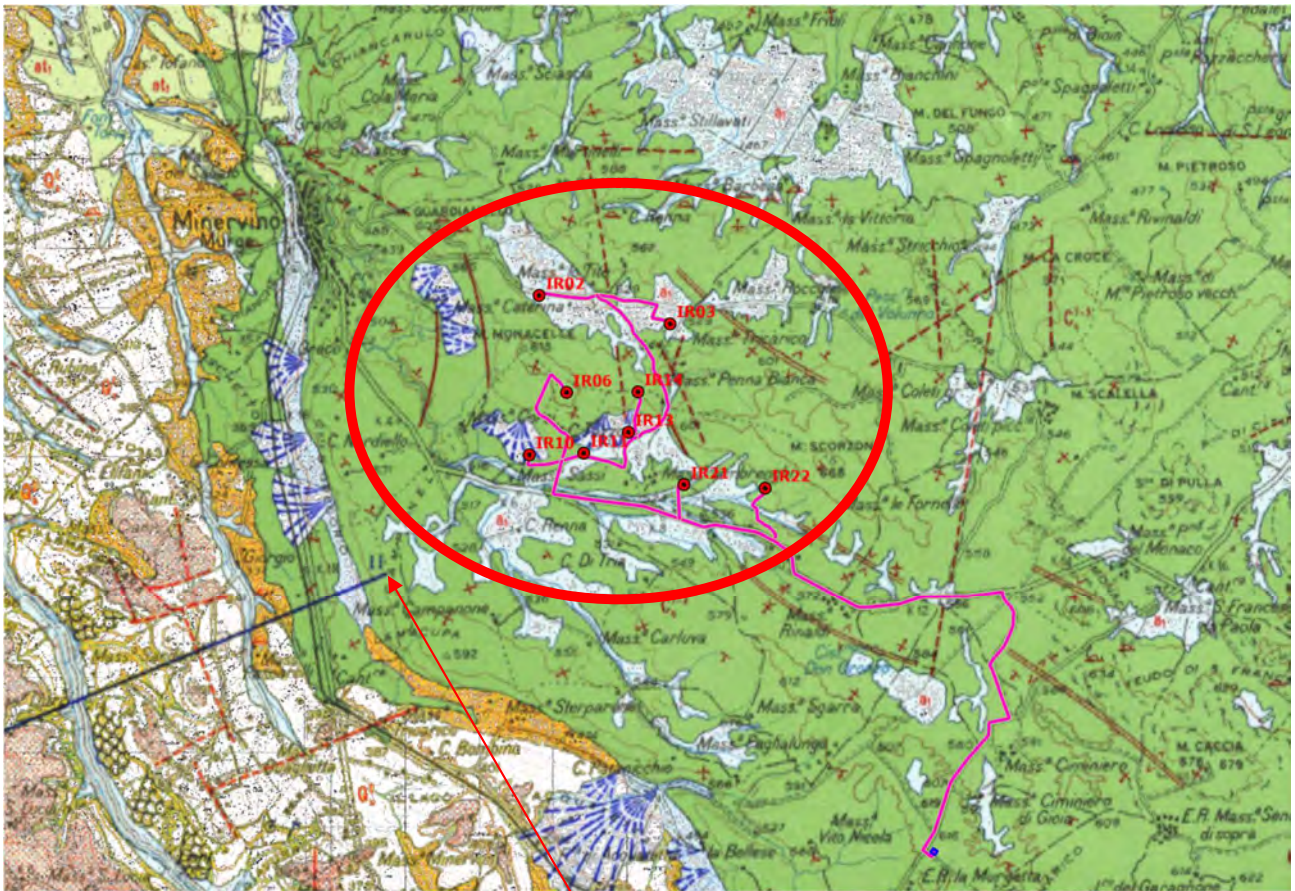
Cartograficamente l'area è ubicata nella parte centrale della Tavolette IGM 1:25.000 – Tavv. 176 III SE "Fermata di Acquatetta", su cartografia CTR 5.000 ricade negli elementi nn. 436101-436102-436103-436104-436141-436153-436154.

L'area in oggetto risulta ubicata nell'area di affioramento di formazioni appartenenti alle formazioni carbonatiche mesozoiche della Murgia, più in particolare si tratta di calcari denominati nella C.G.I. come la formazione dei Calcari di Bari, caratterizzati da calcari detritici a grana fine, di colore bianco o nocciola, stratificati. Calcari dolomitici e dolomie con un livello di breccia (età: Turoniano-Barremiano) di spessore circa 1300 metri.

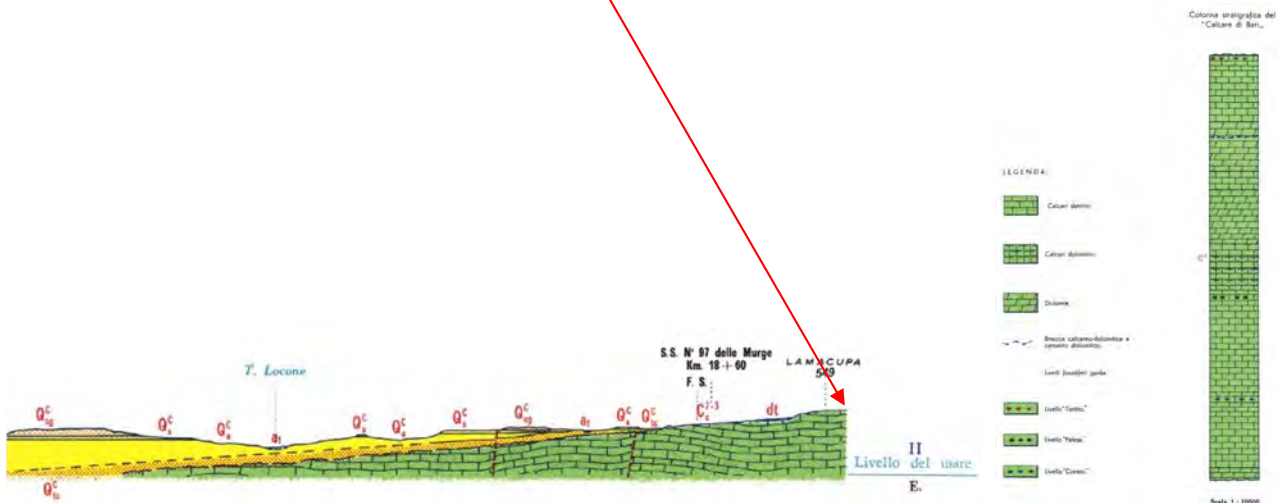
Il territorio presenta una morfologia tipica del margine occidentale del sistema di avampaese murgiano, bordato lungo il margine occidentale da coperture discordanti di calcareniti miceniche (Calcareniti), con progressiva dislocazione verso il basso del basamento carbonatico per tectonica distensiva diretta verso l'area del tavoliere.

Nell'area in oggetto di studio, margine occidentale del rilievo murgiano, non sono presenti particolari forme di dissesto né attive, quiescenti o potenzialmente attivabili rilevate e/o segnalate; trovandoci su un plateau carbonatico appena inclinato in direzione est, sono segnalate e cartografate alcune forme di manifestazioni carsiche come doline, grotte ed inghiottitoi, più o meno collegati da un fitto reticolo carsico profondo.

La falda, a tipica circolazione carsica, è situata in corrispondenza di livelli carbonatici maggiormente fratturati che, in genere in pressione, rinvenibile al di sotto del livello medio del mare e che stabilizza il livello statico alcuni metri sopra di esso. La cadente piezometrica, molto blanda, è con generale convergenza verso la linea di costa, ad est.

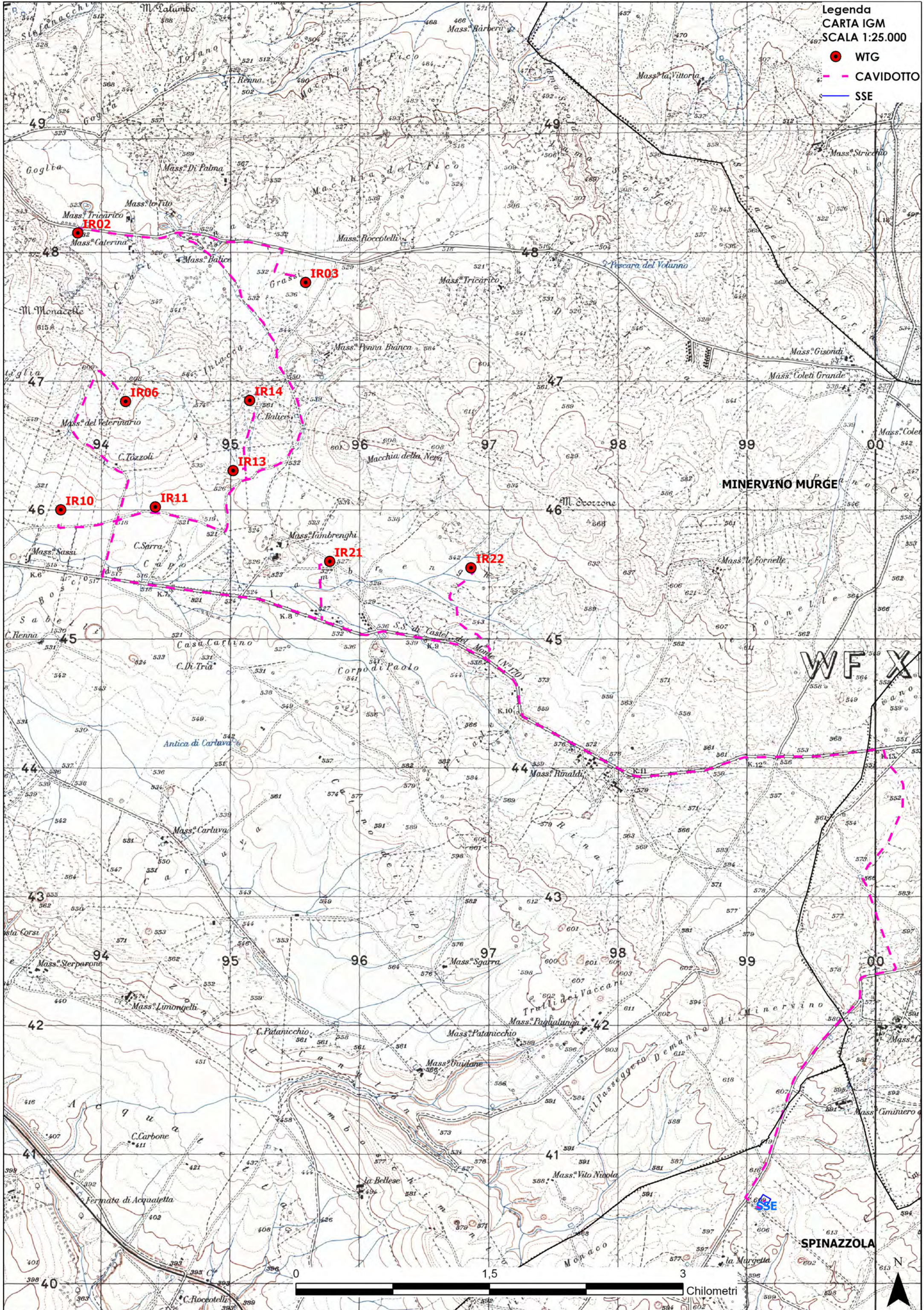


Stralcio Carta Geologica d'Italia – scala 1:100.000



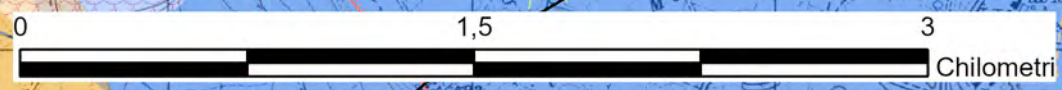
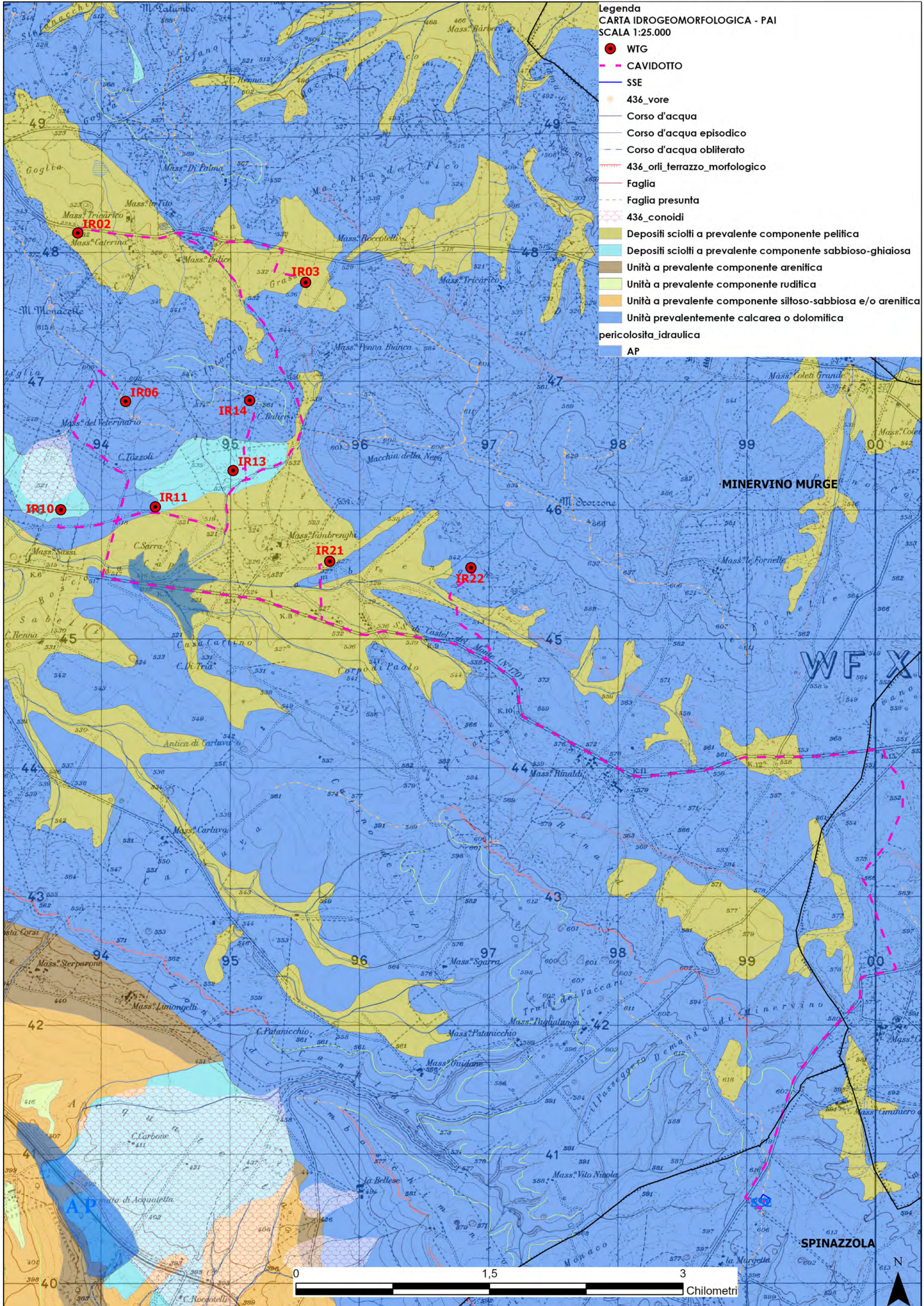
Legenda  
CARTA IGM  
SCALA 1:25.000

- WTG
- CAVIDOTTO
- SSE



**Legenda**  
**CARTA IDROGEOMORFOLOGICA - PAI**  
**SCALA 1:25.000**

- WTG
- CAVIDOTTO
- SSE
- 436\_vore
- Corso d'acqua
- Corso d'acqua episodico
- - - Corso d'acqua obliterato
- 436\_orli\_terrazzo\_morfologico
- Faglia
- - - Faglia presunta
- 436\_conoidi
- Depositi sciolti a prevalente componente pellica
- Depositi sciolti a prevalente componente sabbioso-ghiaiosa
- Unità a prevalente componente arenitica
- Unità a prevalente componente rudifica
- Unità a prevalente componente siltoso-sabbiosa e/o arenitica
- Unità prevalentemente calcarea o dolomitica
- pericolosità idraulica
- AP



#### **4.1. P.A.I.: RISCHIO GEOMORFOLOGICO ED IDRAULICO**

Sotto il profilo del rischio geomorfologico del P.A.I., l'area degli aereogeneratori e la sottostazione, oltre la quasi totalità del percorso della linea di collegamento elettrico (cavidotto) risultano essere esterne a qualsiasi area individuata dal Piano; un tratto di cavidotto, per circa 480 m., ricade in area PAI classificata a rischio idraulico medio-alto (AP).

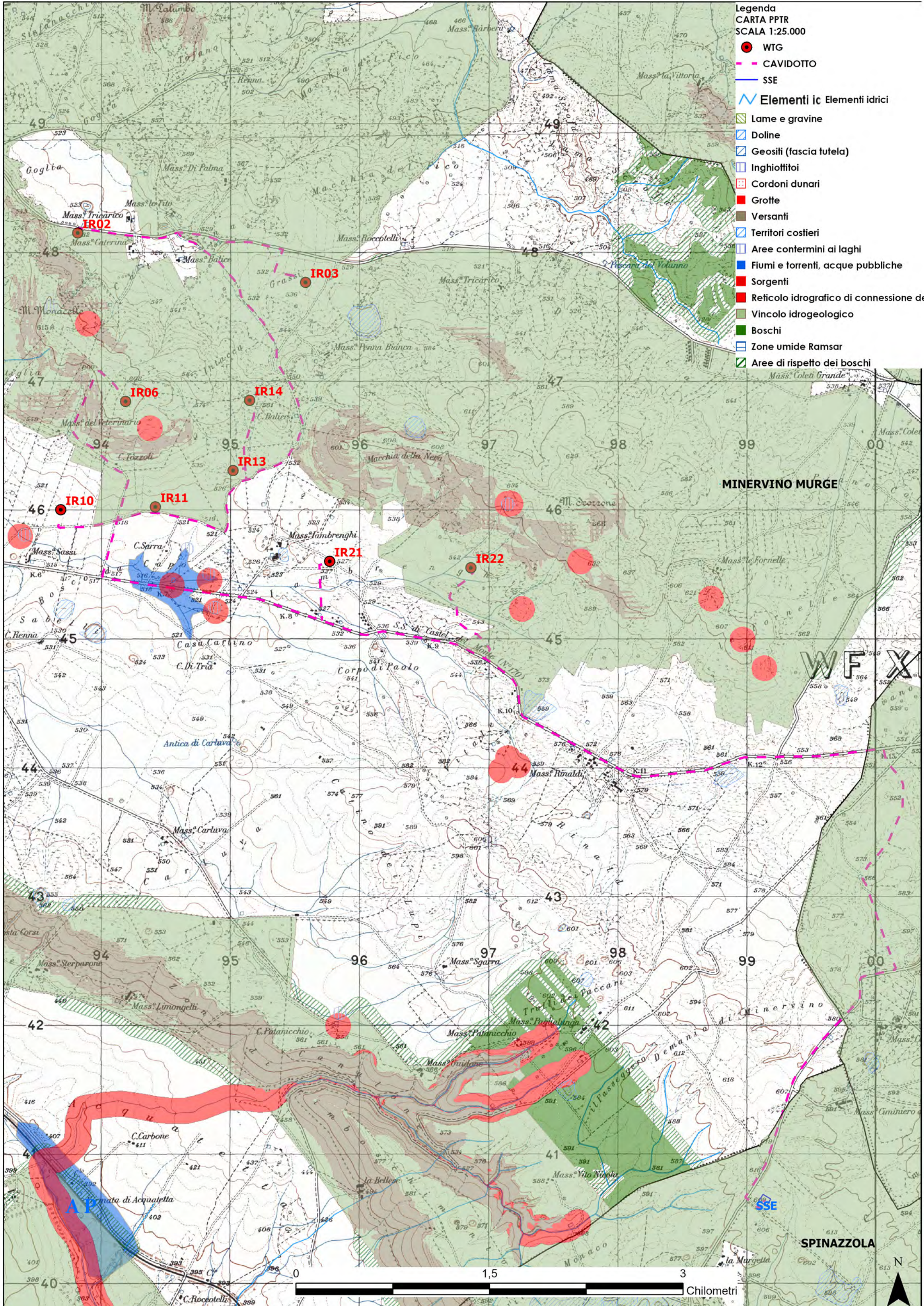
Il P.A.I. di riferimento è quello dell'Autorità di Bacino Competente (Autorità di Bacini Distrettuale dell'Appennino Meridionale – Ex AdB Puglia).

Trovandoci in presenza di litotipi sostanzialmente consistenti, Calcari stratificati, in condizioni morfologiche pressoché orizzontali, non sono segnalate aree sottoposte a rischio idraulico, né a rischio morfologico, a meno del tratto sopra citato di circa 480 m, indicato a rischio idraulico per possibile accumulo in area depressa.

#### **4.2. PPTR – COMPONENTI GEOMORFOLOGICHE - VINCOLO IDROGEOLOGICO**

In riferimento al Piano Paesaggistico Regionale vigente (P.P.T.R.), l'area di progetto, ad esclusione degli aerogeneratori IR10, IR21 e buona parte della linea di connessione esterna al parco, ricadono in zona perimetrata da vincolo idrogeologico. Il cavidotto non attraversa trasversalmente alcuna linea di reticolo.

- Legenda**  
**CARTA PPTR**  
**SCALA 1:25.000**
- WTG
  - CAVIDOTTO
  - SSE
  - ~ Elementi ic Elementi idrici
  - Lame e gravine
  - Doline
  - Geositi (fascia tutela)
  - Inghioffiti
  - Cordoni dunari
  - Grotte
  - Versanti
  - Territori costieri
  - Aree contermini ai laghi
  - Fiumi e torrenti, acque pubbliche
  - Sorgenti
  - Reticolo idrografico di connessione della
  - Vincolo idrogeologico
  - Boschi
  - Zone umide Ramsar
  - Aree di rispetto dei boschi



**MINERVINO MURGE**

**WF X**

**SPINAZZOLA**

0 1,5 3  
Chilometri



## 5. IDROGEOLOGIA E CARATTERI DI PERMEABILITA'

In riferimento alla presenza di falde nell'area d'interesse, è da rilevare che la cartografia relativa alle piezometriche di zona rappresentano la piezometrica (cfr. Carta Isopieze) essere posta ad una quota di alcuni metri sul l.m. (10-20 m), pertanto, trovandoci a quote comprese tra i 520-600 m. sul l.m., la piezometrica è soggiacente a non meno di 500 m. dal p.c.

In realtà la falda presente in loco è rappresentata da una falda a circolazione carsica in corrispondenza della formazione carbonatica mesozoica ribassata, al di sotto di formazioni argillose che rappresentano il tetto impermeabile della stessa che circola nella formazione carbonatica fratturata e carsificata.

In questa zona il tetto del substrato carbonatico è segnalato a quote dal p.c. affiorante o dipoco mascherato da coltre detritica o terrigena, pertanto la falda risulta essere sostanzialmente protetta da eventuali contaminazioni derivanti da infiltrazione diretta verticale.

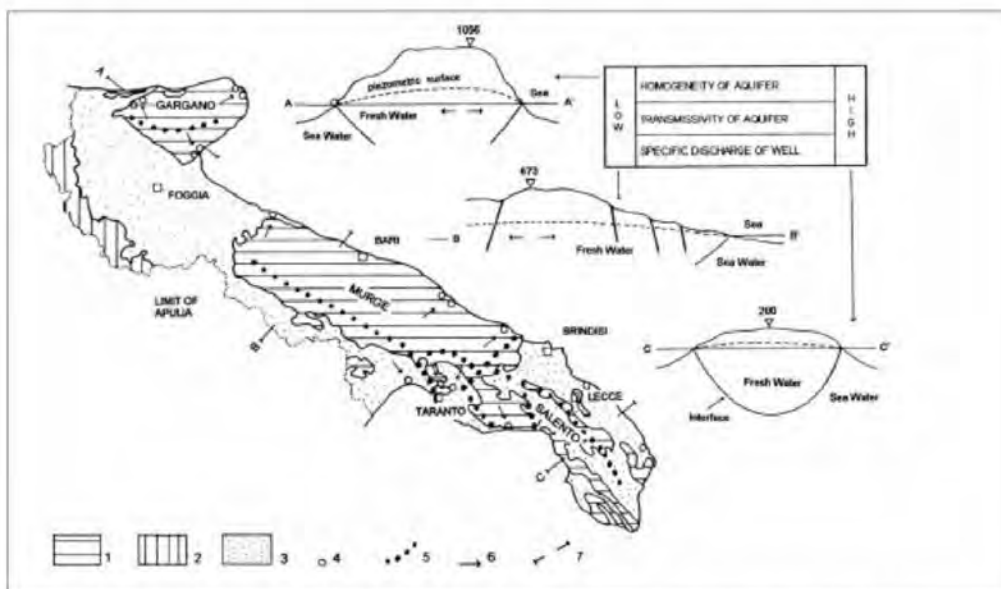


Figura 2 – Schema idrogeologico della Puglia. Legenda: (1) Rocce calcareo – dolomitiche mesozoiche; (2) Unità alloctone della catena appenninica; (3) Sedimenti plio-pleistocenici dell'avanfossa; (4) principali sorgenti costiere; (5) spartiacque idrogeologico; (6) direzione del flusso idrico sotterraneo; (7) traccia delle sezioni [da Maggiore e Pagliarulo, 2003a]

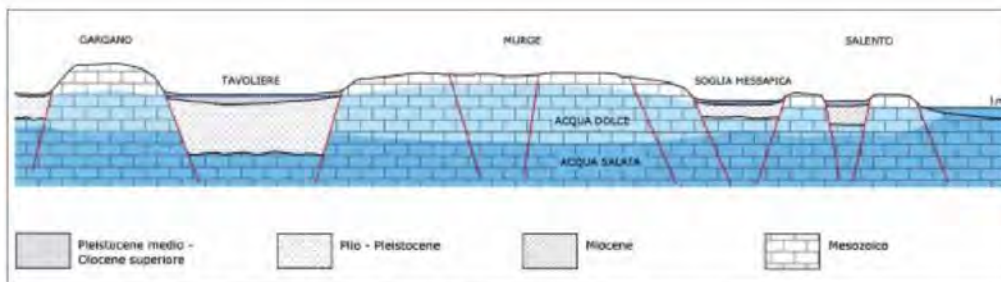








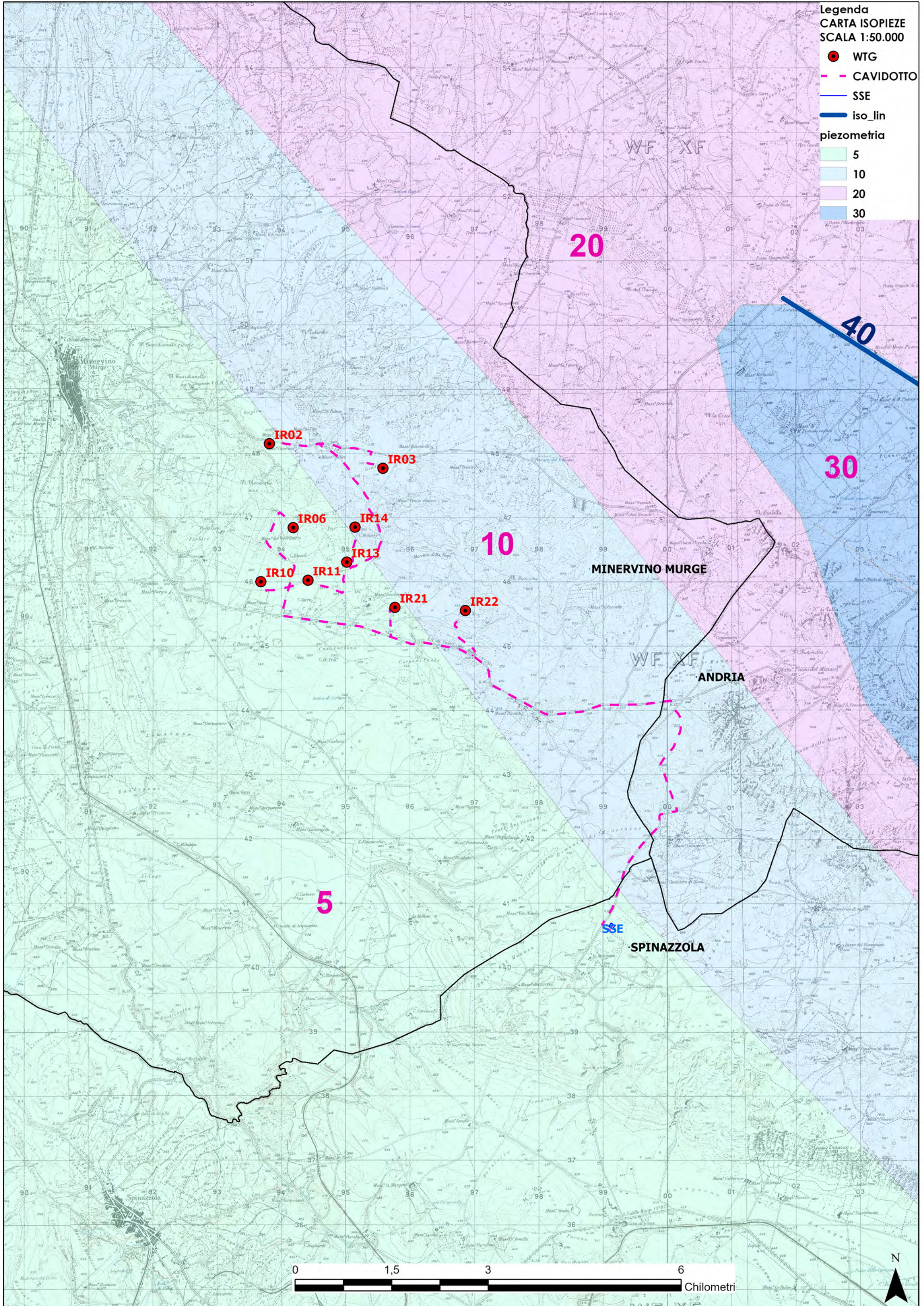


Figura 3 – Sezione idrogeologica attraverso la parte affiorante della piattaforma apula

Legenda  
CARTA ISOPIEZE  
SCALA 1:50.000

-  WTG
-  CAVIDOTTO
-  SSE
-  iso\_lin
- piezometria
  -  5
  -  10
  -  20
  -  30



0 1,5 3 6 Chilometri





• PERMEABILITÀ DEI LITOTIPI

La presenza in profondità e l'estensione degli acquiferi sono determinate dall'alternanza dello strato di fratturazione della formazione carbonatica che, come detto prima, può variare dal molto permeabile ad impermeabile, in base al suo grado di fratturazione.

COLONNA STRATIGRAFICA	LITOTIPI PREVALENTI	UNITA' LITOSTRATIGRAFICHE	ETA'	PERMEABILITA'		UNITA' IDROGEOLOGICHE
				TIPO	GRADO	
	Limi argillosi e sabbie siltose	Depositi lacustri	Olocene	Primaria (porosità d'interstizi)	Da poco permeabile ad impermeabile	Acquitardo
	Ghiaie e sabbie stratificate da poco a mediamente addensate con lenti limose	Depositi marini e alluvionali, terrazzati e non	Olocene-Pleistocene medio superiore		Mediamente permeabile	Acquifero alluvionale
	Limi argillosi con intercalazioni di sabbie	Argille Subappennine	Pleistocene inferiore -Pliocene medio	Secondaria (fessurazione e/o carsismo)	Impermeabile	Acquicludo
	Calcareniti a grana grossolana, tenere, porose "Tufo calcareo"	Calcarenite di Gravina	Miocene superiore		Poco permeabile	Acquifero sabbioso
	Calcari detritico-organogeni	Calcareniti bioclastiche e Calcari massicci di scogliera	Miocene superiore	Secondaria (fessurazione e/o carsismo)	Da poco a mediamente permeabile	Acquifero carsico
	Calcari e dolomie, stratificati e fratturati, a luoghi, carsificati	Calcari delle Murge	Cretaceo inferiore-Giura superiore		Da mediamente permeabile a molto permeabile	

Fig. 1 Serie idrogeologica delle Unità dell'Avanfossa appenninica.

Estratto da Tesi di Laurea Di Lella Nazario in Idrogeologia e Geotermia – Univ. Di Bari Dip. di Geologia e Geofisica "Caratteri della circolazione idrica profonda del Tavoliere"

Sulla scorta di una stima indiretta del grado di permeabilità di ciascuna unità della locale serie litostratigrafica, basata sulla osservazione e correlazione di parametri diversi (fessurazione, grado di addensamento, granulometria predominante, cadenti piezometriche, ecc..), le condizioni idrogeologiche delle rocce presenti nel territorio risultano quelle schematizzate in Tabella 1.

TABELLA N°1

FORMAZIONE	PERMEABILITÀ	LITOLOGIA	FALDA
Calcareniti di Gravina/M. castiglione	per porosità primaria (porosità d'interstizi)	Calcareniti a grana grossolana tenere, porose "Tufo Calcareo"	assente
Argille e limi sabbiosi	porosità solo di tipo interstiziale (impermeabili)	sciolta coerente	assente
Basamento Calcareo mesozoico	permeabile per fessurazione e carsismo	lapidea	falda profonda

Il grado di permeabilità risulta variabile localmente, in relazione ai fattori più disparati quali: assortimento granulometrico, incisività di fenomenologie paracarsiche, struttura e diagenesi del deposito, fratturazione del basamento, condotti carsici.

In particolare le facies dei calcari mesozoici sono da ritenersi dotate di scarsa permeabilità al tetto, dove sono presenti calcari non fratturati, a permeabile per fessurazione e carsismo, in profondità, in corrispondenza di livelli particolarmente fratturati e/o carsificati.

I calcari sono quindi dotati di permeabilità secondaria per fessurazione e carsismo medio-alta.

In base ai criteri litologici descritti ed alle osservazioni di campagna, i terreni affioranti possono essere così classificati secondo il tipo di permeabilità.

➤ **Terreni permeabili per porosità intergranulare**

A questa categoria sono correlabili le rocce sciolte di natura sabbiosa-limosa inerenti all'area in esame, attribuibili ai "Depositi alluvionali e marini terrazzati".

Tali depositi hanno medie capacità di contenimento e di trasmissione idrica e pertanto svolgono, assieme alla componente calcarenitica dei depositi marini terrazzati, il ruolo idrostrutturale di acquifero superiore, vale a dire contengono una falda superficiale di modesta entità.

**Permeabilità:** Primaria, per porosità, e definita da un Coefficiente di Conducibilità variabile tra  $1,0 \times 10^{-4}$  e  $1,0 \times 10^{-6}$  cm/sec, in funzione delle componenti lenticolari argillose presenti localmente in interstrato.

➤ **Terreni permeabili per porosità intergranulare ed interstratale**

A questa categoria sono correlabili i depositi sciolti di natura calcarenitica sabbiosa e ghiaiosa. La porosità efficace di tali rocce risulta non trascurabile, difatti, sono considerate mediamente permeabili e svolgono il ruolo idrostrutturale di acquifero superficiale, vale a dire, di contenitore della falda superficiale pleistocenica, attribuibile alle unità basali delle "Sabbie e ghiaie di deposizione marina", ovvero ruolo di "acquitarzo" in caso di aumento del loro grado di compattezza.

**Permeabilità:** Primaria, per porosità, e definita da un Coefficiente di Conducibilità variabile tra  $1,0 \times 10^{-3}$  e  $1,0 \times 10^{-5}$  cm/sec, in funzione delle componenti lenticolari argillose presenti localmente in interstrato.

➤ **Terreni impermeabili**

I terreni riconducibili alla formazione delle Argille grigio azzurre plioceniche, poiché dotate esclusivamente di porosità di tipo interstiziale, hanno grande capacità di contenimento idrico e, al contrario, la trasmissività risulta essere nulla. Sono attribuibili queste caratteristiche idrogeologiche alle unità argillose plioceniche.

Il ruolo idrostrutturale cui assurgono le rocce argillose in oggetto risulta essere quello di acquicludo e di base impermeabile per l'acquifero superiore.

**Permeabilità:** Acquicludo, è definita da un Coefficiente di Conducibilità molto basso  $1,0 \times 10^{-5}$  e  $1,0 \times 10^{-7}$  cm/sec. Risulta comunque essere contenitore di una modesta falda discontinua in corrispondenza di livelli

prevalentemente sabbiosi fini, posti a quote prossime ai 300-500 m. dal p.c. rappresentante la cosiddetta Falda intermedia Pliocenica, rinvenibile esclusivamente ed in maniera discontinua nei territori dell'alto Tavoliere (sud di Torremaggiore, Sud di S. Severo, Nord di Lucera).

➤ **Rocce permeabili per fessurazione e per carsismo**

Sono rappresentati dai calcari del cretaceo. Più che un acquifero vero e proprio sfruttabile, in questa zona dove il basamento carbonatico è posto a quote elevate, rappresentano acque connate legate a bacini di accumulo petrolifero e gassoso. La presenza di fratture, piani di stratificazione, e condotti carsici dovuti all'allargamento di fratture e giunti di strato, costituiscono una rete fessurativa che conferisce all'ammasso roccioso un'elevata permeabilità che varia sia verticalmente che lateralmente al variare del grado di fratturazione e della natura litologica della roccia cretacea (Calcarea e calcareo-dolomitica).

L'elevata capacità di contenimento e di circolazione idrica, e l'elevata porosità efficace, rendono i calcari in oggetto idonei a svolgere il ruolo idrostrutturale di acquifero inferiore, ovvero di contenitore per la falda carsica profonda, direttamente collegate, come bacino di alimentazione, con la circolazione delle acque appartenenti all'Idrostruttura profonda del tavoliere e della fascia pedegarganica.

**Permeabilità:** Primaria, per fessurazione e carsismo, e definita da un Coefficiente di Conducibilità Idraulica variabile tra  $1,0 \times 10^{-6}$  e  $1,0 \times 10^{-2}$  cm/sec, con valori medi dell'ordine di  $1,0 \times 10^{-3}$  cm/sec, in funzione del grado di fatturazione e fessurazione del basamento carbonatico.

## 6. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE LOCALI

Il sito, sulla base di quanto riportato nella carta Geologica d'Italia 1:100.000 (F. 176), ricade nella fascia di affioramento dei "Cc7-3 - Calcarea di Bari": calcari detritici a grana fine, di colore bianco o nocciola, stratificati. Calcari dolomitici e dolomie con un livello di breccia (età: Turoniano-Barremiano) spessore circa 1300 metri.

È costituito da una potente successione di strati di calcari in prevalenza detritici, generalmente a grana fine, spesso dolomitizzati, dal colore bianco, rosato o grigio. I calcari caratterizzano i livelli alti della sequenza, mentre dolomie e calcari dolomitici ricorrono frequentemente nella parte inferiore e in quella media.

### - SERIE PRESENTE IN AREA:

Morfologicamente l'area è ubicata in corrispondenza di una spianata leggermente inclinata verso la linea di costa adriatica, dove si rinvengono formazioni carbonatiche mesozoniche appartenenti all'Avampase Pugliese Murgiano.

**Cc7-3 - Calcarea di Bari:** calcari detritici a grana fine, di colore bianco o nocciola, stratificati. Calcari dolomitici e dolomie con un livello di breccia (età: Turoniano-Barremiano) spessore circa 1300 metri.

È costituito da una potente successione di strati di calcari in prevalenza detritici, generalmente a grana fine, spesso dolomitizzati, dal colore bianco, rosato o grigio. I calcari caratterizzano i livelli alti della sequenza, mentre dolomie e calcari dolomitici ricorrono frequentemente nella parte inferiore e in quella media.

L'unità affiora nella sola area del Foglio «Barletta» per uno spessore non calcolabile con precisione, ma comunque dell'ordine dei milletrecento metri.

I suoi strati più antichi si rilevano nei territori di Barletta, di Andria e di Trani in corrispondenza della blanda Anticlinale di Monte Acuto (MARTINIS, 1961). Si tratta, dal basso, di dolomie massicce, per uno spessore di circa 100 metri e di calcari, per circa 200 metri. Al contatto tra dolomie e calcari è presente un banco biostromale, scoperto solo molto recentemente, segnalato con nome di «Livello Andria» (CAMPOBASSO, LUPERTO SINNI RICCHETTI, 1971) e riferibile al Barramiano. Questa successione basale termina con un orizzonte ad Orbitoline, segnalato anch'esso di recente (RICCHETTI, 1969).

Al di sopra si inizia una sequenza di strati calcarei potente circa 300 metri, nella quale si distinguono dal basso il «Livello Corato» (VALDUGA, 1965) con Toucista sp., riferito nel foglio al Barramiano e il «Livello Palese» (VALDUGA, Op. cit.) (Albiano). In seguito al ritrovamento di associazioni microfossilifere guida negli strati immediatamente sovrastanti al Livello Corato, quest'ultimo risulta oggi riferibile al passaggio Aptiano-Albiano (CAMPOBASSO, LUPERTO SINNI RICCHETTI, op. cit.).

La serie continua in alto con strati di dolomie, di calcari dolomitici e (dopo un livello di breccia) di calcari detritici, per uno spessore di circa 700 metri. Verso la metà di questo spessore è osservabile un altro livello guida, riconosciuto in gran parte delle Murge, il «Livello Sannicandro», costituito da un banco di calcare ceroide, bianco. Questo livello è riferibile al Cenomaniano.

Una bancata di calcare macroorganogeno a Radioliti, Requienidi e Nerincidi riferibile al Turoniano («Livello Toritto») si nota infine nella parte alta, del Calcare di Bari.

Nel complesso, l'unità mostra di essere stata generalmente deposta in ambiente di piattaforma, o addirittura costiero; in alcuni livelli vi si riconoscono anche facies salmastre.

**Q<sup>tc</sup> - Calcarenite di Gravina:** calcareniti bianche o giallastre (Calabriano-Pliocene sup.); spessore variabile, fino ad alcune decine di metri.

L'affioramento del Calcare di Bari è bordato da una fascia pressoché continua di depositi trasgressivi, arenitici, scarsamente coerenti, (indicati nella regione col nome di «Tufi») che costituiscono la base della serie di riempimento della Fossa bradanica. Verosimilmente questi depositi sono presenti solo lungo il bordo del bacino.

Si tratta di calcareniti e a luoghi di bioclastiti biancastre o giallastre, di ambiente litorale, generalmente prive di stratificazione; solo in alcuni affioramenti (ad es. negli immediati dintorni di Canosa di Puglia) la parte superiore della formazione appare clinostratificata. L'appoggio sul Calcare di Bari è segnato in genere da un livello di conglomerato con elementi provenienti dallo stesso Calcare; tale conglomerato, che a luoghi può anche mancare, è scarsamente cementato da una matrice calcarenitica.

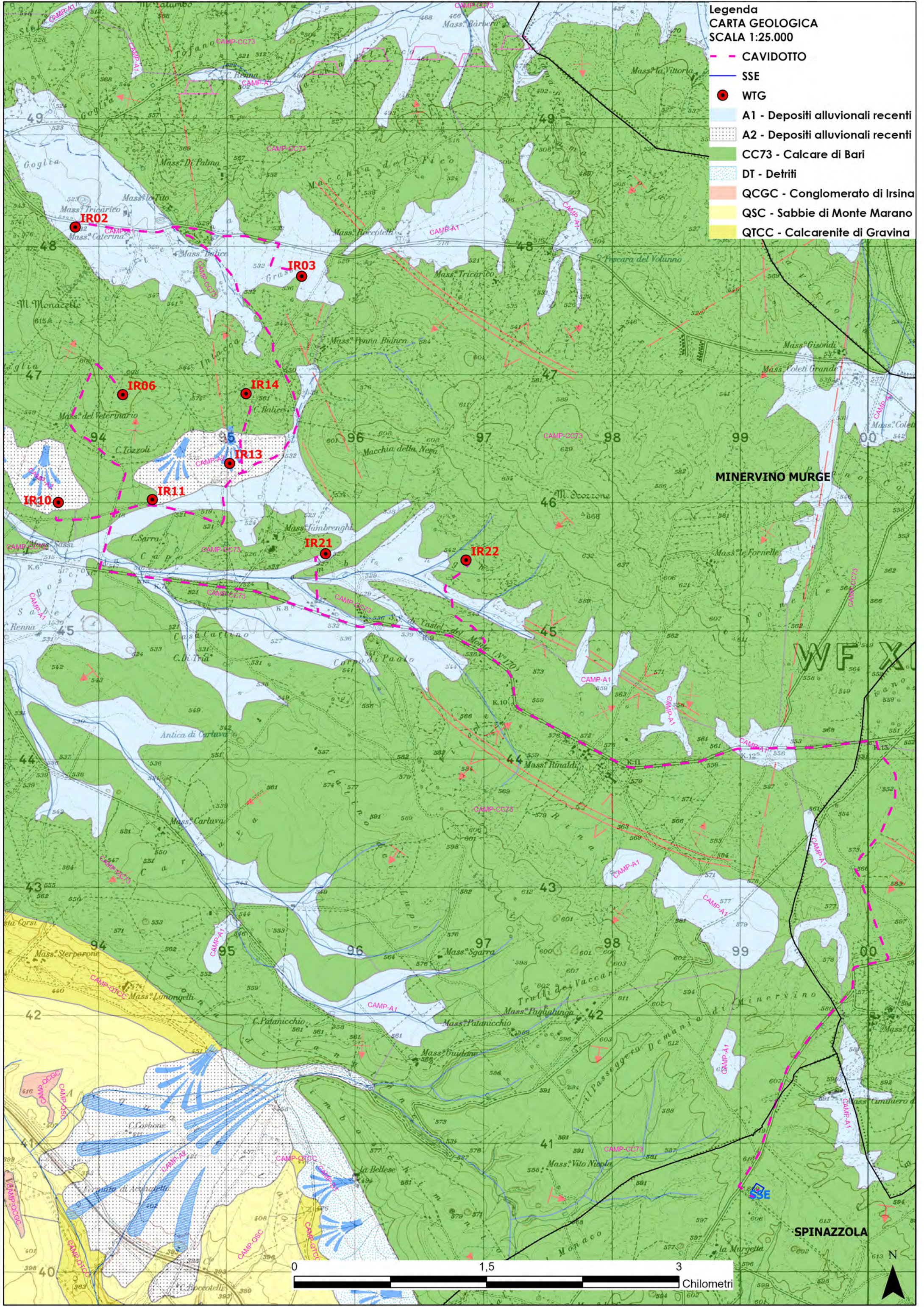
#### **a<sub>1</sub>; a<sub>2</sub>; a - Depositi alluvionali recenti.**

a<sub>1</sub> - Entro l'area dei due fogli, gli alvei di gran parte dei corsi d'acqua mostrano sottili spessori di depositi alluvionali terrazzati in gran prevalenza ciottolosi; nei solchi erosivi («lame») incisi nei calcari cretacei, questi depositi sono essenzialmente ciottoloso-terrosi.

a<sub>2</sub>; a - Nell'alveo dell'Ofanto, i depositi a, risultano incisi più o meno profondamente dal corso d'acqua, in vicinanza del quale si riconosce un ultimo deposito, anch'esso quasi esclusivamente ciottoloso (contrassegnato nel Foglio «Trinitapoli» con la sigla a e nel Foglio «Barletta» con a<sub>2</sub>).

Legenda  
CARTA GEOLOGICA  
SCALA 1:25.000

- CAVIDOTTO
- SSE
- WTG
- A1 - Depositi alluvionali recenti
- A2 - Depositi alluvionali recenti
- CC73 - Calcare di Bari
- DT - Detriti
- QCGC - Conglomerato di Irsina
- QSC - Sabbie di Monte Marano
- QTCC - Calcarenite di Gravina



0 1,5 3  
Chilometri



## 7. CARATTERI GEOLOGICO-TECNICI DEI TERRENI AFFIORANTI

In assenza di dati provenienti da indagini specifiche del parco eolico in esercizio, i principali parametri geotecnici possono essere preliminarmente definiti sulla base della natura dei terreni affioranti definiti da una campagna d'indagine geofisica che ha visto la esecuzione di n° 10 stendimenti Sismici a Rifrazione combinati con sondaggi sismici di tipo MASW.

Dalla cartografia geologica dell'area d'interesse, combinate con le indagini geofisiche, hanno permesso di definire un modello generale a tre unità litologica-geotecnica progressivamente rappresentate da:

Unità litologica 1 → Copertura terrigena e/o detritica (spessore medio 1,5 m.)

Unità Litologica 2 → Calcari molto fratturati (spessore medio 5-6 m.)

Unità litologica 3 → Calcari med.-poco fratturati (spessore > 30 m.)

Ai rispettivi profili lito-stratigrafici è stato possibile associare dei valori geotecnici tipo di seguito riportati.

### - Coperture Terrigene e/o detritiche

I valori dei principali parametri geotecnici variano entro ampi intervalli in base alla più o meno variabilità della componente litica, essendo questa composta prevalentemente da detriti prevalentemente calcarei, mentre la componente fine è rappresentata da limi ed argille prevalentemente rossiccia di natura residuale

Il peso dell'unità di volume del terreno secco è compreso fra 1,8 e 1,9 t/m<sup>3</sup>, con discrete caratteristiche di resistenza meccanica, definite da valori del parametro  $C_u = 0,5$  e  $0,8$  Kg/cm<sup>2</sup>, con angoli di attrito interno  $25^\circ \div 28^\circ$ .

Parametri fisico-meccanici	Coperture Terrigene e/o detritiche
Peso di volume	1,8 ÷ 1,90 t/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito interno ( $\phi^\circ$ )	25° ÷ 28 °
Coesione non drenata ( $C_u$ )	0,5 ÷ 1,0 kg/cm <sup>3</sup>

## Calcari molto fratturati

I valori dei principali parametri geotecnici variano entro intervalli dettati dal grado di fratturazione ed alterazione della formazione calcarea e dall'eventuale riempimento e cementazione delle fratture.

Il peso dell'unità di volume del terreno secco è compreso fra 2,2 e 2,4 t/m<sup>3</sup>, con buone caratteristiche di resistenza meccanica, definite da valori del parametro  $C_u = 2,0$  e 3,0 Kg/cm<sup>2</sup>, con angoli di attrito interno 40° ÷ 45°.

Parametri fisico-meccanici	Coperture Terrigene e/o detritiche
Peso di volume	2,2 ÷ 2,4 t/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito interno ( $\phi^\circ$ )	40° ÷ 45 °
Coesione non drenata ( $C_u$ )	2,0 ÷ 3,0 kg/cm <sup>3</sup>
R.Q.D.	15% ÷ 30%

## Calcari med.-poco fratturati

I valori dei principali parametri geotecnici variano entro intervalli dettati dal grado di fratturazione ed alterazione della formazione calcarea stratificata, oltre che dello spessore dei singoli strati.

Il peso dell'unità di volume del terreno secco è compreso fra 2,4 e 2,6 t/m<sup>3</sup>, con ottime caratteristiche di resistenza meccanica, definite da valori del parametro  $C_u = 4,0$  e 5,0 Kg/cm<sup>2</sup>, con angoli di attrito interno > 45°.

Parametri fisico-meccanici	Coperture Terrigene e/o detritiche
Peso di volume	2,4 ÷ 2,6 t/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito interno ( $\phi^\circ$ )	> 45 °
Coesione non drenata ( $C_u$ )	4,0 ÷ 5,0 kg/cm <sup>3</sup>
R.Q.D.	30% ÷ 50%



## 7.1. CAMPAGNA D'INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la definizione di un'adeguata modellizzazione geotecnica del volume significativo, ad integrazione della definizione del quadro geologico-geotecnico delle aree interessate dal progetto, già in questa fase progettuale, si è proceduto ad espletare una serie di indagini geofisiche, programmando il completamento delle stesse per una fase esecutiva, quando si eseguiranno sondaggi meccanici puntuali in corrispondenza di ognuno degli aerogeneratori di progetto.

Allo stato attuale sono stati eseguiti le seguenti indagini dirette:

- esecuzione di n. 10 sondaggi Simici a Rifrazione per una prima definizione sismico-stratigrafica dei siti di imposta degli aerogeneratori e della SSE;
- esecuzione di n. 10 sondaggi Simici di tipo MASW per la classificazione sismica di sito per gli aerogeneratori e la SSE, definendo la  $V_{s,eq}$  da assegnare ad ognuno di essi, ai sensi delle NTC 2018.

### UBICAZIONE DELLE INDAGINI

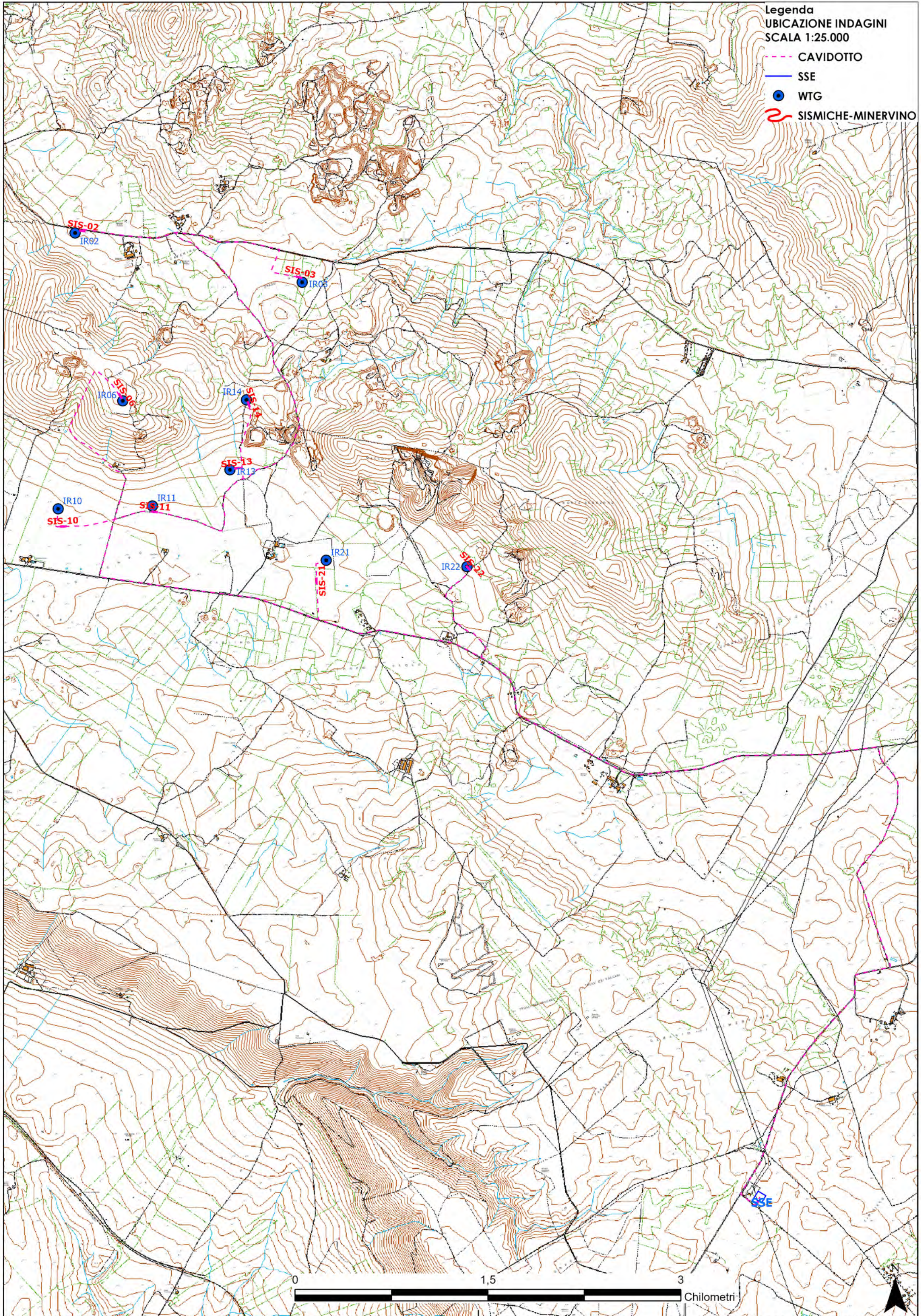
In corrispondenza di n° 10 punti d'indagine si è quindi proceduto altri e tanti stendimenti geofisici con prove di tipo Sismica a rifrazione (SIS) e di tipo MASW, permettendo di acquisire alcuni parametri sismo-stratigrafici e dinamici dei terreni investigati, definizione di un profilo sismo stratigrafico del sito e definizione del profilo sismico di sito da associare al "Terreno Tipo" come previsto dalle NTC 2018.

Naturalmente in fase di progettazione esecutiva, di dovrà portare a completamento la campagna d'indagini geognostiche eseguendole in corrispondenza di ognuno degli aerogeneratori di progetto, con perforazione a carotaggio continuo da spingersi fino alla profondità di circa 35 m. dal p.c. ., prelievo di campioni da inviare in laboratorio e prove dirette in foro.

Si riportano di seguito le risultanze delle prove geofisiche espletate con sintesi dei dati stratigrafici e sismici rilevati, ubicazioni dei punti d'indagine stessi, con una breve descrizione delle metodologie applicate; in allegato si riportano i report d'indagine specifici completi.

Legenda  
UBICAZIONE INDAGINI  
SCALA 1:25.000

- CAVIDOTTO
- SSE
- WTG
- ~ SISMICHE-MINERVINO



## • MODALITÀ INDAGINE

Le investigazioni geofisiche (SIS-MASW), consistite in stendimenti di acquisizione di Sismica a Rifrazione Combinata con prove MASW, hanno consentito di definire la modellazione dinamica del sottosuolo e di individuare i ranges specifici di frequenze associati alle massime amplificazioni per la maggior parte delle torri di progetto, fornendo una distribuzione areale sufficientemente dettagliata della variabilità dei profili sismici di sito. Tale aspetto è particolarmente importante ai fini strutturali, per evitare fenomeni di risonanza, in caso di shock sismico, verifica da espletarsi obbligatoriamente per il giusto dimensionamento delle strutture nella fase di progettazione esecutiva.

Nell'area oggetto di studio è stata applicata una specifica metodologia d'indagine geofisica, di cui vengono evidenziati brevemente i fondamenti teorici.

### ✓ PROSPEZIONE SISMICA DI TIPO MASW

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:

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

Dove

$h_i$  = spessore dello strato  $i$ esimo;

$V_{si}$  = 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/sec.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali a piano campagna. 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.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Tale parametro può essere determinato attraverso indagini indirette ed in particolar modo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh, ossia onde di superficie generate dall'interazione tra onde di pressione ( $P$ ) e le onde di taglio verticali ( $S_v$ ) ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo.

In presenza di un semispazio non omogeneo la loro velocità presenta dipendenza dalla frequenza, provocando dispersione della loro energia.

La dispersione è la deformazione di un treno d'onde nel sottosuolo dovuta ad una variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza; per le onde di Rayleigh questa deformazione non si manifesta all'interno di un semispazio omogeneo e isotropo ma solo quando questi presenta una stratificazione.

Nelle nuove metodologie sismiche d'indagine del sottosuolo si considerano le onde di superficie in quanto la percentuale di energia convertita è di gran lunga predominante rispetto alle onde  $P$  ed  $S$ ; inoltre l'ampiezza di tali onde dipende da  $\sqrt{r}$  anziché da  $r$  (distanza dalla sorgente in superficie) come per le onde di volume.

La propagazione delle onde di Rayleigh, sebbene influenzata dalla  $V_p$  e dalla densità, è funzione anzitutto della  $V_s$ , che rappresenta un parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito.

L'analisi delle onde  $S$  mediante tecnica MASW viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, che, a seguito di una trasformata di Fourier, restituisce lo spettro del segnale. In questo dominio è possibile separare il segnale relativo alle onde  $S$  da altri tipi di segnale, come onde  $P$ , propagazione in aria ecc.

Osservando lo spettro di frequenza è possibile evidenziare che l'onda  $S$  si propaga a velocità variabile a seconda della sua frequenza, come risultato del fenomeno della dispersione.

La metodologia Masw risulta particolarmente indicata in ambienti con spazature limitate e, a differenza della sismica a rifrazione, consente di individuare la presenza di inversioni di velocità con la profondità, associabili alla presenza di strati "lenti" al di sotto del bedrock roccioso.

Tuttavia, un limite di tale metodologia è che esso risente particolarmente del principio di indeterminazione e, fornendo un modello mono-dimensionale del sottosuolo, rende necessaria l'applicazione di altre metodologie d'indagine per fornire un modello geofisico-geologico più attendibile.

#### ✓ **PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE**

La prospezione sismica considera i tempi di propagazione di onde elastiche che, generate al suolo, si propagano nel semispazio riflettendosi e rifrangendosi su eventuali superfici di discontinuità presenti.

Quando un'onda sismica incontra una superficie di separazione tra due mezzi con caratteristiche elastiche differenti, una parte dell'energia dell'onda si riflette nello stesso mezzo in cui si propaga l'onda incidente, e una parte si rifrange nel mezzo sottostante.

Le relazioni matematiche dei principi fisici della riflessione e rifrazione sono regolate dalle note leggi di Snell. La condizione necessaria per la riflessione e la rifrazione di un raggio sismico è la variazione del parametro impedenza sismica fra i 2 mezzi separati dalla superficie di discontinuità. L'impedenza sismica si determina attraverso il prodotto tra la velocità di propagazione dell'onda nel mezzo per la densità del materiale attraversato.

Ogni litotipo è caratterizzato da una particolare velocità di propagazione, determinata sperimentalmente attraverso prove di laboratorio o in situ. La velocità di propagazione delle onde sismiche nelle rocce dipende essenzialmente dai parametri elastici che sono influenzati, a loro volta, da numerosi fattori quali, ad esempio, la densità, la porosità, la tessitura, il grado di alterazione e/o di fratturazione, la composizione mineralogica, la pressione, il contenuto di fluidi, ecc.

Questi parametri rendono piuttosto ampio il campo di variabilità della velocità per uno stesso litotipo. Per questo motivo, non sempre un orizzonte individuato con metodologie sismiche coincide con un orizzonte litologico e/o con un orizzonte associato alle relative velocità delle Vs (MASW).

Un impulso generato da una sorgente sismica in superficie genera un treno d'onde sismiche di varia natura; in fase di acquisizione e di elaborazione è possibile analizzare onde sismiche di volume o di superficie, a seconda delle modalità con cui esse si propagano nel sottosuolo.

In funzione del tipo di analisi delle onde sismiche investigate, è possibile distinguere fra la metodologia d'indagine sismica a rifrazione (analisi di onde di volume) e di tipo MASW (analisi di onde di superficie).

Disponendo un certo numero di sensori (geofoni) sul terreno lungo uno stendimento sismico e osservando il tempo di percorrenza delle onde per giungere ai sensori, è possibile determinare la velocità di propagazione delle onde sismiche che attraversano i vari strati nel sottosuolo, consentendo una ricostruzione attendibile delle sue caratteristiche elastico-dinamiche.

Al fine di una corretta interpretazione dei risultati dell'indagine sismica è importante sottolineare che:

- a) i sismostrati non sono necessariamente associabili a litotipi ben definiti, ma sono rappresentativi di livelli con simili caratteristiche elastiche, in cui le onde sismiche si propagano con la stessa velocità;
- b) la risoluzione del metodo è funzione della profondità di indagine e la risoluzione diminuisce con la profondità: considerato uno strato di spessore  $h$  ubicato a profondità  $z$  dal piano campagna, in generale non è possibile individuare sismostrati in cui  $h < 0.25 * z$ ;
- c) nelle indagini superficiali, le onde di taglio (onde S), meno veloci, arrivano in un tempo successivo, per cui il segnale registrato sarà la risultante delle onde S con le onde P; quindi la lettura dei tempi di arrivo delle onde S può risultare meno precisa della lettura dei tempi di arrivo delle onde P;

d) le velocità delle onde p, misurate in terreni saturi o molto umidi dipende, talora in maniera decisiva, dalle vibrazioni trasmesse dall'acqua interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, perciò tale valore può non essere rappresentativo delle proprietà meccaniche del materiale in questione. Ne consegue che per alcuni terreni al di sotto della falda, le uniche onde in grado di fornire informazioni precise sulla rigidezza del terreno sono quelle di taglio.

### ➤ STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Le prospezioni geofisiche sono state eseguite con l'ausilio della seguente strumentazione: Sismografo PASI mod. GEA24. (sismica 24 canali).



SPECIFICHE TECNICHE GEA 24	
Numero di canali	24 can. trigger (can. ALX) - 2 unità verticalizzabili per un tot. di 48 can.
Conversione Dati	Convertitore analogo/digitale Sigma-Delta 24 bit multi (compatibile con sensori analogici a qualsiasi frequenza di risposta)
Intervallo Campionamento	Acquisizioni "a pacchetto" - fino a 1,25 microsec (8000sp/s) con 24 can. - fino a 31,25 microsec (32000sp/s) con 8 can. - Acquisizione continua - fino a 4,000 microsec (2500sp/s) con 24 can. - fino a 500 microsec (2000sp/s) con 8 can.
Lunghezza Acquisizione	27500 campioni @ 24 can. (max) 174200 campioni @ 8 can. (max) Numero di campioni limitati per acquisizioni continue
Guadagno Preamp.	0/57 dB, stabilizzabile via software
Stacking	Numero di stacking illimitato
Impedenza di Ingresso	2M Ohm / 22nF
Range Dinamico	144dB (elettronica) / 117dB (elettronico, misurato @1Ksp/s)
Isolazione	0,000% @ 1kHz
Largh. Banda -3dB	static DC a 11,8kHz/30kHz - static DC a 0,21 kHz/30kHz
Largh. Banda +/-0,1dB	static DC a 3,5 kHz/320kHz - static DC a 0,11 kHz/30kHz
Filtri	Passa Basso 120-200-800-1000Hz Passa Alto 10-20-30-40-60-70-100-150-200-300-400Hz
Filtri "Notch"	50-60Hz - armoniche
Trigger	Condotto via telecomando wireless, normalmente spento (se per solo uso risposta), segnale analogico (pendente starter, starter predefinito), trigger TTL. Sensibilità del trigger regolabile via software
Visualizzazione Tracce	Wiggler-trace (formato oscilloscopio) stile variabile
Notifiche monitor	Tutti i canali - trigger - display in tempo reale
Cable ALX (optional)	1x (per il trigger o qualsiasi altro segnale in ingresso)
Interfaccia comunicazione	1x USB 2.0 per PC esterno (di fornitura Cliente)
Formato Dati	3862z (cani formati su richiesta)
Alimentazione	5VDC da USB, 0-25A
Temp. operativa/ritoccaggio	30°C to +60°C
Umidità	0/95% umidità relativa, non condensante
Dimensioni	21cm x 18,5cm x 11cm
Peso	2 Kg

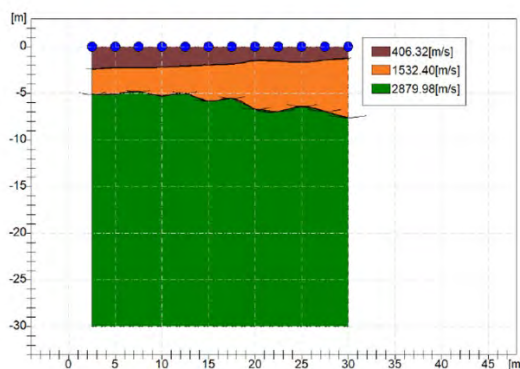
## 7.2. MODALITA' DI ESECUZIONE DEI RILIEVI: ATTIVITA' DI CAMPO

### Indagine sismica a rifrazione

L'indagine sismica a rifrazione è consistita nell'esecuzione di n. 06 profili con acquisizione di onde longitudinali (P), aventi le seguenti configurazioni spaziali e temporali:

- lunghezza stendimento = 32.5 m;
- numero geofoni = 12;
- Spaziatura = 2.5 m;
- End shot A = 0.0 metri;
- Central Shot E = 16.25 metri;
- End shot B = 32.5 metri;
- durata dell'acquisizione = 128 msec;
- tempo di campionamento = 250 µsec;
- Frequenza geofoni = 10.00 Hz;
- Sistema di energizzazione = "massa battente".

