



PROGETTO

IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI POTENZA PARI A 38745 kWp (29785 kWp IN IMMISSIONE) DENOMINATO "Tolalp - Racalmuto" ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI RACALMUTO (AG)

TITOLO

Rel. 21 – Relazione Geofisica

PROGETTISTI	PROPONENTE	VISTI
 SCM INGEGNERIA SCM Ingegneria S.r.l. Via Carlo del Croix, 55 Tel.: +39 0831-728955 72022 Latiano (BR) Mail: info@scmingegneria.com  SICILWIND SRL INGEGNERIA - AMBIENTE - ENERGIA - SVILUPPO www.sicilwind.it SICILWIND S.r.l. Viale Croce Rossa, 25 Tel.: +39 091 9763933 90144 Palermo (PA) PEC: sicilwind srl@pec.it Redattore Dott. Geol. Michele Ognibene	TOLALP ENERGY S.R.L. Sede legale e Amministrativa: Via Michelangelo Buonarroti, 39 20145 MILANO (MI) PEC: tolalpennergysrl@legalmail.it	

PROGETTAZIONE



Scala	Formato Stampa	Cod.Elaborato	Rev.	Nome File	Foglio
	A4	FVRCMD-I_Rel.21	00	Rel.21 - Relazione Geofisica	1 di 98

Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato
00	20/05/2023	Prima Emissione	M. Ognibene	D.Cavallo	L.Nettono

INDICE

1. PREMESSA	2
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	3
3. INDAGINE DI SISMICIA A RIFRAZIONE.....	4
3.1 CENNI SULLA SISMICA A RIFRAZIONE	4
3.2 STRUMENTAZIONI E TECNICHE UTILIZZATE	8
4. INDAGINE DI SISMICA MASW	9
4.1 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DEI VERSANTI	9
4.2 STRUMENTAZIONE MASW TECNICHE UTILIZZATE	12
5. RISULTATI DELLE INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE.....	13
5.1 SISMICA A RIFRAZIONE RZ1.....	13
5.2 SISMICA A RIFRAZIONE RZ2.....	15
5.3 SISMICA A RIFRAZIONE RZ3.....	16
5.4 SISMICA A RIFRAZIONE RZ4.....	18
6. PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE E LOCALE	20
6.1 RISULTATI DEI CALCOLI.....	27
7. CONCLUSIONI.....	31

1. PREMESSA

Nell'ambito di un progetto che prevede la realizzazione di un impianto agrivoltaico di potenza pari a 38745 kWp denominato "Tolalp - Racalmuto" ed opere connesse indispensabili da realizzarsi nel comune di Racalmuto (AG), la Società TOLALP ENERGY S.R.L., ha affidato allo scrivente Dott. Geol. Michele Ognibene, regolarmente iscritto all'Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia al n. 3003 Sez. A, la redazione della relazione sismica unitamente alla direzione ed esecuzione delle indagini indirette di supporto.

Il seguente studio è stato redatto ai sensi del D.M. 17/01/2018 con i seguenti scopi:

- ✓ Fornire un quadro conoscitivo sufficiente per illustrare le caratteristiche sismiche 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;
- ✓ Ricostruire la locale successione stratigrafica;
- ✓ Identificare le situazioni locali che presentino livelli di pericolosità sismica.
- ✓ Per assolvere all'incarico conferitogli, lo scrivente ha eseguito:
- ✓ L'analisi di n.4 indagini di sismica a rifrazione (identificate con le sigle RZ1, RZ2, RZ3 e RZ4) 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.4 acquisizione di sismica MASW (identificate con le sigle da Mw1 a Mw4) 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 della Planimetria con l'ubicazione delle indagini effettuate che ne costituiscono parte integrante.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Sia l'impianto agrivoltaico che le opere di connessione ricadono per il loro intero sviluppo all'interno della porzione orientale del territorio comunale di Racalmuto (AG), sviluppandosi circa 1,5 Km a nord della Strada Statale n. 640.

L'impianto sarà collegato alla rete elettrica mediante cavidotto MT collegato con una *Sottostazione Utente* di nuova realizzazione a sua volta connessa alla futura Stazione RTN denominata "Racalmuto", le cui coordinate risultano essere le seguenti:

- Lat. 37.430392°; Long. 13.810122°
- Altimetria media risulta essere circa 465 m s.l.m..

Nello specifico, per il cavidotto MT, si possono individuare due sezioni:

- la prima, interna all'area di impianto, che si snoderà per circa 1,6 Km sostanzialmente attraverso la viabilità di nuova realizzazione;

- la seconda, esterna all'area di impianto, che si svilupperà per circa 3,5 Km lungo la viabilità esistente rappresentata, principalmente, da strade interpoderali senza denominazione e, per un brevissimo tratto dalla strada provinciale n. 39.

Dal punto di vista cartografico l'impianto agrivoltaico ricade nell'angolo nord-orientale della tavoletta I.G.M.I., in scala 1:25.000, denominata "Racalmuto" (Fog. 267, Quadr. II, Orient. S.O.) mentre il cavidotto va ad interessare anche la tavoletta denominata "Montedoro" (Fog. 267, Quadr. II, Orient. N.O.), occupata tra l'altro dalla Stazione Utente; con riferimento alla cartografia C.T.R., in scala 1:10.000, l'impianto ricade nella zona di intersezione tra le tavole 637020 "Stazione di Castrolfilippo" e 630140 "Monte Castelluccio" occupate anche dal cavidotto.

Con riferimento all'areale d'impianto le coordinate geografiche in gradi decimali, risultano essere:
Lat. 37.399078°; Long. 13.805743°

3. INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE

3.1 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:

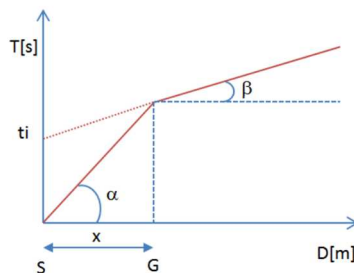
$$T = x_i / V_1$$

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

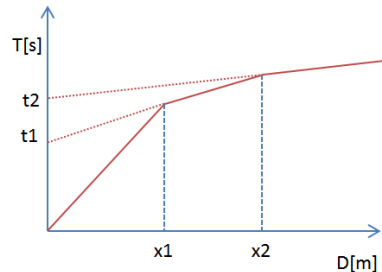
L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi- distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come:

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

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.



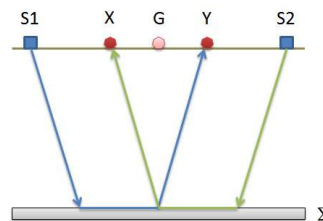
La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati punti di ginocchio e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque,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

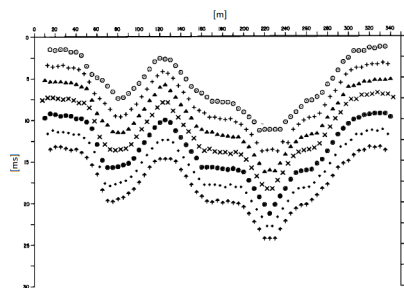
$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$

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'inviluppo 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°.

3.2 STRUMENTAZIONI 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 4.2.1.

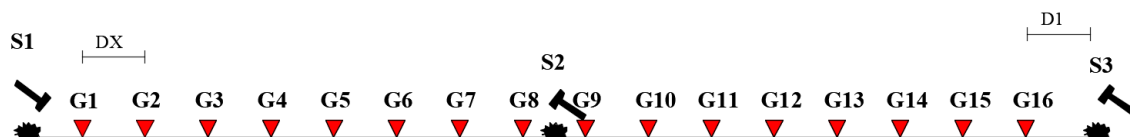


Fig. 3.2.1: Geometria tipo dello stendimento sismico.

Per l'ubicazione su stralcio planimetrico vedi la carta delle indagini (Cfr. Tavola 1).

4. INDAGINE DI SISMICA MASW

4.1 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DEI VERSANTI

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:

$$v = \lambda \times v$$

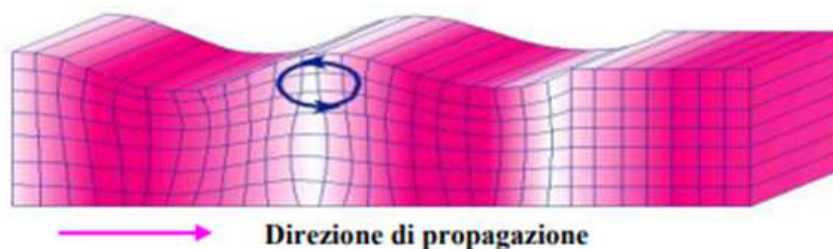
L'assetto morfologico descritto appare chiaramente essere il risultato delle azioni combinate di diversi processi sia *endogeni* che *esogeni* che, tuttora, operano nell'area.

I processi *endogeni* sono riconducibili essenzialmente all'azione tettonica, la quale ha determinato non solo la giacitura degli strati rocciosi ma anche la formazione di superfici di dislocazione con il conseguente controllo della morfologia; l'influenza della litologia sulle caratteristiche morfologiche del paesaggio è poi determinante a causa della marcata differenza di comportamento rispetto all'erosione dei vari litotipi affioranti.

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);

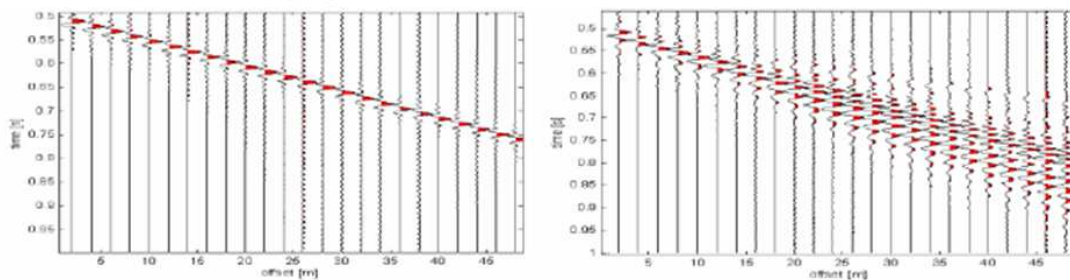
queste si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente e sono polarizzate in un piano verticale. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie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



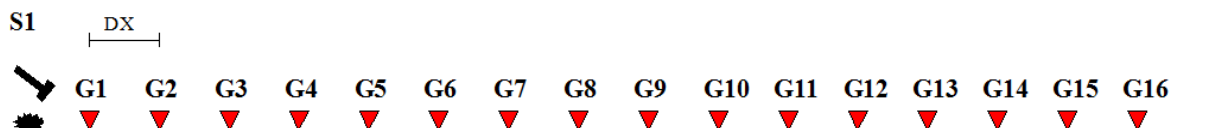
Il metodo MASW consente in genere di valutare le velocità di fase in un intervallo di frequenze tra 5 Hz e 70 Hz, permettendo quindi di indagare i primi 30 - 50 metri di terreno, in funzione della rigidità del suolo.

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.

4.2 STRUMENTAZIONE MASW 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 equidistanti di 2 metri. 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.

5. RISULTATI DELLE INDAGINI SISMICHE 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 sismo-stratigrafico 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 rifratte.

In base alle interpretazioni delle indagini sismiche in situ effettuate è stato possibile ricostruire in modo soddisfacente la successione dei terreni presenti nell'area studiata come meglio descritte nei paragrafi successivi.

5.1 SISMICA A RIFRAZIONE RZ1

Le indagini di sismica a Rifrazione Rz1 è stata eseguita nella porzione settentrionale dell'impianto agrivoltaico. L'interpretazione dei dati hanno messo in evidenza la presenza, nei primi 6 metri, di un

orizzonte rifrattore ben definito. L'orizzonte rifrattore si presenta con andamento sub-parallelo rispetto alla traccia della superficie topografica.

In sintesi sono stati individuati n°2 sismostrati caratterizzati da velocità delle onde sismiche Vp differenti (Fig. 5.1.1).

- 1° Sismostrato

È caratterizzato da velocità delle onde di compressione Vp, nell'ordine di 305.3 m/s, indicative di un terreno coesivo soffice poco consistente di natura limoso con spessore medio di circa 1,2 metri

- 2° Sismostrato

Strato caratterizzato da una Vp di 1280 m/s valore medio compatibile con terreni argillosi limosi moderatamente consistenti rilevati fino ad una profondità indefinita.

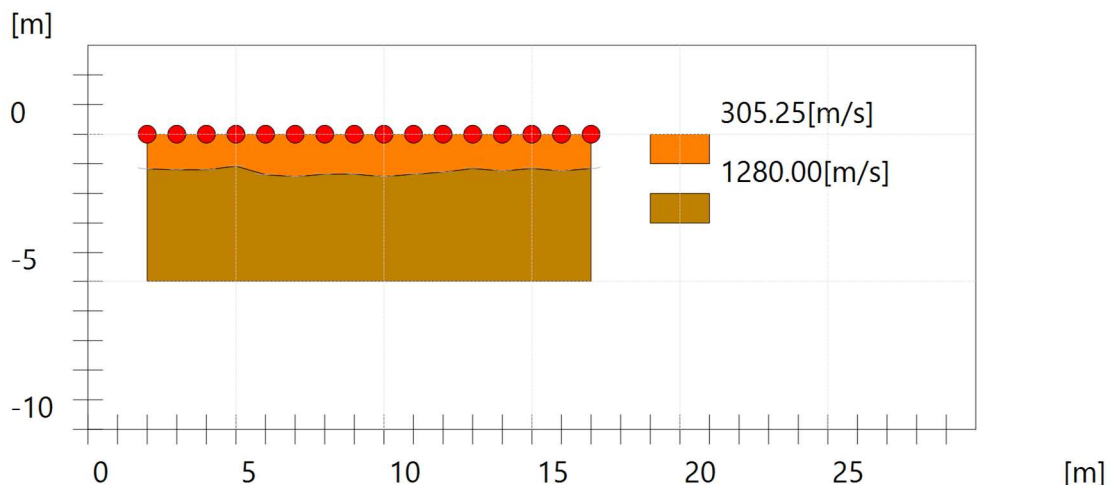


Fig. 5.1.1: Sismo-sezione Rz1 eseguita all'interno del sito.

Tabella 5.1.1 – Sintesi dei risultati dell'indagine sismica in Rz1.

SINTESI DEI RISULTATI			
SISMOSTRATO	PROFONDITA' (m dal p.c.)	Vp (m/s)	CORRELAZIONI GEO-LITOLOGICHE
1	Da -0 a -1.2	305.3	Terreno coesivo soffice poco consistente di natura limoso.
2	Da -1.2 in poi	1280,00	Terreni argillosi limosi moderatamente consistenti.

5.2 SISMICA A RIFRAZIONE RZ2

Le indagini di sismica a Rifrazione Rz2 è stata eseguita nella porzione centrale dell'impianto agrivoltaico. L'interpretazione dei dati hanno messo in evidenza la presenza, nei primi 6 metri, di un orizzonte rifrattore ben definito. L'orizzonte rifrattore si presenta con andamento sub-parallelo rispetto alla traccia della superficie topografica.

In sintesi sono stati individuati n°2 sismostrati caratterizzati da velocità delle onde sismiche Vp differenti (Fig. 5.2.1).

- 1° Sismostrato

È caratterizzato da velocità delle onde di compressione Vp, nell'ordine di 249.37 m/s, indicative di un terreno coesivo soffice poco consistente di natura limoso con spessore medio di circa 1,4 metri

- 2° Sismostrato

Strato caratterizzato da una Vp di 961.09 m/s valore medio compatibile con terreni argillosi limosi moderatamente consistenti rilevati fino ad una profondità indefinita.

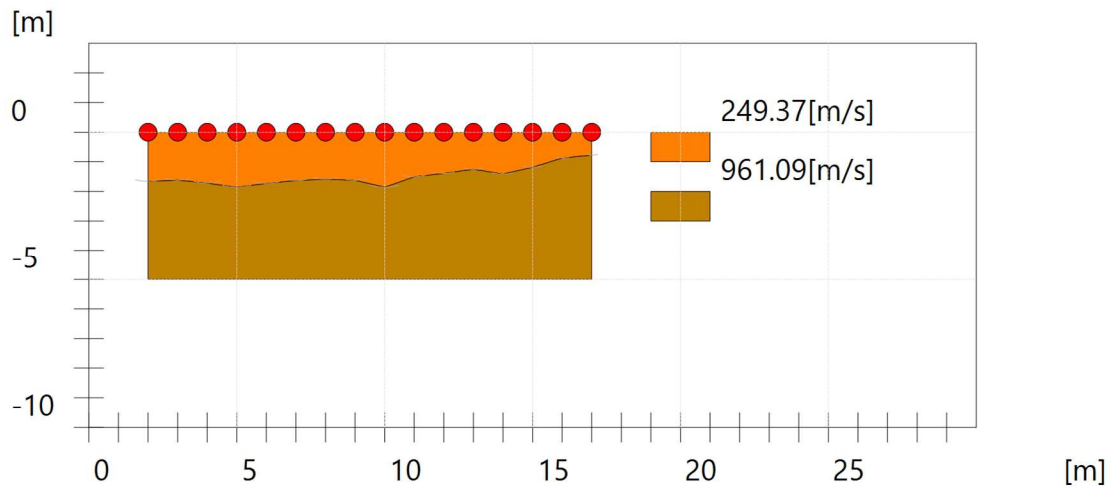


Fig. 5.2.1: Sismo-sezione Rz2 eseguita all'interno del sito.

Tabella 5.2.1 – Sintesi dei risultati dell'indagine sismica in Rz2.

SINTESI DEI RISULTATI			
SISMOSTRATO	PROFONDITA' (m dal p.c.)	Vp (m/s)	CORRELAZIONI GEO-LITOLOGICHE
1	Da -0 a -1.4	249.37	Terreno coesivo soffice poco consistente di natura limoso.
2	Da -1.4 in poi	961.09	Terreni argillosi limosi moderatamente consistenti.

5.3 SISMICA A RIFRAZIONE RZ3

Le indagini di sismica a Rifrazione Rz3 è stata eseguita nella porzione centro meridionale dell'impianto agrivoltaico. L'interpretazione dei dati hanno messo in evidenza la presenza, nei primi 6 metri, di un orizzonte rifrattore ben definito. L'orizzonte rifrattore si presenta con andamento sub-parallelo rispetto alla traccia della superficie topografica.

In sintesi sono stati individuati n°2 sismostrati caratterizzati da velocità delle onde sismiche Vp differenti (Fig. 5.3.1).

- 1° Sismostrato

È caratterizzato da velocità delle onde di compressione Vp, nell'ordine di 402.10 m/s, indicative di un terreno coesivo soffice poco consistente di natura limoso con spessore medio di circa 1,5 metri

- 2° Sismostrato

Strato caratterizzato da una Vp di 1207.40 m/s valore medio compatibile con terreni argillosi limosi moderatamente consistenti rilevati fino ad una profondità indefinita.

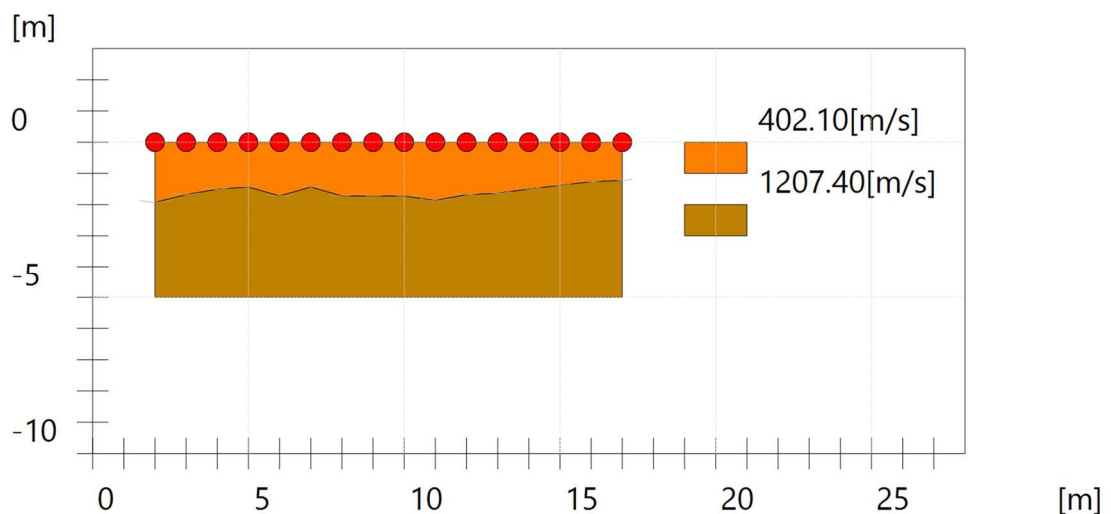


Fig. 5.3.1: Sismo-sezione Rz3 eseguita all'interno del sito.

Tabella 5.3.1 – Sintesi dei risultati dell'indagine sismica in Rz3.

SINTESI DEI RISULTATI			
SISMOSTRATO	PROFONDITA' (m dal p.c.)	Vp (m/s)	CORRELAZIONI GEO-LITOLOGICHE
1	Da -0 a -1.5	402.10	Terreno coesivo soffice poco consistente di natura limoso.
2	Da -1.5 in poi	1207.40	Terreni argillosi limosi moderatamente consistenti.

