



REGIONE BASILICATA
PROVINCIA DI MATERA
COMUNI DI GROTTOLE
E MIGLIONICO



AUTORIZZAZIONE UNICA EX D.LGS. 387/2003

Progetto Definitivo
Parco eolico "Monte San Vito"

TITOLO ELABORATO

A.2 Relazione geologica

CODICE ELABORATO

COMMESSA	FASE	ELABORATO	REV.
F0307	C	R02	A

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione

SCALA

DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
Febbraio 2020	prima emissione			

PROPONENTE

FRI-EL

FRI-EL S.p.A.

Piazza della Rotonda 2
00186 Roma (RM)
fri-elspa@legalmail.it
P. Iva 01652230218
Cod. Fisc. 07321020153

Dr. Michele Colasurdo

via Scandiffio 39, 75016 Pomarico (MT)
Tel: +333.4851027 - Fax: +39 0835.680431
colasurdo.geologo@gmail.com

Il Geologo
(Dr Michele Colasurdo)

PREMESSA

Su incarico conferitomi da F4 INGEGNERIA è stata condotta una indagine geologico-tecnica preliminare, al fine di accertare in le condizioni geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche dei terreni presenti nei territori comunali di Grottole e Miglionico in provincia di Matera, dove la Società FRI-EL SpA intende realizzare un parco eolico composto da n. 10 aerogeneratori denominato Monte San Vito.

L'indagine, estesa anche alle aree circostanti, è consistita in rilievi geologici e geomorfologici di superficie, in indagini geofisiche in sito e nella verifica idrogeologica in particolare dell'area di stretto interesse delle Aerogeneratori.

I parametri fisico meccanici dei terreni interessati dalle strutture in progetto sono rinvenienti da dati in possesso dello scrivente rinvenienti da precedenti lavori sull'area e dalla bibliografia ufficiale.

L'esame delle caratteristiche sopra descritte ha permesso di esprimere una serie di considerazioni sui terreni interessati dalla costruzione degli aerogeneratori permettendo , in linea di massima, di avere un quadro geologico generale dell'area e, nello stesso tempo, di effettuare una prima verifica delle condizioni generali di stabilità.

GEOLITOLOGIA

Dal punto di vista geologico, il settore in studio ricade all'interno di un settore limitrofo all'Appennino Meridionale rappresentato dalle successioni sedimentarie Plio-Pleistoceniche della Fossa bradanica (Migliorini, 1937) .

Tale bacino rappresenta il segmento meridionale dell'Avanfossa Appenninica (D'Argenio et al., 1973), la quale risulta colmata da una successione spessa alcuni chilometri costituita in profondità in prevalenza da depositi torbiditici (Balduzzi et al., 1982a; 1982b; Casnedi et al., 1982; Casnedi, 1988) e in affioramento da depositi marini passanti a depositi di ambiente costiero e/o continentale per uno spessore di 600 mt circa.

Il rilevamento di campagna e' stato esteso ad un'area più ampia di quella di intervento per poter cogliere elementi significativi per una corretta definizione dei rapporti litostratigrafici dei terreni presenti. Le indagini effettuate hanno evidenziato la presenza di litotipi dalle caratteristiche generali molto differenti che riflettono le diverse condizioni deposizionali ed ambientali.

Oltre ai termini litologici appartenenti al ciclo sedimentario della nota struttura geologica della Fossa Bradanica ampiamente descritti in letteratura, sono stati rinvenuti terreni con caratteri d'insieme tipici dei depositi di origine continentale o appartenenti ad un ambiente di transizione

In definitiva, nell'ambito dell'area studiata, la successione litostratigrafica è costituita dalle argille, sabbie e conglomerati appartenenti al ciclo plio-pleistocenico della Fossa Bradanica; dai limi argillosi e dai depositi ciottoloso-limoso-argillosi di età sicuramente non inferiore al Pleistocene Superiore; dalla copertura detritica recente ed attuale.

ARGILLE

Le Argille Subappennine costituiscono la gran parte del riempimento dell'Avanfossa Bradanica, esse sono di colore grigio-azzurre, costituite da quasi tutti i minerali argillosi, ricche in microforaminiferi, con rapporto bentos/plancton elevato indicativo di un ambiente di sedimentazione di piattaforma continentale, dove giungevano abbondanti apporti clastici molto fini. L'età è riferibile al Pleistocene Inferiore.

Il limite di tale formazione è stato individuato alla quota di circa 430 m slm soprattutto sulla scorta dei risultati di sondaggi effettuati in zona.

Trattasi di argille ed argille marnose, talora siltose contraddistinte da veli e livelli a granulometria per lo più fine.

SABBIE

In continuità di sedimentazioni con le Argille Subappennine troviamo le Sabbie di Monte Marano formazione clastica sabbiosa silicatico-calcareo-calcareo-silicatica con strutture sedimentarie come lamine incrociate bioturbazioni, lenti di

ghiaia indicative di ambiente marino. Le scarse faune permettono di datarla Pleistocene inferiore. Sotto il profilo petrografico sono materiali quarzoso feldspatici, in matrice calcarea. La granulometria, salvo variazioni locali, è per lo più media e medio-fine. A luoghi diagenizzate formando areniti, a luoghi incoerenti, comunque si presentano ben addensate. Al loro interno contengono livelli limosi o strati arenitici che evidenziano i caratteri giaciturali della formazione. In letteratura sono denominate " Sabbie di Monte Marano " ed attribuite al Pleistocene Medio-Superiore.

CONGLOMERATI

Le Sabbie di Monte Marano passano poi gradualmente al Conglomerato d'Irsina che presenta anch'esso le caratteristiche di deposito litorale nefritico per gran parte del suo spessore e continentale nella parte più alta. La parte marina è stata evidenziata grazie alla presenza nelle lenti sabbiose di faune marine, oltre che dalla stratificazione incrociata, mentre quella continentale dalla colorazione della matrice che da gialla passa a rossastra (ossidi di ferro). L'origine appenninica del conglomerato è messa in evidenza dal fatto che esso è poligenico. Alcuni dei ciottoli sono addirittura policiclici, di fatto il grado di arrotondamento e alterazione varia. Vi sono elementi pliocenici derivanti da conglomerati del Miocene i quali in alcuni casi derivano a loro volta da conglomerati cretacei. Anche il Conglomerato d'Irsina, per la sua posizione stratigrafica, è databile al Pleistocene inferiore, in esso infatti mancano i minerali vulcanici presenti invece nei depositi marini terrazzati del Pleistocene medio. Datazioni assolute del Monte Vulture hanno dato risultati di 7-800000 anni fa, proprio al passaggio tra Pleistocene inferiore e medio.

In concordanza con le sottostanti sabbie, i conglomerati sono costituiti da ciottoli poligenici ed eterometrici a spigoli arrotondati o subarrotondati, di solito ben assortiti ed a luoghi in matrice limosa. Localmente presentano al loro interno lenti sabbiose. Noti come Conglomerati di Irsina rappresentano il termine di chiusura della regressione marina. In affioramento si rinvengono quasi sempre al di sopra dei 450 m slm ed assumono uno spessore massimo di circa 20 m.

All'interno di tale formazione sono inseriti strati limo argillosi che si rinvengono a più altezze, ed in particolare nei termini più superficiali, nei vari siti investigati.

TERRAZZI Fluviali

Terreni di colore variabile dal marroncino all'avana . Presentano puntature ocracee e nerastre. Solitamente contengono piccoli quantitativi di materiali a granulometria medio - fine. Trattasi di ghiaie sabbioso limose .Frequenti le concrezioni calcaree.

Non vi sono dubbi, quindi, sulle condizioni ambientali di deposizione di questi sedimenti . Le facies sono continentali di tipo fluviale .

CARATTERI GEOMORFOLOGICI ED IDROGEOLOGICI

L'area oggetto di studio è racchiusa tra la valle del Fiume Basento e quella del Fiume Bradano ed è interessata da molti fossi che con andamento dentritico solcano i versanti argillosi. La parte alta di tali fossi assume la caratteristica forma a ventaglio formata da canali naturali e creste erosive.

Gli aerogeneratori in progetto sono dislocati in parte sul versante di sinistra della valle del Basento (1,2,3) ed in parte lungo il versante di destra del bacino del Fiume Bradano (4,5,6,7,8,9,10). Durante la fase di rilevamento, dal punto di vista geomorfologico, non sono state rilevate strutture morfologiche particolari che indicano situazioni di instabilità come la presenza di corpi di frana attivi, ma solo piccoli fenomeni di instabilità superficiale come creep e soliflussi comunque non interessanti direttamente le posizioni degli aerogeneratori.

La zona di ubicazione di ciascun aerogeneratore risulta stabile anche se, in particolare nelle vicinanze degli aerogeneratori GRA1, GRA2, GRA3 si segnalano aree calanchive in erosione. Su queste aree, in fase esecutiva, bisognerà progettare interventi di azione antierosiva a protezione delle aree di imposta degli aerogeneratori.

Bisognerà tenere in considerazione, in fase di progettazione esecutiva, la creazione di sistemi di drenaggio superficiale delle acque onde evitare fenomeni erosivi nelle aree sottostanti o laterali agli aerogeneratori GRA4, GRA5, GRA6, GRA 8, GRA10.

Relativamente alle aree che saranno attraversate dai cavidotti si rilevano due aree in frana di cui una da sistemare (tratturo a monte dell'aerogeneratore n.1) e l'altra in fase di sistemazione (strada comunale Fontana di Lupo/Garrammone a monte dell'aerogeneratore n.3). Le aree sono indicate sulla carta geomorfologica.