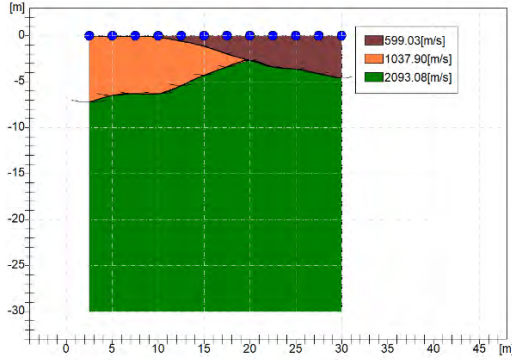
## RISULTATI INDAGINI SISMICA A RIFRAZIONE



MODULI DINAMICI IR-02			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	406	1532	2879
Velocità Onde S (m/s):	165	736	1450
Modulo di Poisson:	0,40	0,35	0,33
Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> ):	20,81	24,06	26,76
Peso di volume (g/cm <sup>3</sup> ):	2,12	2,45	2,73
<b>SPESORE MEDIO STRATO (m)</b>	<b>1,50</b>	<b>6,00</b>	<b>22,50</b>
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	1652	36621	155718
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Mpa o N/mm <sup>2</sup> )	162	3591	15271
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	58	1329	5737
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Mpa o N/mm <sup>2</sup> )	6	130	563
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm <sup>2</sup> ) (mod. di incompressibilità di volume)	2783	40682	152722
MODULO DI BULK (K) (Mpa o N/mm <sup>2</sup> )	273	3990	14977
MODULO DI YOUNG STATICO E <sub>stat</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	199	4412	18761
POROSITA' % (correlazione Rahsvky e Novik (1971) (%)	46,95	36,43	23,84
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) (valido per le terre)	350	6769	23646
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) (Relazione di Navier)	430	7090	27004
RIGIDITA' SISMICA (m/sec - KN/m <sup>3</sup> )	3434	17711	33799
Frequenza dello strato	27,50	30,67	16,11
Periodo dello strato	0,04	0,033	0,062
<b>B (Larghezza fondazione in m.)</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm <sup>3</sup> )	1,60	58,06	295,58
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm <sup>3</sup> )	15,74	569,40	298,65
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm <sup>3</sup> )	0,53	19,35	98,53
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm <sup>3</sup> )	5,25	189,80	966,22
ψ° (Angolo di Attrito °)	28,88	43,20	47,85
Cu (Coesione non drenata Cu Kg/cm <sup>2</sup> )	0,57	2,79	5,55

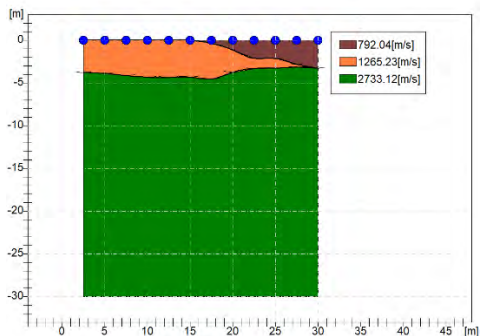
PROFILO SISMICO IR-02												
Prof.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρ	γ (g/cmc)	E(din.) (Kg/cm <sup>2</sup> )	E(stat.) (Kg/cm <sup>2</sup> )	G (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Edom. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	C' (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ°
1,50	406	165	0,40	2,122	1652	199	58	2783	430	0,57	0,23	29
7,50	1532	736	0,35	2,454	36621	4412	1329	40682	7080	2,79	1,11	43
30,00	2879	1450	0,33	2,729	155718	18761	5737	152722	27804	5,55	2,22	48





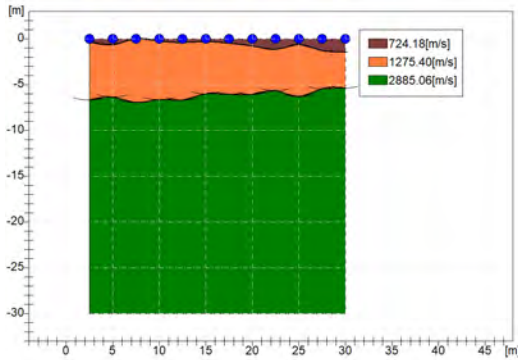
MODULI DINAMICI IR-03			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	599	1037	2093
Velocità Onde S (m/s):	244	736	1005
Modulo di Poisson:	0,40	-0,01	0,35
Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> ):	21,20	23,07	25,19
Peso di volume (g/cm <sup>3</sup> ):	2,16	2,35	2,57
<b>SPESORE MEDIO STRATO (m)</b>	<b>2,50</b>	<b>4,00</b>	<b>23,50</b>
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	3678	25815	71475
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Mpa o N/mm <sup>2</sup> )	361	2532	7009
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	129	1275	2594
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Mpa o N/mm <sup>2</sup> )	13	125	254
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm <sup>2</sup> ) (mod. di incompressibilità di volume)	6163	8478	79509
MODULO DI BULK (K) (Mpa o N/mm <sup>2</sup> )	604	831	7797
MODULO DI YOUNG STATICO E <sub>stat</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	443	3110	8611
POROSITA' % (correlazione Rhesvsky e Novik (1971) (%)	45,15	41,06	31,19
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) (valido per le terre)	776	2636	44260
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) (Relazione di Navier)	953	3144	43824
RIGIDITA' SISMICA (m/sec - KN/m <sup>3</sup> )	5172	16982	25312
Frequenza dello strato	24,40	46,00	10,69
Periodo dello strato	0,04	0,022	0,094
<b>B (Larghezza fondazione in m.)</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm <sup>2</sup> )	4,10	58,06	122,63
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm <sup>2</sup> )	40,24	569,40	1202,57
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm <sup>2</sup> )	1,37	19,35	40,88
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm <sup>2</sup> )	13,41	189,80	400,88
φ° (Angolo di Attrito °)	28,80	39,20	43,66
Cu (Coesione non drenata Cu Kg/cm <sup>2</sup> )	0,88	2,79	3,83

PROFILO SISMICO IR-03												
Prof.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρ	γ (g/cm <sup>3</sup> )	E(din.) (Kg/cm <sup>2</sup> )	E(stat.) (Kg/cm <sup>2</sup> )	G (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Edom. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	C' (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ°
2,50	599	244	0,40	2,162	3678	443	129	6163	953	0,88	0,35	29
6,50	1037	736	-0,01	2,353	25815	3110	1275	8478	3111	2,79	1,11	39
30,00	2093	1005	0,35	2,568	71475	8611	2594	79509	13831	3,83	1,53	44



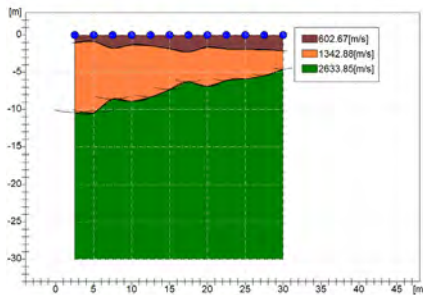
MODULI DINAMICI IR-06			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	792	1265	2733
Velocità Onde S (m/s):	348	607	1312
Modulo di Poisson:	0,38	0,35	0,35
Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> ):	21,58	23,53	26,47
Peso di volume (g/cm <sup>3</sup> ):	2,20	2,40	2,70
<b>SPESORE MEDIO STRATO (m)</b>	<b>1,50</b>	<b>3,50</b>	<b>25,00</b>
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	7509	24364	128012
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Mpa o N/mm <sup>2</sup> )	736	2389	12554
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	267	884	4645
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Mpa o N/mm <sup>2</sup> )	26	87	456
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm <sup>2</sup> ) (mod. di incompressibilità di volume)	10461	27151	142487
MODULO DI BULK (K) (Mpa o N/mm <sup>2</sup> )	1026	2663	13973
MODULO DI YOUNG STATICO E <sub>stat</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	905	2935	15423
POROSITA' % (correlazione Rhesvsky e Novik (1971) (%)	43,35	38,93	25,21
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) (valido per le terre)	1381	2840	30436
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) (Relazione di Navier)	1697	4720	24782
RIGIDITA' SISMICA (m/sec - KN/m <sup>3</sup> )	7511	14283	34723
Frequenza dello strato	58,00	43,36	13,12
Periodo dello strato	0,02	0,023	0,076
<b>B (Larghezza fondazione in m.)</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm <sup>2</sup> )	9,62	36,96	232,81
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm <sup>2</sup> )	94,34	358,56	2280,16
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm <sup>2</sup> )	3,21	12,19	77,50
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm <sup>2</sup> )	31,45	119,52	760,03
φ° (Angolo di Attrito °)	36,21	43,41	46,82
Cu (Coesione non drenata Cu Kg/cm <sup>2</sup> )	1,28	2,29	5,02

PROFILO SISMICO IR-06												
Prof.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρ	γ (g/cm <sup>3</sup> )	E(din.) (Kg/cm <sup>2</sup> )	E(stat.) (Kg/cm <sup>2</sup> )	G (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Edom. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	C' (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ°
1,50	792	348	0,38	2,201	7509	905	267	10461	1697	1,28	0,51	36
5,00	1265	607	0,35	2,399	24364	2935	884	27151	4720	2,29	0,91	43
30,00	2733	1312	0,35	2,699	128012	15423	4645	142487	24782	5,02	2,01	47



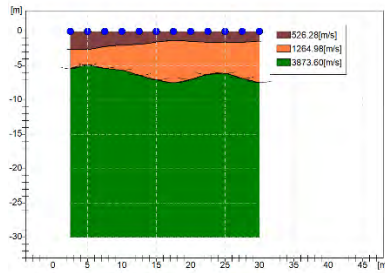
MODULI DINAMICI IR-10			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	742	1275	2885
Velocità Onde S (m/s):	295	612	1542
Modulo di Poisson:	0,41	0,35	0,30
Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> ):	21,48	23,55	26,77
Peso di volume (g/cm <sup>3</sup> ):	2,19	2,40	2,73
<b>SPESSORE MEDIO STRATO (m)</b>	<b>1,00</b>	<b>5,00</b>	<b>24,00</b>
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	5471	24786	172206
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Mpa o N/mm <sup>2</sup> )	537	2431	16888
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	191	899	6481
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Mpa o N/mm <sup>2</sup> )	19	88	637
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm <sup>2</sup> ) (mod. di incompressibilità di volume)	9714	27597	143530
MODULO DI BULK (K) (Mpa o N/mm <sup>2</sup> )	953	2706	14076
MODULO DI YOUNG STATICO E <sub>stat</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	699	2986	20748
POROSITA' % (correlazione Rzhevsky e Novik (1971) [%])	43,81	38,83	23,79
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) (valido per le terre)	1206	3904	22228
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) (Relazione di Navier)	1483	4798	27932
RIGIDITA' SIMMICA (m/sec - KN/m <sup>3</sup> )	6338	14413	41279
Frequenza dello strato	73,75	30,60	16,06
Periodo dello strato	0,81	0,833	0,862
<b>B (Larghezza fondazione in m.)</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm <sup>3</sup> )	6,47	37,29	342,61
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm <sup>2</sup> )	63,46	365,69	3389,82
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm <sup>3</sup> )	2,16	12,43	114,20
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm <sup>2</sup> )	21,15	121,90	1119,94
φ* (Angolo di Attrito °)	32,62	43,65	53,59
Cu (Coesione non drenata Cu Kg/cm <sup>2</sup> )	1,08	2,30	5,91

PROFILO SISMICO IR-10												
Prof.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρ	γ (g/cm <sup>3</sup> )	E(din.) (Kg/cm <sup>2</sup> )	E(stat.) (Kg/cm <sup>2</sup> )	G (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Edom. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	C' (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ°
1,00	742	295	0,41	2,191	5471	659	191	9714	1483	1,08	0,43	33
6,00	1275	612	0,35	2,401	24786	2986	899	27597	4799	2,30	0,92	44
30,00	2885	1542	0,30	2,730	172206	20748	6491	143530	27932	5,91	2,36	54



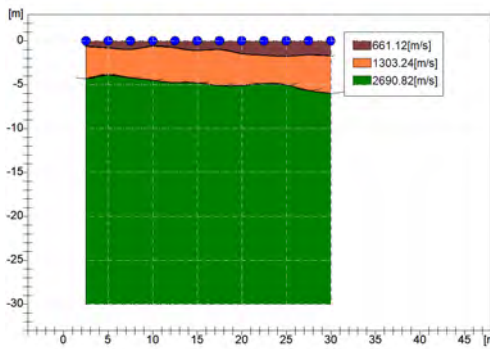
MODULI DINAMICI IR-11			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	602	1342	2633
Velocità Onde S (m/s):	265	645	1407
Modulo di Poisson:	0,38	0,35	0,30
Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> ):	21,20	23,68	26,27
Peso di volume (g/cm <sup>3</sup> ):	2,16	2,42	2,68
<b>SPESSORE MEDIO STRATO (m)</b>	<b>1,50</b>	<b>7,00</b>	<b>21,50</b>
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	4276	27677	140687
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Mpa o N/mm <sup>2</sup> )	419	2714	13787
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	152	1005	5302
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Mpa o N/mm <sup>2</sup> )	15	99	520
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm <sup>2</sup> ) (mod. di incompressibilità di volume)	5930	30712	117332
MODULO DI BULK (K) (Mpa o N/mm <sup>2</sup> )	582	3012	11506
MODULO DI YOUNG STATICO E <sub>stat</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	515	3334	16950
POROSITA' % (correlazione Rzhevsky e Novik (1971) [%])	45,12	38,21	26,14
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) (valido per le terre)	784	4248	48668
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) (Relazione di Navier)	963	5347	22828
RIGIDITA' SIMMICA (m/sec - KN/m <sup>3</sup> )	5619	15276	36956
Frequenza dello strato	44,17	23,04	16,36
Periodo dello strato	0,02	0,043	0,061
<b>B (Larghezza fondazione in m.)</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm <sup>3</sup> )	5,00	42,30	274,98
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm <sup>2</sup> )	49,06	414,82	2686,61
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm <sup>3</sup> )	1,67	14,10	91,66
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm <sup>2</sup> )	16,35	138,27	898,87
φ* (Angolo di Attrito °)	30,42	42,18	49,69
Cu (Coesione non drenata Cu Kg/cm <sup>2</sup> )	0,96	2,43	5,39

PROFILO SISMICO IR-11												
Prof.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρ	γ (g/cm <sup>3</sup> )	E(din.) (Kg/cm <sup>2</sup> )	E(stat.) (Kg/cm <sup>2</sup> )	G (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Edom. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	C' (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ°
1,50	602	265	0,38	2,162	4276	515	152	5930	963	0,96	0,38	30
8,50	1342	645	0,35	2,415	27677	3334	1005	30712	5347	2,43	0,97	42
30,00	2633	1407	0,30	2,678	140687	16950	5302	117332	22828	5,39	2,15	50



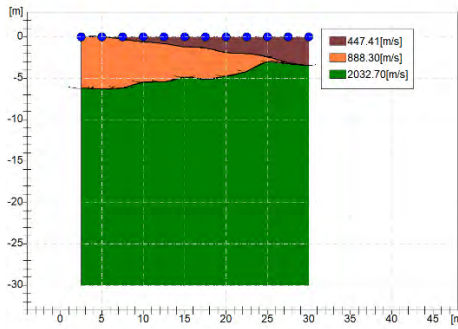
Prof.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	$\rho$	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	E(din.) (Kg/cm <sup>2</sup> )	E(stat.) (Kg/cm <sup>2</sup> )	G (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Edom. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	C' (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ °
1.50	526	231	0,38	2,147	3227	389	115	4502	730	0,83	0,33	28
7.50	1265	607	0,35	2,399	24364	2935	884	27151	4720	2,29	0,91	40
30.00	2873	2070	-0,04	2,727	229010	27591	11686	70713	27676	7,96	3,18	57

MODULI DINAMICI IR-13			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	526	1265	2873
Velocità Onde S (m/s):	231	607	2070
Modulo di Poisson:	0,38	0,35	-0,04
Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> ):	21,05	23,53	26,75
Peso di volume (g/cm <sup>3</sup> ):	2,15	2,40	2,73
<b>SPESORE MEDIO STRATO (m)</b>	<b>1,50</b>	<b>6,00</b>	<b>22,50</b>
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	3227	24364	229010
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	316	2389	22458
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	115	884	11686
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	11	87	1146
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm <sup>2</sup> ) (mod. di incompressibilità di volume)	4502	27151	70713
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	442	2663	6935
MODULO DI YOUNG STATICO E <sub>stat</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	389	2935	27591
POROSITA' % (correlazione Rzhavsky e Novik (1971) (%)	45,83	38,93	23,90
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) (valido per le terre)	594	3840	22644
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) (Relazione di Navier)	730	4720	27676
RIGIDITA' SISMICA (m/sec · KN/m <sup>3</sup> )	4863	14283	55364
Frequenza dello strato	38,50	25,29	23,00
Periodo dello strato	0,03	0,040	0,043
<b>B (Larghezza fondazione in m.)</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm <sup>2</sup> )	3,60	36,56	694,68
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm <sup>2</sup> )	35,28	358,56	6811,48
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm <sup>2</sup> )	1,20	12,19	231,53
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm <sup>2</sup> )	11,76	119,52	2270,49
$\phi$ * (Angolo di Attrito °)	27,76	40,41	57,23
Cu (Coesione non drenata Cu Kg/cm <sup>2</sup> )	0,83	2,29	7,96



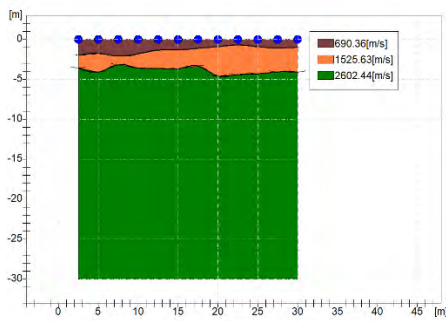
Prof.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	$\rho$	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	E(din.) (Kg/cm <sup>2</sup> )	E(stat.) (Kg/cm <sup>2</sup> )	G (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Edom. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	C' (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ °
1.00	661	290	0,38	2,174	5153	621	183	7206	1168	1,06	0,42	32
5.00	1303	626	0,35	2,407	25988	3131	943	28868	5024	2,36	0,94	41
30.00	2690	1438	0,30	2,690	147569	17779	5562	122942	23930	5,51	2,20	49

MODULI DINAMICI IR-14			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	661	1303	2690
Velocità Onde S (m/s):	290	626	1438
Modulo di Poisson:	0,38	0,35	0,30
Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> ):	21,32	23,61	26,38
Peso di volume (g/cm <sup>3</sup> ):	2,17	2,41	2,69
<b>SPESORE MEDIO STRATO (m)</b>	<b>1,00</b>	<b>4,00</b>	<b>25,00</b>
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	5153	25988	147569
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	505	2549	14472
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	183	943	5562
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	18	93	545
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm <sup>2</sup> ) (mod. di incompressibilità di volume)	7206	28868	122942
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	707	2831	12056
MODULO DI YOUNG STATICO E <sub>stat</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	621	3131	17779
POROSITA' % (correlazione Rzhavsky e Novik (1971) (%)	44,57	38,57	25,61
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) (valido per le terre)	950	4087	19465
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) (Relazione di Navier)	1168	6024	23930
RIGIDITA' SISMICA (m/sec · KN/m <sup>3</sup> )	6183	14777	37934
Frequenza dello strato	72,50	39,13	14,38
Periodo dello strato	0,01	0,026	0,070
<b>B (Larghezza fondazione in m.)</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm <sup>2</sup> )	6,21	39,37	289,74
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm <sup>2</sup> )	60,91	386,09	2841,41
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm <sup>2</sup> )	2,07	13,12	96,58
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm <sup>2</sup> )	20,30	128,70	947,14
$\phi$ * (Angolo di Attrito °)	32,26	41,31	48,60
Cu (Coesione non drenata Cu Kg/cm <sup>2</sup> )	1,06	2,36	5,51



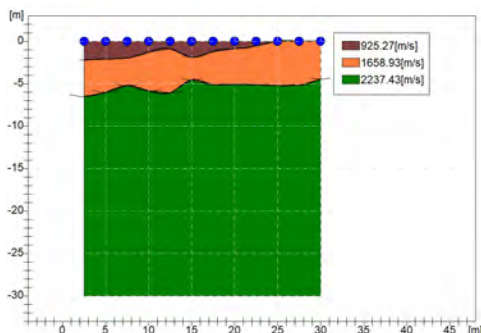
PROFILO SISMICO IR-21												
Prof.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	$\rho$	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	E(din.) (Kg/cm <sup>2</sup> )	E(stat.) (Kg/cm <sup>2</sup> )	G (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Edom. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	C' (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi^\circ$
1,00	447	196	0,38	2,131	2307	278	82	3230	523	0,69	0,28	25
5,00	888	426	0,35	2,322	11617	1399	421	12953	2251	1,58	0,63	31
30,00	2032	1086	0,30	2,556	79975	9635	3014	66672	12974	4,14	1,66	37

MODULI DINAMICI IR-21			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	447	888	2032
Velocità Onde S (m/s):	196	426	1086
Modulo di Poisson:	0,38	0,35	0,30
Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> ):	20,89	22,78	25,06
Peso di volume (g/cm <sup>3</sup> ):	2,13	2,32	2,56
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	1,00	4,00	25,00
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	2307	11617	79975
MODULO DI YOUNG DINAMICO Edin (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	226	1139	7843
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	82	421	3014
MODULO DI TAGLIO DINAMICO Gdin (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	8	41	296
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm <sup>2</sup> ) (mod. di incompressibilità di volume)	3230	12953	66672
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	317	1270	6538
MODULO DI YOUNG STATICO E <sub>stat</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	278	1399	9635
POROSITA' % (combinazione Rehovsky e Novik (1971) (2))	46,57	42,45	31,76
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) (valido per le terre)	425	433	1625
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) (Relazione di Navier)	523	2664	43674
RIGIDITA' SISMICA (m/sec - KN/m <sup>3</sup> )	4095	9703	27219
Frequenza dello strato	49,00	26,63	10,86
Periodo dello strato	0,02	0,038	0,092
B (Larghezza fondazione in m.)	0,3	0,3	0,3
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm <sup>2</sup> )	2,43	15,63	147,79
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm <sup>2</sup> )	23,79	153,28	1448,45
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm <sup>2</sup> )	0,81	5,21	49,23
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm <sup>2</sup> )	7,93	51,09	482,82
$\phi^\circ$ (Angolo di Attrito °)	24,78	30,98	37,49
Cu (Coesione non drenata Cu Kg/cm <sup>2</sup> )	0,69	1,58	4,14



PROFILO SISMICO IR-22												
Prof.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	$\rho$	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	E(din.) (Kg/cm <sup>2</sup> )	E(stat.) (Kg/cm <sup>2</sup> )	G (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Edom. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	C' (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi^\circ$
1,50	690	303	0,38	2,180	5639	679	200	7868	1276	1,11	0,44	33
5,00	1525	732	0,35	2,452	36212	4363	1314	40319	7012	2,77	1,11	46
30,00	2602	1391	0,30	2,672	137157	16525	5170	114258	22241	5,33	2,13	47

MODULI DINAMICI IR-22			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	690	1525	2602
Velocità Onde S (m/s):	303	732	1391
Modulo di Poisson:	0,38	0,35	0,30
Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> ):	21,38	24,05	26,20
Peso di volume (g/cm <sup>3</sup> ):	2,18	2,45	2,67
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	1,50	3,50	25,00
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	5639	36212	137157
MODULO DI YOUNG DINAMICO Edin (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	553	3551	13451
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	200	1314	5170
MODULO DI TAGLIO DINAMICO Gdin (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	20	129	507
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm <sup>2</sup> ) (mod. di incompressibilità di volume)	7868	40319	114258
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	772	3954	11205
MODULO DI YOUNG STATICO E <sub>stat</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	679	4363	16525
POROSITA' % (combinazione Rehovsky e Novik (1971) (2))	44,30	36,50	26,43
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) (valido per le terre)	1035	6703	48094
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) (Relazione di Navier)	1276	7042	32944
RIGIDITA' SISMICA (m/sec - KN/m <sup>3</sup> )	6478	17605	36450
Frequenza dello strato	50,50	52,29	13,91
Periodo dello strato	0,02	0,019	0,072
B (Larghezza fondazione in m.)	0,3	0,3	0,3
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm <sup>2</sup> )	6,90	57,31	267,53
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm <sup>2</sup> )	67,67	562,00	2623,60
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm <sup>2</sup> )	2,30	19,10	89,18
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm <sup>2</sup> )	22,56	187,33	874,53
$\phi^\circ$ (Angolo di Attrito °)	33,18	46,03	47,22
Cu (Coesione non drenata Cu Kg/cm <sup>2</sup> )	1,11	2,77	5,33



MODULI DINAMICI SSE			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	925	1658	2237
Velocità Onde S (m/s):	407	796	1195
Modulo di Poisson:	0,38	0,35	0,30
Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> ):	21,85	24,32	25,47
Peso di volume (g/cm <sup>3</sup> ):	2,23	2,48	2,60
<b>SPESORE MEDIO STRATO (m)</b>	<b>1,00</b>	<b>4,00</b>	<b>25,00</b>
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	10394	43292	98439
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	1019	4245	9654
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	369	1571	3709
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	36	154	364
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm <sup>2</sup> ) <small>(mod. di incompressibilità di volume)</small>	14431	48177	82172
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	1415	4725	8058
MODULO DI YOUNG STATICO E <sub>stat</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	1252	5216	11860
POROSITA' % <small>(correlazione Rzhavsky e Novik (1975) (T<sub>v</sub>))</small>	42,10	35,25	29,84
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) <small>(valido per le terre)</small>	1906	6816	12898
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) <small>(Relazione di Navier)</small>	2343	8380	15981
RIGIDITA' SISMICA (m/sec - KN/m <sup>3</sup> )	8893	19356	30441
Frequenza dello strato	101,75	49,75	11,95
Periodo dello strato	0,01	0,020	0,084
<b>B (Larghezza fondazione in m.)</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm <sup>3</sup> )	14,01	70,08	185,81
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm <sup>3</sup> )	137,39	687,23	1822,20
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm <sup>3</sup> )	4,67	23,36	61,94
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm <sup>3</sup> )	45,80	229,08	607,40
φ° (Angolo di Attrito °)	34,86	42,70	48,13
Cu (Coesione non drenata Cu Kg/cm <sup>2</sup> )	1,51	3,02	4,57

PROFILO SISMICO SSE												
Prof.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρ	γ (g/cm <sup>3</sup> )	E(din.) (Kg/cm <sup>2</sup> )	E(stat.) (Kg/cm <sup>2</sup> )	G (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Edom. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	C' (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ°
1,00	925	407	0,38	2,228	10394	1252	369	14431	2343	1,51	0,60	35
5,00	1658	796	0,35	2,480	43292	5216	1571	48177	8380	3,02	1,21	43
30,00	2237	1195	0,30	2,598	98439	11860	3709	82172	15981	4,57	1,83	48

### **Indagine sismica di tipo MASW**

La tecnica MASW prevede l'utilizzo di una sorgente attiva per l'energizzazione (massa battente di peso pari a 8 Kg) e la registrazione simultanea di 12 o più canali, utilizzando geofoni a bassa frequenza. Infatti l'esigenza di analizzare con elevato dettaglio basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 20 Hz e corrispondenti a maggiori profondità d'investigazione) richiede la necessità di utilizzare geofoni ad asse verticale con frequenza di taglio non superiore a 4,5 Hz.

Per i 10 profili Masw eseguiti è stata adottata la seguente configurazione:

lunghezza stendimento = 32.5 m;

numero geofoni = 12;

Spaziatura = 2.5 m;

offset di scoppio = 2.5 metri;

durata dell'acquisizione = 1 secondo;

tempo di campionamento = 1 millisecondo.

Per energizzare il terreno è stata usata una sorgente impulsiva del tipo "mazza battente" di peso pari a 8 Kg, ad impatto verticale su piastra per la generazione delle onde sismiche.

Contrariamente a quanto richiesto nell'indagine sismica a rifrazione, il segnale sismico acquisito nella tecnica MASW deve includere tutto il treno d'onda superficiale; pertanto la durata dell'acquisizione deve essere definita in modo da contenere tutto il segnale e non troncato nelle ultime tracce.

Per quanto concerne il tempo di campionamento, mentre nella sismica a rifrazione si utilizza un tempo di campionamento più basso per ricostruire con dettaglio i primi arrivi dell'onda sismica, nell'indagine sismica Masw è sufficiente un campionamento più ampio per ricostruire tutto il segnale sismico.

Inoltre, lo stesso segnale viene acquisito senza applicazione di filtri e incrementi del segnale.

### RISULTATI INDAGINI MASW

Postazione WTG	Sigla SIS/MASW	Profondità (m)	Vs (m/s)	Vs,eq (m/s)	Categoria di sottosuolo	Categoria Topografica
IR-02	SIS-02	3.7	247			
		8.8	725			
		∞	1501	830	B	T1
IR-03	SIS-03	4.4	227			
		6.9	666			
		∞	1923	849	B	T1
IR-06	SIS-06	2.8	205			
		5.4	477			
		∞	1871	924	A	T1
IR-10	SIS-10	2.0	202			
		6.9	822			
		∞	2030	1099	A	T1
IR-11	SIS-11	2.7	218			
		4.4	924			
		∞	1844	1068	A	T1
IR-13	SIS-13	3.9	225			
		13.9	895			
		∞	2273	844	A	T1
IR-14	SIS-14	3.6	194			
		27.3	850			
		∞	1909	831	A	T1
IR-21	SIS-21	10.0	234			
		21	1064			
		∞	1075	486	E	T1
IR-22	SIS-22	2.9	175			
		7.9	1133			
		∞	2000	930	A	T1
SSE	SIS-SSE	3.1	181			
		29.7	746			
		∞	1581	565	B	T1

### 7.3. Relazione di calcolo per la categoria di sottosuolo

*DECRETO 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»  
Circolare 21/01/2019, n. 7 C.S.LL.PP - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.*

#### 7.3.1. Generalità

Lo studio sugli effetti di sito è un aspetto fondamentale nella valutazione e mitigazione del rischio sismico. Tale studio si effettua in termini di risposta sismica locale, partendo dal concetto di amplificazione del moto sismico che si origina dal basamento roccioso (definito *bedrock* sismico) e che si propaga all'interno di un deposito sino a raggiungere la superficie. Valutare questi effetti non è sempre del tutto facile anche perché, in molti casi, l'amplificazione è dovuta ai cosiddetti fenomeni di risonanza nei terreni stratificati posti al di sopra del *bedrock*, di riflessione e rifrazione delle onde sismiche nelle interfacce di discontinuità e tra mezzi a diversa densità, dove le onde vengono per così dire "intrappolate" e successivamente trasmesse allo strato più superficiale generando così onde di tipo Love e di Rayleigh. A questi, poi, si aggiunge l'effetto di focalizzazione del raggio sismico nelle zone morfologicamente più acclive. Sul territorio italiano la valutazione degli effetti della risposta sismica locale viene fatta sulla base delle vigenti norme tecniche per le costruzioni pubblicate in *GU n.42 del 20/02/2018 - Suppl. Ordinario n. 8*. In particolare per situazioni riconducibili alle categorie definite in Tab. 3.2. Il di cui al § 3.2.2 si può fare riferimento ad un approccio semplificato basato sui valori di velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ , che costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo di cui al § 6.2.2. In tal caso si calcola la velocità equivalente con la seguente espressione:

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

con  $h_i$  lo spessore in metri dell'*i*-esimo strato di terreno;

$V_{s,i}$  la velocità dell'onda di taglio media corrispondente;

N il numero di strati;

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

Mentre per tutti quei casi non rientranti è richiesta una specifica analisi della risposta sismica locale, così come previsto al § 7.11.3.



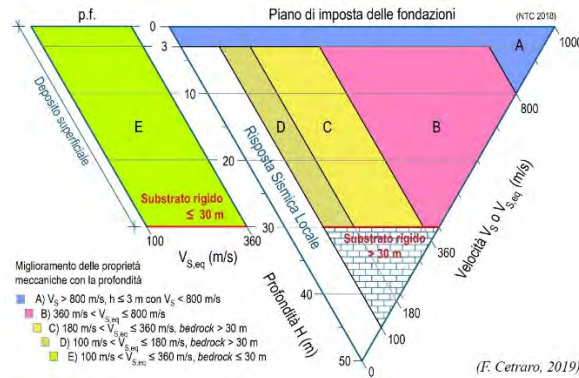


Figura 1 – Diagramma per le categorie di sottosuolo secondo i riferimenti del § 3.2.2 delle NTC 2018.

Tabella 1- Categorie di sottosuolo per l'approccio semplificato (Tab. 3.2.II delle NTC 2018).

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<b>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</b> 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>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti</b> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<b>Deposit</b> di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<b>Deposit</b> di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<b>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</b> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

### 1.1 Piano di riferimento per le opere di fondazione:

Ricordando che per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato 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.

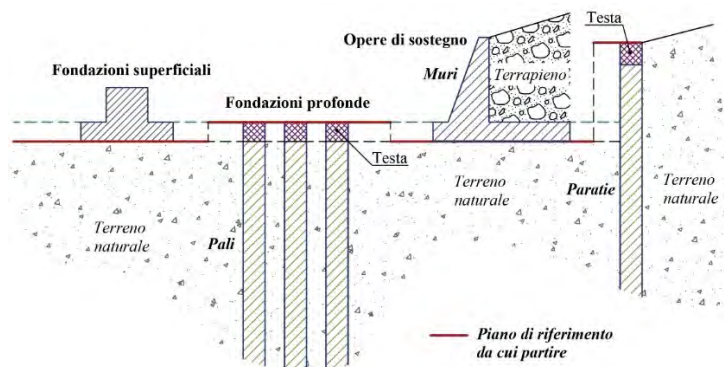


Figura 3 – Schemi di riferimento richiamati al § 3.2.2 delle NTC 2018.

### 7.3.2. Risultati del calcolo

Al fine di poter procedere con le operazioni di calcolo è necessario inserire gli spessori con le relative velocità  $V_s$  di ogni sismostrato secondo le indicazioni riportate in normativa. (*Base Plinto / Testa Palo* = - 3,0 m. da p.c.).

#### WTG IR02

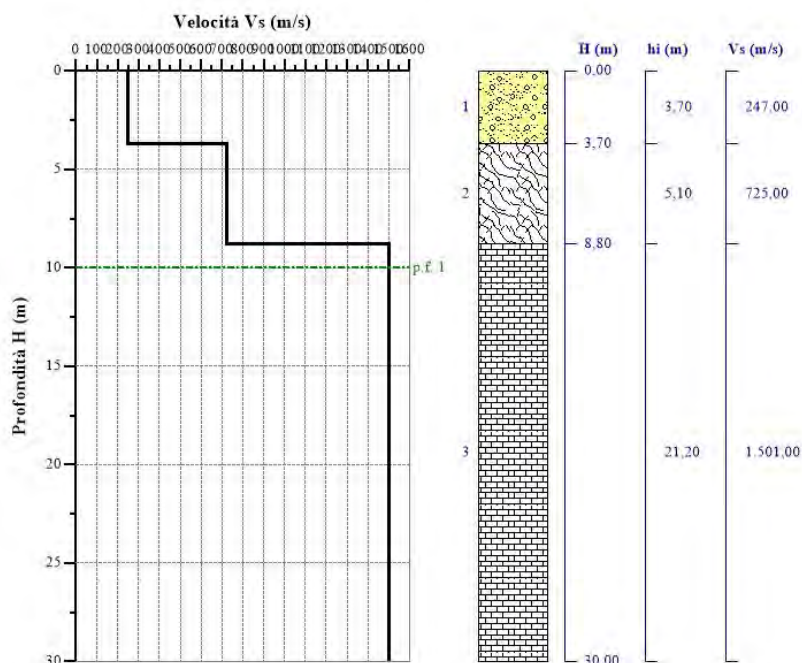
**Tabella 1- Dati relative all'indagine sismica.**

Nr.	H (m)	hi (m)	$V_s$ (m/s)
1	3,70	3,70	247,00
2	8,80	5,10	725,00
3	30,00	21,20	1.501,00

**Tabella 2- Risultati del calcolo.**

$N_i$	Zpf (m)	$V_{s,eq}$ (m/s)	Categoria
1	3,00	587,73	<b>B</b>

$N_r$  = numero progressivo per ciascun sismostrato,  $H$  = profondità,  $h_i$  = spessori,  $V_s$  = velocità onde di taglio,  $N_i$  = livello,  $Z_{pf}$  = profondità dei piani o livelli di fondazione (*Base Plinto / Testa Palo*).



**WTG IR03**

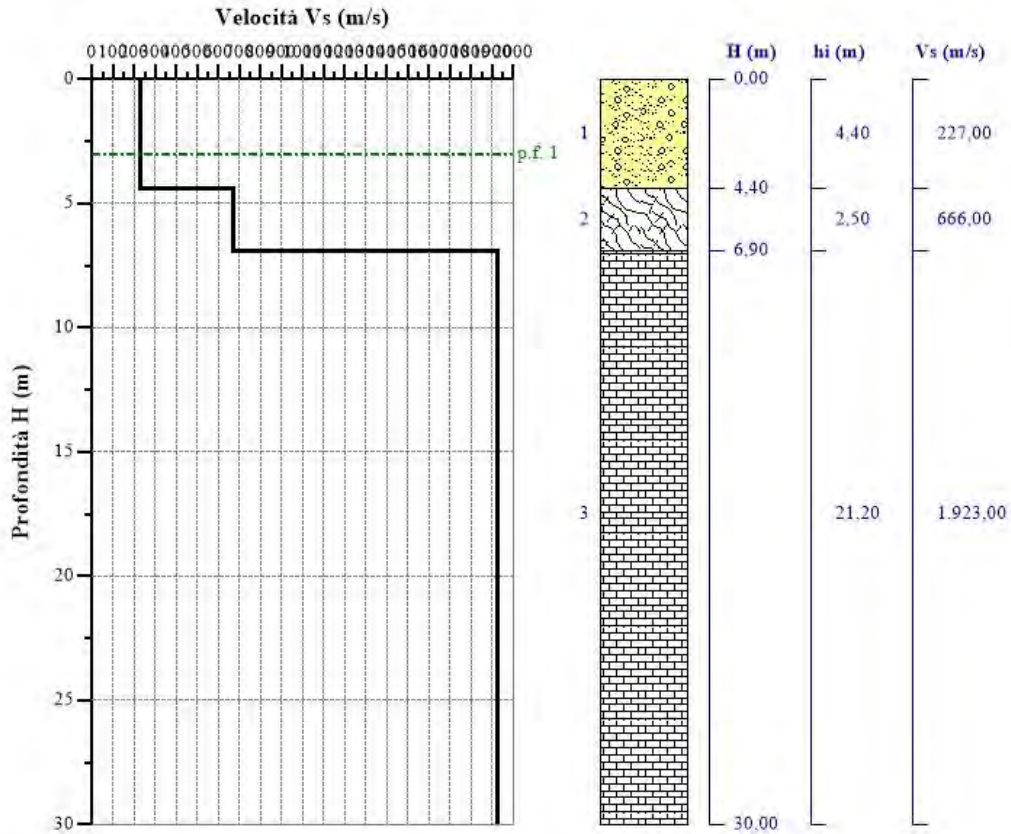
**Tabella 1- Dati relative all'indagine sismica.**

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)
1	4,40	4,40	227,00
2	6,90	2,50	666,00
3	30,00	21,20	1.923,00

**Tabella 2- Risultati del calcolo.**

N <sub>i</sub> .	Z <sub>pf</sub> (m)	V <sub>s,eq</sub> (m/s)	Categoria
1	3,00	393,1	<b>B</b>

Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, Vs = velocità onde di taglio, N<sub>i</sub> = livello, Z<sub>pf</sub> = profondità dei piani o livelli di fondazione.



**WTG IR06**

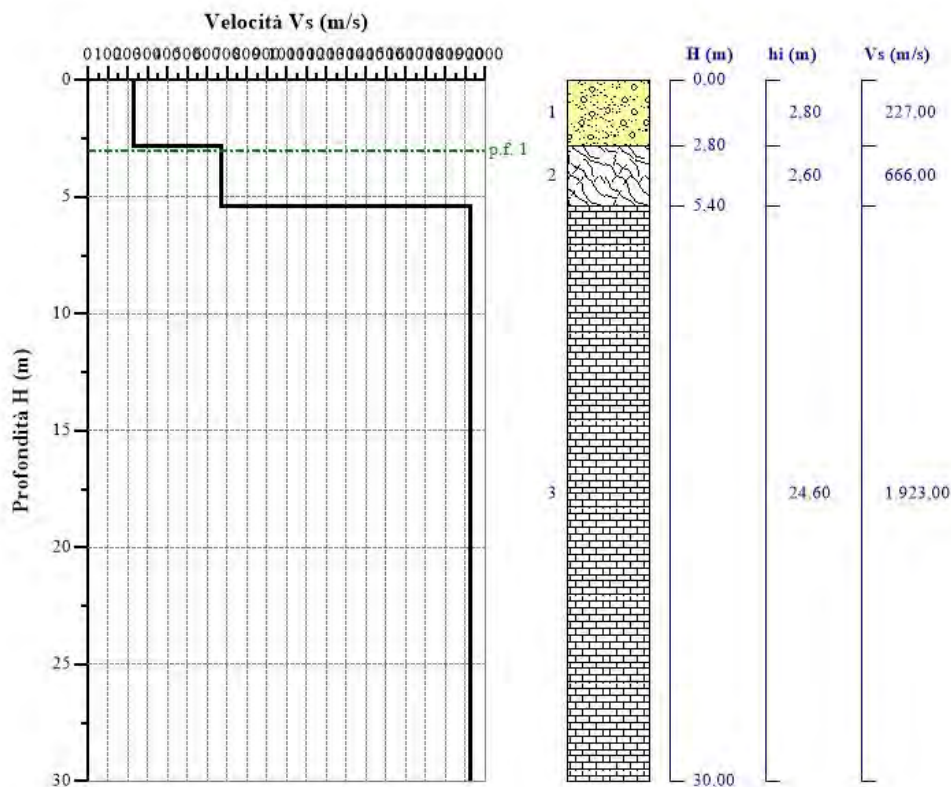
**Tabella 1- Dati relative all'indagine sismica.**

Nr.	H (m)	hi (m)	V <sub>s</sub> (m/s)
1	2,80	2,80	227,00
2	5,40	2,60	666,00
3	30,00	24,60	1.923,00

**Tabella 2- Risultati del calcolo.**

N <sub>i</sub> .	Z <sub>pf</sub> (m)	V <sub>s,eq</sub> (m/s)	Categoria
1	3,00	> 800 m/s	<b>A</b>

Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, V<sub>s</sub> = velocità onde di taglio, N<sub>i</sub> = livello, Z<sub>pf</sub> = profondità dei piani o livelli di fondazione.



**WTG IR10**

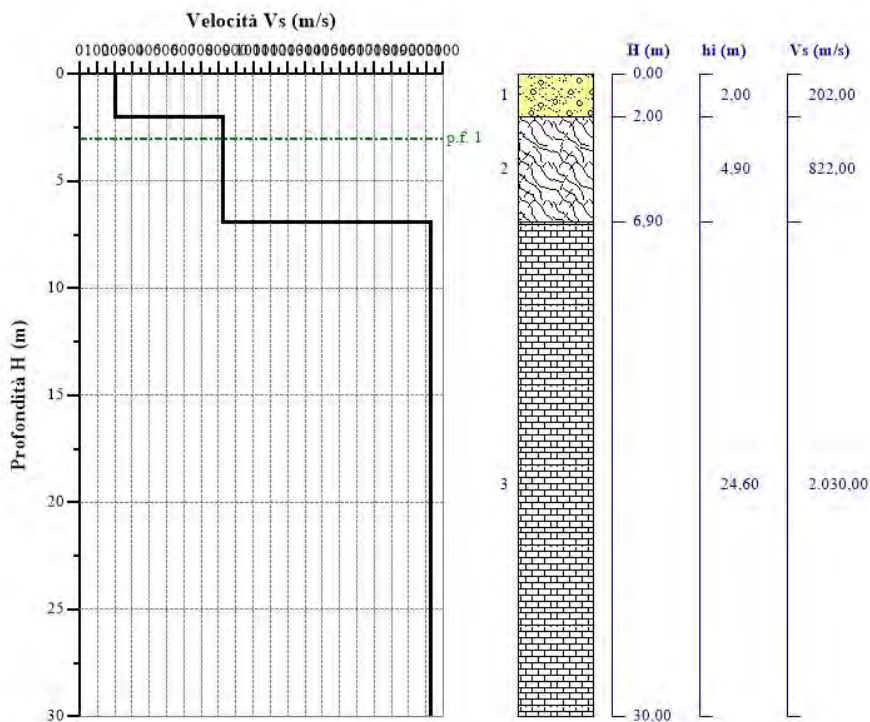
**Tabella 1- Dati relative all'indagine sismica.**

Nr.	H (m)	hi (m)	V <sub>s</sub> (m/s)
1	2,00	2,00	202,00
2	6,90	4,90	822,00
3	30,00	24,60	2.030,00

**Tabella 2- Risultati del calcolo.**

N <sub>i</sub> .	Z <sub>pf</sub> (m)	V <sub>s,eq</sub> (m/s)	Categoria
1	3,00	> 800 m/s	A

Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, V<sub>s</sub> = velocità onde di taglio, N<sub>i</sub> = livello, Z<sub>pf</sub> = profondità dei piani o livelli di fondazione.



**WTG IR11**

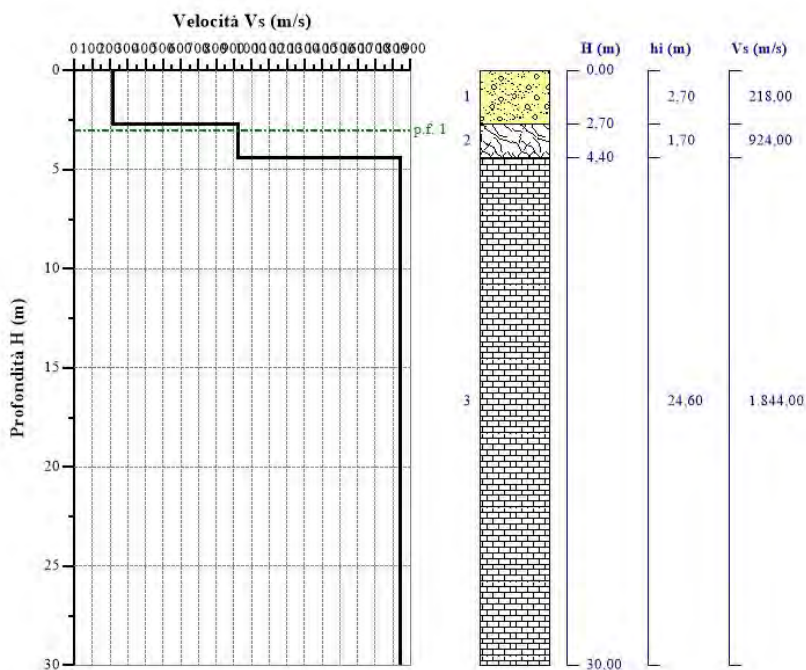
**Tabella 1- Dati relative all'indagine sismica.**

Nr.	H (m)	hi (m)	V <sub>s</sub> (m/s)
1	2,70	2,70	218,00
2	4,40	1,70	924,00
3	30,00	24,60	1.844,00

**Tabella 2- Risultati del calcolo.**

N <sub>i</sub> .	Z <sub>pf</sub> (m)	V <sub>s,eq</sub> (m/s)	Categoria
1	3,00	> 800 m/s	A

Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, V<sub>s</sub> = velocità onde di taglio, N<sub>i</sub> = livello, Z<sub>pf</sub> = profondità dei piani o livelli di fondazione.



**WTG IR13**

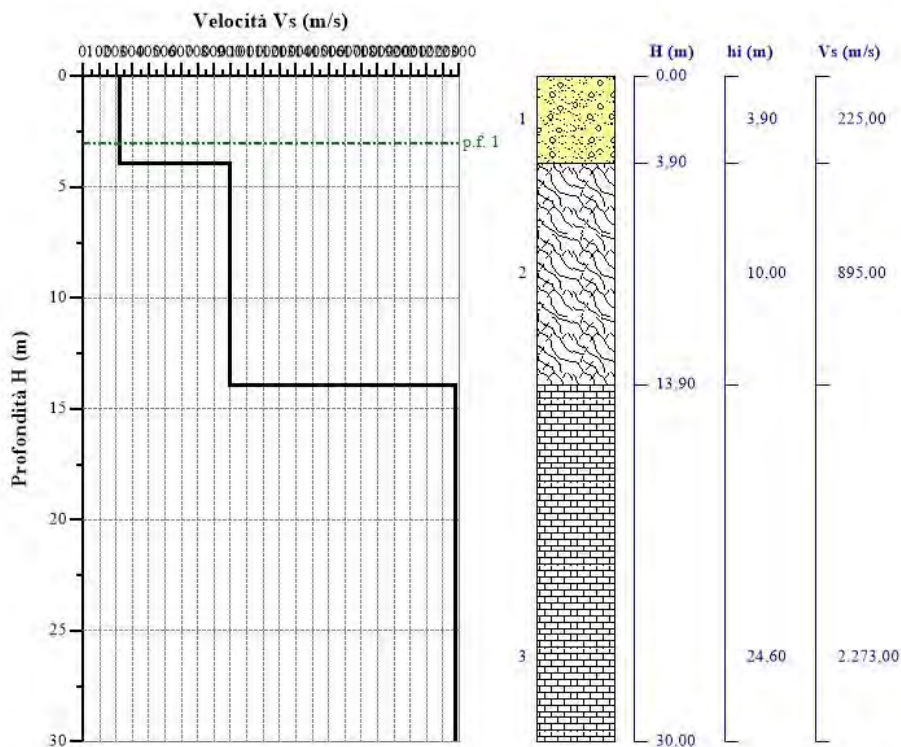
**Tabella 1- Dati relative all'indagine sismica.**

Nr.	H (m)	hi (m)	V <sub>s</sub> (m/s)
1	3,90	3,90	225,00
2	13,90	10,00	895,00
3	30,00	24,60	2.273,00

**Tabella 2- Risultati del calcolo.**

N <sub>i</sub> .	Z <sub>pf</sub> (m)	V <sub>s,eq</sub> (m/s)	Categoria
1	3,00	> 800 m/s	A

Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, V<sub>s</sub> = velocità onde di taglio, N<sub>i</sub> = livello, Z<sub>pf</sub> = profondità dei piani o livelli di fondazione.



**WTG IR14**

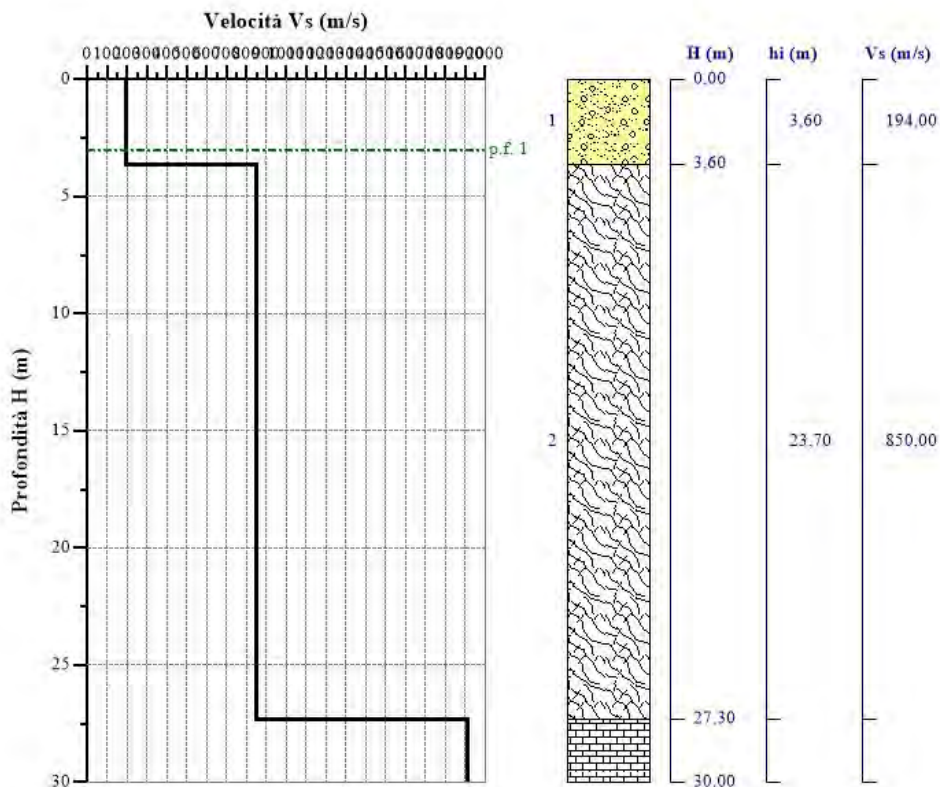
**Tabella 1- Dati relative all'indagine sismica.**

Nr.	H (m)	hi (m)	V <sub>s</sub> (m/s)
1	3,60	3,60	194,00
2	27,30	23,70	850,00
3	30,00	24,60	1.909,00

**Tabella 2- Risultati del calcolo.**

N <sub>i</sub> .	Z <sub>pf</sub> (m)	V <sub>s,eq</sub> (m/s)	Categoria
1	3,00	> 800 m/s	A

Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, V<sub>s</sub> = velocità onde di taglio, N<sub>i</sub> = livello, Z<sub>pf</sub> = profondità dei piani o livelli di fondazione.





**WTG IR21**

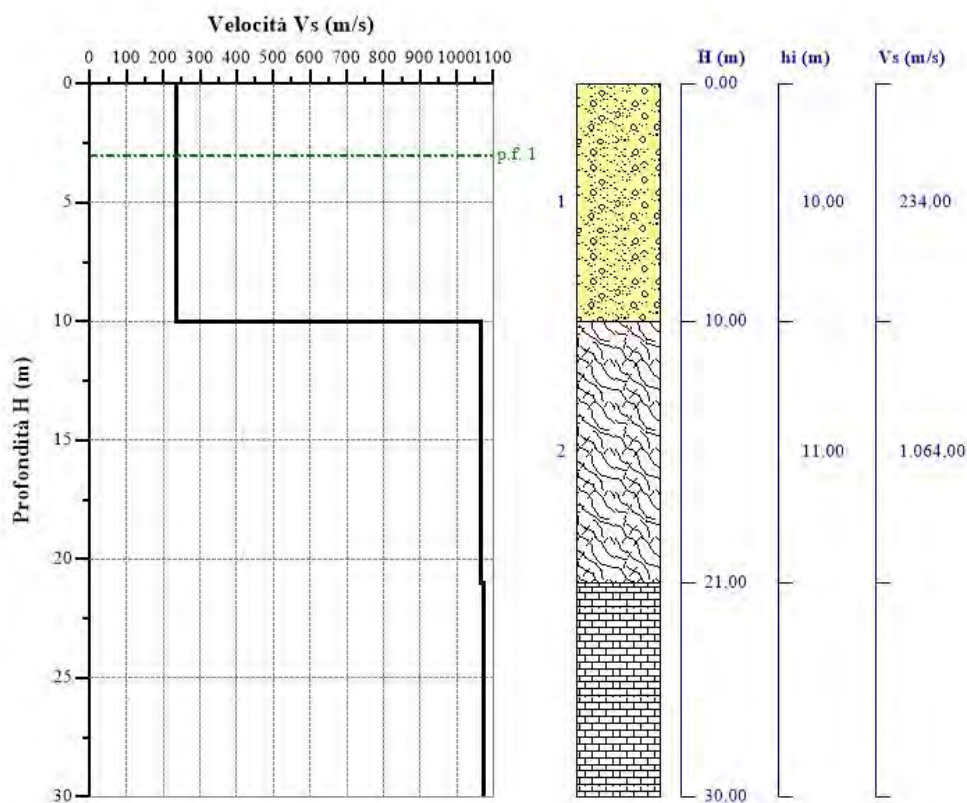
**Tabella 1- Dati relative all'indagine sismica.**

Nr.	H (m)	hi (m)	V <sub>s</sub> (m/s)
1	10,00	10,00	234,00
2	21,00	11,00	1.064,00
3	30,00	24,60	1.075,00

**Tabella 2- Risultati del calcolo.**

N <sub>i</sub> .	Z <sub>pf</sub> (m)	V <sub>s,eq</sub> (m/s)	Categoria
1	3,00	234	E

Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, V<sub>s</sub> = velocità onde di taglio, N<sub>i</sub> = livello, Z<sub>pf</sub> = profondità dei piani o livelli di fondazione.



**WTG IR22**

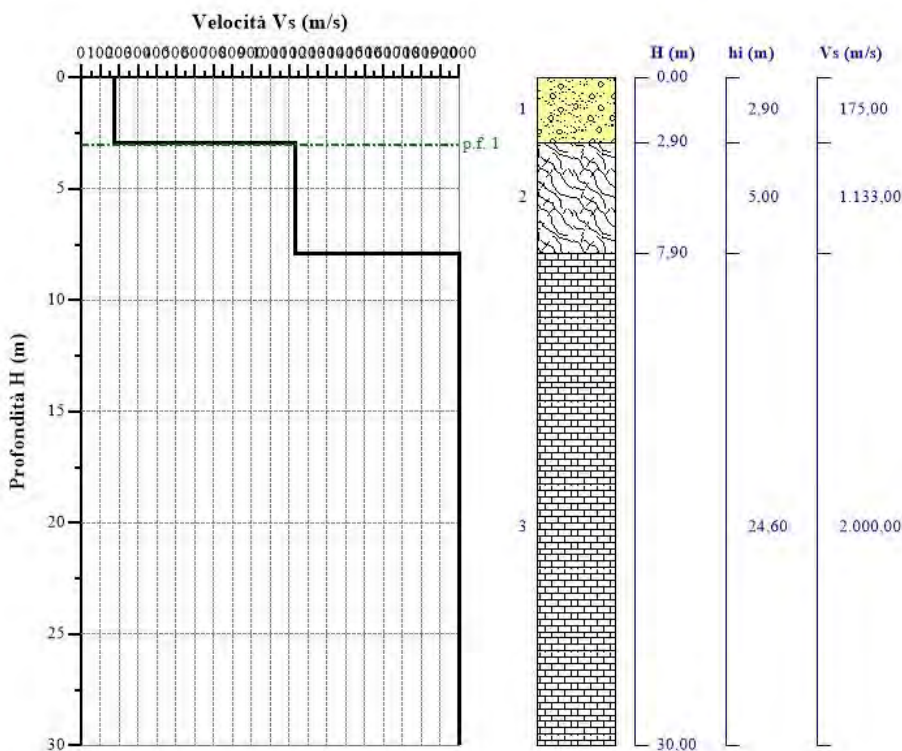
**Tabella 1- Dati relative all'indagine sismica.**

Nr.	H (m)	hi (m)	V <sub>s</sub> (m/s)
1	2,90	2,90	175,00
2	7,90	5,00	1.133,00
3	30,00	24,60	2.000,00

**Tabella 2- Risultati del calcolo.**

N <sub>i</sub> .	Z <sub>pf</sub> (m)	V <sub>s,eq</sub> (m/s)	Categoria
1	3,00	> 800 m/s	A

Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, V<sub>s</sub> = velocità onde di taglio, N<sub>i</sub> = livello, Z<sub>pf</sub> = profondità dei piani o livelli di fondazione.



**SSE**

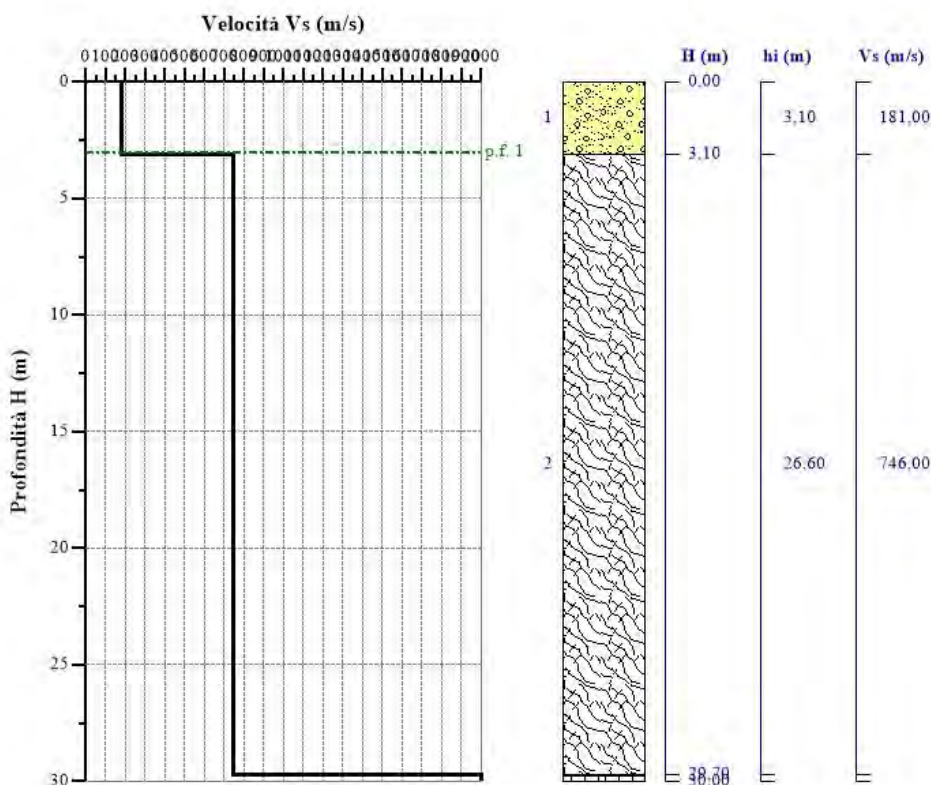
**Tabella 1- Dati relative all'indagine sismica.**

Nr.	H (m)	hi (m)	V <sub>s</sub> (m/s)
1	3,10	3,10	181,00
2	29,70	26,60	746,00
3	30,00	24,60	2.000,00

**Tabella 2- Risultati del calcolo.**

N <sub>i</sub> .	Z <sub>pf</sub> (m)	V <sub>s,eq</sub> (m/s)	Categoria
1	3,00	737,38	B

Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, V<sub>s</sub> = velocità onde di taglio, N<sub>i</sub> = livello, Z<sub>pf</sub> = profondità dei piani o livelli di fondazione.



## 8. PROGRAMMAZIONE INDAGINI SUPPLETIVE

Come osservato dalle indagini geofisiche eseguite, ci troviamo in tutti i casi in presenza di formazioni prevalentemente consistenti rappresentate quasi esclusivamente da substrato calcareo sub-affiorante o comunque presente entro le profondità dei 3 m. dal p.c. e i 30 m. dal p.c., con valori delle  $V_{s,eq}$  registrate comunque elevati che fanno associare i siti specifici alle categorie di classe prevalente "A", subordinatamente "B" e per il sito IR21 "E", avendo riscontrato in questo caso spessori delle formazioni meno veloci, ma comunque presenti entro i 30,0 m. dal p.c.

Considerato ciò, per la fase di progettazione esecutiva si prevede comunque di eseguire indagini suppletive a completamento della caratterizzazione geotecnica, utile anche alla definizione definitiva delle opere di fondazione finale, rappresentate da una fondazione superficiale (plinto di fondazione poligonale) da porsi a circa 3,0 m. dal p.c., con annessi pali di fondazioni profonde per raggiungere ed attestarsi nel basamento carbonatico dove questo risulta più profondo.

Pertanto in corrispondenza di ognuno dei siti su cui verrà realizzato un aerogeneratore si provvederà ad eseguire una perforazione a carotaggio continuo da spingersi fino al ritrovamento del basamento carbonatico, ammorsandosi per una ragionevole profondità all'interno di esso, a seconda dei calcoli strutturali di fondazione che ne deriveranno.

Lungo le perforazioni si procederà ad eseguire il prelievo di campioni di terreno/roccia che verranno inviati al laboratorio per la determinazione dei caratteri fisici e geotecnici degli stessi, portando quindi a definire in maniera completa il modello geotecnico di ognuno dei siti investigati e definirne lo schema fondazionale specifico più idoneo.

## 9. CONCLUSIONI

La presente relazione riferisce sulla situazione geologica-geotecnica di un sito ubicato in agro di Minervino Murge sul quale è prevista la realizzazione di un "PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE (BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO", per conto della Società EDISON RINNOVABILI S.P.A., con sede legale in via Buonaparte, 3120121 Milano (MI), P.IVA: 12921540154, Indirizzo pec: [rinnovabili@pec.edison.it](mailto:rinnovabili@pec.edison.it).

A tal fine stato eseguito un rilevamento geologico dell'area, supportato da una campagna d'indagine geofisica per la ricostruzione della situazione stratigrafica e per la caratterizzazione geomeccanica dei litotipi presenti in sito, giungendo a determinare la classe di appartenenza ai sensi delle NTC 2018.

Dal punto di vista litologico, il sito è ubicato in corrispondenza delle aree di affioramento di formazioni calcaree mesozoiche definite dalla C.G.I. "Calcere di Bari", appartenete alla monoclinale del settore nord-orientale murgiano.

L'area risulta sostanzialmente essere rappresentata da una zona di altopiano strutturale gradinato ed esposto in direzione S verso la valle del C.le Locone, che scorre da SE a NW circa 7 km. Più a sud.

In zona non è presente una falda affiorante o prossima al p.c., questa è presente e circolante nella formazione carbonatica di base dei calcari di Bari che risultano ribassati da dislocazione strutturale da faglie a vergenza diretta e ricoperte localmente da depositi detritici e o alluvionali.

L'intera area si presenta sostanzialmente stabile, senza particolari manifestazioni evidenti di dissesto in atto o prevedibilmente in preparazione e, sulla base di dati derivati da indagini specifiche eseguite sulle zone interessate dagli interventi, ai sensi delle NTC 2018, essi sono risultati poter essere classificati prevalentemente come Profilo di Tipo "A", subordinatamente di tipo "B", e singolarmente di tipo "E", classificazione da confermare mediante indagini ancor più puntuali e specifiche da espletarsi in fase di progettazione esecutiva.

A tal proposito, in fase di progettazione esecutiva, si renderà necessario approfondire e confermare quanto dedotto, con un adeguato piano d'investigazione costituito da prove meccaniche/dinamiche dirette (perforazione a carotaggio continuo) con prove in sito e di laboratorio, per definire in maniera opportuna anche le strutture fondazionali di ognuna delle opere previste in progetto.

Per tutto quanto considerato nel presente Studio, si può affermare che, per quanto di competenza, non sussistono impedimenti di natura Geologica – Geotecnica alla realizzazione delle opere di progetto.

Minervino Murge, Gennaio 2024



Il Geologo Incaricato  
Dott. Di Lella Nazario

**ALLEGATI**  
**REPORT INDAGINI GEOFISICHE**

Legenda  
UBICAZIONE INDAGINI  
SCALA 1:25.000

- CAVIDOTTO
- SSE
- WTG
- SISMICHE-MINERVINO



MINERVINO MURGE

SPINAZZOLA



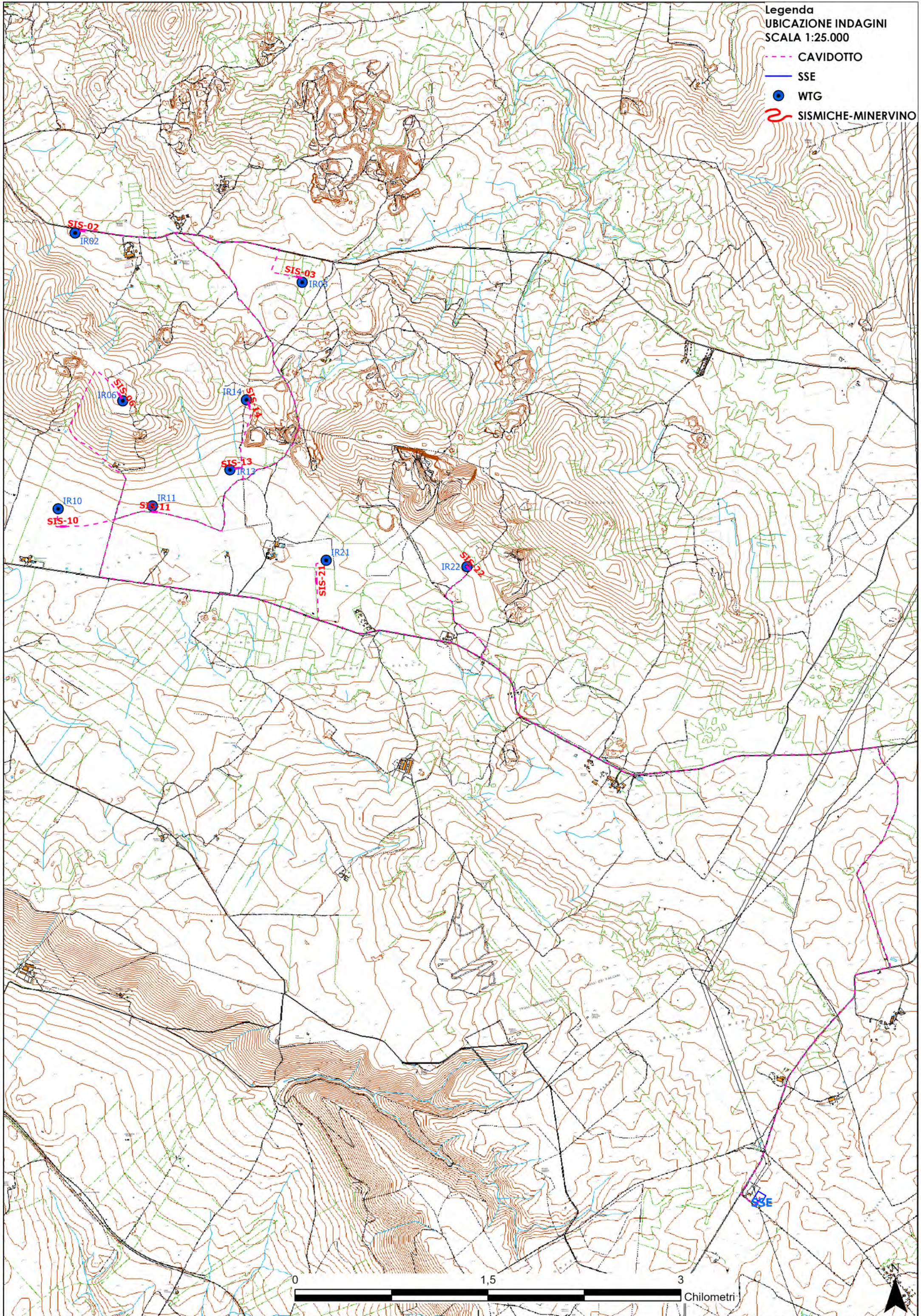
streetMap (and) contributors, CC-BY-SA

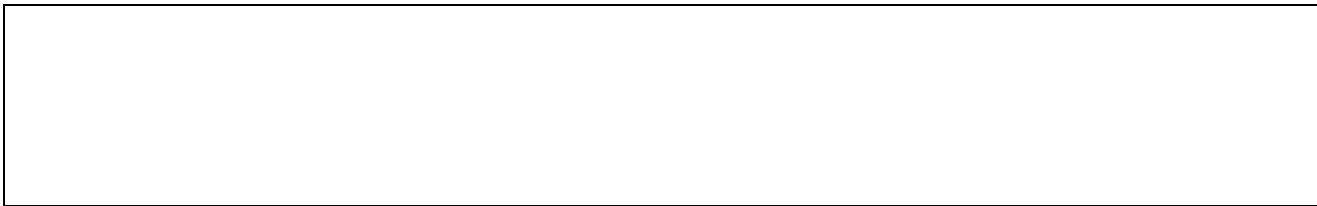




Legenda  
UBICAZIONE INDAGINI  
SCALA 1:25.000

- CAVIDOTTO
- SSE
- WTG
- ~ SISMICHE-MINERVINO





<b>STUDIO DI GEOLOGIA</b> Geol. Nazario Di Lella C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	<b>Via: Via Ripalta 21/A</b> 71010 Lesina - FG  Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gargano.it Web:
---	--

**PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.**

	<b>Data: febbraio 2024</b>
	<b>Il committente EDISON RINNOVABILI S.P.A.</b>
	<b>IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA</b>
	<b>Il Progettista GEOL. N. DI LELLA</b>
<b>Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione IR-02</b>	

### Easy Refract

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

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

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

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

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

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

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

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

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

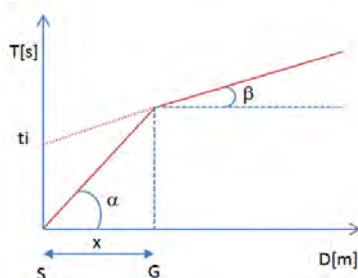
$$T = x_i / V_1$$

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

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

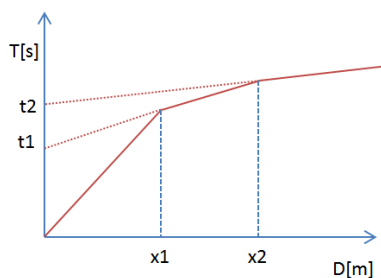
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

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



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

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

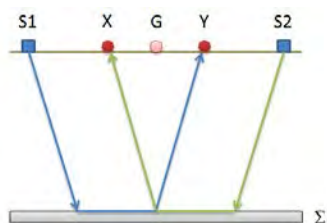


Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

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

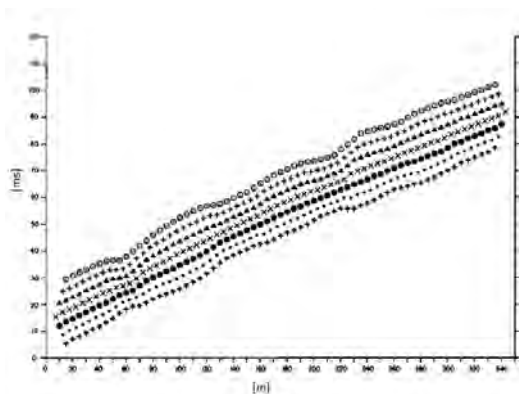
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



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

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

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



dove  $T_{S_1Y}$  e  $T_{S_2X}$  sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre  $T_{S_1S_2}$  è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento.  $T_v$  è

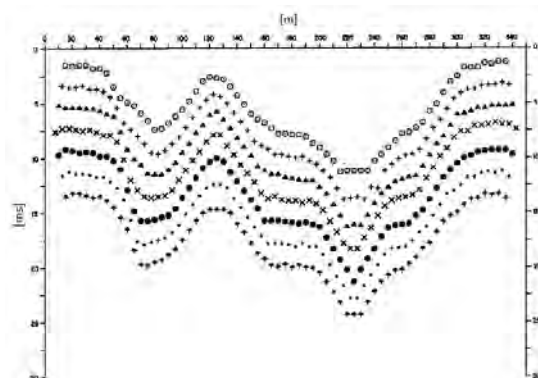
il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

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

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

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

Dove  $V_n$  è la velocità del rifrattore.