5.4 SISMICA A RIFRAZIONE RZ4

Le indagini di sismica a Rifrazione RZ4 è stata eseguita nella porzione meridionale dell'impianto agrivoltaico. L'interpretazione dei dati hanno messo in evidenza la presenza, nei primi 6 metri, di un orizzonte rifrattore ben definito. L'orizzonte rifrattore si presenta con andamento sub-parallelo rispetto alla traccia della superficie topografica.

In sintesi sono stati individuati n°2 sismostrati caratterizzati da velocità delle onde sismiche Vp differenti (Fig. 5.3.1).

- 1° Sismostrato

È caratterizzato da velocità delle onde di compressione Vp, nell'ordine di 442.40 m/s, indicative di un terreno coesivo soffice poco consistente di natura limoso con spessore medio di circa 1,0 metri

- 2° Sismostrato

Strato caratterizzato da una Vp di 1377.22 m/s valore medio compatibile con terreni argillosi limosi moderatamente consistenti rilevati fino ad una profondità indefinita.

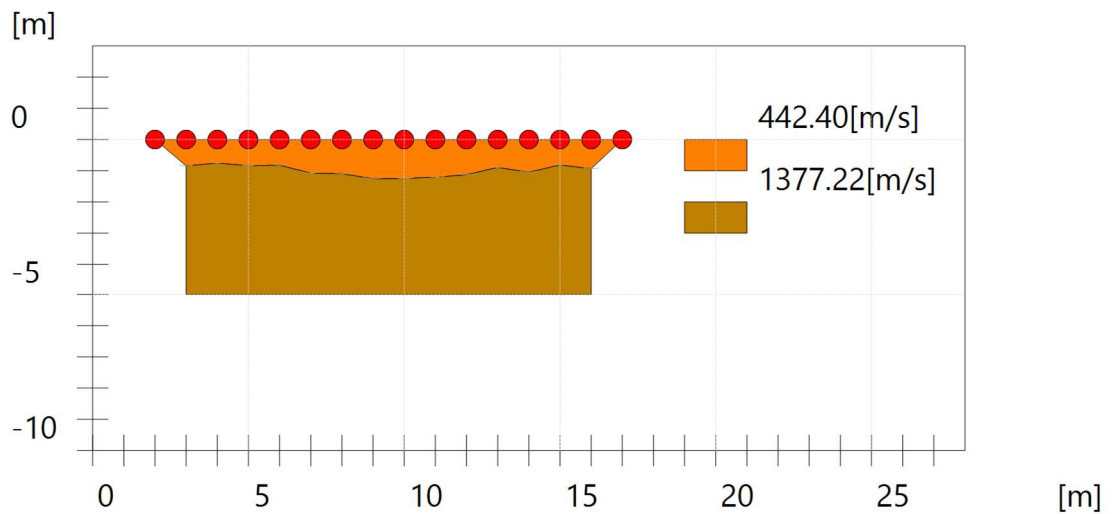


Fig. 5.4.1: Sismo-sezione Rz4 eseguita all'interno del sito.

Tabella 5.4.1 – Sintesi dei risultati dell'indagine sismica in Rz4.

SINTESI DEI RISULTATI			
SISMOSTRATO	PROFONDITA' (m dal p.c.)	Vp (m/s)	CORRELAZIONI GEO-LITOLOGICHE
1	Da -0 a -1.0	442.40	Terreno coesivo soffice poco consistente di natura limoso.
2	Da -1.0 in poi	1377.22	Terreni argillosi limosi moderatamente consistenti.

6. PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE E LOCALE

Il concetto di *pericolosità sismica* di un territorio nella normativa italiana è stato oggetto negli anni di numerose variazioni con l'approvazione, nel tempo, di diversi decreti ed ordinanze che, in pochi anni, hanno cambiato notevolmente i criteri di classificazione e quindi la definizione stessa di pericolosità sismica.

La classificazione sismica del territorio italiano fino al 2003 si basava su una serie di decreti del Ministero dei Lavori Pubblici, approvati tra il 1980 ed il 1984; secondo tali norme molte aree del territorio nazionale non erano classificate in quanto ritenute aree non-sismiche. A partire dall'O.P.C.M. n. 3274/03 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per la costruzione in zona sismica*" la zonizzazione sismica è stata estesa

a tutto il territorio nazionale.

L'ordinanza 3274/03, operando su base comunale, classificava l'intero territorio di un comune secondo 4 differenti gradi di pericolosità sismica in funzione dell'accelerazione massima attesa al suolo a_g (accelerazione orizzontale su un suolo di categoria A) con il 10% di probabilità di superamento in 50 anni, come da figura 2:

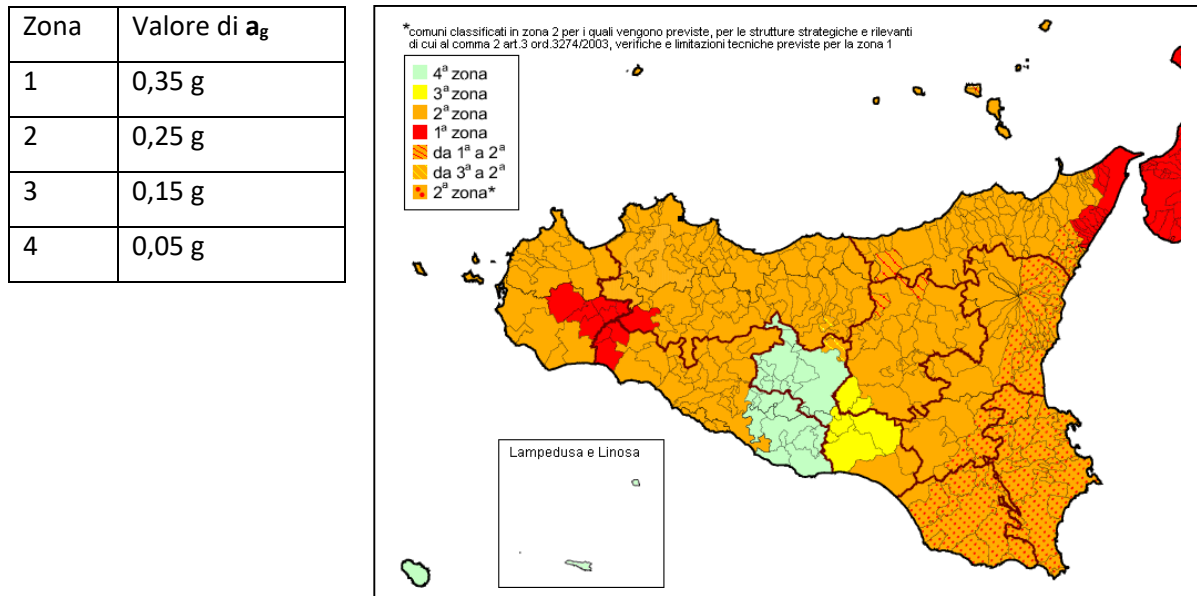


Fig. 2: Classificazione sismica comuni della Sicilia O.P.C.M. 3274/03

Tale impostazione, comunque innovativa, seppur con alcune modifiche e ridefinizioni dei criteri in alcune ordinanze successive (D.M. 159/2005 e O.P.C.M. 3519/06) rimane sostanzialmente immutata

fino al D.M. 14/01/2008 "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni".

Il D.M. 14/01/2008, solitamente indicato anche come NTC-2008, presentava alcune caratteristiche decisamente innovative per quanto riguarda il concetto di pericolosità sismica di un territorio, in particolare la definizione di 3 parametri sismici al posto del solo a_g , e la loro valutazione numerica in funzione delle coordinate geografiche del sito e della classe d'uso dei manufatti in progetto; non più quindi a scala comunale.

La nuova impostazione portava di fatto ad una chiara distinzione tra due diversi concetti: la *pericolosità sismica di base* e la *pericolosità sismica locale*.

Le vigenti norme in materia di costruzione, le NTC 2018, entrate in vigore il 17/01/2018

sostanzialmente lasciano immutata questa impostazione.

- Pericolosità sismica di base

La pericolosità sismica di base rappresenta, sostanzialmente, la probabilità che un evento sismico si verifichi in una determinata area per un determinato periodo di tempo con una data intensità, ovvero la previsione probabilistica dello scuotimento del suolo in un sito in relazione ad un terremoto standard di riferimento; in pratica fornisce i valori significativi delle accelerazioni massime attese al suolo (PGA - peak ground acceleration) riferite ad una situazione ideale con suolo rigido ed omogeneo ($V_s > 800$ m/s; categoria A nelle NTC 18).

Come accennato già con l'ordinanza O.P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003 l'intero territorio italiano era stato riclassificato con l'individuazione di 4 categorie sismiche in funzione dei valori significativi delle accelerazioni massime attese al suolo riferite a suolo rigido ed omogeneo ($V_s > 800$ m/s) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni e con periodo di ritorno di 495 anni; tale classificazione è stata successivamente oggetto di un aggiornamento su base regionale per come riportato in fig. 3 (Applicazioni dei criteri dell'Ordinanza del presidente del Consiglio dei Ministri 28 Aprile 2006, n. 3519, Deliberazione della giunta Regionale 24/Febraio2022, n 81).

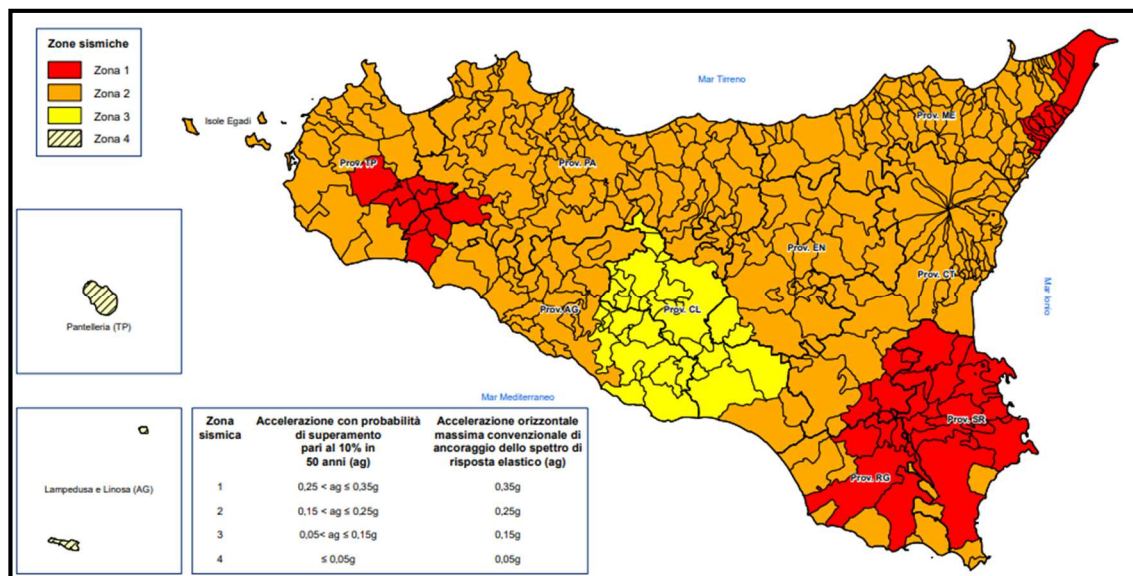


Fig. 3 Classificazione sismica comuni della Sicilia delib. della giunta Regionale 24/02 22, n 81

In riferimento a tale macrozonazione sismica l'area in esame ricade **in zona 3**, ossia "Zona con pericolosità sismica bassa che possono essere soggetti a scuotimenti modesti", con un'accelerazione orizzontale massima pari a $a_g=0,15g$ e con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni che risulta $0,05 \leq ag \leq 0,15g$, così come il cavidotto e la stazione lato utente.

Nella nuova normativa, invece, poiché l'azione sismica viene definita facendo riferimento ad un reticolo i cui punti sono riportati in termini di latitudine e longitudine di fatto può presentare una discreta variabilità anche all'interno di uno stesso territorio molto ristretto; più nello specifico l'azione sismica viene definita in funzione dei parametri (a_g , F_o , T_c^*) che, secondo differenti tempi di ritorno (T_R), definiscono le forme spettrali e quindi la "pericolosità sismica di base" che assieme al fattore suolo (S), legato agli effetti di amplificazione locale (stratigrafica e topografica), andrà in definitiva a caratterizzare la "risposta sismica locale".

" [...] La pericolosità sismica (di base) è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale di categoria A, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_vR nel periodo di riferimento VR . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito. Ai fini della presente normativa, le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_vR , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

In allegato alla presente norma, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di a_g , F_o , T_c^* necessari per la determinazione delle azioni sismiche."

Con riferimento al vigente D.M. 17/01/2018 al fine di ricavare i parametri di riferimento per l'azione sismica di base occorre innanzitutto individuare le coordinate di sito, nella fattispecie tale operazione è stata effettuata tramite rilevatore satellitare (WGS 84) relativamente al punto baricentrale dell'impianto agrivoltaico risultano:

Lat: 37.399078°
Long: 13.805743°

Tali coordinate sono state poi convertite al datum ED50 mediante la procedura on-line fornita dal sito della geostru (<https://geoapp.eu/parametrisismici2018>), ottenendo i seguenti valori:

Lat: 37.400147°
Long: 13.806583°

A partire da queste ultime coordinate sono stati ricavati i parametri a_g , F_o , T_c^* per i vari periodi di ritorno T_R associati a ciascun Stato Limite, ipotizzando come tipologia un'opera ordinaria con $VN = 50$ anni e classe d'uso I (Presenza occasionale di persone, edifici agricoli); risulta:

STATO LIMITE	TR (anni)	Ag (g)	Fo (-)	Tc* (s)
SLO	30	0,022	2,521	0,199
SLD	35	0,024	2,514	0,210
SLV	332	0,056	2,587	0,392
SLC	682	0,069	2,656	0,440

(Punti della maglia: 48512; 48513; 48291; 48290)

- Pericolosità sismica locale

Rappresenta una stima a scala di dettaglio delle variazioni della pericolosità sismica di base per effetto delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, litologiche, idrogeologiche e geotecniche del sito in cui si prevede l'evento sismico (condizioni locali).

In effetti è ormai chiaro che la struttura geologica sovrastante il bedrock assume un ruolo determinante nella modifica del treno di onde sismiche con *fenomeni di amplificazione* o di smorzamento; sicché, ad esempio, quando si passa dal bedrock rigido ad un terreno più superficiale con minore rigidità (variazione di *impedenza*) le onde sismiche subiscono un rallentamento e, per la legge della conservazione dell'energia, la loro ampiezza aumenta. Ne consegue un'amplificazione del

moto sismico con danni all'edificato superiori rispetto ad aree circostanti poggianti su un terreno di copertura più rigido. Altresì, citando la casistica espressa nelle varie circolari A.R.T.A. (per i P.R.G. comunali), situazioni che portano ad una amplificazione dell'azione sismica sono legate per esempio a *zone di ciglio* (con $H > 10$ mt), *zone di cresta rocciosa* o di dorsale, *aree di fondovalle con presenza di alluvioni incoerenti*, *zone pedemontane di falda di detrito*, *zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche diverse* o *zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti*; oltre a questa casistica vengono ugualmente prese in considerazione quelle situazioni che possono portare all'accentuazione di fenomeni di instabilità già in atto in occasione di eventi sismici quali *zone caratterizzate da movimenti franosi quiescenti* o *zone con elevata acclività associate a copertura detritica* o ancora ammassi rocciosi con acclività $> 50\%$ ed una giacitura sfavorevole degli strati.

In fase esecutiva la pericolosità sismica locale viene valutata o mediante analisi specifiche, come indicate al paragrafo 7.11.3 delle NTC 2018 o più comunemente, facendo riferimento alla procedura semplificata descritta al paragrafo 3.2.2. Quest'ultima si basa sulla misura in situ delle velocità delle onde sismiche di taglio (onde S) e sulla successiva individuazione della *categoria sismica del sottosuolo*

in funzione del parametro $V_{s,eq}$ (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 metri o comunque al di sopra del bedrock). Il valore del parametro $V_{s,eq}$ viene valutato mediante la relazione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s_i}}} \quad \text{dove } h_i \text{ e } V_{s_i} \text{ indicano rispettivamente lo spessore e la velocità delle onde di}$$

taglio dell'*i*-esimo strato, N il numero di strati ed H la profondità del substrato rigido, definito come quella formazione costituita da roccia o da terreno molto rigido caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Le NTC 2018 individuano le seguenti possibili categorie di sottosuolo:

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

Ai fini di una valutazione preliminare dell'azione sismica di sito, il piano di indagini in fase di progettazione definitiva ha previsto la realizzazione, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto ai sensi del D.M. 17/01/2018, la realizzazione di n°4 stendimenti per indagine di sismica a rifrazione e n°4 stese sismiche per indagini di tipo MASW (Cfr. **Carta delle Indagini Tav. 1**) al fine di valutare sia la stratigrafia del sito e ricavare il parametro VSeq;

sulla base dei valori ricavati, unitamente a valutazioni circa la stratigrafia e l'andamento del valore delle Vs, il sottosuolo in esame risulta classificabile come sottosuolo di **tipo B** (D.M.17/01/2018) e **Categoria topografica T1**.

6.1 RISULTATI DEI CALCOLI

Nell'interpretazione della curva di dispersione delle onde di superficie di tipo Rayleigh, valutata tra 1 Hz e 60 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 e a 3 sismostrati. I risultati dell'inversione hanno fornito i seguenti valori della velocità delle onde S.

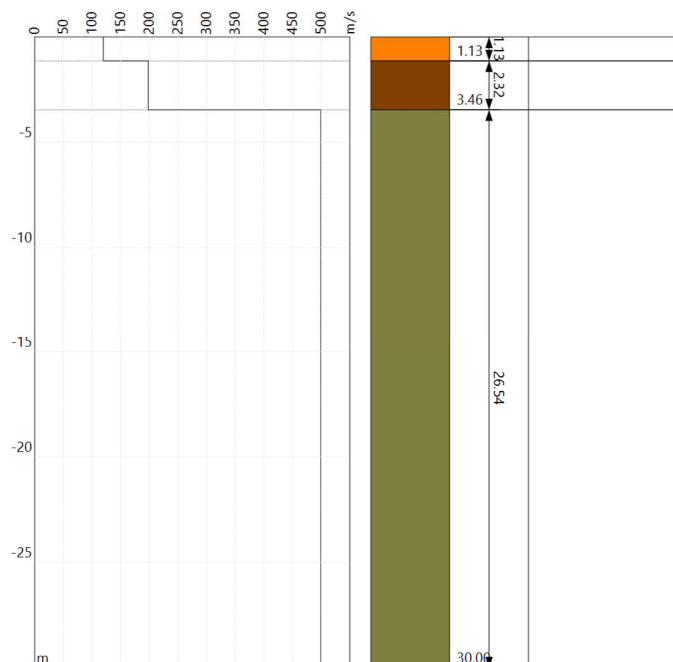
INDAGINE SISMICA MASW 1

Strato n°1: $V_s = 119.8 \text{ m/s}$; spessore medio 1.13 metri.

Strato n°2: $V_s = 198.1 \text{ m/s}$; spessore medio oltre 2.32 metri.

Strato n°3: $V_s = 499.2 \text{ m/s}$; 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, $V_{s,eq} = 403.44 \text{ m/s}$, 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.

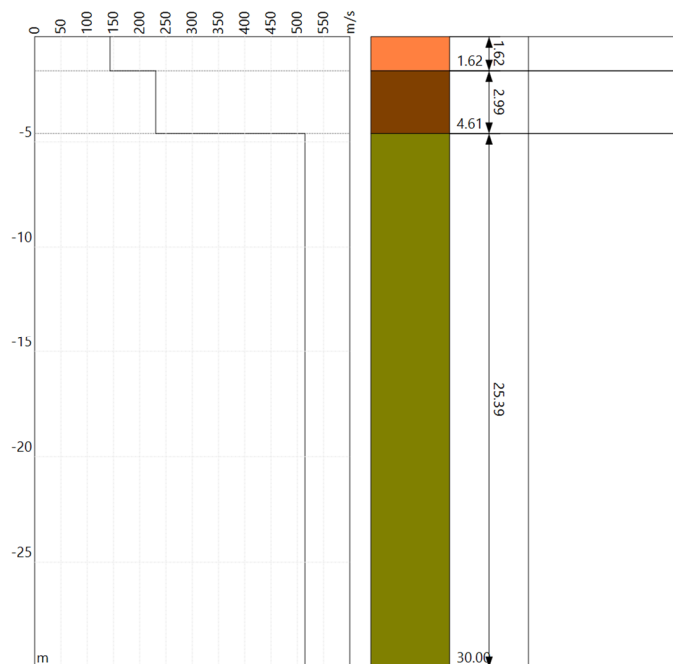
INDAGINE SISMICA MASW 2

Strato n°1: Vs = 143.5 m/s; spessore medio 1.62 metri.

Strato n°2: Vs = 230.5 m/s; spessore medio oltre 2.99 metri.

Strato n°3: Vs = 514.6 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, $V_{S,eq} = 407.61 \text{ m/s}$, 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.