Per quanto riguarda il tratturo a valle dell'aerogeneratore GRA9, questo attraversa aree R2 e R3 del PAI. Tale area è interessata da una pista con impluvio ortogonale (ritoccato dai mezzi agricoli) attrezzata con tombino in pessime condizioni. A circa 100 mt a valle si rilevano ristagni idrici. Su queste aree non si denotano segni di instabilità ma bisognerà, in fase di progettazione esecutiva, prevedere adeguati scoli e drenaggi dopo attento studio idraulico ed idrogeologico da fornire all'Adb sulla base delle norme vigenti per attraversamenti che interessano le aree R2 ed R3.

Relativamente alla falda idrica sotterranea, per la presenza di sorgenti sparse sul versante destro del Basento, si ipotizza una sua presenza al contatto tra sabbie e le argille di base e, a luoghi, sui terrazzi fluviali. Tali ipotesi devono essere suffragate da sondaggi geognostici da eseguire in fase di progetto esecutivo per ogni singolo aerogeneratore onde verificare anche possibili interferenze con le strutture fondazionali degli aerogeneratori stessi.

CARATTERI GEOMECCANICI DEI TERRENI

I terreni affioranti nelle zone interessate dall'ubicazione degli aerogeneratori ,in relazione ai dati rivenienti dal presente studio e dalle indagini geognostiche eseguite per lavori sulla stessa area, possono essere classificati come terreni granulari di natura conglomeratica e sabbiosa sovrastanti i terreni argillosi-limosi .

La maggior parte delle Aerogeneratori eoliche saranno ubicate sui terreni appartenenti alla formazione delle Argille subappennine; solo alcuni interessano direttamente e indirettamente i terreni sabbiosi, affioranti sul versante che degrada verso l'alveo del F. Bradano, i terreni limo argillosi con ghiaia e sabbia appartenenti ai terrazzi fluviali di II ordine e i termini conglomeratici. Questi i valori medi,mutuati da lavori eseguiti sui terreni appartenenti alle stesse formazioni, dei parametri geotecnici dei terreni interessati dagli aerogeneratori:

Aerogeneratori n.GRA1- GRA4 - GRA5 - GRA6 - GRA8

- Valori medi (V_m) dei terreni argillosi (Argille subappennine - Qa)

- Peso di volume naturale $\gamma = 1.96 \text{ g/cm}^3$
- Contenuto di acqua naturale $W = 22-28 \%$
- Angolo di attrito interno $\varphi = 21^\circ$
- Coesione $c = 0.23 \text{ kg/cm}^2$
- Indice di compressibilità di Winkler $k' = 2-3 \text{ Kg/cm}^3$

Aerogeneratore n.GRA9

- Valori medi (V_m) dei terreni sabbiosi (Sabbie di Monte Marano - Qs)

- Peso di volume naturale $\gamma = 1.88 \text{ g/cm}^3$
- Contenuto di acqua naturale $W = 28-35 \%$
- Angolo di attrito interno $\varphi = 30^\circ$
- Coesione $c = 0.00 \text{ kg/cm}^2$
- Indice di compressibilità di Winkler $k' = 4-6 \text{ Kg/cm}^3$

Aerogeneratore n.GRA7

- Valori medi (V_m) dei terreni conglomeratici marini (Conglomerato d'Irsina - Qc)

- Peso di volume naturale $\gamma = 1.80 \text{ g/cm}^3$
- Contenuto di acqua naturale $W = 24-27 \%$
- Angolo di attrito interno $\varphi = 35^\circ$
- Coesione $c = 0.00 \text{ kg/cm}^2$
- Indice di compressibilità di Winkler $k' = 7-9 \text{ Kg/cm}^3$

Aerogeneratori n.GRA2-GRA3 (mediamente interessanti uno spessore pari a circa 8 mt cui seguono argille Subappennine)

- Valori medi (V_m) dei terreni ghiaioso e sabbiosi-limosi continentali (Terrazzo)

- Peso di volume naturale $\gamma = 2.04 \text{ g/cm}^3$
- Contenuto di acqua naturale $W = 20-22 \%$
- Angolo di attrito interno $\varphi = 18.3^\circ$
- Coesione $c = 0.10 \text{ kg/cm}^2$
- Indice di compressibilità di Winkler $k' = 2-3 \text{ Kg/cm}^3$

CARATTERI SISMICI

La campagna di indagini geofisiche è stata eseguita in data 14/01/2020 attraverso la realizzazione di:

- N. 2 indagini sismiche a rifrazione in onda P ed S;
- N. 3 indagini MASW

Queste sono state ubicate in aree accessibili e rispondenti a caratteri collegabili tra litotipi simili sulla base del rilevamento geologico. Il Comune di Grottole è in zona sismica 3.

PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE

INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE 1

L'indagine sismica a rifrazione è stata realizzata utilizzando un allineamento di 24 geofoni verticali da 4,5 Hz per la misura delle onde longitudinali (P) ed un allineamento di 24 geofoni orizzontali da 4,5 Hz per la misura delle onde trasversali (S). Lo stendimento è stato realizzato con una distanza intergeofonica pari a 2,5 m per una lunghezza totale di 60,0 m.

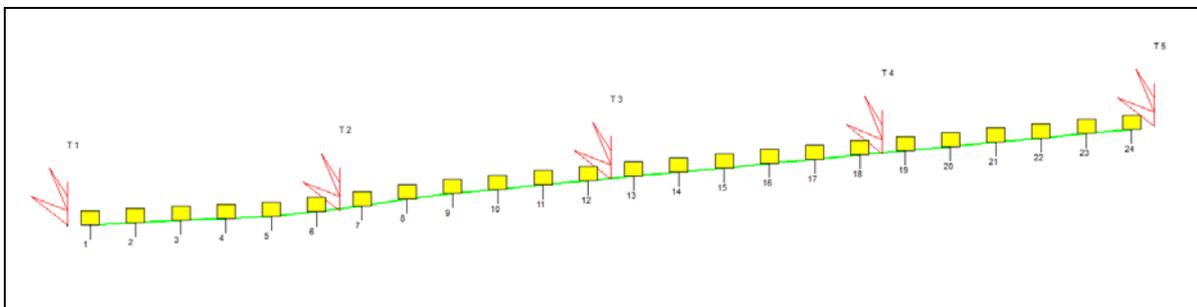
Il geofono n. 1 è stato posto nel punto di coordinate (SR: WGS 84 UTM 33N):

Lat: 4495084.73; Long: 614717.68;

Il geofono 24 è stato posto nel punto di coordinate (SR: WGS 84 UTM 33N):

Lat: 4495143.912; Long: 614708.16;

L'onda P è stata generata percuotendo verticalmente un piattello metallico posto sul piano campagna, in 5 differenti punti, di cui due esterni allo stendimento e tre interni allo stesso. L'onda S è stata generata percuotendo orizzontalmente, su due lati opposti, un parallelepipedo metallico, assicurato al suolo tramite alette metalliche.



Schema di esecuzione indagine sismica a rifrazione

Come strumento di misura si è utilizzato un sismografo a 24 canali Mod. M.A.E. Sysmatrack. L'elaborazione è stata eseguita sia con il metodo del tempo intercetto, utilizzando il software WinSism Ver. 16.4 della GeoSoft, che con il metodo tomografico, utilizzando il software Rayfract Ver. 3.17 della Intelligent Resources Inc. Il metodo del tempo intercetto permette di individuare gli orizzonti rifrangenti e di descrivere le velocità medie dei sismostrati individuati, mentre con la metodologia tomografica, è possibile definire un modello sismostratigrafico del sottosuolo evidenziando variazioni sia verticali che orizzontali di velocità delle onde elastiche.

Il parametro utilizzato per definire le proprietà elastiche dei terreni è la velocità di propagazione delle onde elastiche, il cui valore è proporzionale al grado di compattezza dei mezzi attraversati.