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

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

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

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

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

#### Dati generali

Descrizione	PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.
Committente	EDISON RINNOVABILI S.P.A.
Zona	LOC. INTACCA - MINERVINO M.
Operatore	GEOL. N. DI LELLA
Responsabile	GEOL. N. DI LELLA
Data	10/02/2024
Via	LOC. INTACCA - MINERVINO M.
Latitudine	41.07767[°]
Longitudine	16.11661[°]
Altitudine	532[m]

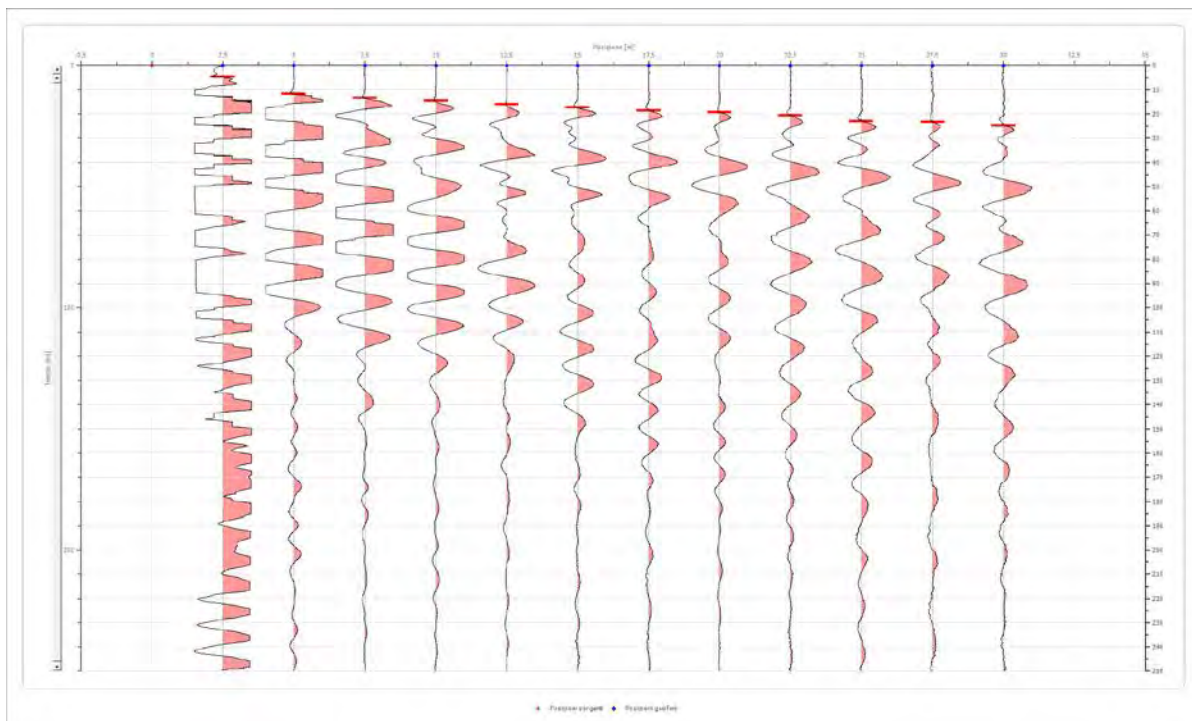
### Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.5	0.0
2	5.0	0.0
3	7.5	0.0
4	10.0	0.0
5	12.5	0.0
6	15.0	0.0
7	17.5	0.0
8	20.0	0.0
9	22.5	0.0
10	25.0	0.0
11	27.5	0.0
12	30.0	0.0

### Dati battute

Battuta 1

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



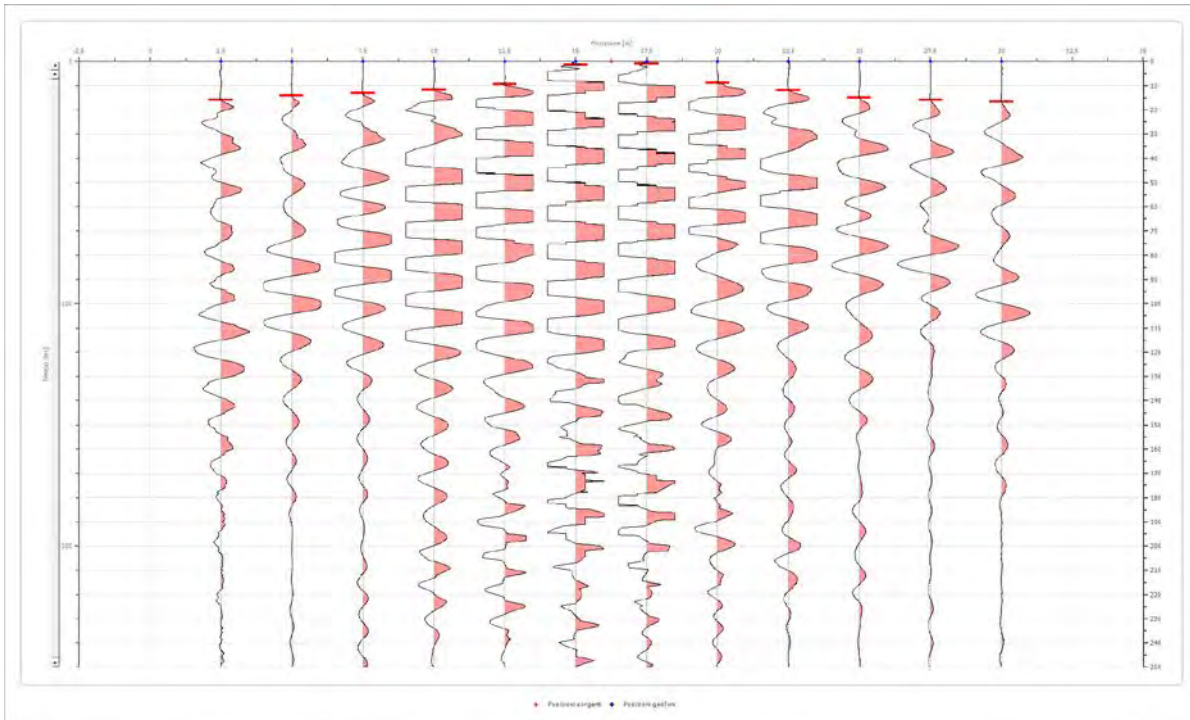
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	4.6816
5.0	11.5481
7.5	13.4207
10.0	14.6692
12.5	16.2297
15.0	17.4782
17.5	18.7266
20.0	19.3508
22.5	20.5993
25.0	23.0961
27.5	23.3750
30.0	24.7500

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

Battuta 2

Posizione sorgente X  
Posizione sorgente Z

16 [m]  
0 [m]



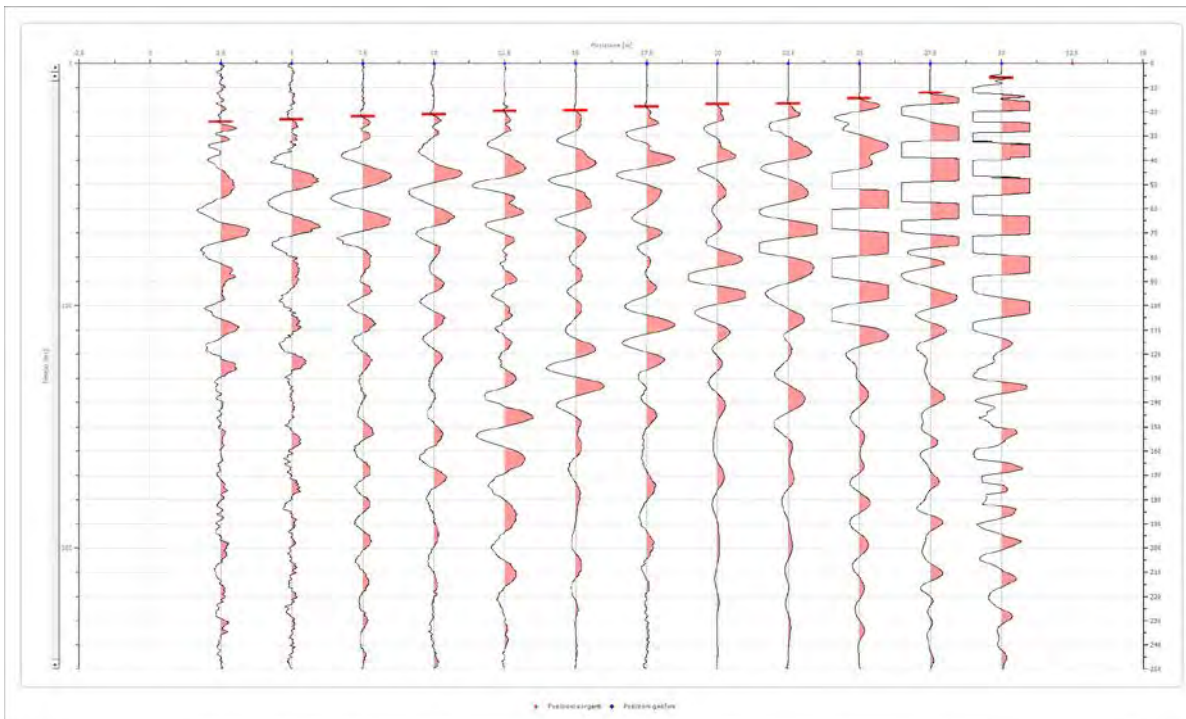
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	15.9176
5.0	14.0449
7.5	13.1086
10.0	11.5481
12.5	9.3633
15.0	1.5605
17.5	0.9363
20.0	9.0512
22.5	11.8602
25.0	14.9813
27.5	15.9176
30.0	16.5418

STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822,  
e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L011054R, P.Iva.02101530711

Battuta 3

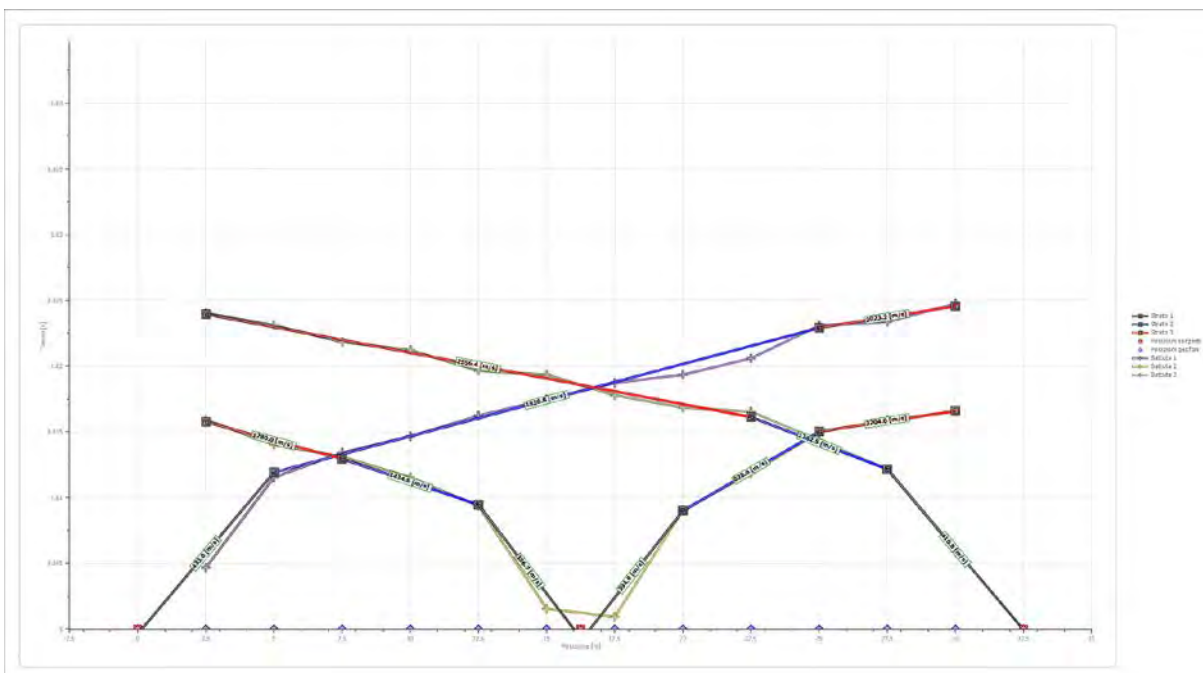
Posizione sorgente X 33 [m]  
 Posizione sorgente Z 0 [m]



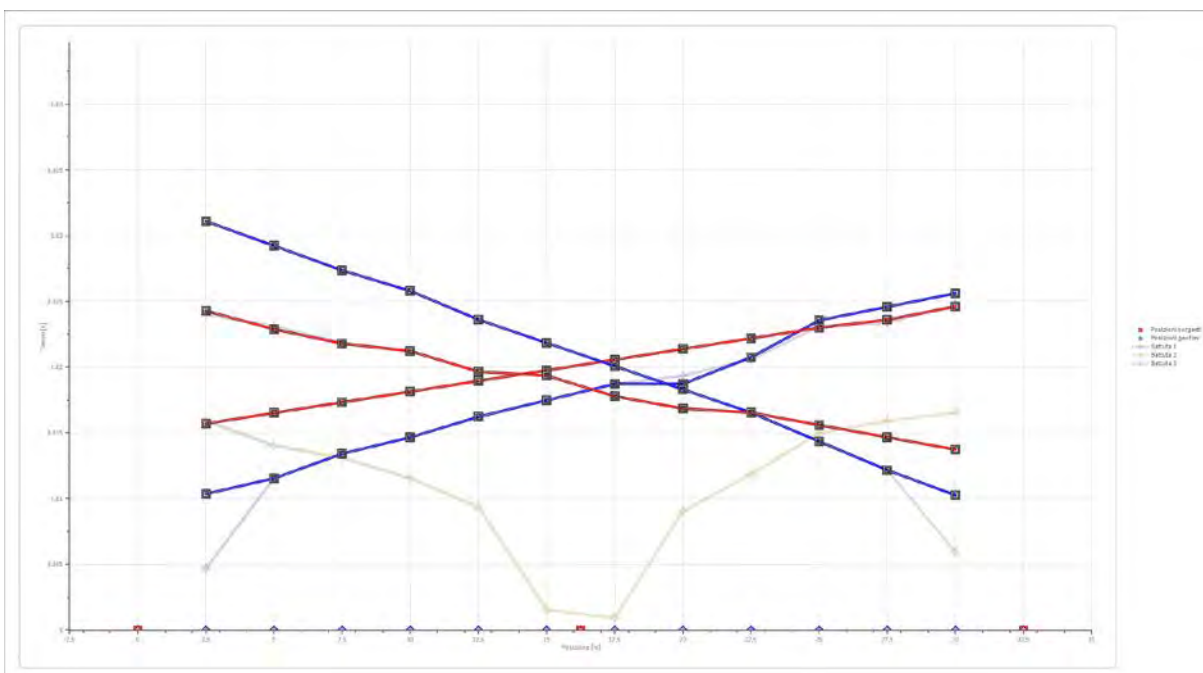
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	24.0325
5.0	23.0961
7.5	21.8477
10.0	21.2235
12.5	19.6629
15.0	19.3508
17.5	17.7903
20.0	16.8539
22.5	16.5418
25.0	14.3571
27.5	12.1723
30.0	5.9301



**Dromocrone**



**Dromocrone traslate**



**Interpretazione col metodo G<sub>r</sub>,R.M.**

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.5 [m]	2.4	5.1	--
G= 5.0 [m]	2.3	5.1	--
G= 7.5 [m]	2.3	4.8	--
G= 10.0 [m]	2.2	5.3	--
G= 12.5 [m]	2.1	5.0	--
G= 15.0 [m]	2.0	5.9	--
G= 17.5 [m]	1.9	5.6	--
G= 20.0 [m]	1.5	6.7	--
G= 22.5 [m]	1.6	7.0	--
G= 25.0 [m]	1.7	6.4	--
G= 27.5 [m]	1.4	6.9	--
G= 30.0 [m]	1.3	7.6	--
Velocità [m/sec]	406.3	1532.4	2880.0
Descrizione			

**Altri parametri geotecnici**

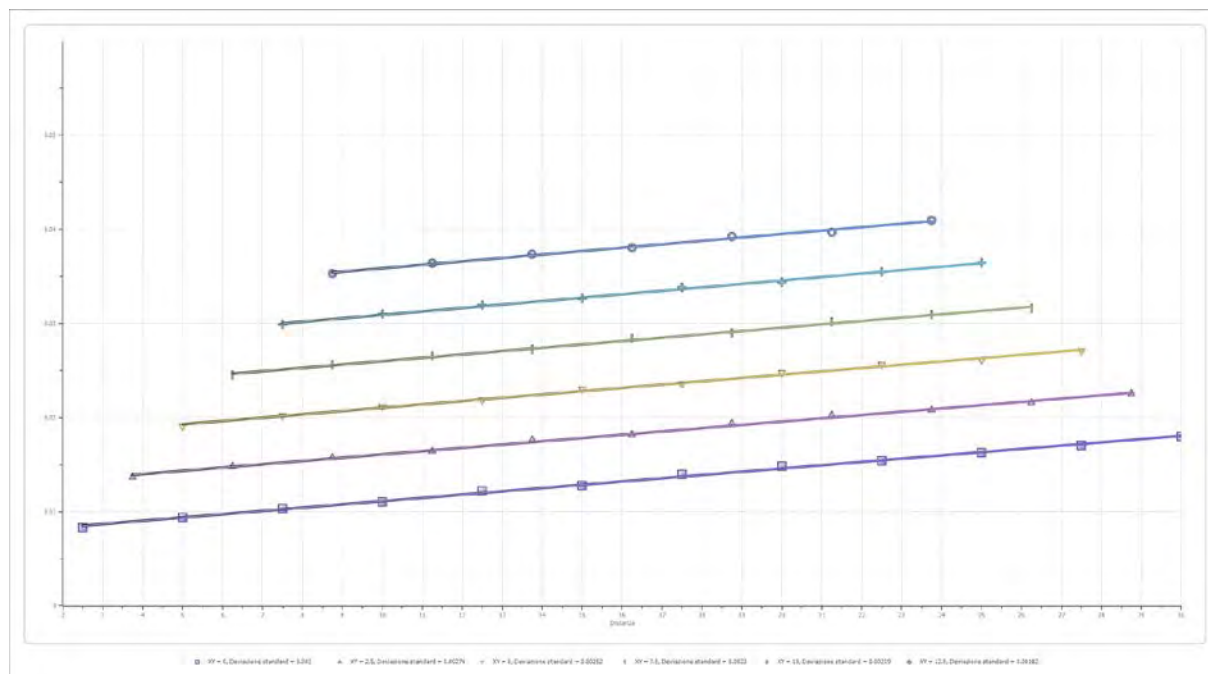
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.40	0.35	0.33
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1700.00	1900.00	2000.00
Vp [m/s]	406.32	1532.40	2879.98
Vs [m/s]	165.88	736.14	1450.70
G0 [MPa]	46.78	1029.62	4209.04
Ed [Mpa]	280.67	4461.67	16588.58
M0 [MPa]	233.89	3432.05	12379.54
Ey [Mpa]	130.98	2779.96	11196.06

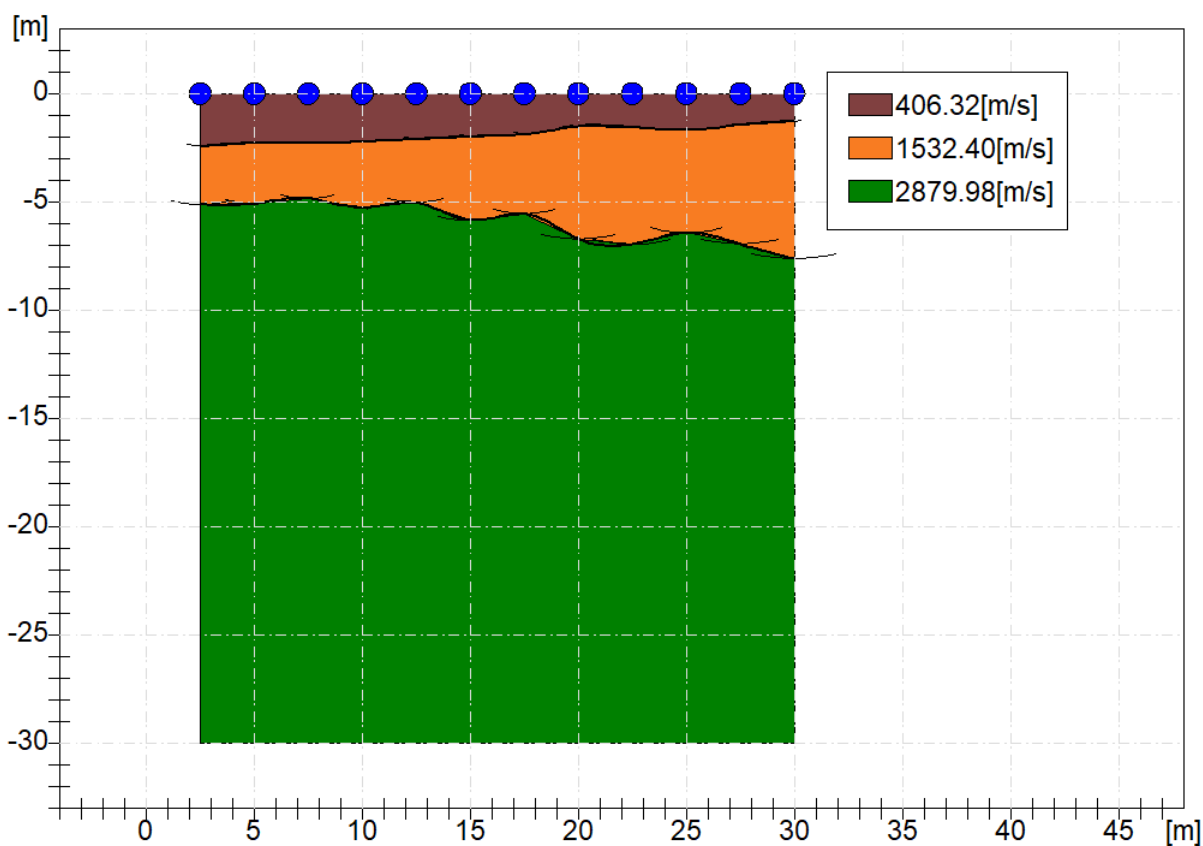
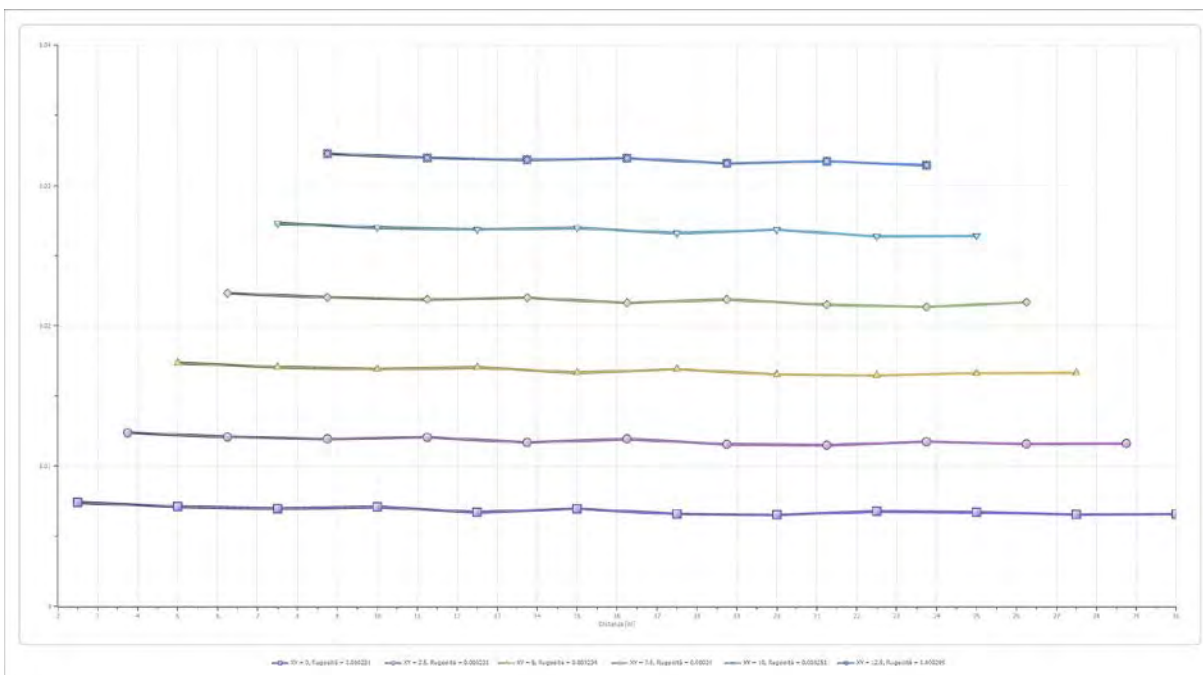
G0: Modulo di deformazione al taglio;

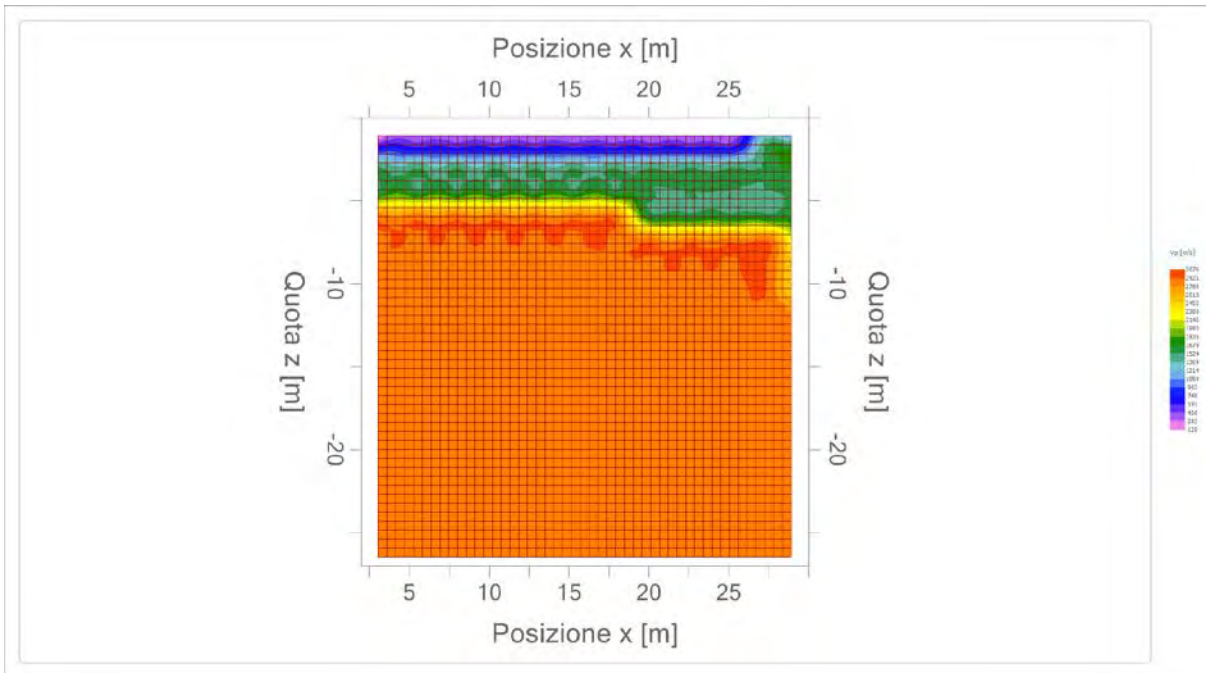
Ed: Modulo edometrico;

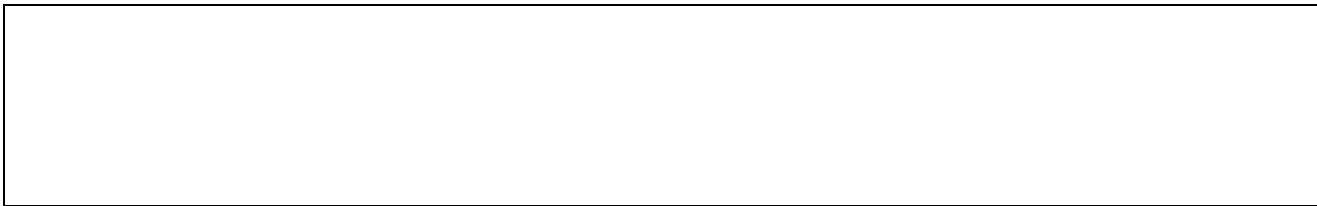
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;










<b>STUDIO DI GEOLOGIA</b> Geol. Nazario Di Lella C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	<b>Via: Via Ripalta 21/A</b> 71010 Lesina - FG  <b>Tel: 0882.218822 - 3283250902</b> <b>Fax: 0882218822</b> <b>Email: geol.dilella@gmail.com Web:</b>
---	--

**PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.**

	<b>Data: febbraio 2024</b>
	<b>Il committente EDISON RINNOVABILI S.P.A.</b>
	<b>IL Tecnico</b> <b>GEOL. N. DI LELLA</b>
	<b>Il Progettista</b> <b>GEOL. N. DI LELLA</b>
<b>Indagine geofisica tramite tecnica MASW IR-02</b>	

## Easy MASW

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

### Moto del segnale sismico

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

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

### Onde di Rayleigh – “R”

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

### Analisi del segnale con tecnica MASW

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

### Modellizzazione

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

$$v = \lambda \times v$$

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

### Modi di vibrazione

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

### Profondità di indagine

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

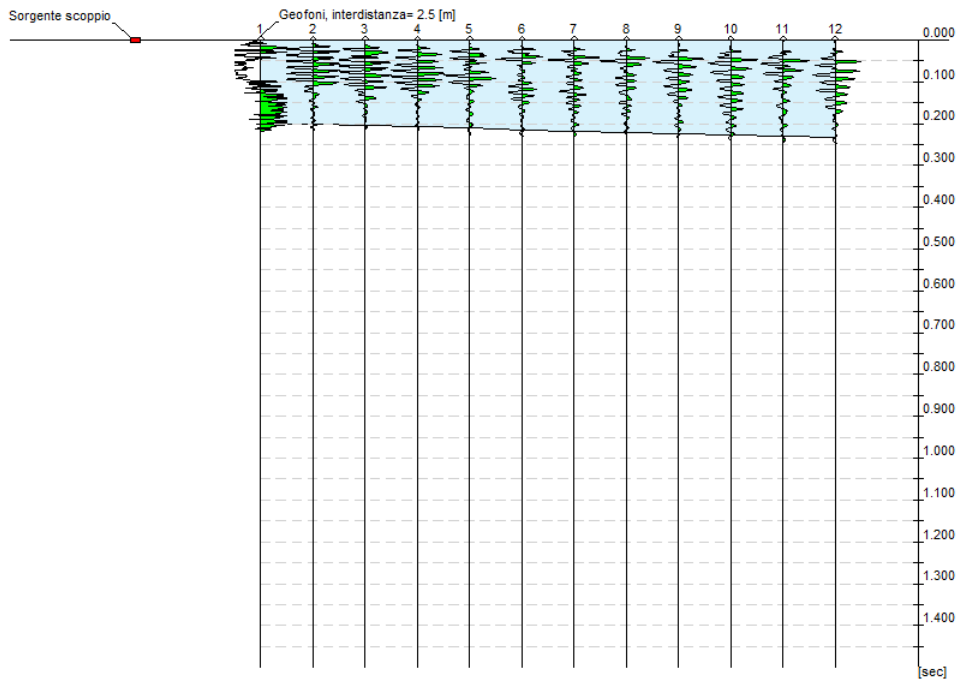
### Dati generali

<b>Committente</b>	EDISON RINNOVABILI S.P.A.
<b>Cantiere</b>	MINERVINO MURGE
<b>Località</b>	LOC. INTACCA - MINERVINO M.
<b>Operatore</b>	Geol. N. Di Lella
<b>Responsabile</b>	Geol. N. Di Lella
<b>Zona</b>	LOC. INTACCA - MINERVINO M.
<b>Data</b>	10/02/2024 12:00
<b>Latitudine</b>	41.0777
<b>Longitudine</b>	16.1166

## Tracce

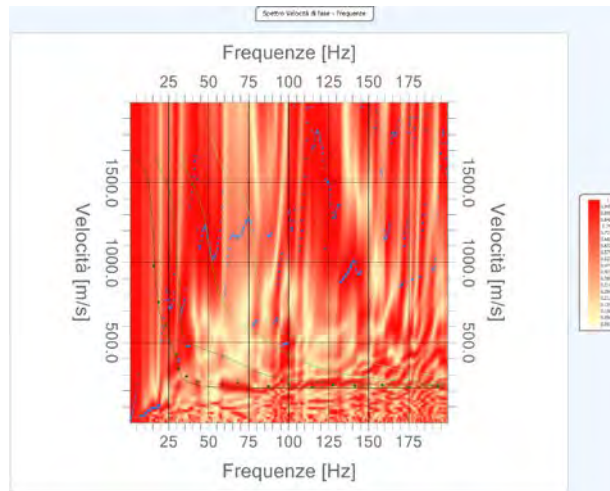
N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1500.0
Interdistanza geofoni [m]	2.5
Periodo di campionamento [msec]	1.00

Operatore: Geol. N. Di Lella  
Responsabile: Geol. N. Di Lella  
Data: 11/02/2024



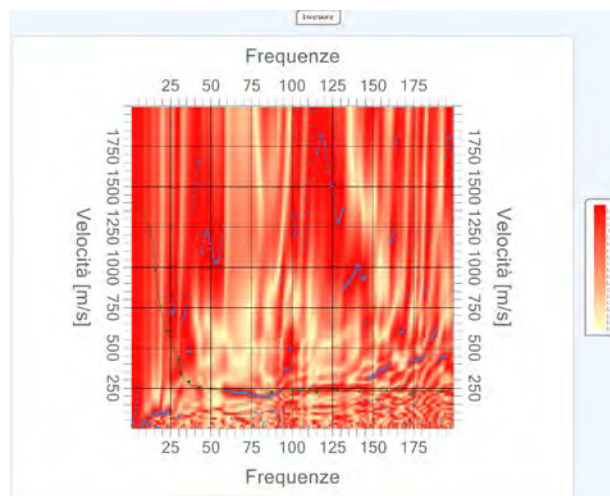
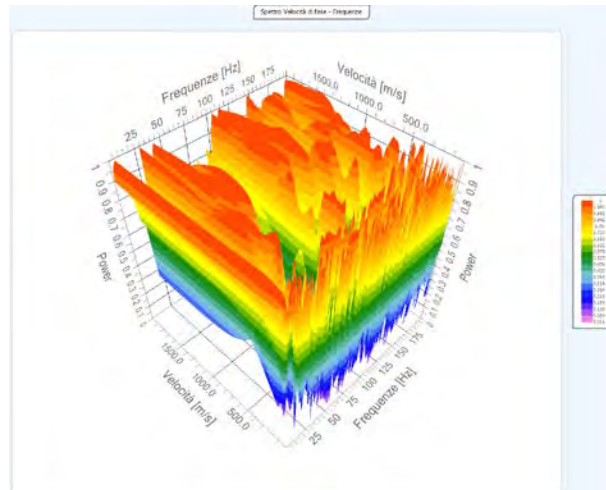
## Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	200
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	2000
Intervallo velocità [m/sec]	1



## Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	15.9	980.1	0
2	18.8	751.6	0
3	23.4	610.2	0
4	29.9	425.3	0
5	31.2	338.2	0
6	36.4	289.3	0
7	43.4	256.7	0
8	58.5	243.1	0
9	68.5	245.8	0
10	87.7	226.7	0
11	100.1	234.9	0
12	115.5	224.0	0
13	127.9	234.9	0
14	141.4	229.5	0
15	158.7	234.9	0
16	174.9	221.3	0
17	193.3	229.5	0





**Inversione**

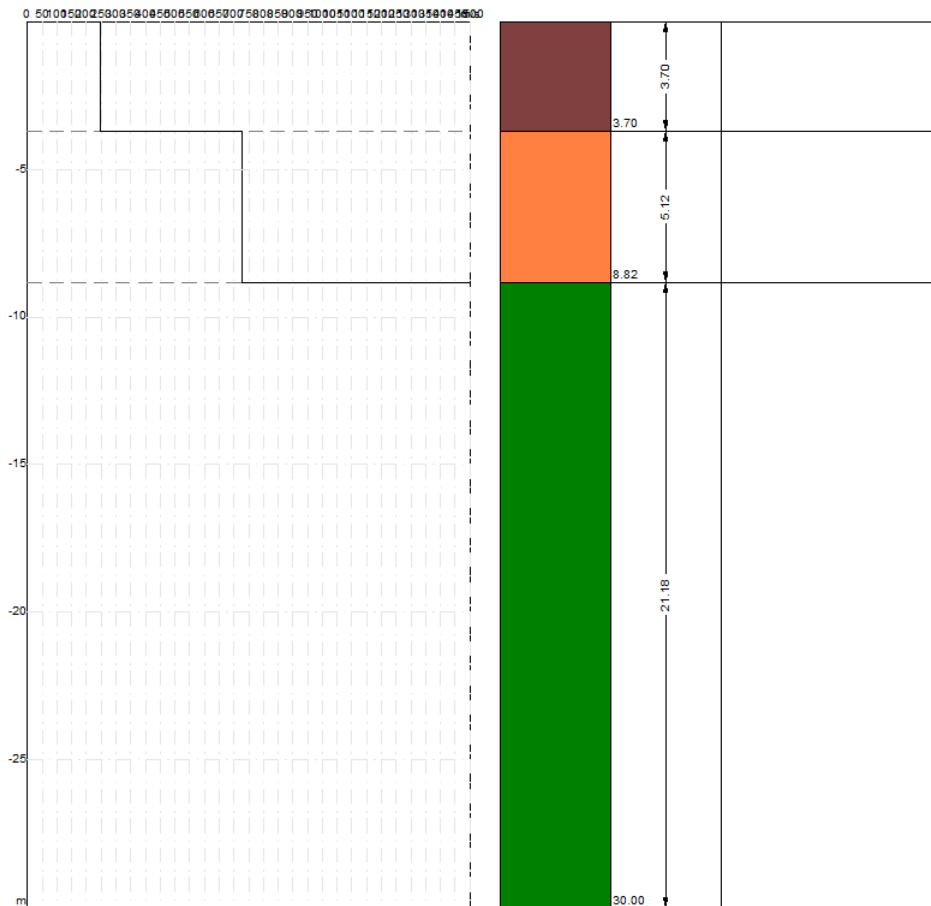
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		3.70	3.70	1850.0	0.4	No	605.1	247.0
2		8.82	5.12	1950.0	0.4	No	1649.8	725.8
3		∞	∞	2050.0	0.4	No	3125.6	1501.5

Percentuale di errore

0.058 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.031



## Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs30 [m/sec]	830.18
Categoria del suolo	A

Suolo di tipo A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs,30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con uno spessore massimo pari a 3m

## Altri parametri geotecnici

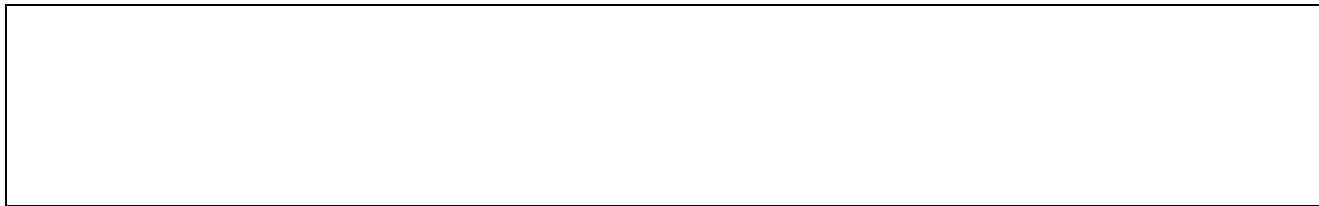
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	3.70	3.70	247.04	605.12	1800.00	0.40	109.85	659.11	512.64	307.59	N/A	2198.27
2	8.82	5.12	725.81	1649.79	1900.00	0.38	1000.92	5171.43	3836.87	2762.55	N/A	N/A
3	oo	oo	1501.50	3125.62	2000.00	0.35	4509.00	19538.99	13526.99	12174.29	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



<b>STUDIO DI GEOLOGIA</b> Geol. Nazario Di Lella C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	<b>Via: Via Ripalta 21/A</b> 71010 Lesina - FG  <b>Tel: 0882.218822 - 328.3250902</b> <b>Fax: 0882.218822</b> <b>Email: geol.dilella@gargano.it Web:</b>
---	---

**PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.**

	<b>Data: febbraio 2024</b>
	<b>Il committente EDISON RINNOVABILI S.P.A.</b>
	<b>IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA</b>
	<b>Il Progettista GEOL. N. DI LELLA</b>
<b>Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione - IR03</b>	

### Easy Refract

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

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

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

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

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

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

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

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

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

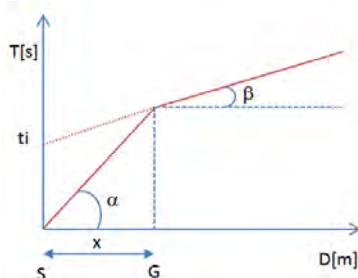
$$T = x_i / V_1$$

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

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

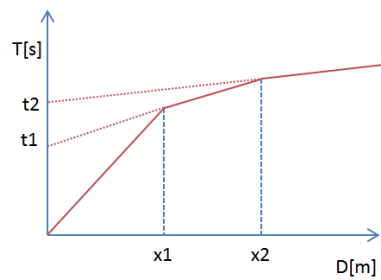
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

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



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

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

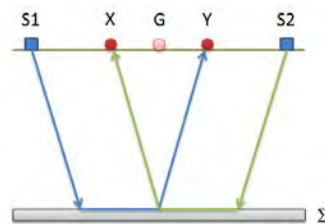


Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

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

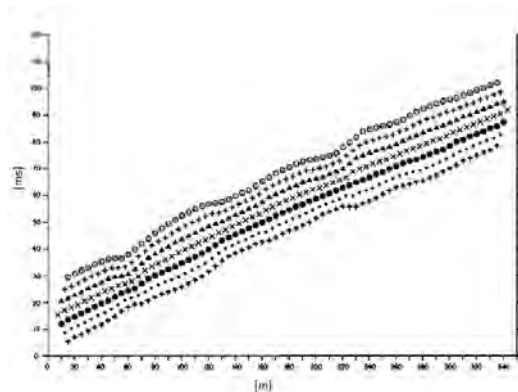
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



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

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

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



dove  $T_{S_1Y}$  e  $T_{S_2X}$  sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre  $T_{S_1S_2}$  è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento.  $T_v$  è

STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711

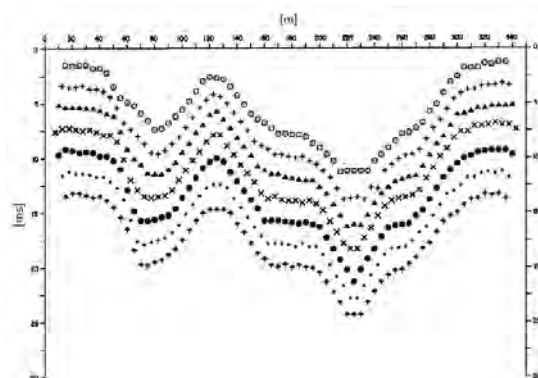
il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

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

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

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

Dove  $V_n$  è la velocità del rifrattore.



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

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

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

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

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

#### Dati generali

Descrizione	PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.
Committente	EDISON RINNOVABILI S.P.A.
Zona	Minervino Murge - IR03
Operatore	GEOL. N. DI LELLA
Responsabile	GEOL. N. DI LELLA
Data	03/02/2024
Via	Minervino Murge - IR03
Latitudine	41,0742165°N[°]
Longitudine	16,1366242°E[°]
Altitudine	533[m]

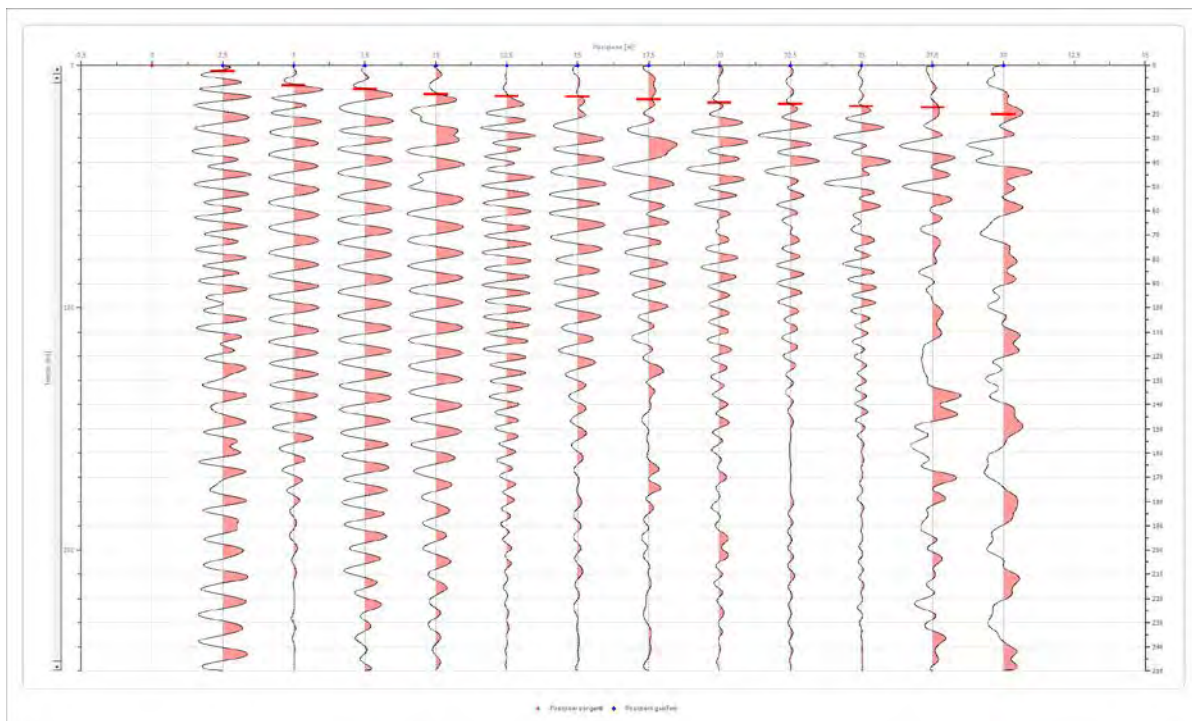
### Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.5	0.0
2	5.0	0.0
3	7.5	0.0
4	10.0	0.0
5	12.5	0.0
6	15.0	0.0
7	17.5	0.0
8	20.0	0.0
9	22.5	0.0
10	25.0	0.0
11	27.5	0.0
12	30.0	0.0

### Dati battute

Battuta 1

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

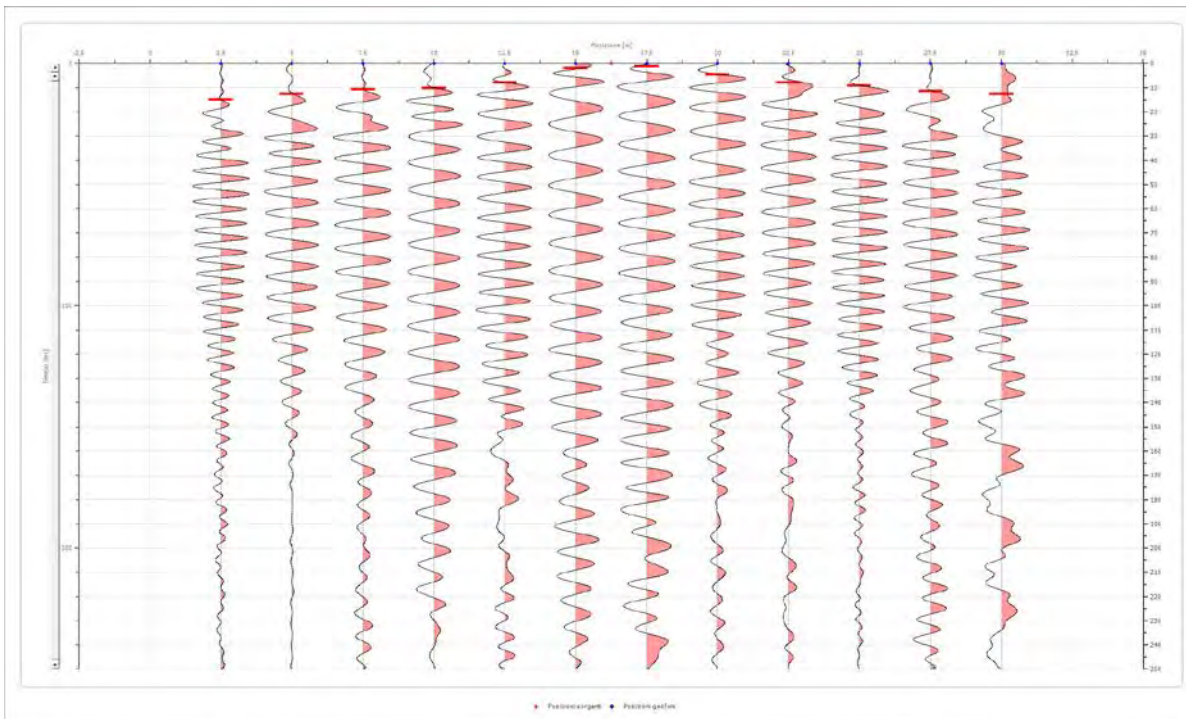


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	2.3659
5.0	8.2808
7.5	9.8580
10.0	11.8297
12.5	12.6183
15.0	13.0126
17.5	14.1956
20.0	15.3785
22.5	15.7729
25.0	16.9558
27.5	17.3502
30.0	20.1104

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

Battuta 2

Posizione sorgente X 16 [m]  
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	14.9842
5.0	12.6183
7.5	10.6467
10.0	10.2524
12.5	7.8864
15.0	1.9716
17.5	1.1830
20.0	4.7319
22.5	7.8864
25.0	9.0694
27.5	11.4353
30.0	12.6183

STUDIO DI GEOLOGIA

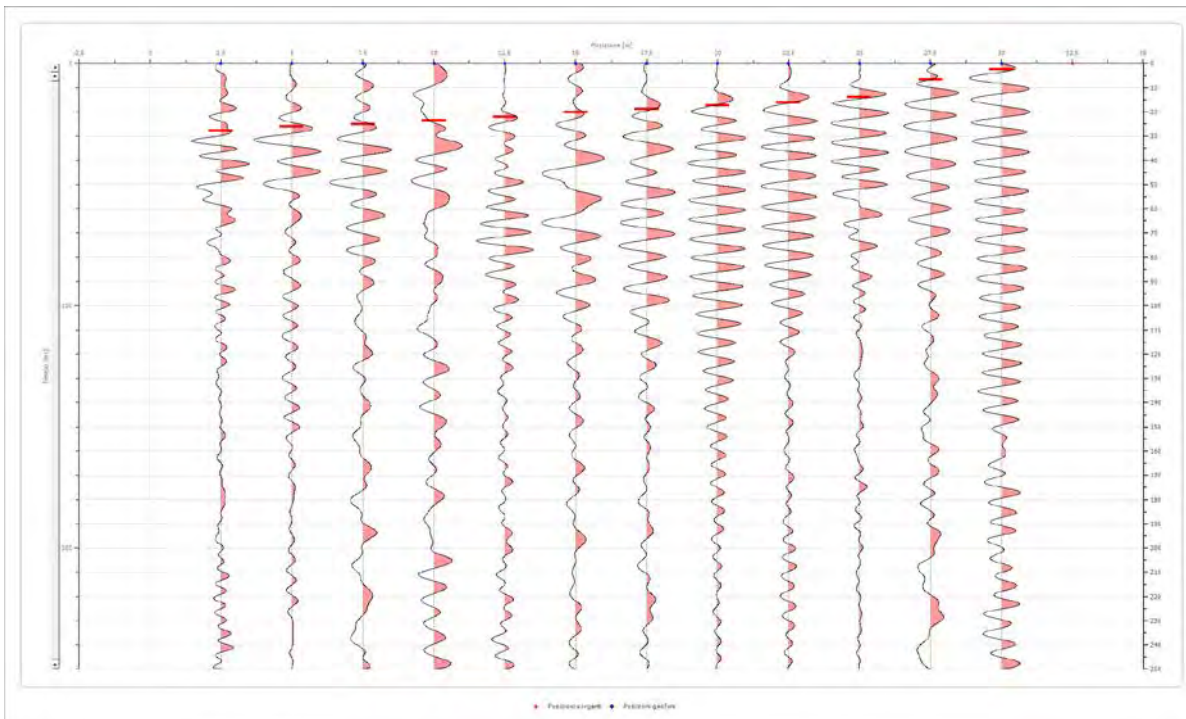
Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711



PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

Battuta 3

Posizione sorgente X 33 [m]  
 Posizione sorgente Z 0 [m]



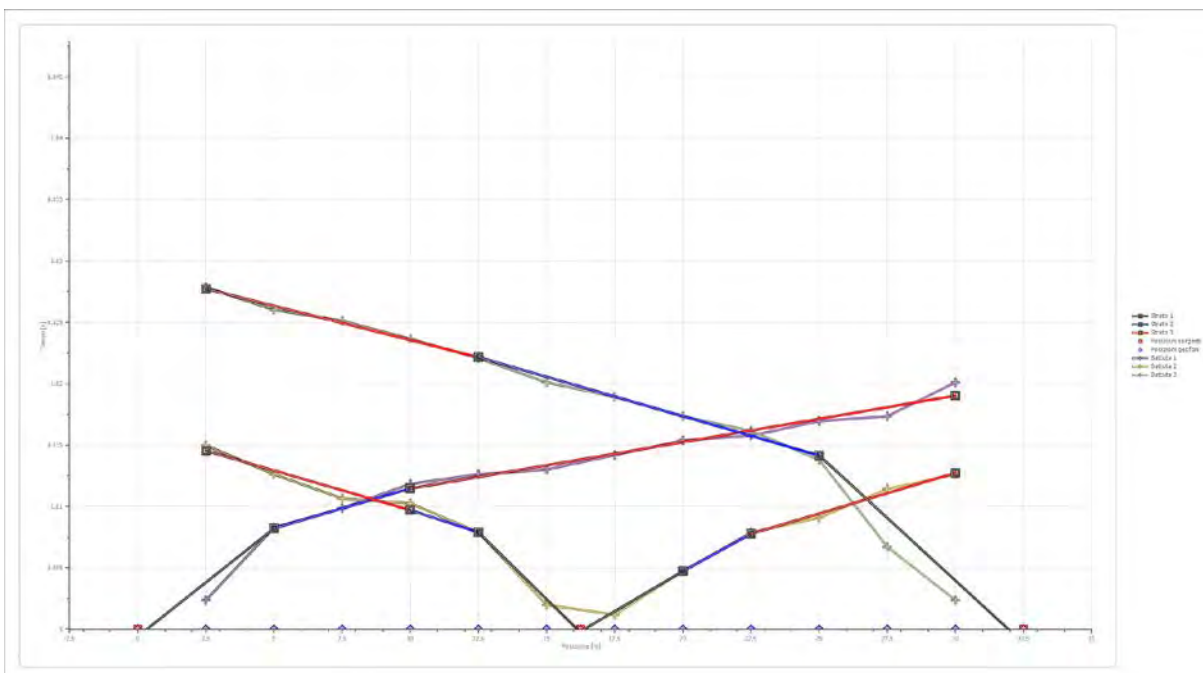
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	27.8750
5.0	26.0252
7.5	25.1250
10.0	23.6593
12.5	22.0820
15.0	20.1104
17.5	18.9274
20.0	17.3502
22.5	16.1672
25.0	13.8013
27.5	6.7035
30.0	2.3659

STUDIO DI GEOLOGIA

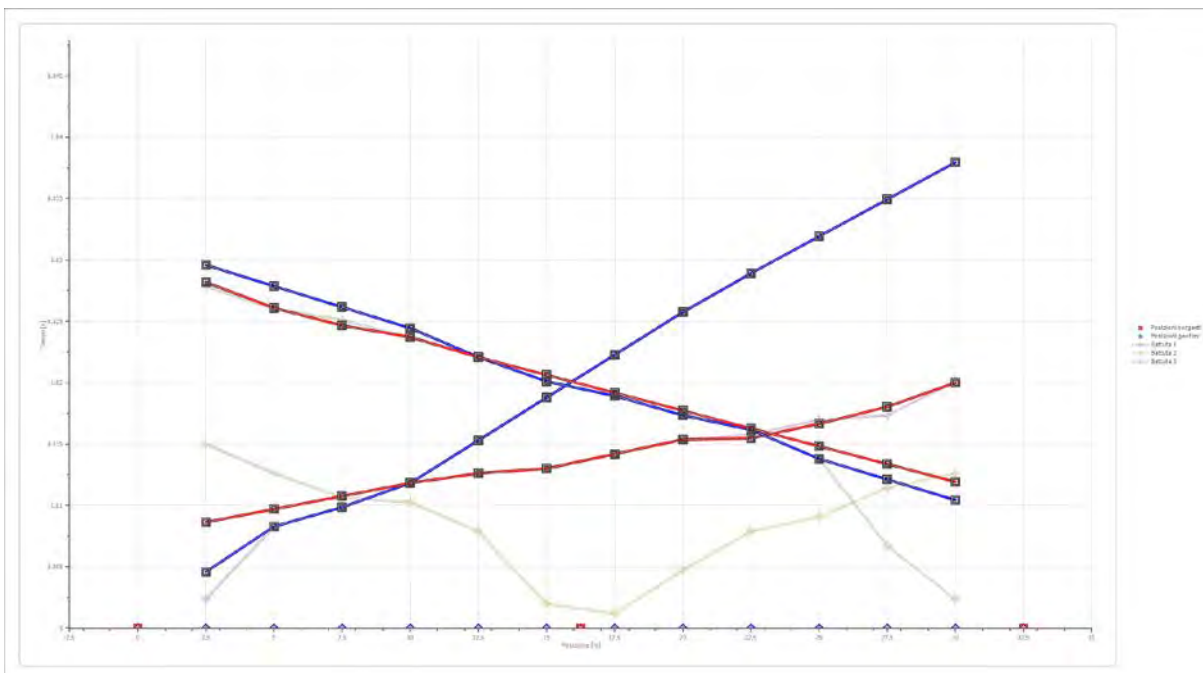
Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

**Dromocrone**



**Dromocrone traslate**



**Interpretazione col metodo G<sub>r</sub>R.M.**

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.5 [m]	0.0	7.3	--
G= 5.0 [m]	0.1	6.5	--
G= 7.5 [m]	0.1	6.3	--
G= 10.0 [m]	0.2	6.3	--
G= 12.5 [m]	0.6	5.4	--
G= 15.0 [m]	1.1	4.3	--
G= 17.5 [m]	2.0	3.4	--
G= 20.0 [m]	2.7	2.7	--
G= 22.5 [m]	3.4	3.4	--
G= 25.0 [m]	3.6	3.6	--
G= 27.5 [m]	4.1	4.1	--
G= 30.0 [m]	4.6	4.6	--
Velocità [m/sec]	599.0	1037.9	2093.1
Descrizione			

**Altri parametri geotecnici**

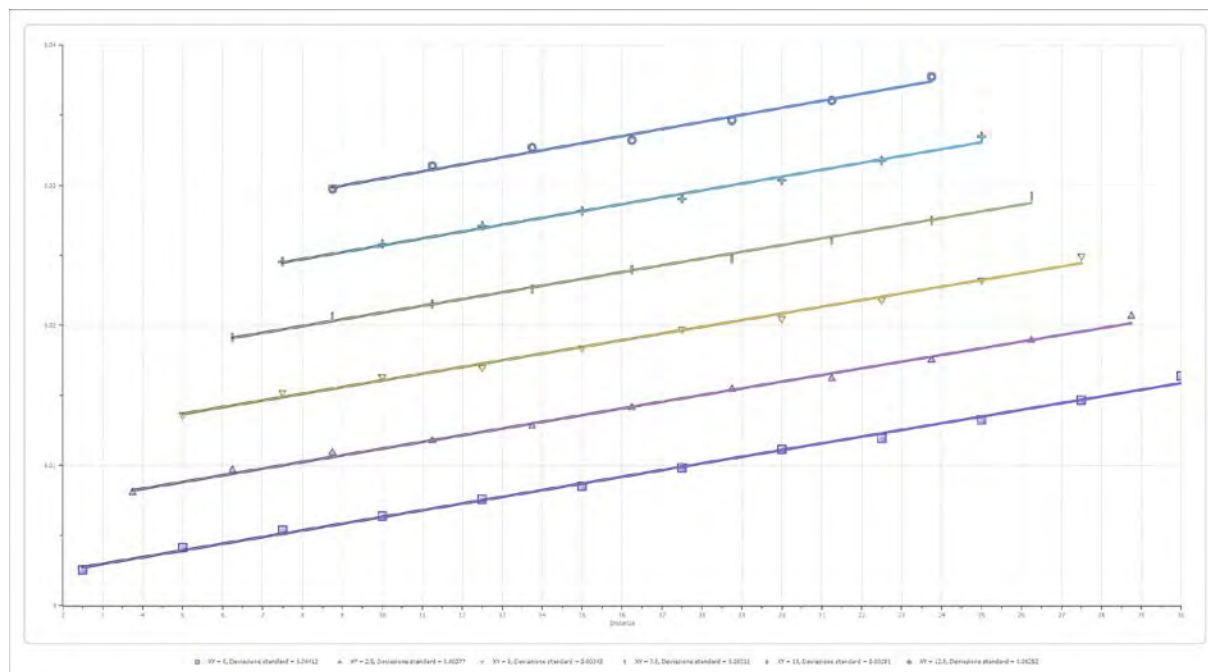
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.40	0.38	0.30
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	1900.00	2000.00
V <sub>p</sub> [m/s]	599.03	1037.90	2093.08
V <sub>s</sub> [m/s]	244.55	456.62	1118.80
G <sub>0</sub> [MPa]	107.65	396.15	2503.41
Ed [Mpa]	645.91	2046.76	8761.95
M <sub>0</sub> [MPa]	538.25	1650.61	6258.53
E <sub>y</sub> [Mpa]	301.42	1093.36	6508.88

G<sub>0</sub>: Modulo di deformazione al taglio;

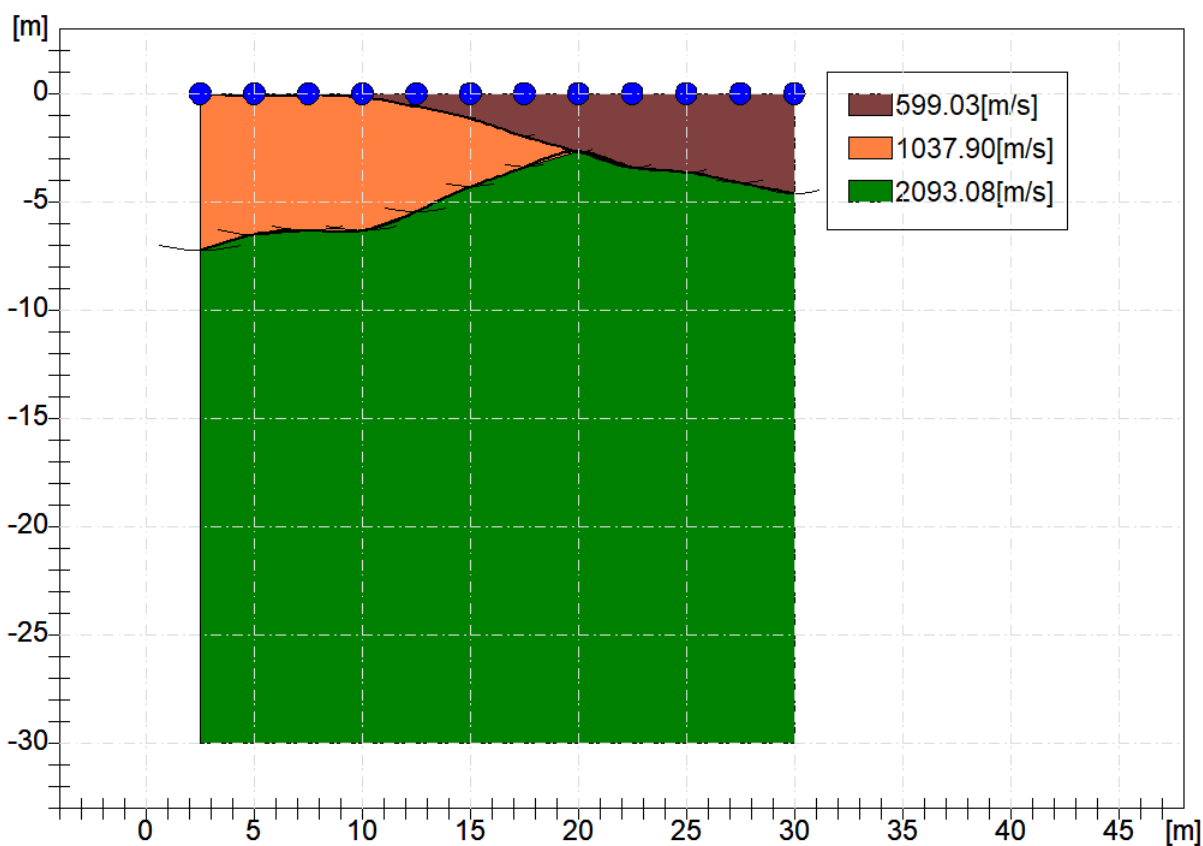
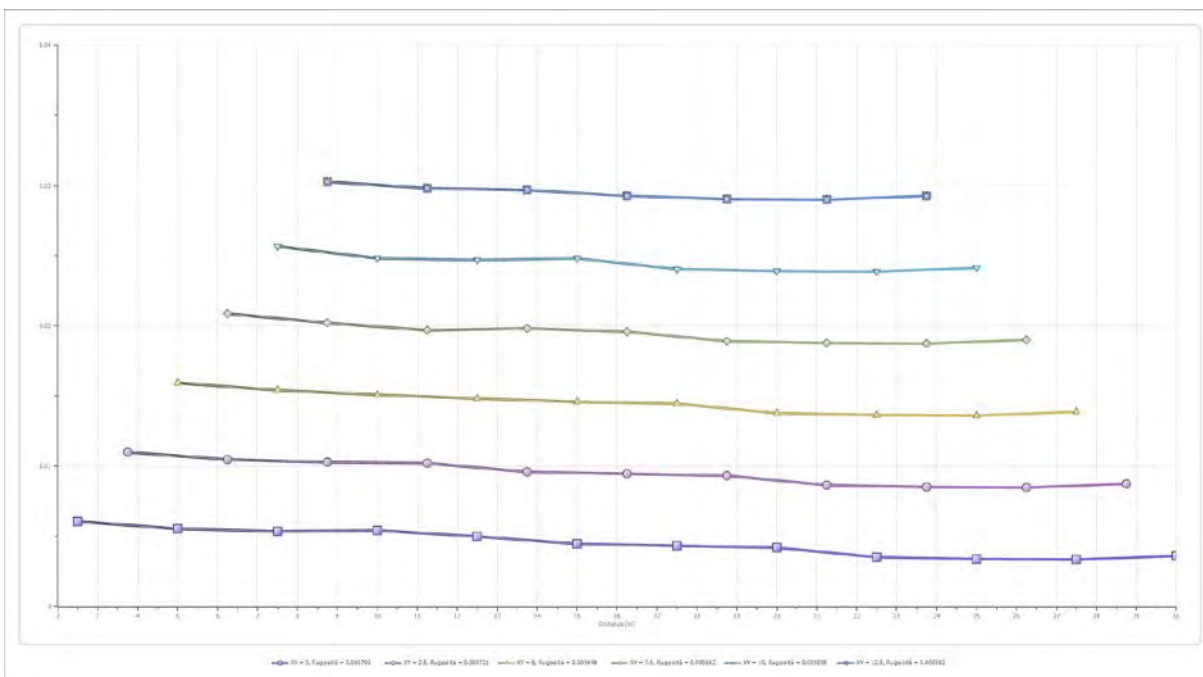
Ed: Modulo edometrico;

M<sub>0</sub>: Modulo di compressibilità volumetrica;

E<sub>y</sub>: Modulo di Young;



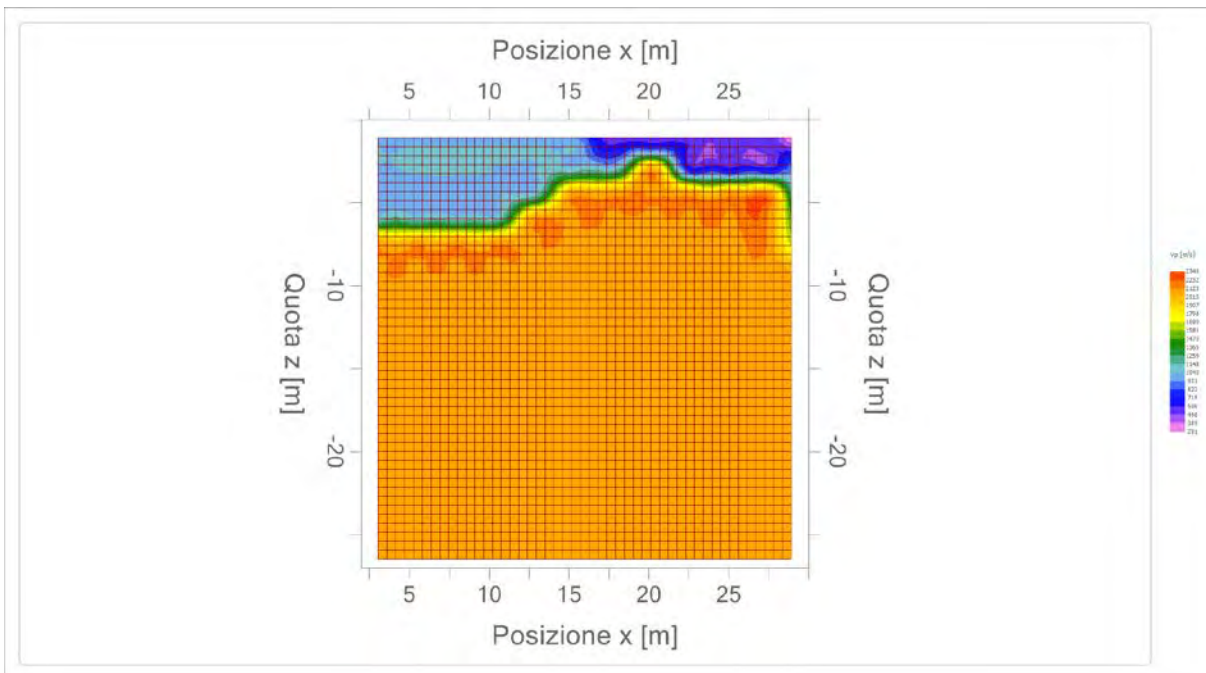
PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.



