



REGIONE SICILIA
 PROVINCIA RAGUSA
 COMUNE DI ACATE



**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO SITO IN C/DA PAVAVONE NEL COMUNE DI ACATE, COMPRESO LE OPERE PER LA CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA IN AT NEL COMUNE DI CHIARAMONTE GULFI (RG)
 POT. IMMISSIONE 38,60 MW - POT. IMPIANTO 38,8332 MWp**

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Sismica

redatta ai sensi del D.M. 17/01/2018

Titolo elaborato

Committente



Sviluppo



Progettazione



Firme



P01/22	PVI1SIA11	P01/Acate/SIA/PVI1SIA11		A4	
Commessa	Cod. elaborato	Nome file	Scala	Formato	Foglio

00	20.05.2022	Emissione	XX	XX	XX
Rev.	Data	Oggetto revisione	Redatto	Verificato	Approvato

INDICE

1	INTRODUZIONE	2
2	INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE	4
2.1	Cenni sulla sismica a rifrazione	4
2.2	Strumentazione e tecniche utilizzate	7
3	INDAGINE DI SISMICA MASW	9
3.2	Cenni sulla metodologia di indagine	9
3.3	Strumentazione MASW e tecniche utilizzate	12
4	RISULTATI DELLE INDAGINI DI SISMICA A RIFRAZIONE	13
4.1	Prospezione sismica a rifrazione Rz1-Rz2	13
4.2	Prospezione sismica a rifrazione Rz3	29
5	RISULTATI DELLE INDAGINI DI SISMICA MASW	37
5.1	Infagini di sismica MASW	38
6	CONCLUSIONI	41

1. INTRODUZIONE

La Società PV ITALY 1 S.R.L. intende Realizzare nel Comune di Acate (RG) in contrada Pavanone, un impianto Agrofotovoltaico ad inseguimento mono-assiale da 38.833,20 kW. L'impianto FV sarà connesso alla rete elettrica nazionale in virtù della STMG proposta dal gestore della rete Terna S.p.A. (codice pratica: **202001828**) e relativa ad una potenza elettrica in immissione pari a 38,60 MW. Lo schema di collegamento alla RTN prevede il collegamento con cavo interrato a 36 kV di lunghezza pari a circa **21,6 km** (misurato a partire dalla Cabina Generale Utente) con la sezione a 36 kV fino all'esistente SST "Chiaramonte Gulfi".

Lo studio è stato condotto dallo scrivente Dott. Geol. Michele Ognibene regolarmente iscritto all'Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia al n. 3003 Sez. A, al fine di determinare le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dei terreni su cui insiste l'area in oggetto, attenzionando, in particolare, la presenza di eventuali pericolosità geomorfologiche e la compatibilità tra l'assetto geologico l.s. del sottosuolo e le opere da realizzare.

Il seguente studio geologico è stato redatto ai sensi della circolare ARTA 3/DRA del 20/06/2014 e del D.M. 17/01/2018 con i seguenti scopi:

- ✓ Fornire un quadro conoscitivo sufficiente per illustrare le caratteristiche geologiche del territorio in esame e identificare le eventuali situazioni locali che presentino livelli di pericolosità geologica tali da poter influenzare, in modo significativo, le scelte progettuali;
- ✓ Specificare le condizioni geologiche e idrogeologiche, con particolare riguardo all'accertamento delle condizioni di stabilità della zona e all'individuazione di eventuali processi morfodinamici in atto e la loro tendenza evolutiva;
- ✓ Delineare gli aspetti geologici e tettonici del territorio e definirne natura e composizione dei litotipi affioranti, nonché la loro geometria e il loro assetto strutturale;
- ✓ Ricostruire la locale successione stratigrafica;
- ✓ Indicare le eventuali prescrizioni e gli eventuali accorgimenti tecnici affinché le condizioni di pericolosità non si aggravino o si manifestino nella zona in progetto.
- ✓ Identificare le situazioni locali che presentino livelli di pericolosità sismica.

Saranno, pertanto, illustrati gli aspetti morfologici, geologici, idrografici e sismici dell'area, inquadrati nella più vasta geologia regionale, con riferimento anche alle condizioni di stabilità.

Per assolvere all'incarico conferitogli, lo scrivente ha eseguito:

- ✓ Il sopralluogo preliminare, al fine di accertare la reale situazione dei luoghi e lo stato delle strutture ivi insediate.
- ✓ La ricerca bibliografica, allo scopo di ricostruire, sulla base degli studi svolti da numerosi autori italiani e stranieri, il quadro generale della storia geologica e strutturale della zona.
- ✓ Il rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio, in una zona estesa al contorno, in modo da avere un quadro d'insieme indicativo e, quindi, inquadrare il sito nell'ambito di un contesto geolitologico e geomorfologico più ampio.
- ✓ L'analisi di n.3 indagini di sismica a rifrazione (identificate con le sigle RZ1, RZ2 e RZ3) che ha consentito di individuare le principali discontinuità grazie alla velocità delle onde P e di ricostruire il modello sismo-stratigrafico del sottosuolo in esame.
- ✓ L'analisi di n.3 acquisizioni di sismica MASW (identificate con le sigle MW1, MW2 MW3) eseguita entro l'area oggetto di studio, ai sensi dell'OPCM n. 3274 del 20/03/2003 (GU n.252 del 29/10/2003) e dalle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17 Gennaio 2018.

Il lavoro ha inoltre portato alla redazione di allegati cartografici che ne costituiscono parte integrante.

2. INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE

2.1 CENNI SULLA SISMICA A RIFRAZIONE

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 rifrattore). 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 λ , 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 λ , equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_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:

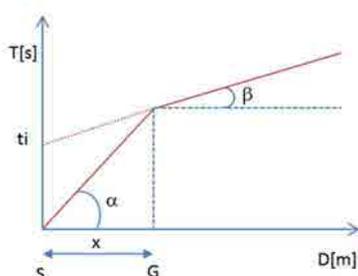
$$T = x_i / V_1$$

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

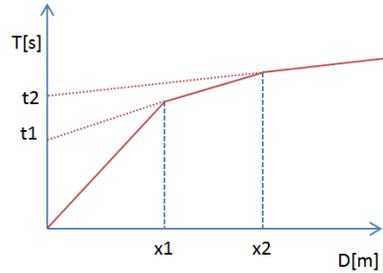
L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi- distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come:

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

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.



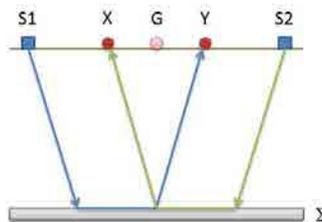
La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, 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 rifratore.



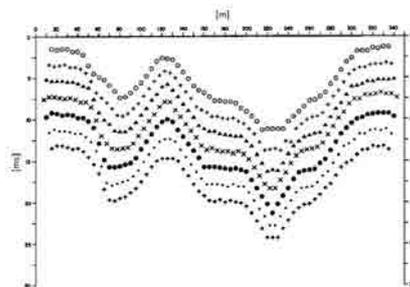
Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifratore 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 TS1Y e TS2X sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 a X e dalla sorgente S2 a Y mentre TS1S2 è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. Tv è il tempo calcolato su un geofono G posto tra X e Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento. Il calcolo della funzione Tv 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 Vn 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°.

2.2 STRUMENTAZIONE E TECNICHE UTILIZZATE

Le indagini sono state eseguite utilizzando il sismografo digitale della Sara electronic instruments® dotato di un sistema di acquisizione fino a 24 canali e convertitore A/D a 24 bit. La prova è stata realizzata mediante uno stendimento lineare, lungo un terreno di copertura, con n°16 trasduttori di velocità verticali (geofoni) con frequenza di vibrazione propria di 4,5Hz dotati di memoria e convertitori a/d in grado di digitalizzare il segnale già in corrispondenza del cavo (sismografo Do.Re.Mi); i canali a sua volta sono collegati ad un'unità di testa collegata ad un personal computer portatile. L'attrezzatura risulta, inoltre, dotata di un sistema di trigger che consiste in un geofono indipendente posto a fianco della piastra di battuta, che dà il segnale di start al sismografo; Nello stendimento i geofoni sono stati posizionati ad una distanza intergeofonica di 1 metro mentre l'acquisizione è stata effettuata con un tempo di registrazione $T = 256 \text{ ms}$ ed un intervallo di campionamento $\Delta t = 250 \mu\text{s}$. Per l'energizzazione è stata usata una mazza da 8 kg ed un piattello in PVC 20x20 cm; in tutto sono state effettuate numero 3 energizzazioni. Per ottenere una traccia con un buon rapporto segnale/rumore, sono state eseguite tre energizzazioni per ogni punto di battuta rispettivamente, tra l'8° e il 9° geofono. Inoltre ulteriori 2 battute poste a 2 metri dall'ultimo e dal primo geofono come da schema riportato in figure 2.2.1.

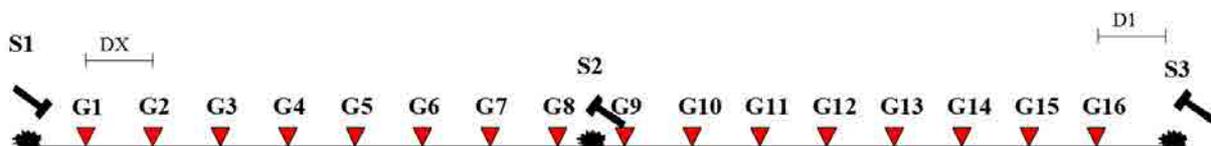


Fig. 2.2.1: Geometria tipo dello stendimento sismico.

Per l'ubicazione su stralcio planimetrico vedi la carta delle indagini.

3. INDAGINE DI SISMICA MASW

3.1 CENNI SULLA METODOLOGIA DI INDAGINE 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.

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.

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.

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.

È 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.

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.

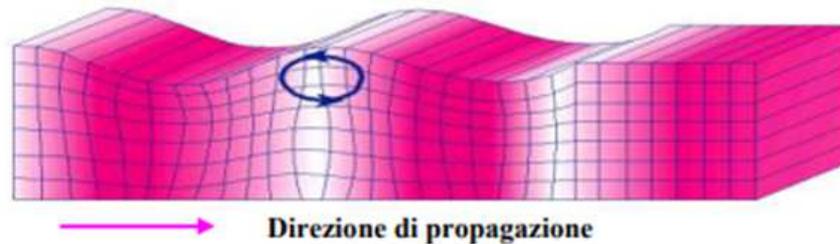
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Il metodo si basa sul rilievo di onde di superficie (onde di Rayleigh); queste si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente e sono polarizzate in un piano verticale. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera.

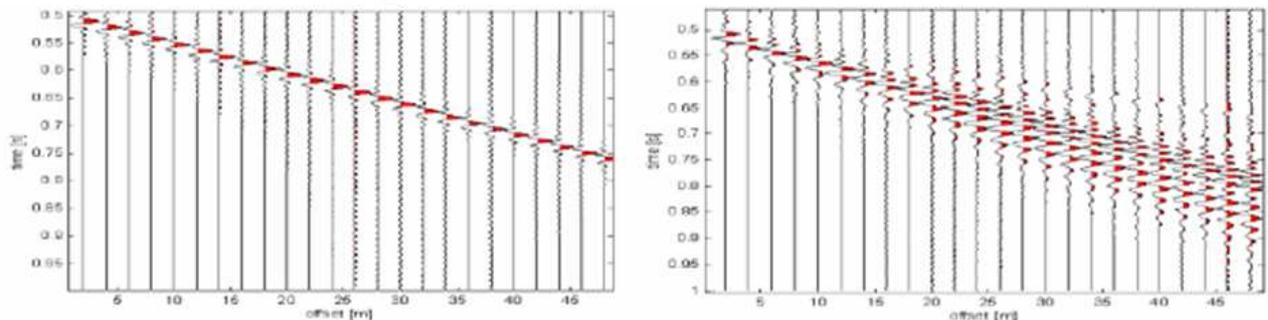
L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado alla direzione di propagazione delle onde che vengono così generate.

Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a $0.92V_s$. In un mezzo

disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e $0.92 V_s$. La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).



La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle V_s , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati. Ciò consente, analizzando la variazione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che dipende dall'inverso della lunghezza d'onda), di determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite il processo d'inversione.



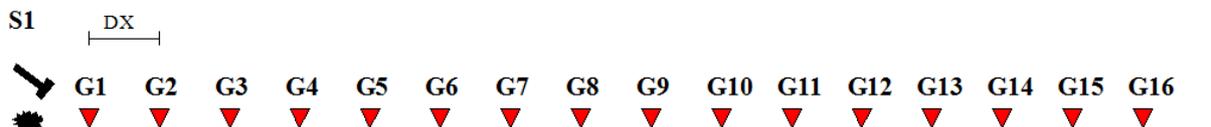
Il metodo MASW consente in genere di valutare le velocità di fase in un intervallo di frequenze tra 5 Hz e 70 Hz, permettendo quindi di indagare i primi 30 - 50 metri di terreno, in funzione della rigidità del suolo.

Una volta misurata in situ la velocità di fase (o curva di dispersione apparente) delle onde superficiali essendo questa funzione della velocità delle onde di taglio V_s (oltre che della natura del terreno e degli spessori degli strati) è possibile risalire al valore di queste ultime attraverso un processo d'inversione, in genere attraverso una procedura automatica tramite software che variando opportunamente spessore degli strati e velocità V_s cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale della velocità di fase misurata in situ e la curva numerica elaborata. In genere quando

l'errore relativo tra curva sperimentale e curva numerica è inferiore al 10% il profilo di velocità delle onde di taglio Vs rappresenta una soluzione potenzialmente valida.