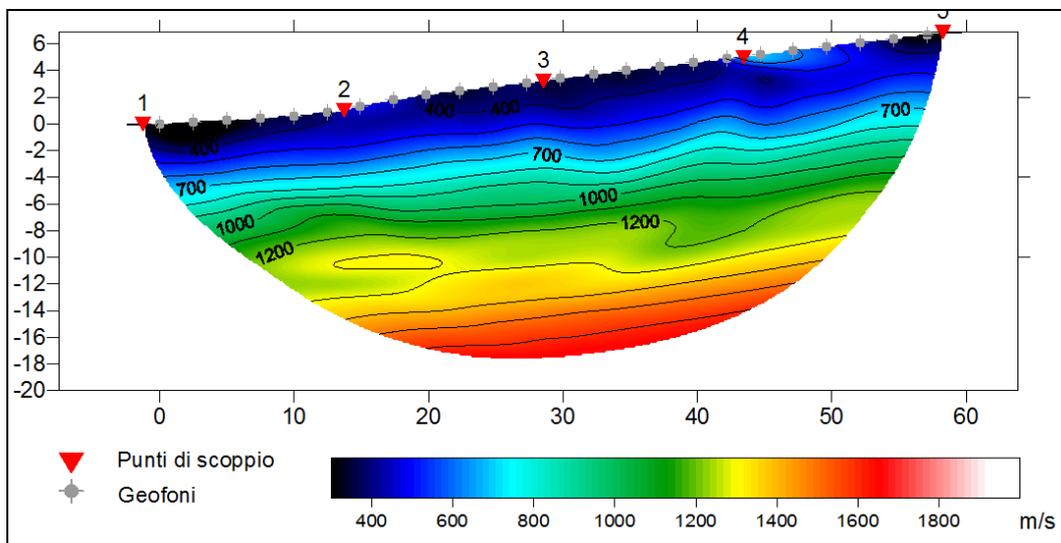
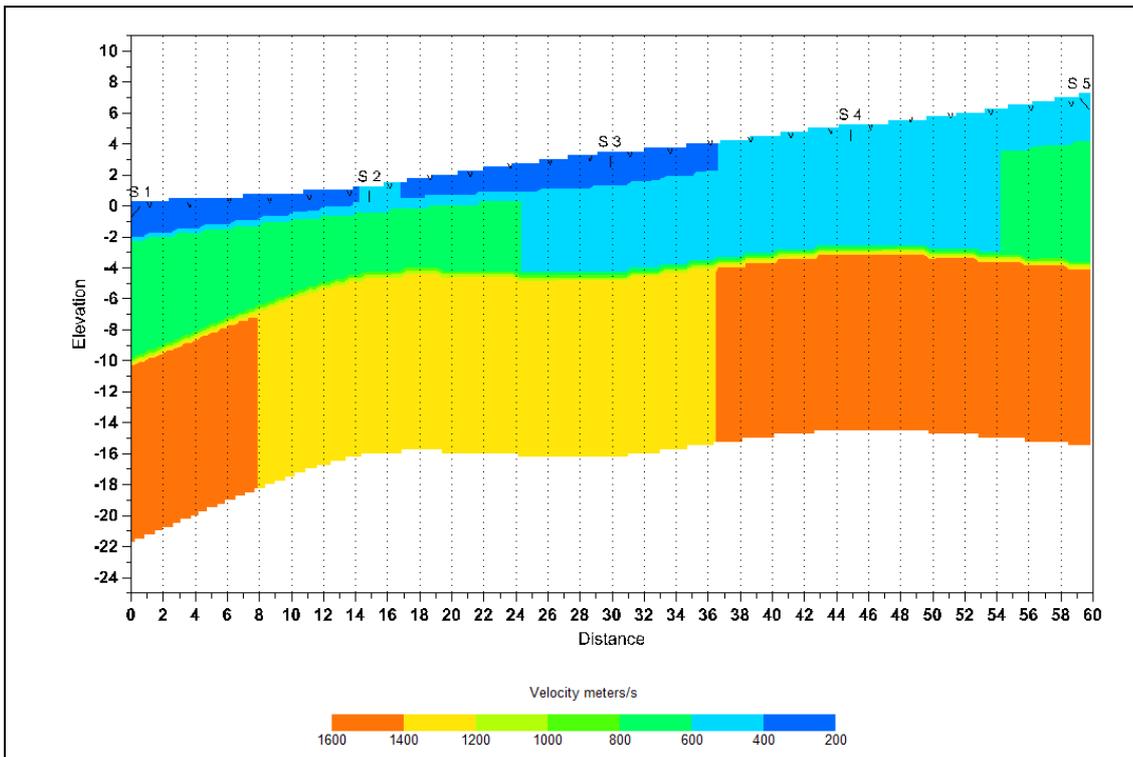
INTERPRETAZIONE DEI DATI

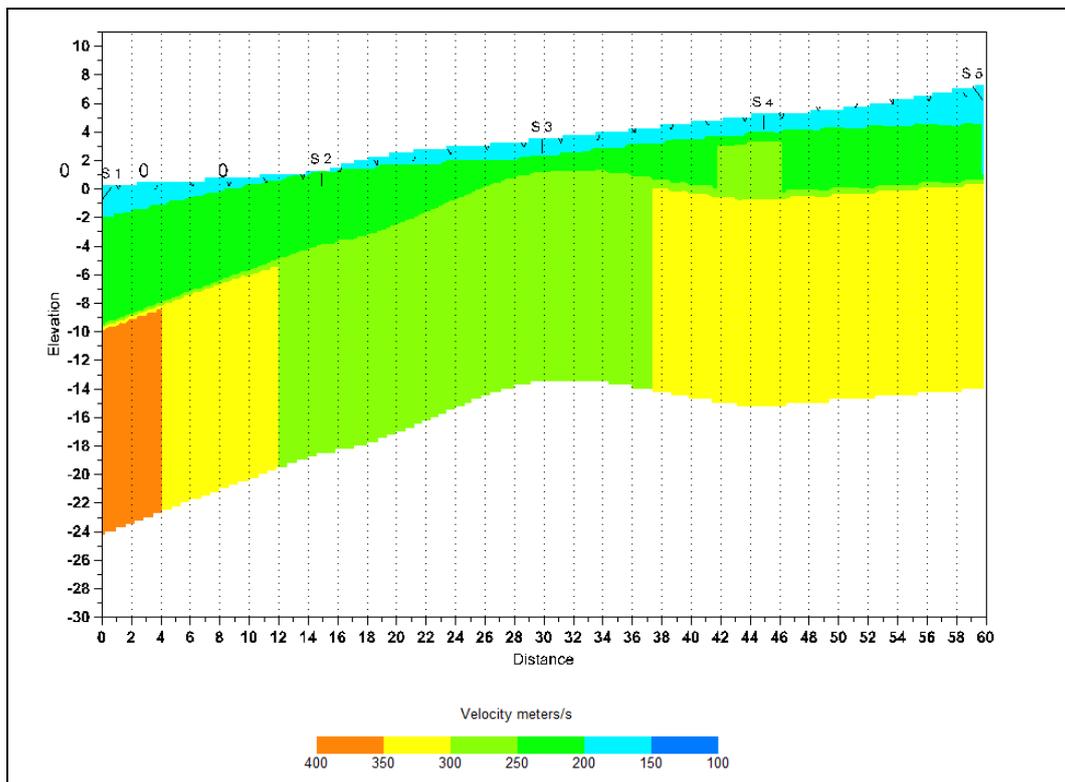
Il profilo è stato realizzato sia in onda P che in onda S con una distanza intergeofonica di 2,5 m ed una lunghezza totale dello stendimento pari a 60,0 m.

Inoltre, vista la conformazione geomorfologica del sito, è stata eseguita una correzione topografica. L'elaborazione dei dati è stata eseguita sia con metodologia del tempo intercetto che tomografica. Nelle figure sono riportate le sezioni sismostratigrafiche in onda P e le sezioni sismostratigrafiche in onda S. Dall'analisi delle sezioni si evince la presenza di tre sismostrati di cui, quello superficiale, con spessore di circa 2,00 m, presenta una velocità media delle onde longitudinali P pari a circa 350 m/s. ed una velocità media delle onde trasversali S pari a circa 175 m/s. Tale sismostrato è attribuibile a terreno vegetale areato e presenta alcune variazioni laterali di velocità, con una alternanza tra aree con differente velocità di propagazione delle onde elastiche.

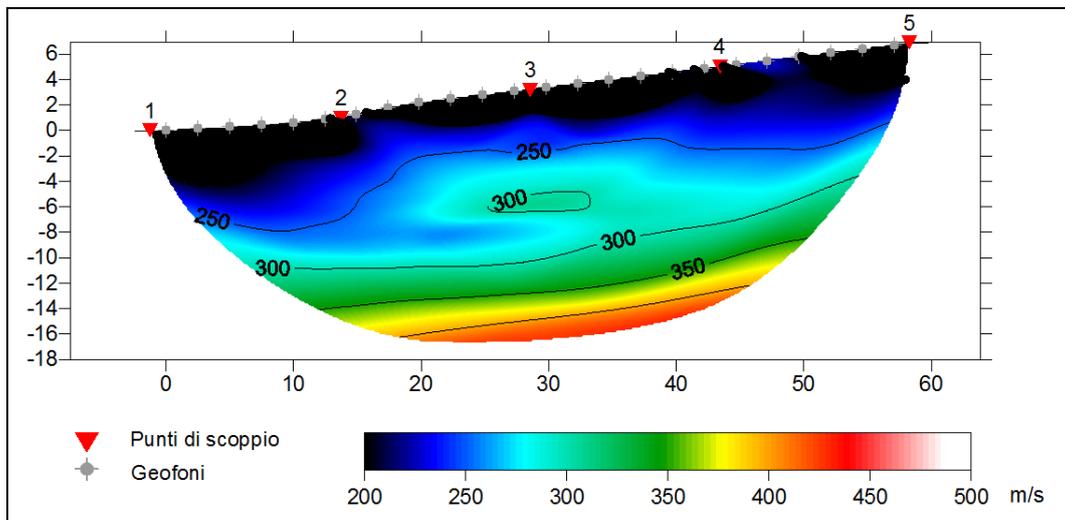
Il secondo sismostrato, con spessore variabile tra 6,0 m e 8,0 m, ha fatto registrare una velocità media di propagazione delle onde P pari a circa 700 m/s, ed una velocità media delle onde S pari a circa 250 m/s. Tale sismostrato è attribuibile a depositi limoso argillosi di media consistenza.

Il terzo sismostrato, con spessore indefinito, presenta una velocità media delle onde P pari a circa 1400 m/s ed una velocità media delle onde S pari a circa 380 m/s. tale sismostrato è attribuibile a depositi limoso argillosi di buona consistenza. Considerando i risultati ottenuti e il valore stimato pari a 312 m/sec il suolo di fondazione rientra nella **categoria C**.