STUDIO DI GEOLOGIA

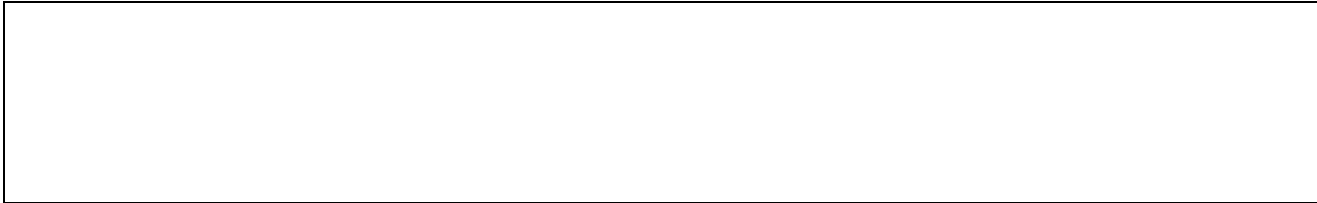
Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L011054R, P.Iva.02101530711

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.




STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711



<b>GEOL. N. DI LELLA</b> <b>C.FISC: DLLNZR64L01I054R</b> <b>P.IVA: 02101530711</b>	<b>Via: VIA RIPALTA 19-21</b> <b>71010 LESINA - FG</b> <b>Tel: 0882.218822 - 328.3250902</b> <b>Fax: 0882.218822</b> <b>Email: geol.dilella@gmail.com Web:</b>
--	--

**PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.**

	<b>Data: febbraio 2024</b>
	<b>Il committente EDISON RINNOVABILI S.P.A.</b>
	<b>IL Tecnico</b> <b>GEOL. N. DI LELLA</b>
	<b>Il Progettista</b> <b>GEOL. N. DI LELLA</b>
<b>Indagine geofisica tramite tecnica MASW – IR03</b>	

## Easy MASW

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

### Moto del segnale sismico

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

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

### Onde di Rayleigh – “R”

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

### Analisi del segnale con tecnica MASW

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

### Modellizzazione

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

$$v = \lambda \times v$$

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

### Modi di vibrazione

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

### Profondità di indagine

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

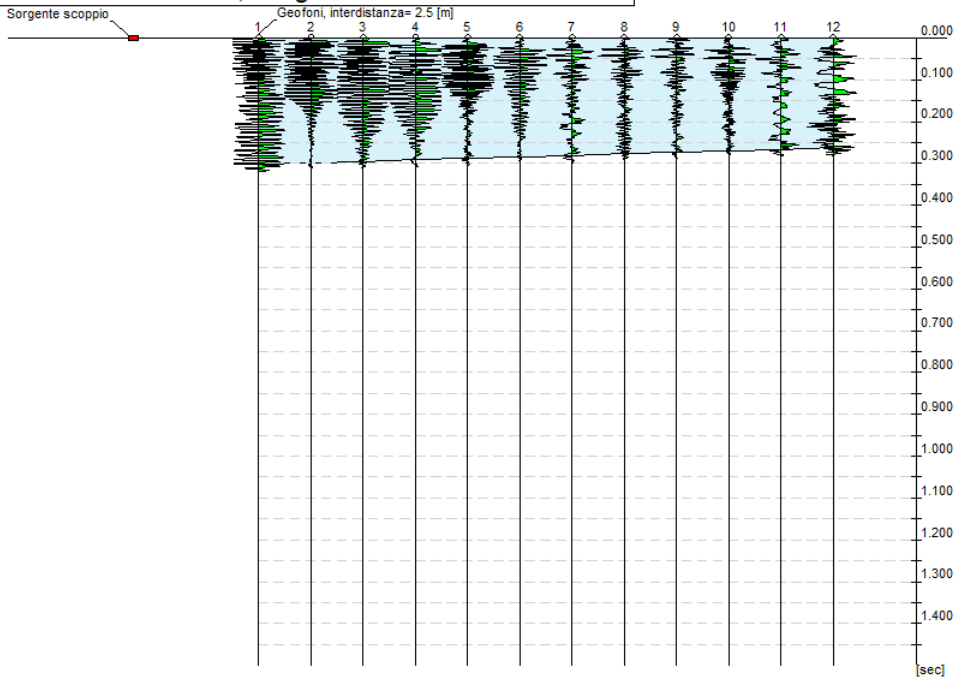
### Dati generali

<b>Committente</b>	EDISON RINNOVABILI S.P.A.
<b>Cantiere</b>	MINERVINO MURGE
<b>Località</b>	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR03
<b>Operatore</b>	Geol. N. Di Lella
<b>Responsabile</b>	Geol. N. Di Lella
<b>Zona</b>	LOC. INTACCA - MINERVINO M.
<b>Data</b>	10/02/2024 12:00
<b>Latitudine</b>	41.0742
<b>Longitudine</b>	16.1366

## Tracce

N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1500.0
Interdistanza geofoni [m]	2.5
Periodo di campionamento [msec]	1.00

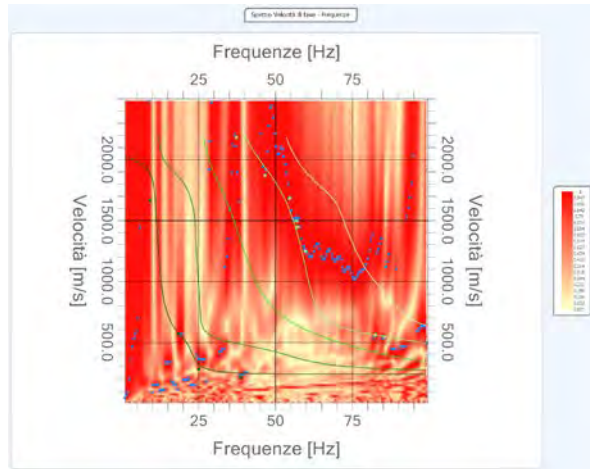
Committente: EDISON RINNOVABILI S.P.A.  
Cantiere: MINERVINO MURGE  
Località: LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR03  
Operatore: Geol. N. Di Lella  
Responsabile: Geol. N. Di Lella  
Data: 10/02/2024  
Latitudine: 41.0742°, Longitudine: 16.1366°





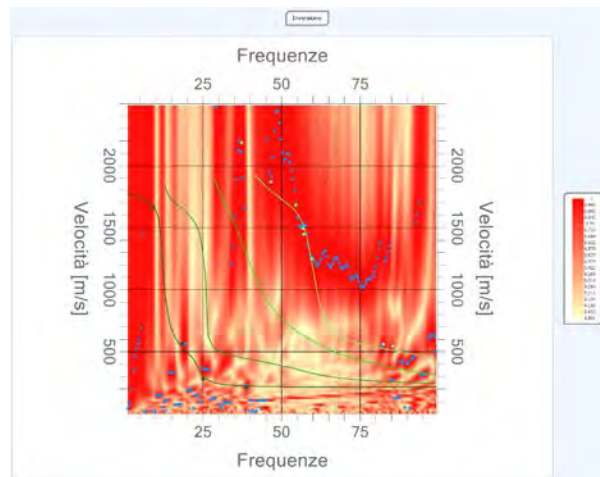
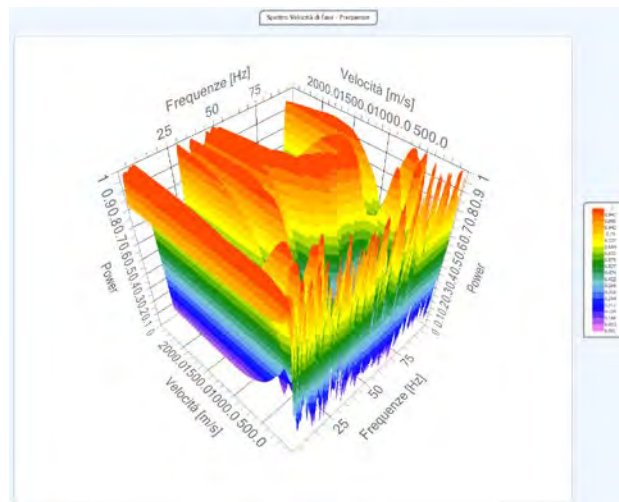
## Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	100
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	2500
Intervallo velocità [m/sec]	1



## Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	9.3	1660.2	0
2	18.4	565.4	0
3	25.1	276.4	0
4	38.8	205.0	0
5	37.3	2183.8	3
6	46.7	1871.0	3
7	54.6	1680.6	3
8	57.0	1493.6	3
9	57.2	1446.0	3
10	59.7	1245.4	3
11	82.5	558.6	3
12	85.6	541.6	3



**Inversione**

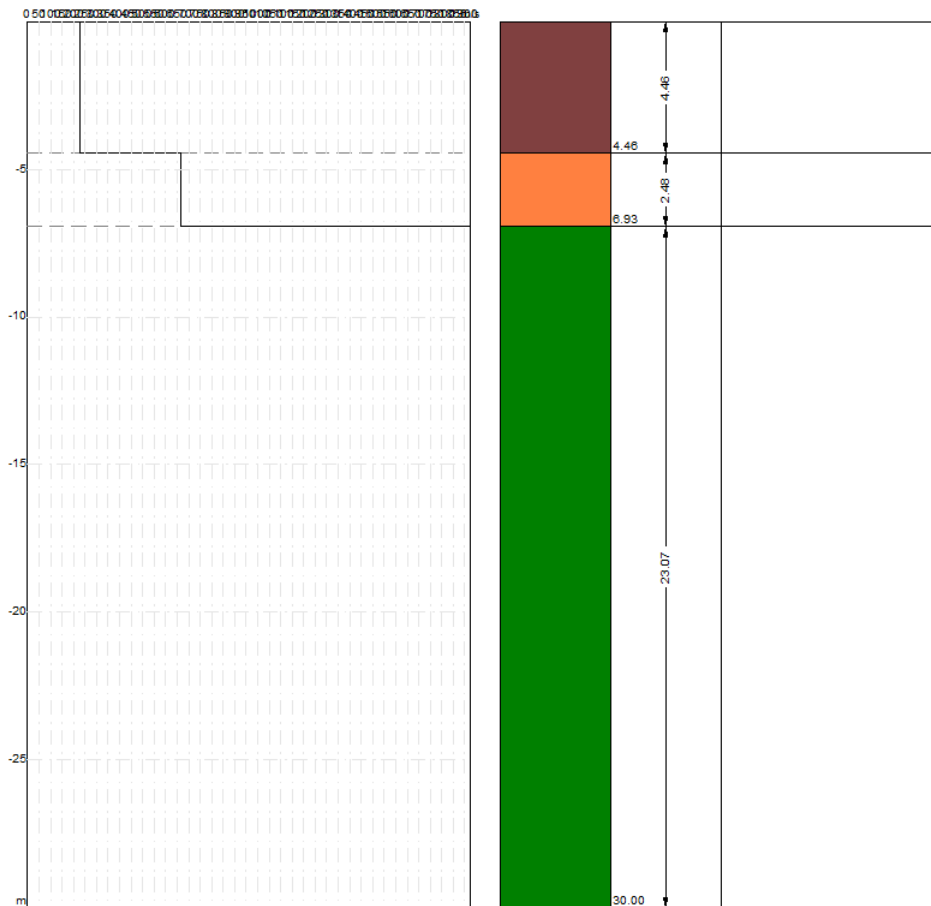
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		4.46	4.46	1850.0	0.4	No	556.7	227.3
2		6.93	2.48	1950.0	0.4	No	1515.4	666.7
3		∞	∞	2100.0	0.3	No	3599.0	1923.8

Percentuale di errore

0.113 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.103



## Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs30 [m/sec]	849.43
Categoria del suolo	A

Suolo di tipo A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs,30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con uno spessore massimo pari a 3m

## Altri parametri geotecnici

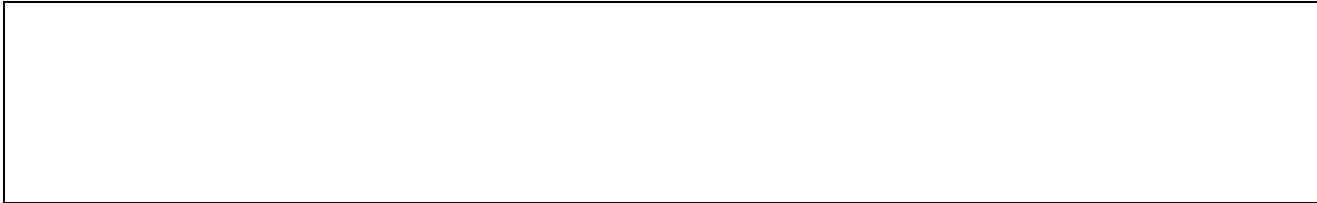
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	4.46	4.46	227.26	556.68	1800.00	0.40	92.97	557.81	433.85	260.31	N/A	1445.37
2	6.93	2.48	666.67	1515.35	1900.00	0.38	844.44	4362.95	3237.02	2330.66	N/A	N/A
3	oo	oo	1923.77	3599.05	2000.00	0.30	7401.80	25906.29	16037.23	19244.67	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



<b>STUDIO DI GEOLOGIA</b> Geol. Nazario Di Lella C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	<b>Via: Via Ripalta 21/A</b> 71010 Lesina - FG  Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gargano.it Web:
---	--

**PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.**

	<b>Data: febbraio 2024</b>
	<b>Il committente EDISON RINNOVABILI S.P.A.</b>
	<b>IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA</b>
	<b>Il Progettista GEOL. N. DI LELLA</b>

**Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione – IR06**

### Easy Refract

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

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

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

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

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

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

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

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

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

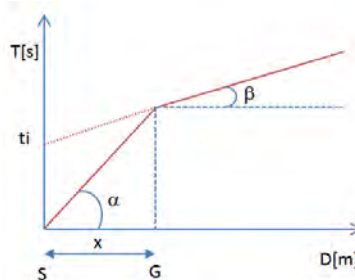
$$T = x_i / V_1$$

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

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

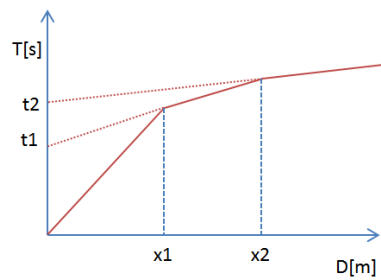
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

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



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

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

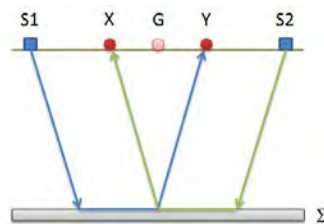


Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

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

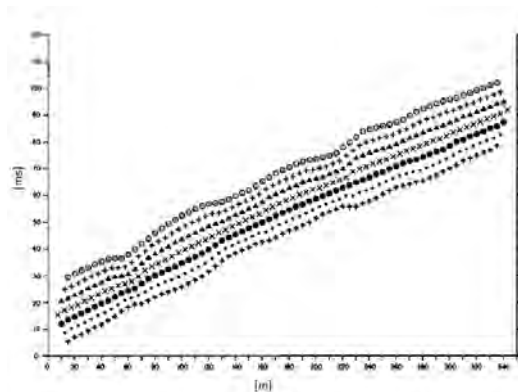
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



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

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

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



dove  $T_{S_1Y}$  e  $T_{S_2X}$  sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre  $T_{S_1S_2}$  è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento.  $T_v$  è

STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

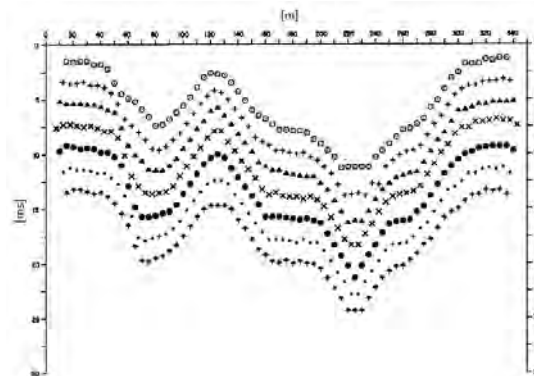
il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

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

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

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

Dove  $V_n$  è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo. Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

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

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

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

#### Dati generali

Descrizione	PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.
Committente	EDISON RINNOVABILI S.P.A.
Zona	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR06
Operatore	Geol. N. Di Lella
Responsabile	Geol. N. Di Lella
Data	11/02/2024
Via	LOC. INTACCA - MINERVINO M.
Latitudine	41.05697[°]
Longitudine	16.11448[°]
Altitudine	608[m]

STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711

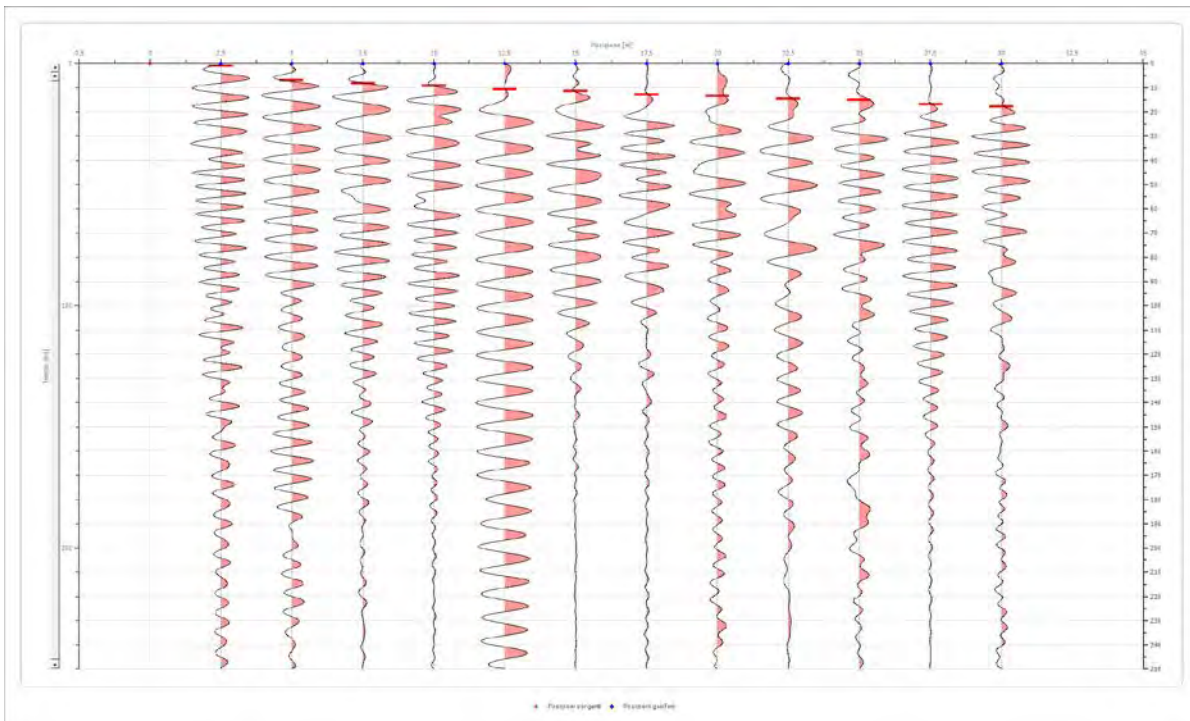
### Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.5	0.0
2	5.0	0.0
3	7.5	0.0
4	10.0	0.0
5	12.5	0.0
6	15.0	0.0
7	17.5	0.0
8	20.0	0.0
9	22.5	0.0
10	25.0	0.0
11	27.5	0.0
12	30.0	0.0

### Dati battute

Battuta 1

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



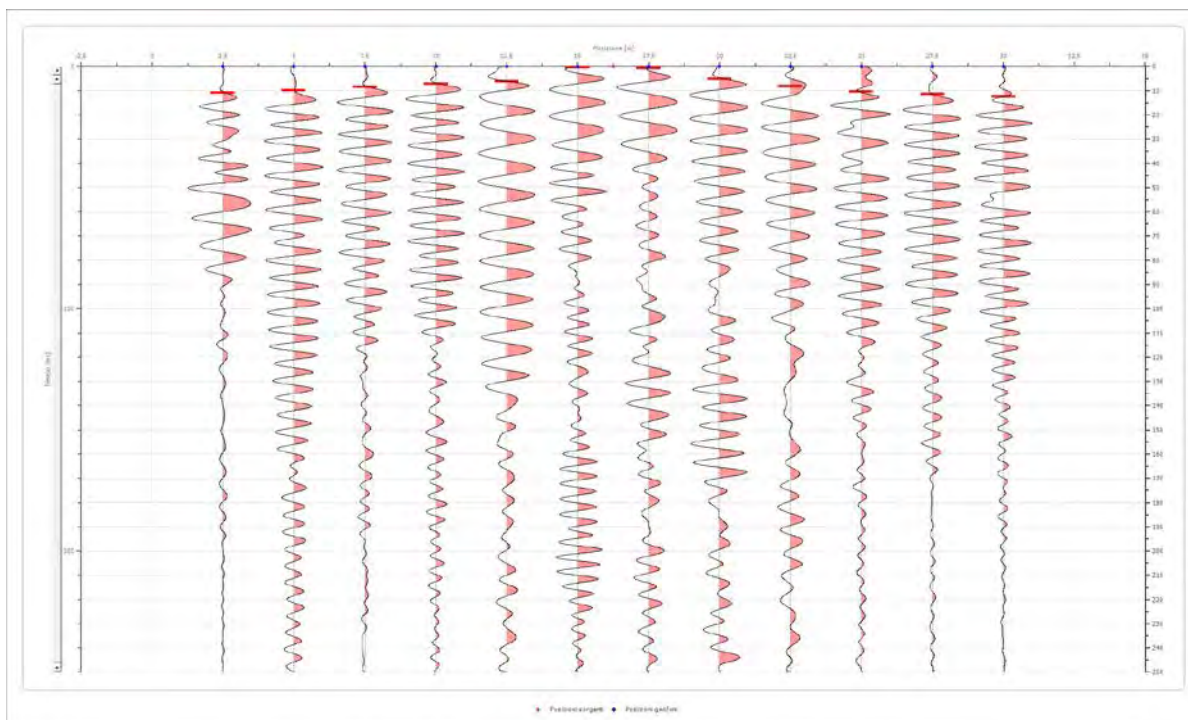
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	0.9930
5.0	6.9513
7.5	8.1927
10.0	9.1857
12.5	10.6753
15.0	11.4201
17.5	12.9096
20.0	13.4062
22.5	14.6475
25.0	15.1440
27.5	16.8818
30.0	17.8749



PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

Battuta 2

Posizione sorgente X 16 [m]  
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	10.9235
5.0	9.9305
7.5	8.4409
10.0	7.1996
12.5	6.2066
15.0	0.4965
17.5	0.7448
20.0	5.2135
22.5	8.1927
25.0	10.4270
27.5	11.4201
30.0	12.4131

STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

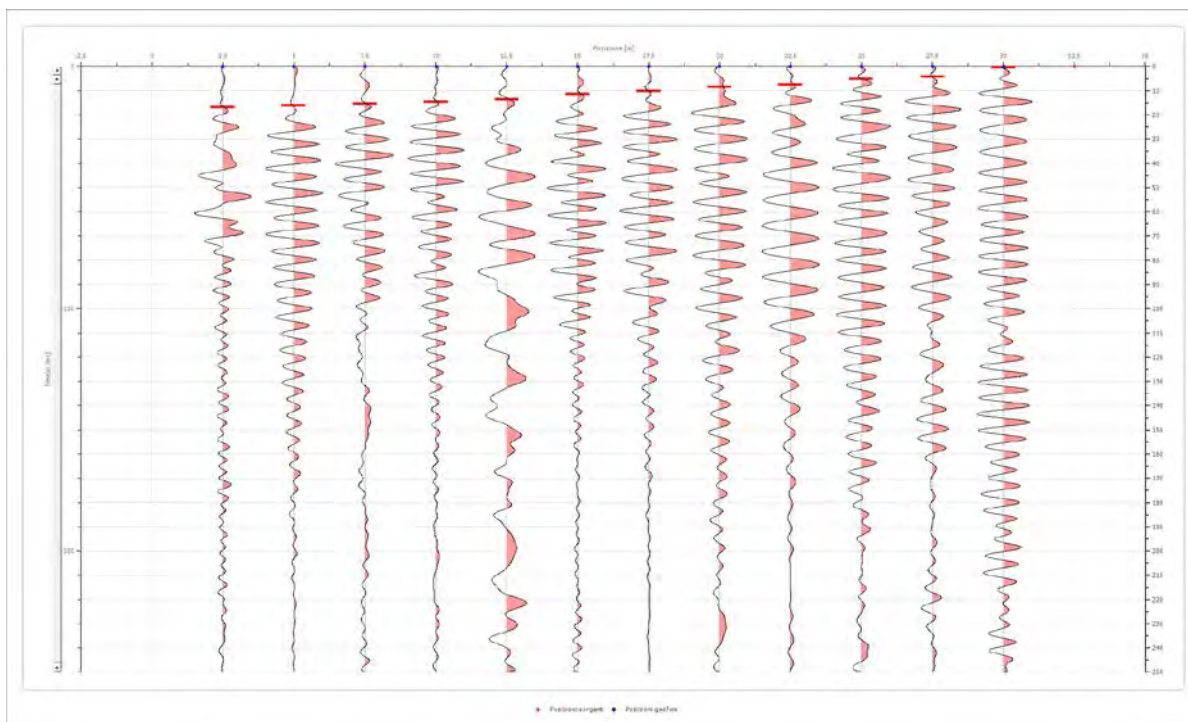
Battuta 3

Posizione sorgente X

33 [m]

Posizione sorgente Z

0 [m]

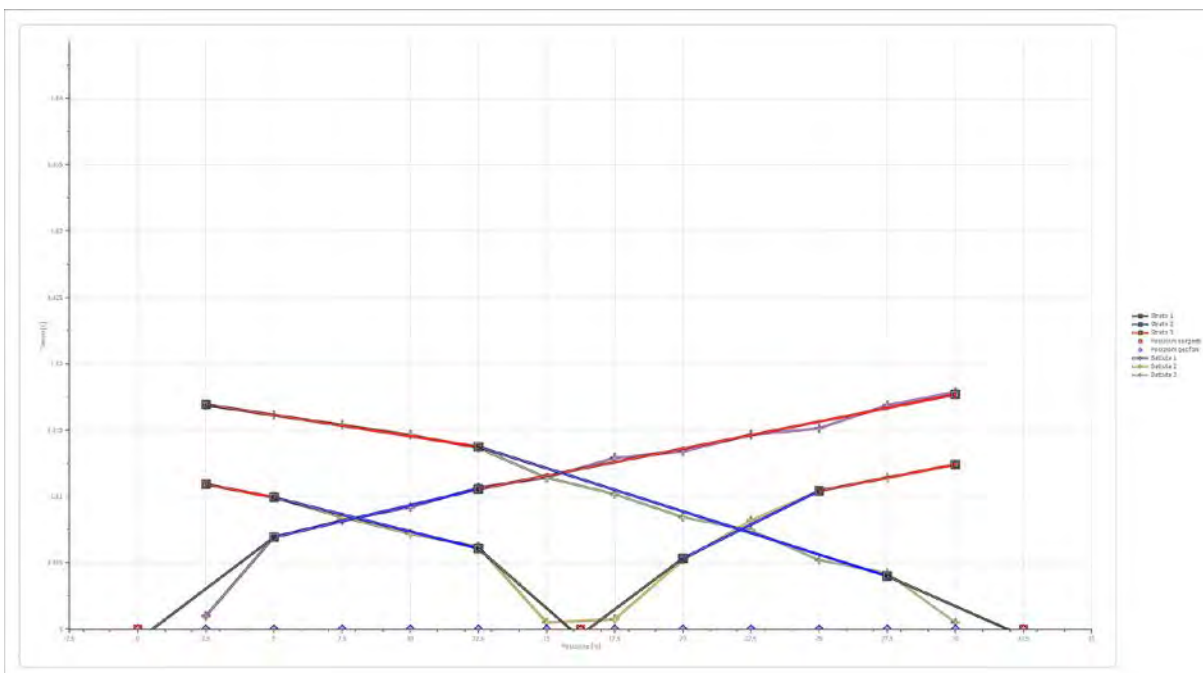


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	16.8818
5.0	16.1370
7.5	15.3923
10.0	14.6475
12.5	13.6544
15.0	11.4201
17.5	10.1787
20.0	8.4409
22.5	7.4479
25.0	5.2135
27.5	4.2205
30.0	0.4965

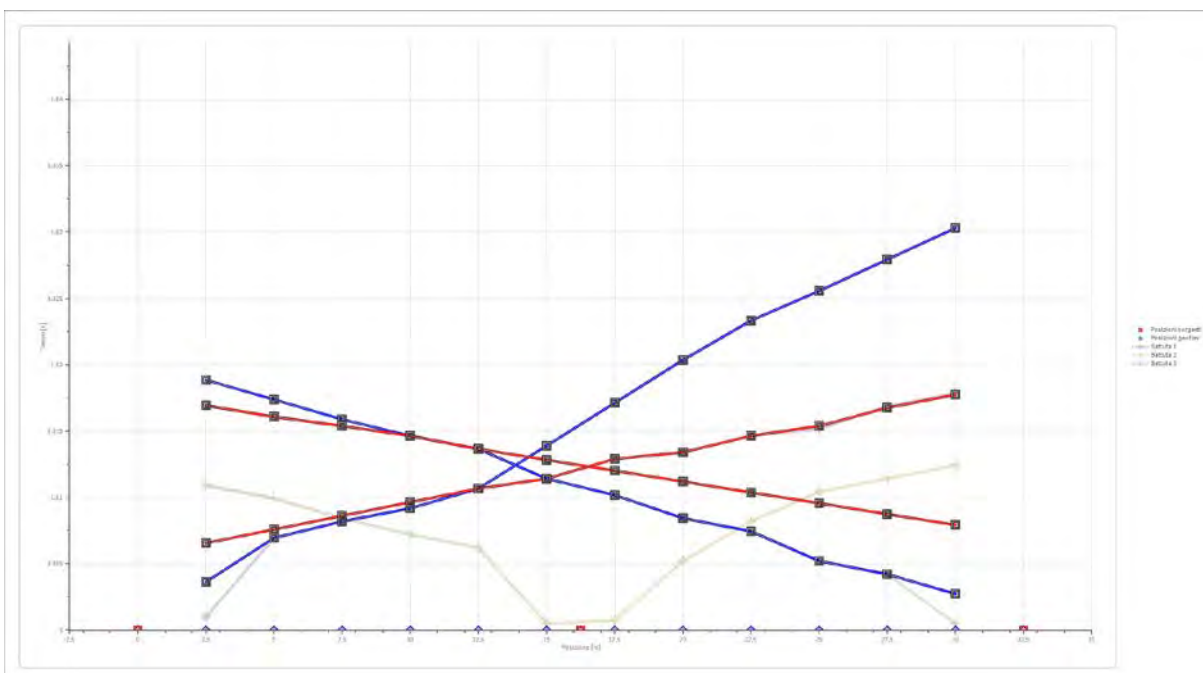
STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711

**Dromocrone**



**Dromocrone traslate**



**Interpretazione col metodo G.,R.M.**

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.5 [m]	0.0	3.8	--
G= 5.0 [m]	0.0	3.9	--
G= 7.5 [m]	0.0	4.1	--
G= 10.0 [m]	0.0	4.3	--
G= 12.5 [m]	0.0	4.4	--
G= 15.0 [m]	0.0	4.3	--
G= 17.5 [m]	0.4	4.5	--
G= 20.0 [m]	1.1	3.8	--
G= 22.5 [m]	2.1	3.3	--
G= 25.0 [m]	2.1	3.3	--
G= 27.5 [m]	2.8	3.2	--
G= 30.0 [m]	3.3	3.3	--
Velocità [m/sec]	792.0	1265.2	2733.1
Descrizione			

**Altri parametri geotecnici**

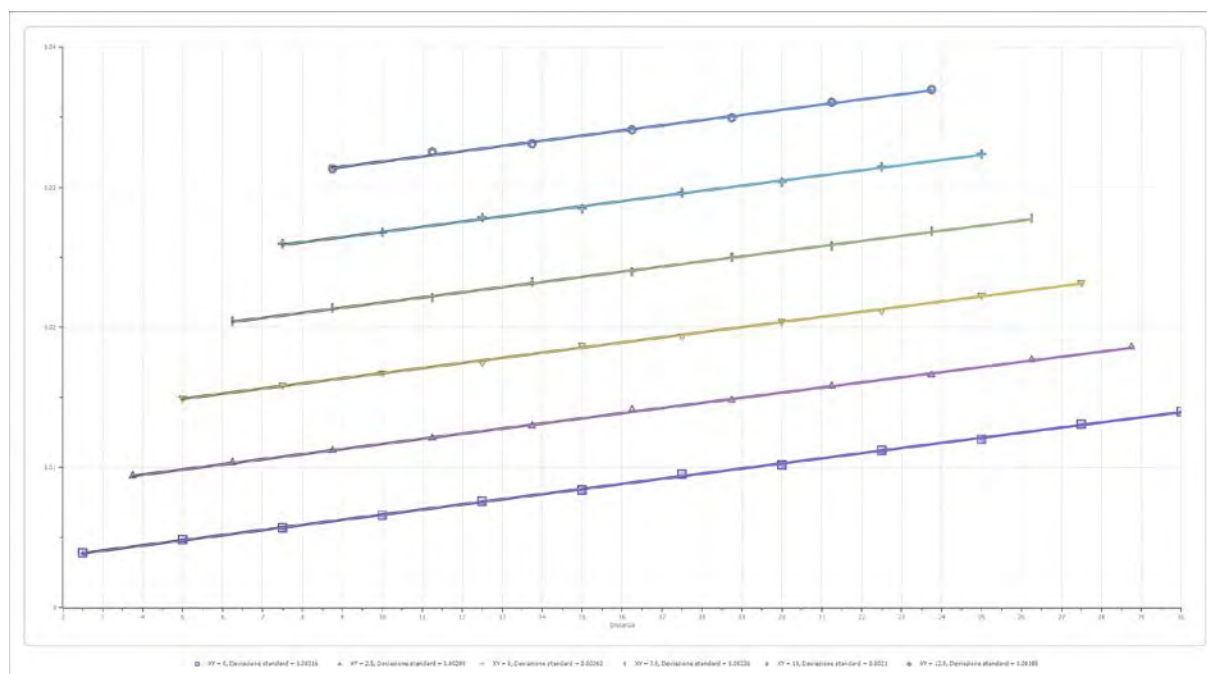
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.38	0.35	0.35
Densità [kg/m³]	1800.00	1900.00	2000.00
Vp [m/s]	792.04	1265.23	2733.12
Vs [m/s]	348.45	607.80	1312.95
G0 [MPa]	218.55	701.89	3447.66
Ed [Mpa]	1129.19	3041.54	14939.86
M0 [MPa]	910.64	2339.65	11492.20
Ey [Mpa]	603.21	1895.12	9308.68

G0: Modulo di deformazione al taglio;

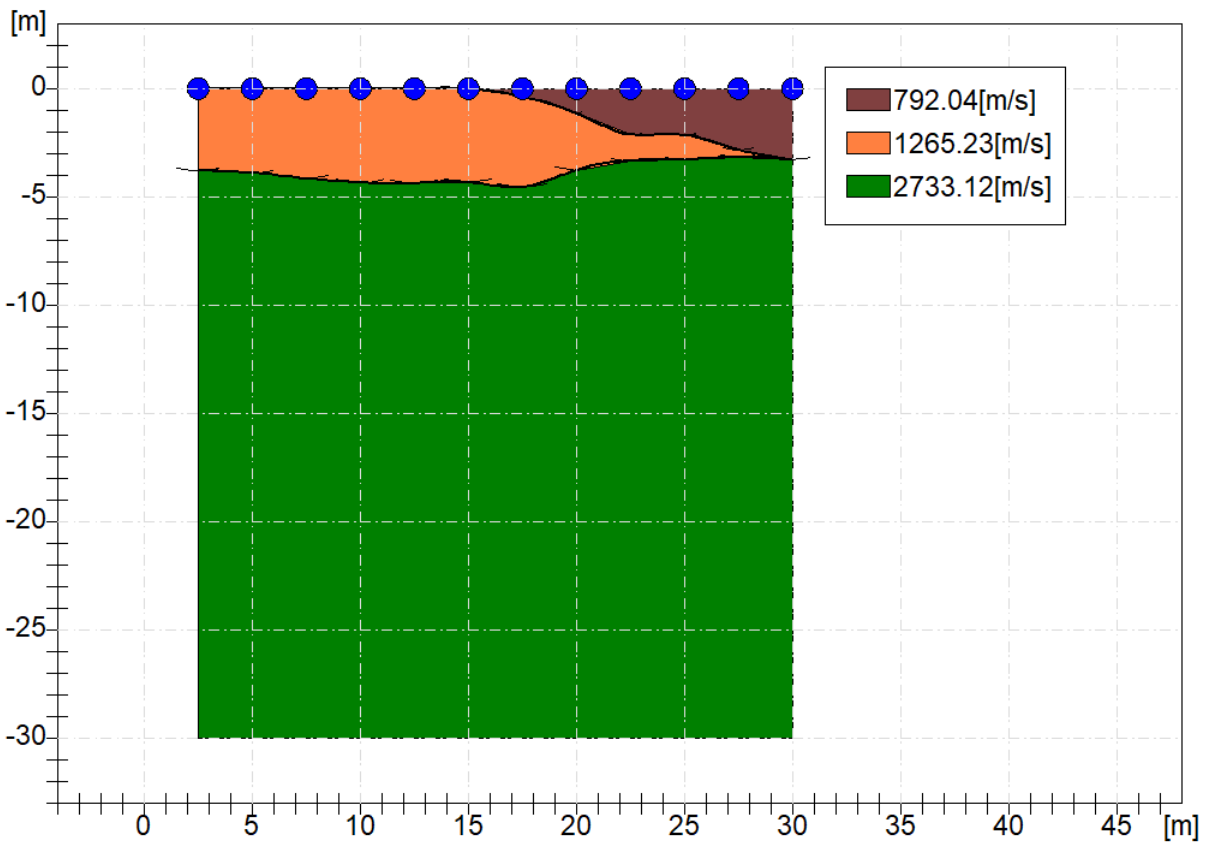
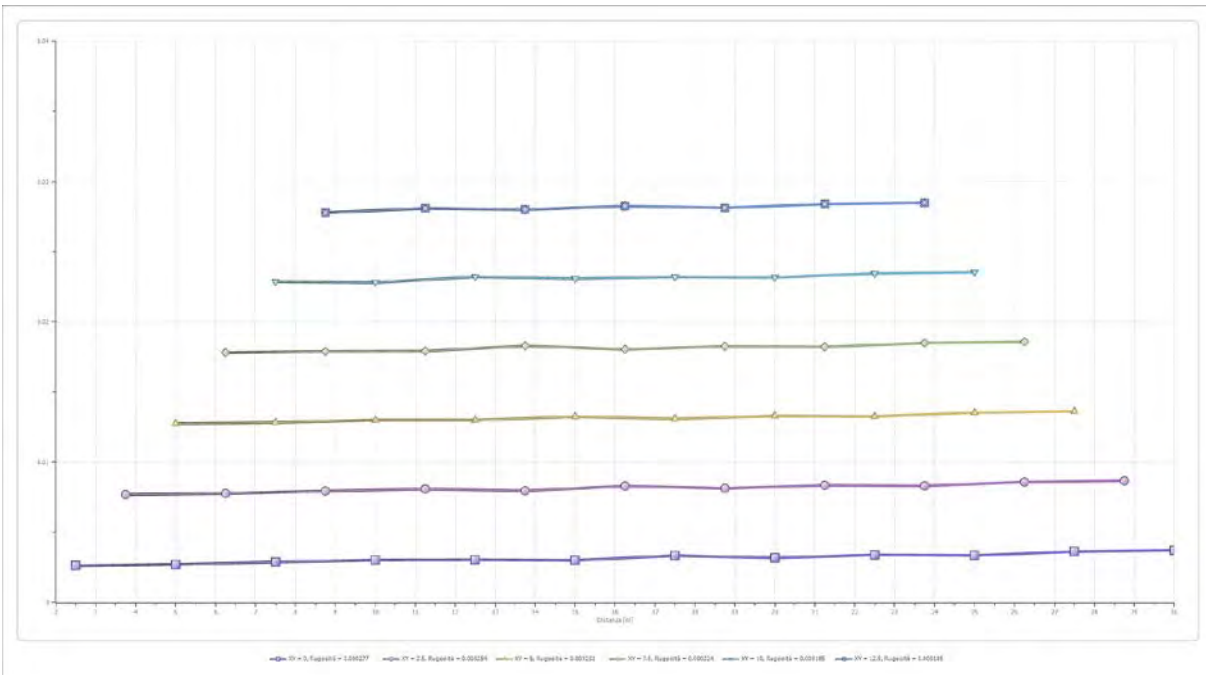
Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

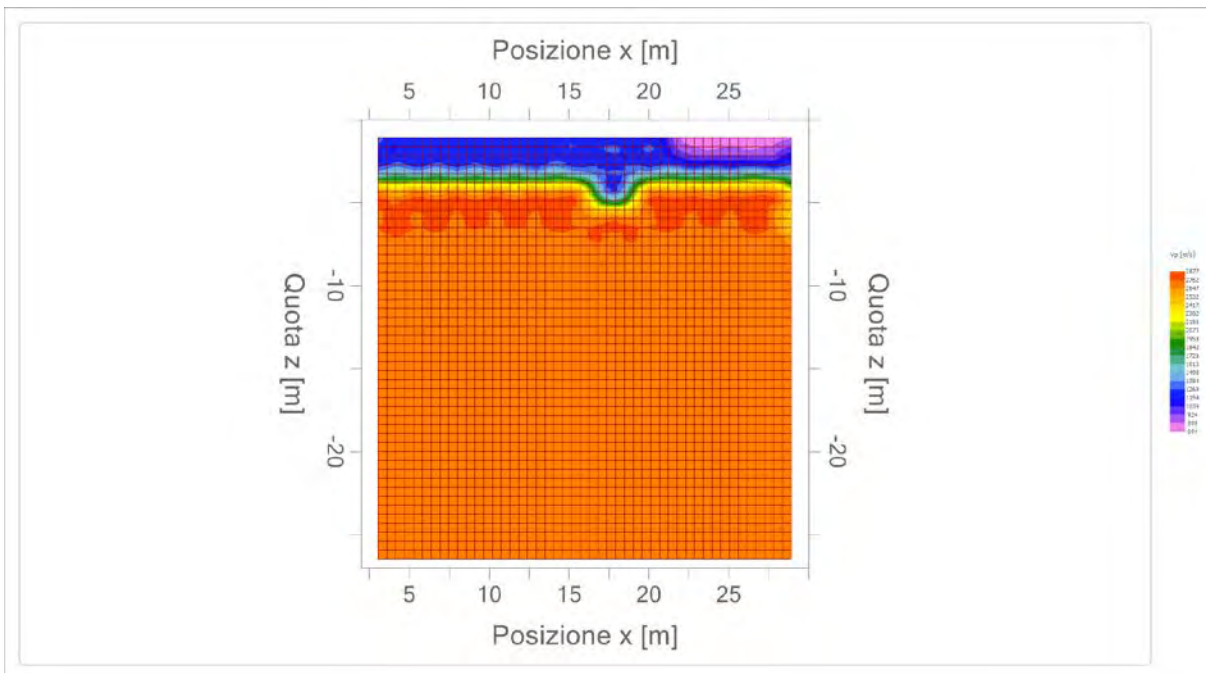
Ey: Modulo di Young;



PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

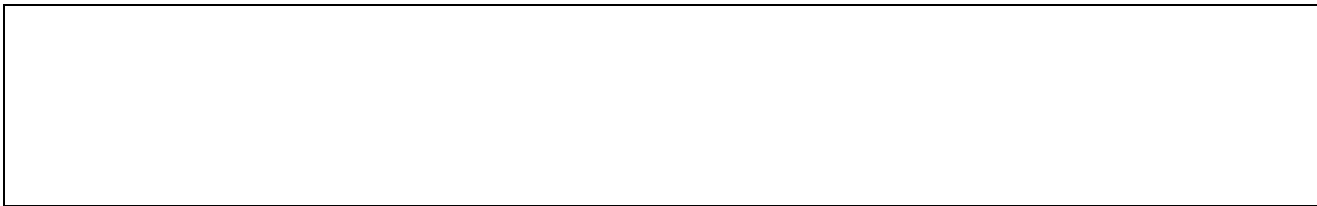


PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MWp SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.




STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711



<b>STUDIO DI GEOLOGIA</b> Geol. Nazario Di Lella C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: Via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG  Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gargano.it Web:
---	---

**PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.**

	Data: febbraio 2024
	Il committente EDISON RINNOVABILI S.P.A.
	IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
<b>Indagine geofisica tramite tecnica MASW – IR06</b>	

## Easy MASW

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

### Moto del segnale sismico

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

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

### Onde di Rayleigh – “R”

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

### Analisi del segnale con tecnica MASW

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

### Modellizzazione

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

$$v = \lambda \times v$$

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

### Modi di vibrazione

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

### Profondità di indagine

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

### Dati generali

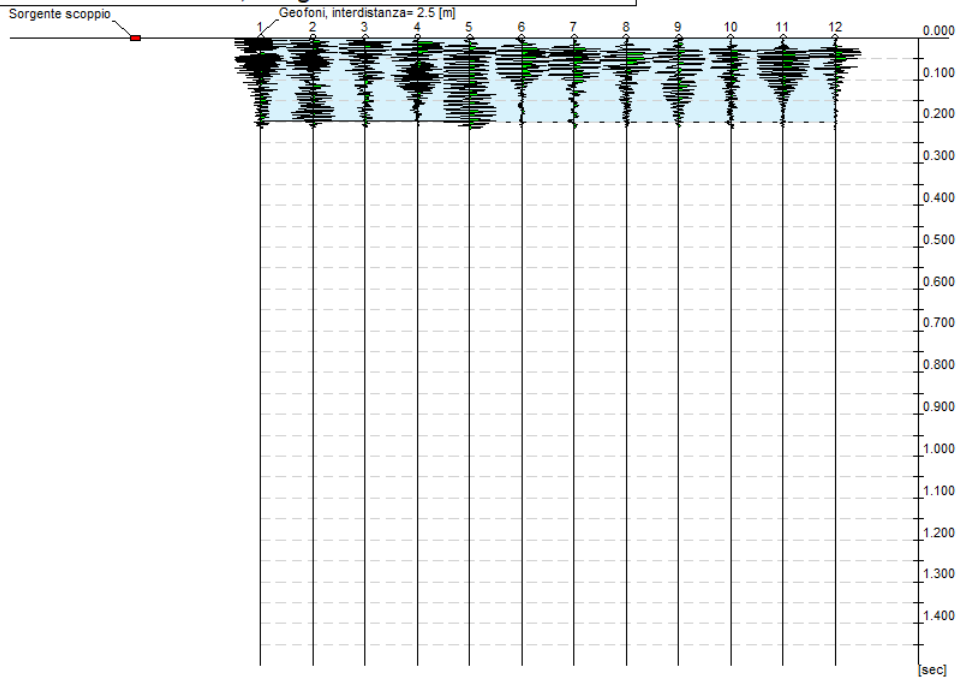
<b>Committente</b>	EDISON RINNOVABILI S.P.A.
<b>Cantiere</b>	MINERVINO MURGE
<b>Località</b>	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR06
<b>Operatore</b>	Geol. N. Di Lella
<b>Responsabile</b>	Geol. N. Di Lella
<b>Zona</b>	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR06
<b>Data</b>	11/02/2024 12:00
<b>Latitudine</b>	41.0661
<b>Longitudine</b>	16.1199



## Tracce

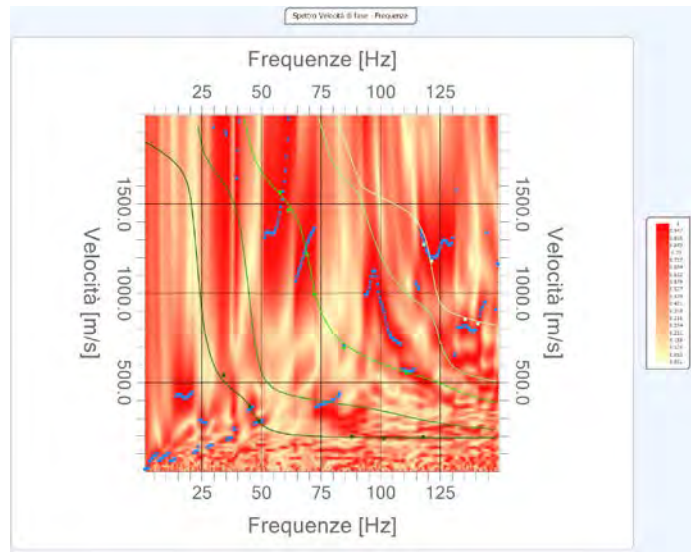
N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1500.0
Interdistanza geofoni [m]	2.5
Periodo di campionamento [msec]	1.00

Committente: EDISON RINNOVABILI S.P.A.  
Cantiere: MINERVINO MURGE  
Località: LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR06  
Operatore: Geol. N. Di Lella  
Responsabile: Geol. N. Di Lella  
Data: 11/02/2024  
Latitudine: 41.0661°, Longitudine: 16.1199°



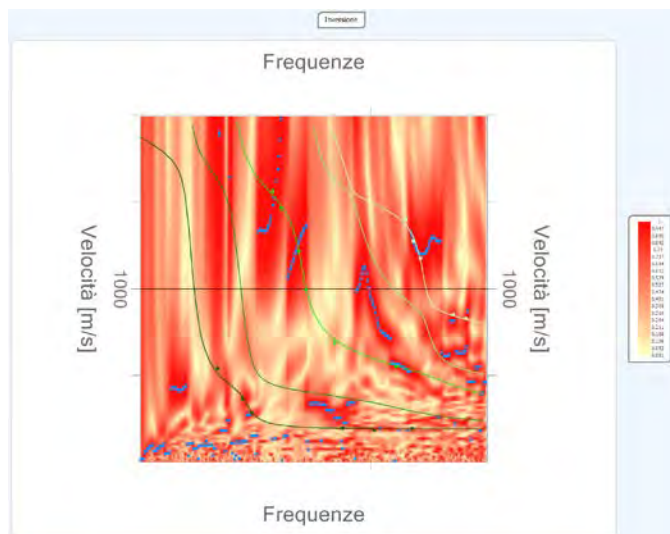
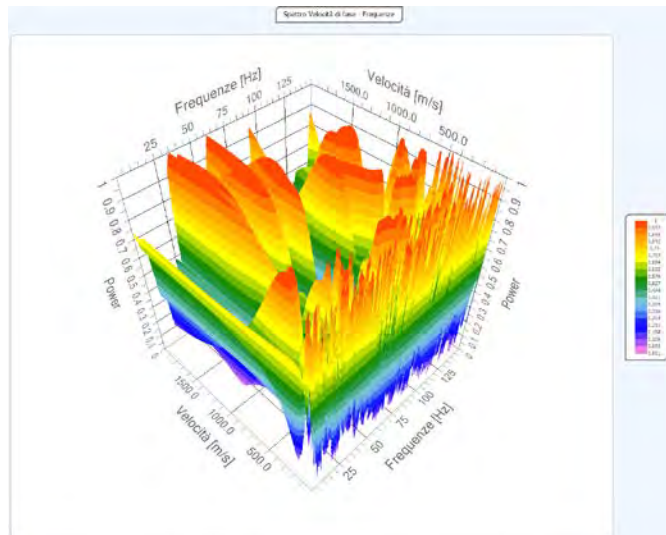
### Analisi spettrale

**Frequenza minima di elaborazione [Hz]** 1  
**Frequenza massima di elaborazione [Hz]** 200  
**Velocità minima di elaborazione [m/sec]** 1  
**Velocità massima di elaborazione [m/sec]** 2000  
**Intervallo velocità [m/sec]** 1



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	31.0	346.4	0
2	34.8	259.4	0
3	43.1	199.5	0
4	52.8	1942.9	3
5	58.2	1700.8	3
6	61.2	1594.8	3
7	73.1	1015.5	3
8	76.1	901.2	3
9	77.7	833.2	3
10	80.9	768.0	3
11	121.4	191.4	0
12	150.9	194.1	0
13	183.5	202.3	0



**Inversione**

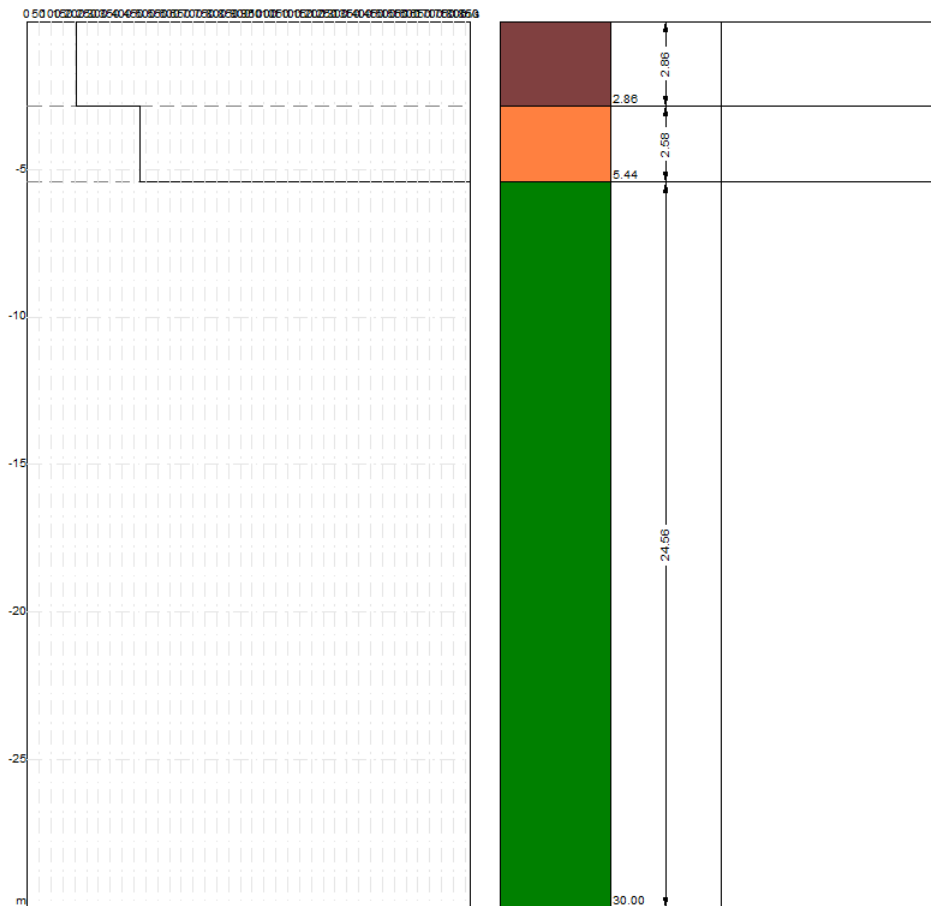
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		2.86	2.86	1850.0	0.4	No	466.9	205.4
2		5.44	2.58	1950.0	0.4	No	993.8	477.4
3		oo	oo	2100.0	0.3	No	3501.3	1871.5

Percentuale di errore

0.149 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.038



## Risultati

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs30 [m/sec]</b>	924.88
<b>Categoria del suolo</b>	A

Suolo di tipo A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs,30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con uno spessore massimo pari a 3m

## Altri parametri geotecnici

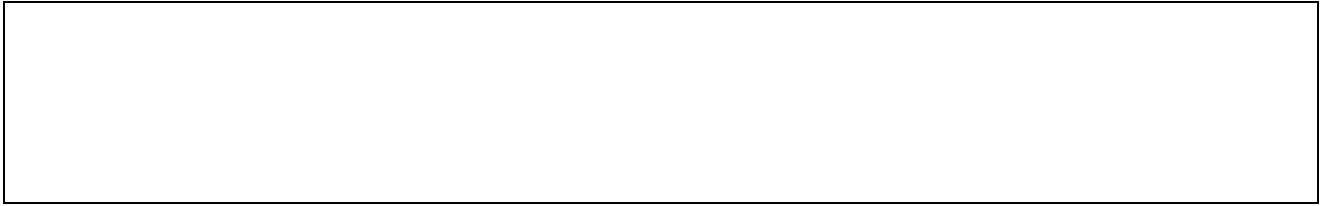
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	2.86	2.86	205.40	466.88	1800.00	0.38	75.94	392.36	291.11	209.60	N/A	869.44
2	5.44	2.58	477.40	993.78	1900.00	0.35	433.02	1876.43	1299.07	1169.16	N/A	N/A
3	oo	oo	1871.52	3501.30	2000.00	0.30	7005.20	24518.19	15177.93	18213.52	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



<b>STUDIO DI GEOLOGIA</b> Geol. Nazario Di Lella C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: Via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG  Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gargano.it Web:
---	---

**PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.**

	Data: febbraio 2024
	Il committente EDISON RINNOVABILI S.P.A.
	IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA

Il Progettista  
GEOL. N. DI LELLA

**Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione - IR10**

### Easy Refract

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

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

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

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

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

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

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

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

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

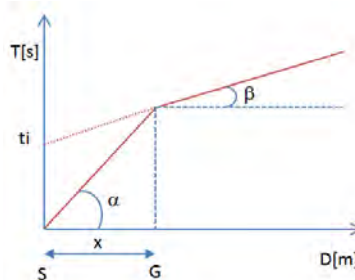
$$T = x_i / V_1$$

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

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

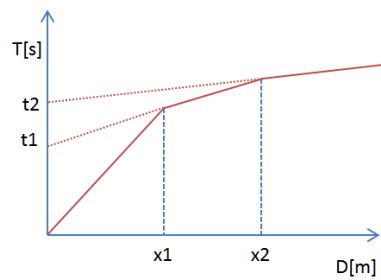
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

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



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

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

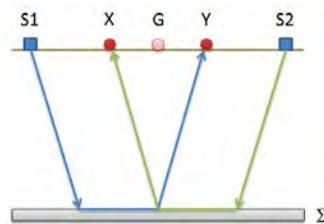


Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

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

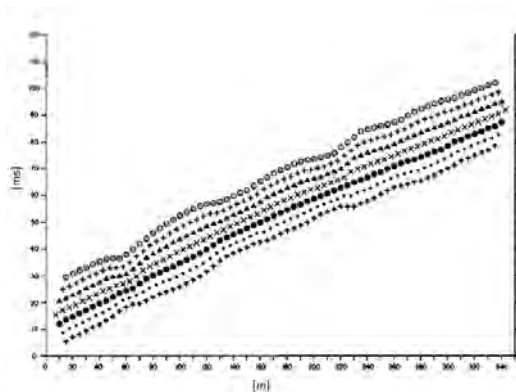
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



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

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

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



dove  $T_{S_1Y}$  e  $T_{S_2X}$  sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre  $T_{S_1S_2}$  è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento.  $T_v$  è

STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711

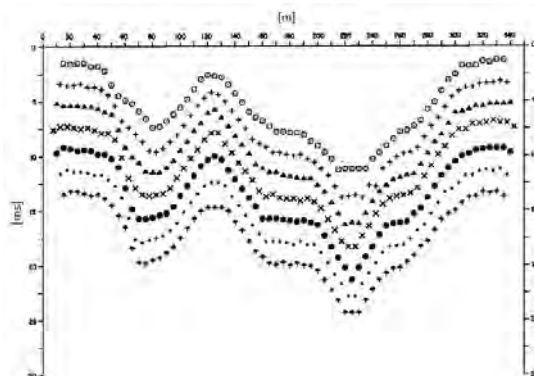
il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

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

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

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

Dove  $V_n$  è la velocità del rifrattore.



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

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

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

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

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

#### Dati generali

Descrizione	PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.
Committente	EDISON RINNOVABILI S.P.A.
Zona	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR10
Operatore	Geol. N. Di Lella
Responsabile	Geol. N. Di Lella
Data	10/02/2024
Via	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR10
Latitudine	41.05697[°]
Longitudine	16.11448[°]
Altitudine	521[m]



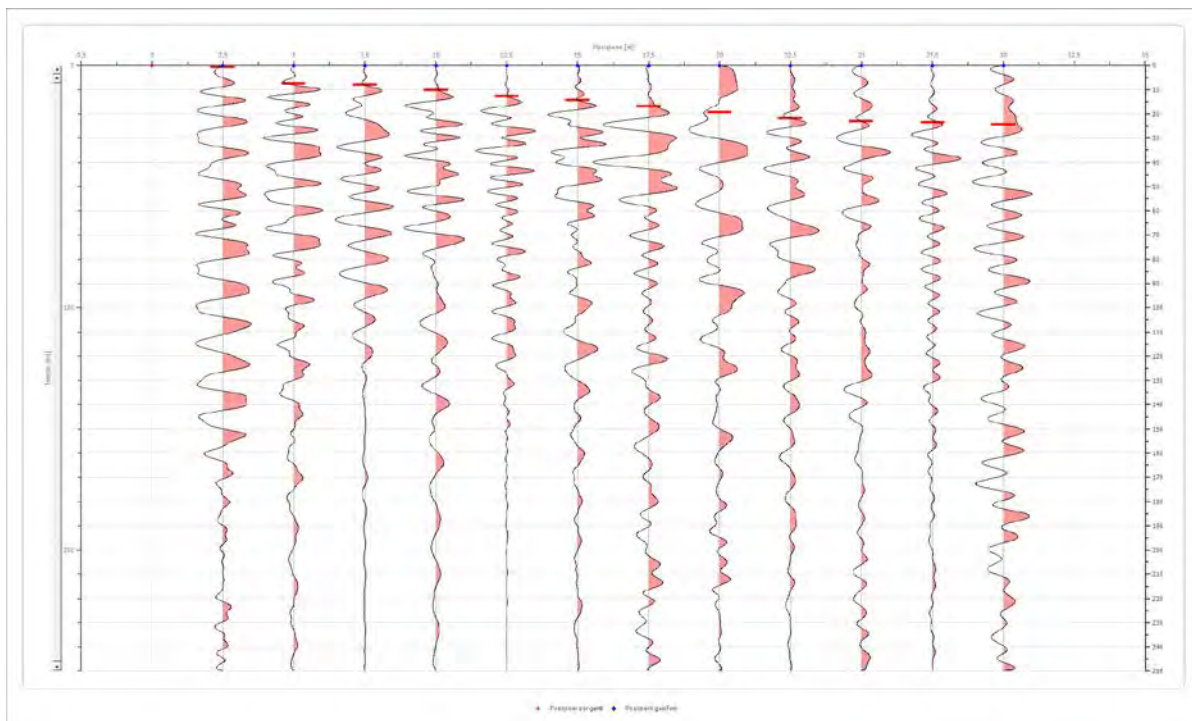
### Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.5	0.0
2	5.0	0.0
3	7.5	0.0
4	10.0	0.0
5	12.5	0.0
6	15.0	0.0
7	17.5	0.0
8	20.0	0.0
9	22.5	0.0
10	25.0	0.0
11	27.5	0.0
12	30.0	0.0

### Dati battute

Battuta 1

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

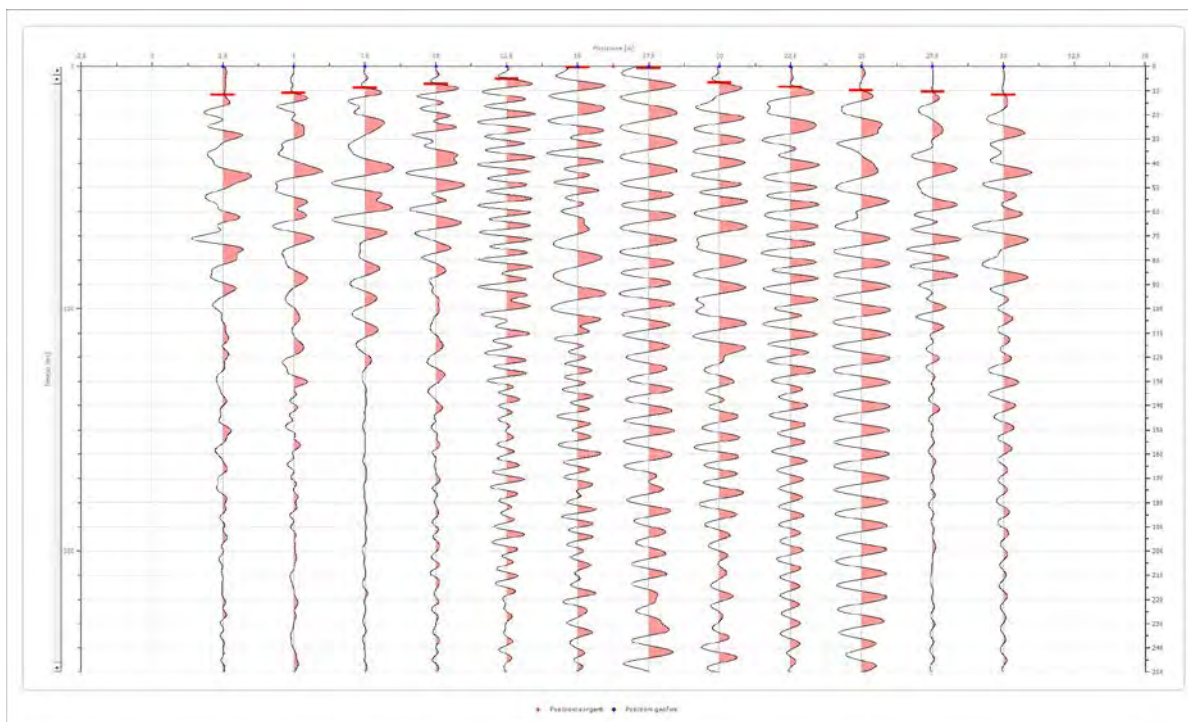


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	0.7448
5.0	7.4479
7.5	7.9444
10.0	10.1787
12.5	12.6614
15.0	14.3992
17.5	16.8818
20.0	19.3644
22.5	21.8471
25.0	23.0884
27.5	23.5849
30.0	24.3297

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

Battuta 2

Posizione sorgente X 16 [m]  
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	11.6683
5.0	10.9235
7.5	8.9374
10.0	7.1996
12.5	5.2135
15.0	0.4965
17.5	0.7448
20.0	6.7031
22.5	8.4409
25.0	9.9305
27.5	10.4270
30.0	11.6683

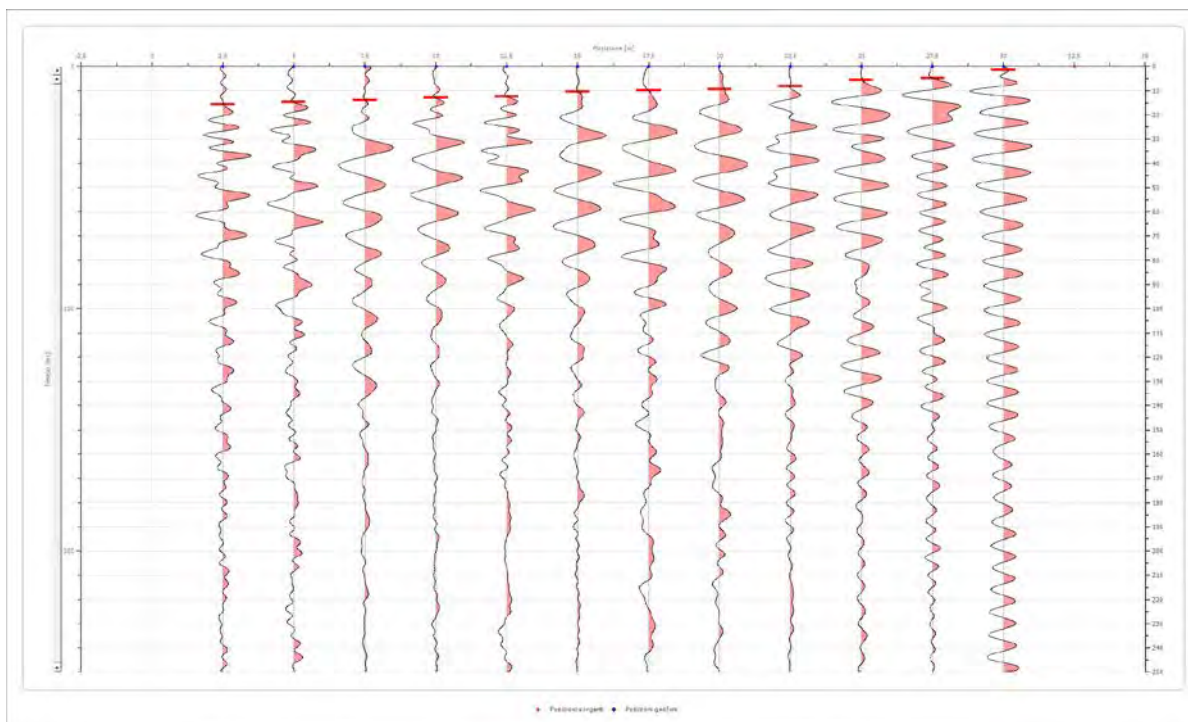
STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

Battuta 3

Posizione sorgente X 33 [m]  
 Posizione sorgente Z 0 [m]