3.2 STRUMENTAZIONE MASW E TECNICHE UTILIZZATE

La strumentazione utilizzata è composta da: un acquisitore a 24 canali della SARA Electronics Instruments® a 16 bit (registratore DOREMI), 16 geofoni a frequenza di 4.5 Hz e da un personal computer. Come sistema di energizzazione è stata utilizzata una mazza di 8 kg battente su un piattello in pvc. L'indagine MASW è stata realizzata predisponendo uno stendimento lineare di 16 metri di lunghezza con 16 geofoni a 4.5 Hz equidistanziati di 1 metro. Per l'acquisizione dei dati sono state effettuate ripetute energizzazioni disposte alle estremità del profilo ad una distanza di 2 metri dal primo geofono come da schema allegato.



I dati sono stati elaborati tramite il software Easy Masw. L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "f-k" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica. In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie. Sullo spettro di frequenza viene eseguito un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze. Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione del modello interpretativo. Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fitting" con i valori sperimentali.

I risultati grafici dell'elaborazione sono allegati alla presente relazione.

4. RISULTATI DELLE INDAGINI DI SIMICA A RIFRAZIONE

La metodologia utilizzata nella prospezione di sismica a rifrazione consta di diverse fasi di elaborazione. Preliminarmente, sono stati individuati nei sismogrammi i primi arrivi corrispondenti alle onde dirette e rifratte. Dopo aver rilevato i tempi dei primi arrivi sono state tracciate le dromocrone nel diagramma distanza-tempo. Per la ricostruzione del modello sismostratigrafico è stato utilizzato il software Easy Refract, adottando il Metodo Reciproco Generalizzato (GRM), che si basa sulla ricerca, nel diagramma tempi-distanze, di una distanza intergeofonica XY ottimale; tale che i raggi generati in punti opposti arrivino al geofono posto in X e quello posto in Y a partire dallo stesso punto del rifrattore.

4.1 Prospezione sismica a rifrazione Rz1-Rz2

Dalle indagini di simica a rifrazione in Rz1 e Rz2 si riscontra fino ad una profondità variabile di circa 2,5-3,5 metri dal p.c. e risulta ammantato da uno strato di terreno vegetale limo-sabbioso di colore rossastro. Le indagini hanno messo in evidenza la presenza, nei primi 10-12 metri, di un solo orizzonte rifrattore ben definito. Tale interfaccia si presenta con aspetto lievemente ondulato ma nell'insieme con andamento sub-parallelo rispetto alla traccia della superficie topografica.

In definitiva sono stati quindi individuati n°2 sismostrati caratterizzati da velocità delle onde sismiche V_p differenti (Fig. 4.1.1).

- 1° Sismostrato

È caratterizzato da velocità delle onde di compressione V_p , nell'ordine di 382,61 m/s (in Rz1) e di 282,88 m/s (In Rz2), indicative di un orizzonte costituito da terreno vegetale sciolto di colore rossastro e da lenti a livelli discontinui di ciottoli carbonatici di dimensioni variabili immersi in matrice sabbioso - limosa giallo bruna. Lo spessore, in riferimento alla traccia lungo la superficie topografica, risulta piuttosto costante e mediamente valutabile in circa 2,5-3,5 metri.

- 2° Sismostrato

Strato caratterizzato da una V_p di 1635,51 m/s (in Rz1) e di 1382,42 m/s (in Rz2) valore medio compatibile con terreni moderatamente consistenti afferenti a depositi argillo-marnosi azzurre massive o a stratificazione poco evidente.

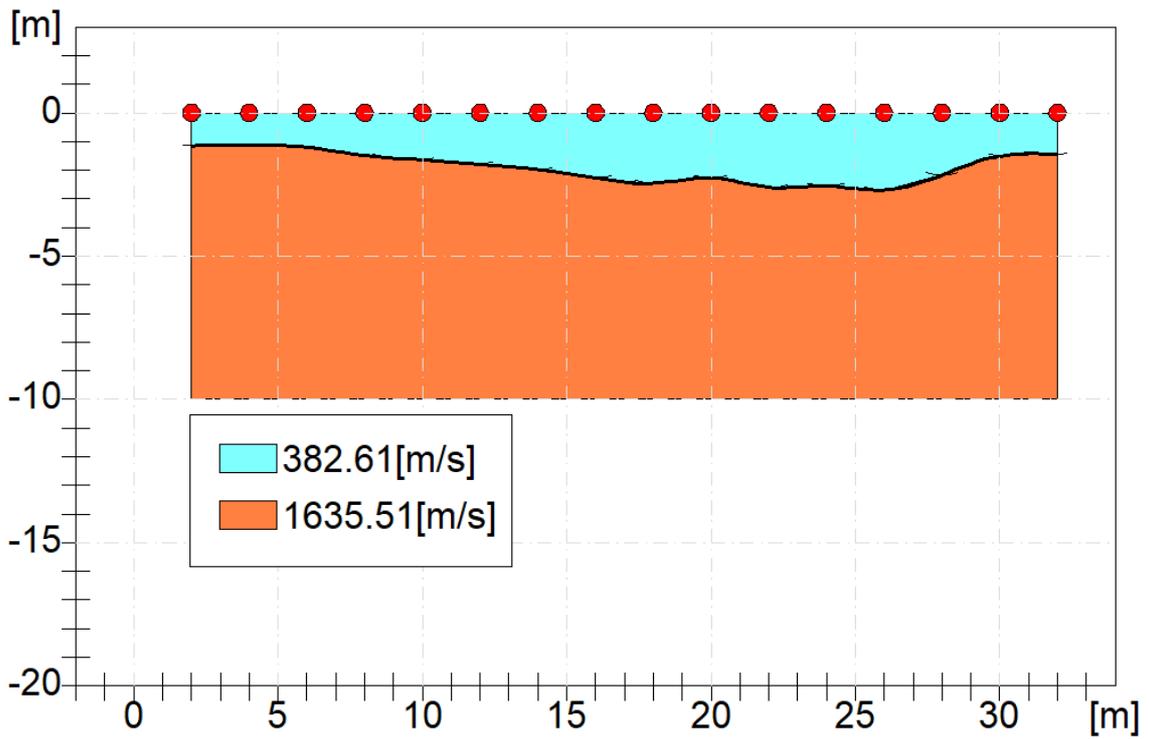


Fig. 4.1.1: Sismo-sezione Rz1 eseguita all'interno del sito.

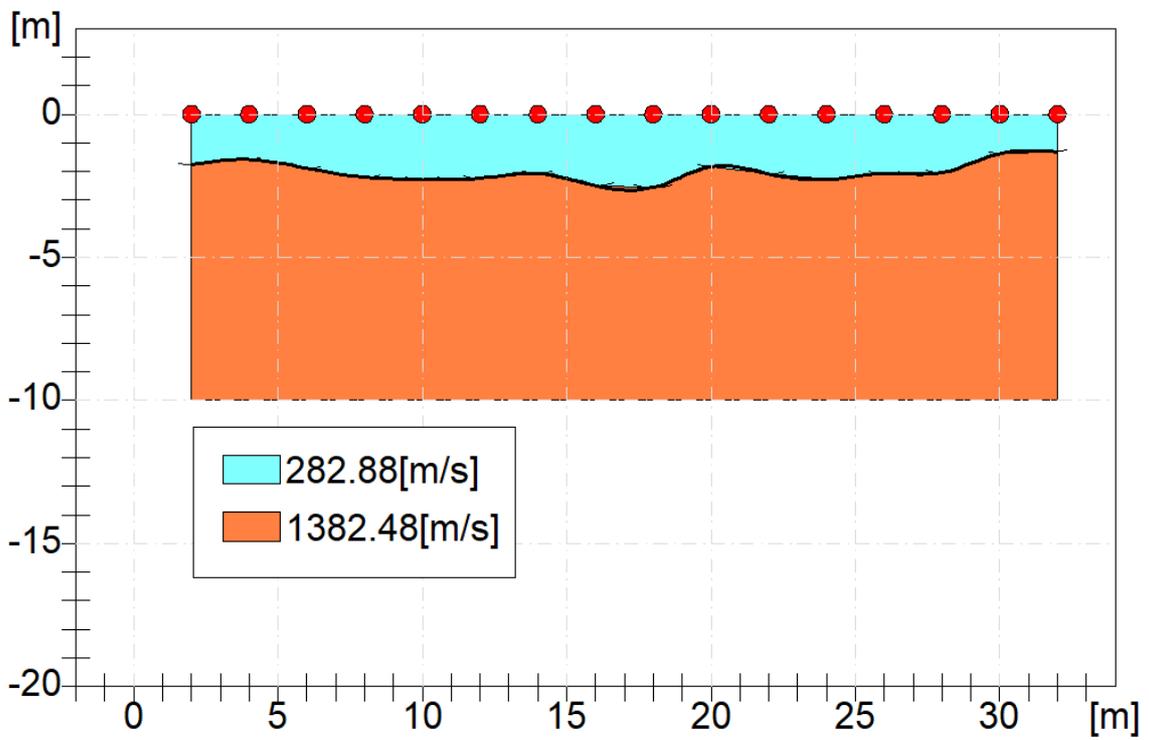


Fig. 4.1.2: Sismo-sezione Rz2 eseguita all'interno del sito.

Tabella 4.1.1 – Sintesi dei risultati dell'indagine sismica in Rz1 e RZ2.

SINTESI DEI RISULTATI			
SISMOSTRATO	PROFONDITA' (m dal p.c.)	Vp (m/s)	CORRELAZIONI GEO-LITOLOGICHE
1	Da -2,5 a -3,5	382,61 - 282,88	Terreno vegetale sciolto di colore rossastro e da lenti a livelli discontinui di ciottoli carbonatici di dimensioni variabili immersi in matrice sabbioso – limosa giallo bruna.
2	Da -2,5 a -3,5 a 10-12	1635,51 - 1382,42	Depositi argillo-marnosi azzurre massive o a stratificazione poco evidente.

ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE Rz1

Geometria geofoni

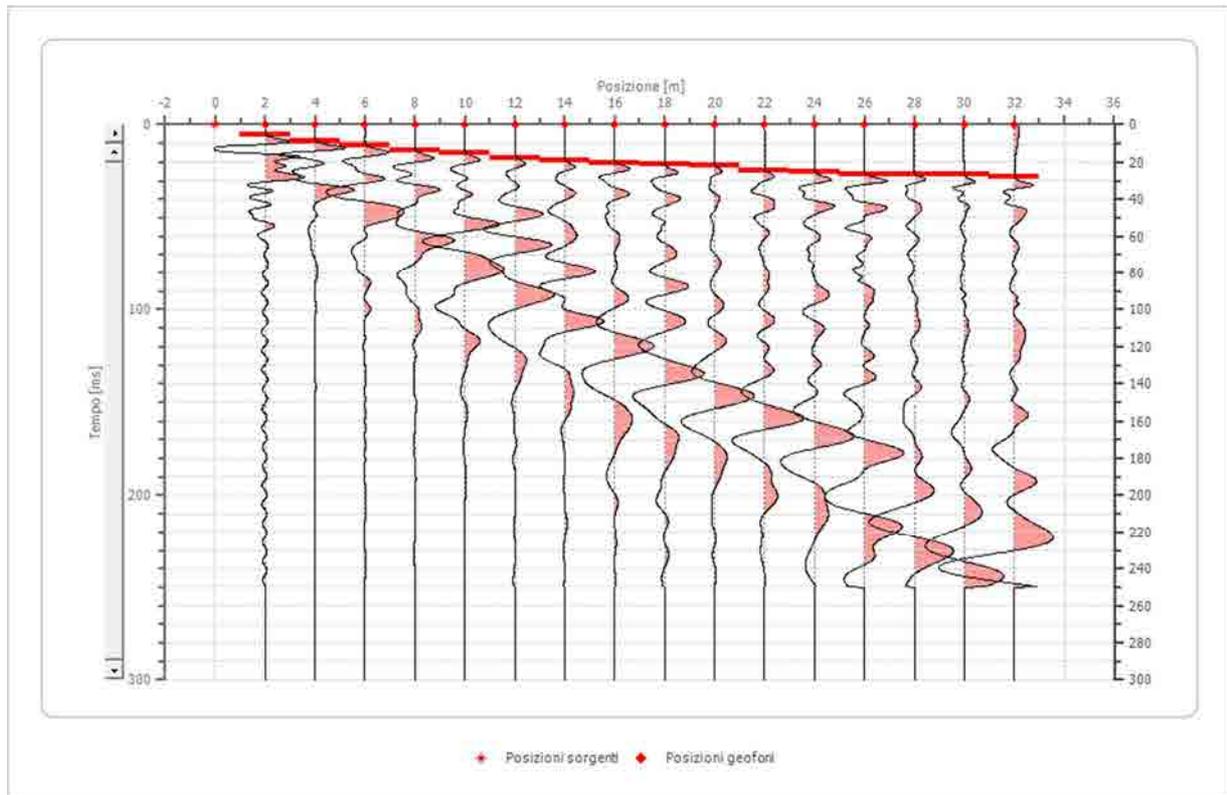
	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.0	0.0
2	4.0	0.0
3	6.0	0.0
4	8.0	0.0
5	10.0	0.0
6	12.0	0.0
7	14.0	0.0
8	16.0	0.0
9	18.0	0.0
10	20.0	0.0
11	22.0	0.0
12	24.0	0.0
13	26.0	0.0
14	28.0	0.0
15	30.0	0.0
16	32.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]