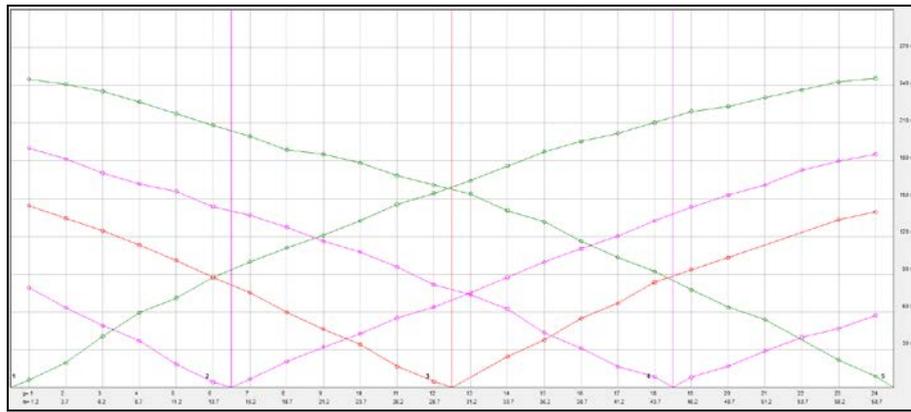




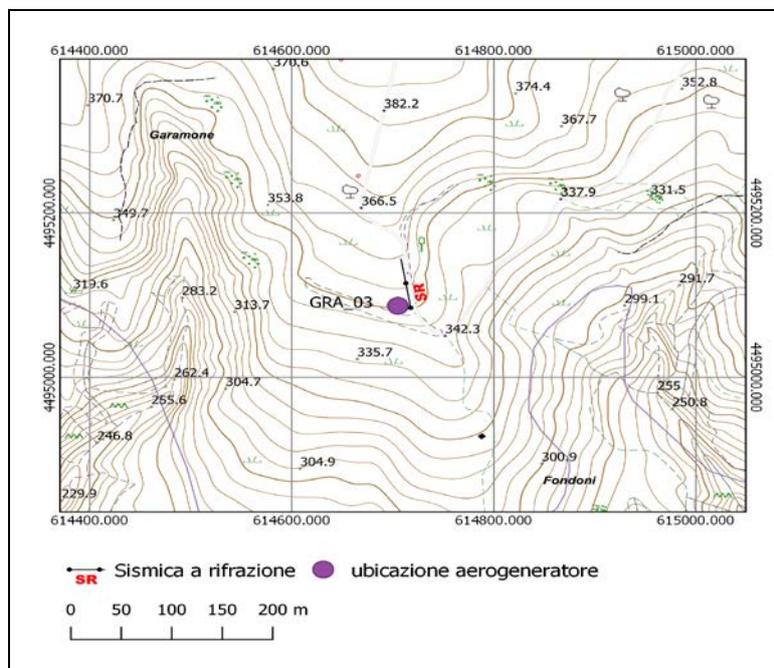
Sezione sismica a rifrazione in onda S



Sezione sismica a rifrazione con elaborazione tomografica in onda S



Dromocrone onda S



Ubicazione indagine sismica a rifrazione 1



Esecuzione indagine sismica a rifrazione 1

PARAMETRI ELASTICI

Profilo sismico	V_P (m/s)	V_S (m/s)	v	E (MPa)	G (MPa)	K (MPa)	R_i (KNKm/m ³ s)
Spessore medio strato n. 1 2,0 m	350	175	0.33	147	55	147	3.15
Spessore medio strato n. 2 7,0 m	700	250	0.43	321	113	732	4.50
Spessore medio strato n. 3 indefinito	1 400	380	0.46	759	260	3181	6.84

Tabella riepilogativa dei parametri sismo-elastici dinamici

Legenda:

- V_p:** Velocità onde di compressione
V_s: Velocità onde di taglio
μ: Coefficiente di Poisson
E: Modulo di Young
G: Modulo di Taglio
K: Modulo di compressibilità
R_i: Rigidità sismica

INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE 2

L'indagine sismica a rifrazione è stata realizzata utilizzando un allineamento di 24 geofoni verticali da 4,5 Hz per la misura delle onde longitudinali (P) ed un allineamento di 24 geofoni orizzontali da 4,5 Hz per la misura delle onde trasversali (S). Lo stendimento è stato realizzato con una distanza intergeofonica pari a 2,5 m per una lunghezza totale di 94,0 m.

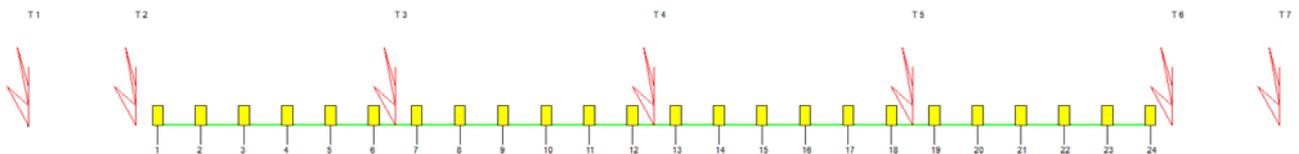
Il geofono n. 1 è stato posto nel punto di coordinate (SR: WGS 84 UTM 33N):

Lat: 4496756.69; Long: 619673.52;

Il geofono 24 è stato posto nel punto di coordinate (SR: WGS 84 UTM 33N):

Lat: 4496690.576; Long: 619703.41;

L'onda P è stata generata percuotendo verticalmente un piattello metallico posto sul piano campagna, in 7 differenti punti, di cui 4 esterni allo stendimento e tre interni allo stesso. L'onda S è stata generata percuotendo orizzontalmente, su due lati opposti, un parallelepipedo metallico, assicurato al suolo tramite alette metalliche.



Schema di esecuzione indagine sismica a rifrazione

Come strumento di misura si è utilizzato un sismografo a 24 canali Mod. M.A.E. Sysmatrack. L'elaborazione è stata eseguita sia con il metodo del tempo intercetto, utilizzando il software WinSism Ver. 16.4 della GeoSoft, che con il metodo tomografico, utilizzando il software Rayfract Ver. 3.17 della Intelligent Resources Inc.

Il metodo del tempo intercetto permette di individuare gli orizzonti rifrangenti e di descrivere le velocità medie dei sismostrati individuati, mentre con la metodologia tomografica, è possibile definire un modello sismostratigrafico del sottosuolo evidenziando variazioni sia verticali che orizzontali di velocità delle onde elastiche.

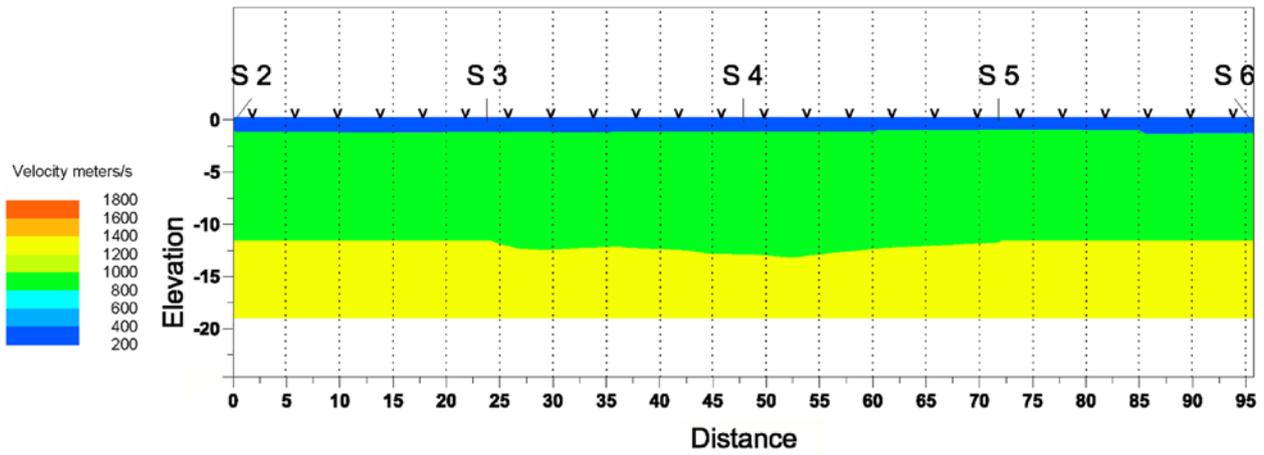
INTERPRETAZIONE DEI DATI

Il profilo è stato realizzato sia in onda P che in onda S con una distanza intergeofonica di 2,5 m ed una lunghezza totale dello stendimento pari a 94,0 m.

L'elaborazione dei dati è stata eseguita sia con metodologia del tempo intercetto. Dall'analisi delle sezioni si evince la presenza di tre sismostrati di cui, quello superficiale, con spessore di circa 2,00 m, presenta una velocità media delle onde longitudinali P pari a circa 350 m/s. ed una velocità media delle onde trasversali S pari a circa 215 m/s. Tale sismostrato è attribuibile a terreno vegetale areato e presenta alcune variazioni laterali di velocità, con una alternanza tra aree con differente velocità di propagazione delle onde elastiche.

Il secondo sismostrato, con spessore intorno ai 11 m, ha fatto registrare una velocità media di propagazione delle onde P pari a circa 800 m/s, ed una velocità media delle onde S pari a circa 500 m/s. Tale sismostrato è attribuibile a depositi conglomeratici con sabbie e limo.

Il terzo sismostrato, con spessore indefinito, presenta una velocità media delle onde P pari a circa 1250 m/s ed una velocità media delle onde S pari a circa 580 m/s. Tale sismostrato è attribuibile a depositi sabbioso arenitici. Considerando i risultati ottenuti e il valore stimato pari a 499 m/sec il suolo di fondazione rientra nella **categoria B**.