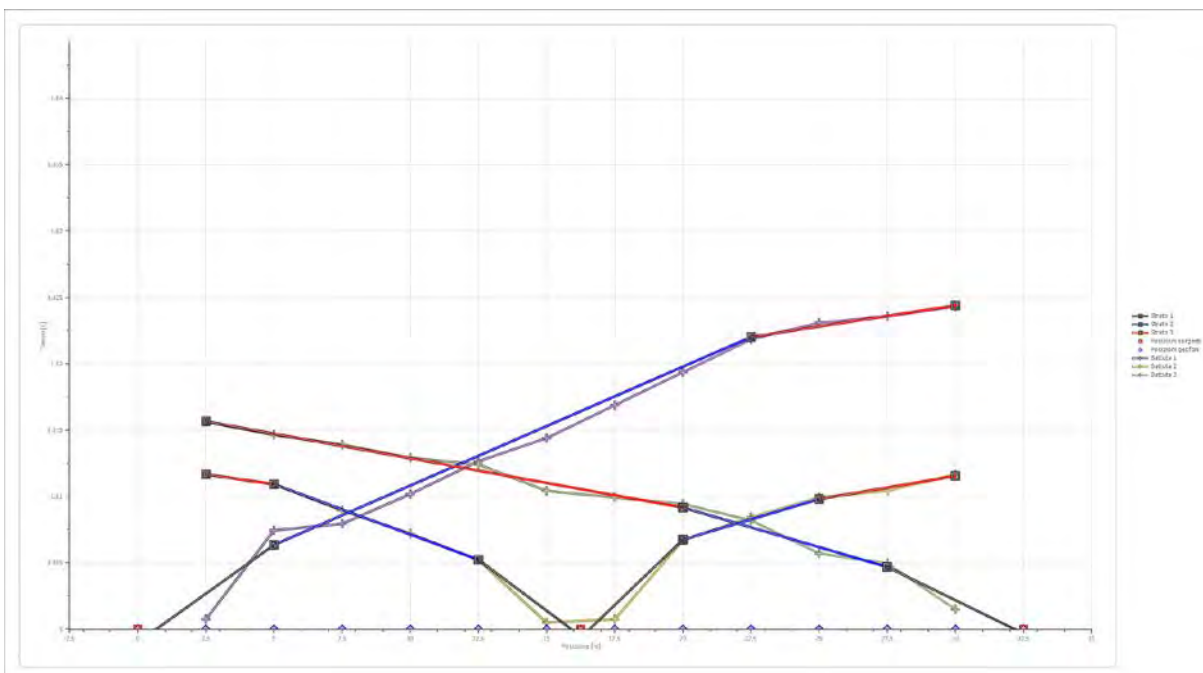


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	15.6405
5.0	14.6475
7.5	13.9027
10.0	12.9096
12.5	12.4131
15.0	10.4270
17.5	9.9305
20.0	9.4340
22.5	8.1927
25.0	5.7100
27.5	4.9652
30.0	1.4896

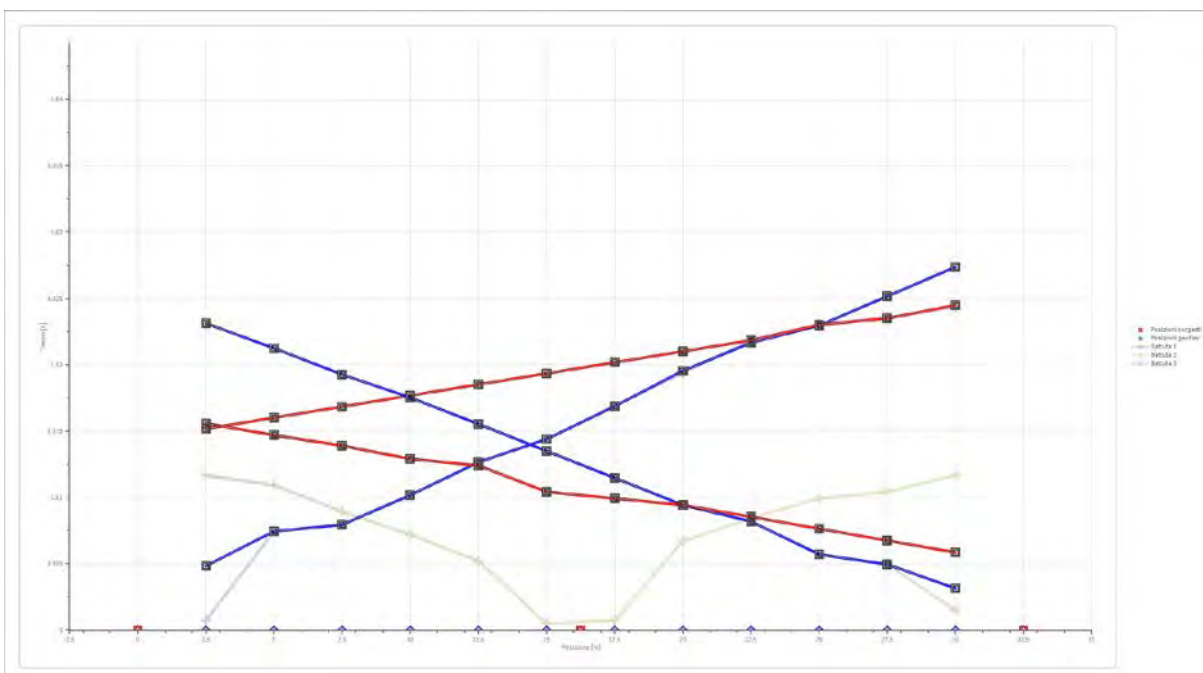
STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822,  
 e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711

**Dromocrone**



**Dromocrone traslate**



PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

### Interpretazione col metodo G<sub>r</sub>,R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.5 [m]	0.3	6.7	--
G= 5.0 [m]	0.6	6.4	--
G= 7.5 [m]	0.0	7.0	--
G= 10.0 [m]	0.2	6.7	--
G= 12.5 [m]	0.4	6.7	--
G= 15.0 [m]	0.3	6.0	--
G= 17.5 [m]	0.5	6.1	--
G= 20.0 [m]	0.8	6.1	--
G= 22.5 [m]	1.2	5.7	--
G= 25.0 [m]	0.6	6.3	--
G= 27.5 [m]	1.3	5.5	--
G= 30.0 [m]	1.5	5.4	--
Velocità [m/sec]	724.2	1275.4	2885.1
Descrizione			

### Altri parametri geotecnici

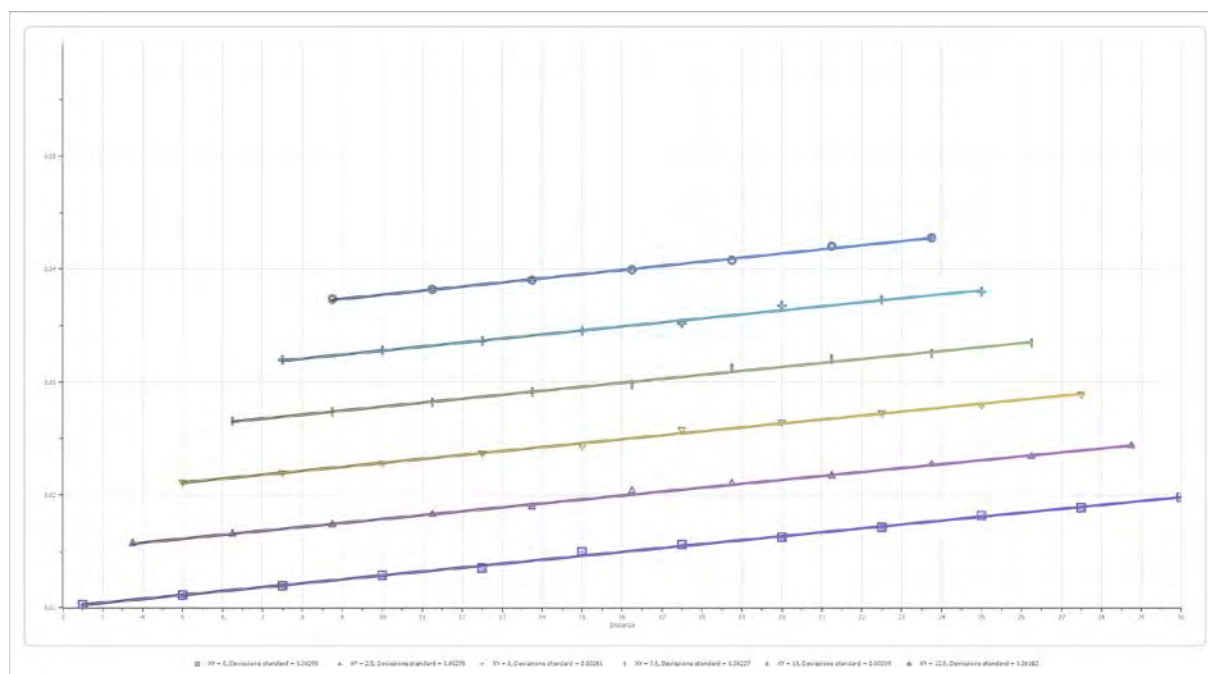
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.40	0.35	0.30
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	1900.00	2000.00
V <sub>p</sub> [m/s]	724.18	1275.40	2885.06
V <sub>s</sub> [m/s]	295.65	612.68	1542.13
G <sub>0</sub> [MPa]	157.33	713.22	4756.33
Ed [Mpa]	943.99	3090.61	16647.15
M <sub>0</sub> [MPa]	786.65	2377.40	11890.82
E <sub>y</sub> [Mpa]	440.53	1925.69	12366.45

G<sub>0</sub>: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M<sub>0</sub>: Modulo di compressibilità volumetrica;

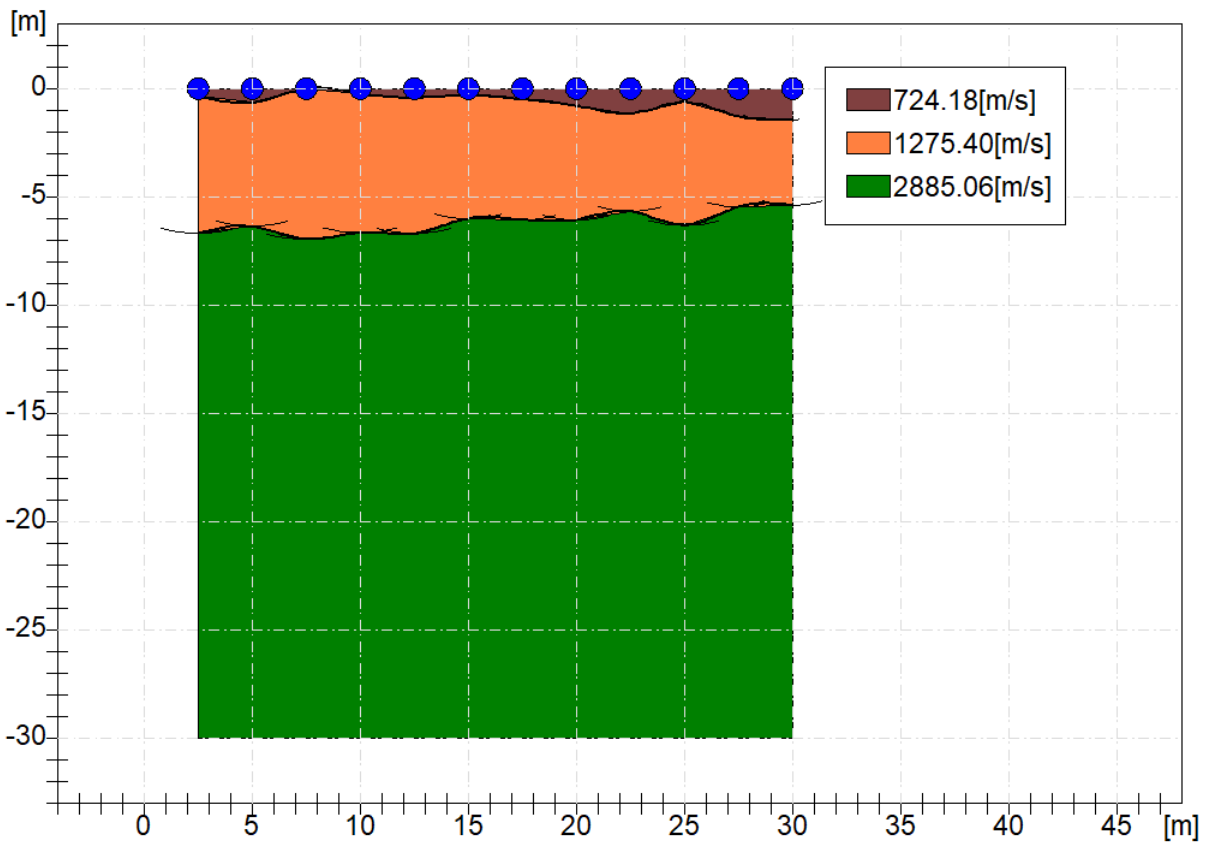
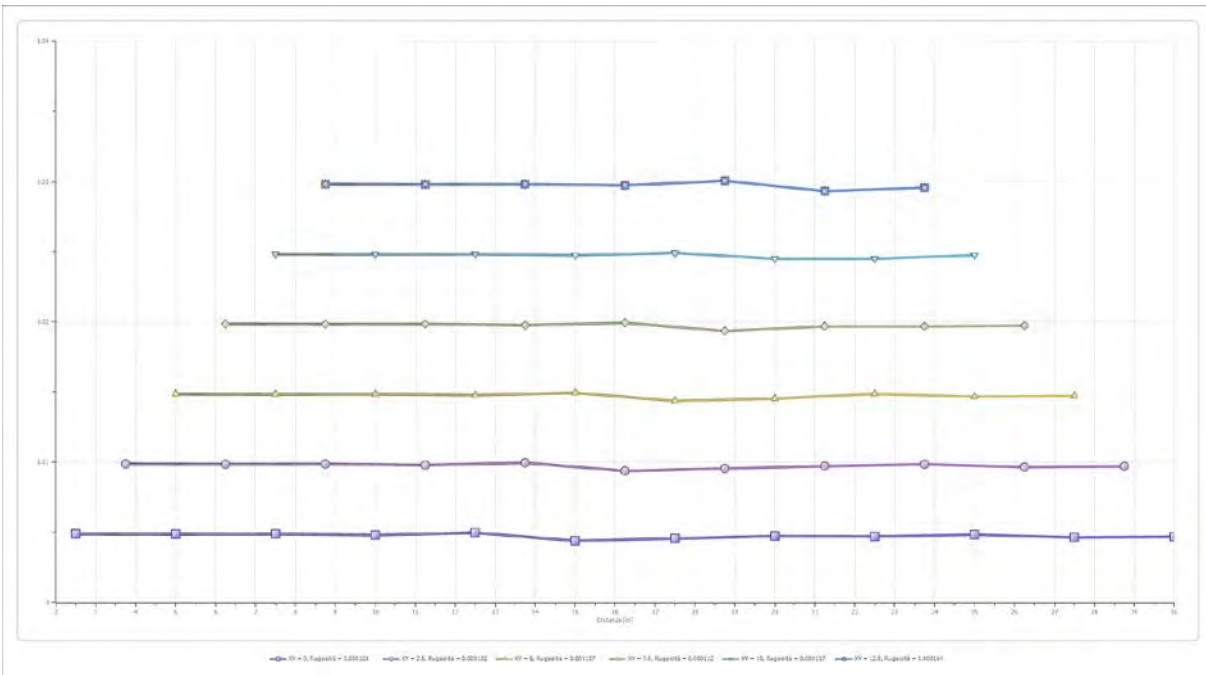
E<sub>y</sub>: Modulo di Young;



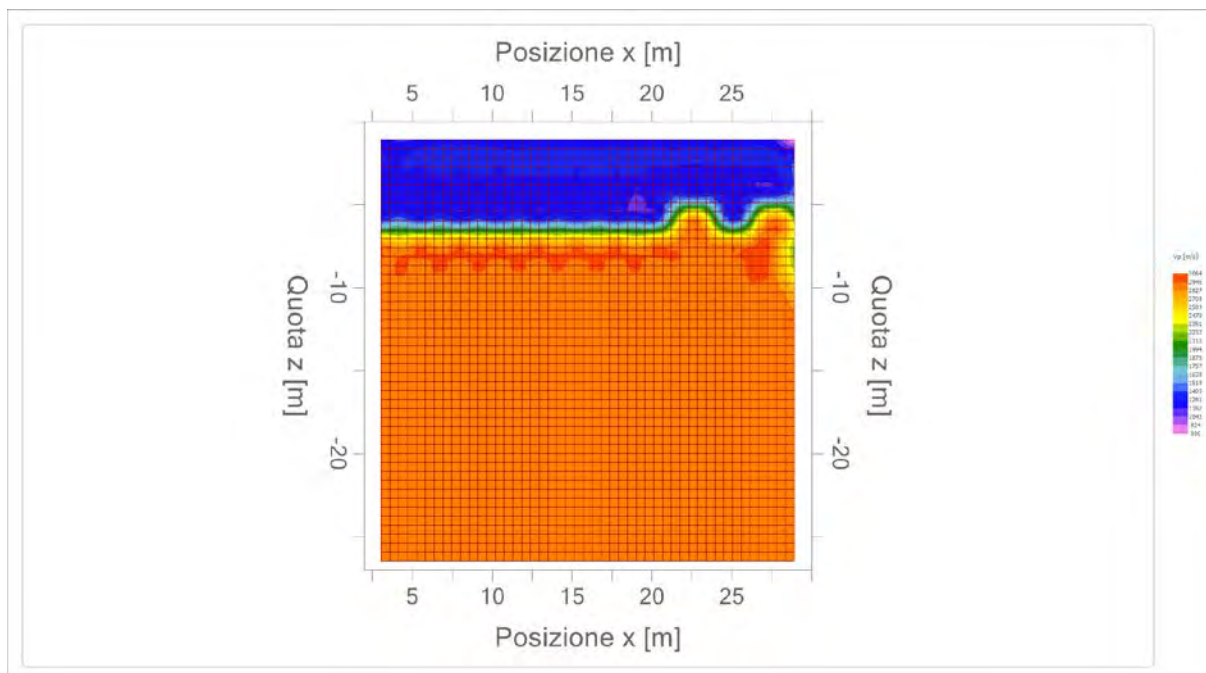
STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01054R, P.Iva.02101530711

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

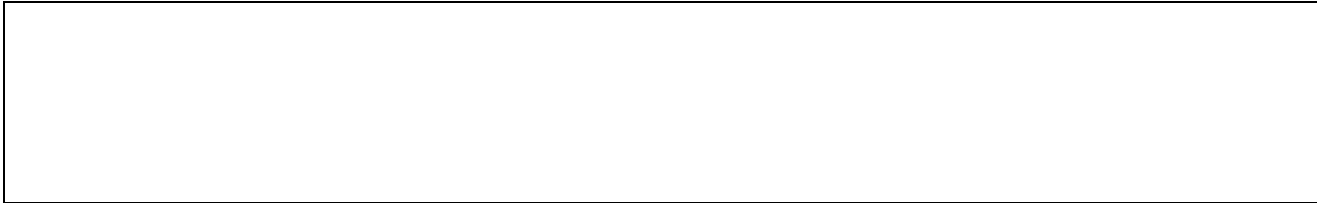


PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.



STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711



<b>STUDIO DI GEOLOGIA</b> Geol. Nazario Di Lella C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: Via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG  Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gargano.it Web:
---	---

**PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.**

	<b>Data:</b> febbraio 2024
	<b>Il committente</b> EDISON RINNOVABILI S.P.A.
	<b>IL Tecnico</b> GEOL. N. DI LELLA

<b>Il Progettista</b> GEOL. N. DI LELLA
--

**Indagine geofisica tramite tecnica MASW – IR10**



## Easy MASW

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

### Moto del segnale sismico

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

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

### Onde di Rayleigh – “R”

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

### Analisi del segnale con tecnica MASW

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

### Modellizzazione

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

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

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

### Modi di vibrazione

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

### Profondità di indagine

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

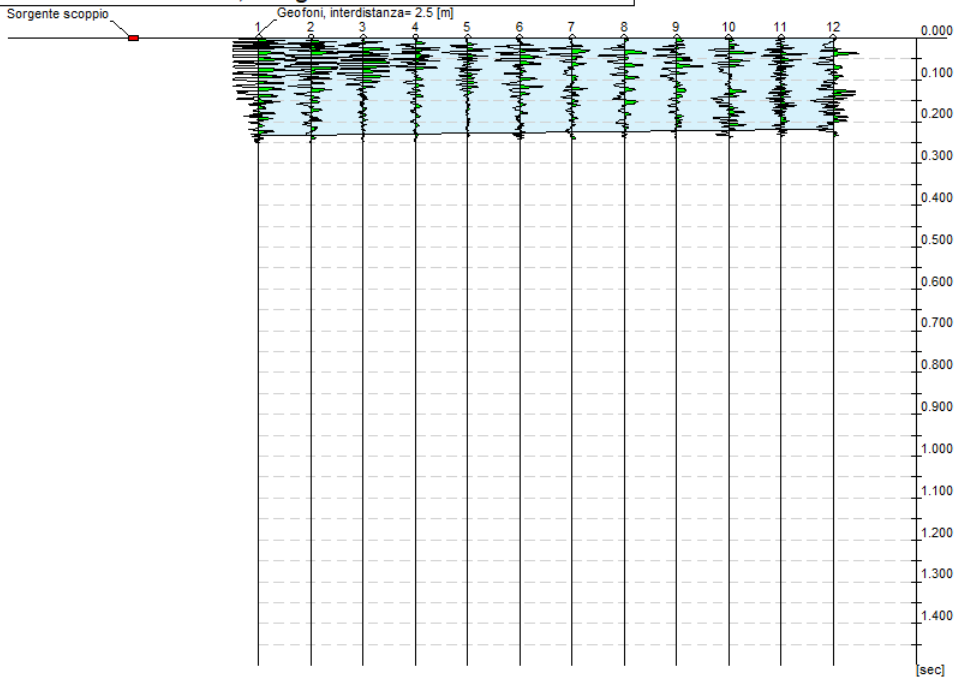
### Dati generali

<b>Committente</b>	EDISON RINNOVABILI S.P.A.
<b>Cantiere</b>	MINERVINO MURGE
<b>Località</b>	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR10
<b>Operatore</b>	Geol. N. Di Lella
<b>Responsabile</b>	Geol. N. Di Lella
<b>Zona</b>	LOC. INTACCA - MINERVINO M.
<b>Data</b>	10/02/2024 12:00
<b>Latitudine</b>	41.0570
<b>Longitudine</b>	16.1145

## Tracce

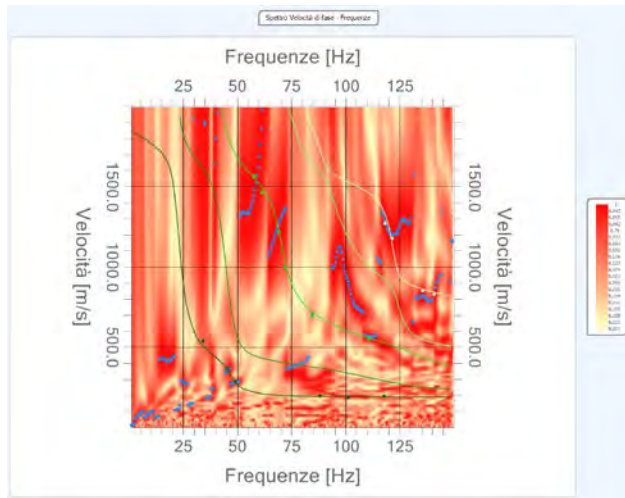
N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1500.0
Interdistanza geofoni [m]	2.5
Periodo di campionamento [msec]	1.00

Committente: EDISON RINNOVABILI S.P.A.  
Cantiere: MINERVINO MURGE  
Località: LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR10  
Operatore: Geol. N. Di Lella  
Responsabile: Geol. N. Di Lella  
Data: 10/02/2024  
Latitudine: 41.0570°, Longitudine: 16.1145°



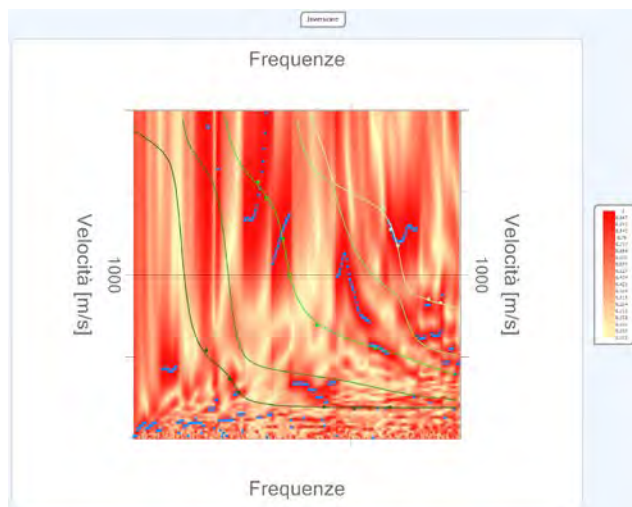
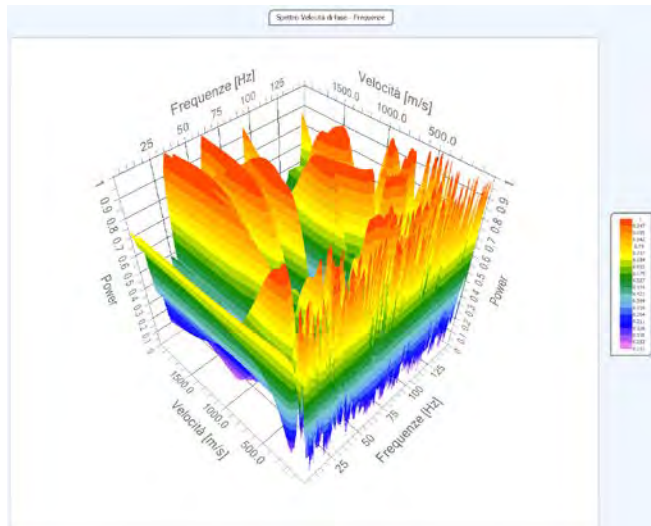
## Analisi spettrale

**Frequenza minima di elaborazione [Hz]** 1  
**Frequenza massima di elaborazione [Hz]** 150  
**Velocità minima di elaborazione [m/sec]** 1  
**Velocità massima di elaborazione [m/sec]** 2000  
**Intervallo velocità [m/sec]** 1



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	34.2	539.5	0
2	45.1	365.4	0
3	49.0	283.9	0
4	57.9	1564.8	2
5	61.5	1464.2	2
6	69.2	1216.7	2
7	72.2	993.7	2
8	84.6	691.8	2
9	88.0	196.8	0
10	101.4	185.9	0
11	110.9	553.1	2
12	115.1	1401.7	4
13	117.8	194.1	0
14	118.2	1273.8	4
15	121.4	1178.6	4
16	135.6	852.3	4
17	140.8	827.8	4



**Inversione**

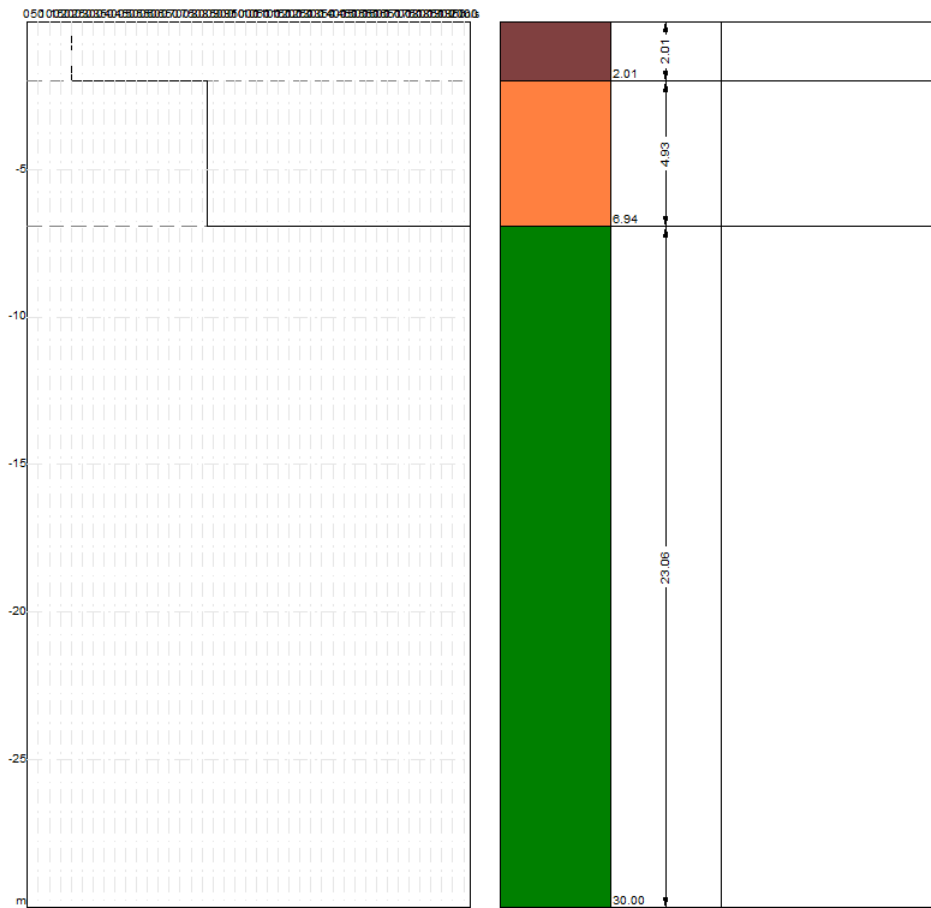
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		2.01	2.01	1820.0	0.4	No	495.2	202.2
2		6.94	4.93	1950.0	0.4	No	1712.3	822.5
3		∞	∞	2100.0	0.3	No	3798.1	2030.2

Percentuale di errore

0.030 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.020



## Risultati

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs30 [m/sec]</b>	1099.09
<b>Categoria del suolo</b>	A

Suolo di tipo A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs,30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con uno spessore massimo pari a 3m

## Altri parametri geotecnici

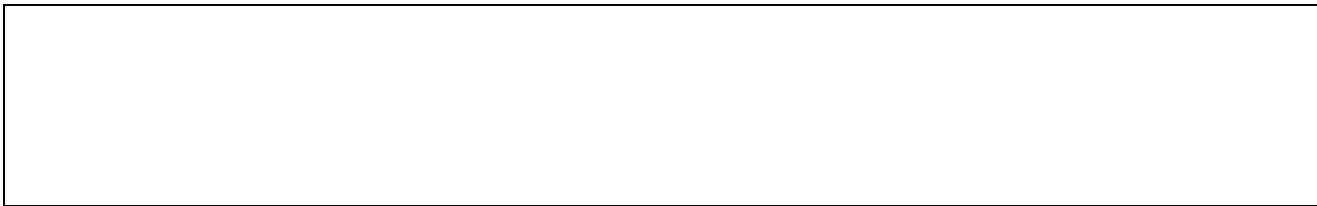
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	2.01	2.01	202.16	495.20	1800.00	0.40	73.57	441.40	343.31	205.99	N/A	802.73
2	6.94	4.93	822.54	1712.26	1900.00	0.35	1285.50	5570.49	3856.49	3470.85	N/A	N/A
3	oo	oo	2030.18	3798.12	2000.00	0.30	8243.28	28851.47	17860.44	21432.52	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



<b>STUDIO DI GEOLOGIA</b> Geol. Nazario Di Lella C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: Via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG  Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gargano.it Web:
---	---

**PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.**

	Data: febbraio 2024
	Il committente EDISON RINNOVABILI S.P.A.
	Il Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
<b>Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione - IR11</b>	

### Easy Refract

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

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

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

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

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

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

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

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

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

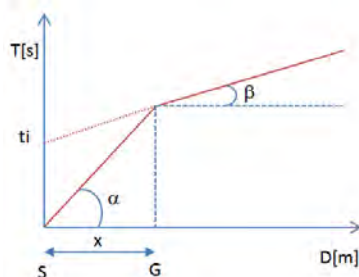
$$T = x_i / V_1$$

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

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

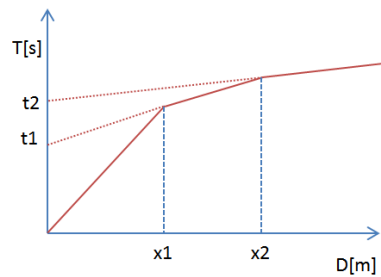
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

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



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

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

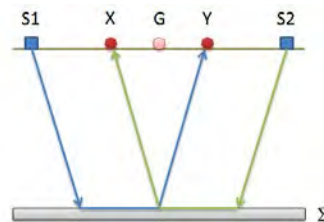


Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

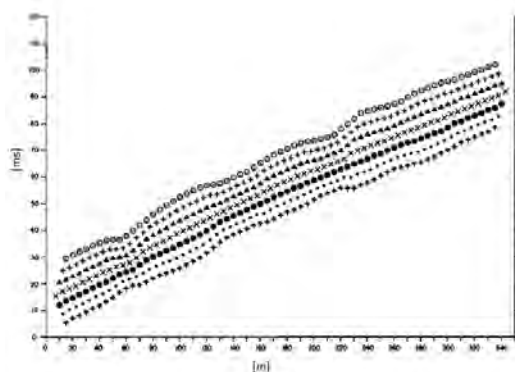
In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

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



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

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





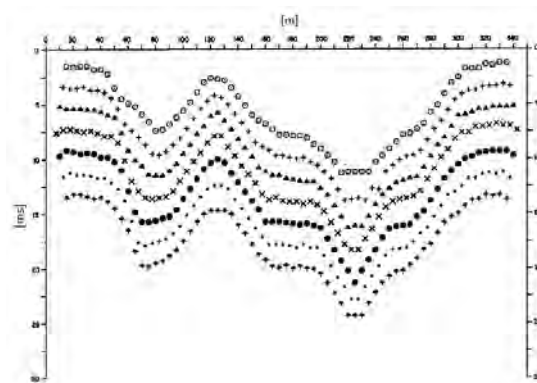
dove  $T_{S_1Y}$  e  $T_{S_2X}$  sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre  $T_{S_1S_2}$  è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento.  $T_V$  è il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

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

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

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

Dove  $V_n$  è la velocità del rifrattore.



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

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

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

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

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

#### Dati generali

Descrizione	PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.
Committente	EDISON RINNOVABILI S.P.A.
Zona	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR11
Operatore	Geol. N. Di Lella
Responsabile	Geol. N. Di Lella
Data	11/02/2024
Via	Geol. N. Di Lella
Latitudine	41.05791[°]
Longitudine	16.12297[°]
Altitudine	522[m]

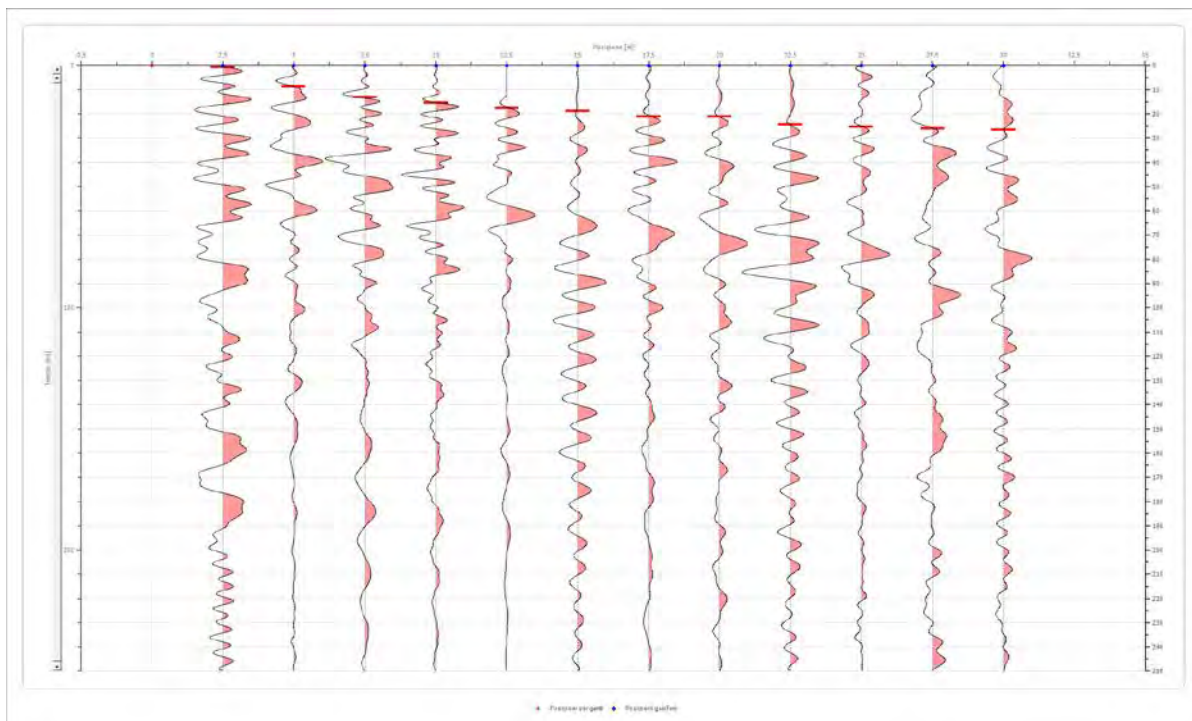
### Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.5	0.0
2	5.0	0.0
3	7.5	0.0
4	10.0	0.0
5	12.5	0.0
6	15.0	0.0
7	17.5	0.0
8	20.0	0.0
9	22.5	0.0
10	25.0	0.0
11	27.5	0.0
12	30.0	0.0

### Dati battute

Battuta 1

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

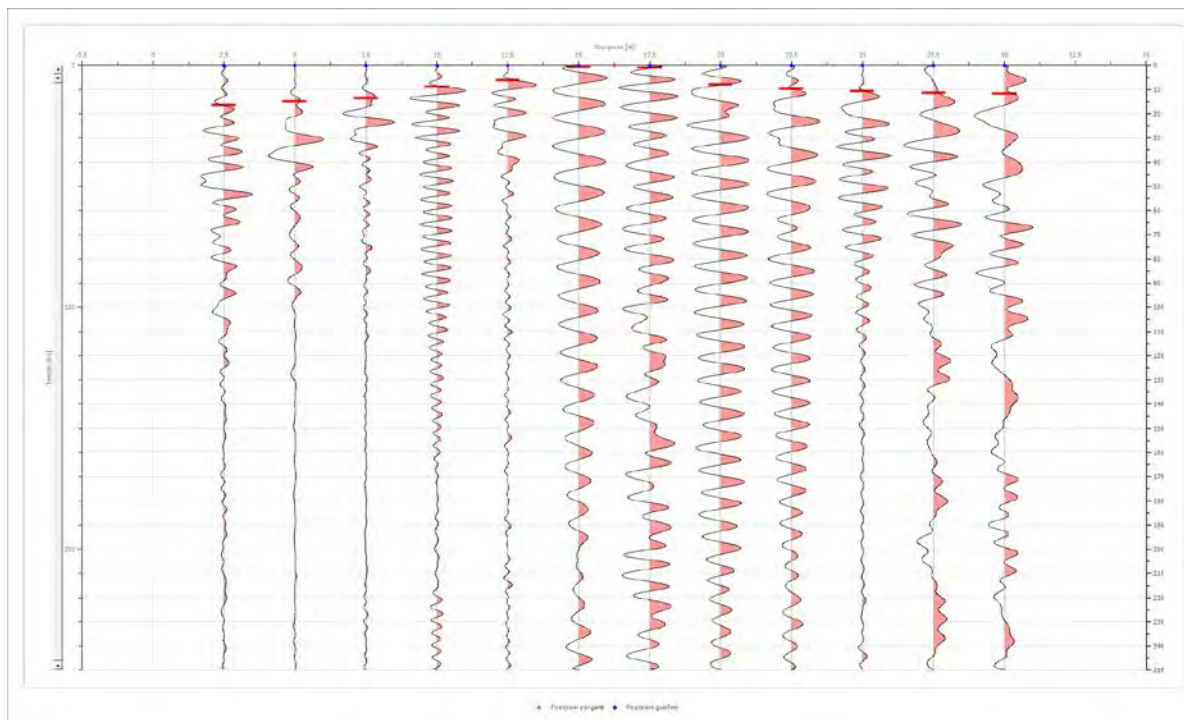


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	0.7448
5.0	8.6892
7.5	13.1579
10.0	15.3923
12.5	17.6266
15.0	18.8679
17.5	21.1250
20.0	21.1023
22.5	24.3297
25.0	25.3227
27.5	26.0675
30.0	26.5641

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

Battuta 2

Posizione sorgente X                    16 [m]  
 Posizione sorgente Z                    0 [m]



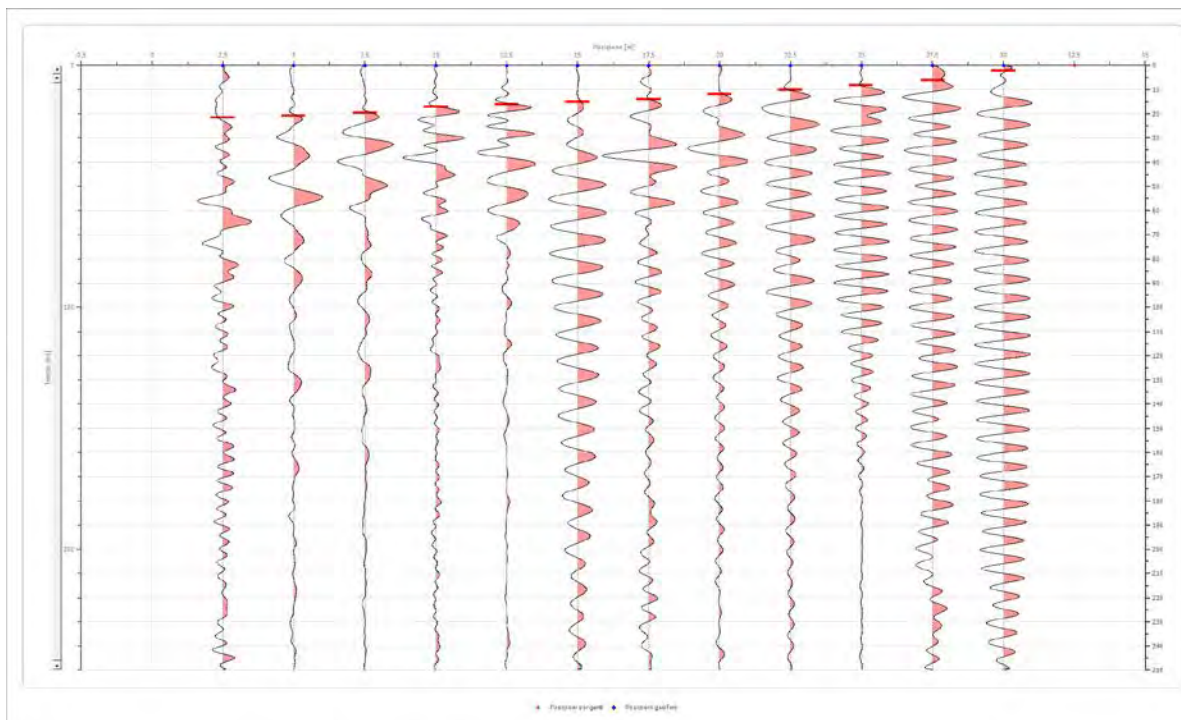
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	16.3853
5.0	14.8957
7.5	13.6544
10.0	8.9374
12.5	6.2066
15.0	0.7448
17.5	0.9930
20.0	7.9444
22.5	9.6822
25.0	10.6753
27.5	11.4201
30.0	11.6683

STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822,  
 e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L011054R, P.Iva.02101530711

Battuta 3

Posizione sorgente X                    33 [m]  
 Posizione sorgente Z                    0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	21.5988
5.0	20.8540
7.5	19.6127
10.0	17.1301
12.5	16.1370
15.0	15.1440
17.5	14.1509
20.0	11.9166
22.5	10.1787
25.0	8.1927
27.5	6.2066
30.0	2.2344



**Interpretazione col metodo G.,R.M.**

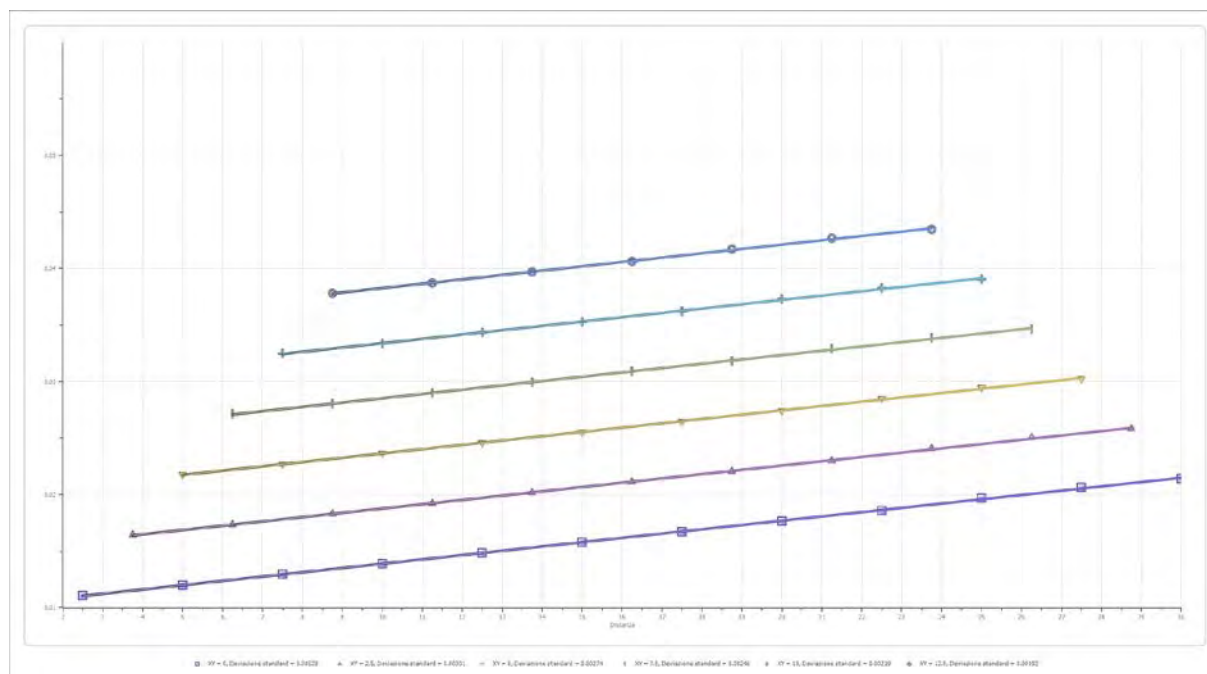
XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.5 [m]	1.1	10.4	--
G= 5.0 [m]	0.9	10.4	--
G= 7.5 [m]	1.8	8.6	--
G= 10.0 [m]	1.3	8.9	--
G= 12.5 [m]	1.5	8.3	--
G= 15.0 [m]	1.9	7.3	--
G= 17.5 [m]	2.3	6.3	--
G= 20.0 [m]	1.6	6.9	--
G= 22.5 [m]	1.9	6.1	--
G= 25.0 [m]	1.9	5.9	--
G= 27.5 [m]	2.0	5.5	--
G= 30.0 [m]	2.1	4.6	--
Velocità [m/sec]	602.7	1342.9	2633.8
Descrizione			

**Altri parametri geotecnici**

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.38	0.35	0.30
Densità [kg/m³]	1800.00	1900.00	2000.00
Vp [m/s]	602.67	1342.88	2633.85
Vs [m/s]	265.14	645.10	1407.85
G0 [MPa]	126.54	790.69	3964.08
Ed [Mpa]	653.78	3426.32	13874.28
M0 [MPa]	527.24	2635.63	9910.20
Ey [Mpa]	349.24	2134.86	10306.61

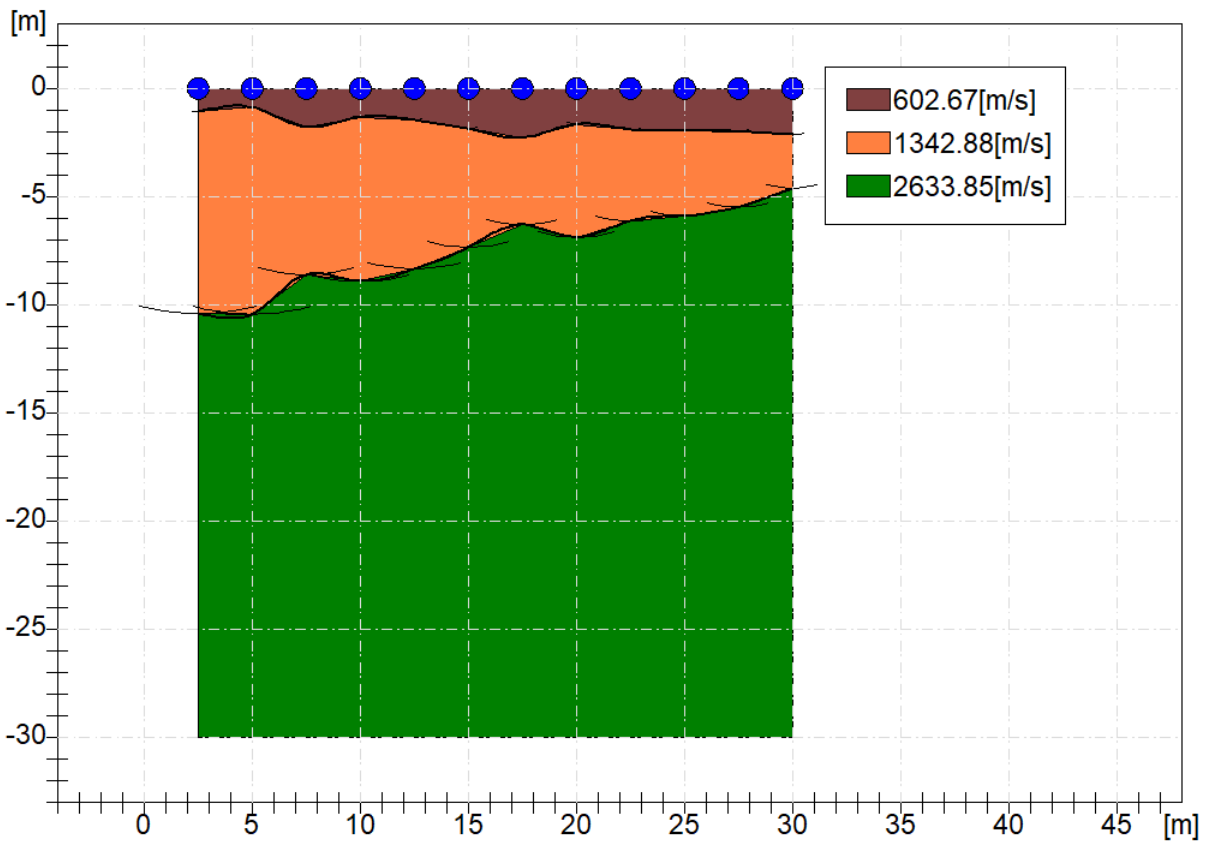
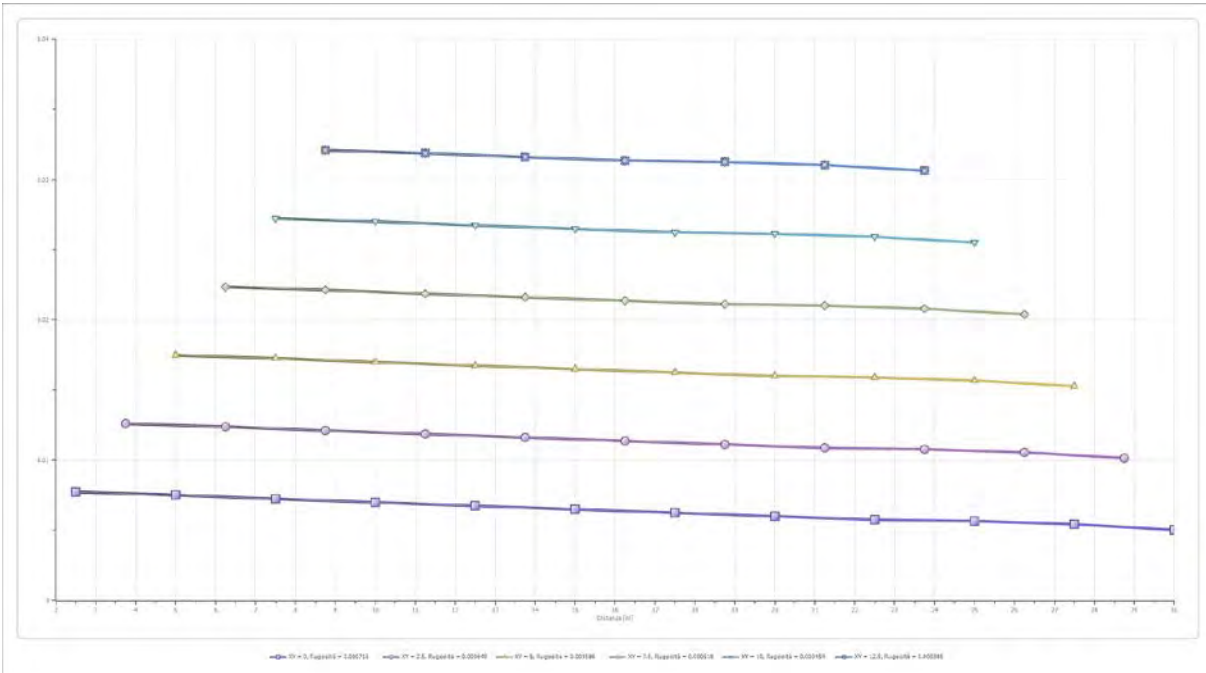
G0: Modulo di deformazione al taglio;  
 Ed: Modulo edometrico;  
 M0: Modulo di compressibilità volumetrica;  
 Ey: Modulo di Young;



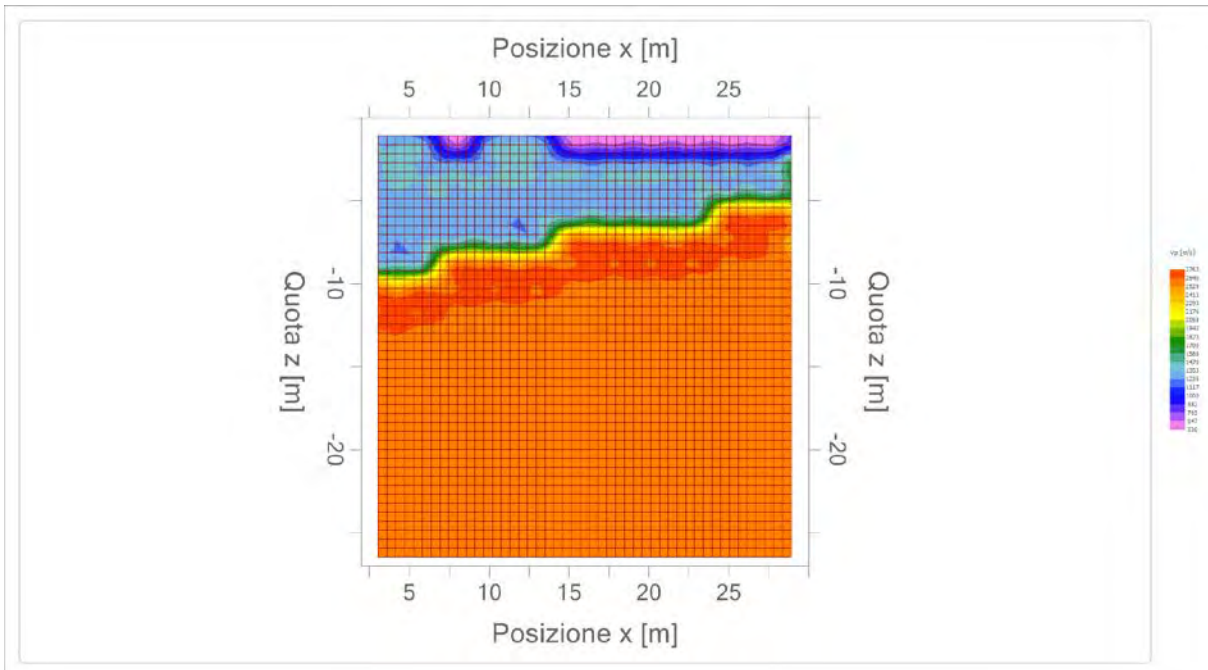
**STUDIO DI GEOLOGIA**

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.



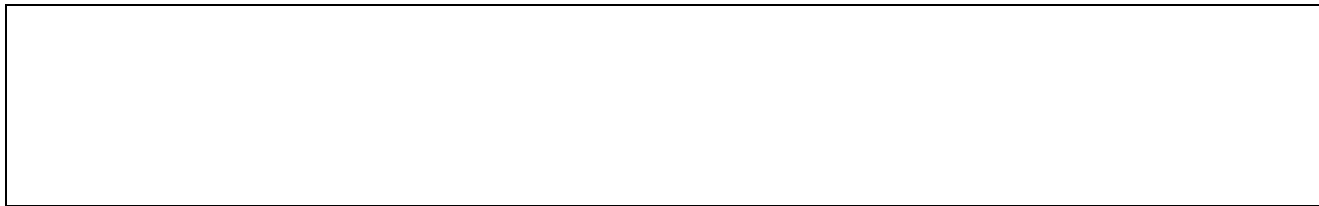
PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.



STUDIO DI GEOLOGIA


Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711





<b>STUDIO DI GEOLOGIA</b> Geol. Nazario Di Lella C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	<b>Via: Via Ripalta 21/A</b> 71010 Lesina - FG  <b>Tel: 0882.218822 - 328.3250902</b> <b>Fax: 0882.218822</b> <b>Email: geol.dilella@gargano.it Web:</b>
---	---

**PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.**

	<b>Data: febbraio 2024</b>
	<b>Il committente EDISON RINNOVABILI S.P.A.</b>
	<b>IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA</b>
	<b>Il Progettista GEOL. N. DI LELLA</b>
<b>Indagine geofisica tramite tecnica MASW – IR11</b>	

## Easy MASW

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

### Moto del segnale sismico

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

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

### Onde di Rayleigh – “R”

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

### Analisi del segnale con tecnica MASW

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

### Modellizzazione

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

$$v = \lambda \times v$$

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

### Modi di vibrazione

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

### Profondità di indagine

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

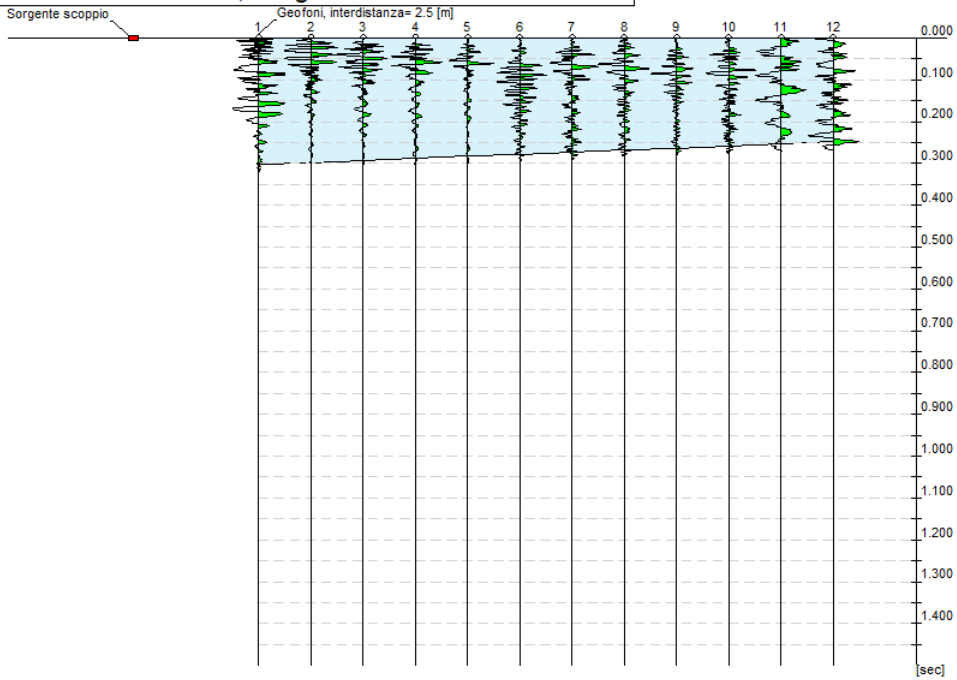
### Dati generali

<b>Committente</b>	EDISON RINNOVABILI S.P.A.
<b>Cantiere</b>	MINERVINO MURGE
<b>Località</b>	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR10
<b>Operatore</b>	Geol. N. Di Lella
<b>Responsabile</b>	Geol. N. Di Lella
<b>Zona</b>	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR10
<b>Data</b>	11/02/2024 12:00
<b>Latitudine</b>	41.0579
<b>Longitudine</b>	16.1230

## Tracce

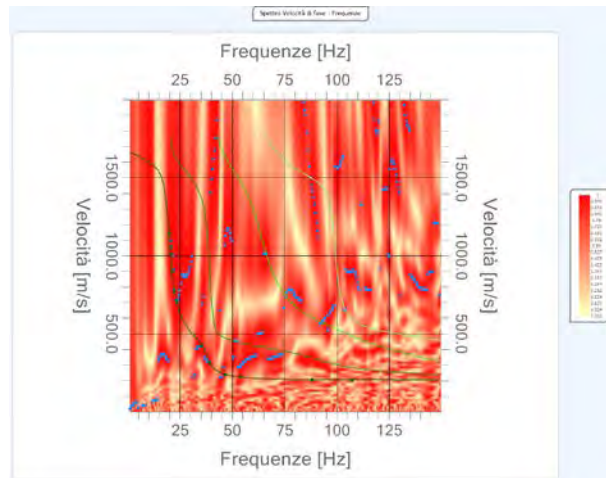
N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1500.0
Interdistanza geofoni [m]	2.5
Periodo di campionamento [msec]	1.00

Committente: EDISON RINNOVABILI S.P.A.  
Cantiere: MINERVINO MURGE  
Località: LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR10  
Operatore: Geol. N. Di Lella  
Responsabile: Geol. N. Di Lella  
Data: 11/02/2024  
Latitudine: 41.0579°, Longitudine: 16.1230°



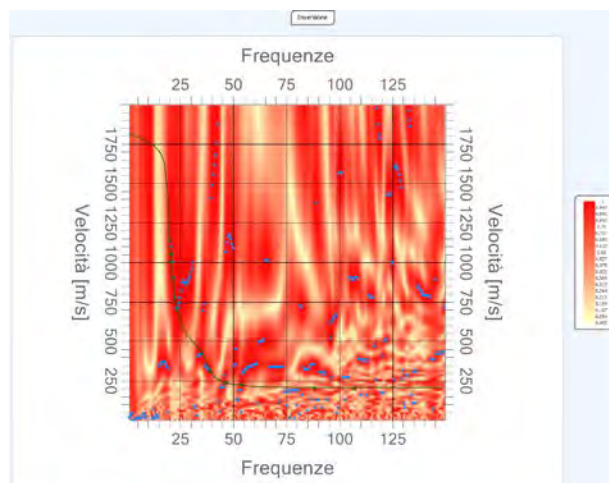
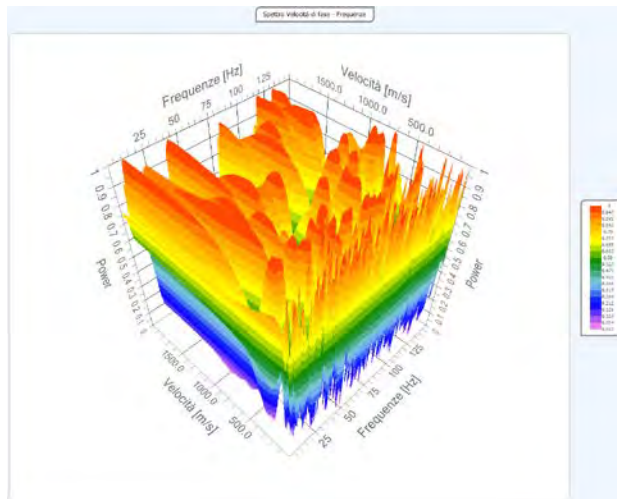
## Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	150
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	2000
Intervallo velocità [m/sec]	1



## Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	20.2	1137.8	0
2	20.4	1053.5	0
3	20.4	1007.3	0
4	21.4	901.2	0
5	22.4	770.7	0
6	23.7	705.4	0
7	35.2	425.3	0
8	39.0	313.8	0
9	46.7	237.6	0
10	54.0	226.7	0
11	88.2	205.0	0
12	107.0	202.3	0



**Inversione**

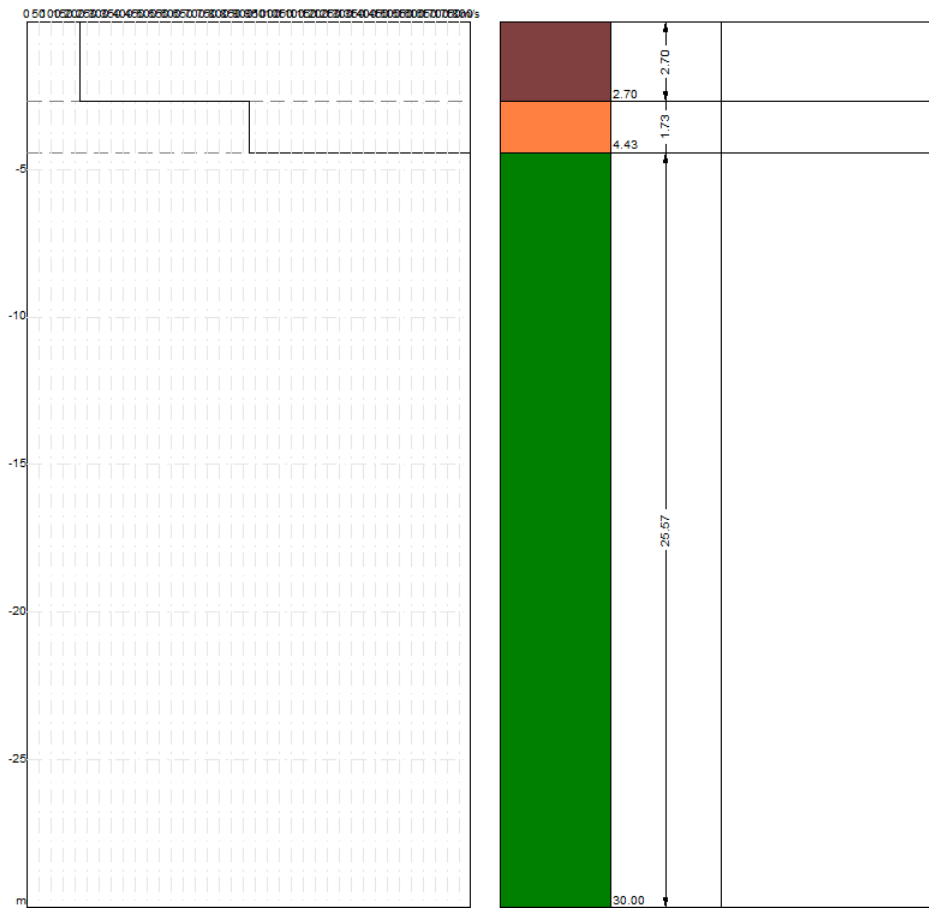
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		2.70	2.70	1850.0	0.4	No	497.3	218.8
2		4.43	1.73	1910.0	0.4	No	1924.9	924.7
3		oo	oo	2100.0	0.3	No	3451.5	1844.9

Percentuale di errore

0.095 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.023



## Risultati

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs30 [m/sec]</b>	1068.54
<b>Categoria del suolo</b>	A

Suolo di tipo A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs,30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con uno spessore massimo pari a 3m

## Altri parametri geotecnici

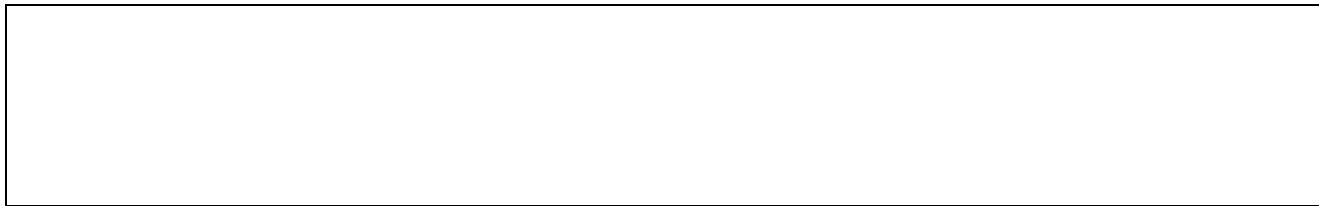
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	2.70	2.70	218.79	497.31	1800.00	0.38	86.16	445.17	330.29	237.81	N/A	1194.05
2	4.43	1.73	924.71	1924.94	1900.00	0.35	1624.67	7040.25	4874.02	4386.61	N/A	N/A
3	oo	oo	1844.91	3451.51	2000.00	0.30	6807.39	23825.85	14749.34	17699.20	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



<b>STUDIO DI GEOLOGIA</b> Geol. Nazario Di Lella C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: Via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG  Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gargano.it Web:
---	---

**PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.**

	<b>Data:</b> febbraio 2024
	<b>Il committente</b> EDISON RINNOVABILI S.P.A.
	<b>IL Tecnico</b> GEOL. N. DI LELLA
	<b>Il Progettista</b> GEOL. N. DI LELLA
<b>Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione - IR13</b>	

### Easy Refract

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

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

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

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

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

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

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

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

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

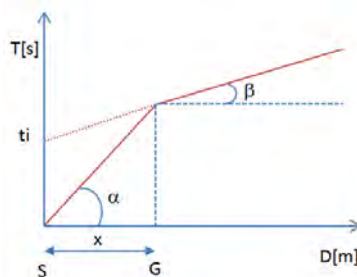
$$T = x_i / V_1$$

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

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

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

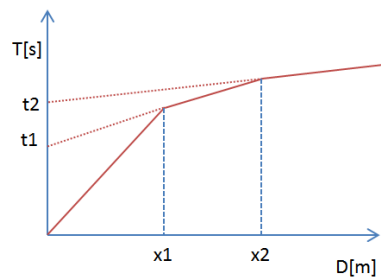
I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



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

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



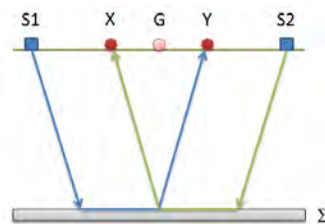


Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

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

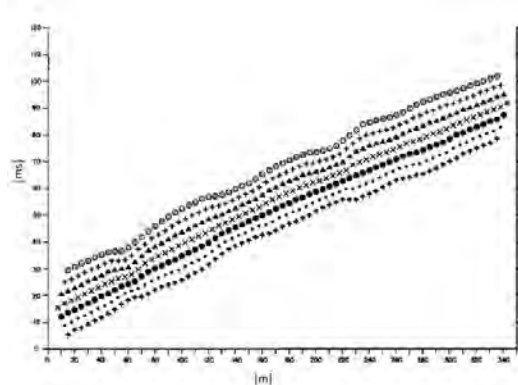
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



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

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

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



dove  $T_{S_1Y}$  e  $T_{S_2X}$  sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre  $T_{S_1S_2}$  è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento.  $T_v$  è

STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711

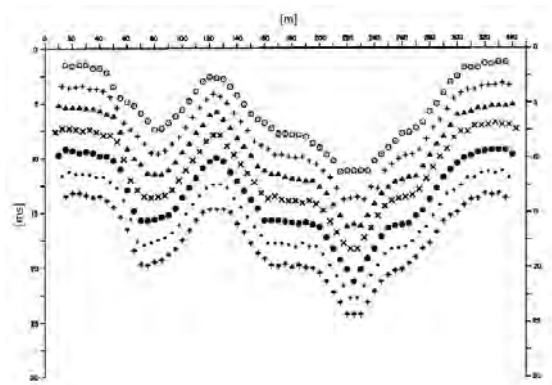
il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

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

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

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

Dove  $V_n$  è la velocità del rifrattore.