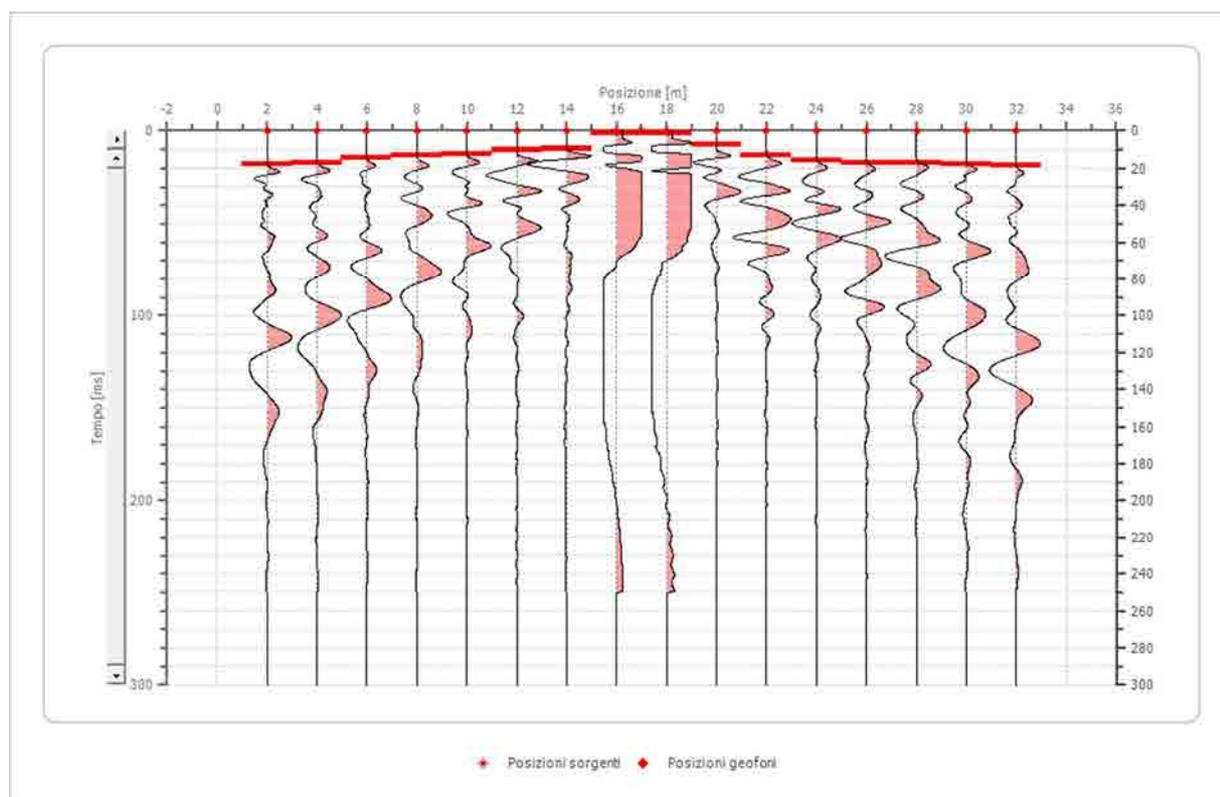
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	5.3450
4.0	8.7464
6.0	10.6900
8.0	13.6054
10.0	15.0632
12.0	17.4927
14.0	18.9504
16.0	20.4082
18.0	21.3800
20.0	21.8659

22.0	24.2954
24.0	25.2673
26.0	26.2391
28.0	26.7250
30.0	26.7250
32.0	28.1827

Battuta 2

Posizione sorgente X 17 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]



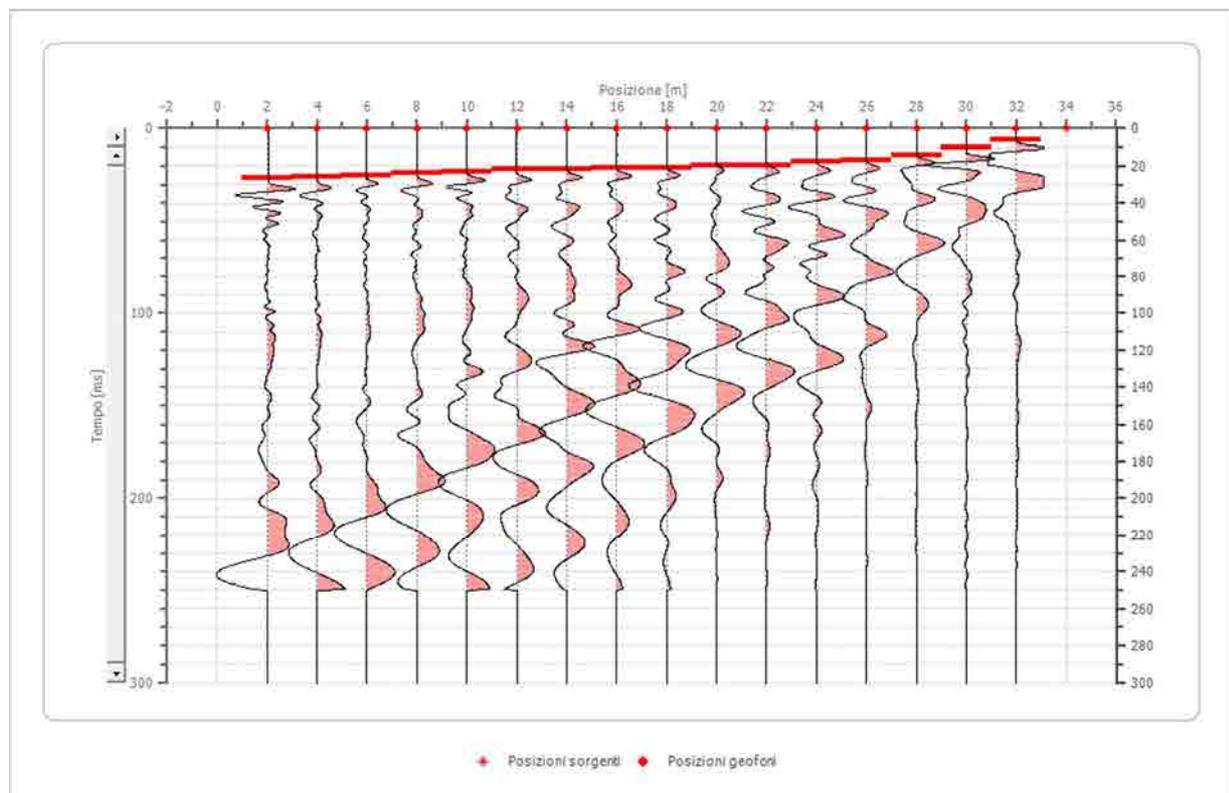
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	17.4927
4.0	17.0068
6.0	14.5773
8.0	13.1195
10.0	12.1477
12.0	10.2041

14.0	9.2323
16.0	1.4577
18.0	1.4577
20.0	7.7745
22.0	13.1195
24.0	15.5491
26.0	17.0068
28.0	17.0068
30.0	17.9786
32.0	18.4645

Battuta 3

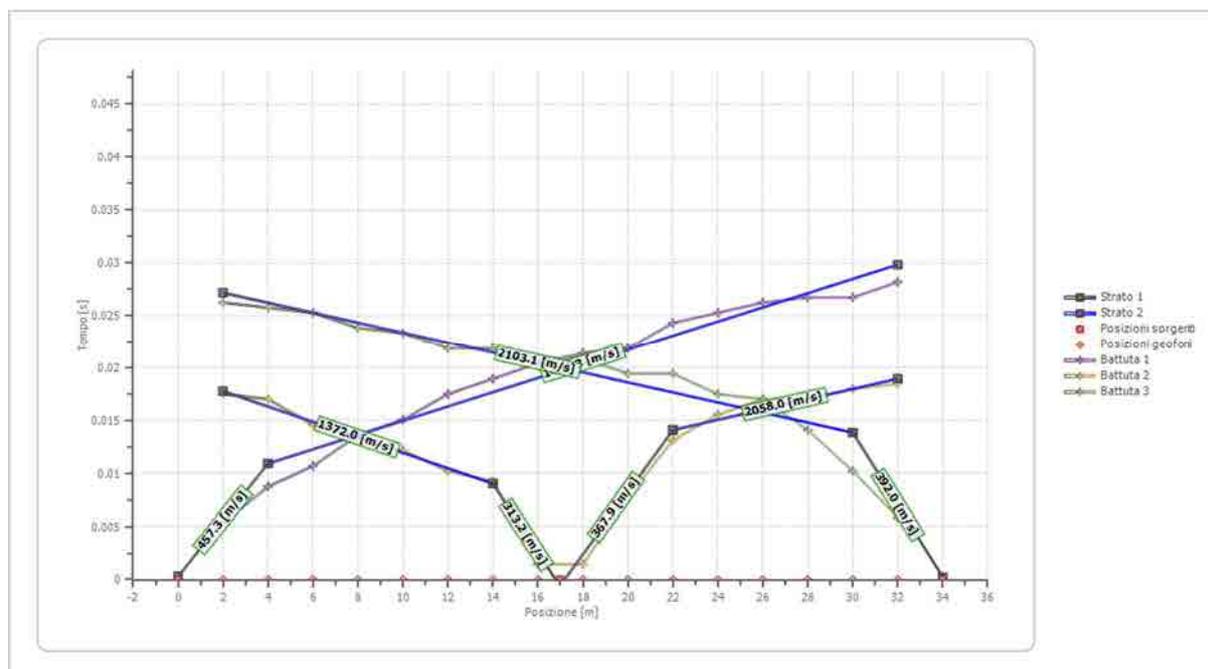
Posizione sorgente X 34 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

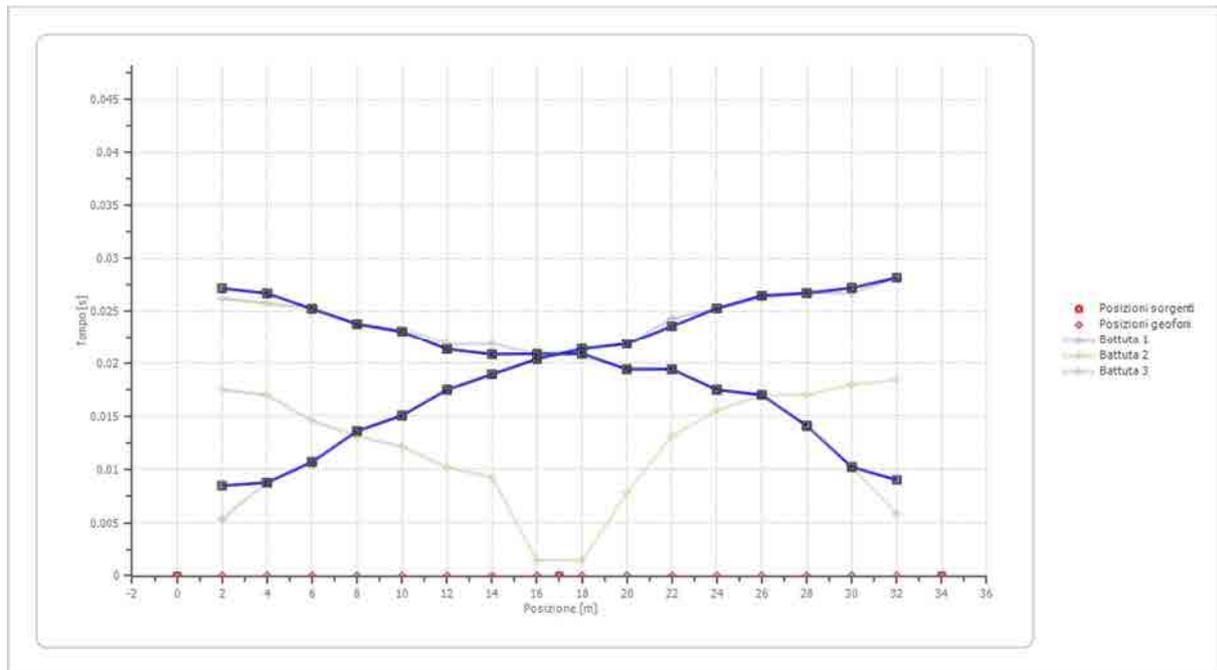


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	26.2391
4.0	25.7532
6.0	25.2673
8.0	23.8095
10.0	23.3236
12.0	21.8659
14.0	21.8659
16.0	20.8941
18.0	20.8941
20.0	19.4363
22.0	19.4363
24.0	17.4927
26.0	17.0068
28.0	14.0914
30.0	10.2041
32.0	5.8309

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G,.R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 2.0 [m]	1.1	--
G= 4.0 [m]	1.1	--
G= 6.0 [m]	1.2	--
G= 8.0 [m]	1.5	--
G= 10.0 [m]	1.6	--
G= 12.0 [m]	1.8	--
G= 14.0 [m]	2.0	--
G= 16.0 [m]	2.3	--
G= 18.0 [m]	2.5	--
G= 20.0 [m]	2.3	--
G= 22.0 [m]	2.6	--
G= 24.0 [m]	2.5	--
G= 26.0 [m]	2.7	--
G= 28.0 [m]	2.2	--
G= 30.0 [m]	1.5	--