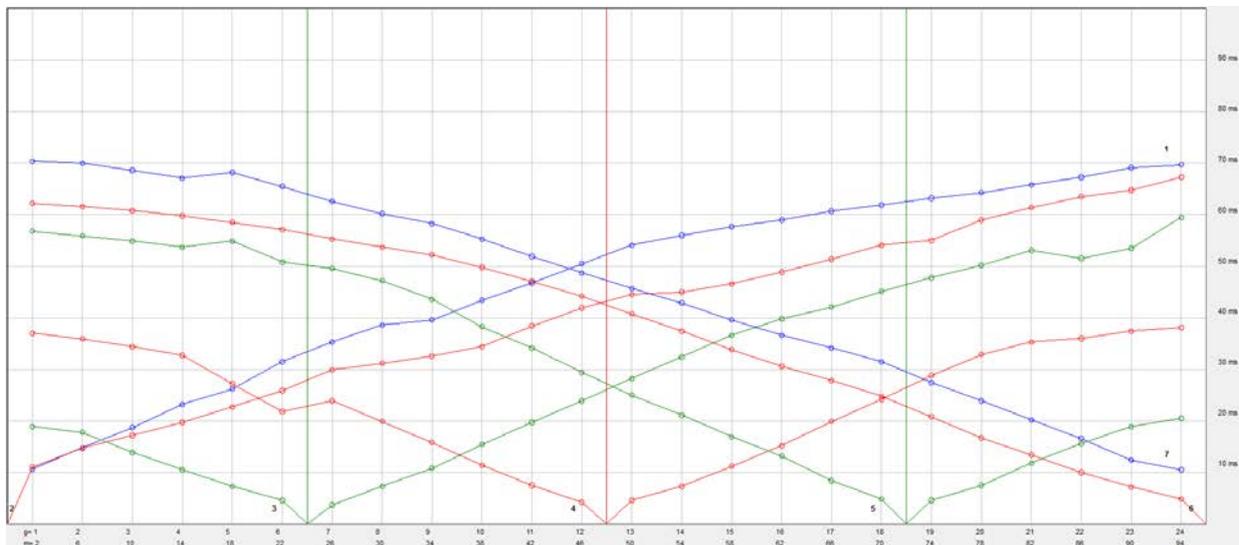
Profilo sismico	V_P (m/s)	V_S (m/s)	μ	E Kg/cm ²	G Kg/cm ²	K Kg/cm ²	Ri T*Km/m ³ /s
Spessore medio strato n. 1 2,0 m	350	215	0.20	2145	896	1180	0.41
Spessore medio strato n. 2 11,0 m	800	500	0.18	12211	5177	6350	1.02
Spessore medio strato n. 3 indefinito	1 250	580	0.36	19640	7206	23861	1.22

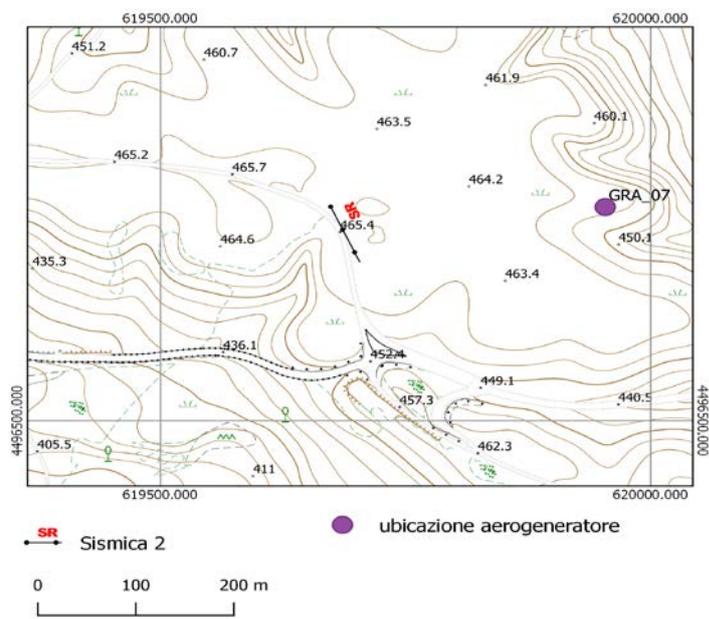
Tabella riepilogativa dei parametri sismo-elastici dinamici

Legenda:

- Vp:** Velocità onde di compressione (m/s);
- Vs:** Velocità onde di taglio (m/s);
- μ :** Coefficiente di Poisson;
- E:** Modulo di Young (Kg/cm²);
- G:** Modulo di Taglio (Kg/cm²);
- K:** Modulo di compressibilità (Kg/cm²);
- Ri:** Rigidità sismica (T*Km/m³*s)

Dromocrone onda S





Esecuzione indagine sismica a rifrazione 2

PROSPEZIONE SISMICA ATTIVA CON METODOLOGIA MASW

L'indagine MASW permette di stimare l'andamento delle onde di taglio in profondità e di definire la velocità equivalente ($V_{s,eq}$) per i primi 30 m dal p.c. e la categoria di suolo di fondazione del sito, così come previsto dalle NTC 2018.

La velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dall'espressione:

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

dove:

- h_i spessore (in metri) dell'i-esimo strato;
- $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

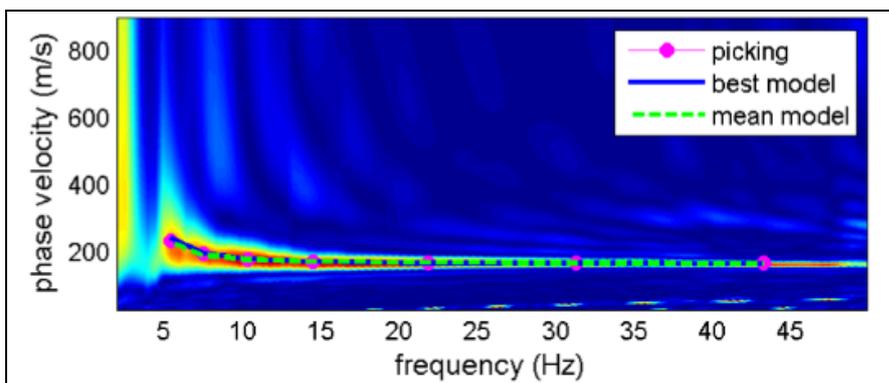
In base ai valori velocità che si ottengono, si individuano 5 classi di terreno: **A**, **B**, **C**, **D** ed **E**, ad ognuna delle quali è associato un determinato spettro di risposta elastico (Tab.2)

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

Tab.1 - Categorie di suolo di fondazione

Il metodo MASW è un metodo attivo e per la sua esecuzione è necessario eseguire uno o più scoppi ad uno dei vertici di uno stendimento lineare di geofoni, in modo da produrre un'onda che si propagherà nel suolo con una sua velocità di fase in un range di frequenze comprese tra 2 Hz e 70 Hz.

L'elaborazione dei dati sperimentali in un'indagine MASW si sviluppa in due momenti: in un primo momento, partendo dallo spettro di velocità si effettua il calcolo della curva di dispersione sperimentale, successivamente si effettua un processo di inversione, ossia si calcola la velocità di fase numerica che fitta (approssima) meglio quella sperimentale .



Spettro delle velocità e curva di dispersione

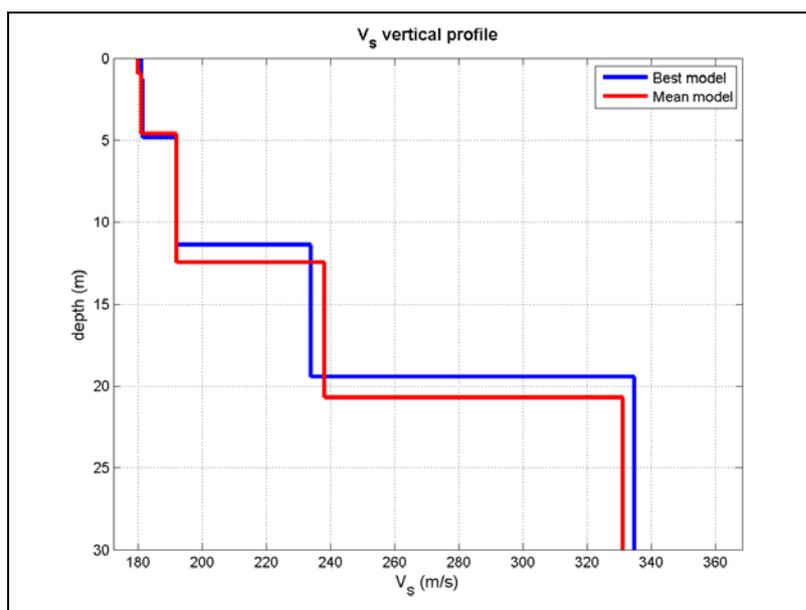
Questo processo si esegue attraverso un sistema di prove trial and error nel quale, modificando opportunamente i parametri a contorno, si minimizza l'errore e dunque si ottiene la migliore sovrapposizione tra le due curve a confronto (Fig. 21) avvicinandosi il più possibile al valore reale.

La registrazione in campagna è stata eseguita con un sismografo M.A.E. Mod. Sysmatrack con risoluzione a 24 bit, come sensori di misura si è utilizzato un set di 24 geofoni da 4.5 Hz, il tempo di acquisizione è stato di 2 secondi con intervallo di campionamento di 1 millisecondo per un totale di 2000 campioni acquisiti.

Per una più corretta analisi dei dati sono stati effettuati 4 scoppi per lato dello stendimento e dei rispettivi quartetti si è effettuato uno stack ossia una media

punto per punto di tutte le acquisizioni, in modo da rendere più robusto il dataset da elaborare.

In definitiva l'indagine, permette di ricavare il profilo delle velocità delle onde S per i primi 30 m dal piano campagna considerato convenzionalmente nella parte centrale dello stendimento .



Esempio di profilo verticale della velocità delle onde S

L'analisi dei dati registrati in campagna, è stata eseguita con il software di inversione WinMASW (Ver. 2018) della EliaSoft.