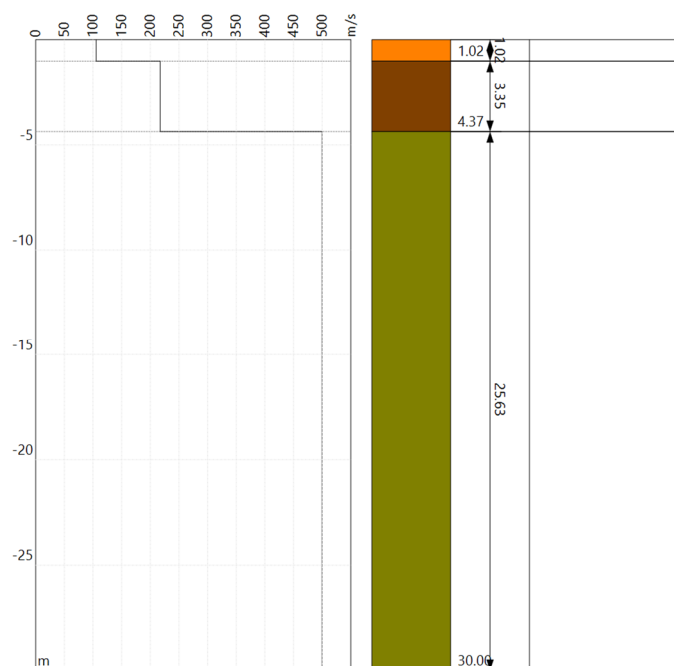
INDAGINE SISMICA MASW 3

Strato n°1: $V_s = 105.7$ m/s; spessore medio 1.02 metri.

Strato n°2: $V_s = 217.5$ m/s; spessore medio oltre 3.35 metri.

Strato n°3: $V_s = 499.8$ 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, $V_{S,eq} = 392.99$ 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.

INDAGINE SISMICA MASW 4

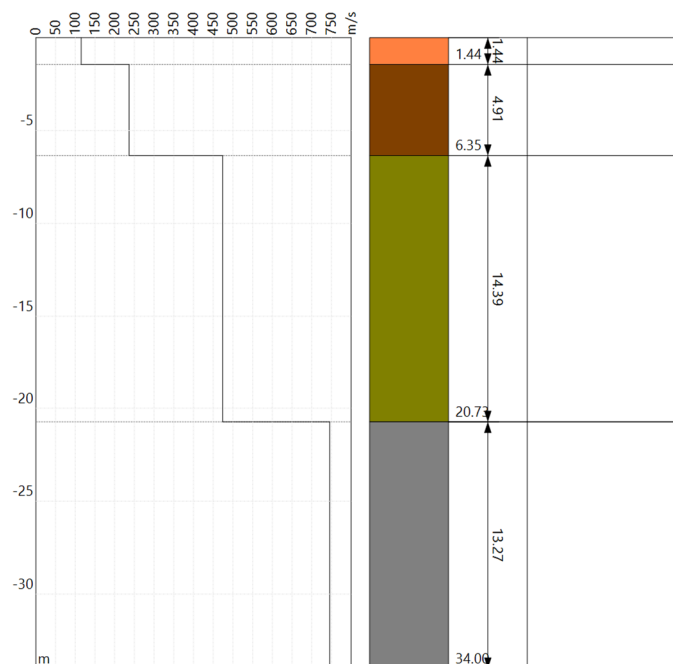
Strato n°1: $V_s = 115.0$ m/s; spessore medio 1.44 metri.

Strato n°2: $V_s = 236.53$ m/s; spessore medio oltre 4.91 metri.

Strato n°3: $V_s = 474.04$ m/s; spessore medio oltre 14.39 metri.

Strato n°4: $V_s = 745.86$ 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, $V_{S,eq} = 394.52$ 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.

7. CONCLUSIONI

Ad evasione dell'incarico ricevuto dalla TOLALP ENERGY S.R.L., nell'ambito del progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato "Tolalp-Racalmuto" e relative opere ed infrastrutture necessarie, con potenza pari a 38745 kWp, da realizzarsi nel comune di Racalmuto è stato effettuato uno studio sismico finalizzato ad accertare la compatibilità sismica delle opere in progetto con il territorio in esame.

Lo studio è stato redatto in ottemperanza al D.M. 17/01/2018 attraverso rilievi sismici di dettaglio estesi ad una fascia perimetrale esterna rispetto a quella di stretto interesse. In particolare è stata eseguita una campagna di indagini di sito specifiche, così come disposto dall'art. 6.12.1 del N.T.C 2018, che hanno incluso tecniche di sismica a rifrazione e sismica masw, il cui numero è apparso congruo in funzione sia dell'attuale livello di approfondimento progettuale sia della copertura litologica dell'area di interesse. In fase esecutiva si dovranno prevedere, comunque, un supplemento di indagini, attraverso mirate campagne di indagini geognostiche e prove di laboratorio, al fine di potere approfondire le conoscenze circa le stratigrafie presenti e la caratterizzazione geotecnica dei terreni.

Sulla base delle elaborazioni effettuate sono stati individuati, in ciascuna delle quattro indagini di sismica 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 6 metri, di due orizzonti rifrattori. I modelli sismo-stratigrafici rispecchiano abbastanza fedelmente le caratteristiche geologiche dell'area.

Dalle indagini di sismica a rifrazione effettuate hanno evidenziato una certa omogeneità delle successioni sismo-stratigrafiche presenti. Si riscontra infatti fino ad una profondità variabile di circa 1.0-1.5 metri dal p.c. uno strato di terreno di copertura coesivo soffice poco consistente di natura limoso. Successivamente si riscontra la presenza di terreni argillosi limosi moderatamente consistenti

per poi passare ad una profondità di circa 2.4-3.6 metri dal p.c terreni
argillosi coesivi duri e consistenti con spessore indefinito.

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** (D.M.
17/01/2018) e **categoria Topografica T1**.

Palermo, Maggio 2023

Dott. Geol. Michele Ognibene
Ordine Regionale Geologi di Sicilia



SCHEDE DI CALCOLO INDAGINI SISMICHE

ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE Rz1

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

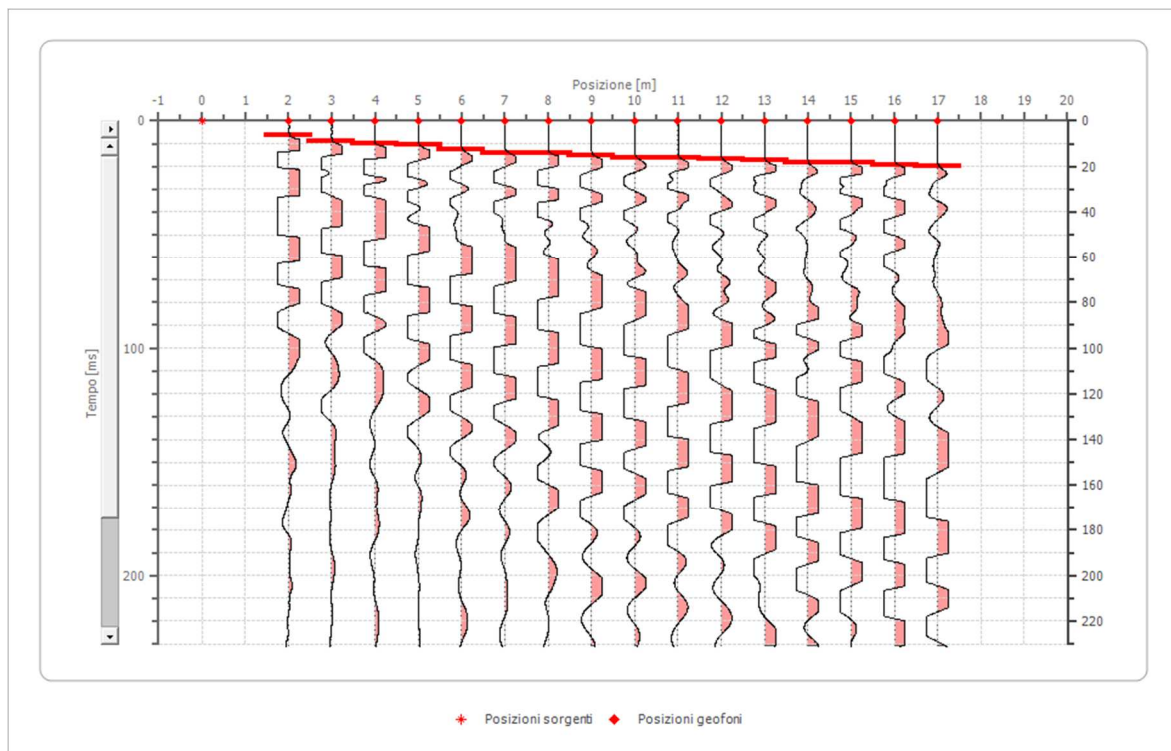
16	17.0	0.0
----	------	-----

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0[m]

Posizione sorgente Z 0[m]

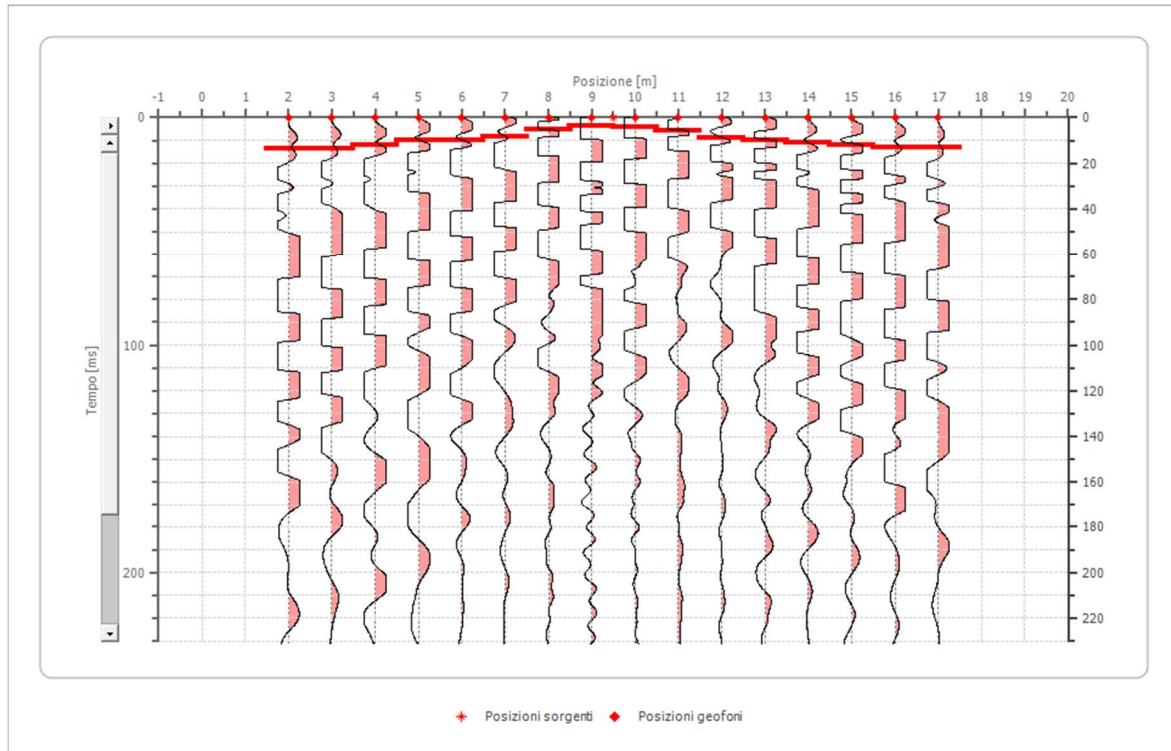


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	6.2794
3.0	8.8959
4.0	9.9424
5.0	10.4657
6.0	12.5589
7.0	14.1287
8.0	14.1287
9.0	15.1753
10.0	16.2219
11.0	16.2219
12.0	16.7452
13.0	17.2684
14.0	18.3150
15.0	18.3150
16.0	19.3616
17.0	19.8849

Battuta 2

Posizione sorgente X 10[m]

Posizione sorgente Z 0[m]



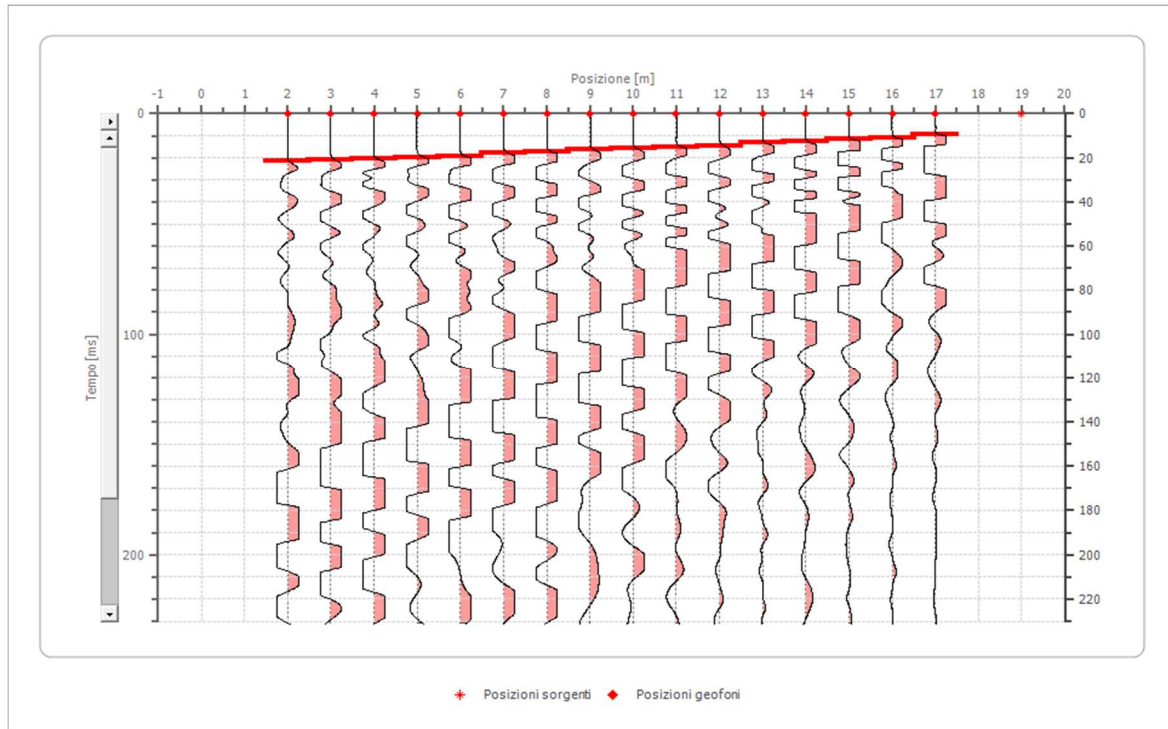
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	13.6054
3.0	13.6054
4.0	12.0356
5.0	9.9424
6.0	9.9424
7.0	8.3726
8.0	5.2329
9.0	3.6630
10.0	4.1863

11.0	5.7561
12.0	8.8959
13.0	9.9424
14.0	10.9890
15.0	12.0356
16.0	13.0822
17.0	13.0822

Battuta 3

Posizione sorgente X 19[m]

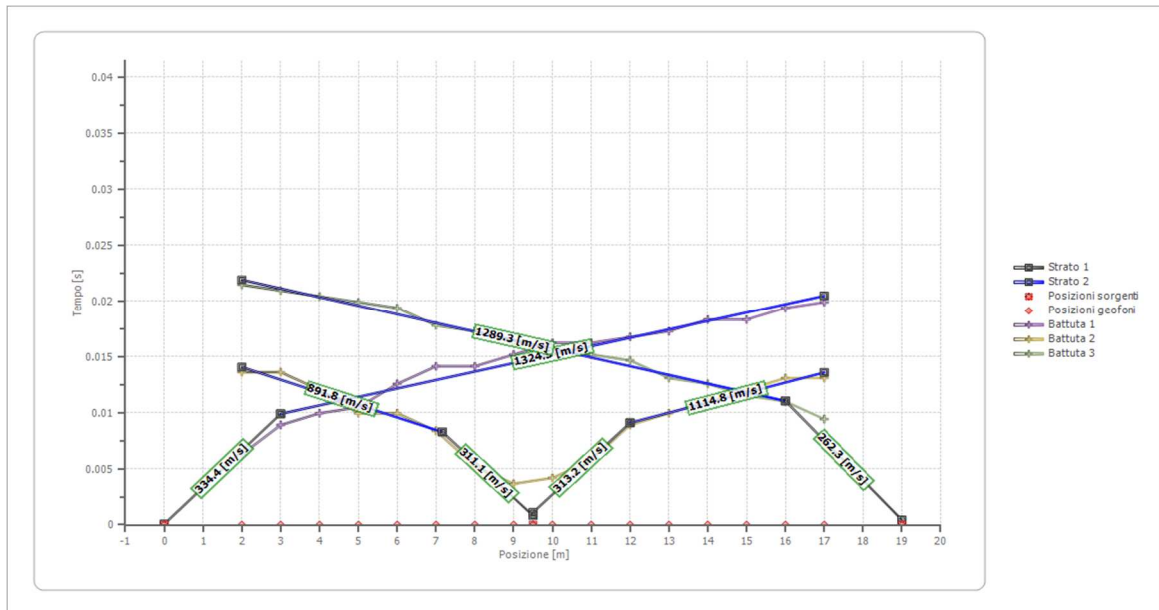
Posizione sorgente Z 0[m]



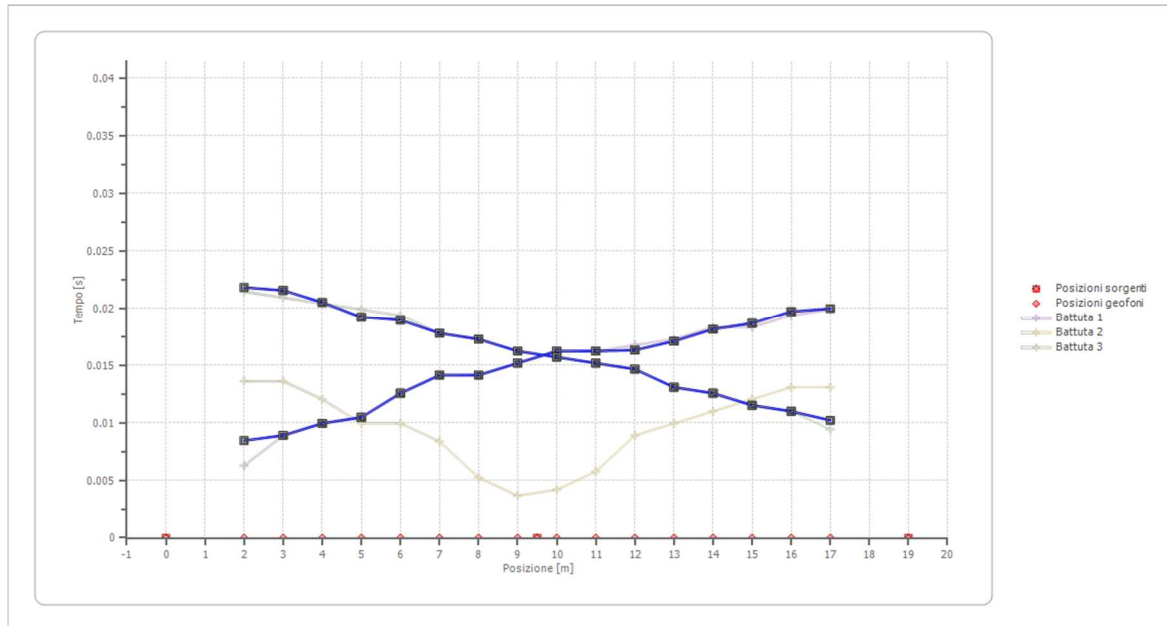
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	21.4547
3.0	20.9315
4.0	20.4082
5.0	19.8849
6.0	19.3616
7.0	17.7917
8.0	17.2684
9.0	16.2219
10.0	15.6986
11.0	15.1753
12.0	14.6520
13.0	13.0822
14.0	12.5589

15.0	11.5123
16.0	10.9890
17.0	9.4192

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 2.0 [m]	1.2	--
G= 3.0 [m]	1.2	--
G= 4.0 [m]	1.2	--
G= 5.0 [m]	1.1	--
G= 6.0 [m]	1.4	--
G= 7.0 [m]	1.4	--
G= 8.0 [m]	1.4	--
G= 9.0 [m]	1.4	--
G= 10.0 [m]	1.4	--
G= 11.0 [m]	1.4	--
G= 12.0 [m]	1.3	--
G= 13.0 [m]	1.2	--
G= 14.0 [m]	1.2	--
G= 15.0 [m]	1.2	--
G= 16.0 [m]	1.2	--