G= 32.0 [m]	1.4	--
Velocità [m/sec]	382.6	1635.5
Descrizione		

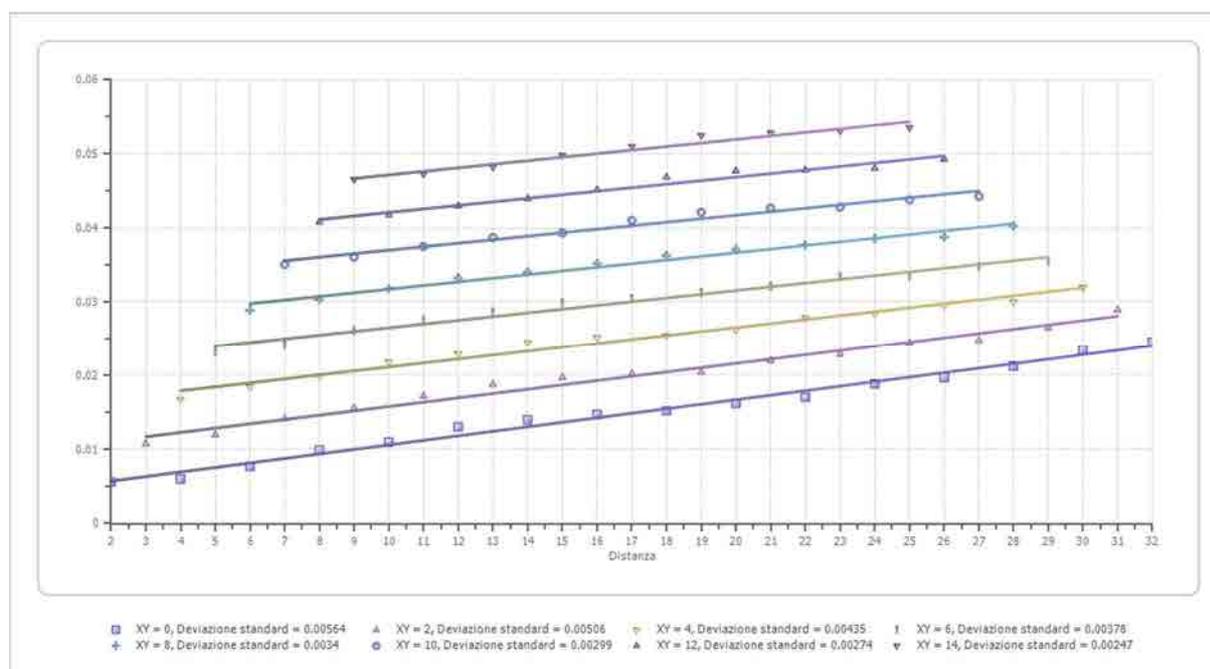
Altri parametri geotecnici

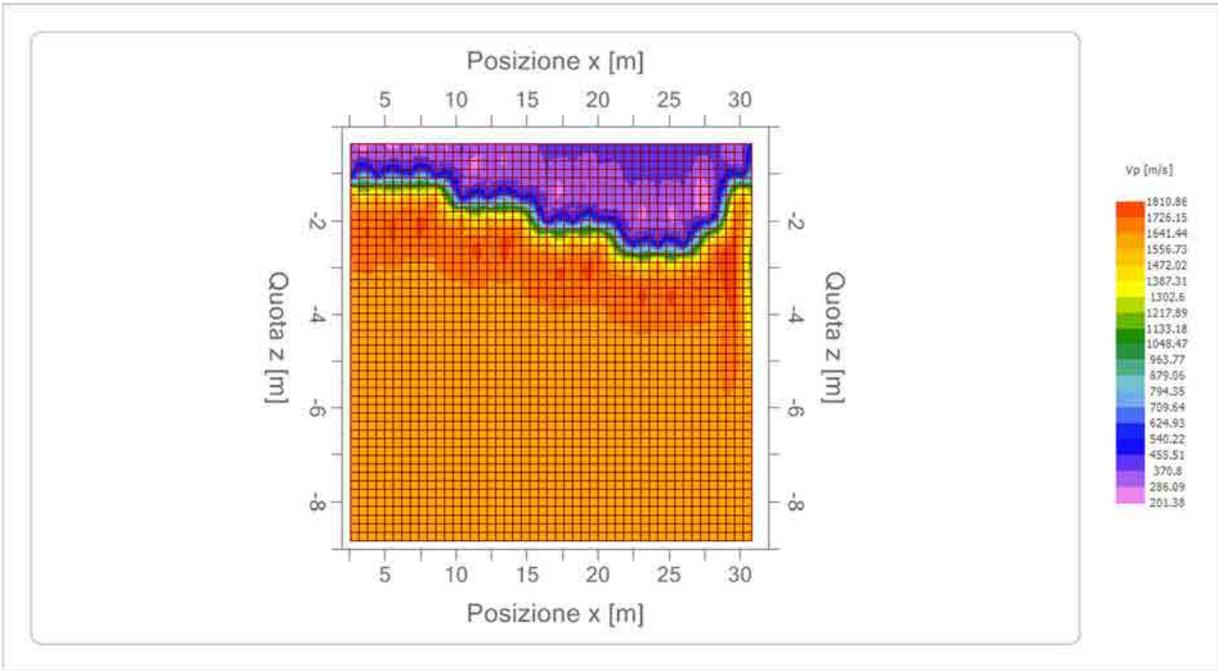
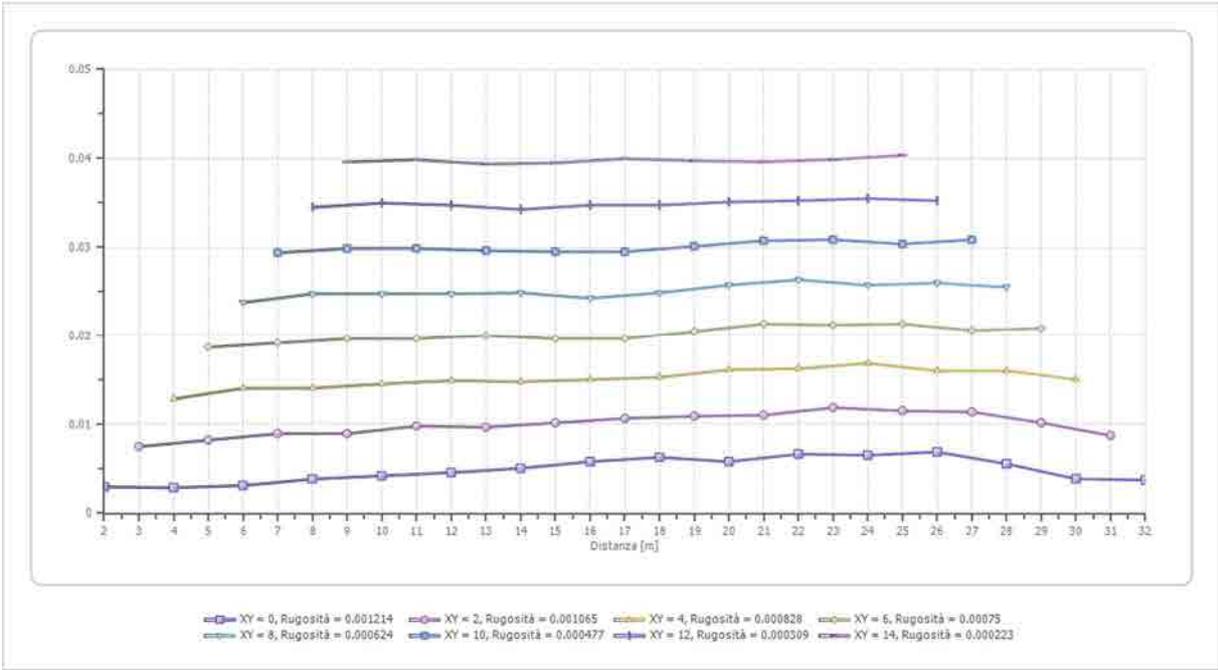
	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1700.00	1800.00
Vp [m/s]	382.61	1635.51
Vs [m/s]	183.80	785.67
G0 [MPa]	57.43	1111.11
Ed [Mpa]	248.87	4814.79
M0 [MPa]	191.44	3703.69
Ey [Mpa]	155.06	2999.99

G0: Modulo di deformazione al taglio; Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;





ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE Rz2

Geometria geofoni

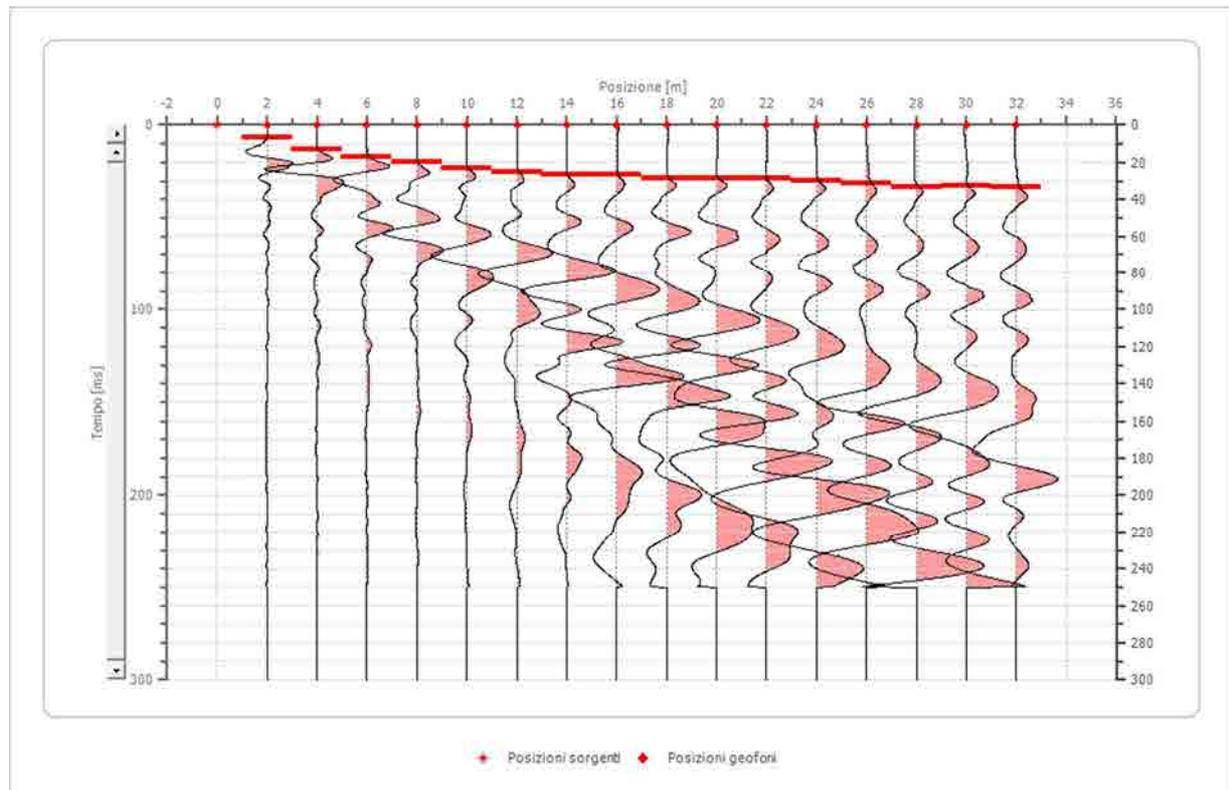
	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.0	0.0
2	4.0	0.0
3	6.0	0.0
4	8.0	0.0
5	10.0	0.0
6	12.0	0.0
7	14.0	0.0
8	16.0	0.0
9	18.0	0.0
10	20.0	0.0
11	22.0	0.0
12	24.0	0.0
13	26.0	0.0
14	28.0	0.0
15	30.0	0.0
16	32.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]

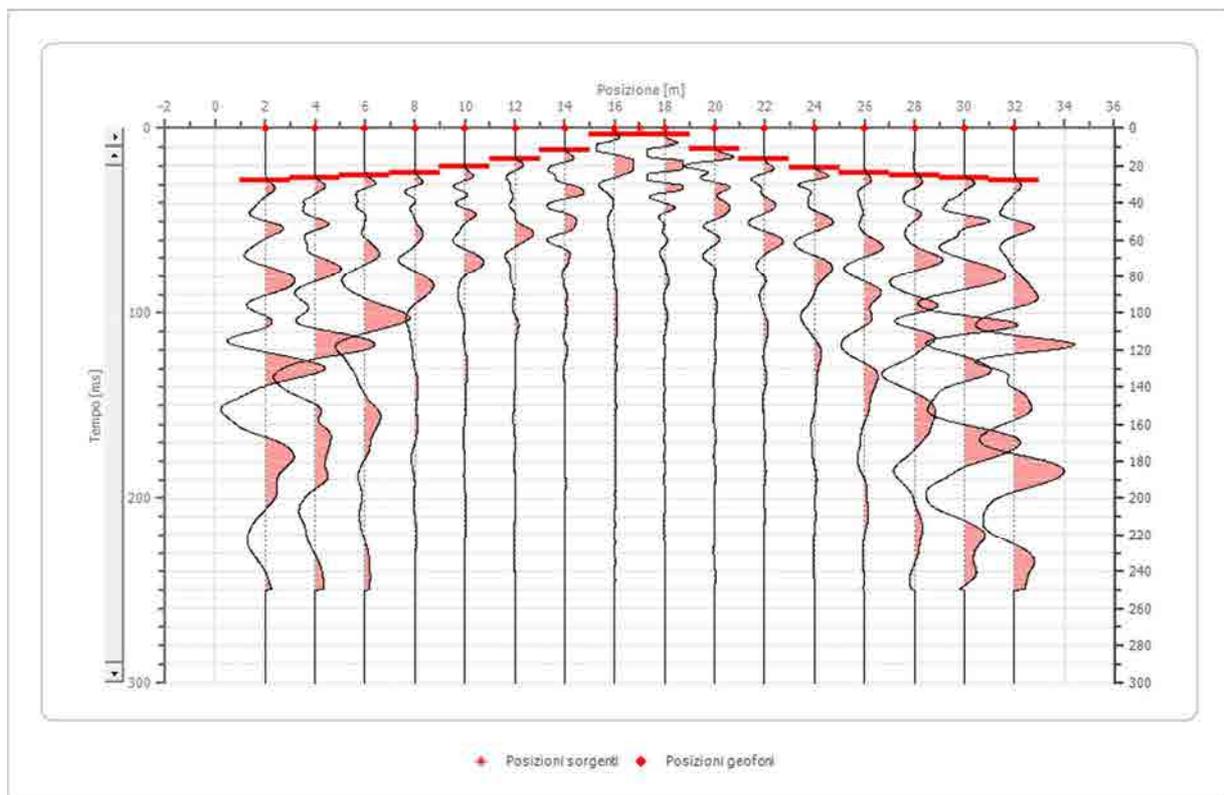
Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	6.8027
4.0	13.1195
6.0	17.0068
8.0	19.9223
10.0	22.8377
12.0	25.2673
14.0	26.2391
16.0	26.7250
18.0	28.6686
20.0	28.6686
22.0	28.6686
24.0	29.6404
26.0	31.0982
28.0	33.0418
30.0	32.5559
32.0	33.5277