Questo software, oltre al metodo di inversione classico descritto in precedenza, permette di effettuare una inversione dei dati attraverso un metodo definito FVS (Full Velocity Spectrum). Tale metodo a differenza di quanto visto in precedenza permette di analizzare tutto lo spettro e non solamente il picco massimo dello spettro. In questo modo si minimizza la soggettività della interpretazione dovuta alla fase di picking dello spettro.

Per il sito in oggetto si è preferito utilizzare questa metodologia di inversione.

INTERPRETAZIONE DEI DATI

Le indagini MASW ubicate rispettivamente nei seguenti punti di coordinate WGS 84 UTM 33 T:

INDAGINE	Latitudine punto A	Longitudine punto A	Latitudine punto B	Longitudine punto B
MASW 1	4497452.388	617975.177	4497486.625	617947.152
MASW 2	4495413.533	622160.674	4495382.326	622194.496
MASW 3	44958088.744	612887.572	4498065.762	682154.829

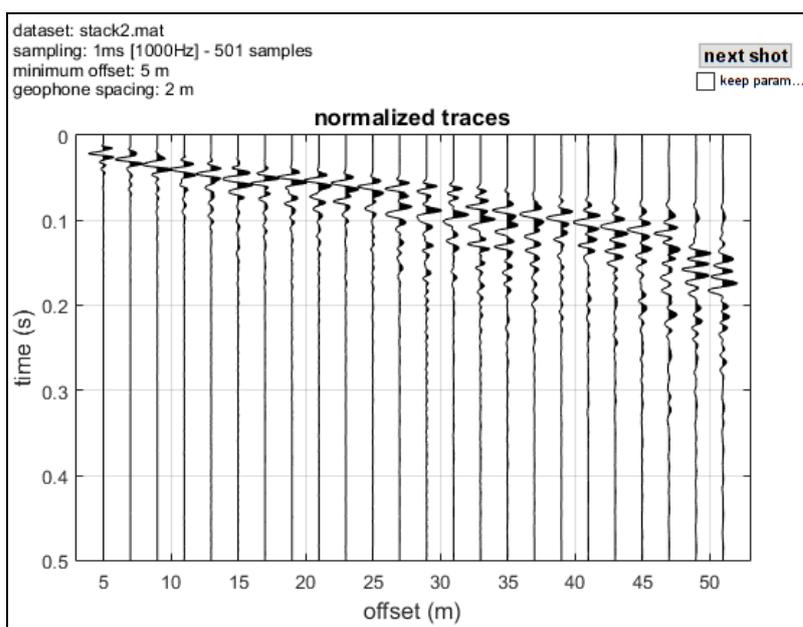
MASW 1

L'indagine MASW 1 è stata eseguita, utilizzando 24 geofoni verticali con distanza intergeofonica di 2,00 m per una lunghezza pari a 46.0 m ed una distanza di scoppio dal primo geofono (offset) pari a 5,0 m.

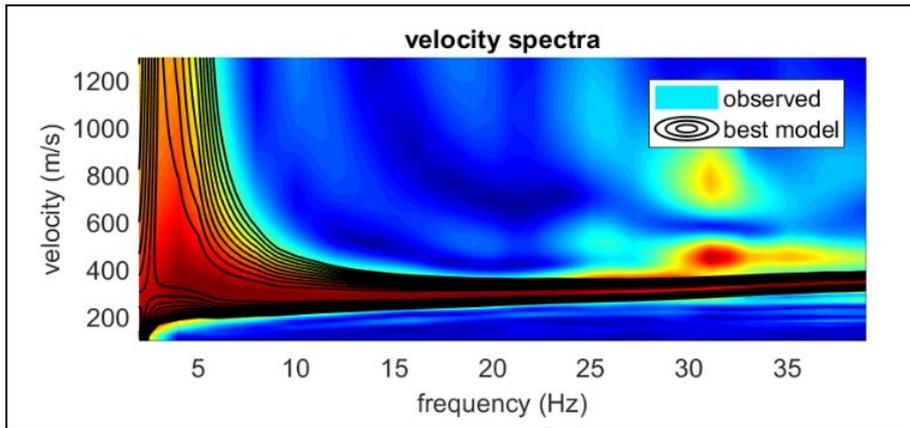
In fase di elaborazione sono stati considerati 24 geofoni, ed un tempo di acquisizione di 0,50 secondi esclusivamente per snellire la fase di calcolo senza alterare in nessuna maniera il calcolo dello spettro di velocità (*Dal Moro – 2014 – Surface Wave Analysis for near surface application*).

Gli spettri sono stati analizzati tra 2 Hz e 40 Hz.

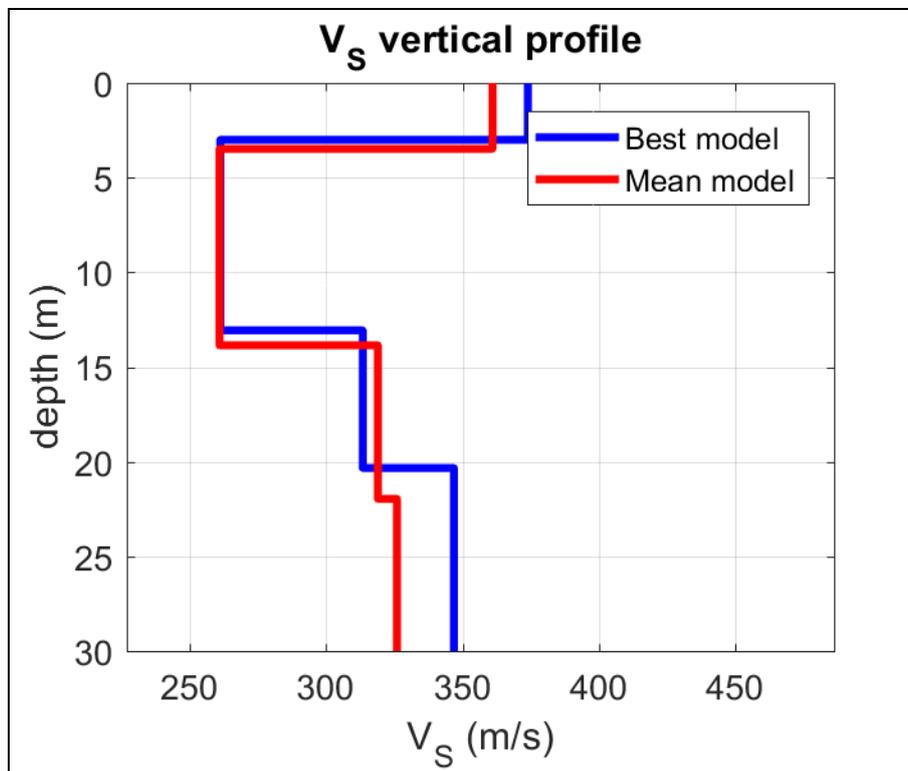
Di seguito si riportano le risultanze dell'indagine eseguita:



Dataset di acquisizione onde di Rayleigh



Spettro di velocità e curva di dispersione onde di Rayleigh



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

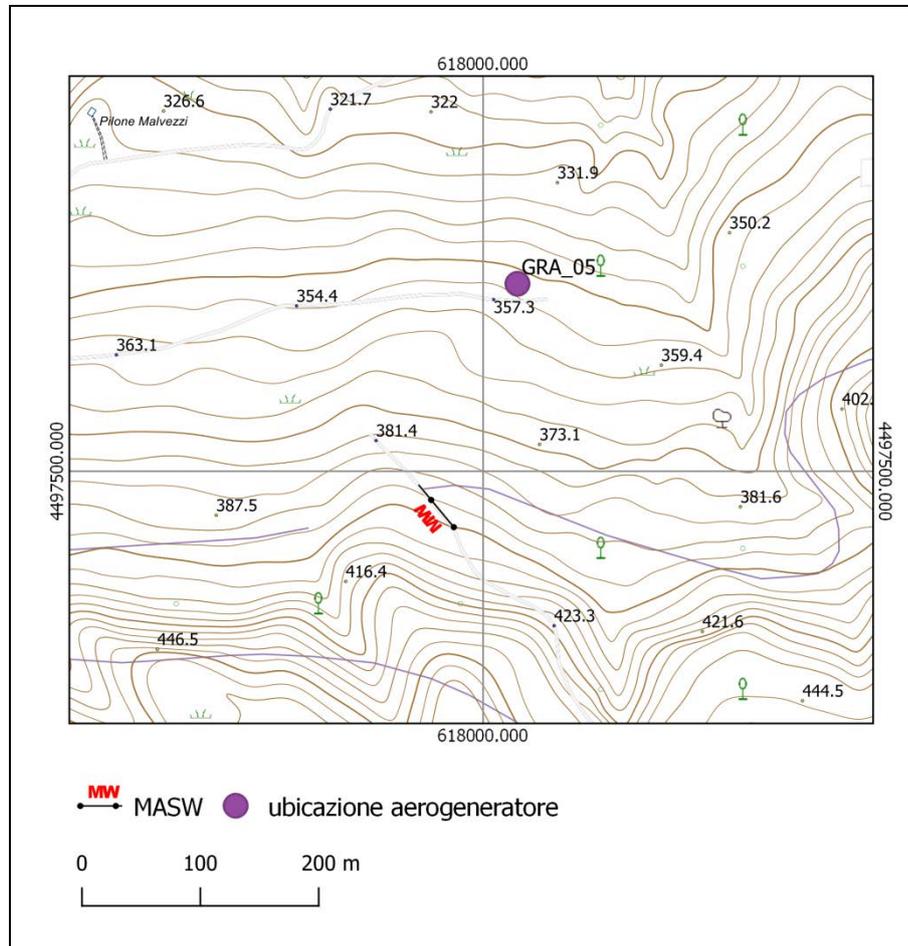
La curva di dispersione individuata ha trovato un best fitting nel modello sismostratigrafico (linea blu). Di seguito si riporta il dettaglio del profilo di velocità delle onde S.