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

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

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

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

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

#### Dati generali

Descrizione	PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.
Committente	EDISON RINNOVABILI S.P.A.
Zona	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR13
Operatore	Geol. N. Di Lella
Responsabile	Geol. N. Di Lella
Data	11/02/2024
Via	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR13
Latitudine	41.0609[°]
Longitudine	16.13067[°]
Altitudine	527[m]

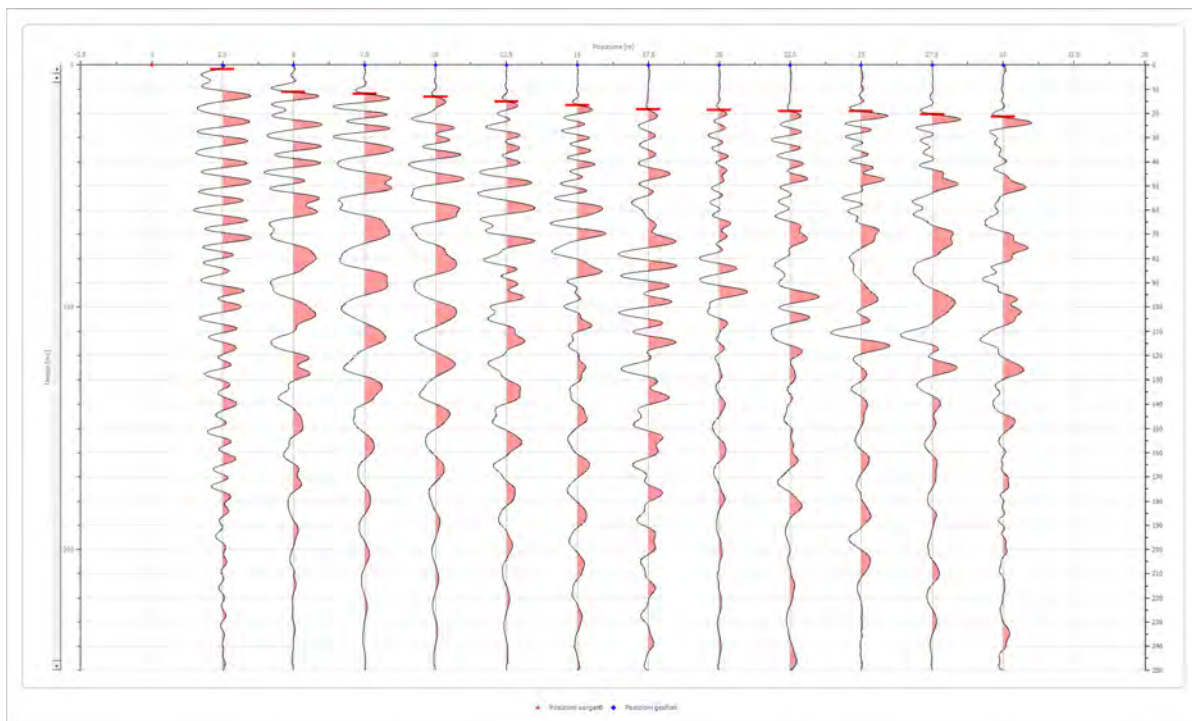
### Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.5	0.0
2	5.0	0.0
3	7.5	0.0
4	10.0	0.0
5	12.5	0.0
6	15.0	0.0
7	17.5	0.0
8	20.0	0.0
9	22.5	0.0
10	25.0	0.0
11	27.5	0.0
12	30.0	0.0

### Dati battute

Battuta 1

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

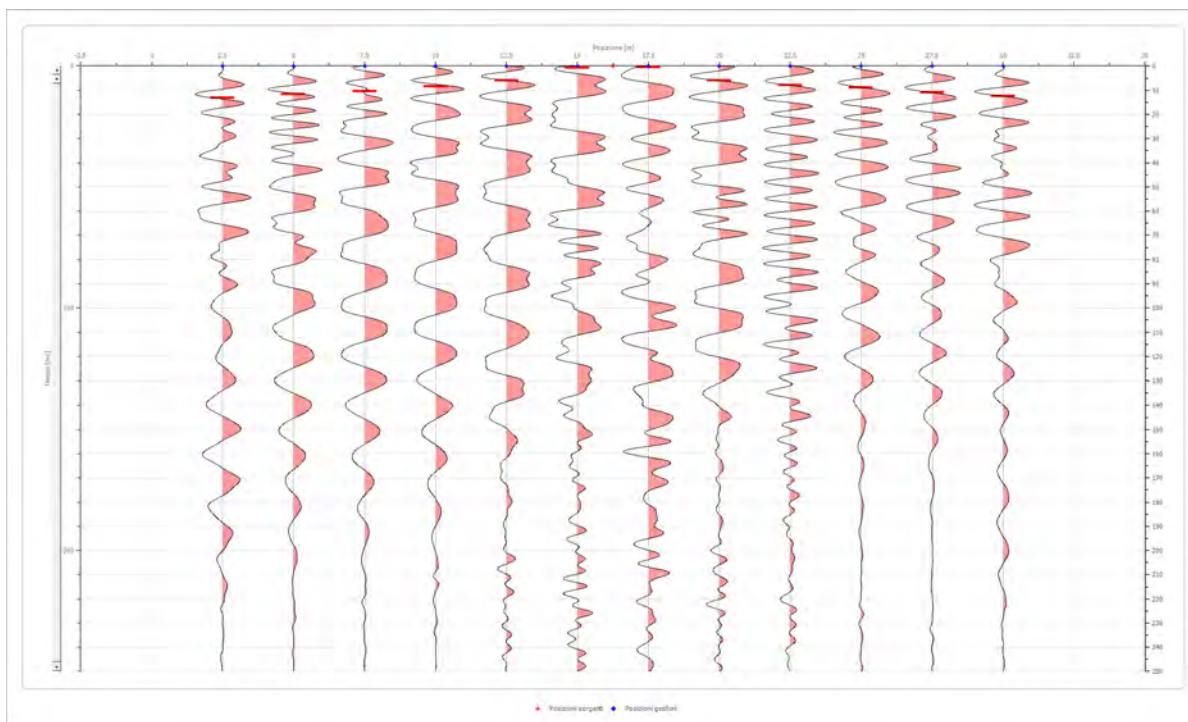


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	1.7378
5.0	11.1718
7.5	11.9166
10.0	13.1579
12.5	15.1440
15.0	16.6336
17.5	18.3714
20.0	18.6197
22.5	19.1162
25.0	19.1162
27.5	20.3750
30.0	21.3505

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

Battuta 2

Posizione sorgente X 16 [m]  
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	13.1579
5.0	11.6683
7.5	10.4270
10.0	8.4409
12.5	5.9583
15.0	0.7448
17.5	0.4965
20.0	5.9583
22.5	7.9444
25.0	8.9374
27.5	10.9235
30.0	12.4131

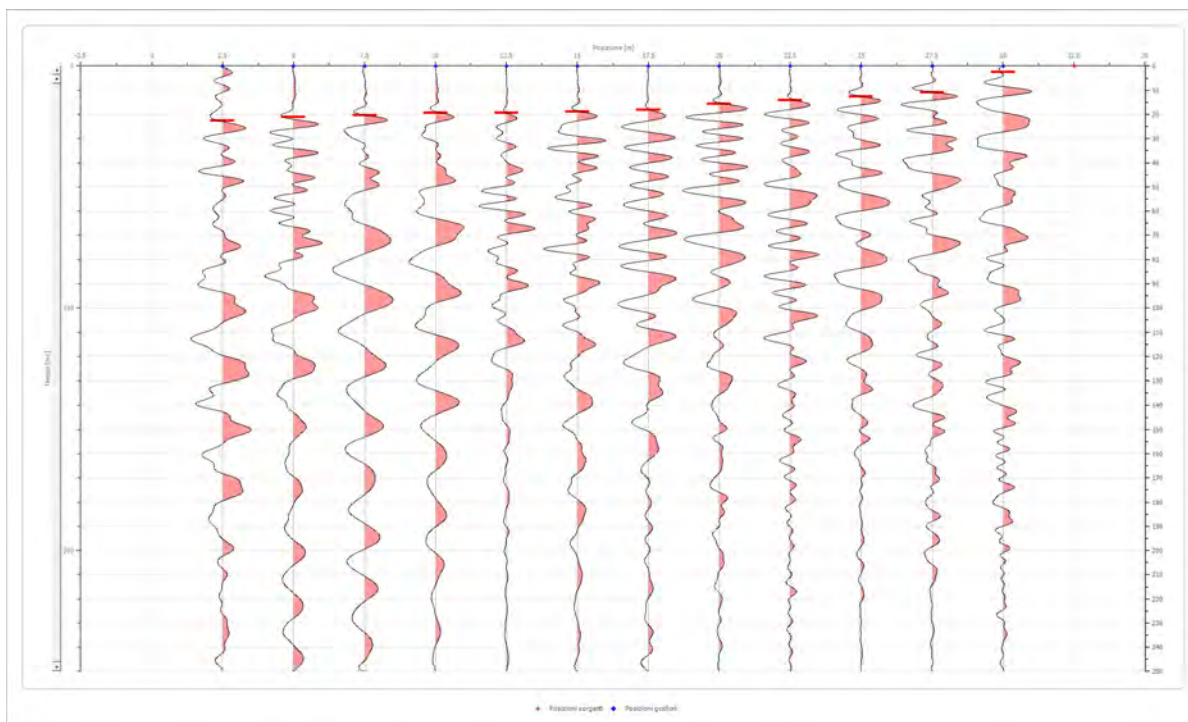
STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

Battuta 3

Posizione sorgente X 33 [m]  
 Posizione sorgente Z 0 [m]

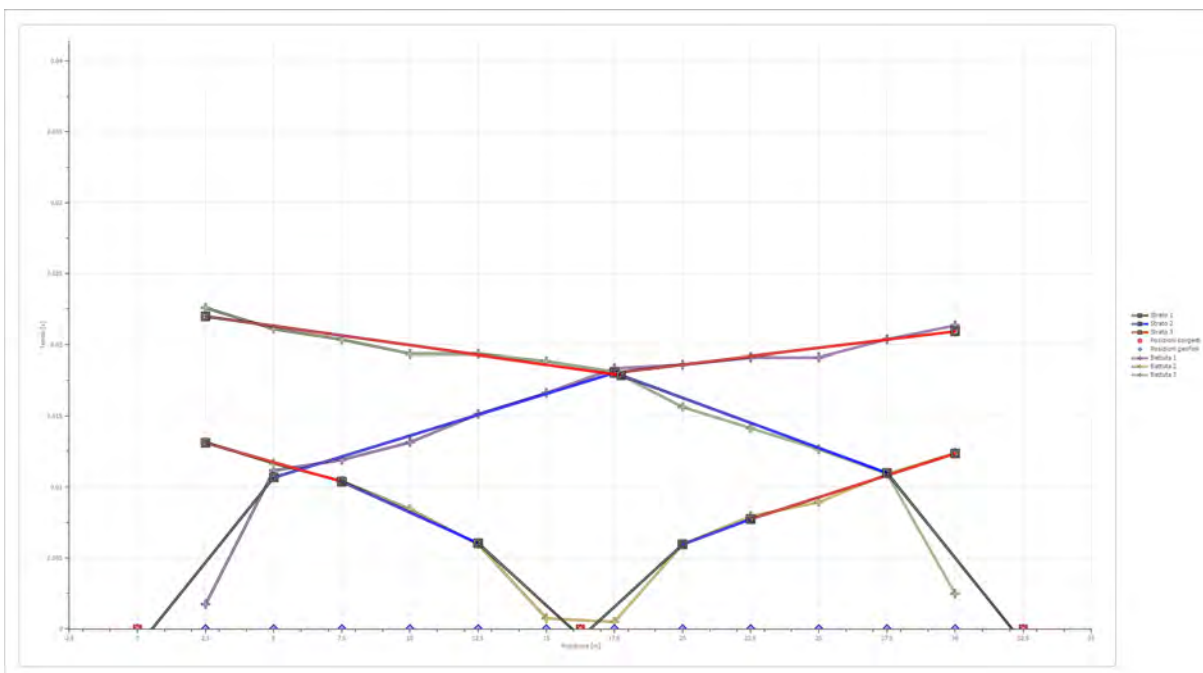


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	22.5919
5.0	21.1023
7.5	20.3575
10.0	19.3644
12.5	19.3644
15.0	18.8679
17.5	18.1231
20.0	15.6405
22.5	14.1509
25.0	12.6614
27.5	10.9235
30.0	2.4826

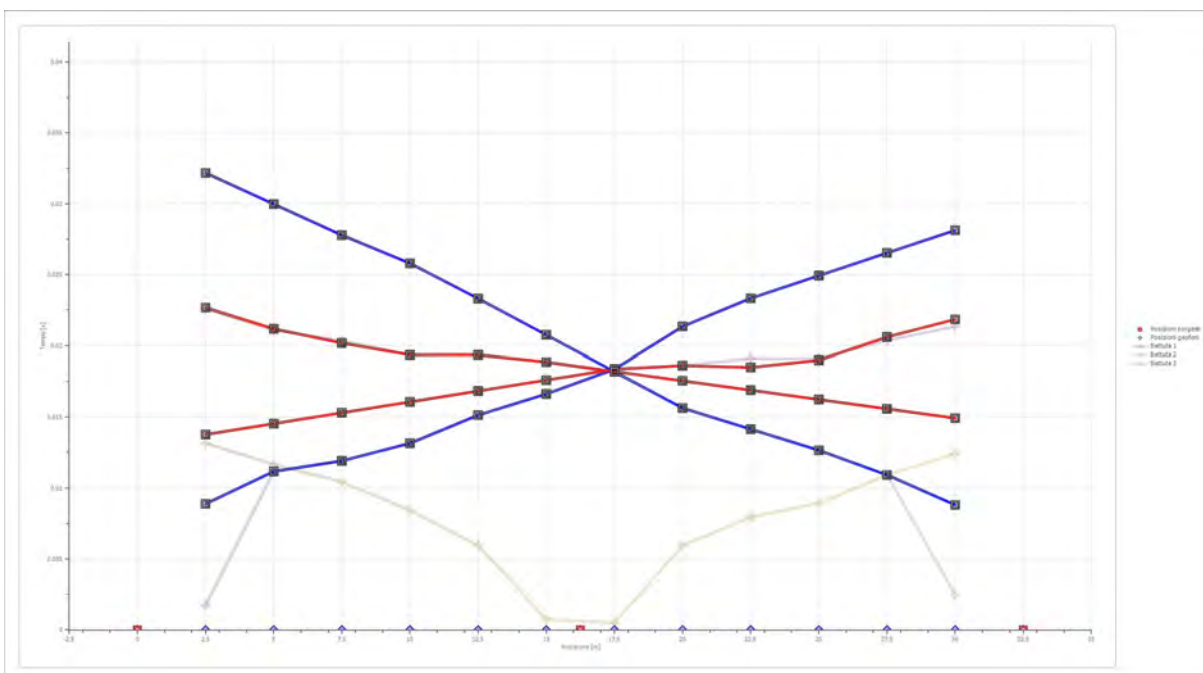
STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L011054R, P.Iva.02101530711

**Dromocrone**



**Dromocrone traslate**



PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

### Interpretazione col metodo G<sub>r</sub>R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.5 [m]	2.6	5.4	--
G= 5.0 [m]	2.7	4.9	--
G= 7.5 [m]	2.2	5.4	--
G= 10.0 [m]	2.0	5.7	--
G= 12.5 [m]	1.9	6.4	--
G= 15.0 [m]	1.6	7.1	--
G= 17.5 [m]	1.3	7.5	--
G= 20.0 [m]	1.5	7.0	--
G= 22.5 [m]	1.6	6.3	--
G= 25.0 [m]	1.6	6.1	--
G= 27.5 [m]	1.6	6.9	--
G= 30.0 [m]	1.4	7.5	--
Velocità [m/sec]	526.3	1265.0	3873.6
Descrizione			

### Altri parametri geotecnici

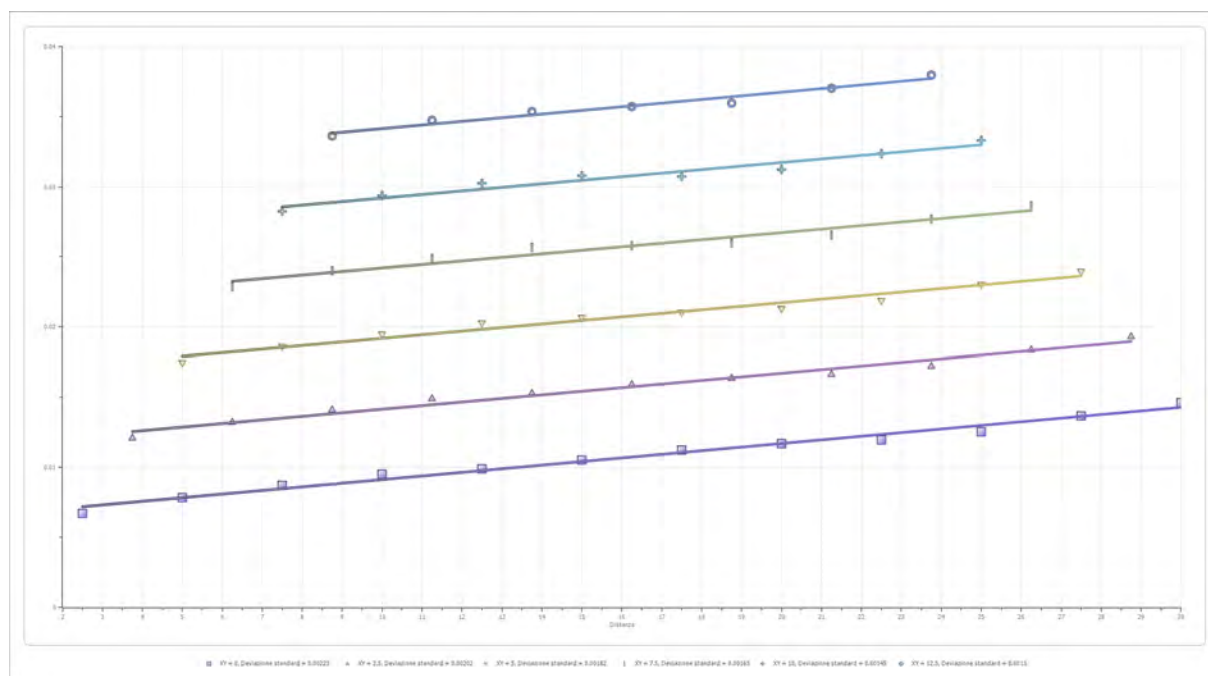
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.38	0.35	0.30
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	1900.00	2000.00
V <sub>p</sub> [m/s]	526.28	1264.98	3873.60
V <sub>s</sub> [m/s]	231.53	607.68	2070.53
G <sub>0</sub> [MPa]	96.49	701.61	8574.16
Ed [Mpa]	498.56	3040.33	30009.56
M <sub>0</sub> [MPa]	402.06	2338.71	21435.40
E <sub>y</sub> [Mpa]	266.32	1894.36	22292.82

G<sub>0</sub>: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M<sub>0</sub>: Modulo di compressibilità volumetrica;

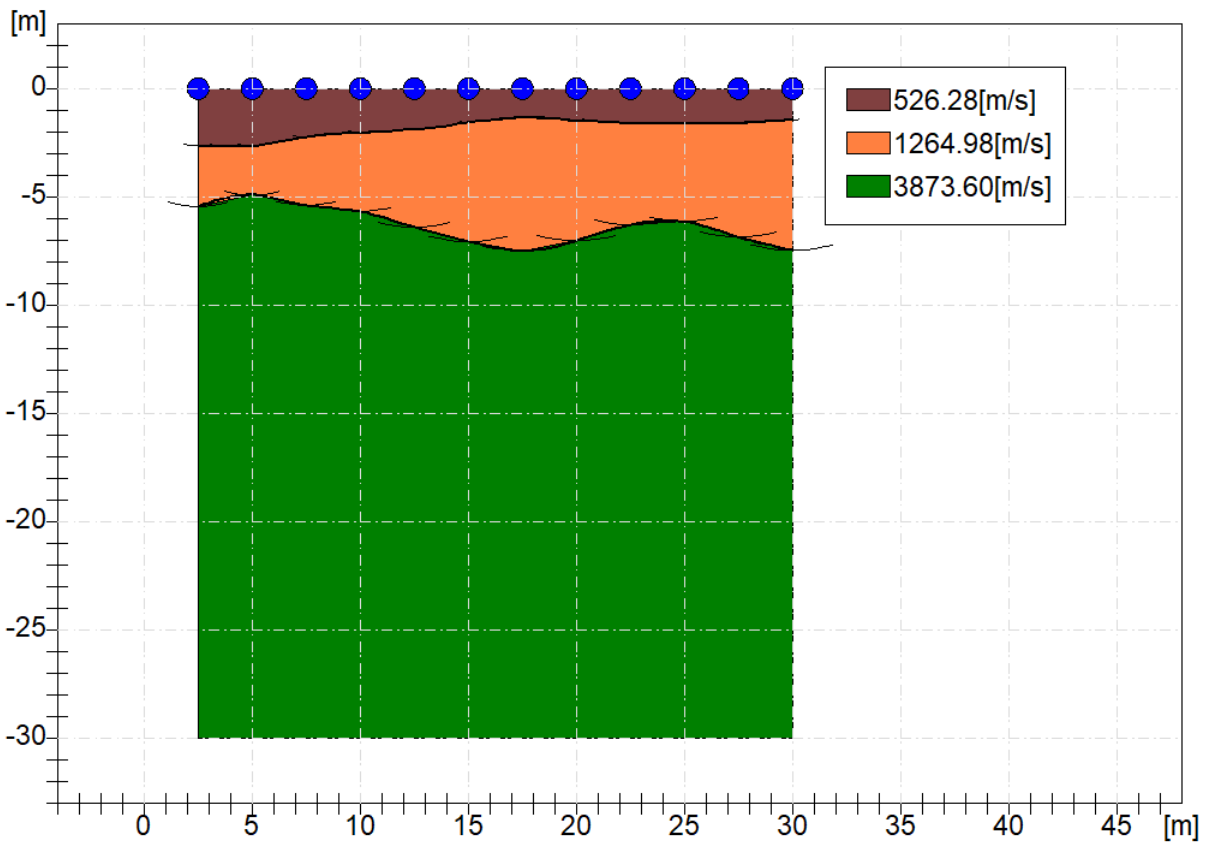
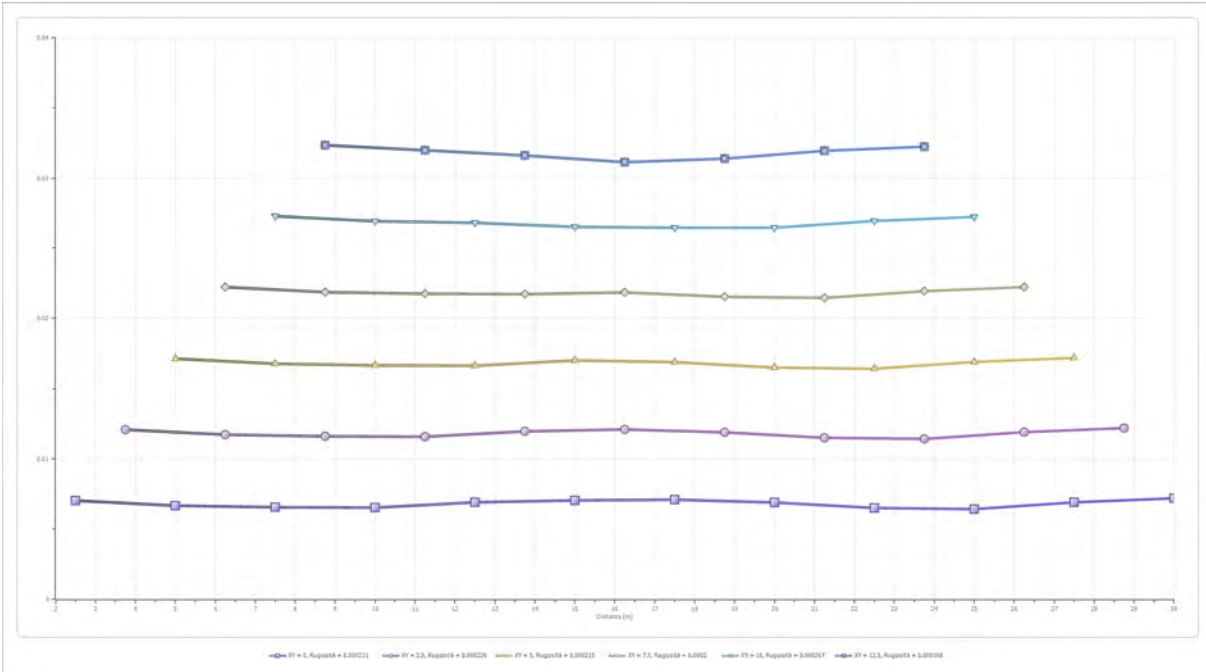
E<sub>y</sub>: Modulo di Young;



STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L011054R, P.Iva.02101530711

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

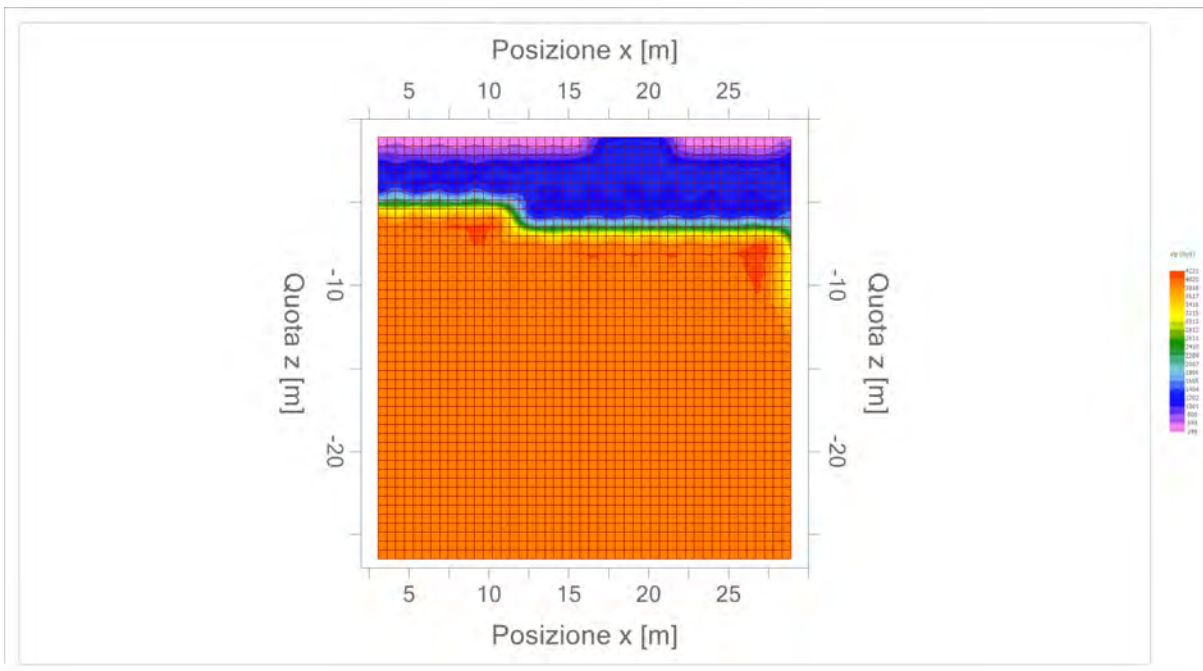


STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L011054R, P.Iva.02101530711

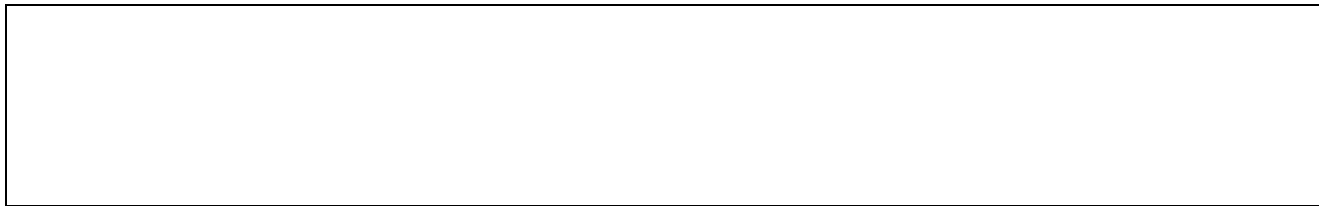


PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MWp SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.




STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711



<b>STUDIO DI GEOLOGIA</b> Geol. Nazario Di Lella C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: Via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG  Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gargano.it Web:
---	---

**PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.**

	Data: febbraio 2024
	Il committente EDISON RINNOVABILI S.P.A.
	Il Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
<b>Indagine geofisica tramite tecnica MASW – IR13</b>	

## Easy MASW

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

### Moto del segnale sismico

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

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

### Onde di Rayleigh – “R”

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

### Analisi del segnale con tecnica MASW

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

### Modellizzazione

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

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

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

### Modi di vibrazione

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

### Profondità di indagine

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

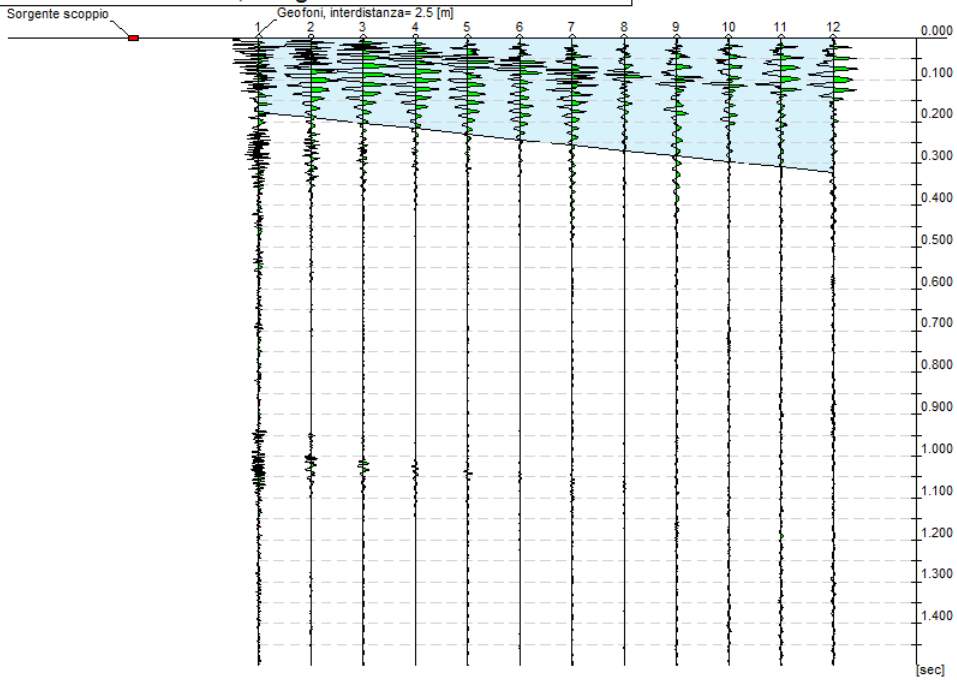
### Dati generali

<b>Committente</b>	EDISON RINNOVABILI S.P.A.
<b>Cantiere</b>	MINERVINO MURGE
<b>Località</b>	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR13
<b>Operatore</b>	Geol. N. Di Lella
<b>Responsabile</b>	Geol. N. Di Lella
<b>Zona</b>	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR13
<b>Data</b>	11/02/2024 12:00
<b>Latitudine</b>	41.0609
<b>Longitudine</b>	16.1307

### Tracce

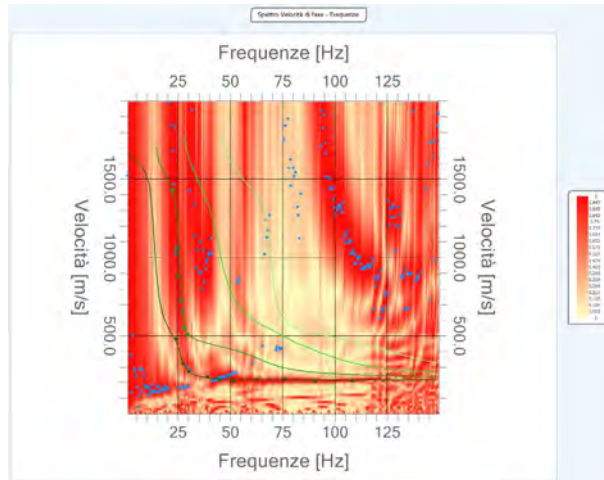
N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1500.0
Interdistanza geofoni [m]	2.5
Periodo di campionamento [msec]	1.00

Committente: EDISON RINNOVABILI S.P.A.  
Cantiere: MINERVINO MURGE  
Località: LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR11  
Operatore: Geol. N. Di Lella  
Responsabile: Geol. N. Di Lella  
Data: 11/02/2024  
Latitudine: 41.0609°, Longitudine: 16.1307°



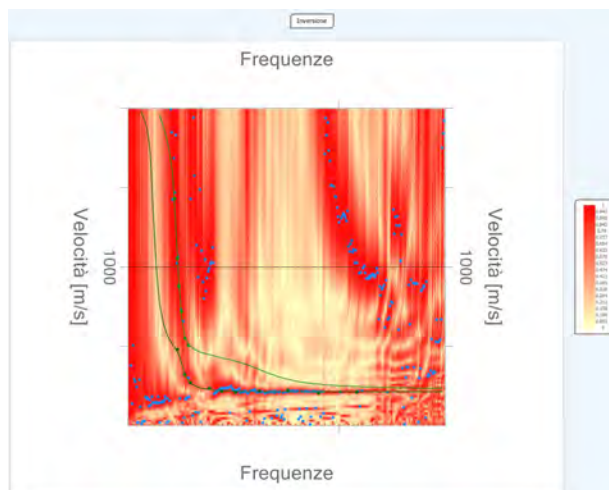
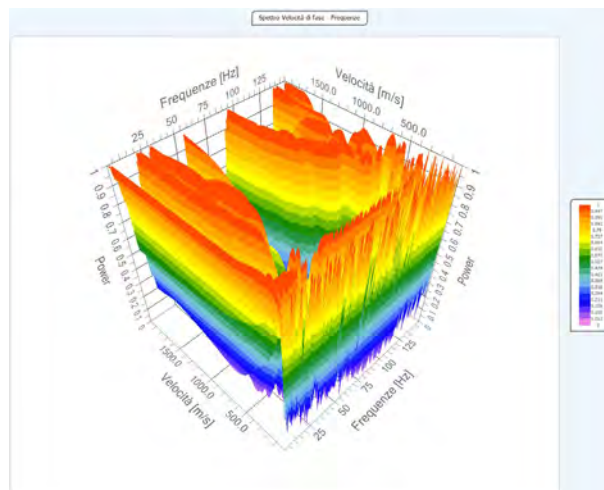
## Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	150
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	2000
Intervallo velocità [m/sec]	1



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	22.9	1428.9	1
2	24.1	1050.8	1
3	24.1	479.7	0
4	24.9	882.2	1
5	26.1	721.7	1
6	27.5	321.9	0
7	27.7	550.4	1
8	29.3	504.1	1
9	30.1	270.3	0
10	39.2	234.9	0
11	45.1	215.9	0
12	51.6	207.7	0
13	62.5	218.6	0
14	76.1	224.0	0
15	90.4	205.0	0
16	108.2	210.4	0



**Inversione**

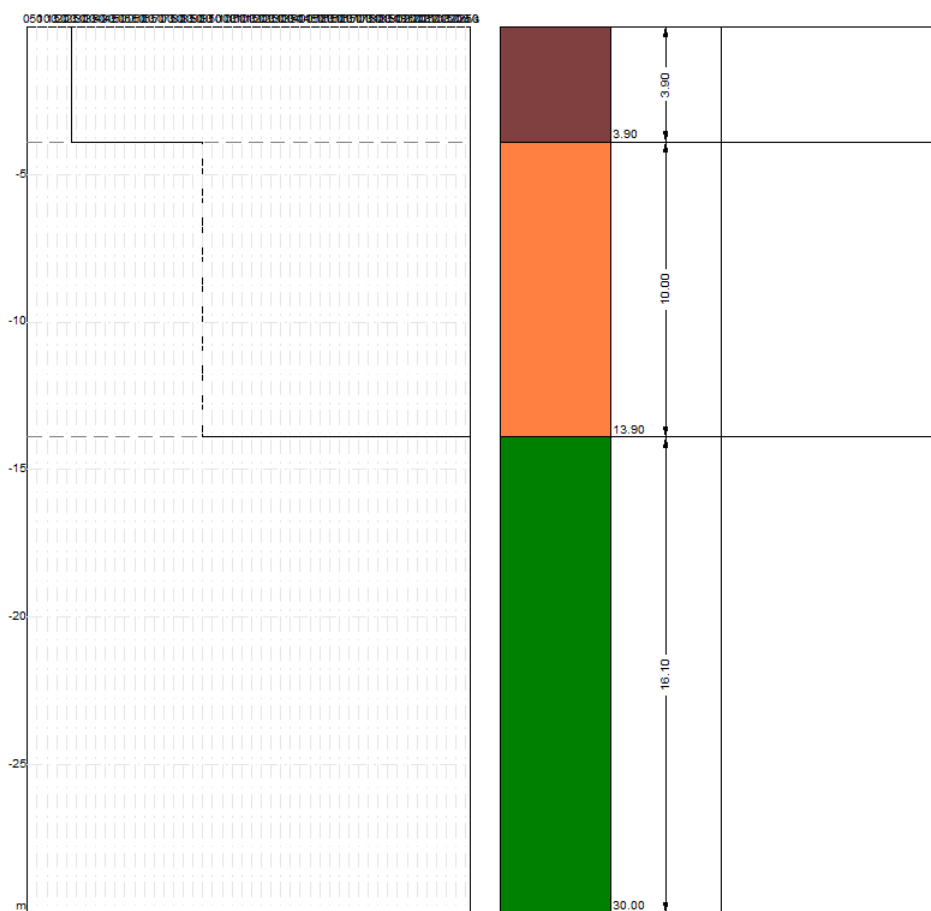
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		3.90	3.90	1850.0	0.4	No	512.4	225.4
2		13.90	10.00	1950.0	0.4	No	1863.1	895.0
3		oo	oo	2100.0	0.3	No	4252.7	2273.2

Percentuale di errore

0.061 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.028



## Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs30 [m/sec]	844.04
Categoria del suolo	A

Suolo di tipo A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs,30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con uno spessore massimo pari a 3m

## Altri parametri geotecnici

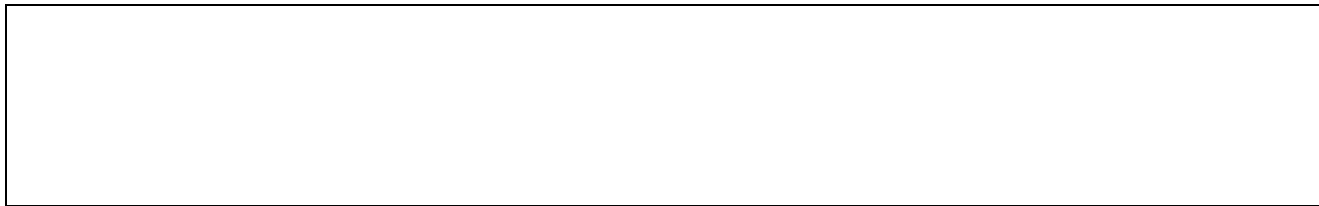
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	3.90	3.90	225.44	512.43	1800.00	0.38	91.48	472.66	350.68	252.49	N/A	1388.04
2	13.90	10.00	894.98	1863.06	1900.00	0.35	1521.89	6594.87	4565.68	4109.11	N/A	N/A
3	oo	oo	2273.16	4252.70	2000.00	0.30	10334.54	36170.89	22391.51	26869.80	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



<b>STUDIO DI GEOLOGIA</b> Geol. Nazario Di Lella C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: Via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG  Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gargano.it Web:
---	---

**PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.**

	Data: febbraio 2024
	Il committente EDISON RINNOVABILI S.P.A.
	IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
<b>Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione - IR14</b>	



### Easy Refract

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

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

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

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

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

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

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

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

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

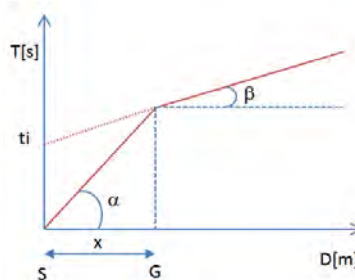
$$T = x_i / V_1$$

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

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

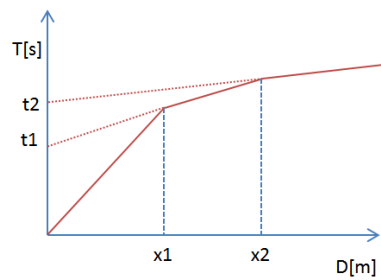
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

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



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

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

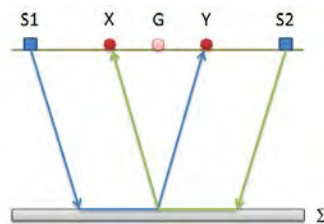


Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

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

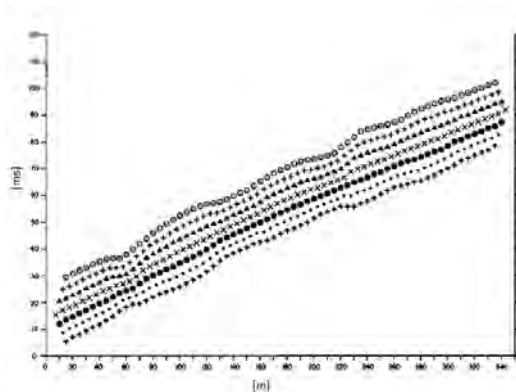
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



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

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

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



dove  $T_{S_1Y}$  e  $T_{S_2X}$  sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre  $T_{S_1S_2}$  è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento.  $T_v$  è

STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711

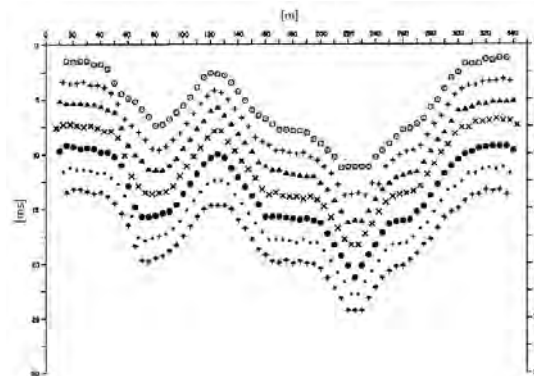
il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

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

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

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

Dove  $V_n$  è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo. Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

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

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

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

#### Dati generali

Descrizione	PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.
Committente	EDISON RINNOVABILI S.P.A.
Zona	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR14
Operatore	Geol. N. Di Lella
Responsabile	Geol. N. Di Lella
Data	11/02/2024
Via	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR14
Latitudine	41.06535[°]
Longitudine	16.13181[°]
Altitudine	555[m]

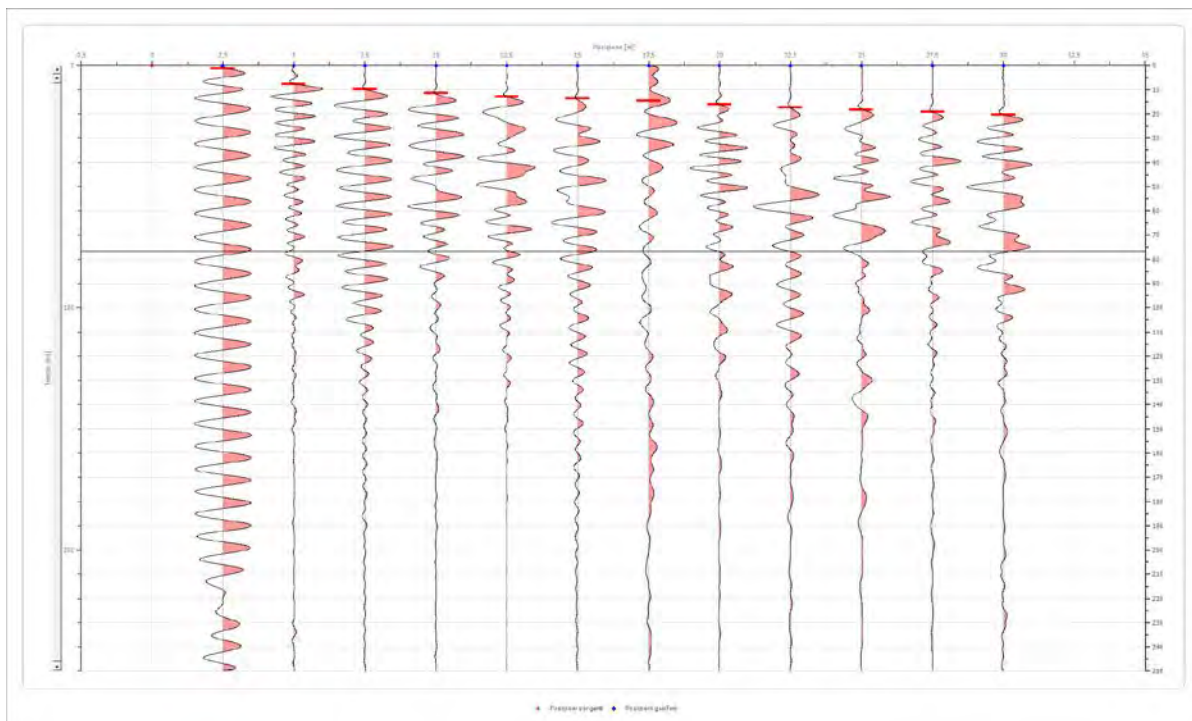
### Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.5	0.0
2	5.0	0.0
3	7.5	0.0
4	10.0	0.0
5	12.5	0.0
6	15.0	0.0
7	17.5	0.0
8	20.0	0.0
9	22.5	0.0
10	25.0	0.0
11	27.5	0.0
12	30.0	0.0

### Dati battute

Battuta 1

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

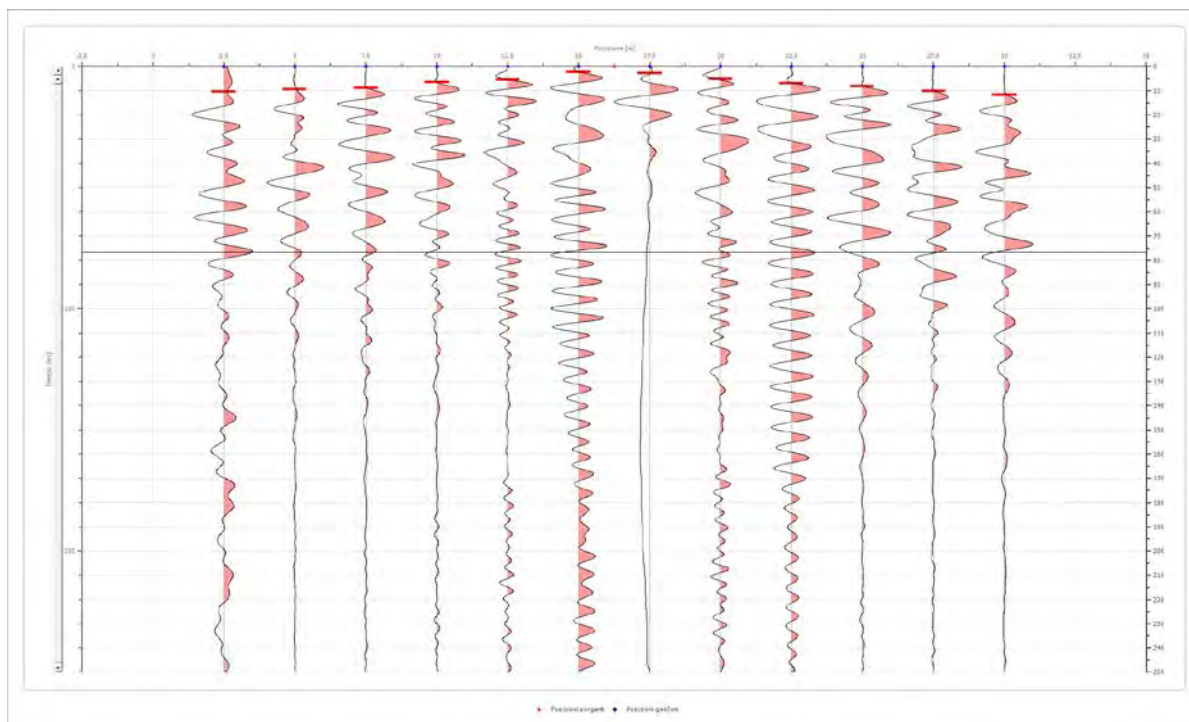


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	1.2413
5.0	7.6961
7.5	9.9305
10.0	11.4201
12.5	12.9096
15.0	13.6544
17.5	14.6475
20.0	16.1370
22.5	17.3784
25.0	18.3714
27.5	19.1162
30.0	20.3575

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

Battuta 2

Posizione sorgente X 16 [m]  
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	10.4270
5.0	9.4340
7.5	8.9374
10.0	6.4548
12.5	5.4618
15.0	2.2344
17.5	2.7309
20.0	5.2135
22.5	6.9513
25.0	8.1927
27.5	10.1787
30.0	11.6683

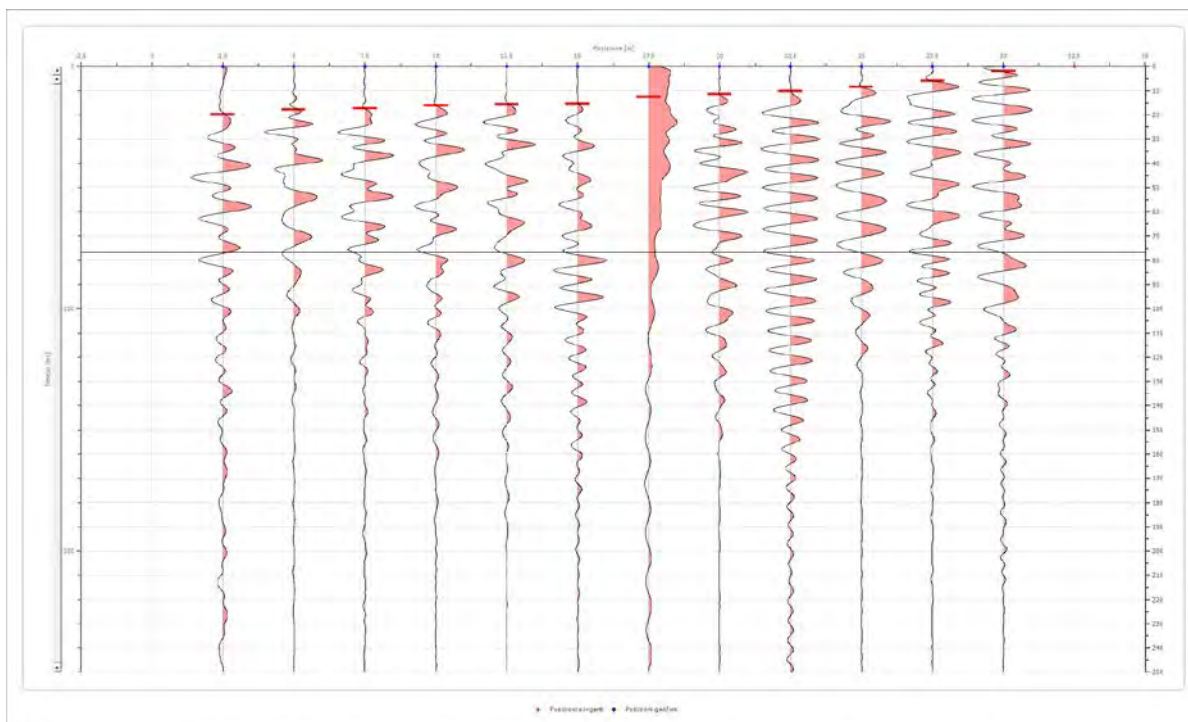
STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

Battuta 3

Posizione sorgente X 33 [m]  
 Posizione sorgente Z 0 [m]



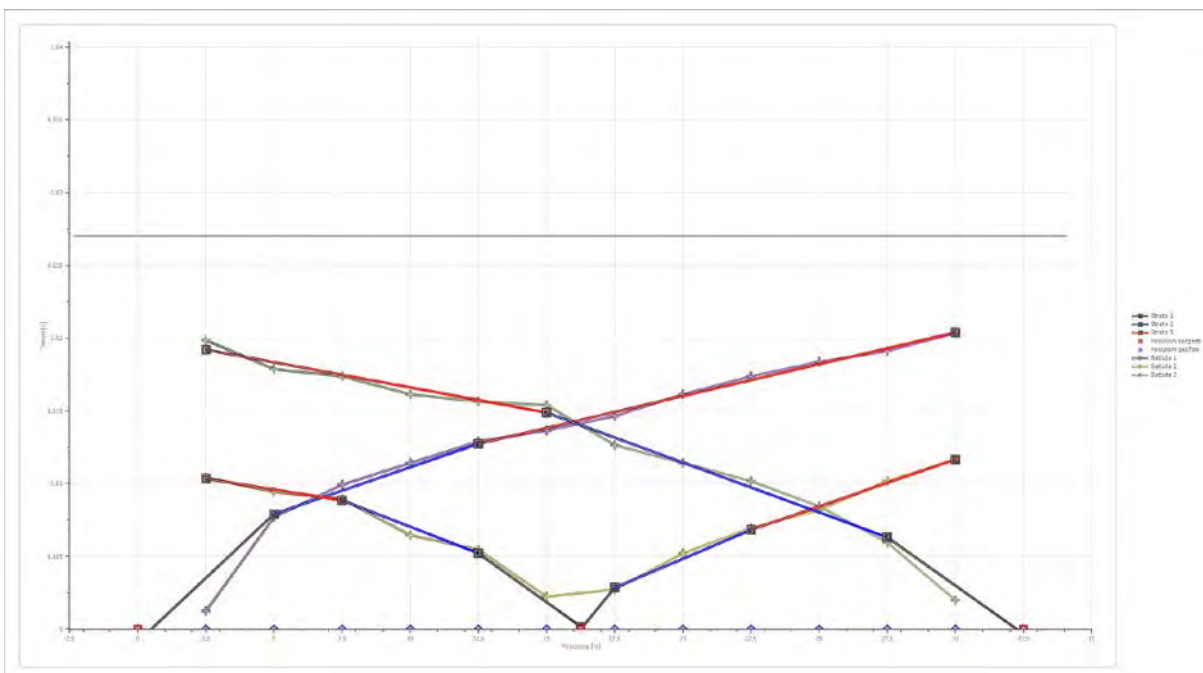
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	19.8610
5.0	17.8749
7.5	17.3784
10.0	16.1370
12.5	15.6405
15.0	15.3923
17.5	12.6614
20.0	11.4201
22.5	10.1787
25.0	8.4409
27.5	5.9583
30.0	1.9861

STUDIO DI GEOLOGIA

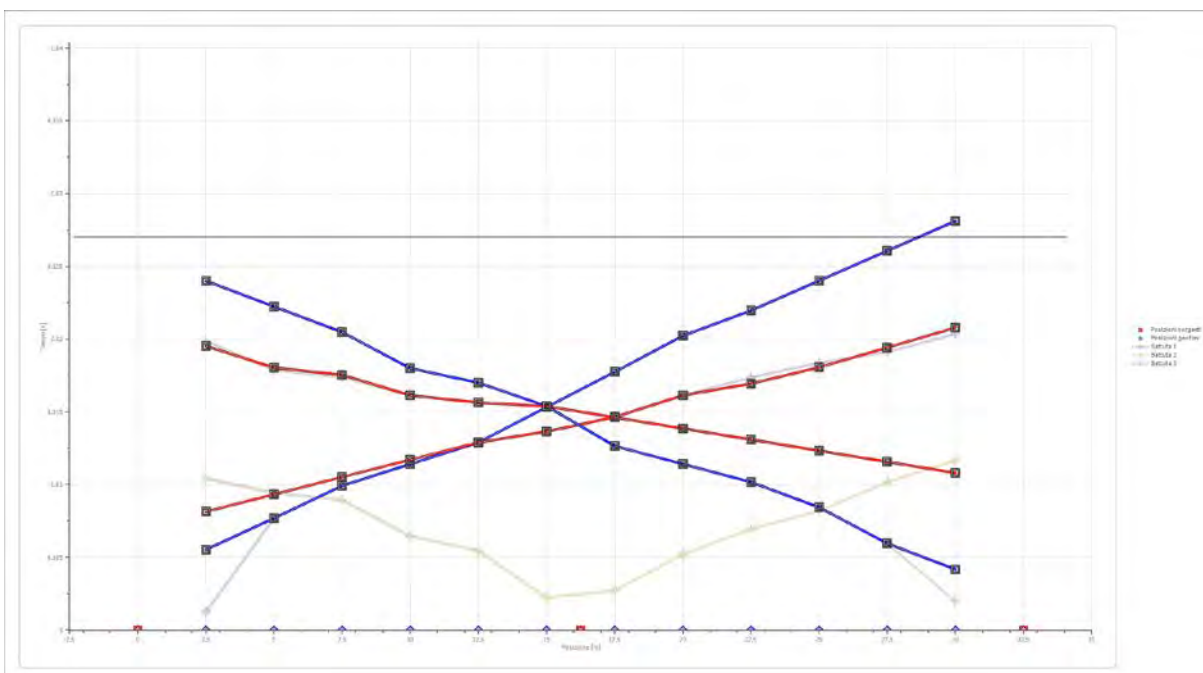
Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822,  
 e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MWp SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

**Dromocrone**



**Dromocrone traslate**



STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L011054R, P.Iva.02101530711

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

### Interpretazione col metodo G<sub>r</sub>R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.5 [m]	0.7	4.3	--
G= 5.0 [m]	0.8	3.9	--
G= 7.5 [m]	1.0	4.2	--
G= 10.0 [m]	0.6	4.5	--
G= 12.5 [m]	0.8	4.8	--
G= 15.0 [m]	1.1	4.8	--
G= 17.5 [m]	1.0	5.1	--
G= 20.0 [m]	1.5	5.1	--
G= 22.5 [m]	1.7	4.9	--
G= 25.0 [m]	1.8	5.0	--
G= 27.5 [m]	1.6	5.7	--
G= 30.0 [m]	1.7	6.0	--
Velocità [m/sec]	661.1	1303.2	2690.8
Descrizione			

### Altri parametri geotecnici

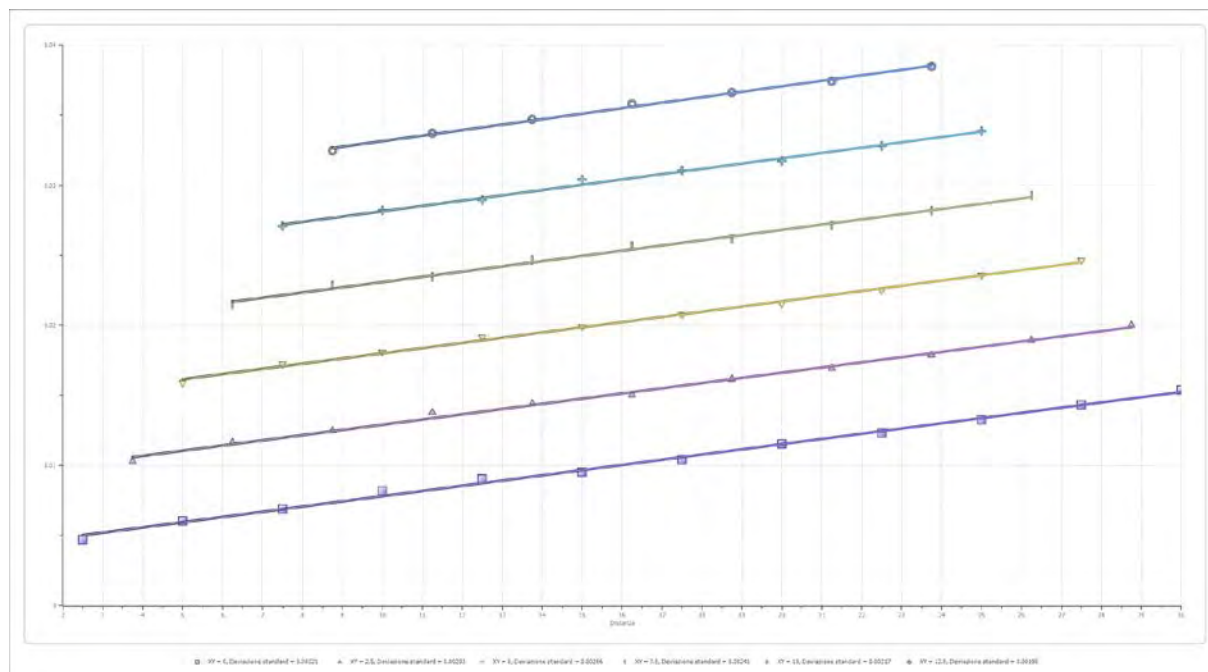
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.38	0.35	0.30
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	1900.00	2000.00
V <sub>p</sub> [m/s]	661.12	1303.24	2690.82
V <sub>s</sub> [m/s]	290.86	626.06	1438.30
G <sub>0</sub> [MPa]	152.27	744.70	4137.42
Ed [Mpa]	786.75	3227.03	14480.98
M <sub>0</sub> [MPa]	634.48	2482.33	10343.56
E <sub>y</sub> [Mpa]	420.28	2010.69	10757.30

G<sub>0</sub>: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M<sub>0</sub>: Modulo di compressibilità volumetrica;

E<sub>y</sub>: Modulo di Young;

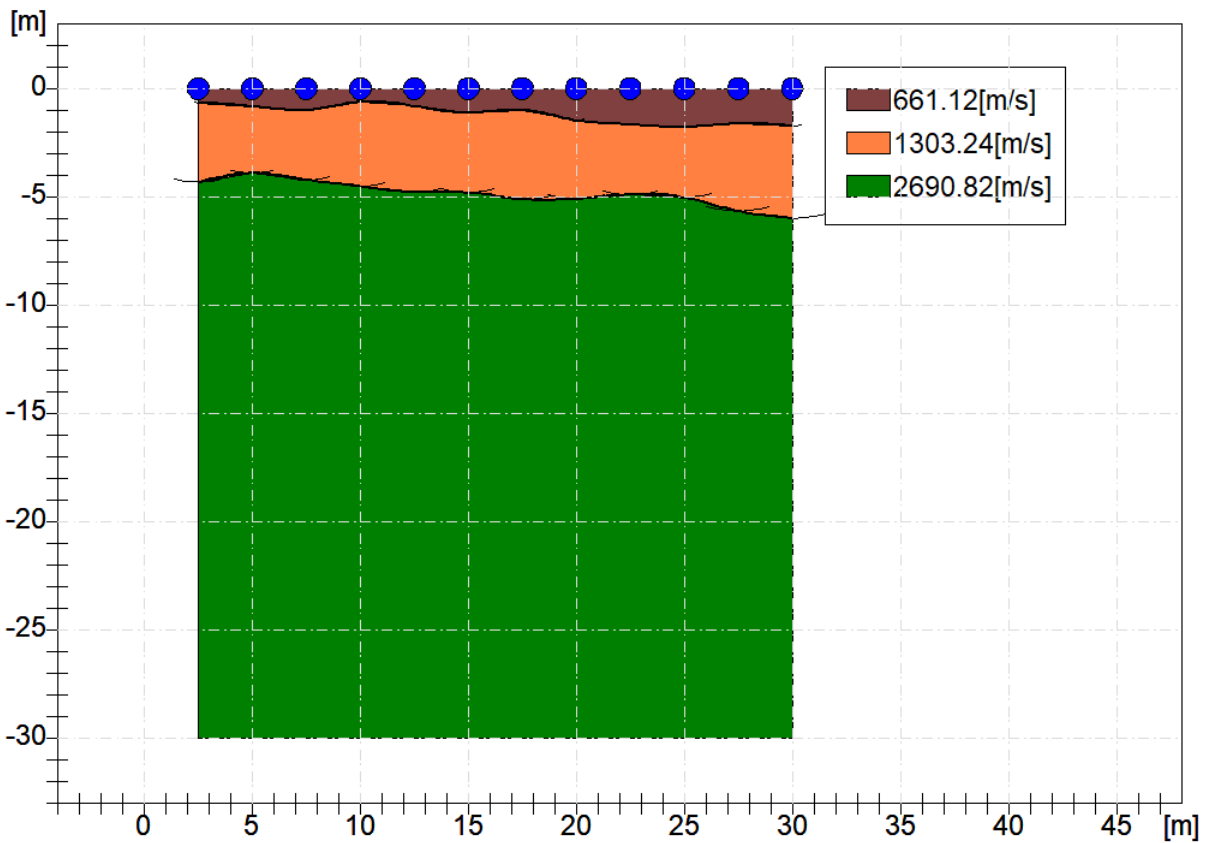
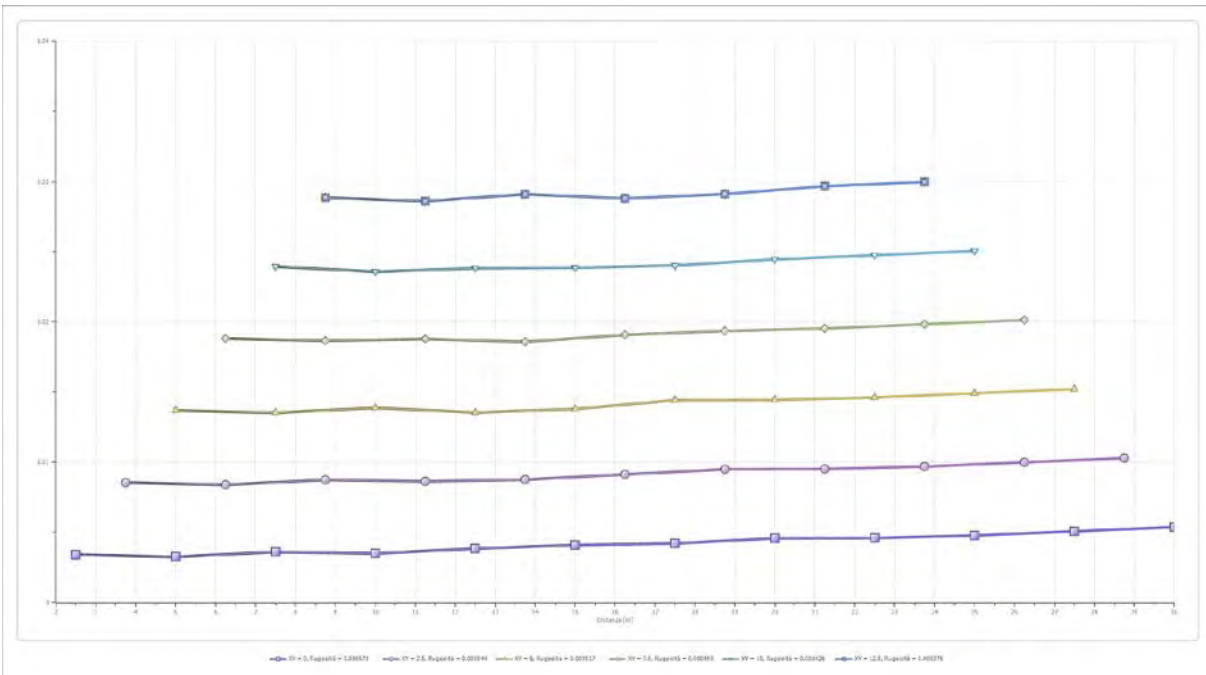


STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L011054R, P.Iva.02101530711



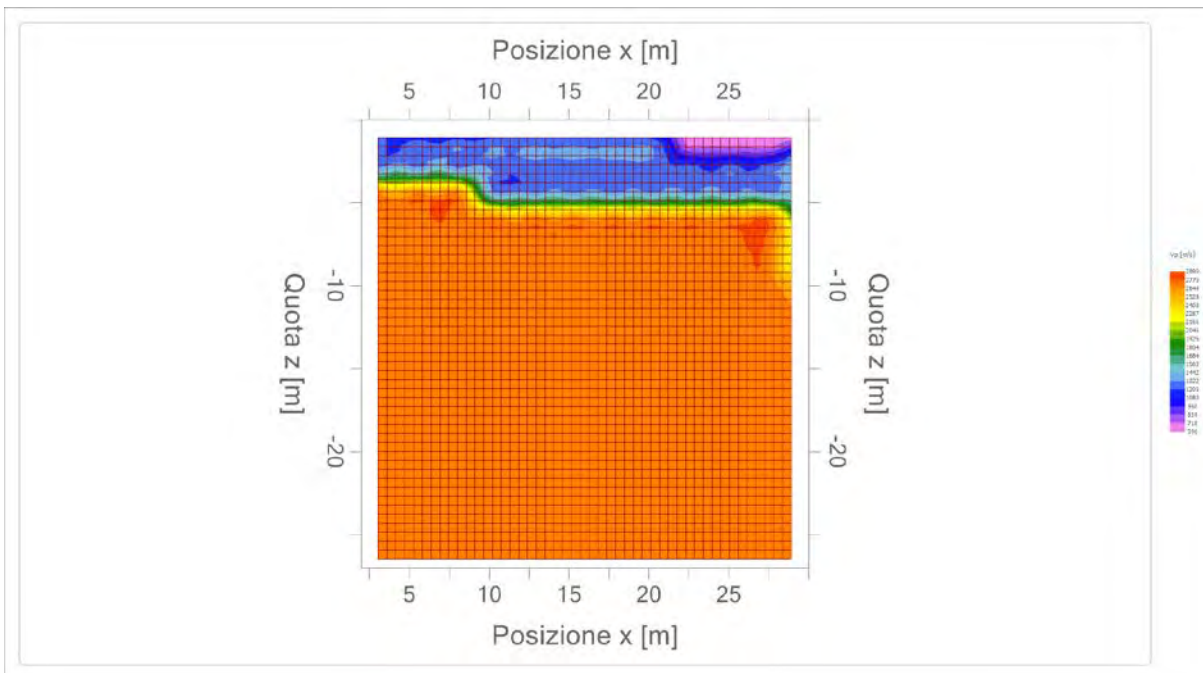
PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.



STUDIO DI GEOLOGIA

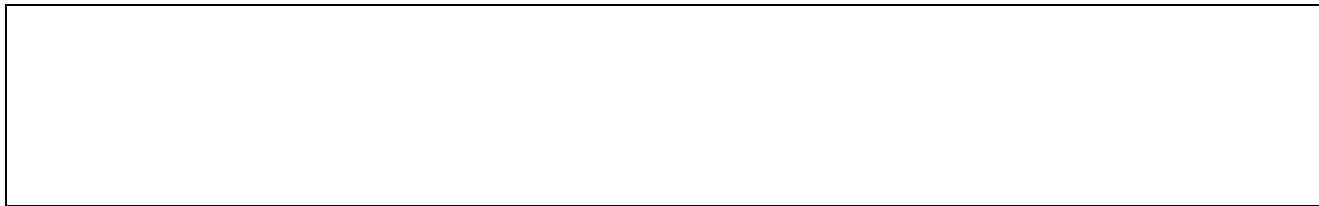
Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L011054R, P.Iva.02101530711

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MWp SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.



STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711



<b>STUDIO DI GEOLOGIA</b> Geol. Nazario Di Lella C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: Via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG  Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gargano.it Web:
---	---

**PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.**

	Data: febbraio 2024
	Il committente EDISON RINNOVABILI S.P.A.
	IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
<b>Indagine geofisica tramite tecnica MASW</b>	

## Easy MASW

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

### Moto del segnale sismico

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

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

### Onde di Rayleigh – “R”

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

### Analisi del segnale con tecnica MASW

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

### Modellizzazione

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

$$v = \lambda \times v$$

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

### Modi di vibrazione

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

### Profondità di indagine

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

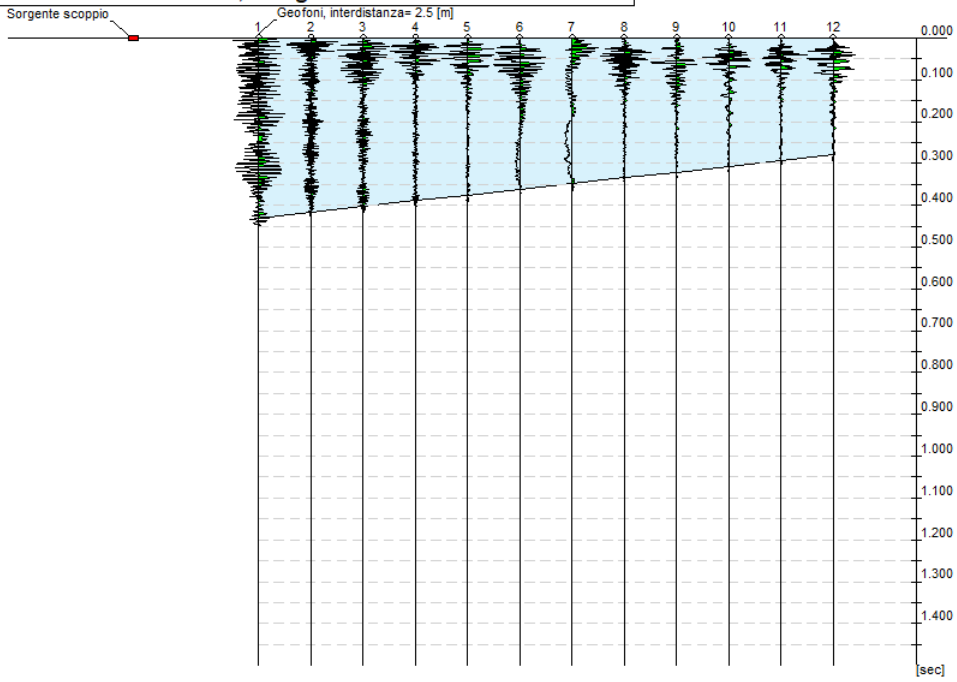
### Dati generali

<b>Committente</b>	EDISON RINNOVABILI S.P.A.
<b>Cantiere</b>	MINERVINO MURGE
<b>Località</b>	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR14
<b>Operatore</b>	Geol. N. Di Lella
<b>Responsabile</b>	Geol. N. Di Lella
<b>Zona</b>	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR14
<b>Data</b>	11/02/2024 12:00
<b>Latitudine</b>	41.0654
<b>Longitudine</b>	16.1318

### Tracce

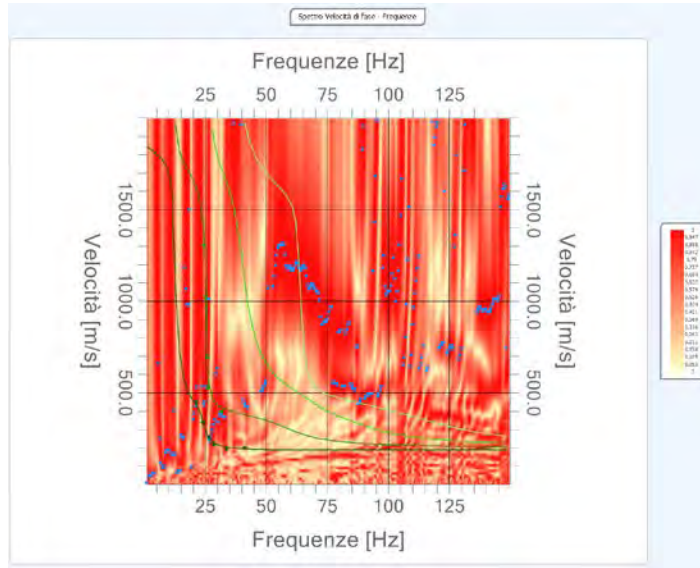
N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1500.0
Interdistanza geofoni [m]	2.5
Periodo di campionamento [msec]	1.00

Committente: EDISON RINNOVABILI S.P.A.  
Cantiere: MINERVINO MURGE  
Località: LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR14  
Operatore: Geol. N. Di Lella  
Responsabile: Geol. N. Di Lella  
Data: 11/02/2024  
Latitudine: 41.0654°, Longitudine: 16.1318°



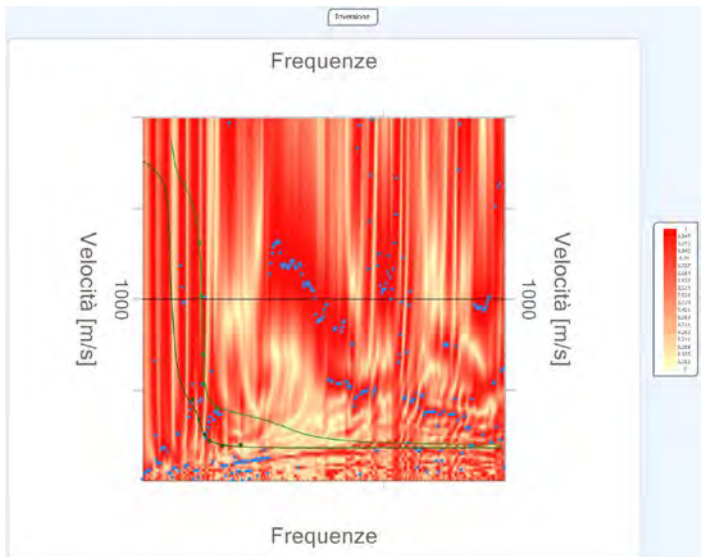
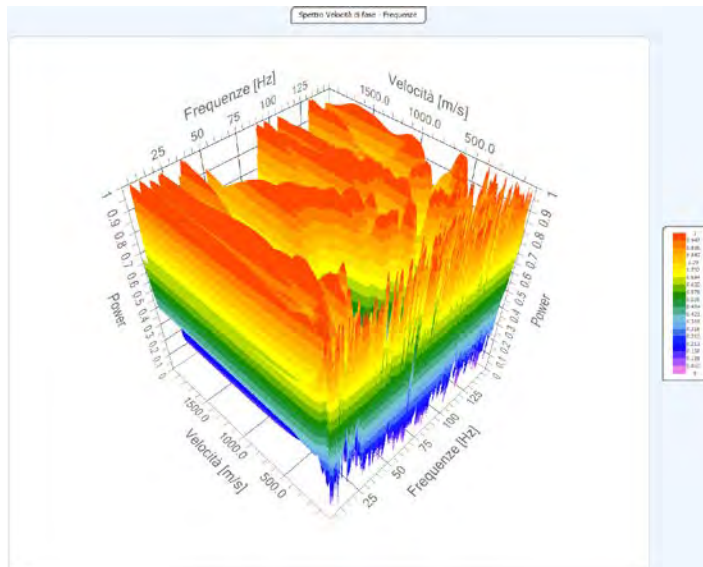
### Analisi spettrale

**Frequenza minima di elaborazione [Hz]** 1  
**Frequenza massima di elaborazione [Hz]** 150  
**Velocità minima di elaborazione [m/sec]** 1  
**Velocità massima di elaborazione [m/sec]** 2000  
**Intervallo velocità [m/sec]** 1



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	21.4	447.0	0
2	24.1	338.2	0
3	24.5	1306.5	1
4	25.3	1020.9	1
5	25.9	694.5	1
6	26.3	528.6	1
7	26.5	256.7	0
8	28.5	221.3	0
9	31.8	398.1	1
10	33.8	194.1	0
11	41.3	199.5	0



**Inversione**

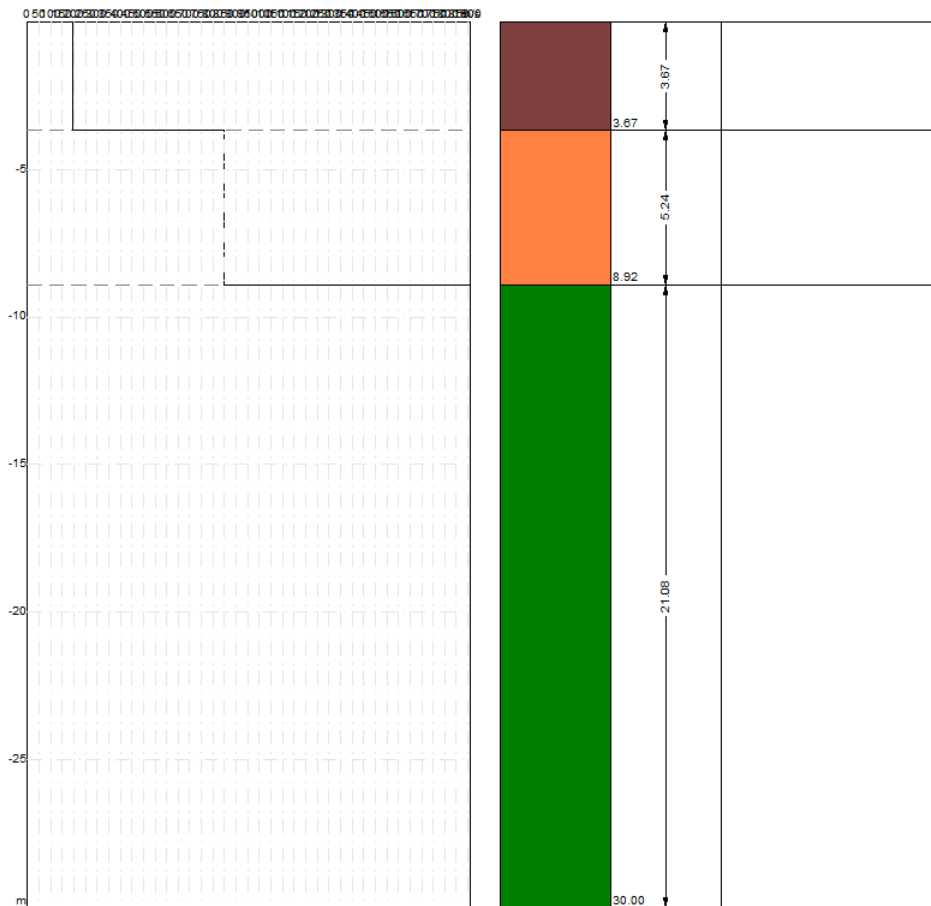
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		3.67	3.67	1850.0	0.4	No	442.8	194.8
2		8.92	5.24	1950.0	0.4	No	1769.8	850.2
3		∞	∞	2100.0	0.3	No	3572.9	1909.8

Percentuale di errore

0.082 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.034



## Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs30 [m/sec]	831.86
Categoria del suolo	A

Suolo di tipo A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs,30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con uno spessore massimo pari a 3m

## Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	3.67	3.67	194.82	442.83	1800.00	0.38	68.32	352.98	261.89	188.56	N/A	666.51
2	8.92	5.24	850.18	1769.79	1900.00	0.35	1373.33	5951.09	4119.99	3707.99	N/A	N/A
3	oo	oo	1909.80	3572.91	2000.00	0.30	7294.70	25531.44	15805.17	18966.21	0	N/A

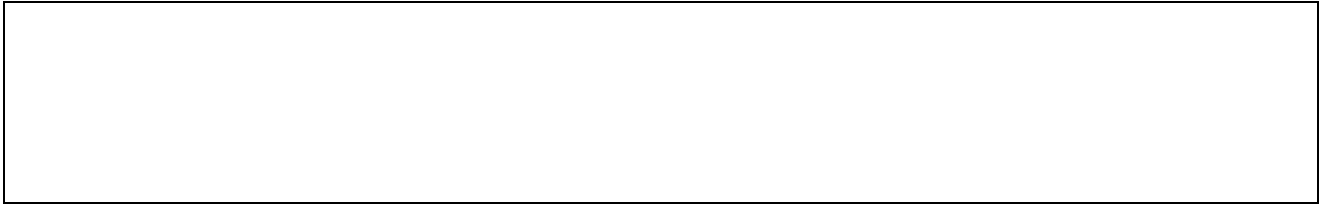
G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;





<b>STUDIO DI GEOLOGIA</b> Geol. Nazario Di Lella C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	<b>Via: Via Ripalta 21/A</b> 71010 Lesina - FG  Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gargano.it Web:
---	--

**PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.**

	<b>Data: febbraio 2024</b>
	<b>Il committente EDISON RINNOVABILI S.P.A.</b>
	<b>IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA</b>
	<b>Il Progettista GEOL. N. DI LELLA</b>
<b>Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione – IR21</b>	

### Easy Refract

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

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

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

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

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

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

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

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

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

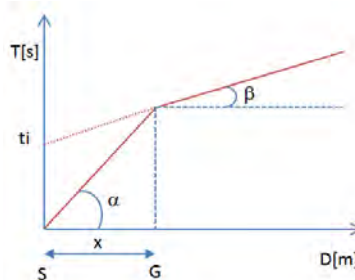
$$T = x_i / V_1$$

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

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

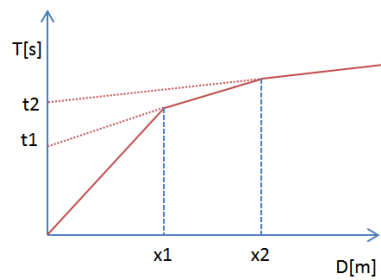
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

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



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

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

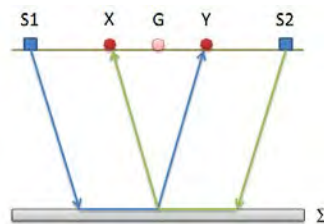


Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

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

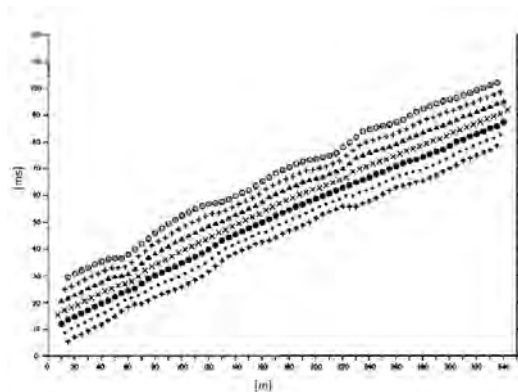
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



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

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

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



dove  $T_{S_1Y}$  e  $T_{S_2X}$  sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre  $T_{S_1S_2}$  è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento.  $T_v$  è

STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711

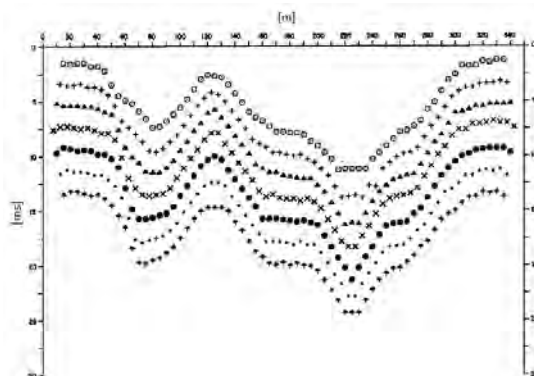
il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

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

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

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

Dove  $V_n$  è la velocità del rifrattore.



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

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

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

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

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

#### Dati generali

Descrizione	PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.
Committente	EDISON RINNOVABILI S.P.A.
Zona	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR21
Operatore	Geol. N. Di Lella
Responsabile	Geol. N. Di Lella
Data	11/02/2024
Via	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR21
Latitudine	41.05293[°]
Longitudine	16.13785[°]
Altitudine	525[m]

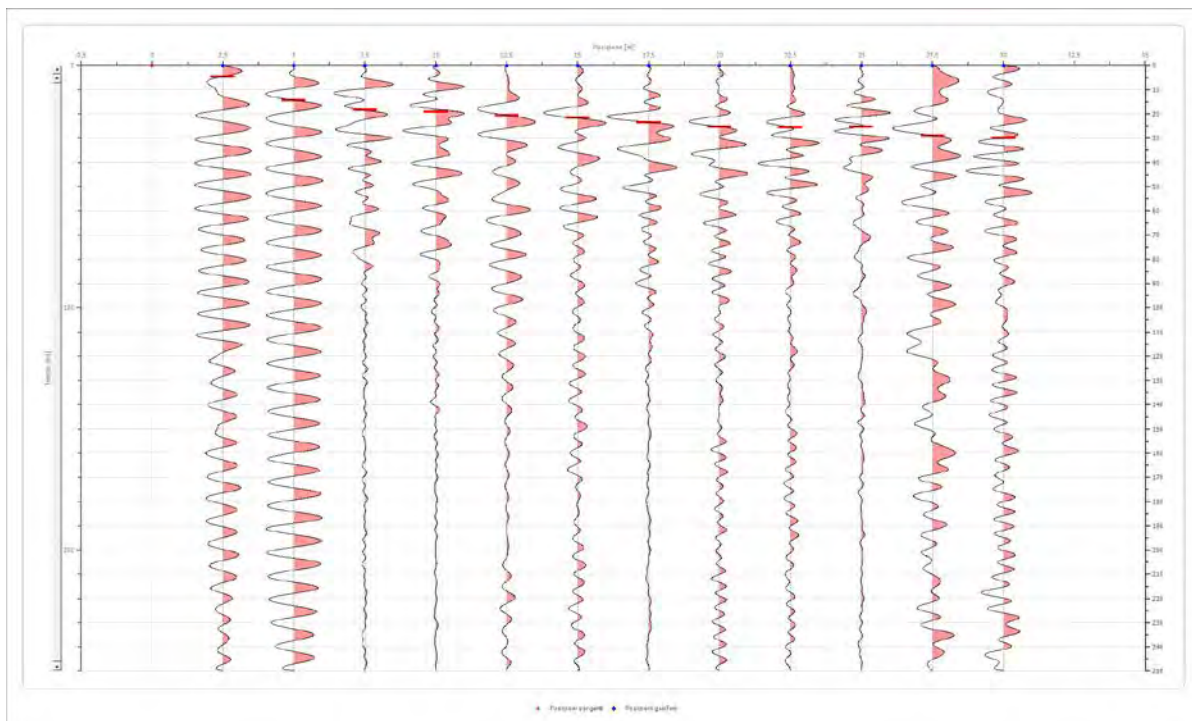
### Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.5	0.0
2	5.0	0.0
3	7.5	0.0
4	10.0	0.0
5	12.5	0.0
6	15.0	0.0
7	17.5	0.0
8	20.0	0.0
9	22.5	0.0
10	25.0	0.0
11	27.5	0.0
12	30.0	0.0

### Dati battute

Battuta 1

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

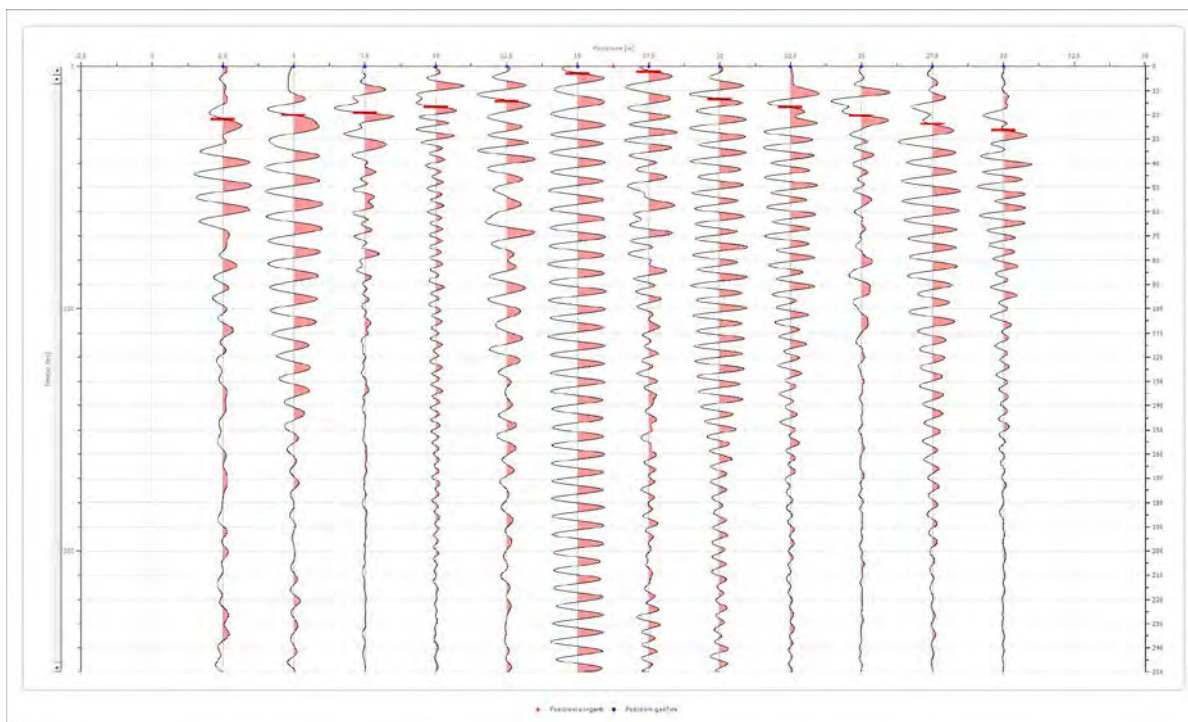


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	4.7170
5.0	14.3992
7.5	18.3714
10.0	19.1162
12.5	20.6058
15.0	21.5988
17.5	23.5849
20.0	25.3227
22.5	25.5710
25.0	25.3227
27.5	29.0467
30.0	30.0397

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

Battuta 2

Posizione sorgente X 16 [m]  
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	21.8471
5.0	20.1092
7.5	19.1162
10.0	16.8818
12.5	14.3992
15.0	2.9791
17.5	2.2344
20.0	13.6544
22.5	16.8818
25.0	20.3575
27.5	23.8332
30.0	26.3158

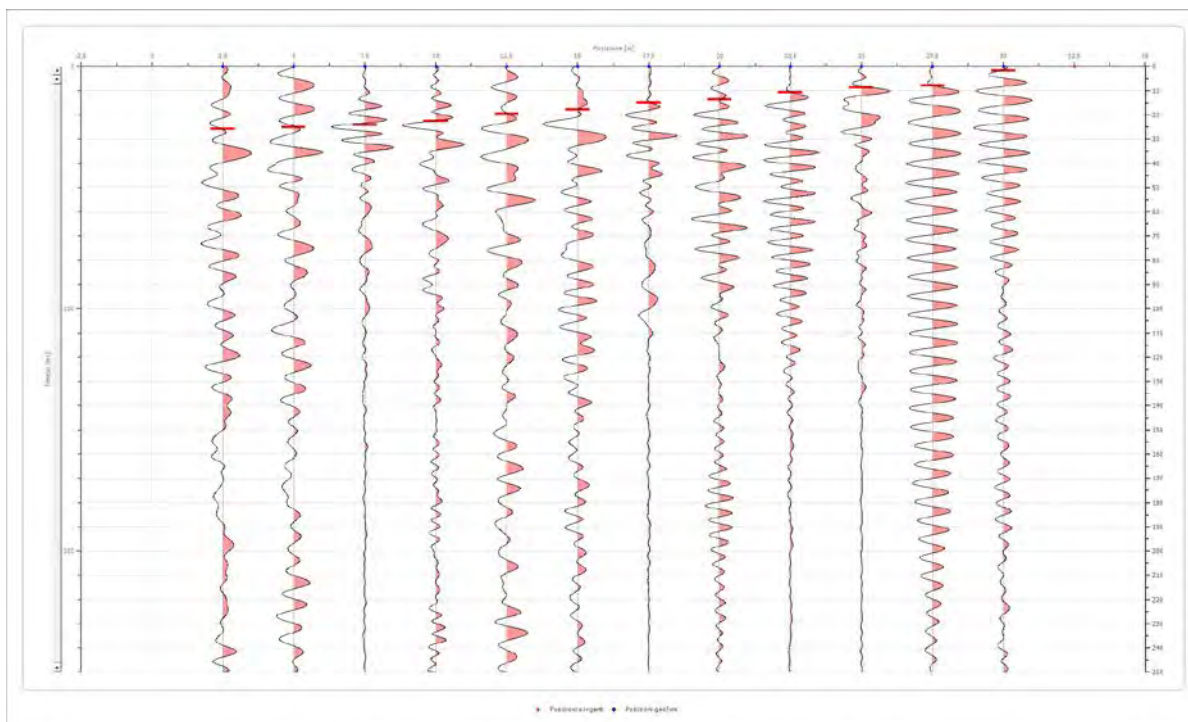
STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822,  
 e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

Battuta 3

Posizione sorgente X 33 [m]  
 Posizione sorgente Z 0 [m]



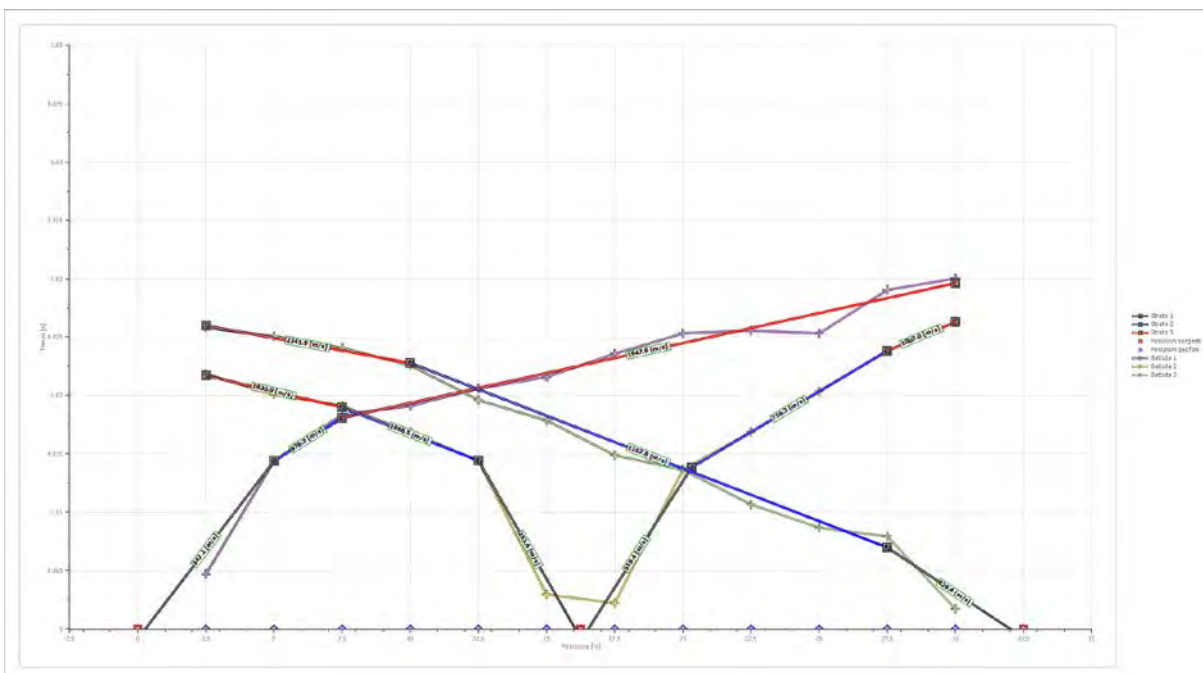
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	25.8193
5.0	25.0745
7.5	24.0814
10.0	22.5919
12.5	19.6127
15.0	17.8749
17.5	14.8957
20.0	13.6544
22.5	10.6753
25.0	8.6892
27.5	7.9444
30.0	1.7378

STUDIO DI GEOLOGIA

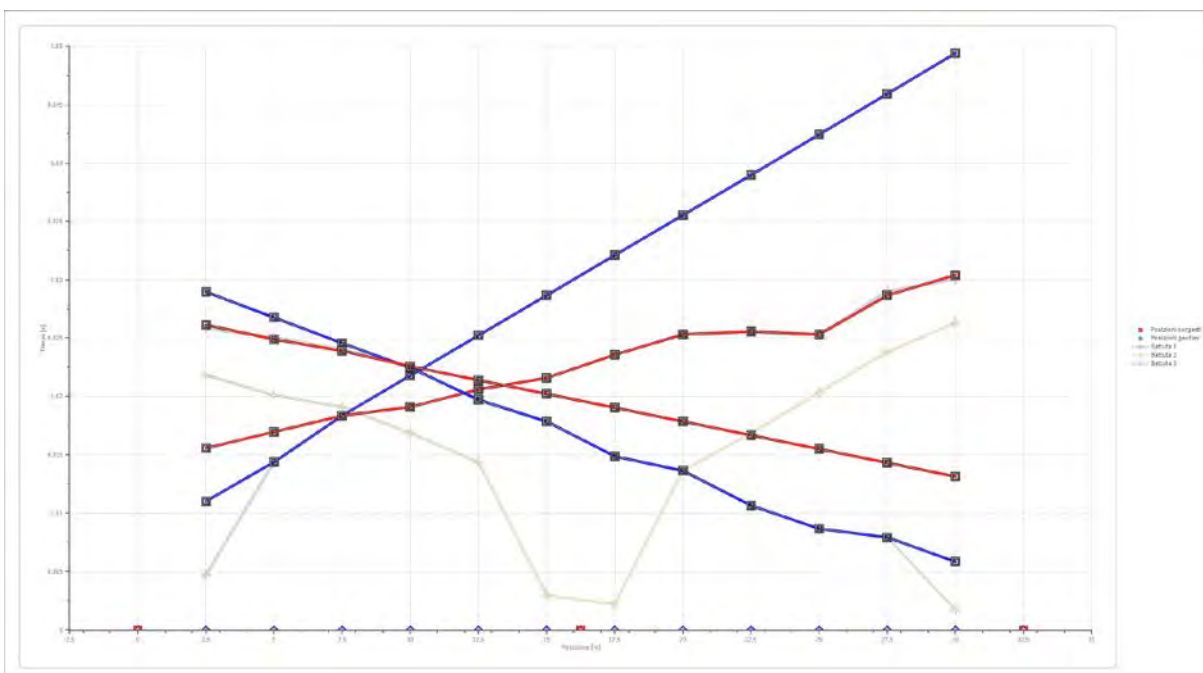
Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822,  
 e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

**Dromocrone**



**Dromocrone traslate**



STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L011054R, P.Iva.02101530711



PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

### Interpretazione col metodo G<sub>r</sub>R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.5 [m]	0.0	6.2	--
G= 5.0 [m]	0.0	6.3	--
G= 7.5 [m]	0.3	6.2	--
G= 10.0 [m]	0.6	5.5	--
G= 12.5 [m]	0.8	5.4	--
G= 15.0 [m]	1.2	4.9	--
G= 17.5 [m]	1.3	5.1	--
G= 20.0 [m]	1.9	4.8	--
G= 22.5 [m]	2.0	4.2	--
G= 25.0 [m]	2.4	3.0	--
G= 27.5 [m]	3.1	3.3	--
G= 30.0 [m]	3.5	3.5	--
Velocità [m/sec]	447.4	888.3	2032.7
Descrizione			

### Altri parametri geotecnici

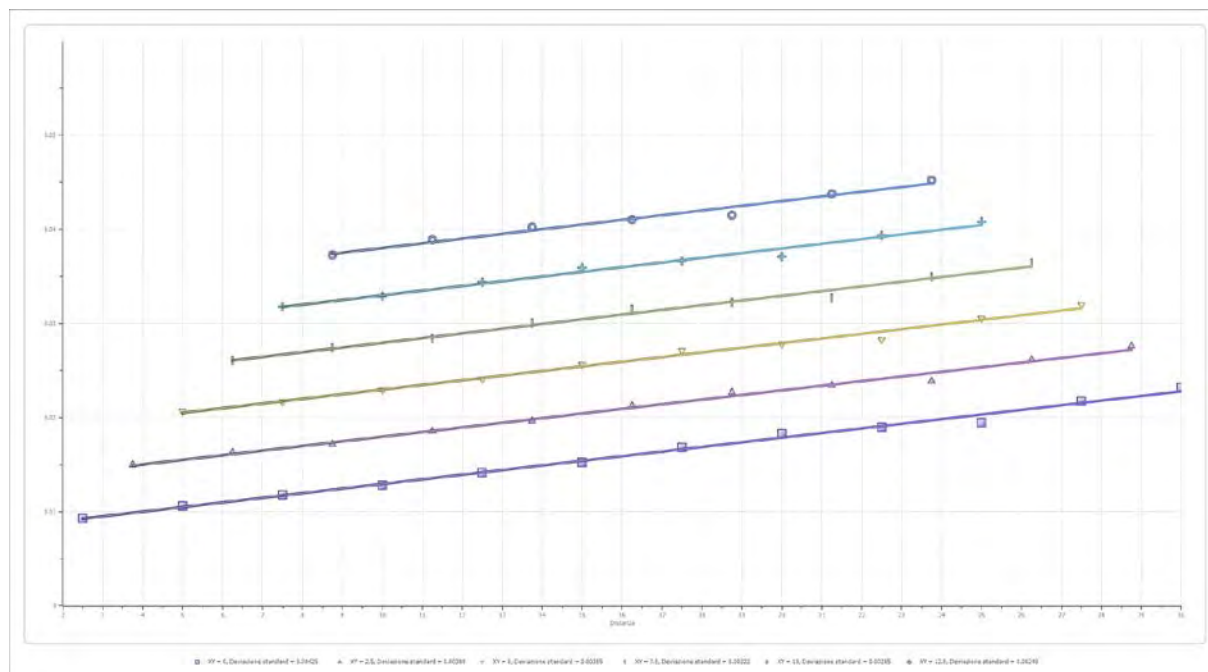
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.38	0.35	0.30
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	1900.00	2000.00
V <sub>p</sub> [m/s]	447.41	888.30	2032.70
V <sub>s</sub> [m/s]	196.83	426.73	1086.52
G <sub>0</sub> [MPa]	69.74	345.98	2361.06
Ed [Mpa]	360.31	1499.26	8263.72
M <sub>0</sub> [MPa]	290.57	1153.28	5902.66
E <sub>y</sub> [Mpa]	192.48	934.16	6138.76

G<sub>0</sub>: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M<sub>0</sub>: Modulo di compressibilità volumetrica;

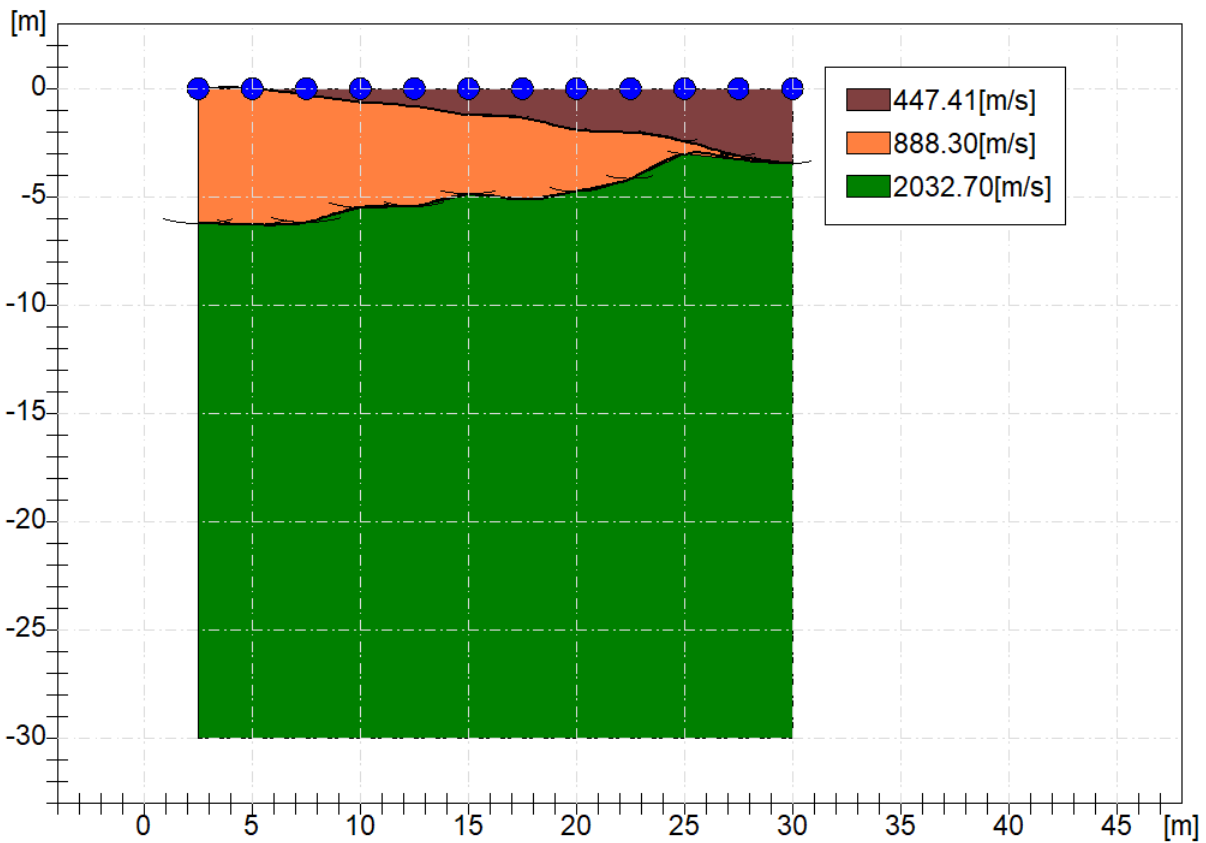
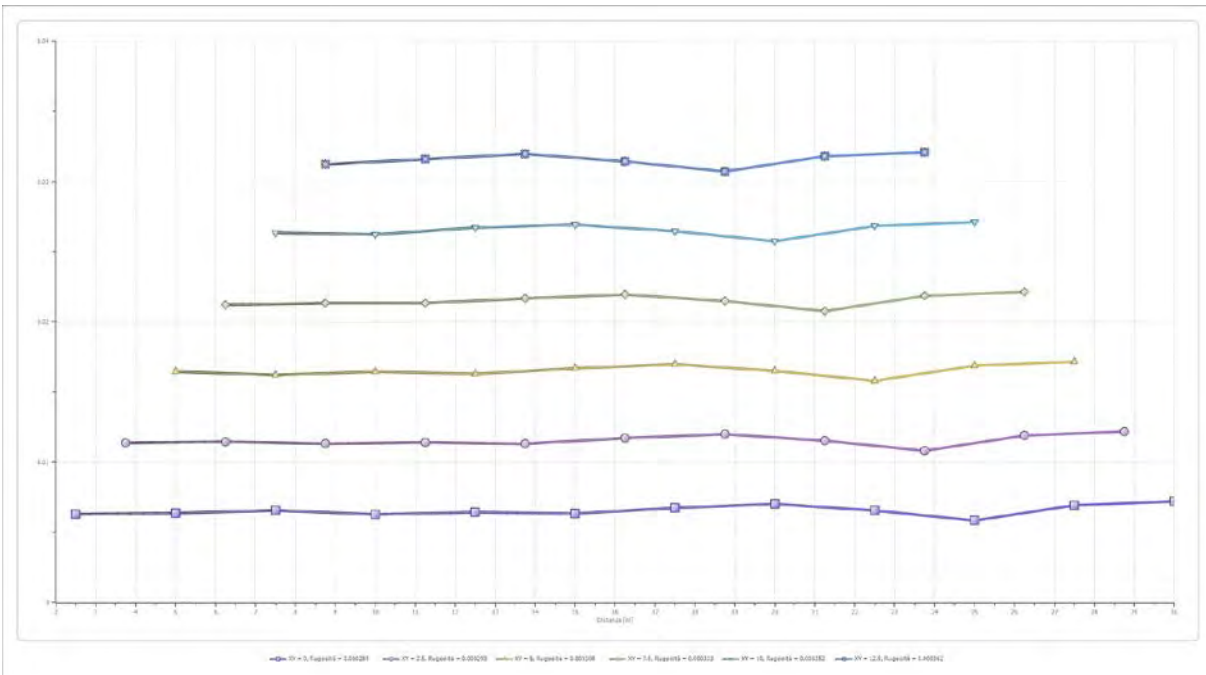
E<sub>y</sub>: Modulo di Young;



STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01054R, P.Iva.02101530711

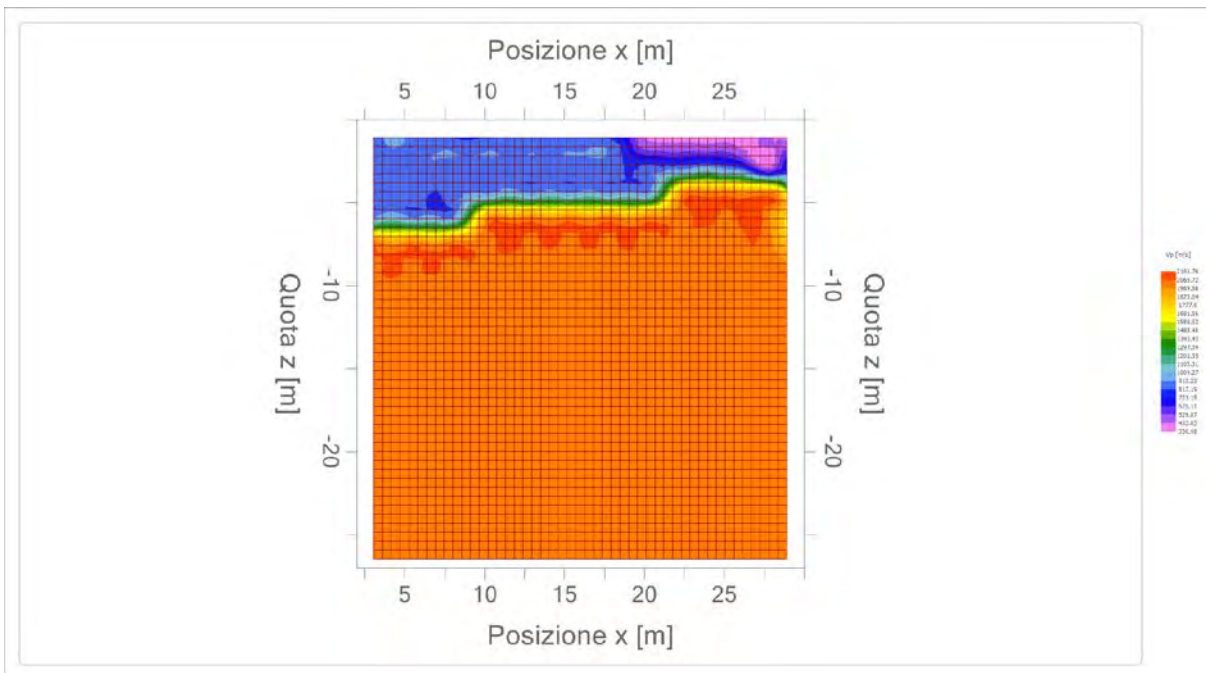
PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.



STUDIO DI GEOLOGIA

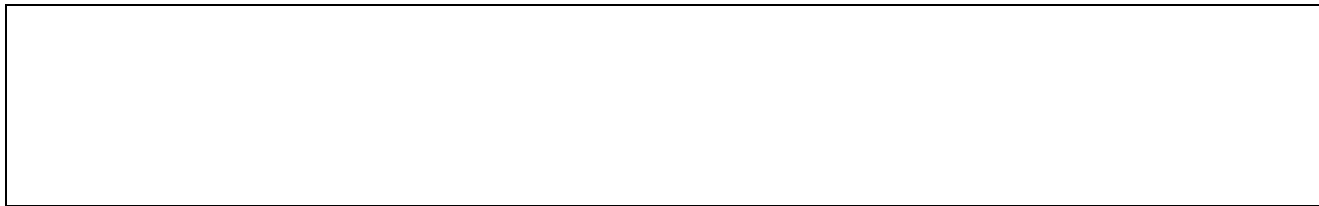
Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L011054R, P.Iva.02101530711

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.




STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822,  
e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711



<b>STUDIO DI GEOLOGIA</b> Geol. Nazario Di Lella C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	<b>Via: Via Ripalta 21/A</b> 71010 Lesina - FG  Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gargano.it Web:
---	--

**PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.**

	<b>Data: febbraio 2024</b>
	<b>Il committente EDISON RINNOVABILI S.P.A.</b>
	<b>IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA</b>
	<b>Il Progettista GEOL. N. DI LELLA</b>
<b>Indagine geofisica tramite tecnica MASW – IR21</b>	

## Easy MASW

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

### Moto del segnale sismico

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

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

### Onde di Rayleigh – “R”

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

### Analisi del segnale con tecnica MASW

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

### Modellizzazione

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

$$v = \lambda \times v$$

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

### Modi di vibrazione

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

### Profondità di indagine

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

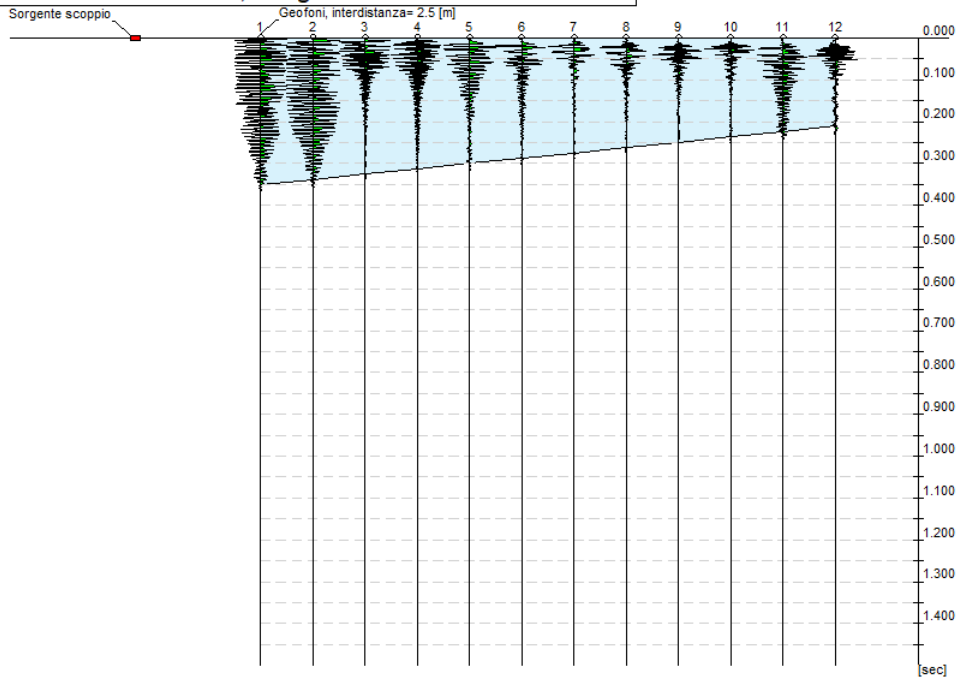
### Dati generali

<b>Committente</b>	EDISON RINNOVABILI S.P.A.
<b>Cantiere</b>	MINERVINO MURGE
<b>Località</b>	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR21
<b>Operatore</b>	Geol. N. Di Lella
<b>Responsabile</b>	Geol. N. Di Lella
<b>Zona</b>	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR21
<b>Data</b>	11/02/2024 12:00
<b>Latitudine</b>	41.0529
<b>Longitudine</b>	16.1379

## Tracce

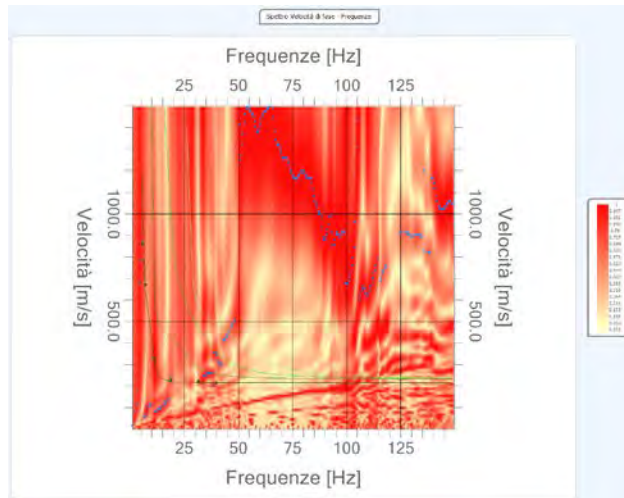
N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1500.0
Interdistanza geofoni [m]	2.5
Periodo di campionamento [msec]	1.00

Committente: EDISON RINNOVABILI S.P.A.  
Cantiere: MINERVINO MURGE  
Località: LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR21  
Operatore: Geol. N. Di Lella  
Responsabile: Geol. N. Di Lella  
Data: 11/02/2024  
Latitudine: 41.0529°, Longitudine: 16.1379°



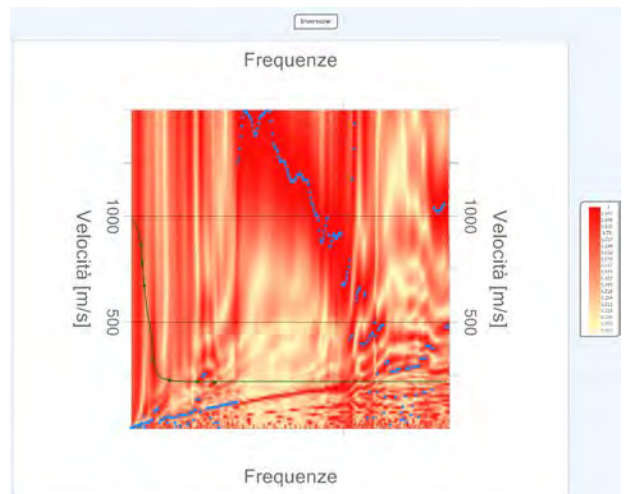
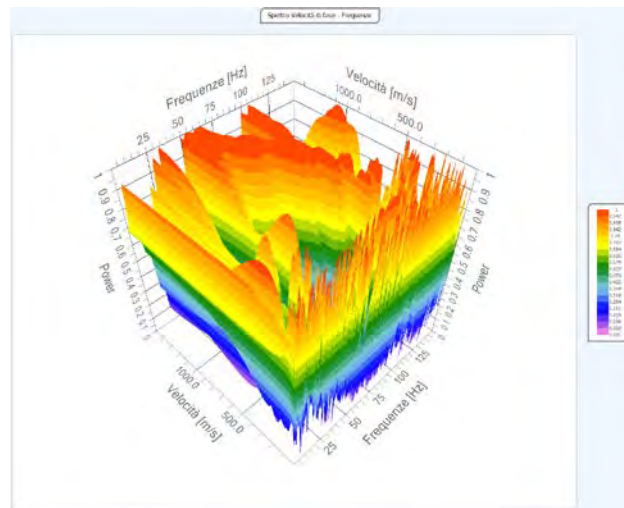
### Analisi spettrale

**Frequenza minima di elaborazione [Hz]** 1  
**Frequenza massima di elaborazione [Hz]** 150  
**Velocità minima di elaborazione [m/sec]** 1  
**Velocità massima di elaborazione [m/sec]** 1500  
**Intervallo velocità [m/sec]** 1



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	5.7	860.4	0
2	6.3	778.8	0
3	7.3	670.1	0
4	11.3	324.6	0
5	19.0	226.7	0
6	31.8	221.3	0
7	40.1	215.9	0



**Inversione**

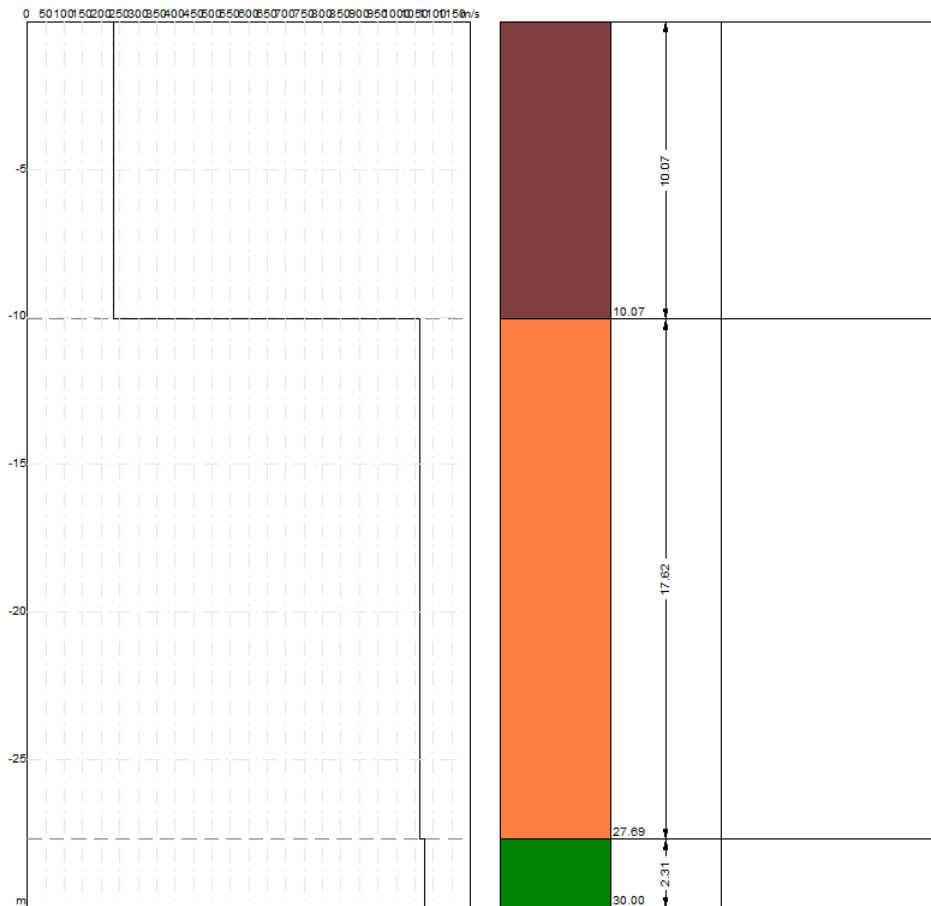
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		10.07	10.07	1850.0	0.4	No	533.1	234.5
2		27.69	17.62	1950.0	0.4	No	2216.1	1064.6
3		oo	oo	2100.0	0.3	No	2011.3	1075.1

Percentuale di errore

0.034 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.017





## Risultati

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs30 [m/sec]</b>	486.61
<b>Categoria del suolo</b>	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

## Altri parametri geotecnici

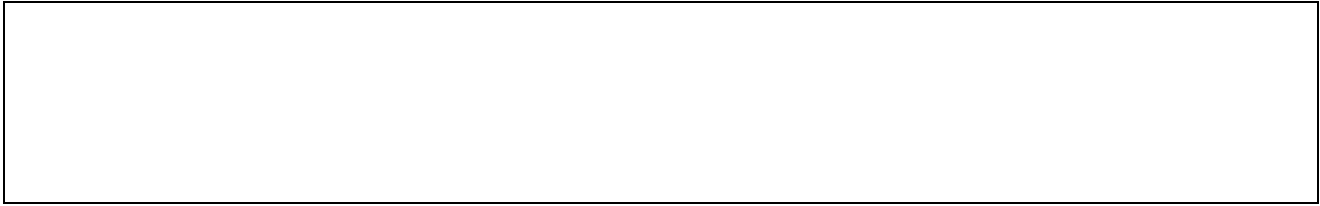
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	10.07	10.07	234.53	533.10	1800.00	0.38	99.01	511.55	379.54	273.27	N/A	1693.15
2	27.69	17.62	1064.56	2216.06	1900.00	0.35	2153.25	9330.74	6459.74	5813.77	N/A	N/A
3	oo	oo	1075.10	2011.33	2000.00	0.30	2311.68	8090.86	5008.63	6010.36	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



<b>STUDIO DI GEOLOGIA</b> Geol. Nazario Di Lella C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	<b>Via: Via Ripalta 21/A</b> 71010 Lesina - FG  <b>Tel: 0882.218822 - 328.3250902</b> <b>Fax: 0882.218822</b> <b>Email: geol.dilella@gargano.it Web:</b>
---	---

**PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.**

	<b>Data: febbraio 2024</b>
	<b>Il committente EDISON RINNOVABILI S.P.A.</b>
	<b>IL Tecnico</b> <b>GEOL. N. DI LELLA</b>
	<b>Il Progettista</b> <b>GEOL. N. DI LELLA</b>
<b>Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione - IR22</b>	

### Easy Refract

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

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

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

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

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

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

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

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

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

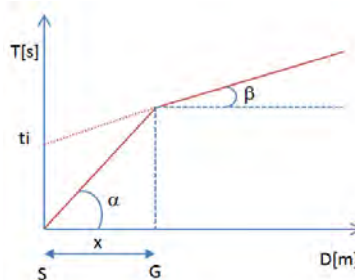
$$T = x_i / V_1$$

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

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

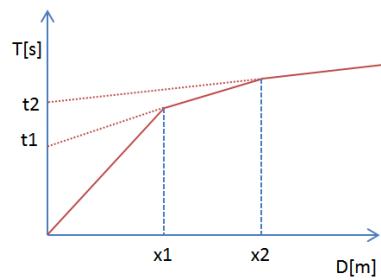
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

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



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

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

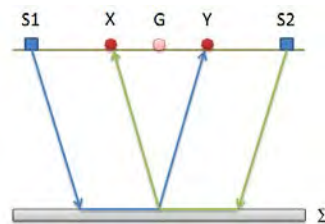


Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

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

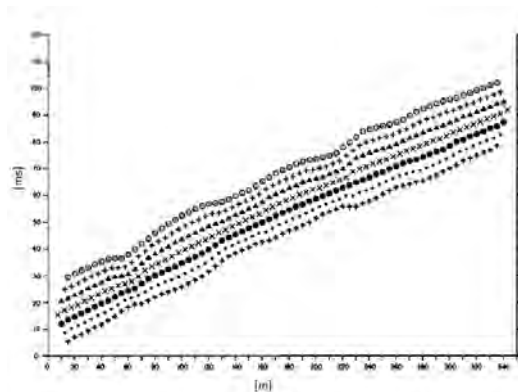
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



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

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

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



dove  $T_{S_1Y}$  e  $T_{S_2X}$  sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre  $T_{S_1S_2}$  è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento.  $T_v$  è

STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711

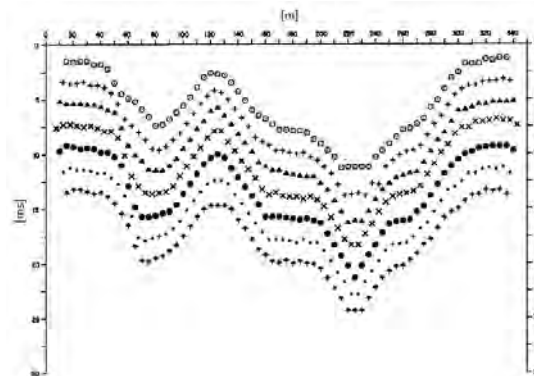
il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

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

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

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

Dove  $V_n$  è la velocità del rifrattore.



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

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

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

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

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

#### Dati generali

Descrizione	PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.
Committente	EDISON RINNOVABILI S.P.A.
Zona	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR22
Operatore	Geol. N. Di Lella
Responsabile	Geol. N. Di Lella
Data	11/02/2024
Via	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR22
Latitudine	41.05368[°]
Longitudine	16.15194[°]
Altitudine	545[m]

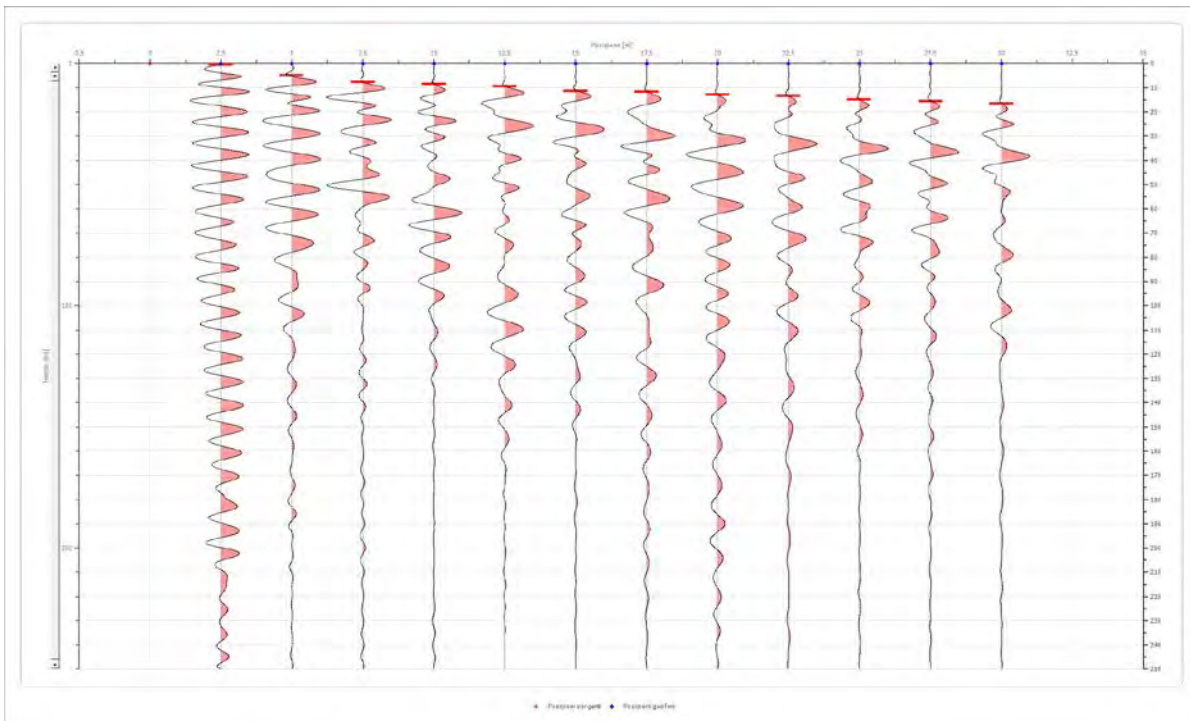
### Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.5	0.0
2	5.0	0.0
3	7.5	0.0
4	10.0	0.0
5	12.5	0.0
6	15.0	0.0
7	17.5	0.0
8	20.0	0.0
9	22.5	0.0
10	25.0	0.0
11	27.5	0.0
12	30.0	0.0

### Dati battute

Battuta 1

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

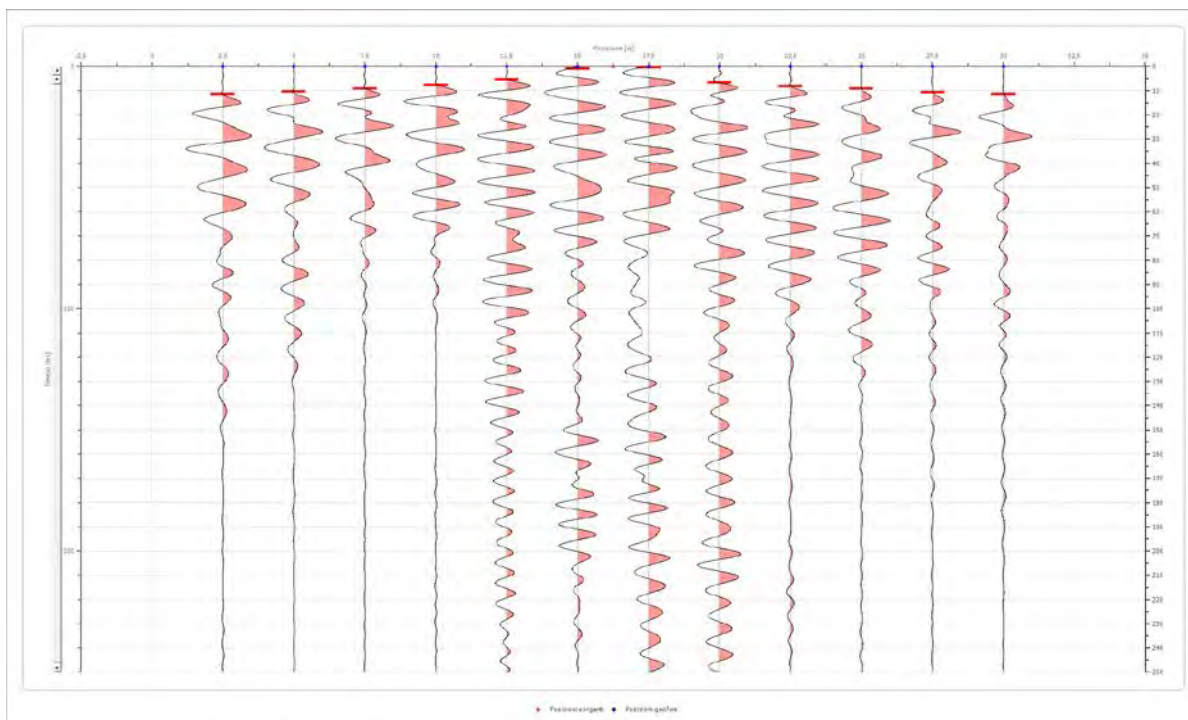


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	0.4965
5.0	4.9652
7.5	7.6961
10.0	8.4409
12.5	9.4340
15.0	11.4201
17.5	11.6683
20.0	12.9096
22.5	13.4062
25.0	14.8957
27.5	15.6405
30.0	16.6336

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

Battuta 2

Posizione sorgente X 16 [m]  
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	11.4201
5.0	10.4270
7.5	9.1857
10.0	7.6961
12.5	5.4618
15.0	0.9930
17.5	0.4965
20.0	6.7031
22.5	8.1927
25.0	9.1857
27.5	10.6753
30.0	11.4201

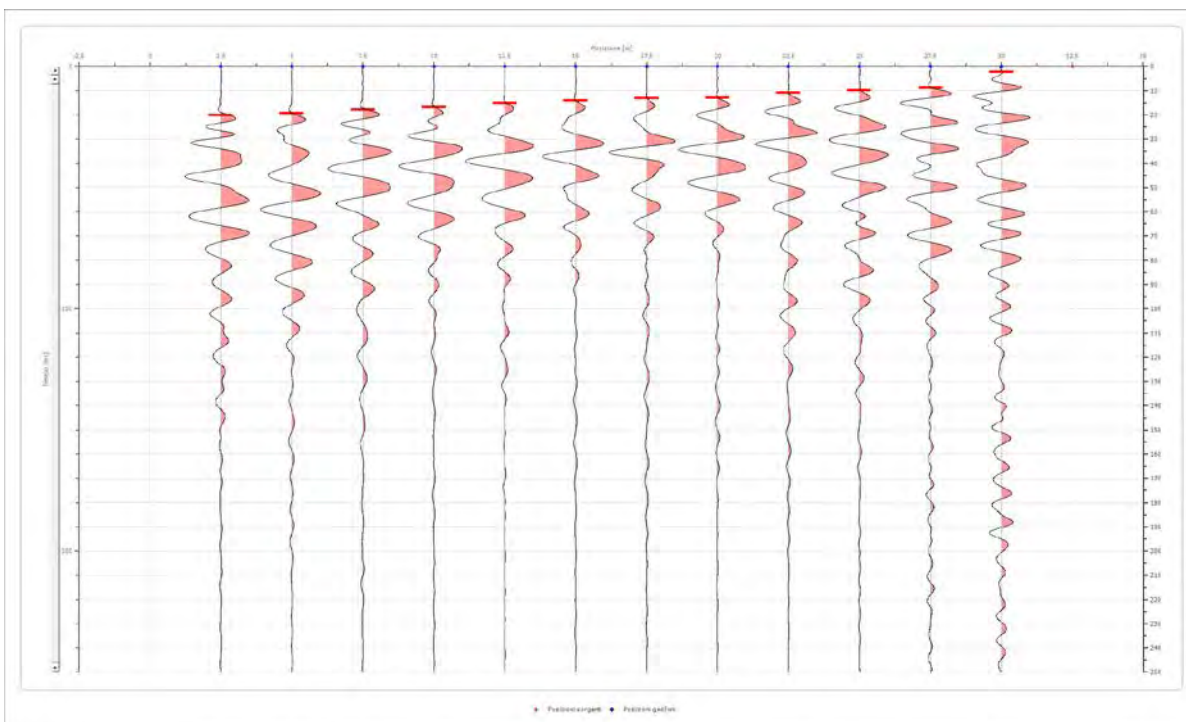
STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

Battuta 3

Posizione sorgente X 33 [m]  
 Posizione sorgente Z 0 [m]



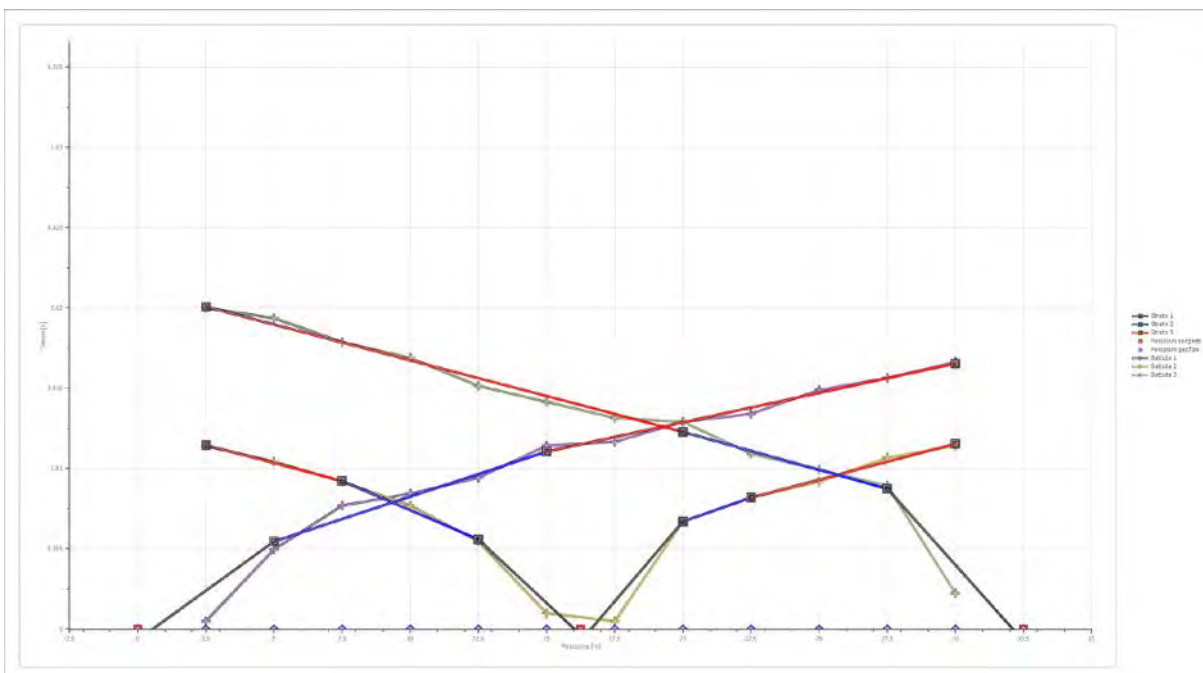
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	20.0000
5.0	19.3644
7.5	17.8749
10.0	16.8818
12.5	15.1440
15.0	14.1509
17.5	13.1579
20.0	12.9096
22.5	10.9235
25.0	9.9305
27.5	8.9374
30.0	2.2344