Battuta 2

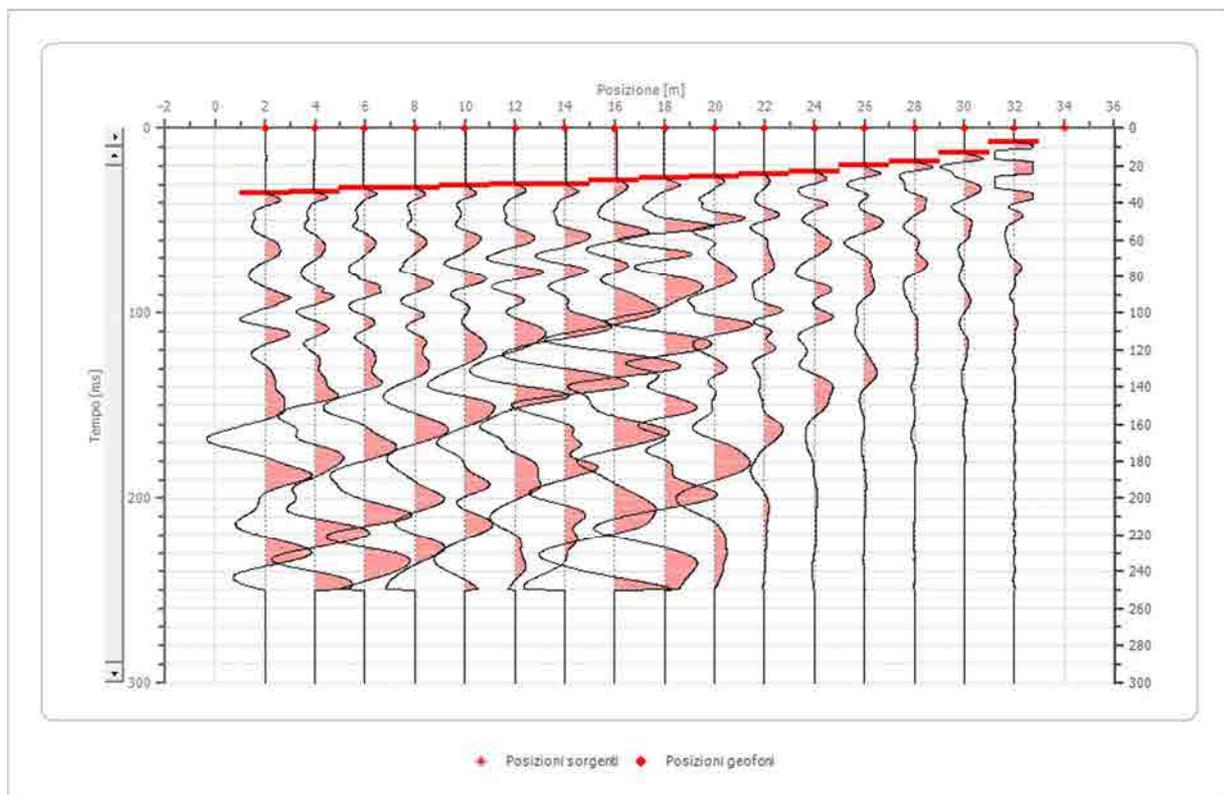
Posizione sorgente X 17 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	27.6968
4.0	26.7250
6.0	25.2673
8.0	23.8095
10.0	20.4082
12.0	16.0350
14.0	11.6618
16.0	3.4014
18.0	3.4014
20.0	11.1759
22.0	16.5209
24.0	21.3800
26.0	23.8095
28.0	25.2673
30.0	26.2391
32.0	27.6968

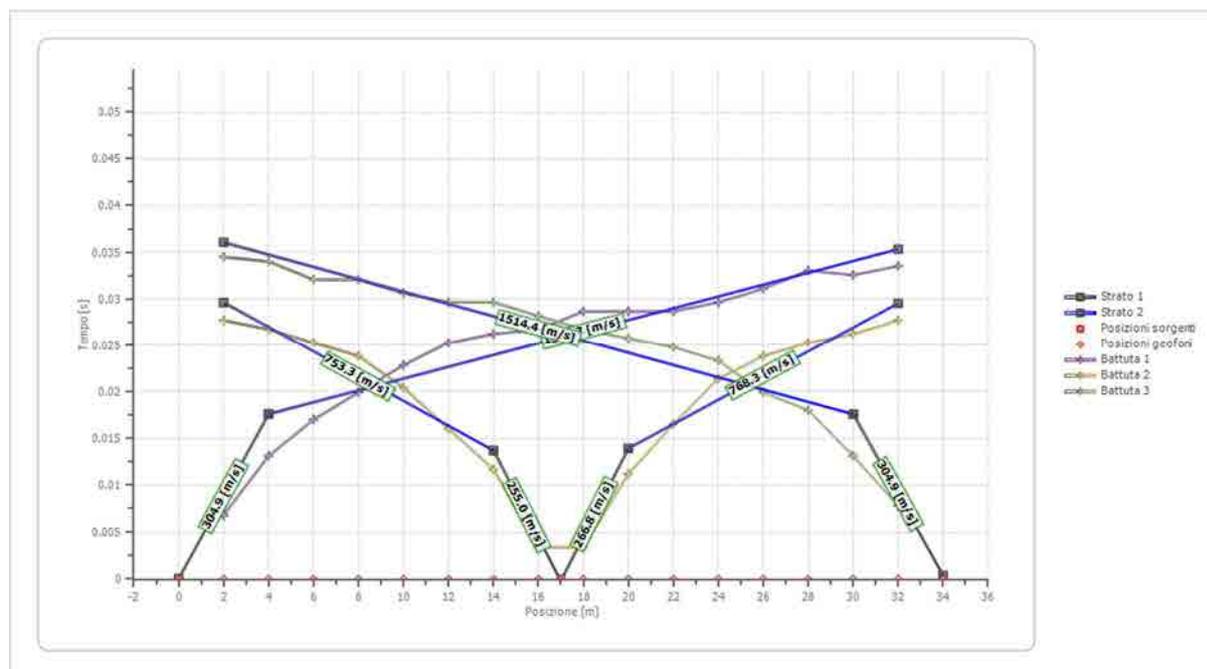
Battuta 3

Posizione sorgente X 34 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

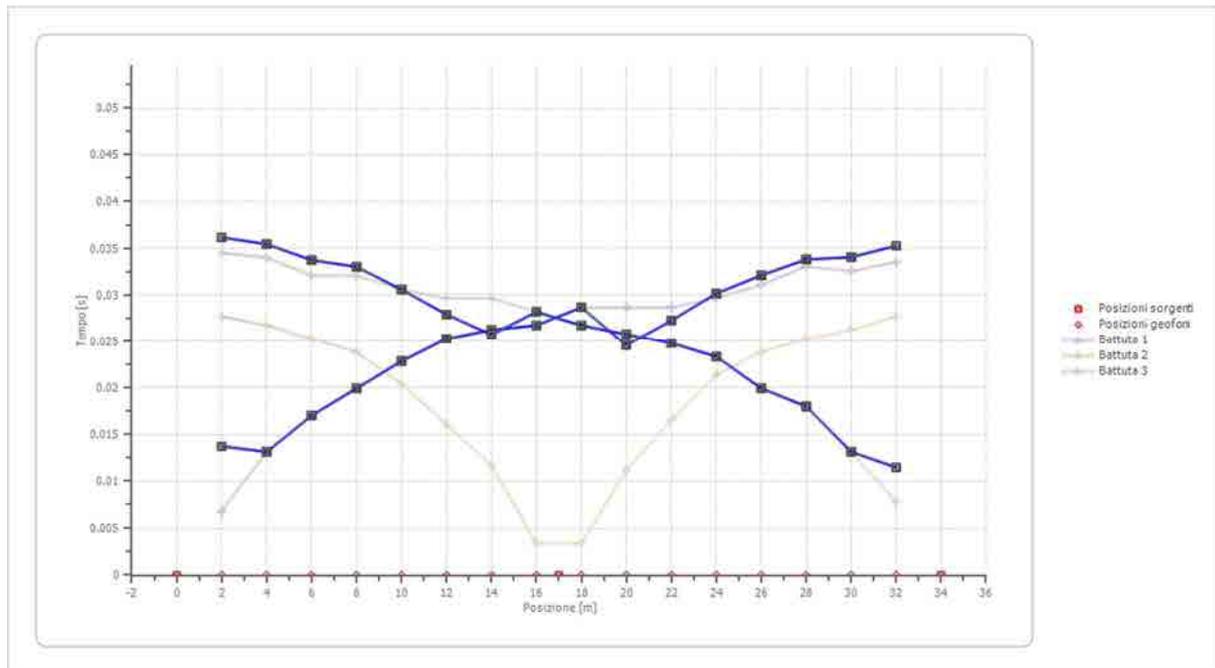


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	34.4995
4.0	34.0136
6.0	32.0700
8.0	32.0700
10.0	30.6122
12.0	29.6404
14.0	29.6404
16.0	28.1827
18.0	26.7250
20.0	25.7532
22.0	24.7813
24.0	23.3236
26.0	19.9223
28.0	17.9786
30.0	13.1195
32.0	7.7745

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G,.R.M.

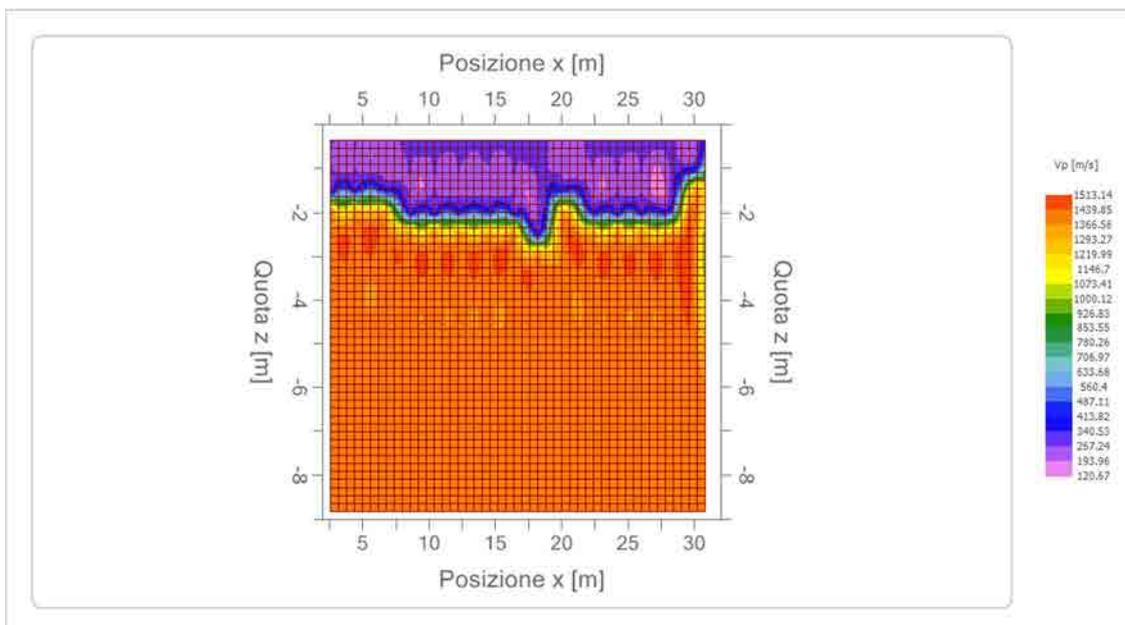
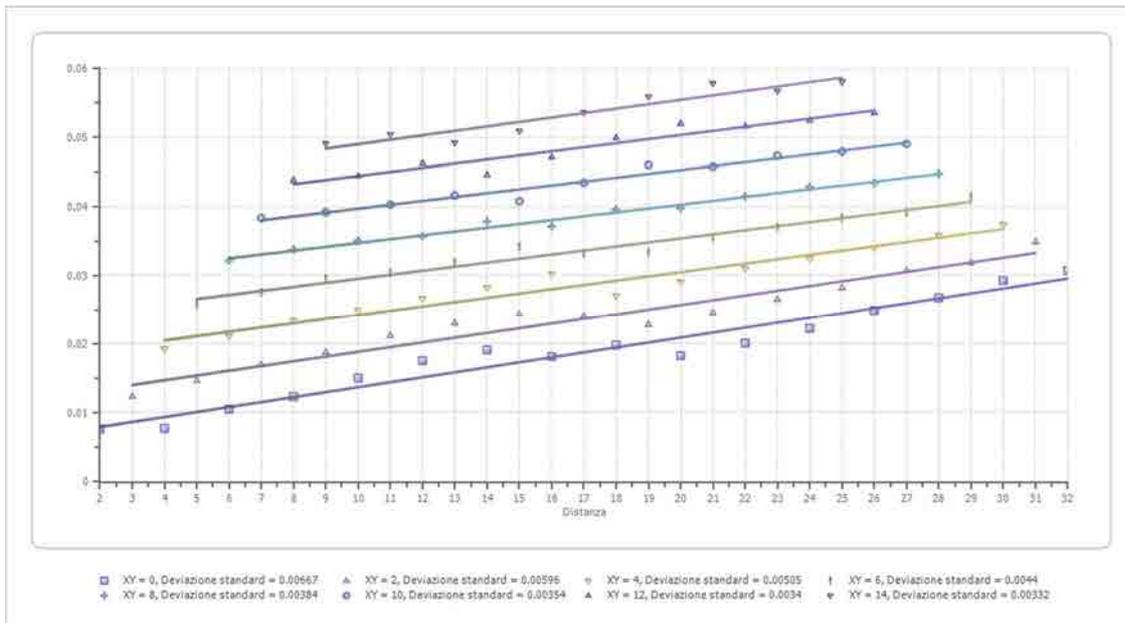
XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 2.0 [m]	1.8	--
G= 4.0 [m]	1.6	--
G= 6.0 [m]	1.9	--
G= 8.0 [m]	2.2	--
G= 10.0 [m]	2.3	--
G= 12.0 [m]	2.2	--
G= 14.0 [m]	2.1	--
G= 16.0 [m]	2.5	--
G= 18.0 [m]	2.6	--
G= 20.0 [m]	1.8	--
G= 22.0 [m]	2.1	--
G= 24.0 [m]	2.3	--
G= 26.0 [m]	2.1	--
G= 28.0 [m]	2.0	--
G= 30.0 [m]	1.4	--
G= 32.0 [m]	1.3	--
Velocità [m/sec]	282.9	1382.5
Descrizione		

Altri parametri geotecnici

	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1700.00	1800.00
Vp [m/s]	282.88	1382.48
Vs [m/s]	135.89	664.12
G0 [MPa]	31.39	793.90
Ed [Mpa]	136.04	3440.25
M0 [MPa]	104.65	2646.34
Ey [Mpa]	84.76	2143.54

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



4.2 Prospezione sismica a rifrazione Rz3

Le indagini sismiche effettuate (Rz3) all'interno del sito impianto FV3, posto a più sud in sinistra idraulica del Fiume Dirillo, hanno messo in evidenza la presenza, nei primi 10-12 metri, di un solo orizzonte rifrattore ben definito. Tale interfaccia si presenta con aspetto lievemente ondulato ma nell'insieme con andamento sub-parallelo rispetto alla traccia della superficie topografica.