Profondità dal piano campagna (m)	Spessore del sismostrato (m)	Velocità onde S (m/s)
3,0	3,0	374
13,0	10,0	261
20,3	7,3	313
indefinito	indefinito	347

Sismostratigrafia delle onde S

L'analisi dei dati ha consentito di stimare un valore di V_{seq} , per i primi 30 m dal piano campagna, pari a **307 m/s**. Considerando il profilo delle velocità delle onde di taglio ottenuto, il suolo di fondazione rientra nella **categoria C**.

Di seguito si riporta l'ubicazione dell'indagine MASW 1



Ubicazione dell'indagine MASW 1



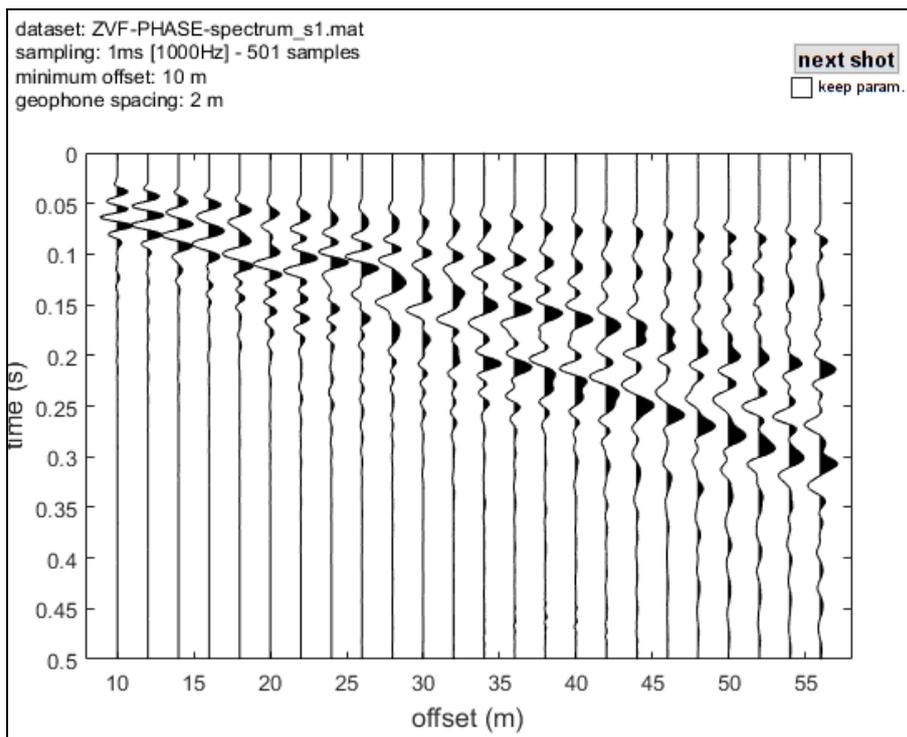
Esecuzione MASW 1

MASW 2

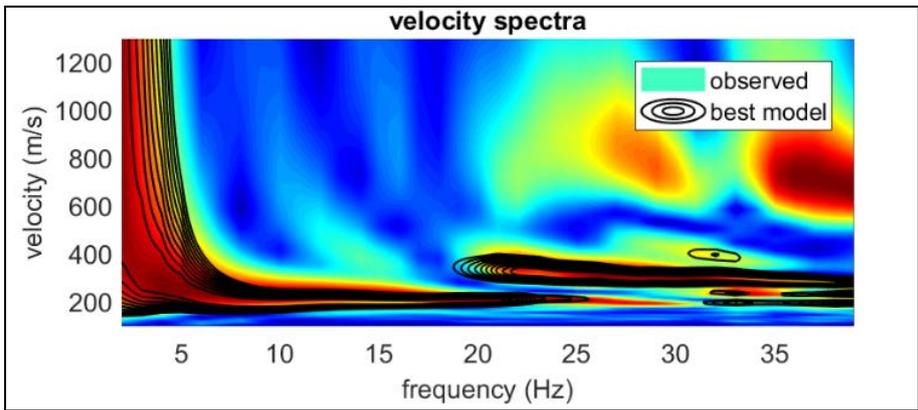
L'indagine MASW 2 è stata eseguita, utilizzando 24 geofoni verticali con distanza intergeofonica di 2,00 m per una lunghezza pari a 46.0 m ed una distanza di scoppio dal primo geofono (offset) pari a 10,0 m.

In fase di elaborazione sono stati considerati 24 geofoni, ed un tempo di acquisizione di 0,50 secondi (Fig. 28), esclusivamente per snellire la fase di calcolo senza alterare in nessuna maniera il calcolo dello spettro di velocità (Dal Moro – 2014 – Surface Wave Analysis for near surface application). Gli spettri sono stati analizzati tra 2 Hz e 40 Hz.

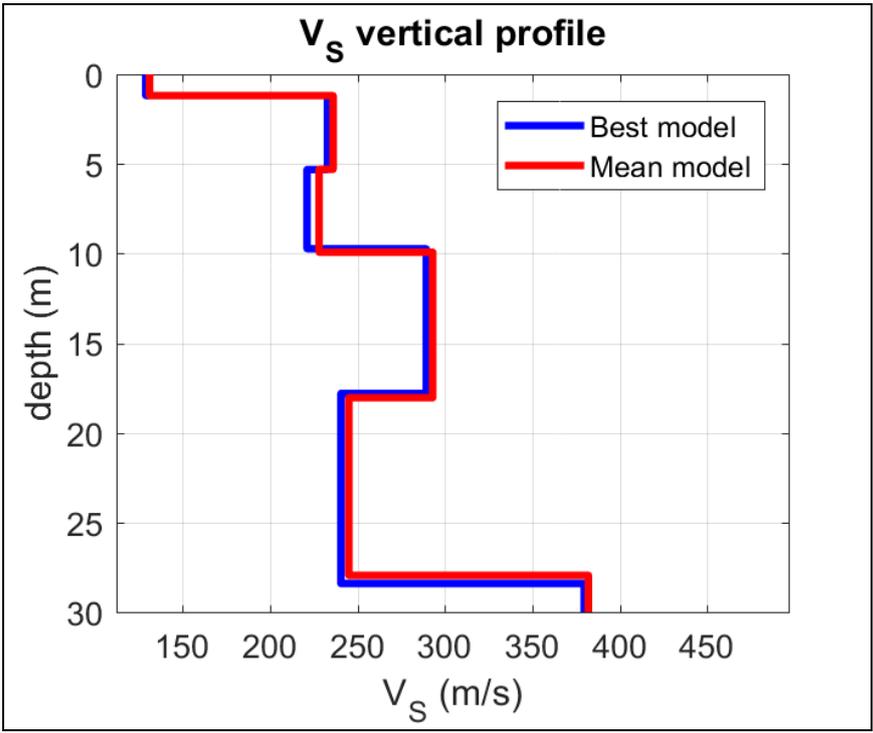
Di seguito si riportano le risultanze dell'indagine eseguita:



Dataset di acquisizione onde di Rayleigh



Spettro di velocità e curva di dispersione onde di Rayleigh



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

La curva di dispersione individuata ha trovato un best fitting nel modello sismostratigrafico sopra riportato (linea blu).

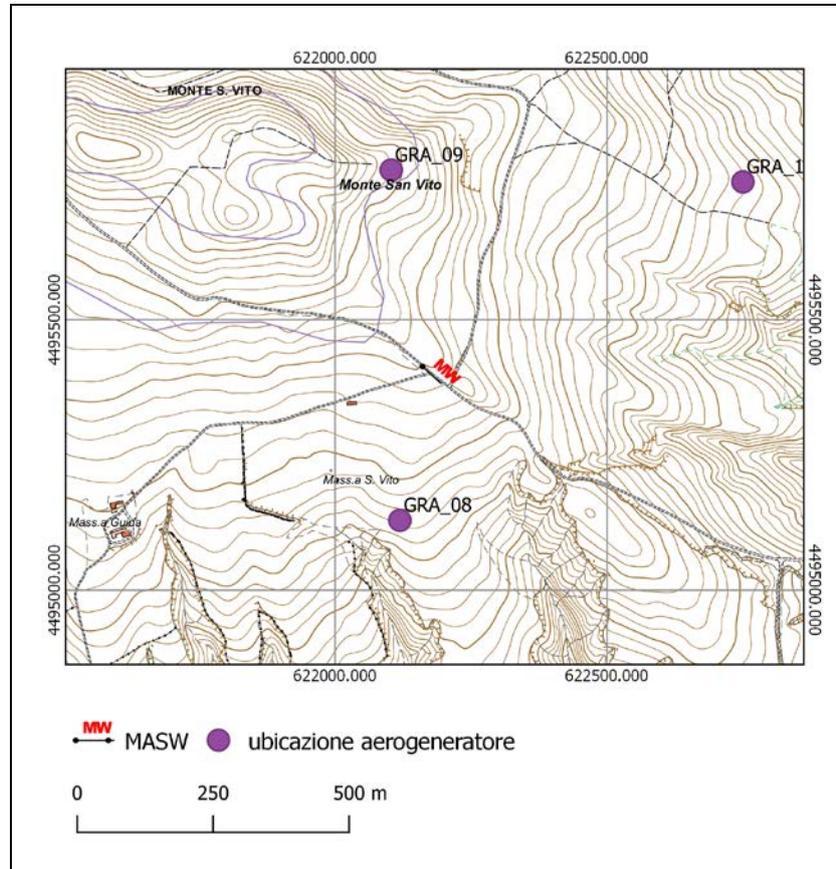
Di seguito si riporta il dettaglio del profilo di velocità delle onde S.