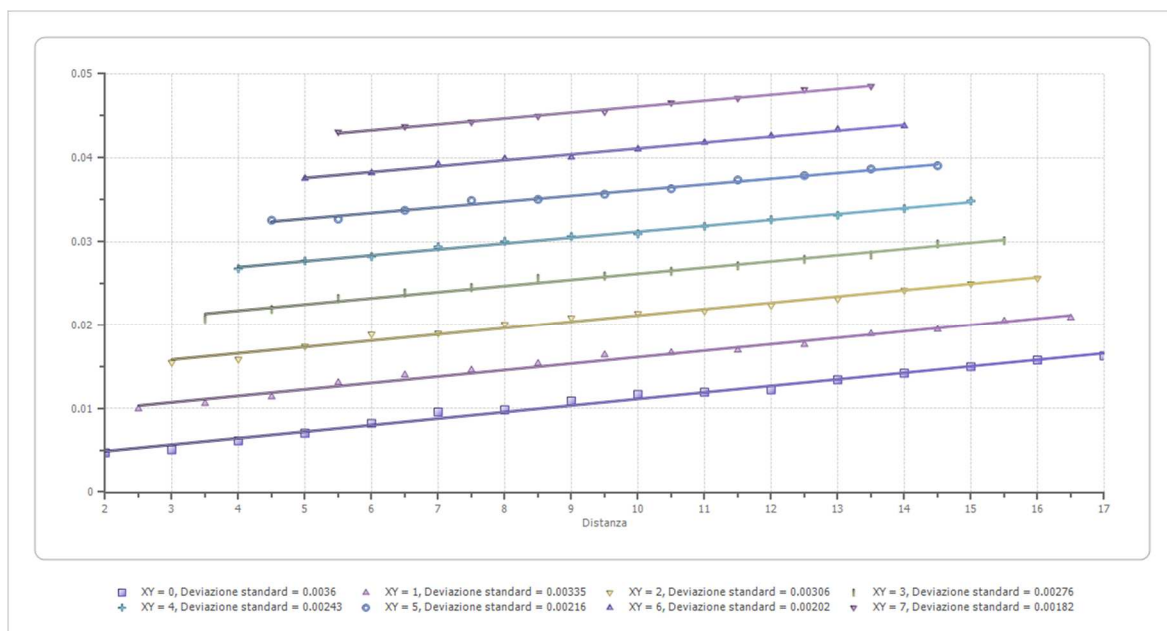
G= 17.0 [m]	1.2	--
Velocità [m/sec]	305.3	1280.0
Descrizione		

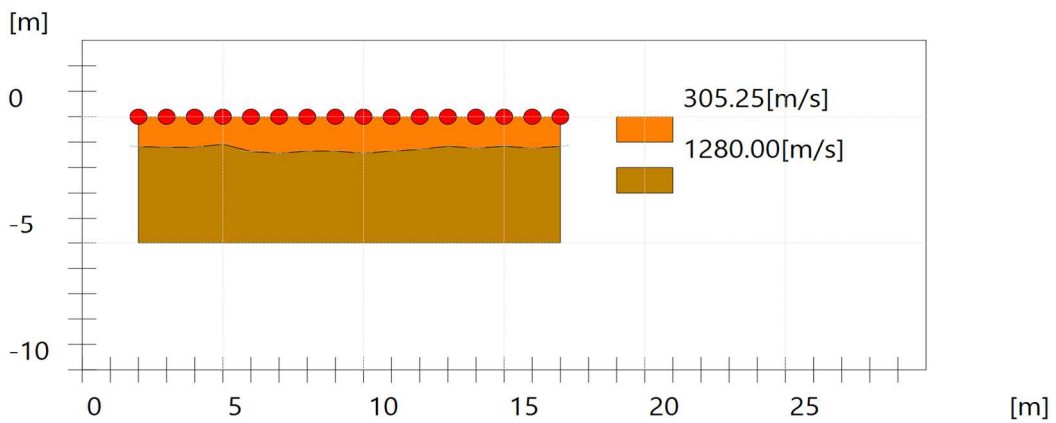
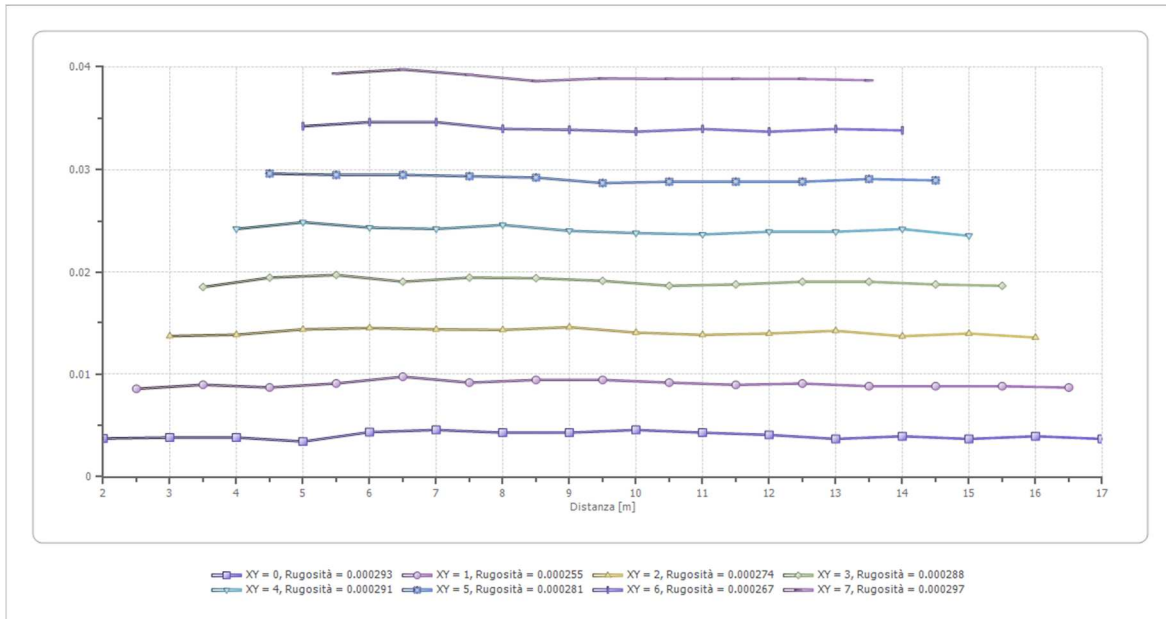
Altri parametri geotecnici

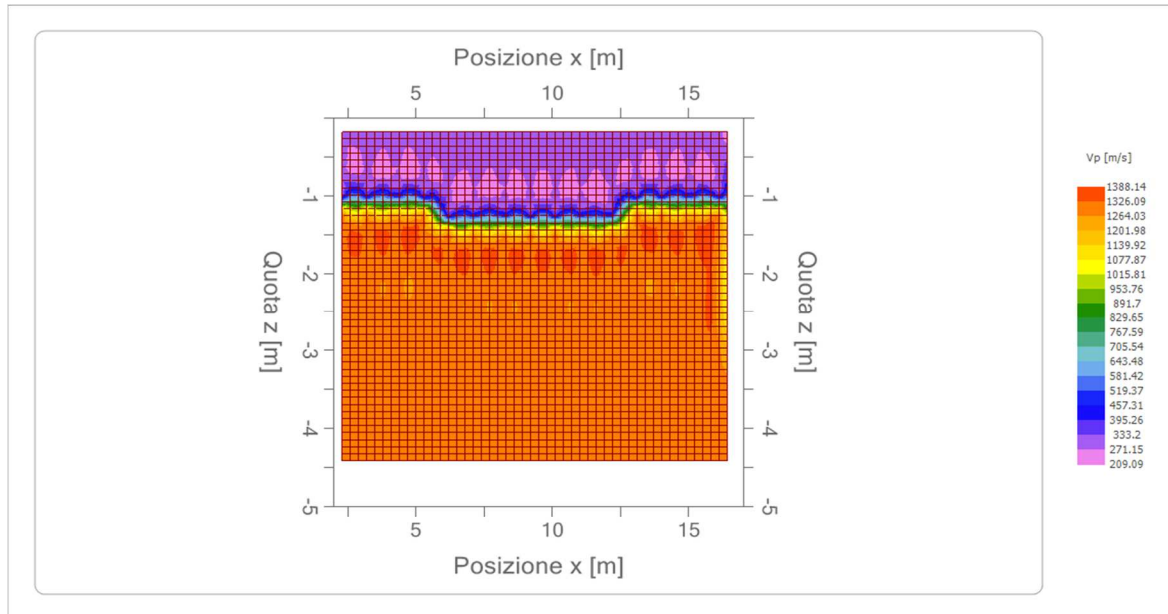
	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1700.00	1800.00
Vp [m/s]	305.25	1280.00
Vs [m/s]	146.64	614.89
G0 [MPa]	36.55	680.57
Ed [Mpa]	158.40	2949.14
M0 [MPa]	121.85	2268.57
Ey [Mpa]	98.70	1837.54

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

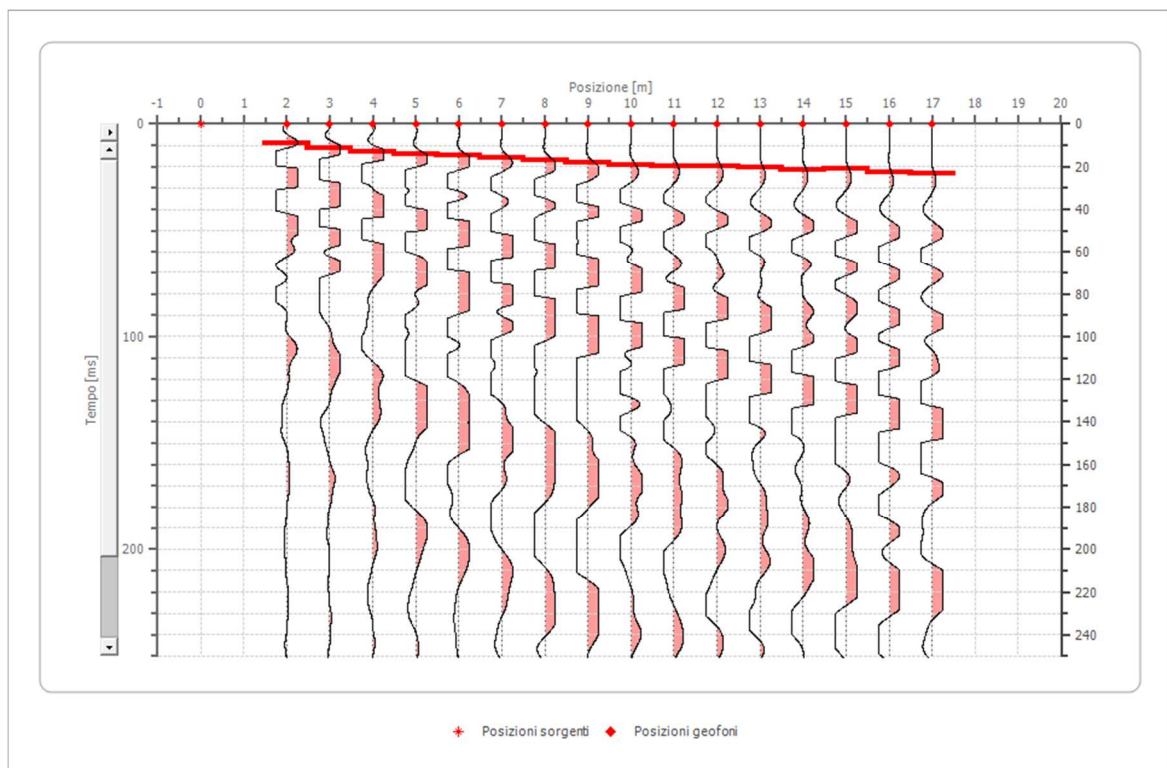
	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.0	0.0
2	3.0	0.0
3	4.0	0.0
4	5.0	0.0
5	6.0	0.0
6	7.0	0.0
7	8.0	0.0
8	9.0	0.0
9	10.0	0.0
10	11.0	0.0
11	12.0	0.0
12	13.0	0.0
13	14.0	0.0
14	15.0	0.0
15	16.0	0.0
16	17.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0[m]

Posizione sorgente Z 0[m]



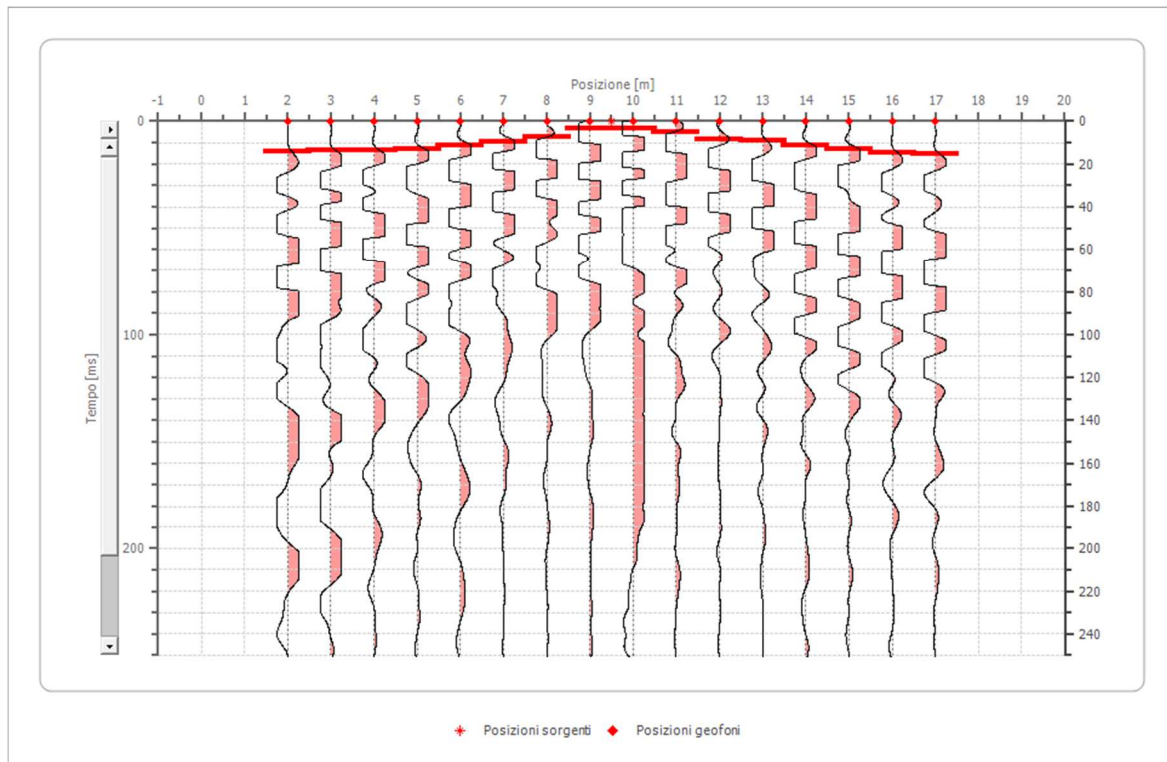
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	8.8435
3.0	11.5646
4.0	12.9252
5.0	14.2857

6.0	14.9660
7.0	15.6463
8.0	17.0068
9.0	18.3673
10.0	19.0476
11.0	19.7279
12.0	19.7279
13.0	20.4082
14.0	21.7687
15.0	21.0884
16.0	22.4490
17.0	23.1293

Battuta 2

Posizione sorgente X 10[m]

Posizione sorgente Z 0[m]

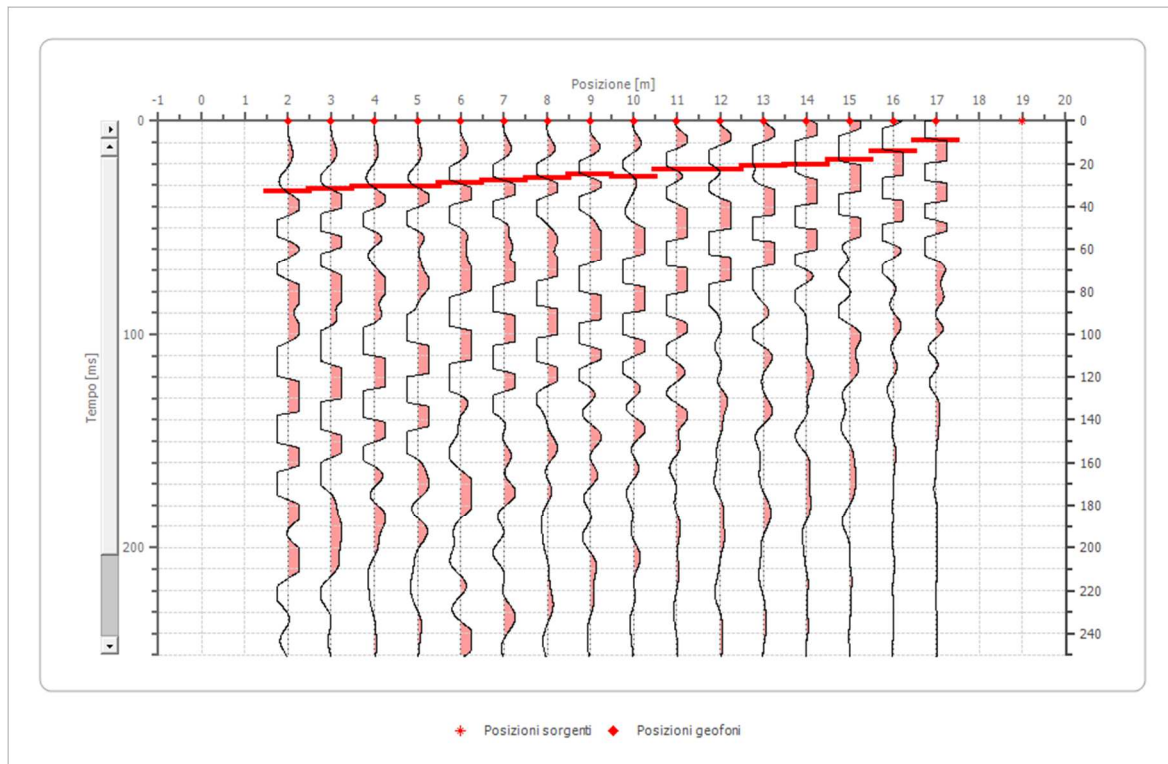


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	14.1723
3.0	13.6054
4.0	13.6054
5.0	13.0385
6.0	11.3379
7.0	9.6372
8.0	7.3696
9.0	3.4014
10.0	3.4014
11.0	5.1020
12.0	8.5034
13.0	9.0703
14.0	11.3379
15.0	13.0385
16.0	14.7392
17.0	15.3061

Battuta 3

Posizione sorgente X 19[m]

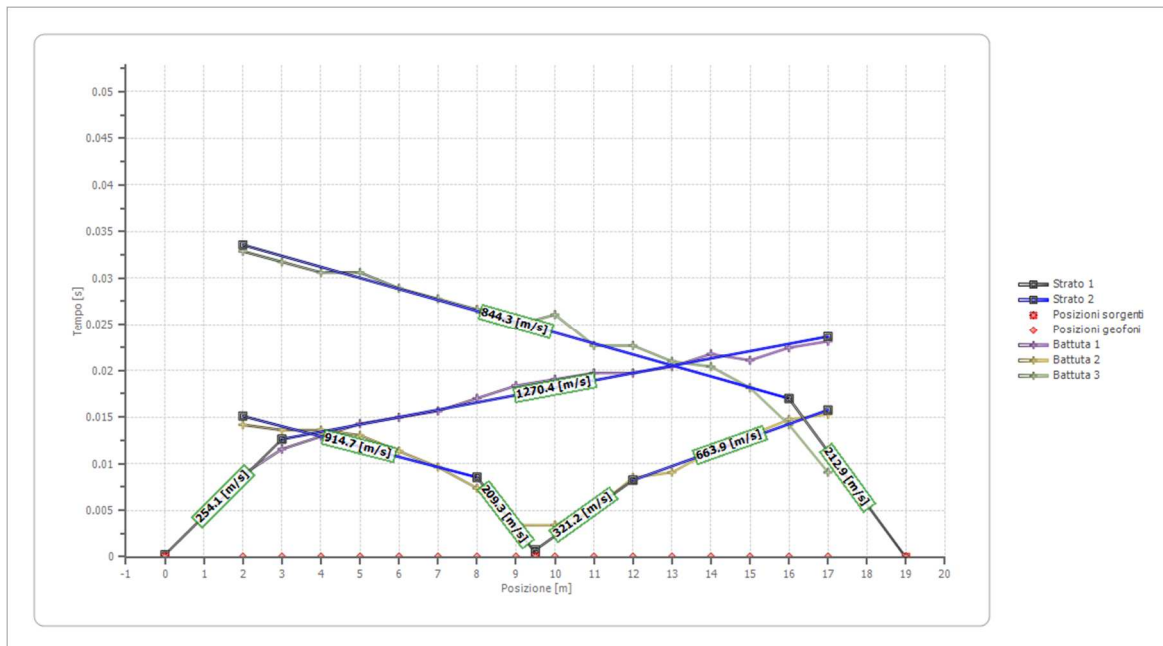
Posizione sorgente Z 0[m]