STUDIO DI GEOLOGIA

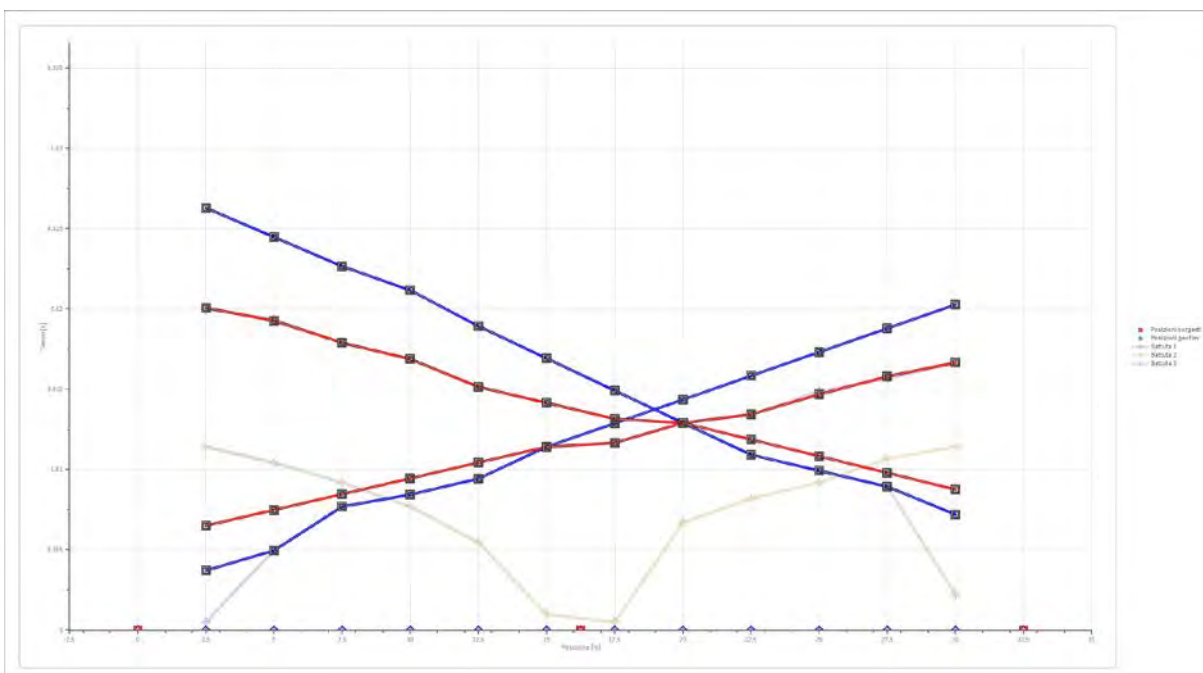
Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711



**Dromocrone**



**Dromocrone traslate**



PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

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

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.5 [m]	2.0	3.6	--
G= 5.0 [m]	1.8	4.1	--
G= 7.5 [m]	2.1	3.2	--
G= 10.0 [m]	1.8	3.6	--
G= 12.5 [m]	1.3	3.7	--
G= 15.0 [m]	1.3	3.7	--
G= 17.5 [m]	1.1	3.3	--
G= 20.0 [m]	0.9	4.6	--
G= 22.5 [m]	0.7	4.4	--
G= 25.0 [m]	0.9	4.3	--
G= 27.5 [m]	1.1	4.1	--
G= 30.0 [m]	1.0	4.1	--
Velocità [m/sec]	690.4	1525.6	2602.4
Descrizione			

### Altri parametri geotecnici

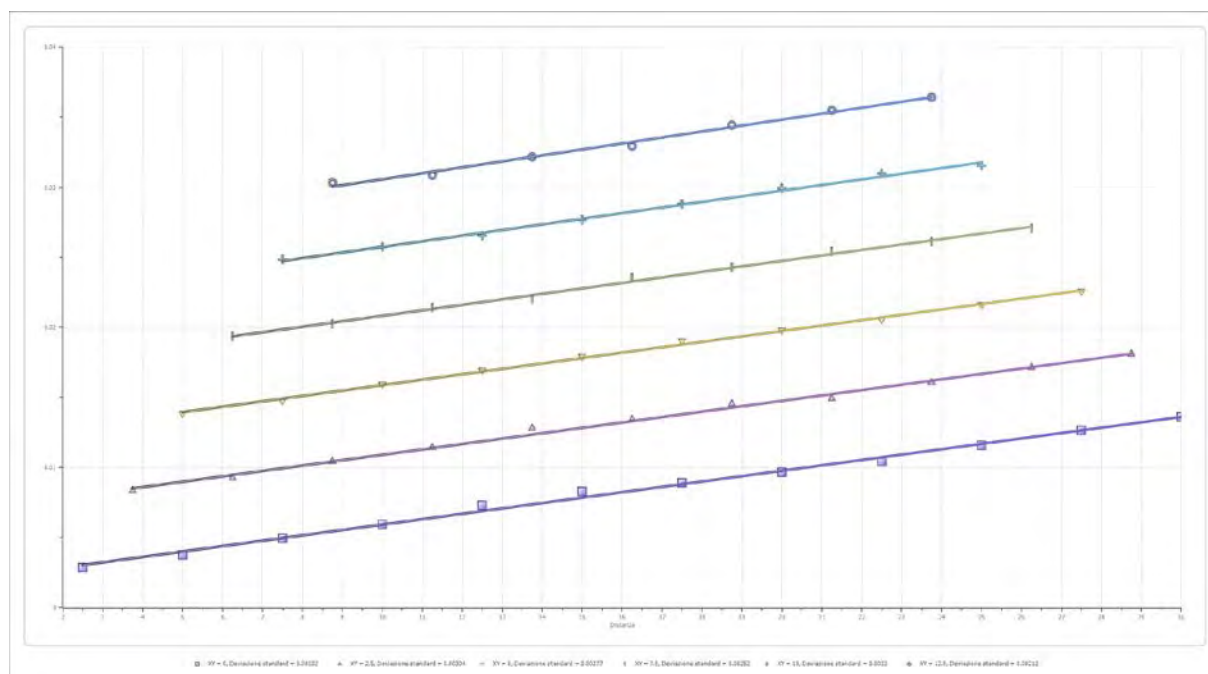
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.38	0.35	0.30
Densità [kg/m³]	1800.00	1900.00	2000.00
Vp [m/s]	690.36	1525.63	2602.44
Vs [m/s]	303.72	732.89	1391.06
G0 [MPa]	166.04	1020.54	3870.12
Ed [Mpa]	857.88	4422.34	13545.43
M0 [MPa]	691.84	3401.80	9675.30
Ey [Mpa]	458.27	2755.46	10062.32

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

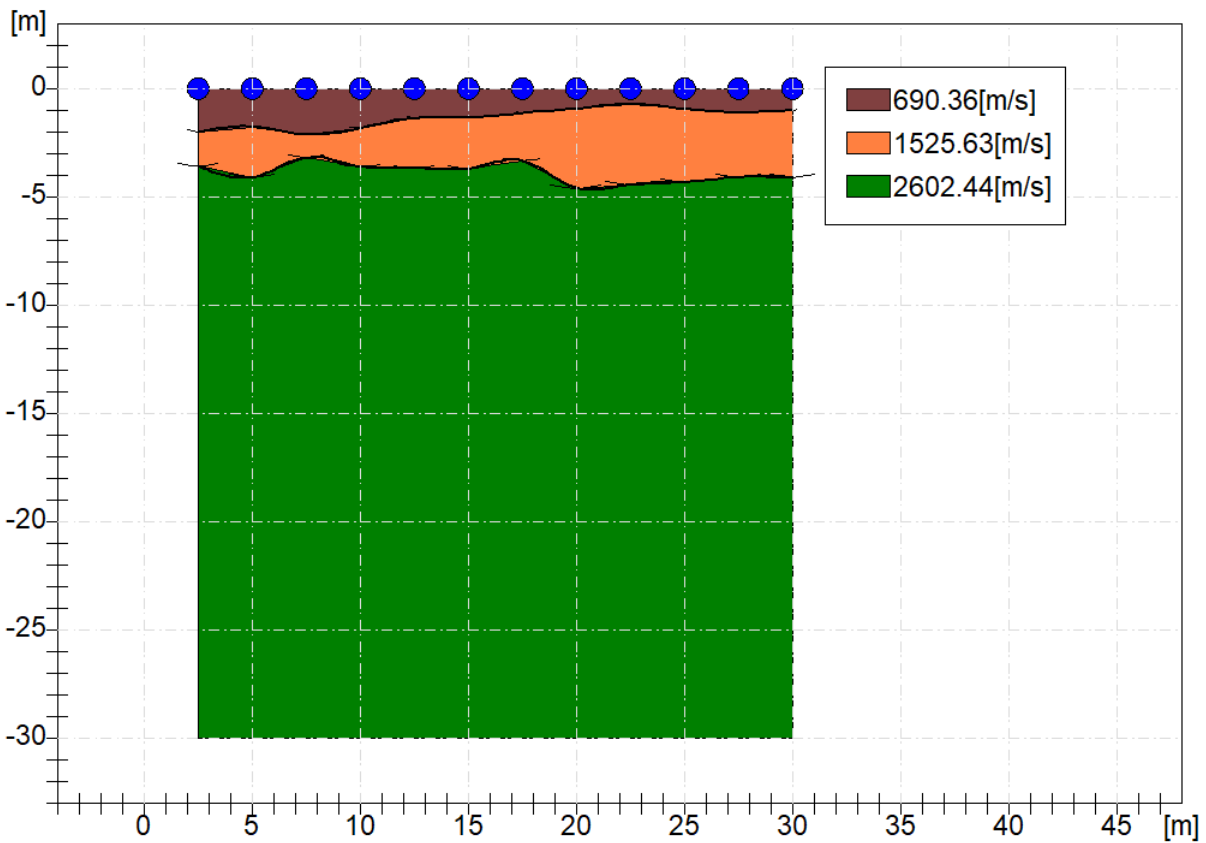
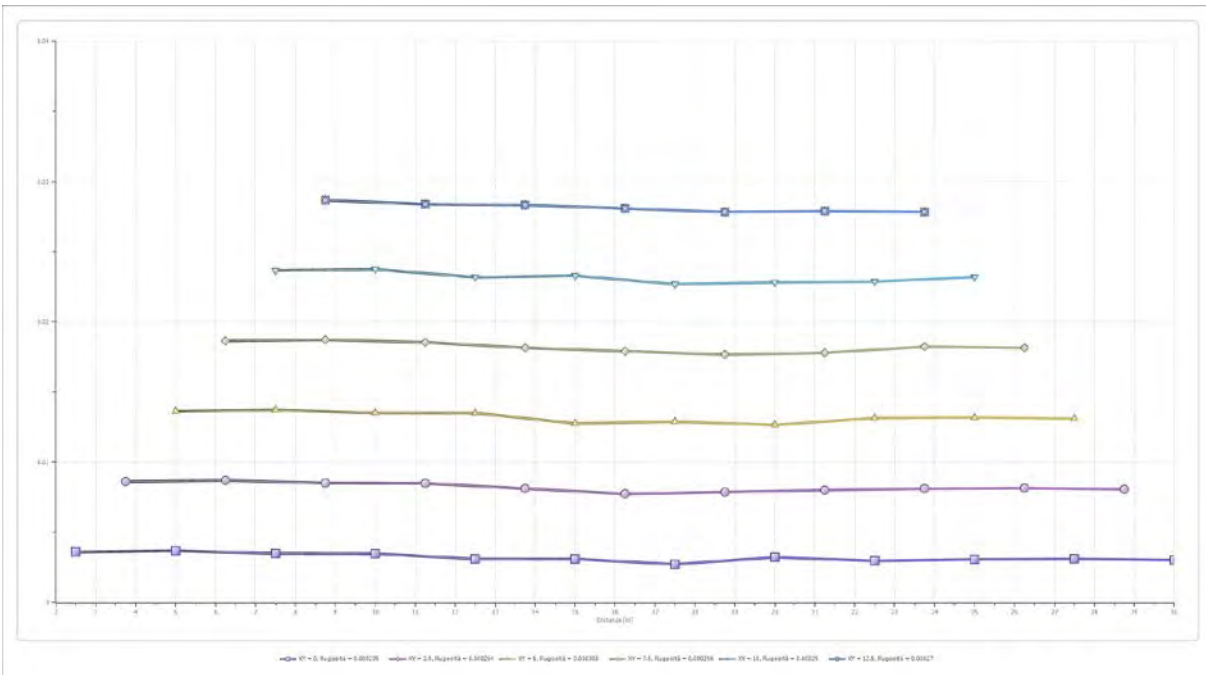
Ey: Modulo di Young;



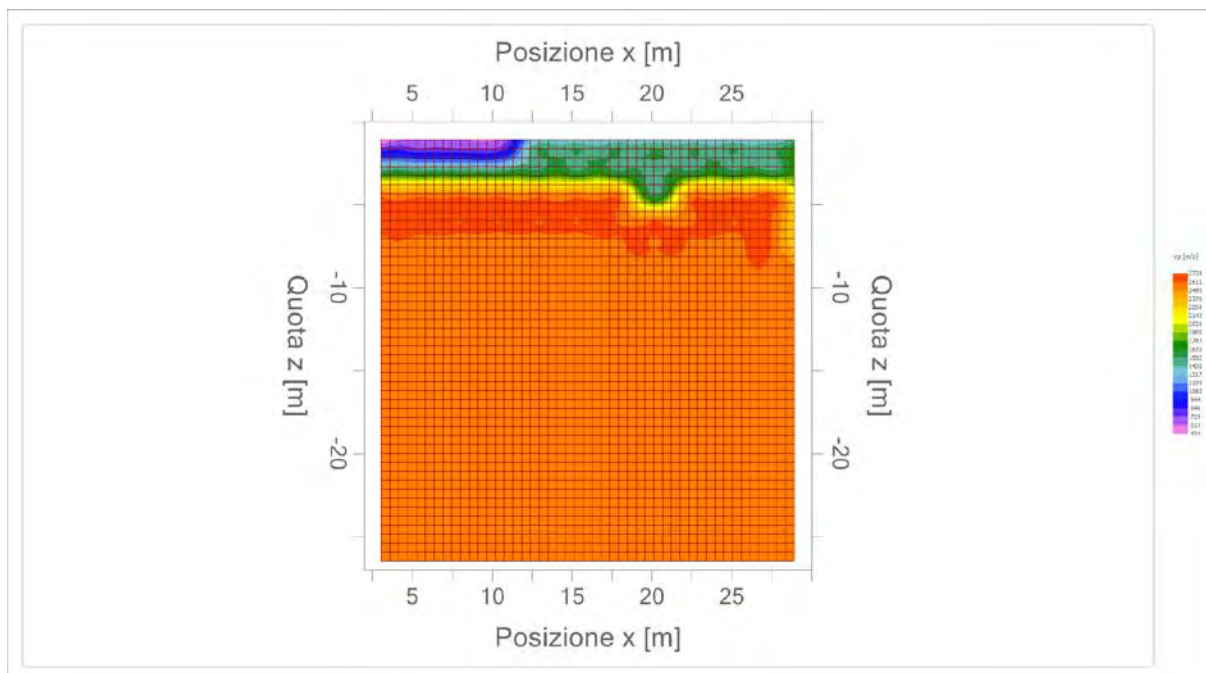
STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

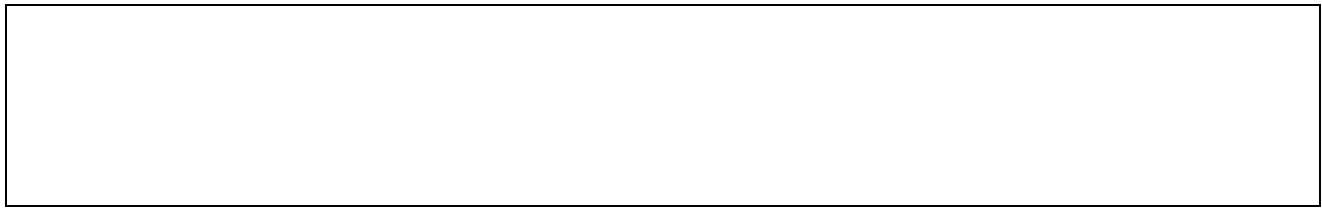


PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.



STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711



<b>STUDIO DI GEOLOGIA</b> Geol. Nazario Di Lella C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: Via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG  Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gargano.it Web:
---	---

**PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.**

	Data: febbraio 2024
	Il committente EDISON RINNOVABILI S.P.A.
	IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
Indagine geofisica tramite tecnica MASW – IR22	

## Easy MASW

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

### Moto del segnale sismico

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

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

### Onde di Rayleigh – “R”

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

### Analisi del segnale con tecnica MASW

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

### Modellizzazione

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

$$v = \lambda \times v$$

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

### Modi di vibrazione

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

### Profondità di indagine

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

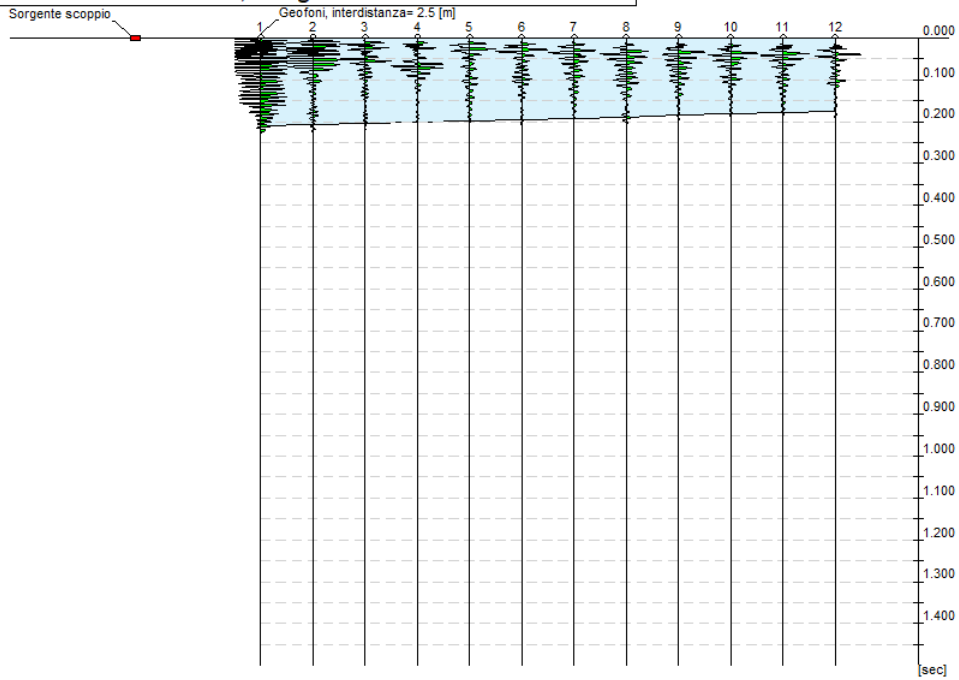
### Dati generali

<b>Committente</b>	EDISON RINNOVABILI S.P.A.
<b>Cantiere</b>	MINERVINO MURGE
<b>Località</b>	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR22
<b>Operatore</b>	Geol. N. Di Lella
<b>Responsabile</b>	Geol. N. Di Lella
<b>Zona</b>	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR22
<b>Data</b>	11/02/2024 12:00
<b>Latitudine</b>	41.0537
<b>Longitudine</b>	16.1519

## Tracce

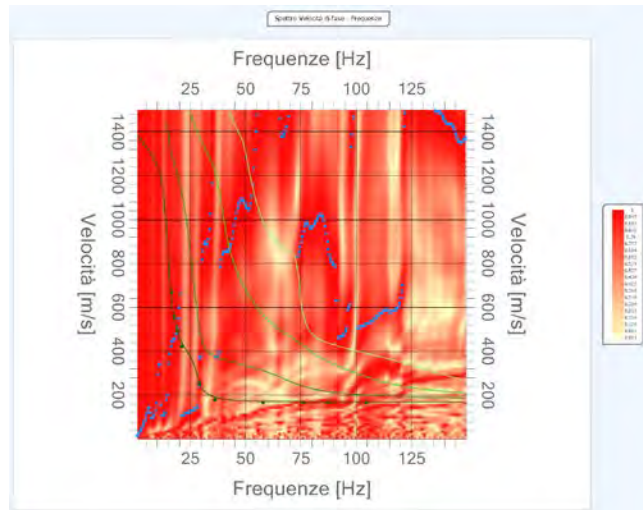
N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1500.0
Interdistanza geofoni [m]	2.5
Periodo di campionamento [msec]	1.00

Committente: EDISON RINNOVABILI S.P.A.  
Cantiere: MINERVINO MURGE  
Località: LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR22  
Operatore: Geol. N. Di Lella  
Responsabile: Geol. N. Di Lella  
Data: 11/02/2024  
Latitudine: 41.0537°, Longitudine: 16.1519°



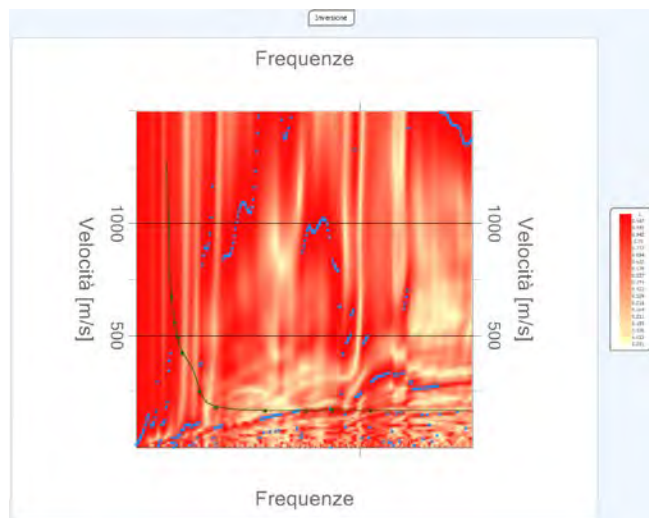
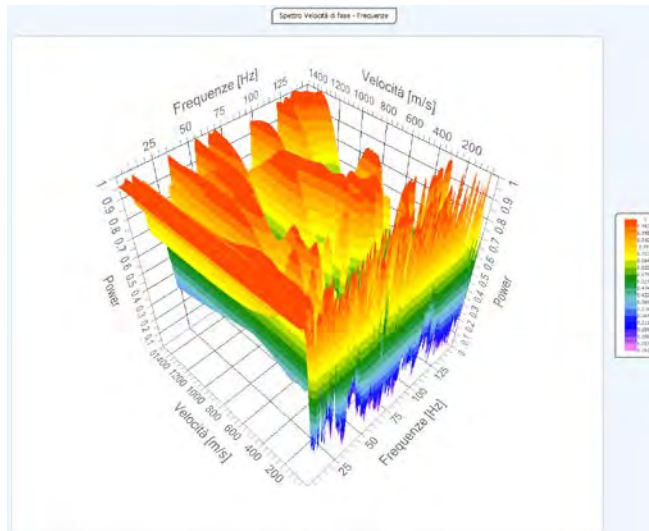
### Analisi spettrale

**Frequenza minima di elaborazione [Hz]** 1  
**Frequenza massima di elaborazione [Hz]** 150  
**Velocità minima di elaborazione [m/sec]** 1  
**Velocità massima di elaborazione [m/sec]** 1500  
**Intervallo velocità [m/sec]** 1



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	16.6	667.9	0
2	18.0	555.7	0
3	19.4	490.5	0
4	21.2	421.1	0
5	28.9	251.9	0
6	36.2	178.4	0
7	57.9	166.2	0
8	76.1	166.2	0
9	87.8	168.2	0
10	104.8	166.2	0





**Inversione**

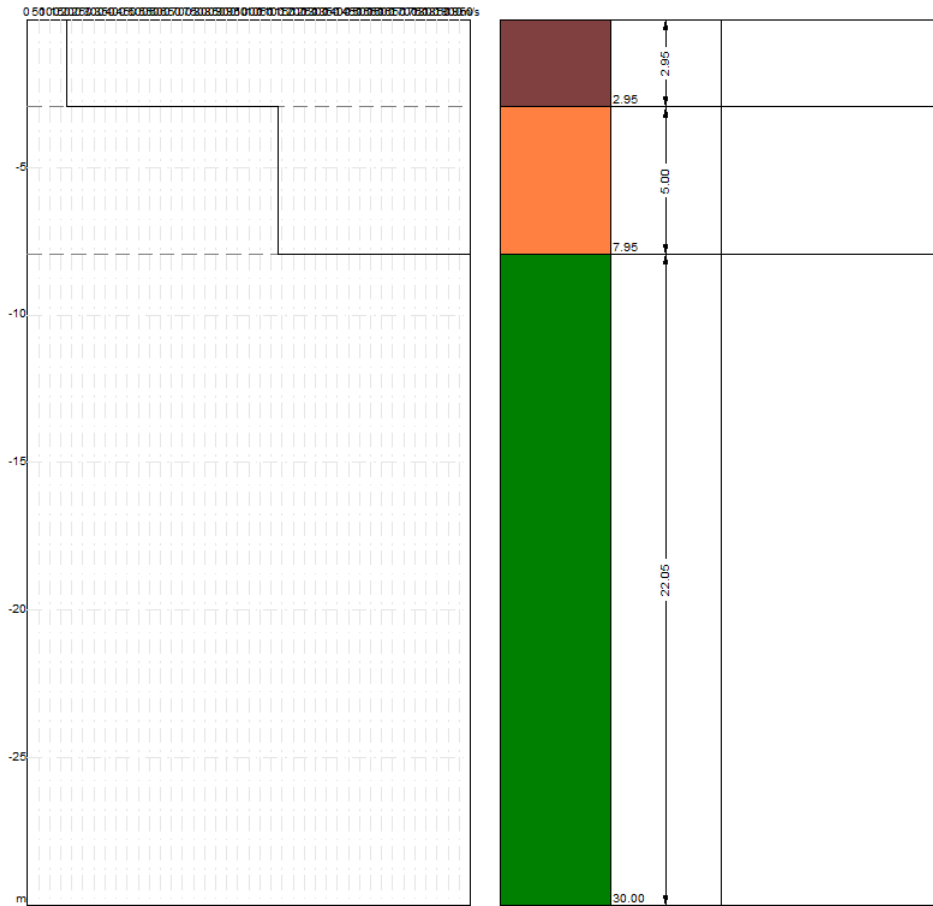
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		2.95	2.95	1850.0	0.4	No	399.2	175.6
2		7.95	5.00	1950.0	0.4	No	2358.9	1133.2
3		∞	∞	2100.0	0.3	No	3741.7	2000.0

Percentuale di errore

0.055 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.021



## Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs30 [m/sec]	930.89
Categoria del suolo	A

Suolo di tipo A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs,30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con uno spessore massimo pari a 3m

## Altri parametri geotecnici

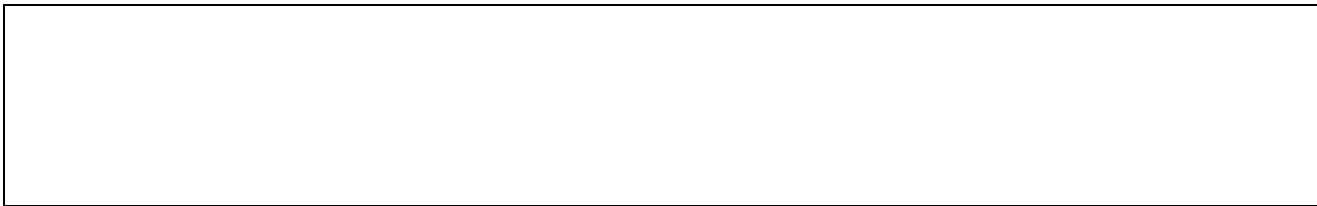
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	2.95	2.95	175.61	399.16	1800.00	0.38	55.51	286.79	212.78	153.20	N/A	395.55
2	7.95	5.00	1133.20	2358.94	1900.00	0.35	2439.87	10572.75	7319.60	6587.64	N/A	N/A
3	oo	oo	2000.00	3741.66	2000.00	0.30	8000.00	28000.00	17333.33	20800.00	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



<b>STUDIO DI GEOLOGIA</b> Geol. Nazario Di Lella C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: Via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG  Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gargano.it Web:
---	---

**PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.**

	Data: febbraio 2024
	Il committente EDISON RINNOVABILI S.P.A.
	Il Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
<b>Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione - SSE</b>	

### Easy Refract

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

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

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

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

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

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

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

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

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

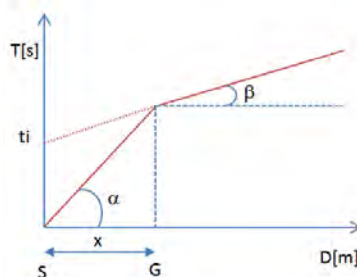
$$T = x_i / V_1$$

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

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

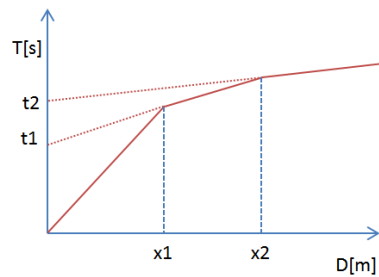
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

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



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

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

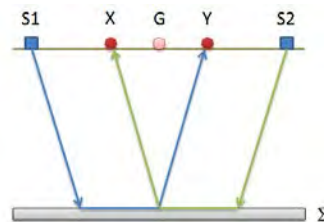


Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

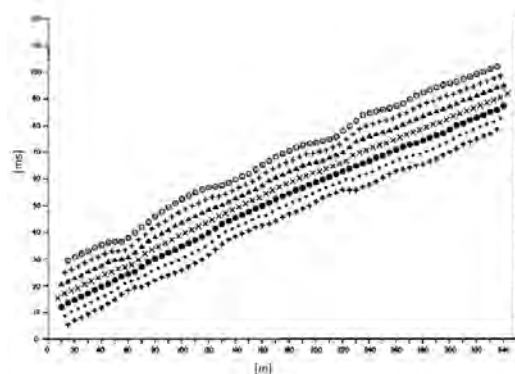
In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

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



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

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



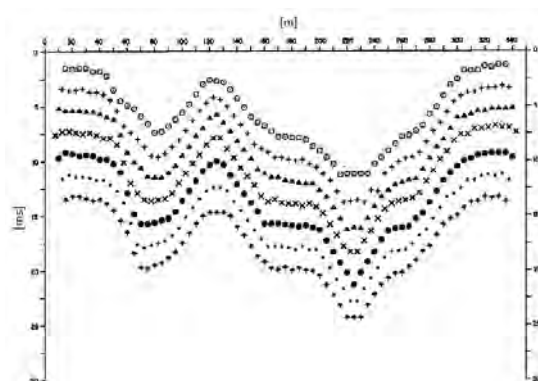
dove  $T_{S_1Y}$  e  $T_{S_2X}$  sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre  $T_{S_1S_2}$  è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento.  $T_V$  è il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

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

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

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

Dove  $V_n$  è la velocità del rifrattore.



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

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

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

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

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

#### Dati generali

Descrizione	PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.
Committente	EDISON RINNOVABILI S.P.A.
Zona	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - SSE
Operatore	Geol. N. Di Lella
Responsabile	Geol. N. Di Lella
Data	11/02/2024
Via	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - SSE
Latitudine	41.00882[°]
Longitudine	16.1778[°]
Altitudine	609[m]

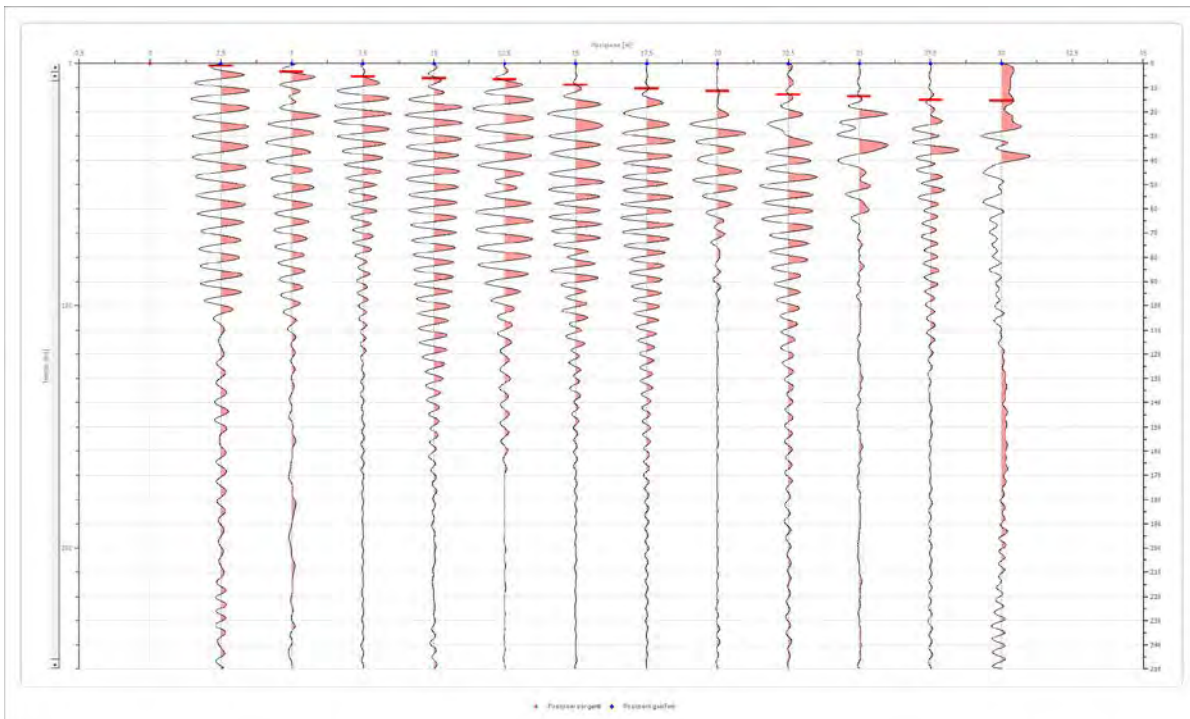
### Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.5	0.0
2	5.0	0.0
3	7.5	0.0
4	10.0	0.0
5	12.5	0.0
6	15.0	0.0
7	17.5	0.0
8	20.0	0.0
9	22.5	0.0
10	25.0	0.0
11	27.5	0.0
12	30.0	0.0

### Dati battute

Battuta 1

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

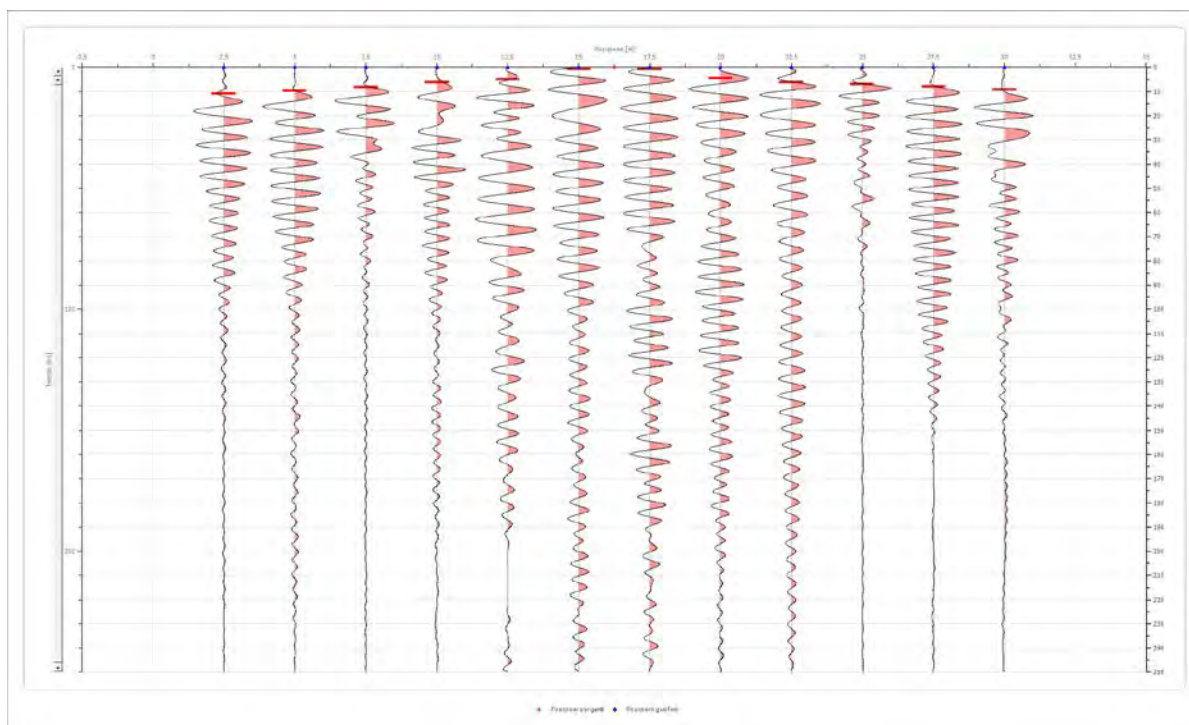


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	0.9930
5.0	3.4757
7.5	5.4618
10.0	6.2066
12.5	6.7031
15.0	8.9374
17.5	10.4270
20.0	11.4201
22.5	12.9096
25.0	13.6544
27.5	15.1440
30.0	15.3923

PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

Battuta 2

Posizione sorgente X 16 [m]  
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	10.9235
5.0	9.6822
7.5	8.1927
10.0	6.2066
12.5	4.9652
15.0	0.7448
17.5	0.7448
20.0	4.4687
22.5	6.2066
25.0	6.9513
27.5	7.9444
30.0	9.1857

STUDIO DI GEOLOGIA

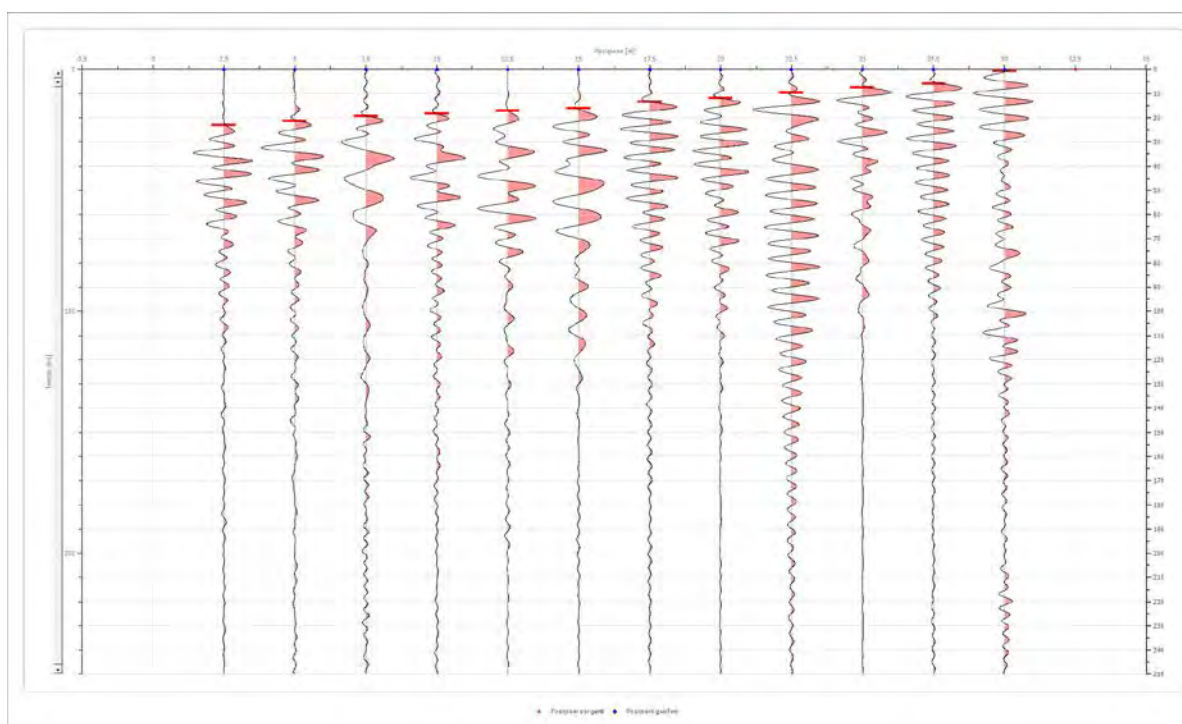
Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711



PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

Battuta 3

Posizione sorgente X 33 [m]  
 Posizione sorgente Z 0 [m]

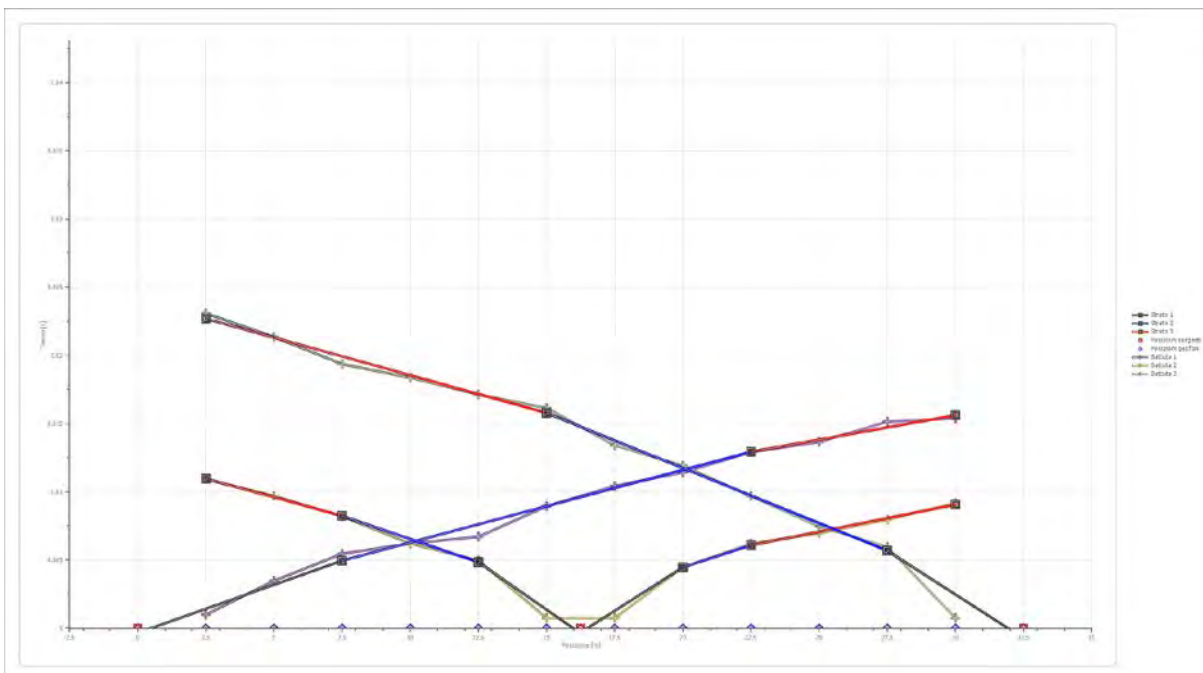


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.5	23.0884
5.0	21.3505
7.5	19.3644
10.0	18.3714
12.5	17.1301
15.0	16.1370
17.5	13.4062
20.0	11.9166
22.5	9.6822
25.0	7.4479
27.5	5.9583
30.0	0.7448

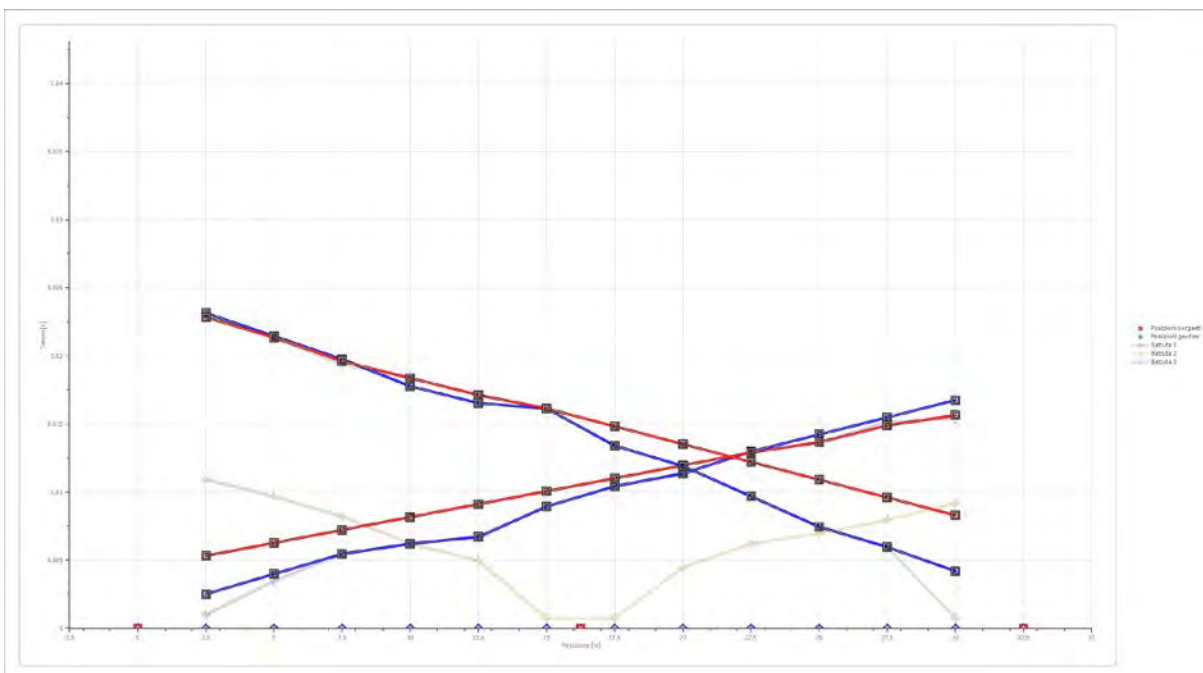
STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711

**Dromocrone**



**Dromocrone traslate**



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

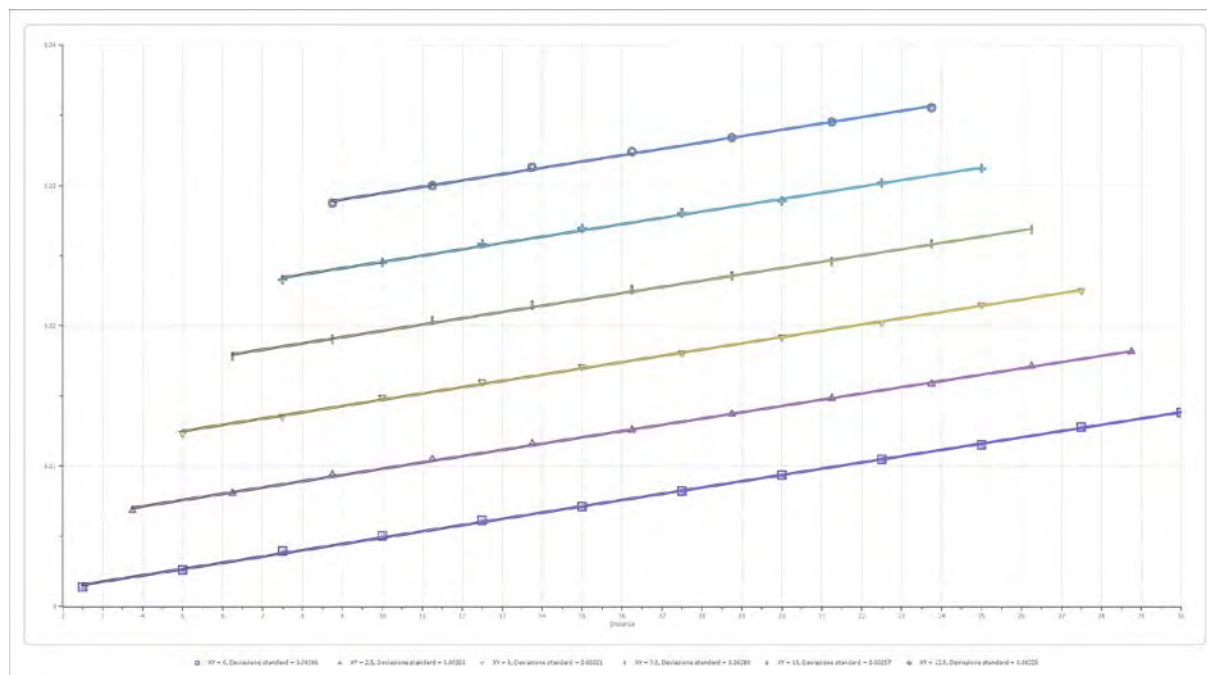
XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.5 [m]	2.2	6.5	--
G= 5.0 [m]	2.1	6.0	--
G= 7.5 [m]	2.0	5.2	--
G= 10.0 [m]	1.3	5.9	--
G= 12.5 [m]	0.9	6.1	--
G= 15.0 [m]	1.9	4.6	--
G= 17.5 [m]	1.2	5.1	--
G= 20.0 [m]	0.9	5.1	--
G= 22.5 [m]	0.6	5.2	--
G= 25.0 [m]	0.0	5.2	--
G= 27.5 [m]	0.0	5.2	--
G= 30.0 [m]	0.0	4.5	--
Velocità [m/sec]	925.3	1658.9	2237.4
Descrizione			

### Altri parametri geotecnici

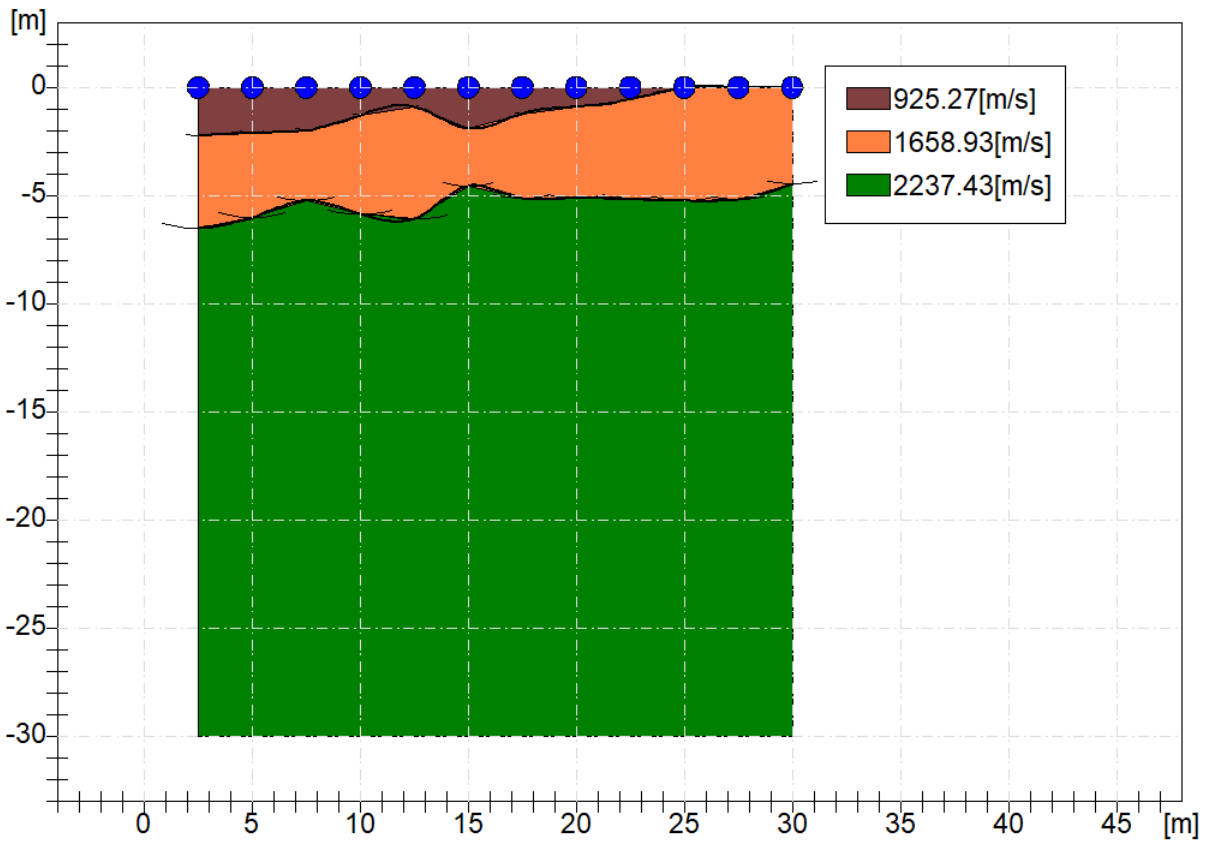
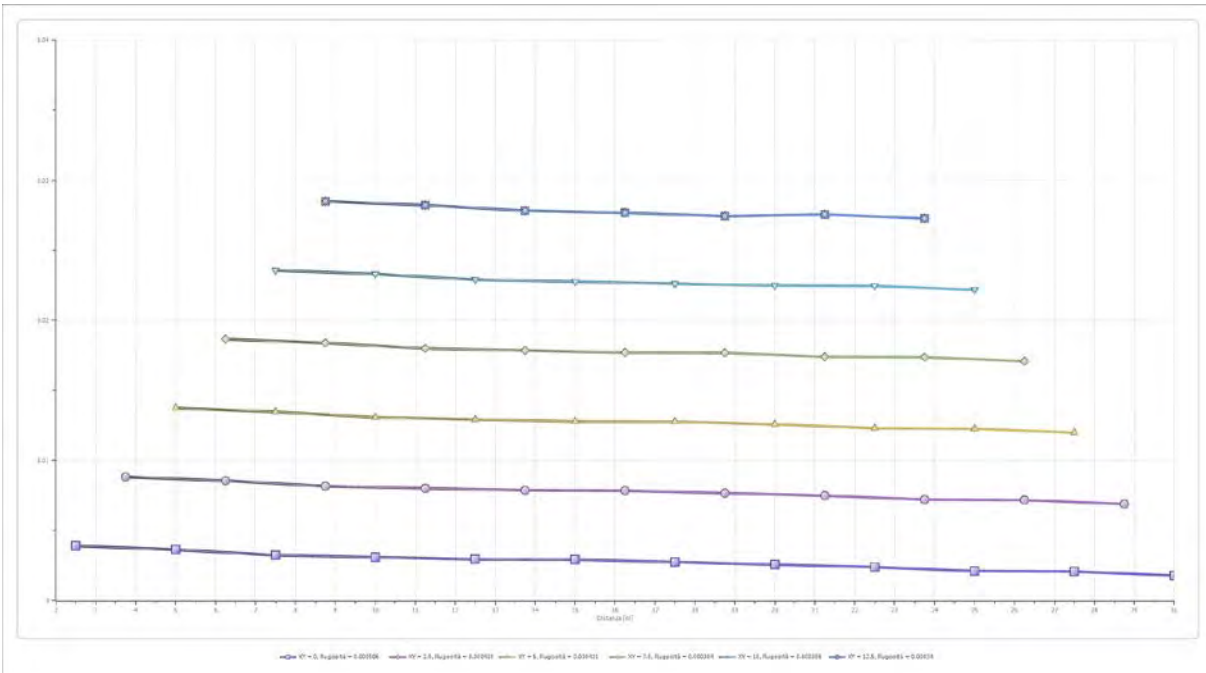
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.38	0.35	0.30
Densità [kg/m³]	1800.00	1900.00	2000.00
Vp [m/s]	925.27	1658.93	2237.43
Vs [m/s]	407.07	796.93	1195.96
G0 [MPa]	298.27	1206.67	2860.63
Ed [Mpa]	1541.04	5228.92	10012.19
M0 [MPa]	1242.77	4022.25	7151.57
Ey [Mpa]	823.21	3258.02	7437.63

G0: Modulo di deformazione al taglio;  
 Ed: Modulo edometrico;  
 M0: Modulo di compressibilità volumetrica;  
 Ey: Modulo di Young;

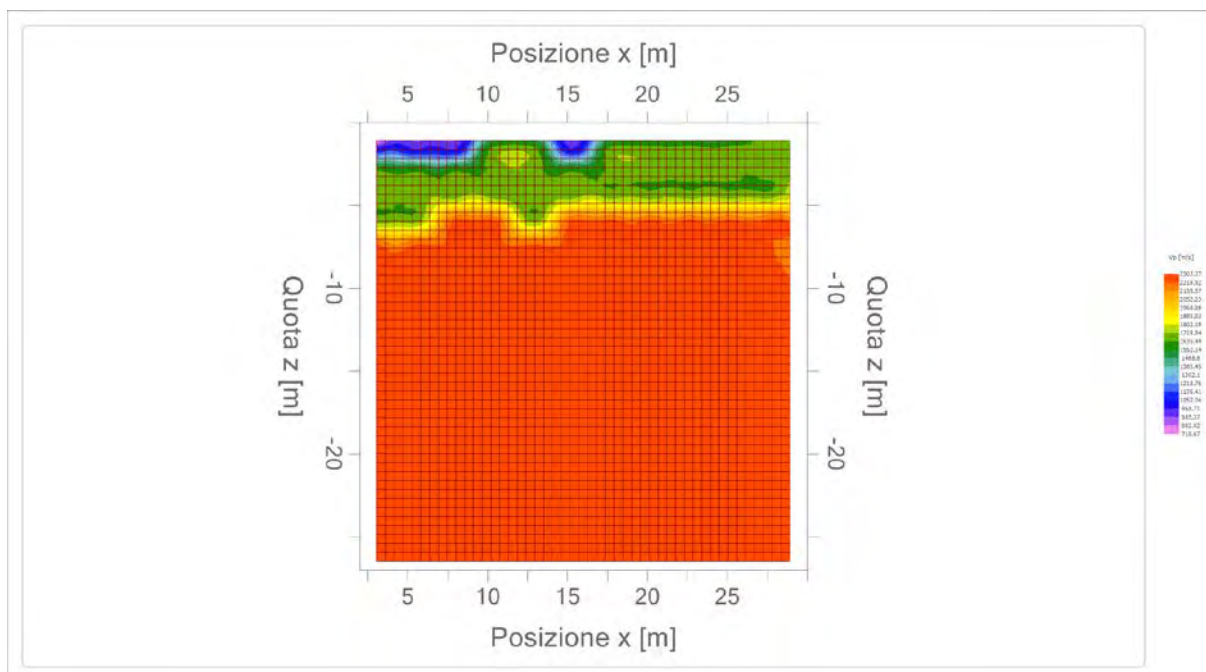


### STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711

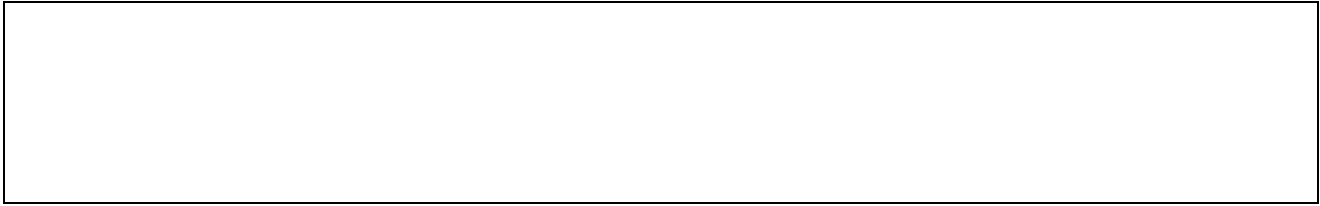


PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.



STUDIO DI GEOLOGIA

Geol. Nazario Di Lella - Via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822, e-mail:geol.dilella@gargano.it, - C.F.DLLNZR64L01I054R, P.Iva.02101530711



**STUDIO DI GEOLOGIA**  
Geol. Nazario Di Lella  
C.FISC: DLLNZR64L011054R  
P.IVA: 02101530711

Via: Via Ripalta 21/A  
71010 Lesina - FG

Tel: 0882.218822 - 328.3250902  
Fax: 0882.218822  
Email: [geol.dilella@gargano.it](mailto:geol.dilella@gargano.it) Web:

**PROGETTO DEFINITIVO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 9 WTG DELLA POTENZA DI 6,6MWp PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI GENERAZIONE PARI A 59,4MW SITO NEL COMUNE DI MINERVINO MURGE(BAT), NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.**



**Data:** febbraio 2024

**Il committente** EDISON RINNOVABILI S.P.A.

**IL Tecnico**  
GEOL. N. DI LELLA

**Il Progettista**  
GEOL. N. DI LELLA

**Indagine geofisica tramite tecnica MASW - SSE**

## Easy MASW

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

### Moto del segnale sismico

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

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

### Onde di Rayleigh – “R”

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

### Analisi del segnale con tecnica MASW

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

### Modellizzazione

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

$$v = \lambda \times v$$

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

### Modi di vibrazione

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

### Profondità di indagine

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

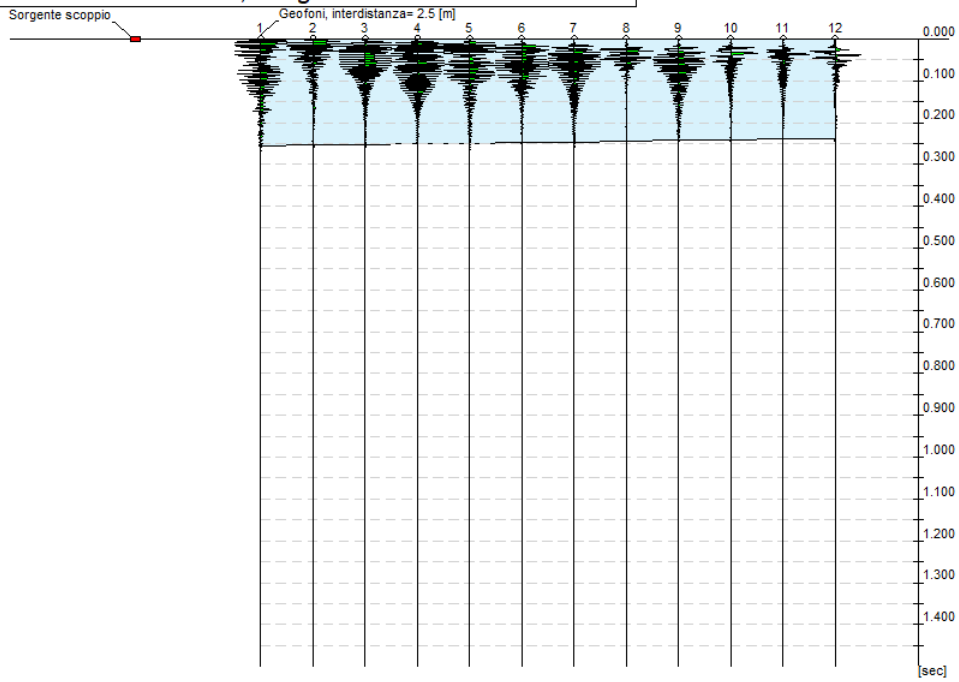
#### Dati generali

<b>Committente</b>	EDISON RINNOVABILI S.P.A.
<b>Cantiere</b>	MINERVINO MURGE
<b>Località</b>	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - SSE
<b>Operatore</b>	Geol. N. Di Lella
<b>Responsabile</b>	Geol. N. Di Lella
<b>Zona</b>	LOC. INTACCA - MINERVINO M. - SSE
<b>Data</b>	11/02/2024 12:00
<b>Latitudine</b>	41.0088
<b>Longitudine</b>	16.1778

## Tracce

N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1500.0
Interdistanza geofoni [m]	2.5
Periodo di campionamento [msec]	1.00

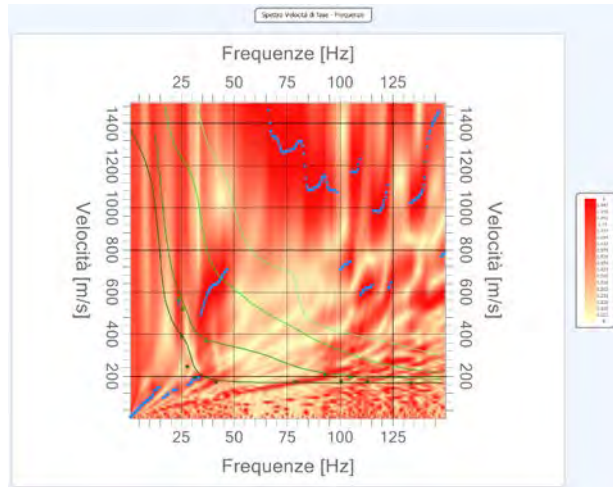
Committente: EDISON RINNOVABILI S.P.A.  
Cantiere: MINERVINO MURGE  
Località: LOC. INTACCA - MINERVINO M. - IR22  
Operatore: Geol. N. Di Lella  
Responsabile: Geol. N. Di Lella  
Data: 11/02/2024  
Latitudine: 41.0088°, Longitudine: 16.1778°





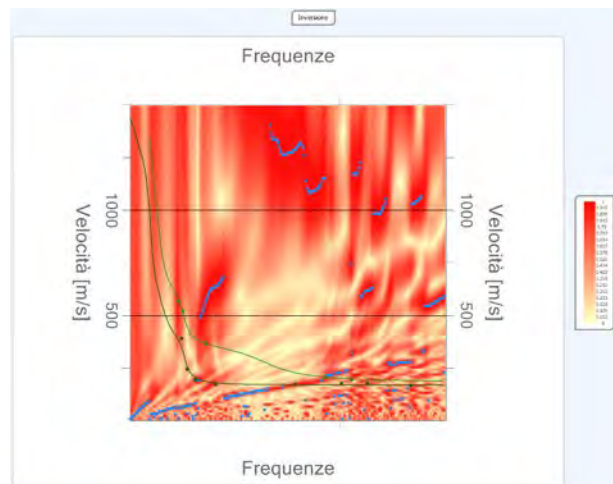
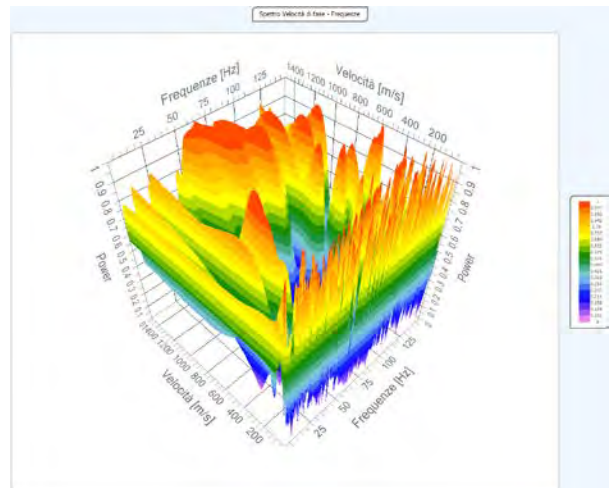
## Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	150
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	1500
Intervallo velocità [m/sec]	1



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	23.9	565.9	1
2	25.3	390.5	0
3	25.9	519.0	1
4	27.9	245.7	0
5	31.6	194.7	0
6	36.8	366.1	1
7	41.5	172.3	0
8	78.7	174.4	0
9	93.1	209.0	1
10	100.6	176.4	0
11	105.2	194.7	1
12	112.9	176.4	0
13	133.3	168.2	0



### Inversione

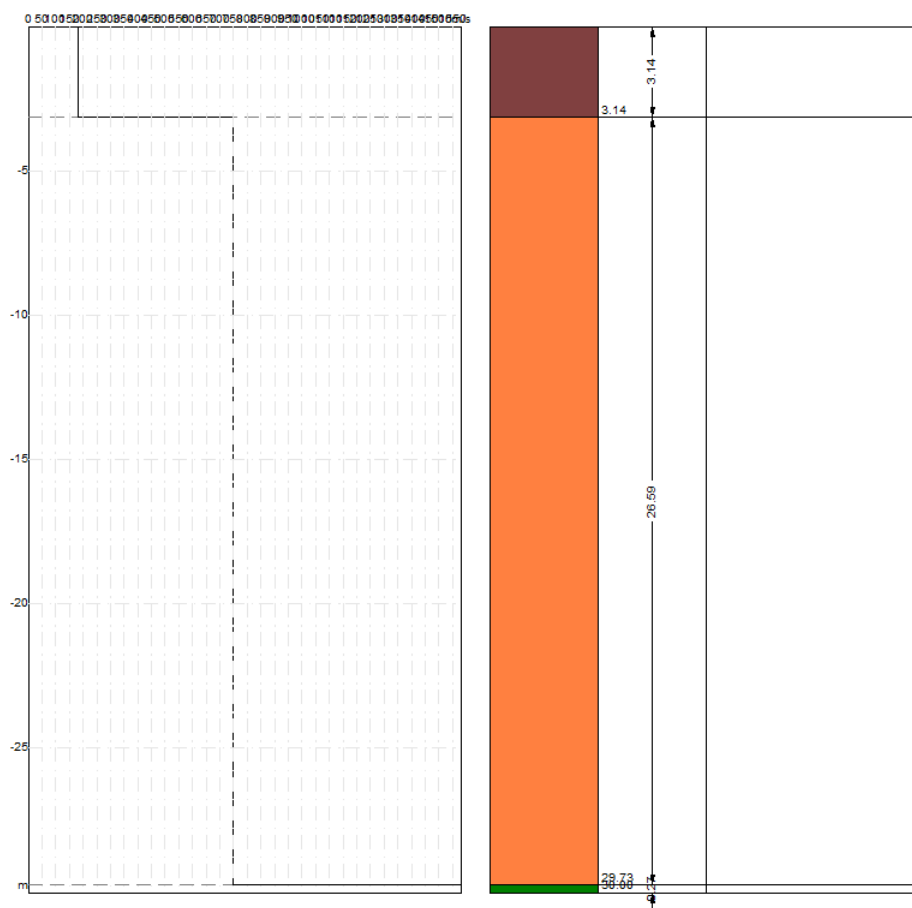
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		3.14	3.14	1850.0	0.4	No	412.7	181.5
2		29.73	26.59	1950.0	0.4	No	1553.2	746.2
3		∞	∞	2000.0	0.3	No	2959.3	1581.8

Percentuale di errore

0.168 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.040



## Risultati

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs30 [m/sec]</b>	565.16
<b>Categoria del suolo</b>	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

## Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	3.14	3.14	181.54	412.66	1800.00	0.38	59.33	306.51	227.41	163.74	N/A	467.52
2	29.73	26.59	746.15	1553.24	1900.00	0.35	1057.81	4583.85	3173.43	2856.09	N/A	N/A
3	oo	oo	1581.81	2959.30	2000.00	0.30	5004.26	17514.90	10842.56	13011.07	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;