In definitiva sono stati quindi individuati n°2 sismostrati caratterizzati da velocità delle onde sismiche V_p differenti (Fig. 4.2.2).

- 1° Sismostrato

È caratterizzato da velocità delle onde di compressione V_p , nell'ordine di 412,74 m/s (in Rz3), indicative di un orizzonte costituito da terreno vegetale sciolto di colore rossastro con abbondante presenza di elementi litici eterometrici di chiara natura calcarenitica. Lo spessore, in riferimento alla traccia lungo la superficie topografica, risulta piuttosto costante e mediamente valutabile in circa 1,0 metro.

- 2° Sismostrato

Strato caratterizzato da una V_p di 964,99 m/s (in Rz3) valore medio compatibile con terreni di natura tenera moderatamente consistenti afferenti ai depositi sabbiosi-calcarenitici poco cementate intercalate a livelli sabbioso-argillose.

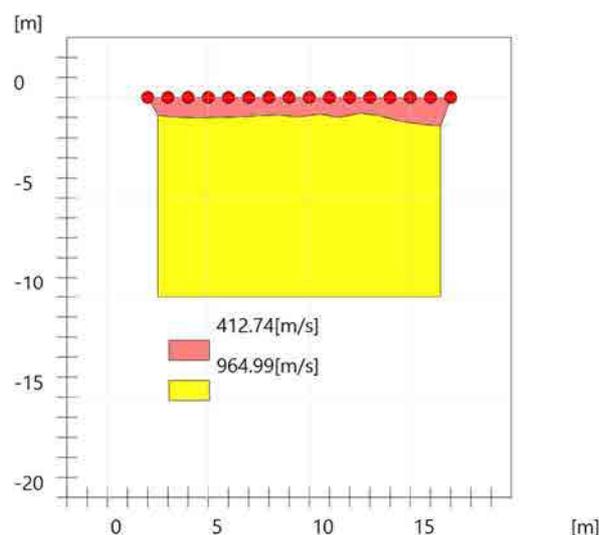


Fig. 4.2.2: Sismo-stratigrafia desunta dall'indagine Rz3.

Dal punto di vista sismo-stratigrafico è possibile ipotizzare una correlazione fra la sismo-stratigrafia e la litostratigrafia. Tale ipotesi è inclusa nella Sintesi dei risultati riportata di seguito:

Tabella 4.2.2 – Sintesi dei risultati dell'indagine sismica in Rz3.

SINTESI DEI RISULTATI			
SISMOSTRATO	PROFONDITA' (m dal p.c.)	Vs	CORRELAZIONI GEO-LITOLOGICHE
1	Da 0 a -1,0	412,74	Terreno agrario e porzione calcarenitica alterata limo-sabbiosa mediamente consistente.
2	Da 1,0 a 10-12	964,99	Depositi sabbiosi-calcarenitici poco cementati intercalati a livelli sabbioso-argillose.

ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE Rz3

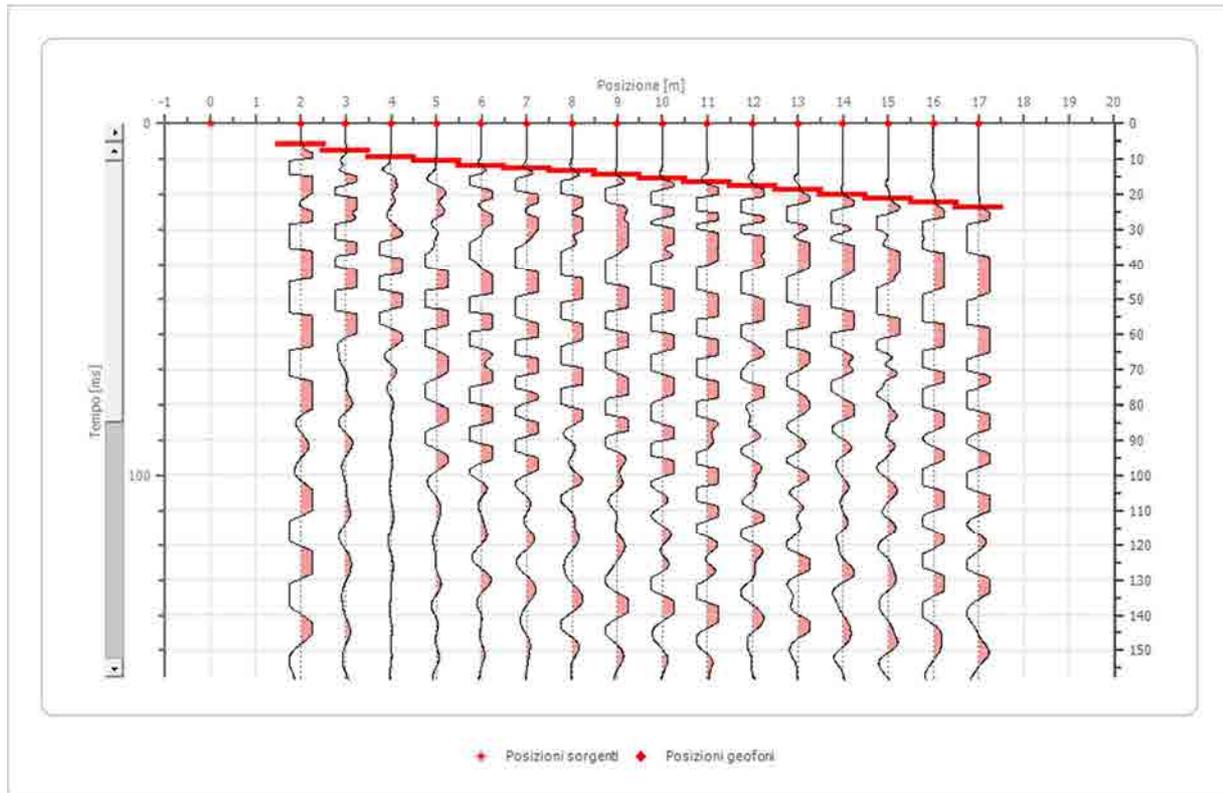
Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.0	0.0
2	3.0	0.0
3	4.0	0.0
4	5.0	0.0
5	6.0	0.0
6	7.0	0.0
7	8.0	0.0
8	9.0	0.0
9	10.0	0.0
10	11.0	0.0
11	12.0	0.0
12	13.0	0.0
13	14.0	0.0
14	15.0	0.0
15	16.0	0.0
16	17.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

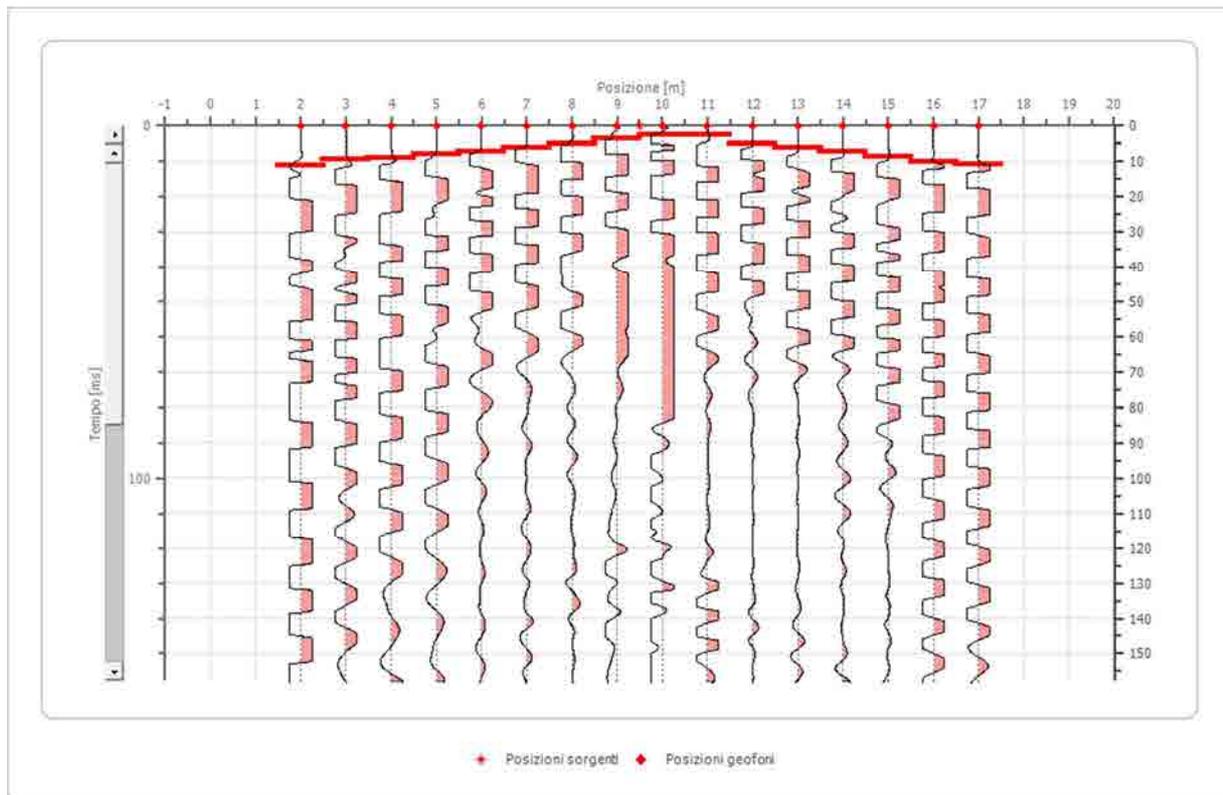
Posizione sorgente X 0 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	5.8309
3.0	7.5188
4.0	9.3942
5.0	10.3661
6.0	11.6618
7.0	12.6336
8.0	13.2815
9.0	14.2533
10.0	15.5491
11.0	16.5209
12.0	17.4927
13.0	18.4645
14.0	20.0000
15.0	21.0560
16.0	22.0279
17.0	23.6476

Battuta 2

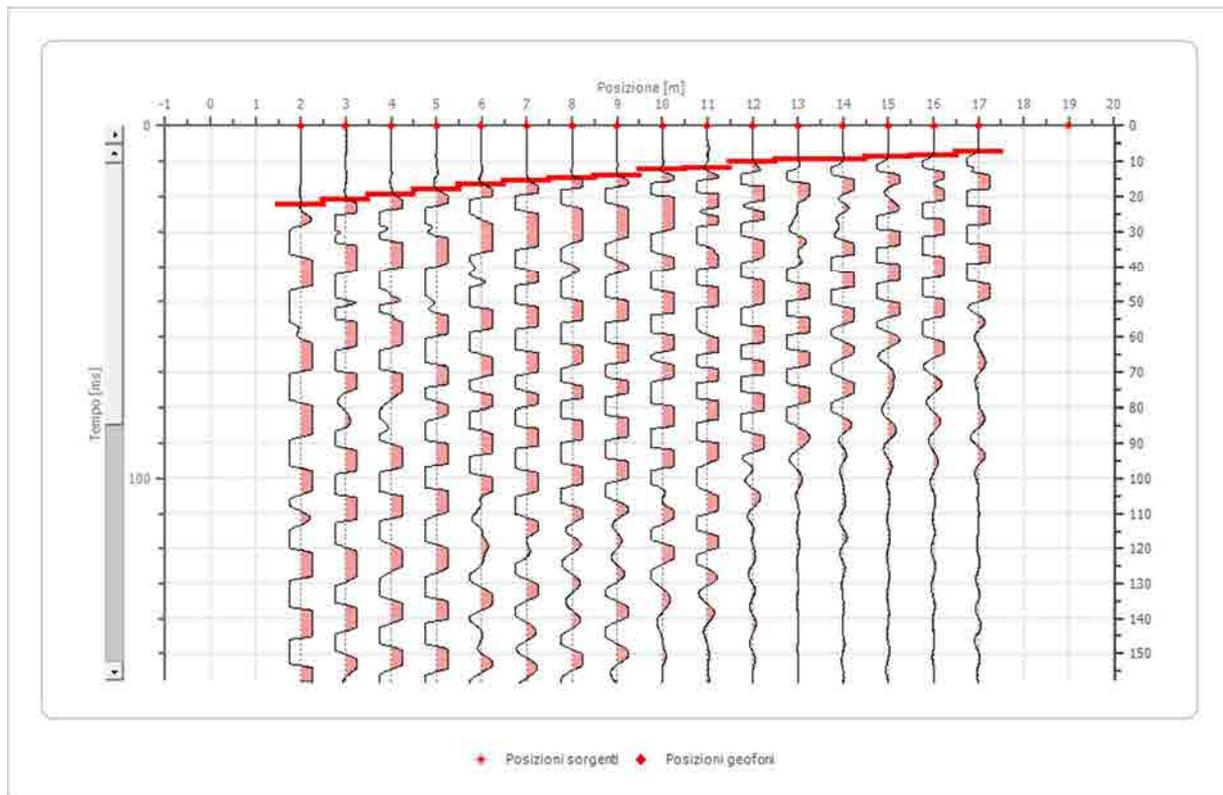
Posizione sorgente X 10 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	11.0139
3.0	9.3942
4.0	9.0703
5.0	7.7745
6.0	7.1267
7.0	6.1548
8.0	4.8591
9.0	3.5633
10.0	2.5915
11.0	2.5915
12.0	5.1830
13.0	6.1548
14.0	7.1267
15.0	8.4224
16.0	10.0421
17.0	10.6900