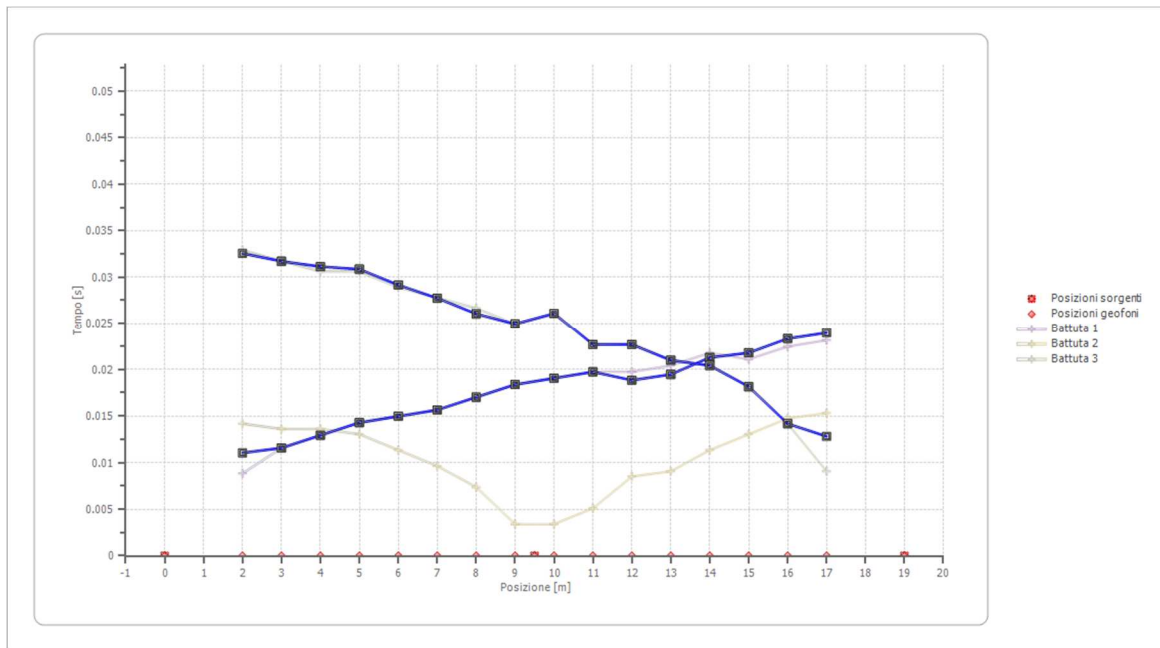
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	32.8798
3.0	31.7460
4.0	30.6122
5.0	30.6122
6.0	28.9116

7.0	27.7778
8.0	26.6440
9.0	24.9433
10.0	26.0771
11.0	22.6757
12.0	22.6757
13.0	20.9751
14.0	20.4082
15.0	18.1406
16.0	14.1723
17.0	9.0703

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 2.0 [m]	1.7	--
G= 3.0 [m]	1.6	--
G= 4.0 [m]	1.7	--
G= 5.0 [m]	1.9	--
G= 6.0 [m]	1.7	--
G= 7.0 [m]	1.6	--
G= 8.0 [m]	1.6	--

G= 9.0 [m]	1.6	--
G= 10.0 [m]	1.9	--
G= 11.0 [m]	1.5	--
G= 12.0 [m]	1.4	--
G= 13.0 [m]	1.3	--
G= 14.0 [m]	1.4	--
G= 15.0 [m]	1.2	--
G= 16.0 [m]	0.9	--
G= 17.0 [m]	0.8	--
Velocità [m/sec]	249.4	961.1
Descrizione		

Altri parametri geotecnici

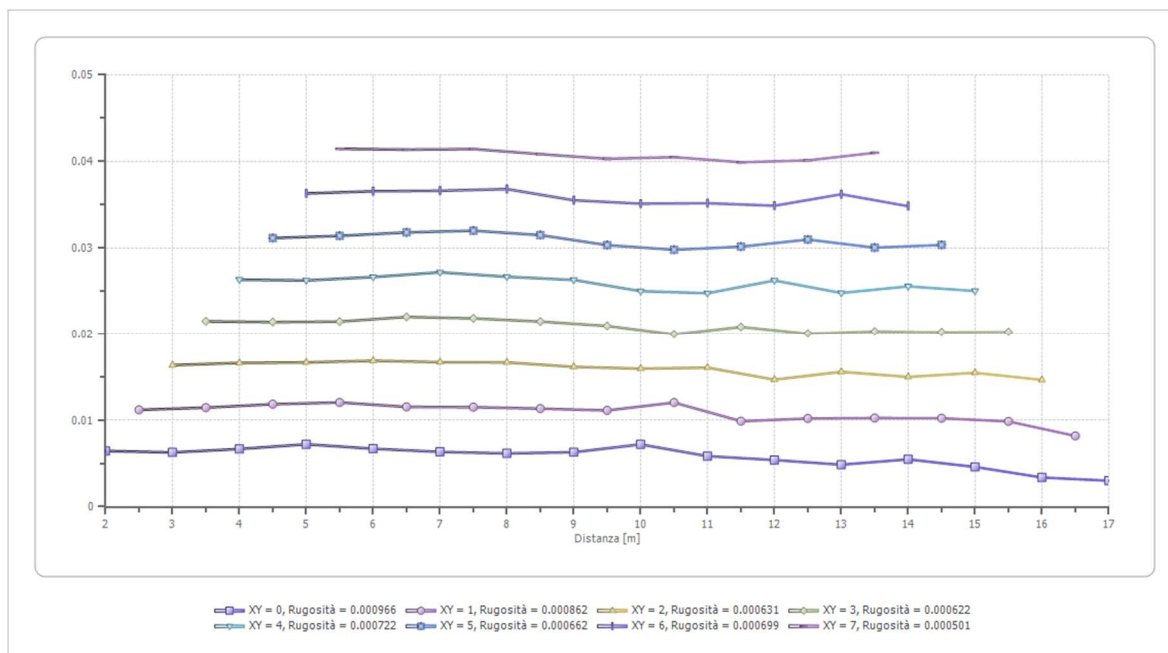
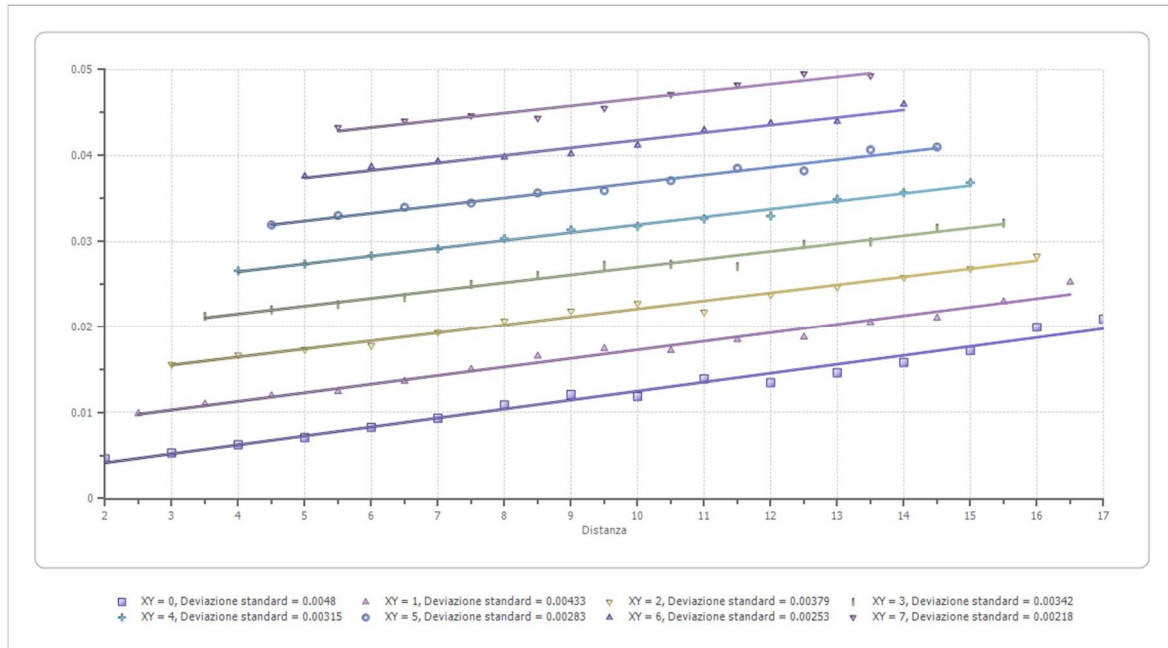
	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	249.37	961.09
Vs [m/s]	119.79	461.69
G0 [MPa]	25.83	383.69
Ed [Mpa]	111.94	1662.64
M0 [MPa]	86.10	1278.95
Ey [Mpa]	69.74	1035.95

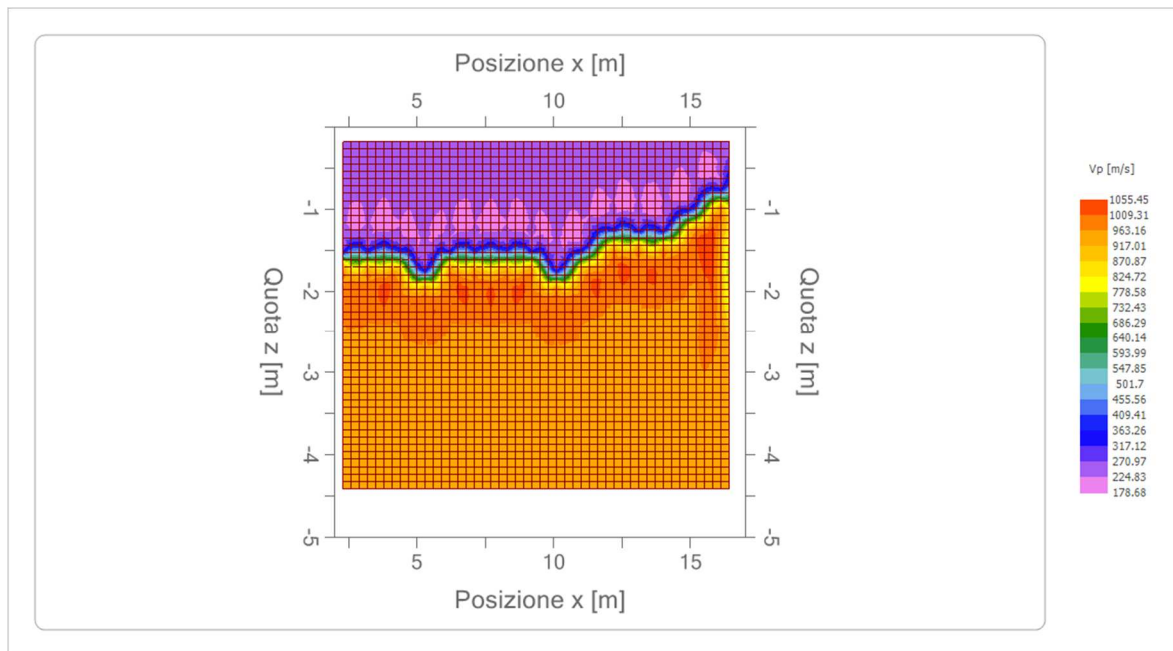
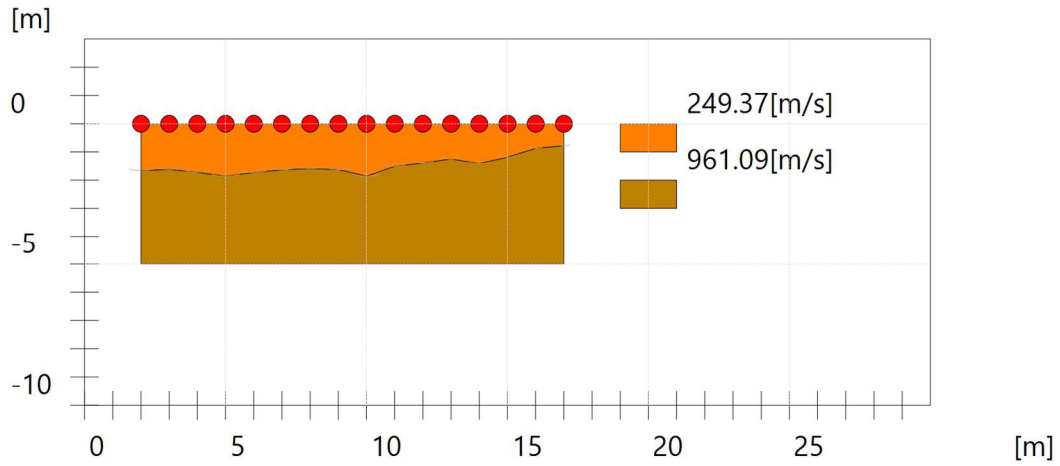
G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;





ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE Rz3

Geometria geofoni

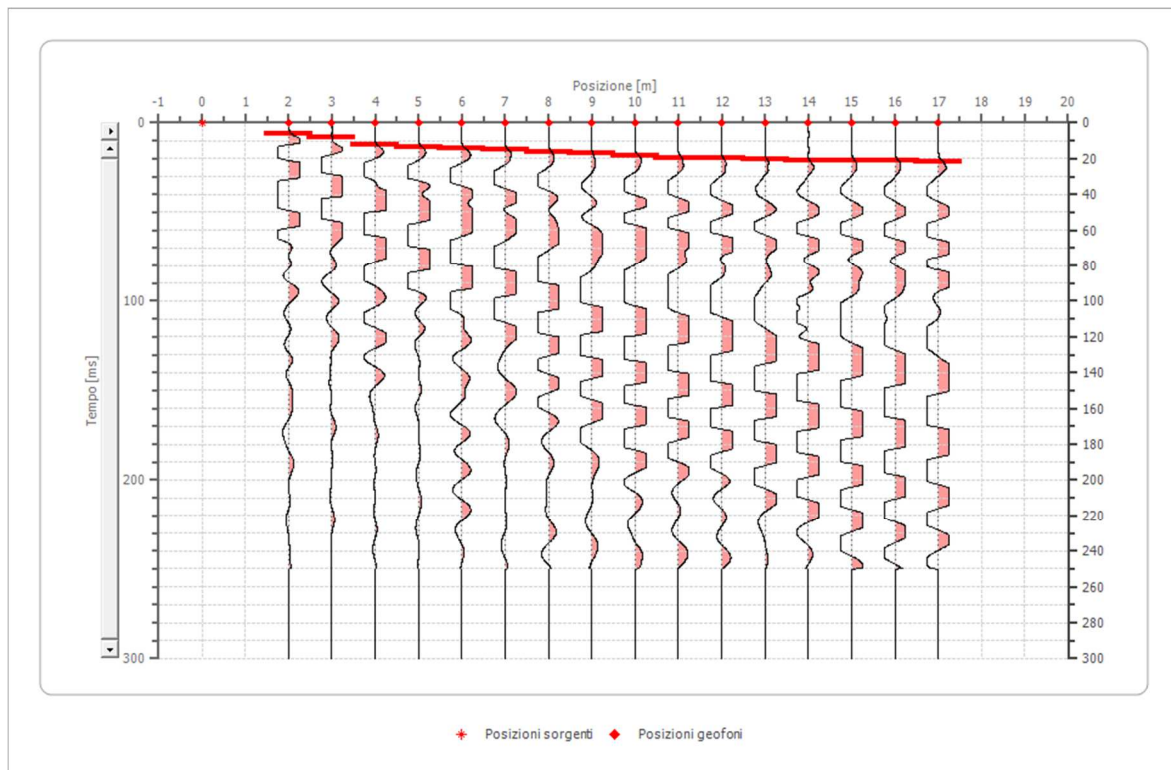
	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.0	0.0
2	3.0	0.0
3	4.0	0.0
4	5.0	0.0
5	6.0	0.0
6	7.0	0.0
7	8.0	0.0
8	9.0	0.0
9	10.0	0.0
10	11.0	0.0
11	12.0	0.0
12	13.0	0.0
13	14.0	0.0
14	15.0	0.0
15	16.0	0.0
16	17.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0[m]

Posizione sorgente Z 0[m]



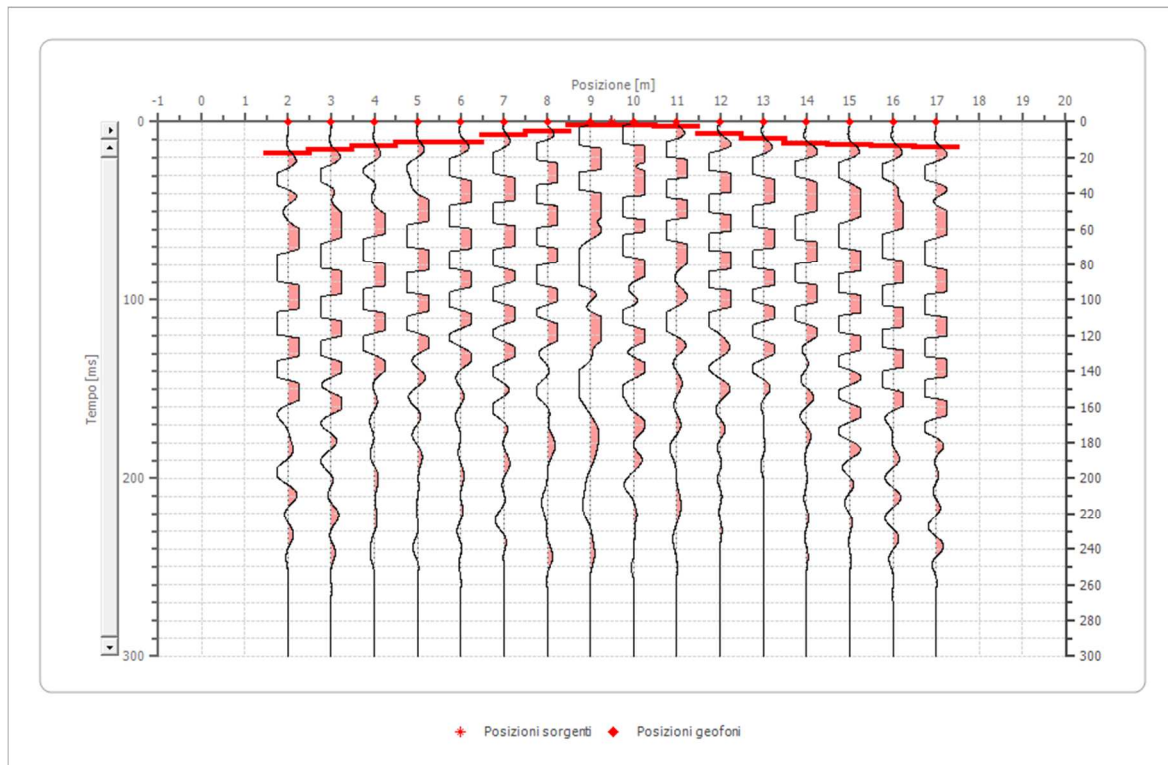
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	6.1224
3.0	8.1633
4.0	12.2449
5.0	13.6054

6.0	14.2857
7.0	14.9660
8.0	16.3265
9.0	17.0068
10.0	18.3673
11.0	19.7279
12.0	19.7279
13.0	20.4082
14.0	21.0884
15.0	21.0884
16.0	21.0884
17.0	21.7687

Battuta 2

Posizione sorgente X 10 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

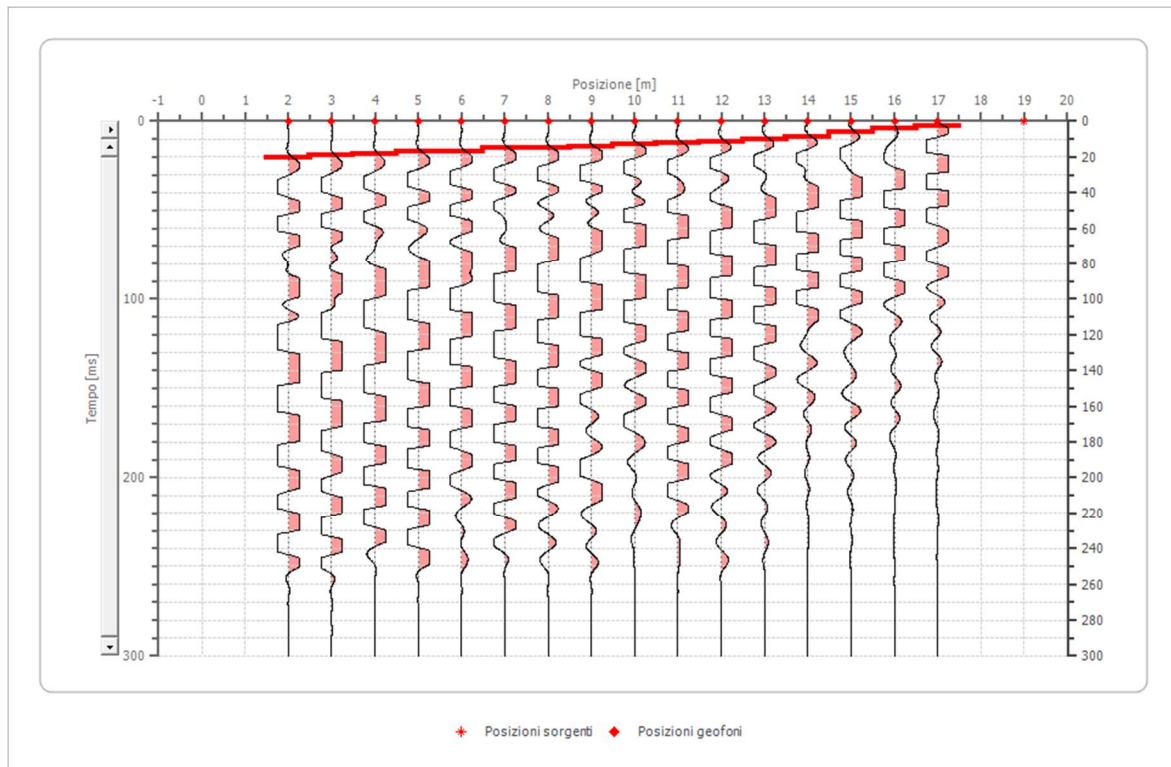


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	17.6871
3.0	15.6463
4.0	13.6054
5.0	11.5646
6.0	11.5646
7.0	7.4830
8.0	5.4422
9.0	2.0408
10.0	2.0408
11.0	2.7211
12.0	6.8027
13.0	9.5238
14.0	12.2449
15.0	12.9252
16.0	13.6054
17.0	14.2857