Profondità dal piano campagna (m)	Spessore del sismostrato (m)	Velocità onde S (m/s)
1,2	1,2	129
5,3	4,10	233
9,7	4,40	221
17,7	8,0	289
28,2	10,50	240
indefinito	indefinito	380

Tab.2 - Sismostratigrafia delle onde S

L'analisi dei dati ha consentito di stimare un valore di V_{seq} , per i primi 30 m dal piano campagna, pari a **243 m/s**. Considerando il profilo delle velocità delle onde di taglio ottenuto, il suolo di fondazione rientra nella **categoria C**.

Di seguito si riporta l'ubicazione dell'indagine MASW 2



Ubicazione MASW 2



Ubicazione indagine MASW 2

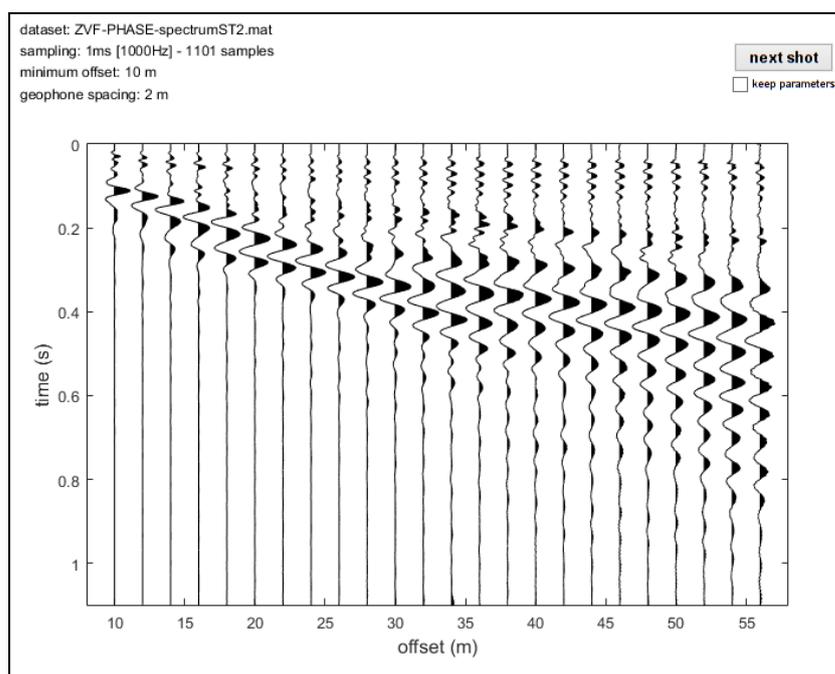
MASW 3

L'indagine Masw 3 in oggetto è stata eseguita, utilizzando 24 geofoni da 4,5 Hz con distanza intergeofonica di 2,00 m per una lunghezza pari a 46,0 m ed una distanza di scoppio dal primo geofono pari a 10,0 m.

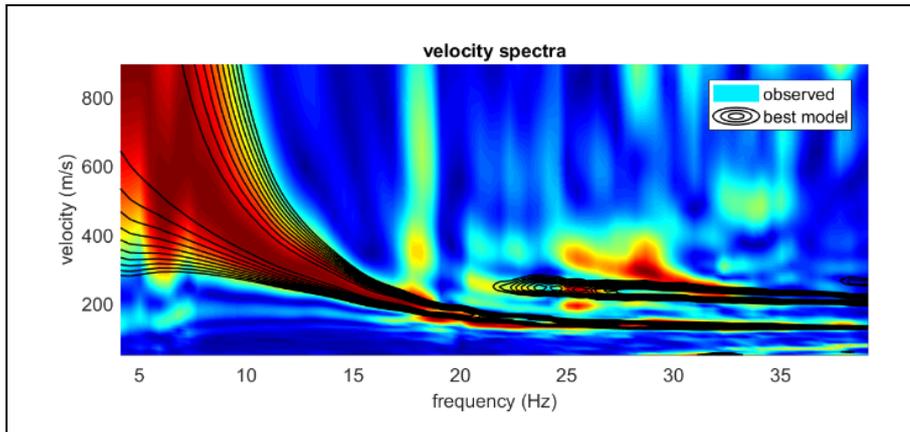
In fase di elaborazione sono stati considerati 24 geofoni, ed un tempo di acquisizione di 1,1 secondi esclusivamente per snellire la fase di calcolo senza alterare in nessuna maniera il calcolo dello spettro di velocità (Dal Moro – 2014 – Surface Wave Analysis for near surface application).

Lo spettro è stato analizzato tra 4 Hz e 40 Hz.

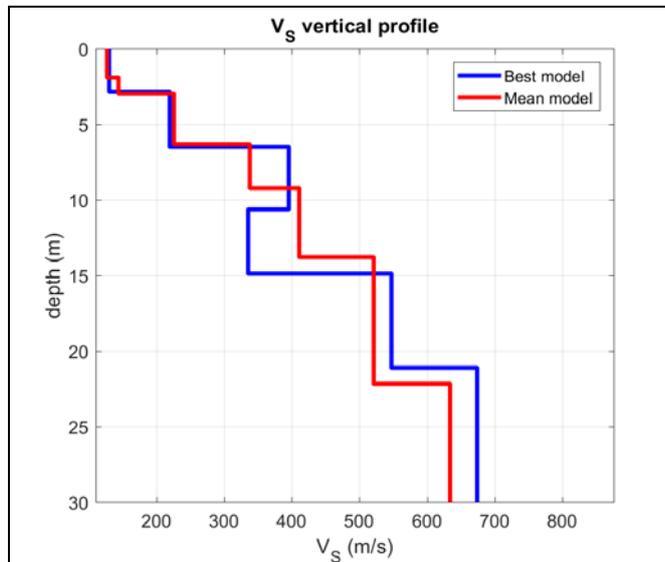
Di seguito si riportano le risultanze dell'indagine eseguita:



Dataset di acquisizione onde di Rayleigh



Spettro di velocità e curva di dispersione individuata con metodo FVS



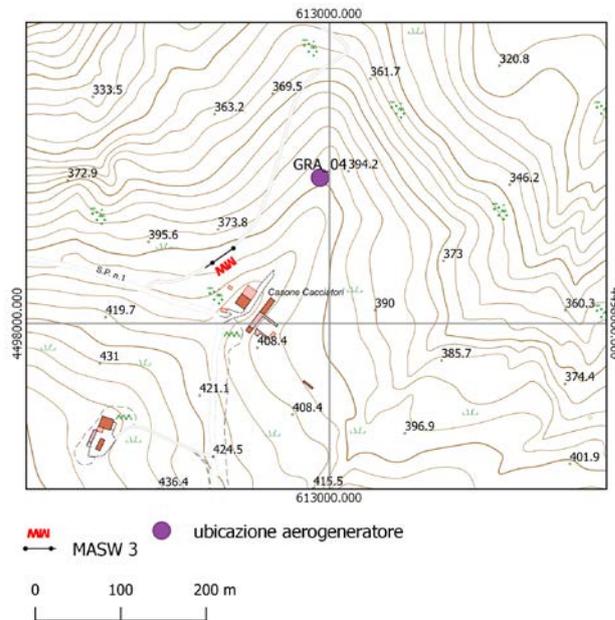
Profilo delle velocità delle onde S

Di seguito si riporta il dettaglio del profilo di velocità delle onde S.

Profondità dal piano campagna (m)	Spessore del sismostrato (m)	Velocità onde S (m/s)
2,9	2,9	130
6,5	3,6	220
10,5	4,0	396
14,7	4,2	336
21,0	6,3	547
indefinito	indefinito	674

Sismostratigrafia delle onde S

L'analisi dei dati ha consentito di stimare un valore di V_{seq} , per i primi 30 m dal piano campagna, pari a 348 m/s. Considerando il profilo dei velocità delle onde di taglio ottenuto, il suolo di fondazione è inserito nella categoria C.



Ubicazione indagine MASW 3

CONSIDERAZIONI GENERALI

E' opportuno eseguire canali di scolo a monte e a valle degli aerogeneratori in modo tale da evitare dilavamenti ed imbibizione dei termini argillosi. Le acque di precipitazione devono essere allontanate a valle attraverso una razionale rete di scolo che raggiungerà l'impluvio più vicino. La stabilità delle aree di imposta degli aerogeneratori sarà assicurata nel tempo solo se ogni piazzola sarà provvista di una adeguata rete di drenaggio fino ai fossi collettori più vicini.

Particolare attenzione verrà riposta nella sistemazione idrogeologica di uno smottamento interessante il previsto cavidotto nei pressi dell'aerogeneratore GRA1 mentre una frana è in via di sistemazione da parte dell'autorità comunale nei pressi della S.C. Fontana di Lupo, anche questa interessata dal percorso del cavidotto. Anche il tratto di pista posto in area R3 a valle dell'aerogeneratore n.9 necessiterà di opere di presidio idraulico in quanto le esistenti non assolvono più la loro funzione.

Per quanto concerne la tipologia fondazionale delle aerogeneratori, relativamente ai caratteri di portanza dei terreni esaminati, si ritiene dover consigliare di eseguire fondazioni di tipo indiretto su pali. Chiaramente in fase esecutiva saranno eseguite indagini dirette e indirette sulle aree di imposta dei singoli aerogeneratori per poter definire o incrementare i caratteri di stabilità delle singole aree.