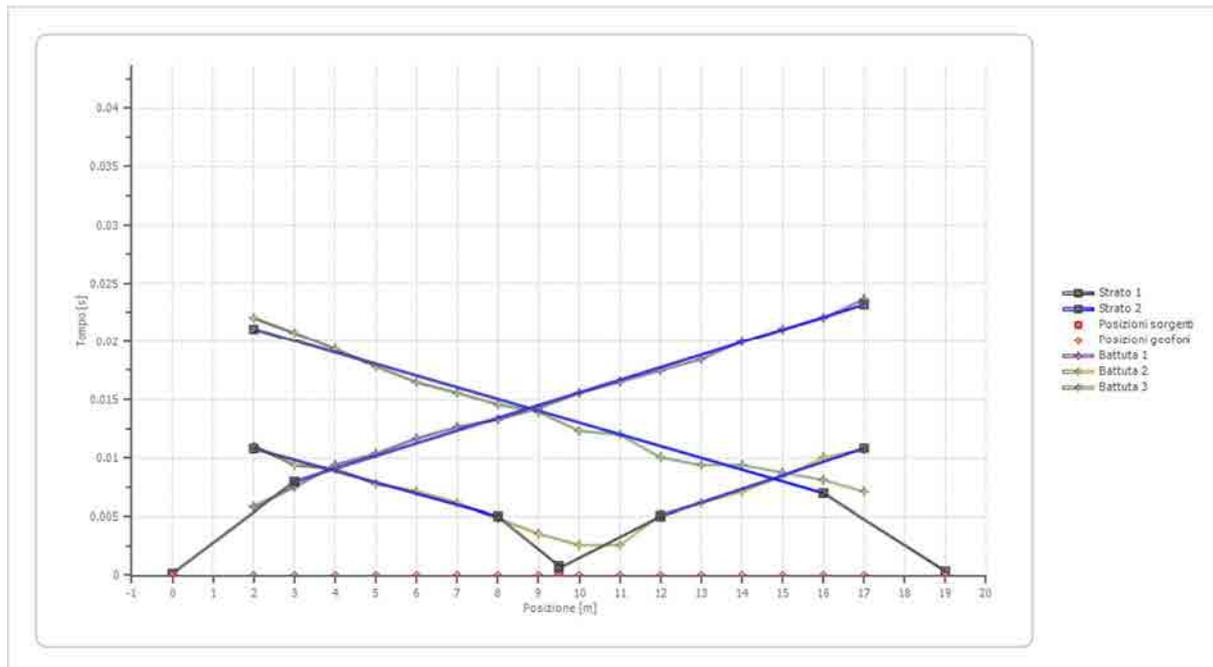
Battuta 3

Posizione sorgente X 19 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

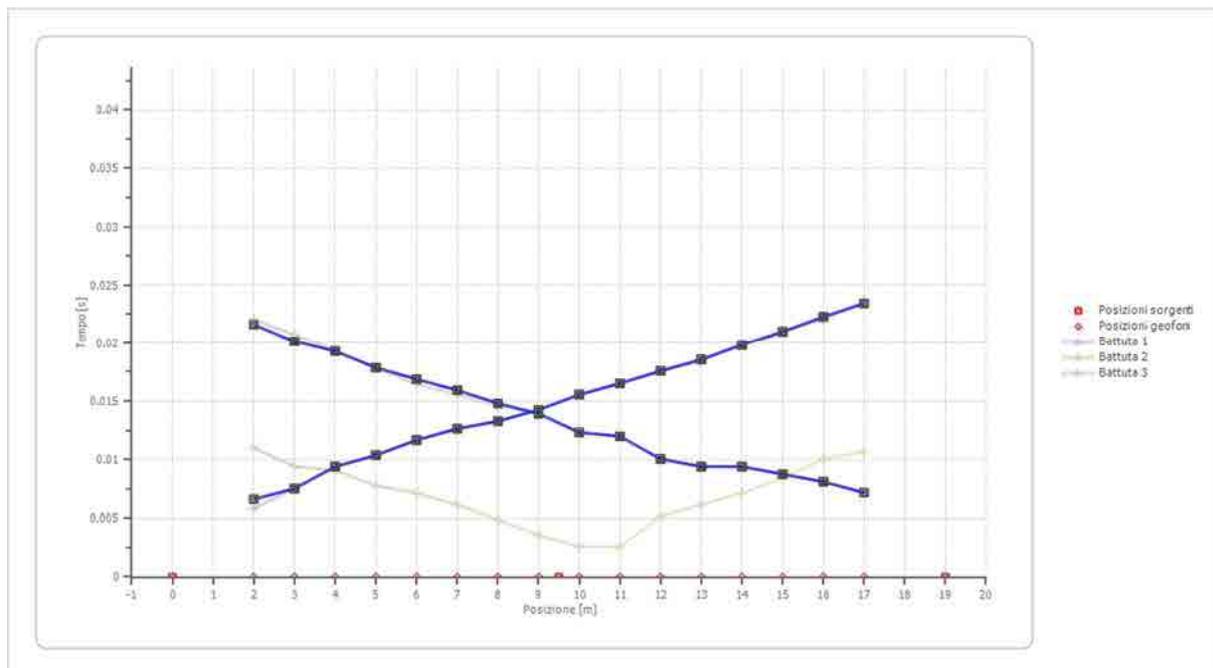


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	22.0279
3.0	20.7321
4.0	19.3341
5.0	17.8167
6.0	16.4697
7.0	15.5491
8.0	14.5773
9.0	13.9294
10.0	12.3097
11.0	11.9857
12.0	10.0421
13.0	9.3942
14.0	9.3942
15.0	8.7464
16.0	8.0985
17.0	7.1267

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.R.M.

XY: 1

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 2.5 [m]	0.9	--
G= 3.5 [m]	1.0	--
G= 4.5 [m]	1.0	--
G= 5.5 [m]	1.0	--
G= 6.5 [m]	1.0	--
G= 7.5 [m]	0.9	--
G= 8.5 [m]	0.9	--
G= 9.5 [m]	1.0	--
G= 10.5 [m]	0.8	--
G= 11.5 [m]	1.0	--
G= 12.5 [m]	0.8	--
G= 13.5 [m]	0.9	--
G= 14.5 [m]	1.2	--
G= 15.5 [m]	1.3	--
G= 16.5 [m]	1.4	--
Velocità [m/sec]	412.7	965.0
Descrizione		

Altri parametri geotecnici

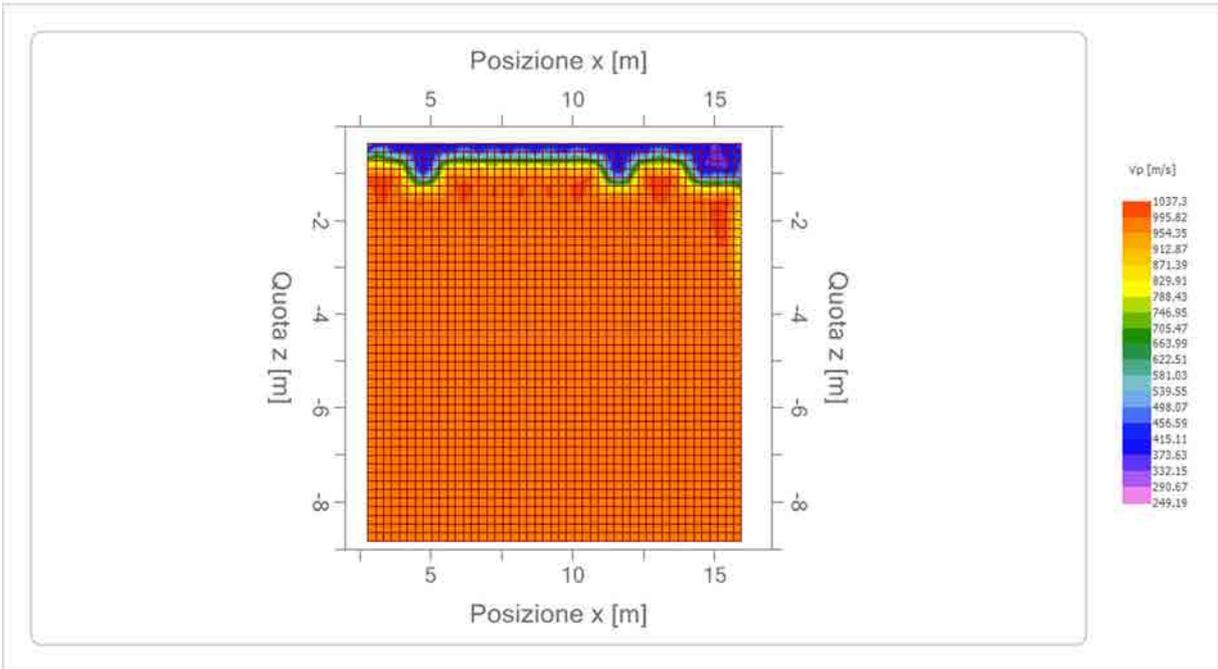
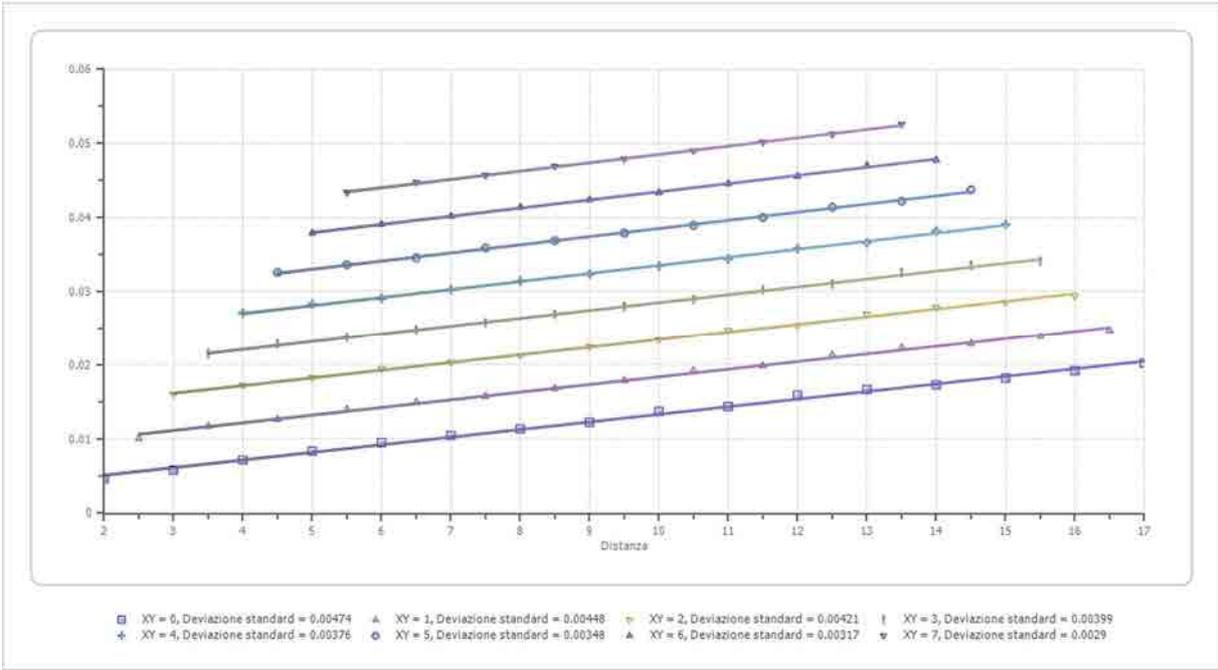
	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1700.00	1800.00
Vp [m/s]	412.74	964.99
Vs [m/s]	198.27	463.56
G0 [MPa]	66.83	386.80
Ed [Mpa]	289.60	1676.15
M0 [MPa]	222.77	1289.35
Ey [Mpa]	180.44	1044.37

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



5. RISULTATI DELLE INDAGINI DI SISMICA MASW

Le indagini geofisiche eseguite, hanno consentito, dunque, di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde di taglio al fine di valutare il valore del parametro $V_{S,eq}$ e quindi stabilire la categoria di appartenenza del sottosuolo come da D.M. 17/01/2018. Dalla individuazione delle onde di taglio generate in corrispondenza del punto di indagine è stato possibile determinare la velocità di propagazione media di tali onde entro i primi 30 metri di terreno attraversato; successivamente, attraverso questo parametro ed ai sensi della normativa vigente in materia antisismica, Ordinanza 3274 – Nuova Normativa Antisismica del 20/03/2003, richiamata dal DM 17/01/2018, è stato possibile classificare tali terreni. La determinazione dell'andamento dei valori delle onde di taglio è stata resa possibile dall'interpretazione congiunta del profilo H/V in comparazione con la curva degli spettri di ampiezza. L'individuazione delle discontinuità è infatti resa possibile quando in corrispondenza dei valori di frequenza di risonanza caratteristici nella curva H/V si realizza contestualmente una inversione nella componente verticale dello spettro di ampiezza. Successivamente avendo noti sia lo spessore degli strati che i relativi valori di propagazione delle onde di taglio è stato possibile determinare il valore di V_{seq} attraverso la seguente espressione:

$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

con:

h_i = Spessore in metri dello strato i-esimo (in m)

V_s = Velocità dell'onda di taglio i-esimo strato

N = Numero di strati

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

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

5.1 INDAGINE SISMICA MASW

Nell'interpretazione della curva di dispersione delle onde di superficie di tipo Rayleigh, valutata tra 3 Hz e 50 Hz, la modellazione diretta basata sulle conoscenze stratigrafiche del sito ha permesso di correlare l'andamento dei modi di propagazione delle onde con i massimi della velocità di fase; Basandosi su tale interpretazione ed a partire dal risultato della modellazione diretta, allo scopo di affinare ulteriormente il modello, è stato successivamente effettuato il picking e l'inversione ipotizzando, per i primi 30 metri, un modello a 4 sismostrati. I risultati dell'inversione hanno fornito i seguenti valori della velocità delle onde S.