Battuta 3

Posizione sorgente X 19 [m]

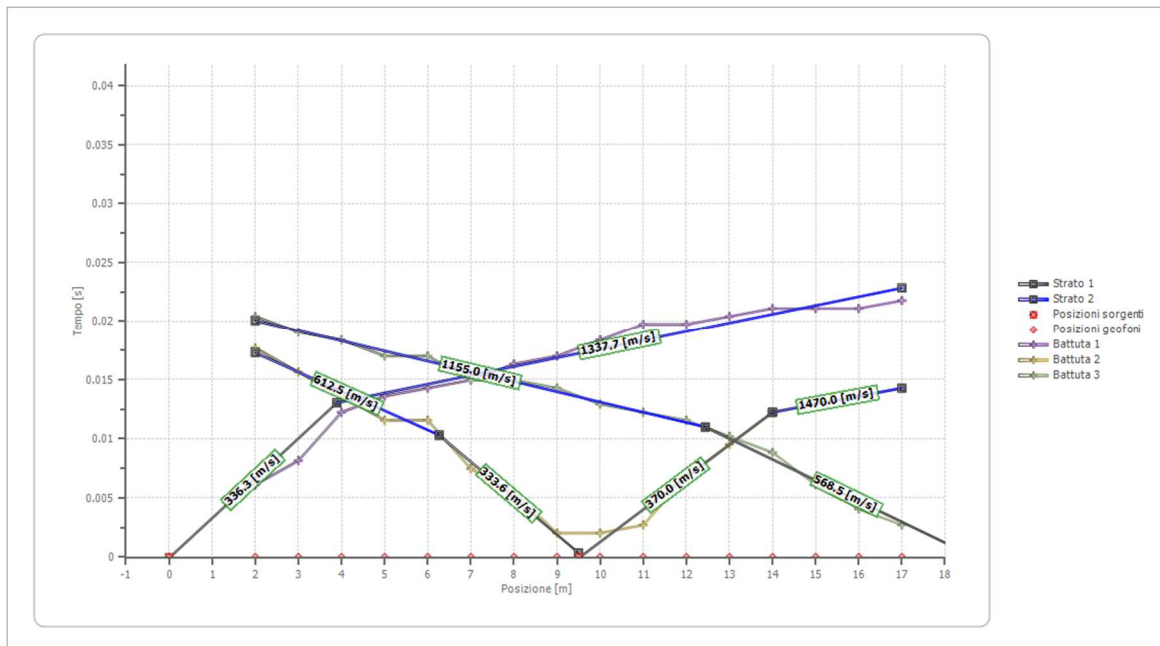
Posizione sorgente Z 0[m]



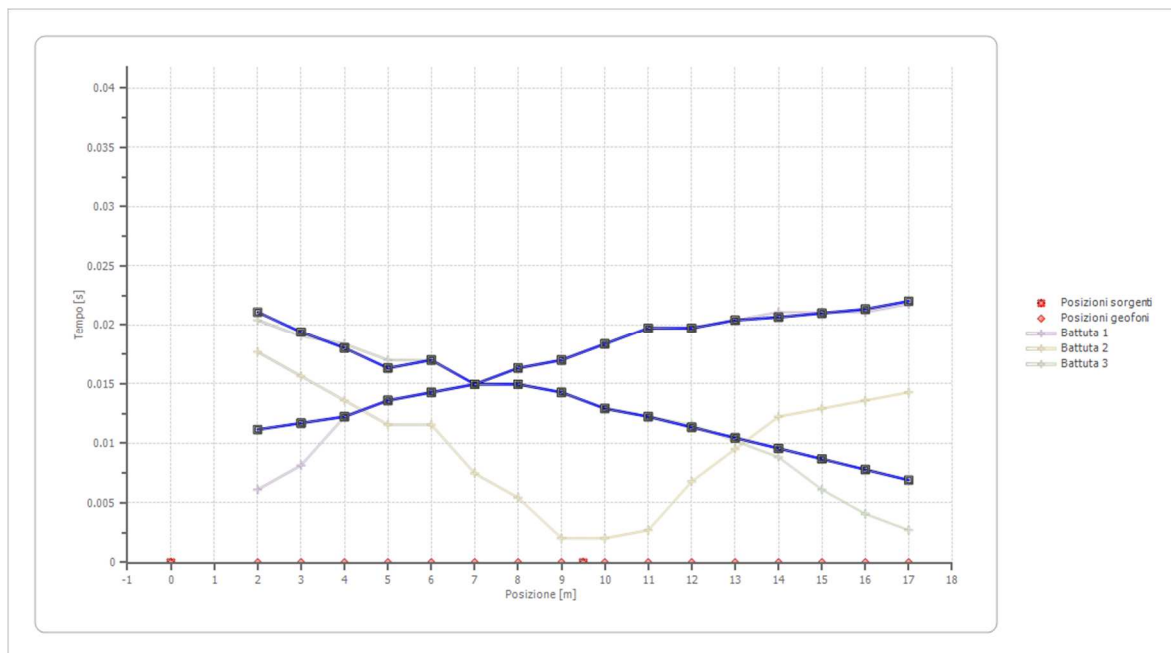
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	20.4082
3.0	19.0476

4.0	18.3673
5.0	17.0068
6.0	17.0068
7.0	14.9660
8.0	14.9660
9.0	14.2857
10.0	12.9252
11.0	12.2449
12.0	11.5646
13.0	10.2041
14.0	8.8435
15.0	6.1224
16.0	4.0816
17.0	2.7211

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.R.M.

XY: 0

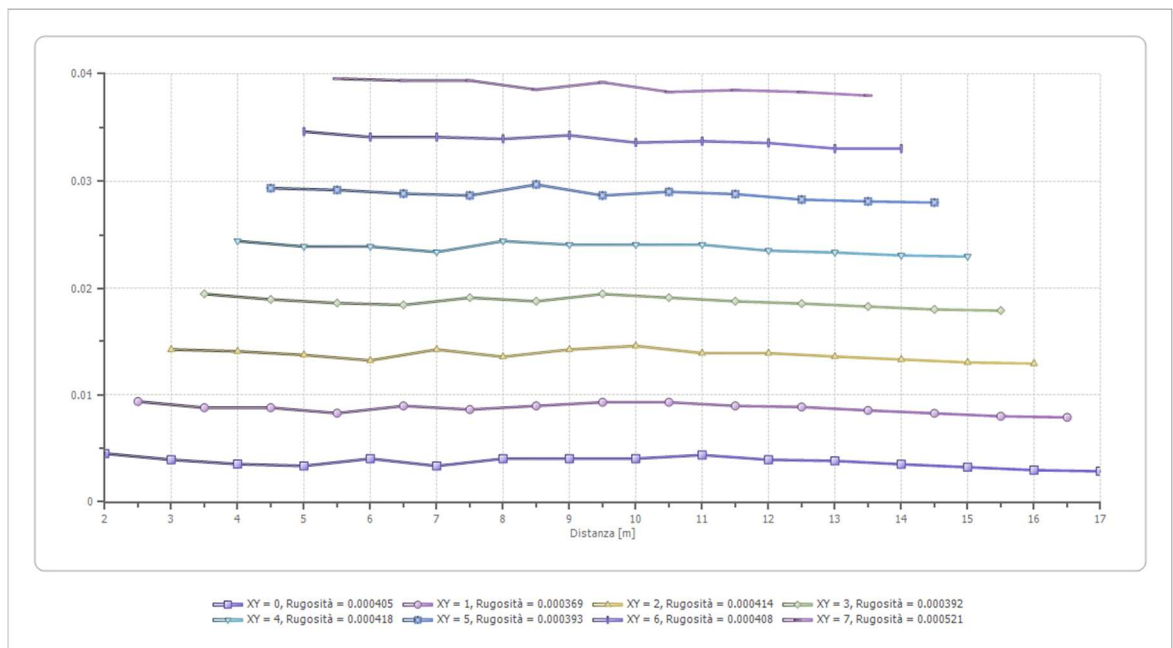
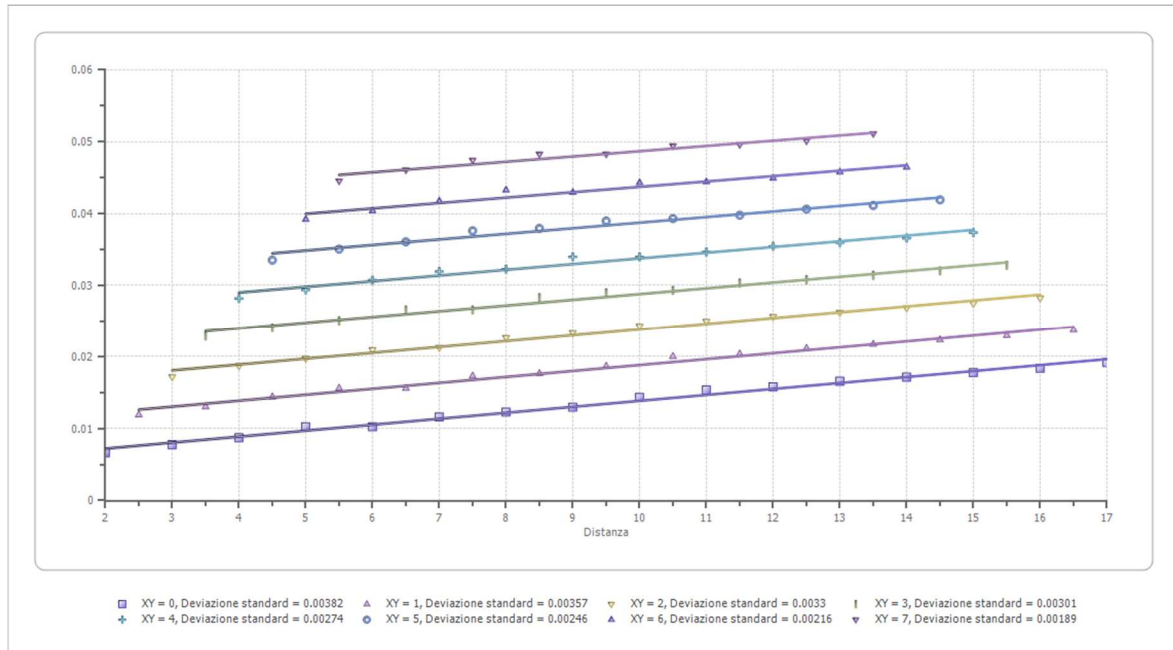
	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 2.0 [m]	1.9	--
G= 3.0 [m]	1.7	--
G= 4.0 [m]	1.5	--

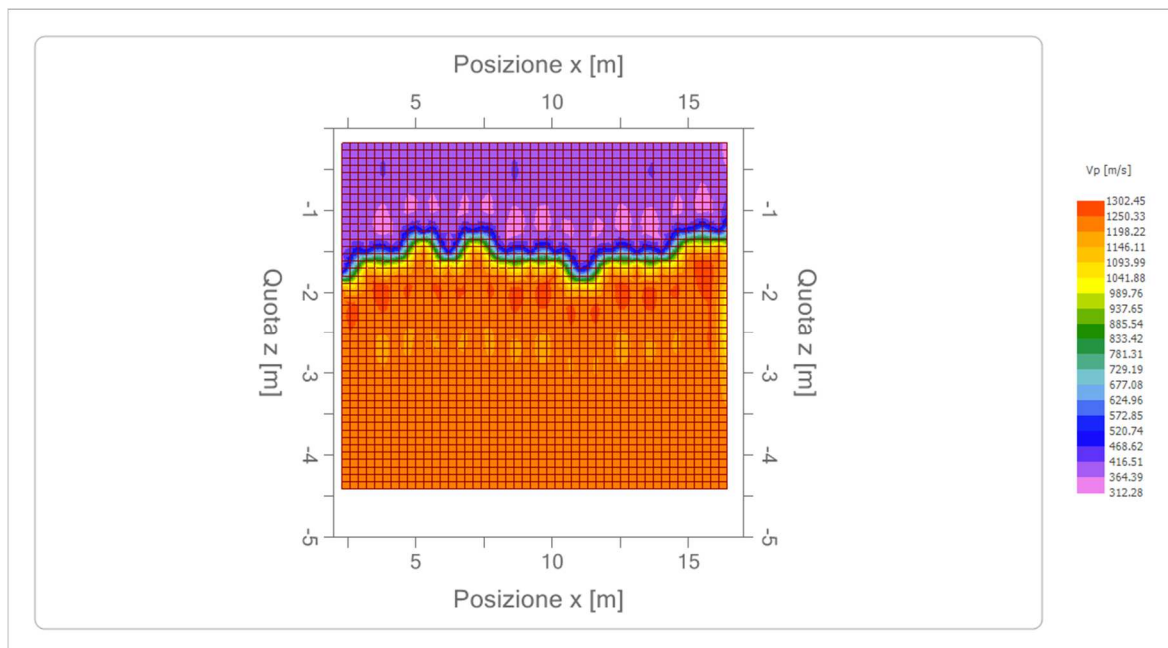
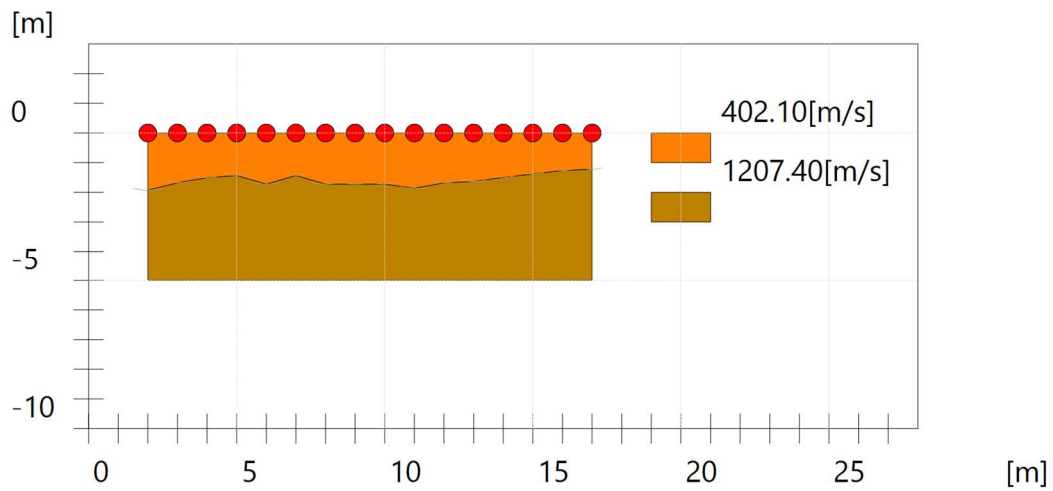
G= 5.0 [m]	1.4	--
G= 6.0 [m]	1.7	--
G= 7.0 [m]	1.4	--
G= 8.0 [m]	1.7	--
G= 9.0 [m]	1.7	--
G= 10.0 [m]	1.7	--
G= 11.0 [m]	1.9	--
G= 12.0 [m]	1.7	--
G= 13.0 [m]	1.6	--
G= 14.0 [m]	1.5	--
G= 15.0 [m]	1.4	--
G= 16.0 [m]	1.3	--
G= 17.0 [m]	1.2	--
Velocità [m/sec]	402.1	1207.4
Descrizione		

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]	402.10	1207.40
Vs [m/s]	193.16	580.02
G0 [MPa]	63.43	605.56
Ed [Mpa]	274.86	2624.08
M0 [MPa]	211.43	2018.53
Ey [Mpa]	171.26	1635.01

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





ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE Rz4

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

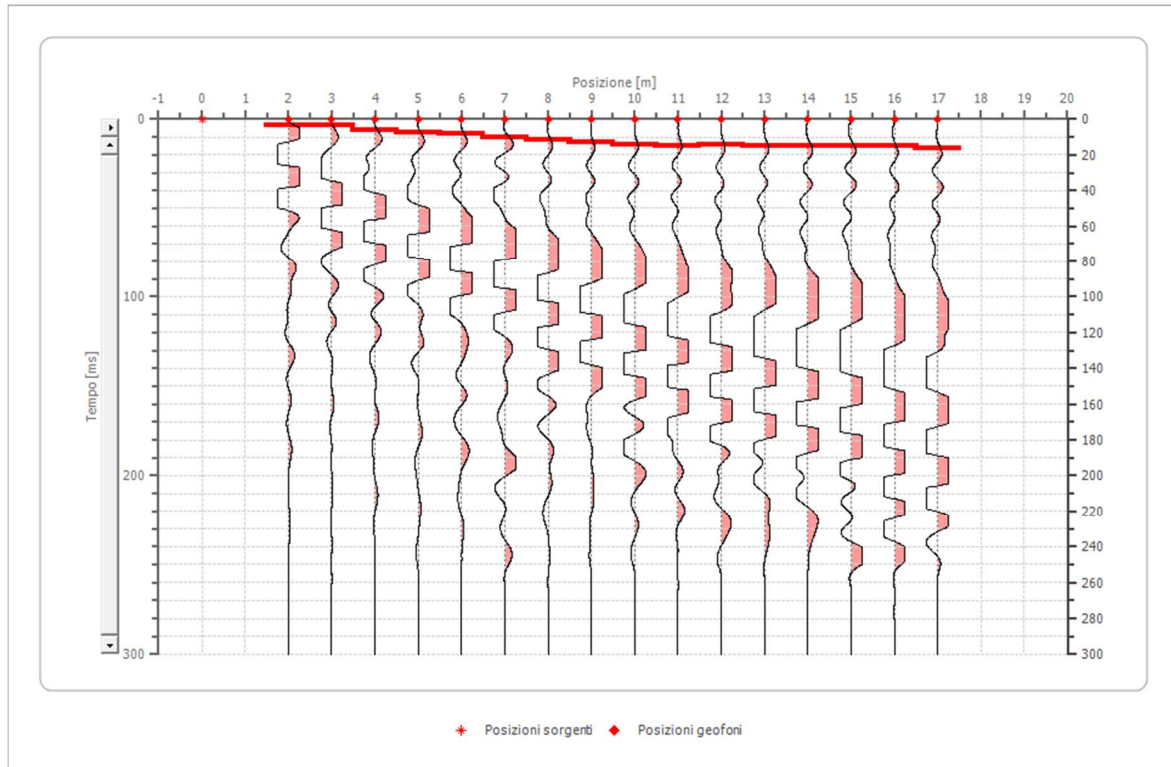
10	11.0	0.0
11	12.0	0.0
12	13.0	0.0
13	14.0	0.0
14	15.0	0.0
15	16.0	0.0
16	17.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]

Posizione sorgente Z 0[m]



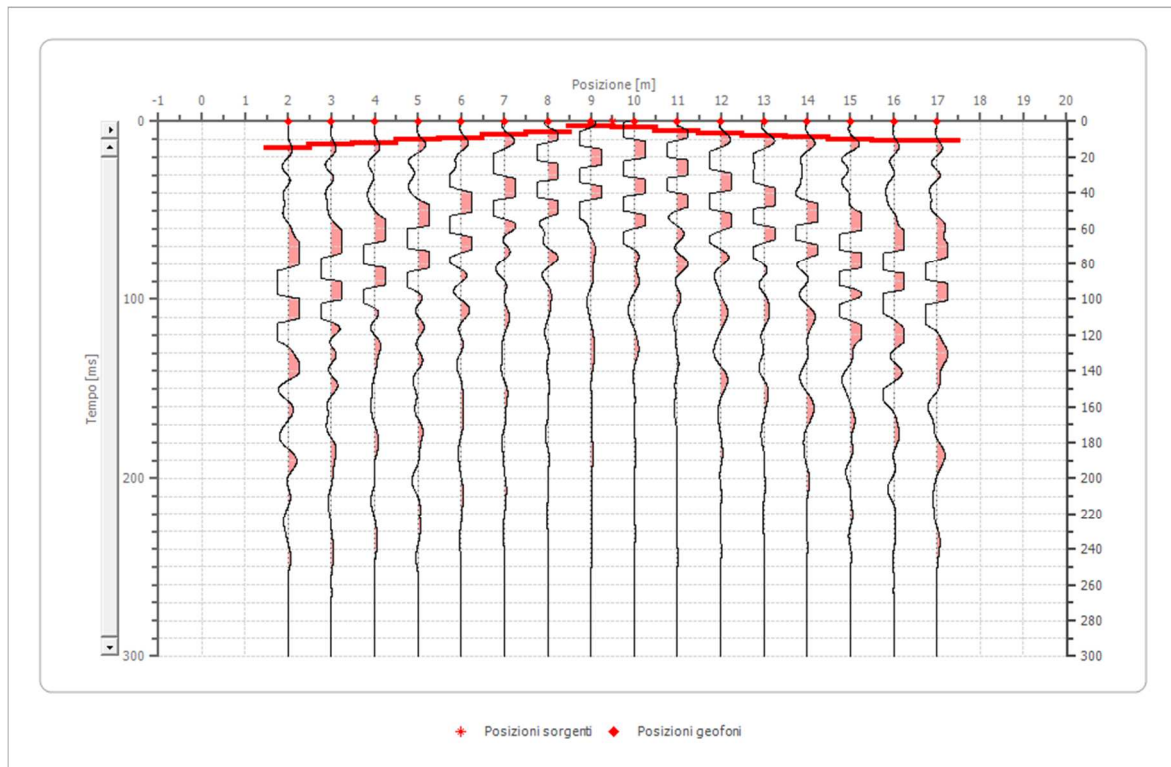
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	3.5804
3.0	3.5804
4.0	6.0866
5.0	7.5188
6.0	8.2349
7.0	10.0251
8.0	11.4572
9.0	12.8894
10.0	13.9635
11.0	14.6796
12.0	14.3215
13.0	15.0376