INDAGINE SISMICA MASW 1

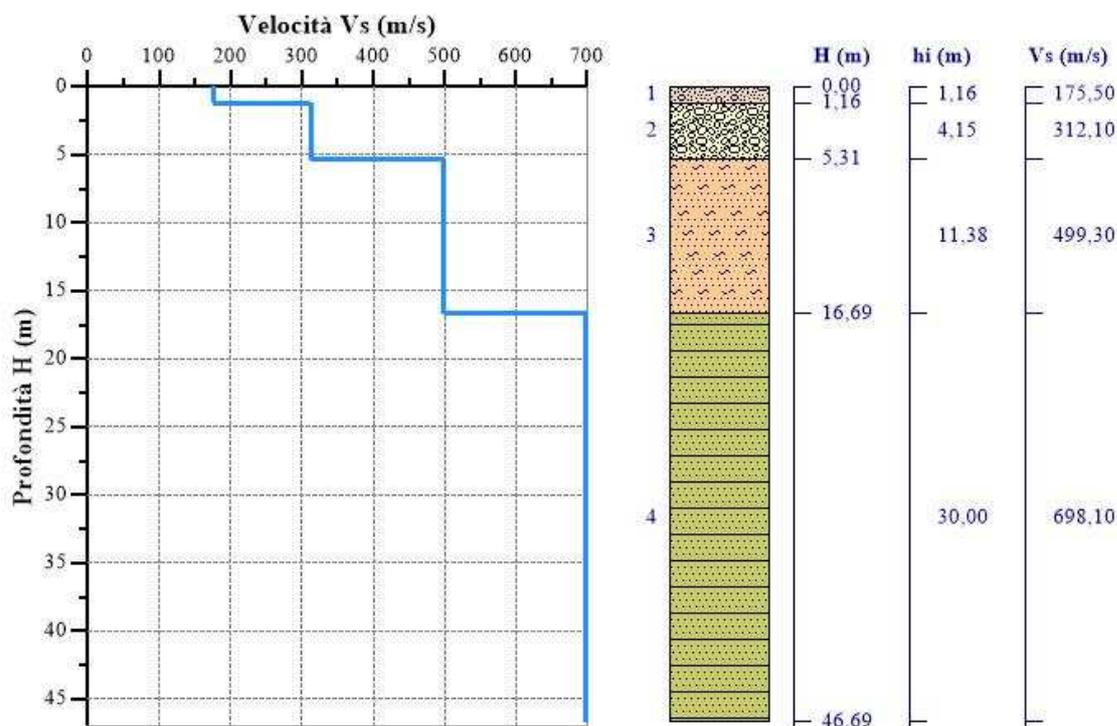
Strato n°1: $V_s = 175.5$ m/s; spessore medio 1.16 metri.

Strato n°2: $V_s = 312.1$ m/s; spessore medio oltre 4.15 metri.

Strato n°3: $V_s = 499.3$ m/s; spessore medio 11.38 metri.

Strato n°4: $V_s = 698.1$ m/s; spessore oo.

Il modello interpretativo fornito ha permesso pertanto di ottenere la seguente stratigrafia con i relativi valori di velocità delle onde S:



Per la determinazione della Categoria del sottosuolo in applicazione delle NTC/2018 (§ 3.2.2), sulla base del valore ricavato, $V_{S,eq} = 516.60\text{m/s}$, unitamente a valutazioni circa la stratigrafia e l'andamento del valore delle Vs, il sottosuolo in esame risulta classificabile come sottosuolo di tipo B e Categoria topografica T1.

INDAGINE SISMICA MASW 2

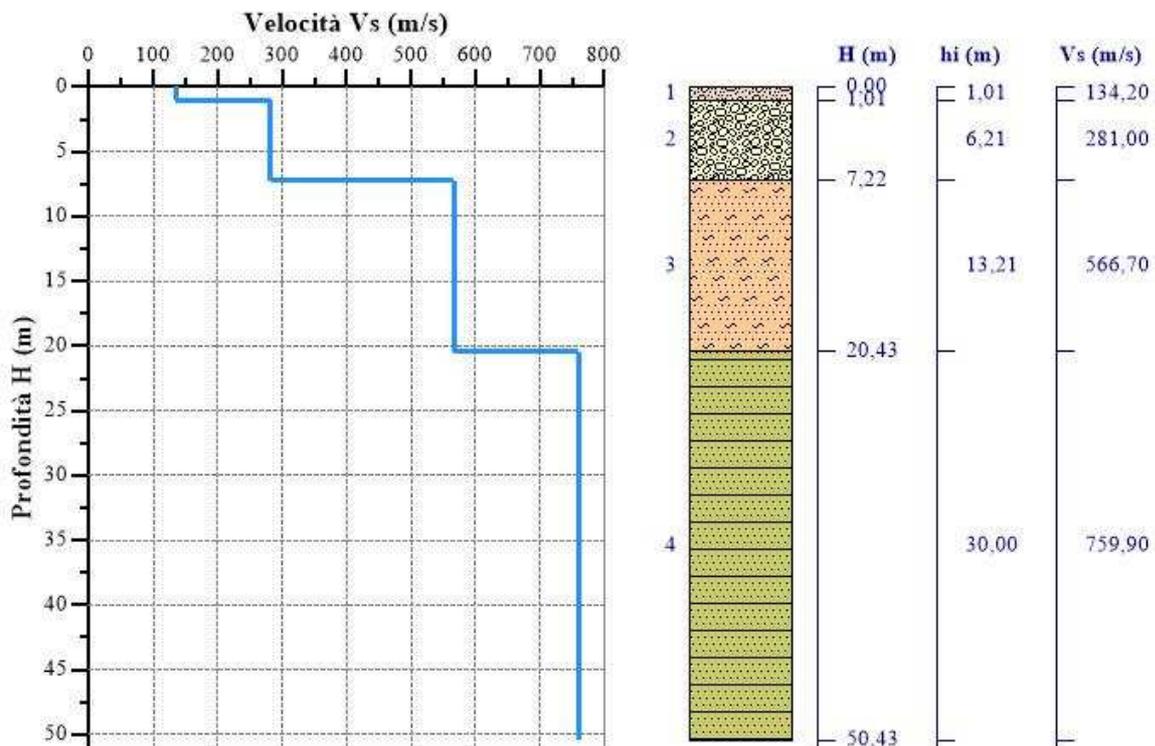
Strato n°1: Vs = 134.2 m/s; spessore medio 1.01 metri.

Strato n°2: Vs = 281.0 m/s; spessore medio oltre 6.21 metri.

Strato n°3: Vs = 566.7 m/s; spessore medio 13.21 metri.

Strato n°4: Vs = 759.9 m/s; spessore oo.

Il modello interpretativo fornito ha permesso pertanto di ottenere la seguente stratigrafia con i relativi valori di velocità delle onde S:



Per la determinazione della Categoria del sottosuolo in applicazione delle NTC/2018 (§ 3.2.2), sulla base del valore ricavato, $V_{S,eq} = 457.64\text{ m/s}$, unitamente a valutazioni circa la stratigrafia e l'andamento del valore delle Vs, il sottosuolo in esame risulta classificabile come sottosuolo di tipo B e Categoria topografica T1.

INDAGINE SISMICA MASW 3

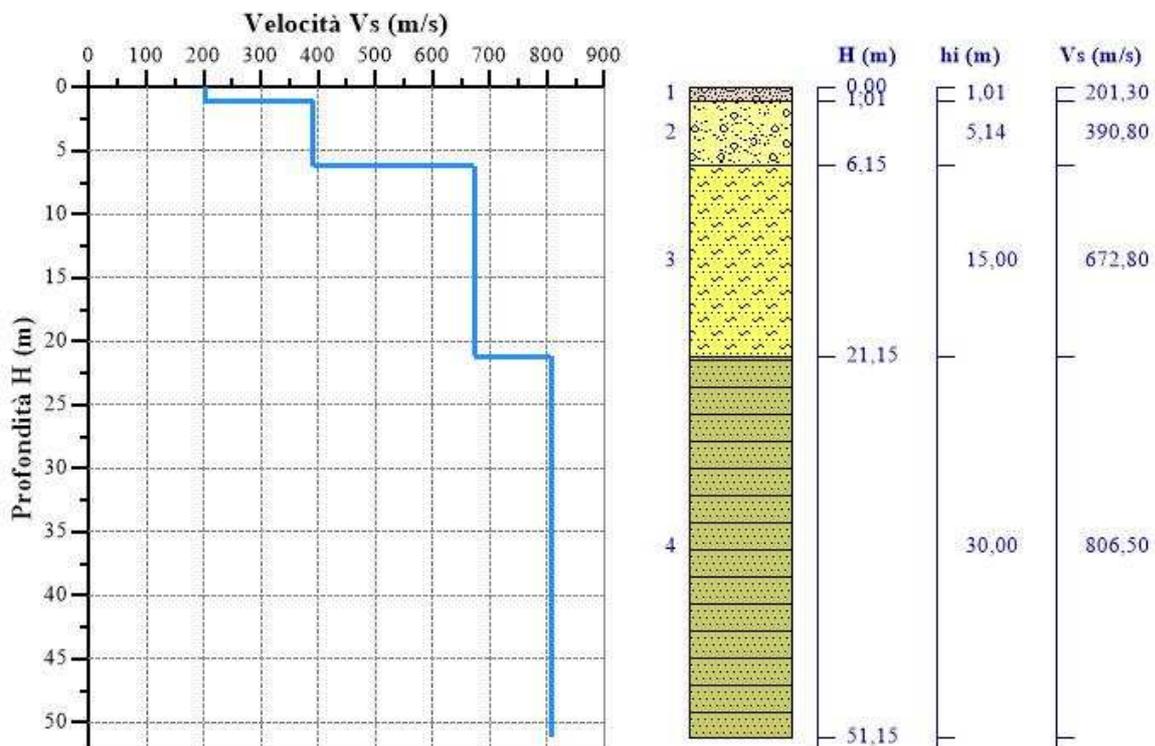
Strato n°1: $V_s = 201.27$ m/s; spessore medio 1.01 metri.

Strato n°2: $V_s = 390.79$ m/s; spessore medio oltre 5.14 metri.

Strato n°3: $V_s = 672.84$ m/s; spessore medio 15 metri.

Strato n°4: $V_s = 806.51$ m/s; spessore oo.

Il modello interpretativo fornito ha permesso pertanto di ottenere la seguente stratigrafia con i relativi valori di velocità delle onde S:



Per la determinazione della Categoria del sottosuolo in applicazione delle NTC/2018 (§ 3.2.2), sulla base del valore ricavato, $V_{S,eq} = 522.75$ m/s, unitamente a valutazioni circa la stratigrafia e l'andamento del valore delle V_s , il sottosuolo in esame risulta classificabile come sottosuolo di tipo B e Categoria topografica T1.

6 CONCLUSIONI

Le indagini eseguite hanno consentito di ottenere alcune informazioni sulle caratteristiche geofisiche dei terreni interessati, in particolare è stato possibile fornire alcuni dati sia sull'andamento stratigrafico del sottosuolo nei primi 10 - 12 metri sia sulle velocità delle onde sismiche di compressione e di taglio.

Sulla base delle elaborazioni effettuate sono strati individuati, in ciascuna delle tre indagini di simica a rifrazione, due sismostrati interfacciati da una superficie di discontinuità con aspetto lievemente ondulato e andamento sub-parallelo rispetto alla traccia sulla superficie topografica. In particolare i risultati delle indagini effettuate in corrispondenza dell'area in progetto, hanno messo in evidenza la presenza, nei primi 10-12 metri, di un solo orizzonte rifratore ben definito. I modelli sismo-stratigrafici rispecchiano abbastanza fedelmente le caratteristiche geologiche dell'area. Dalle indagini di simica a rifrazione in Rz1 e Rz2 si riscontra fino ad una profondità variabile di circa 2,5-3,5 metri dal p.c. e risulta ammantato da uno strato di terreno vegetale limo-sabbioso di colore rossastro.

Le indagini sismiche effettuate (Rz3) all'interno del sito impianto FV3, posto a più sud in sinistra idraulica del Fiume Dirillo, hanno messo in evidenza la presenza di sabbie e calcareniti grossolane organogene ("panchina") giallastre a stratificazione incrociata sovente terrazzate alla sommità.

Sulla base dei valori ricavati, unitamente a valutazioni circa la stratigrafia e l'andamento del valore delle V_{seq} , il sottosuolo in esame risulta classificabile come **sottosuolo di tipo B** ovvero "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s." (D.M. 17/01/2018).

Palermo, Maggio 2022

Il Tecnico Redattore

Dott. Geol. Michele Ognibene

A circular professional stamp from the Regional Register of Geologists of Sicily (REGIONE SICILIANA - ORDINE REGIONALE INGEGNERI E GEOMETRI SICILIANI). The stamp contains the name "OGNIBENE MICHELE" and the number "n. 3003". Below the stamp is a handwritten signature in black ink that reads "Michele Ognibene".

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto Stendimento di sismica a rifrazione Rz1 e Mw1.



Foto Stendimento di sismica a rifrazione Rz2.



Foto Stendimento di sismica a rifrazione Rz3 e Mw2.