14.0	15.0376
15.0	15.0376
16.0	15.0376
17.0	16.1117

Battuta 2

Posizione sorgente X 10 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	15.0376

3.0	13.2474
4.0	12.5313
5.0	10.2041
6.0	9.5238
7.0	7.4830
8.0	6.4447
9.0	2.7211
10.0	3.4014
11.0	5.4422
12.0	6.8027
13.0	8.1633
14.0	8.8435
15.0	10.2041
16.0	10.8844
17.0	10.8844

Battuta 3

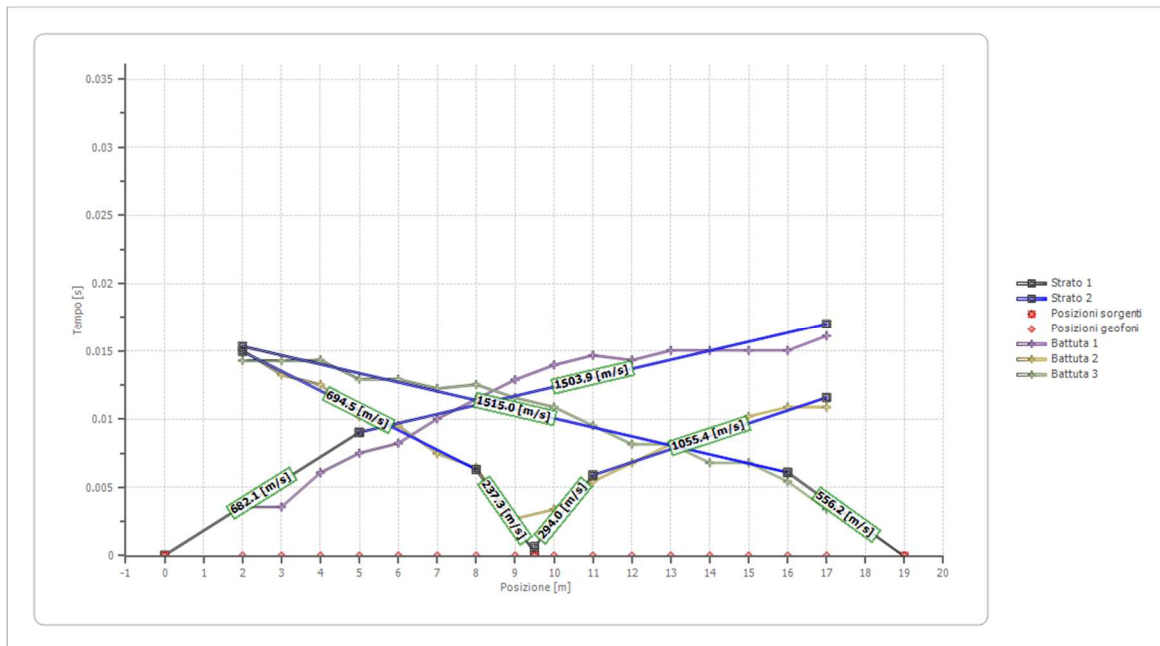
Posizione sorgente X 19 [m]

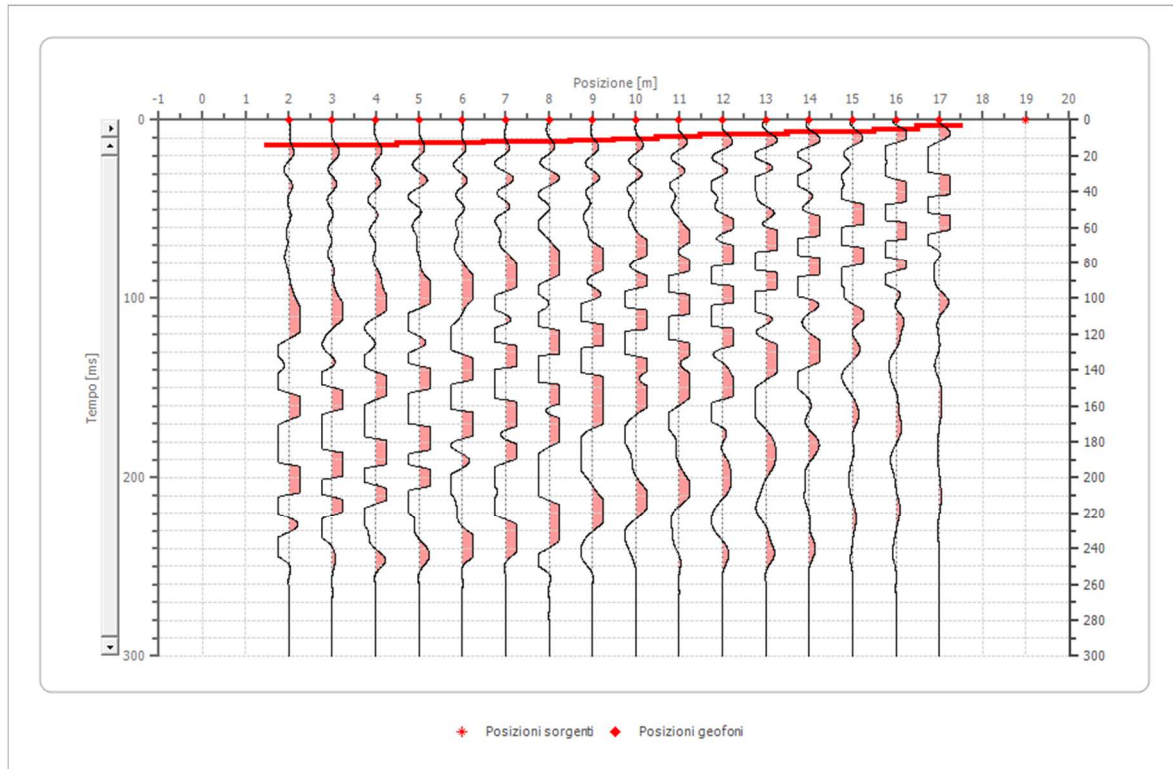
Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	14.2857
3.0	14.2857
4.0	14.3215
5.0	12.9252
6.0	12.9252
7.0	12.2449
8.0	12.5313

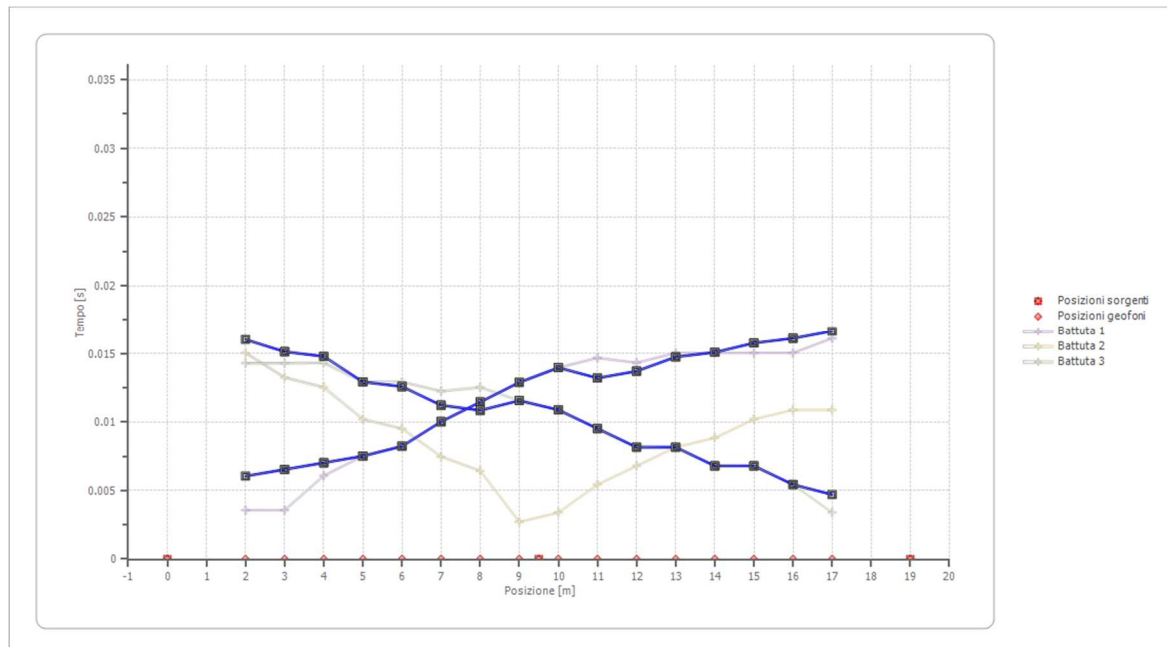
9.0	11.5646
10.0	10.8844
11.0	9.5238
12.0	8.1633
13.0	8.1633
14.0	6.8027
15.0	6.8027
16.0	5.4422
17.0	3.4014

Dromocrone





Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.R.M.

XY: 2

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 3.0 [m]	0.8	--
G= 4.0 [m]	0.8	--
G= 5.0 [m]	0.8	--
G= 6.0 [m]	0.8	--
G= 7.0 [m]	1.1	--
G= 8.0 [m]	1.1	--
G= 9.0 [m]	1.3	--
G= 10.0 [m]	1.2	--
G= 11.0 [m]	1.2	--
G= 12.0 [m]	1.1	--
G= 13.0 [m]	0.9	--
G= 14.0 [m]	1.1	--
G= 15.0 [m]	0.8	--
G= 16.0 [m]	0.9	--
Velocità [m/sec]	442.4	1377.2
Descrizione		

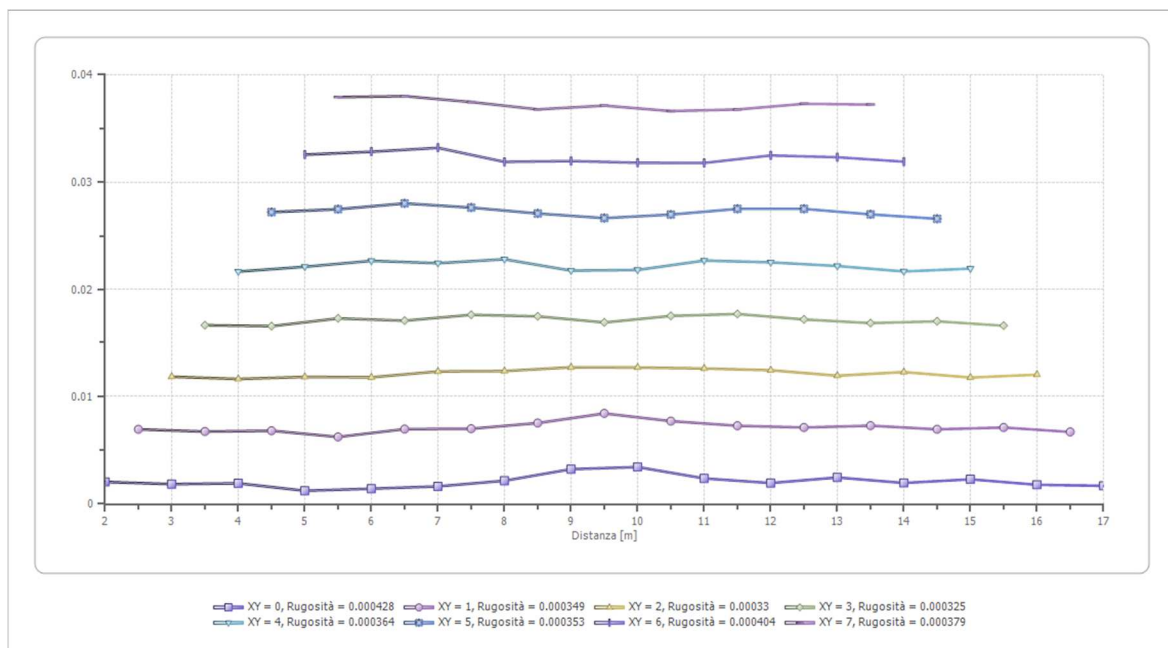
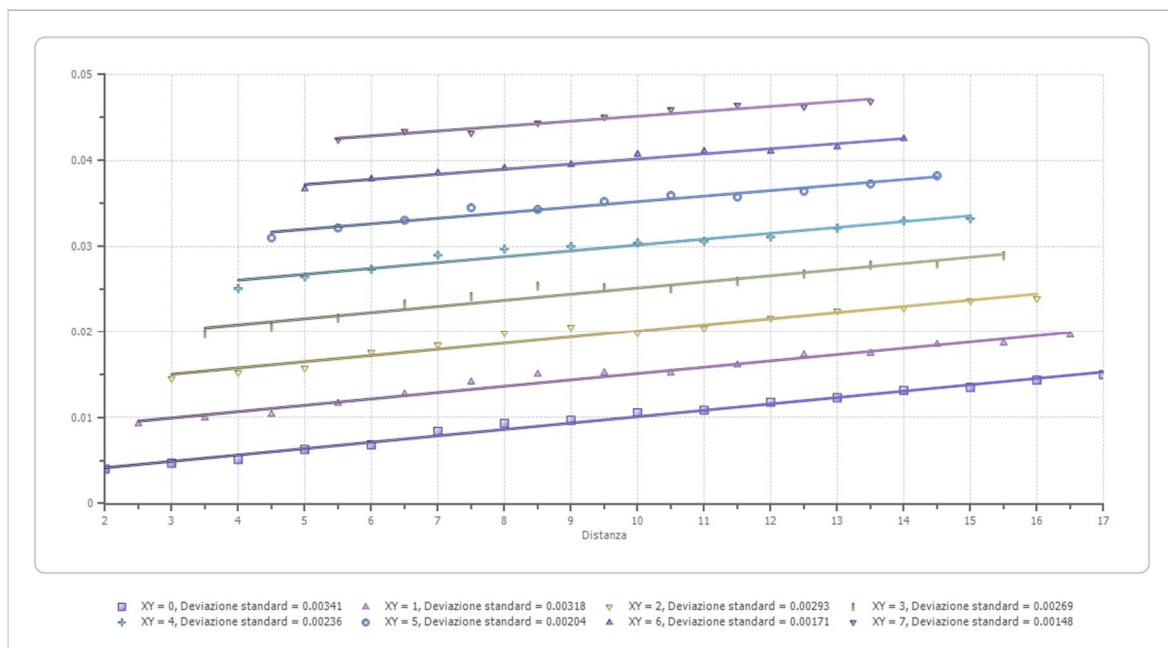
Altri parametri geotecnici

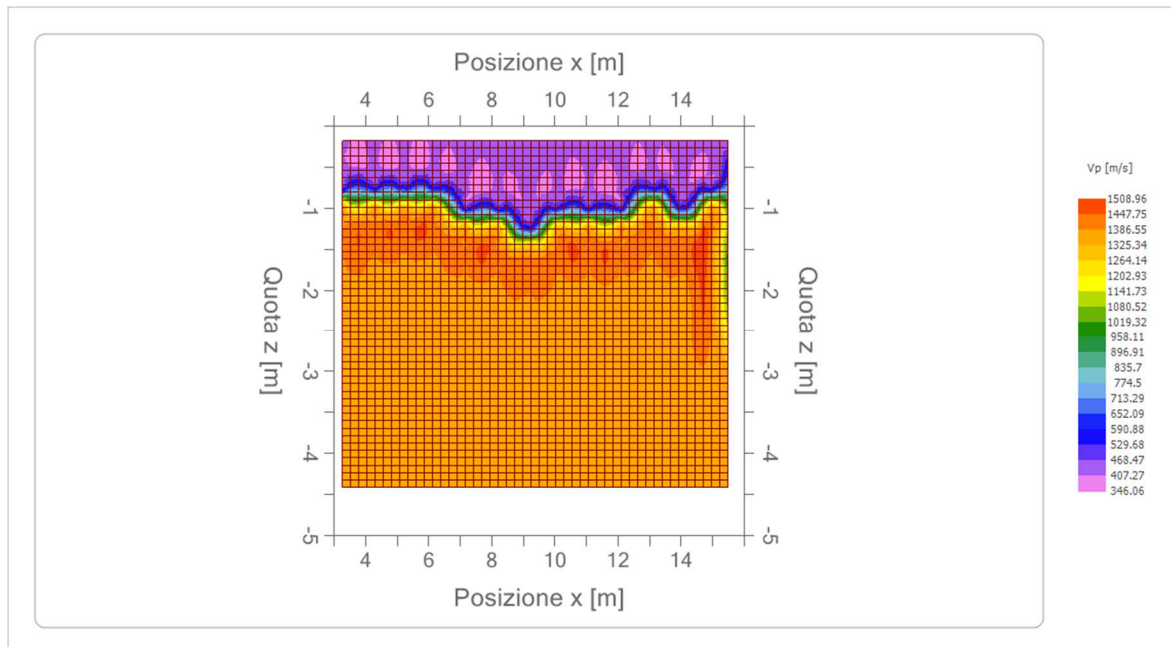
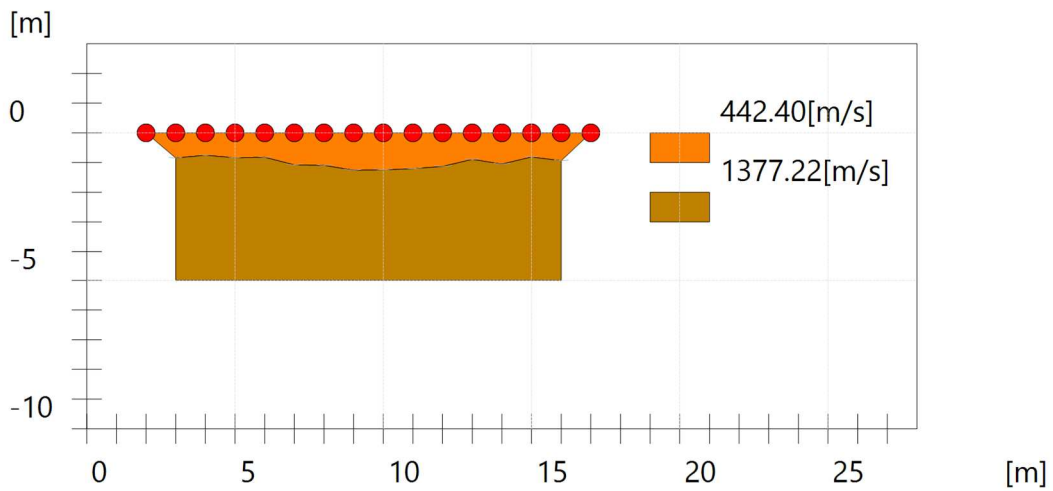
	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1700.00	1800.00
Vp [m/s]	442.40	1377.22
Vs [m/s]	212.52	661.59

G0 [MPa]	76.78	787.87
Ed [Mpa]	332.72	3414.12
M0 [MPa]	255.94	2626.25
Ey [Mpa]	207.31	2127.26

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

Ey: Modulo di Young;



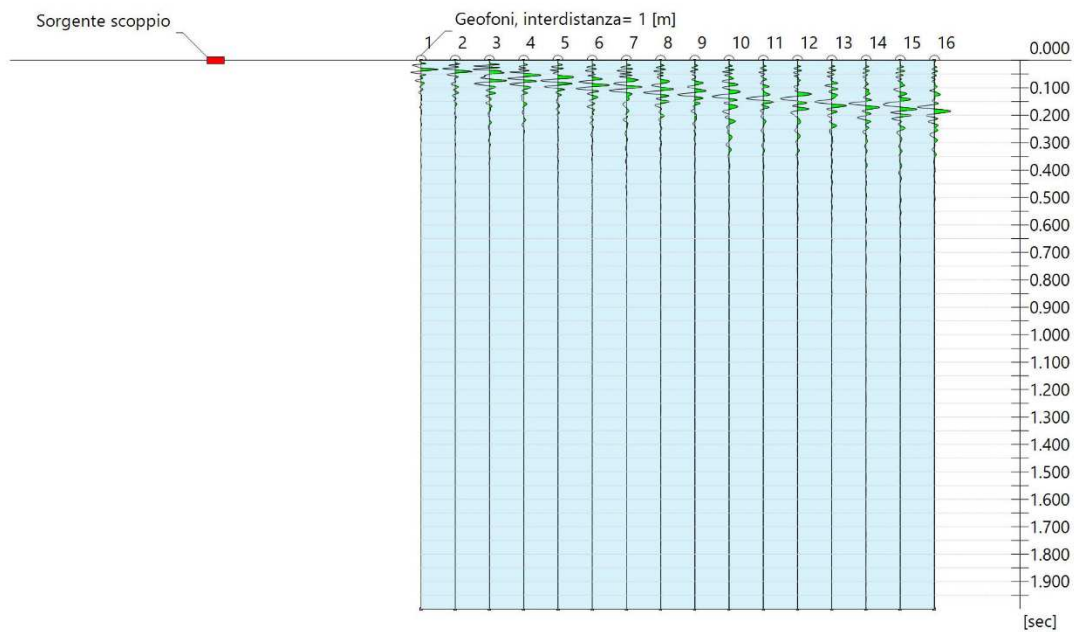


SCHEDE DI CALCOLO INDAGINI SISMICHE MASW

ANALISI SISMICA Mw1

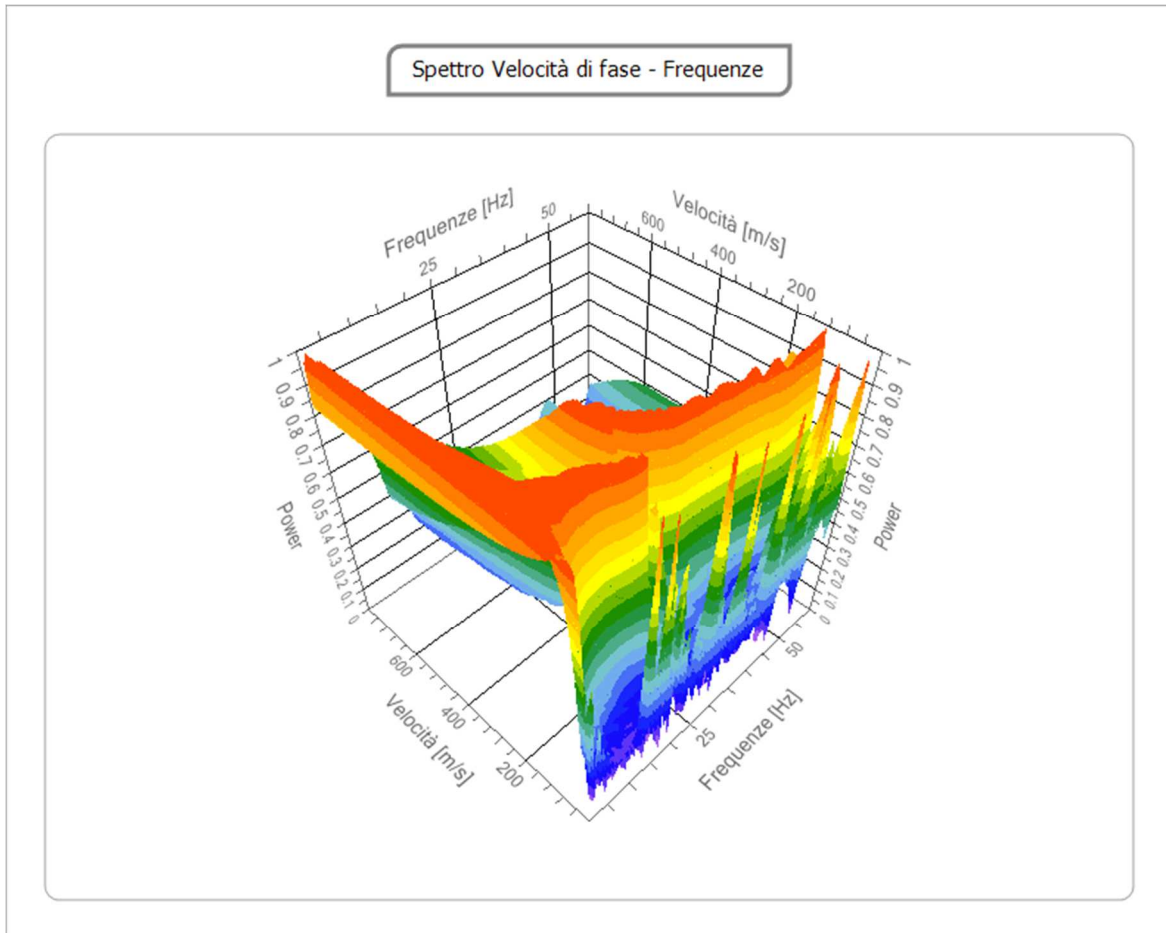
Tracce

N. tracce		16
Durata	acquisizione	2000.0
[msec]		
Interdistanza geofoni [m]		1.0
Periodo	di	1.00
campionamento [msec]		



Analisi spettrale

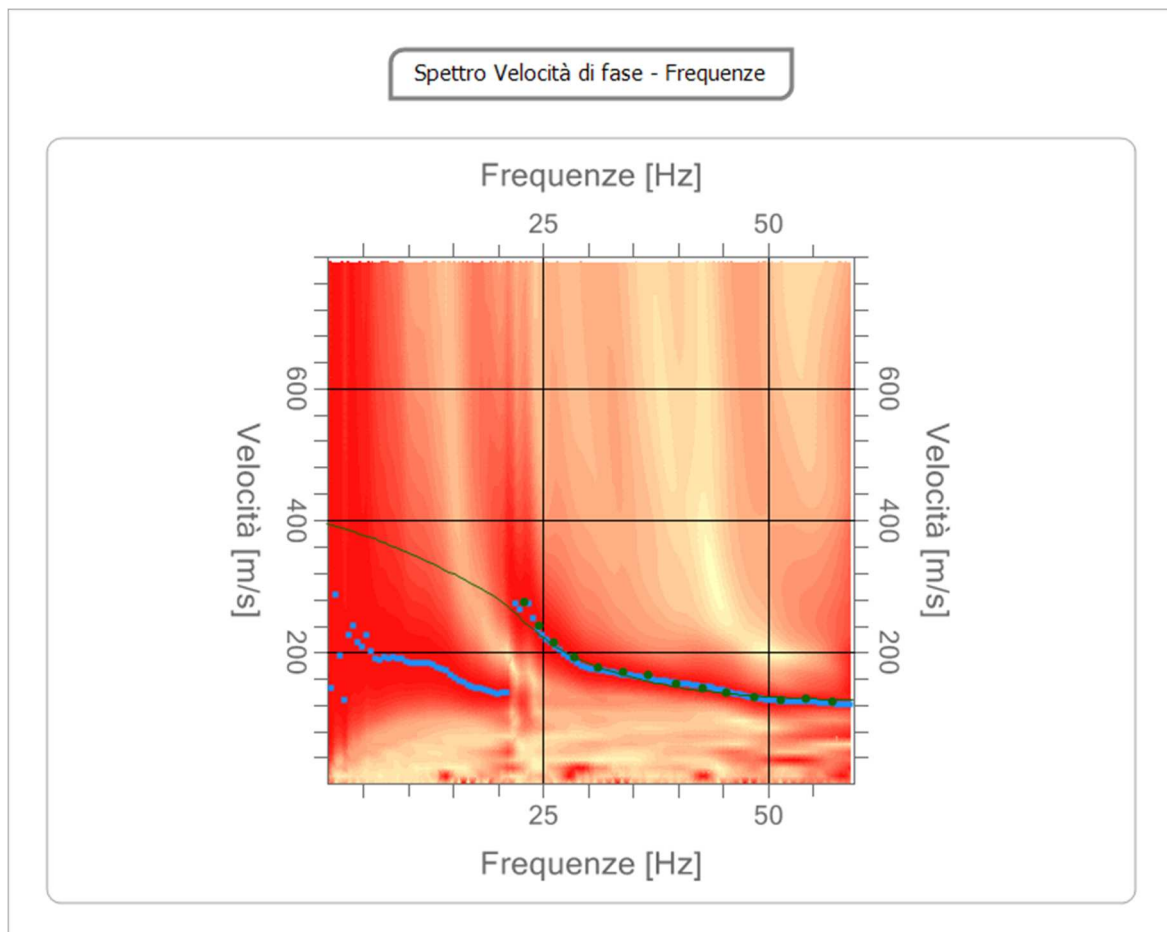
Frequenza minima di elaborazione [Hz]	di	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	di	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	di	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	di	800
Intervallo velocità [m/sec]	di	1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	22.9	276.0	0
2	24.6	240.5	0
3	26.2	214.4	0
4	28.5	190.7	0
5	31.1	176.4	0

6	33.9	169.3	0
7	36.6	164.6	0
8	39.7	152.2	0
9	42.7	145.6	0
10	45.3	138.5	0
11	48.5	131.4	0
12	51.4	127.7	0
13	54.3	129.2	0
14	57.2	124.6	0

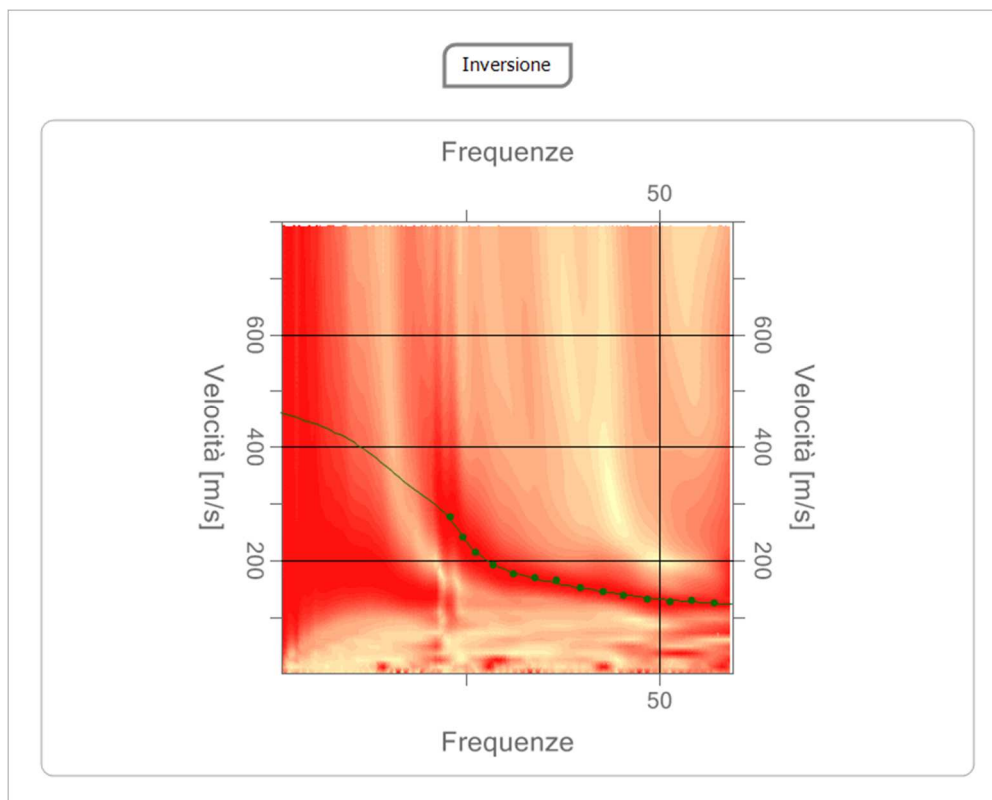


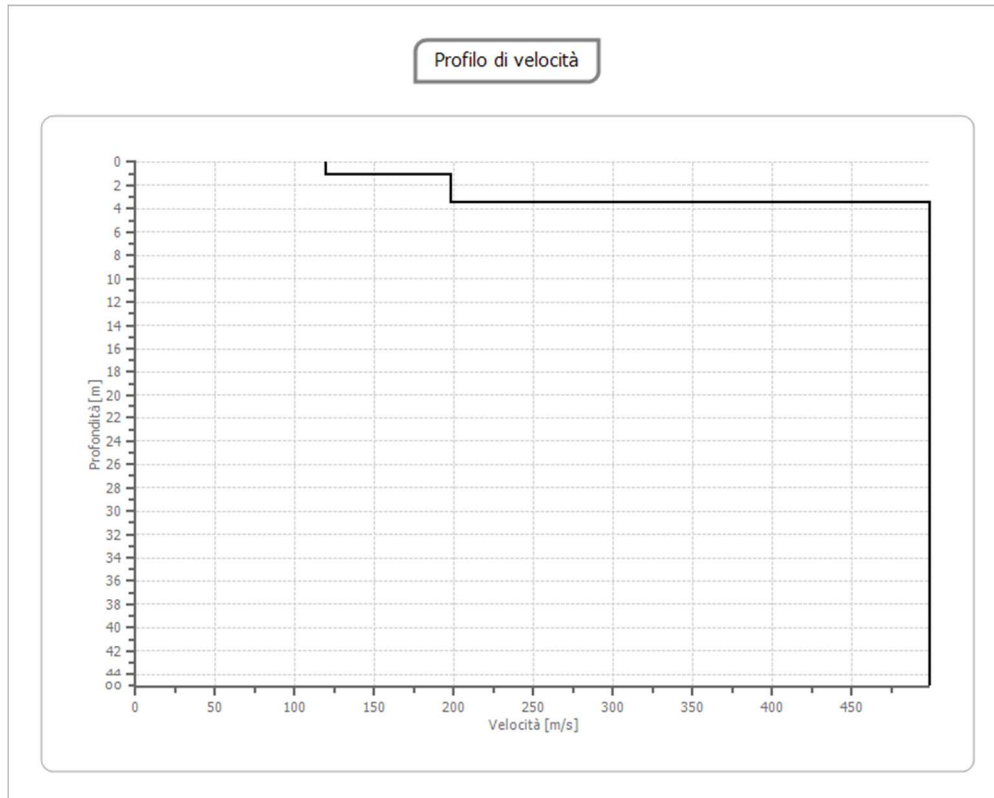
Inversione

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.13	1.13	1700.0	0.35	No	249.5	119.8
2		3.46	2.32	1800.0	0.30	No	370.6	198.1
3		Oo	oo	1900.0	0.30	No	934.0	499.2

Percentuale di errore 0.019%

Fattore di disadattamento della soluzione 0.015





Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	403.44
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

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	1.13	1.13	119.84	249.46	1700.00	0.35	24.41	105.79	73.24	65.92	48	57.99
2	3.46	2.32	198.10	370.62	1800.00	0.30	70.64	247.24	153.06	183.67	N/A	724.93
3	oo	oo	499.24	933.99	1900.00	0.30	473.55	1657.42	1026.02	1231.23	0	N/A

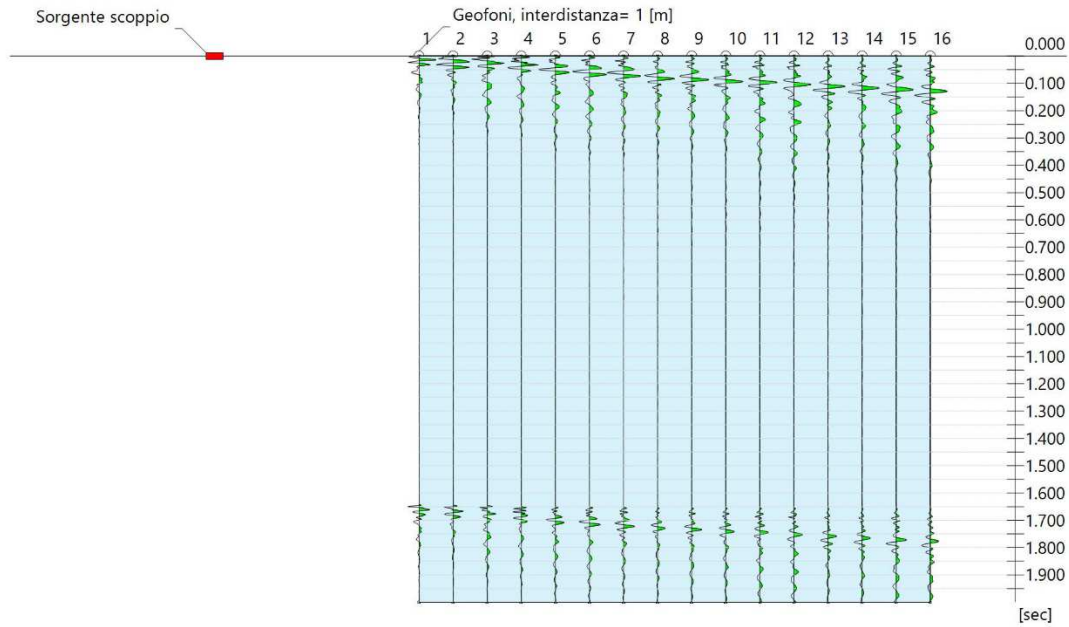
G0: Modulo di deformazione al taglio; Ed: Modulo edometrico; M0: Modulo di compressibilità volumetrica; Ey: Modulo di Young;

SCHEDA DI CALCOLO INDAGINI SISMICHE MASW

ANALISI SISMICA Mw2

Tracce

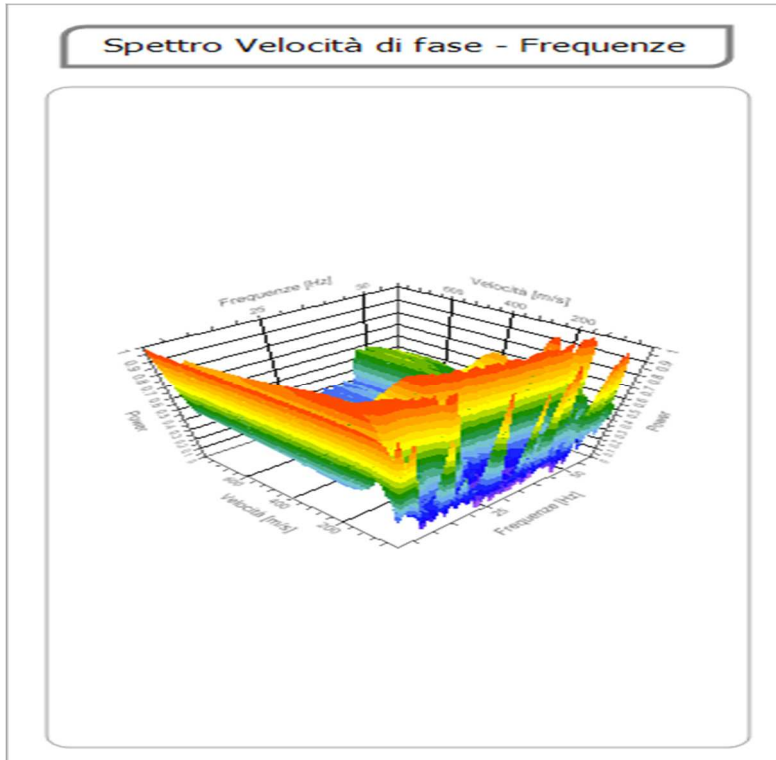
N. tracce	16
Durata acquisizione [msec]	2000.0
Interdistanza geofoni [m]	1.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00



Analisi spettrale

Frequenza minima elaborazione [Hz]	di	1
Frequenza massima elaborazione [Hz]	di	60
Velocità minima elaborazione [m/sec]	di	1
Velocità massima elaborazione [m/sec]	di	800

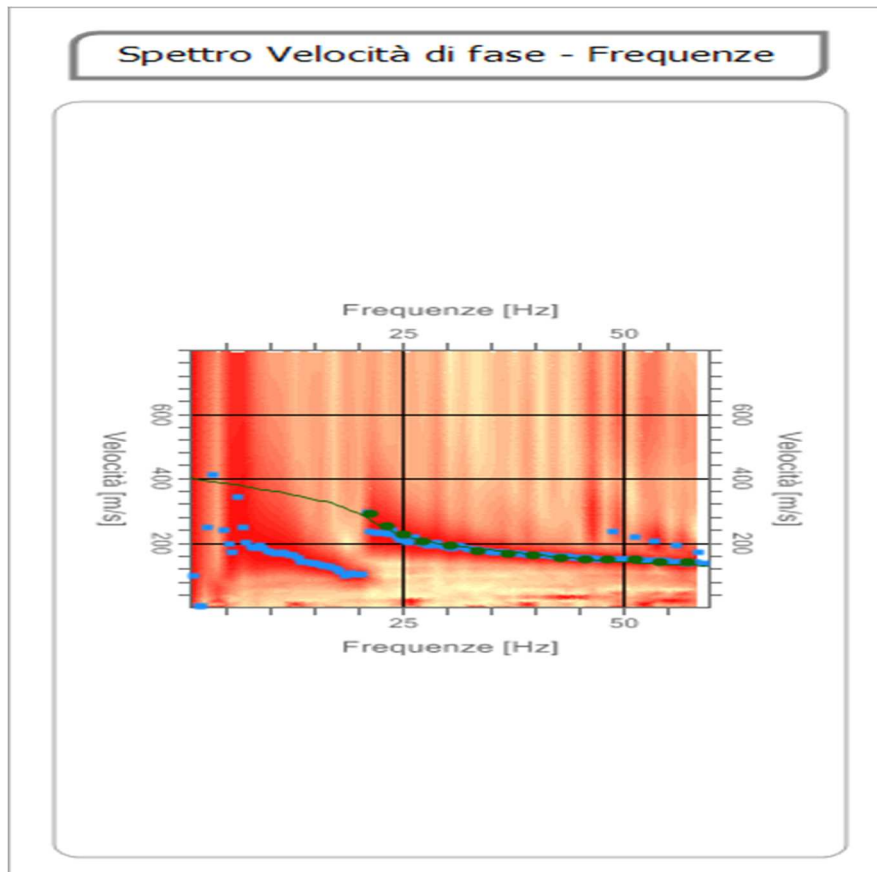
Intervallo | velocità | 1
[m/sec]



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	23.3	252.3	0
2	21.3	287.9	0
3	25.0	226.2	0
4	27.4	204.9	0
5	30.6	190.7	0
6	33.7	176.4	0
7	37.0	167.0	0
8	39.9	159.9	0
9	42.9	155.1	0
10	45.9	150.4	0

11	48.3	148.0	0
12	51.4	148.0	0
13	54.2	140.9	0
14	57.3	138.5	0

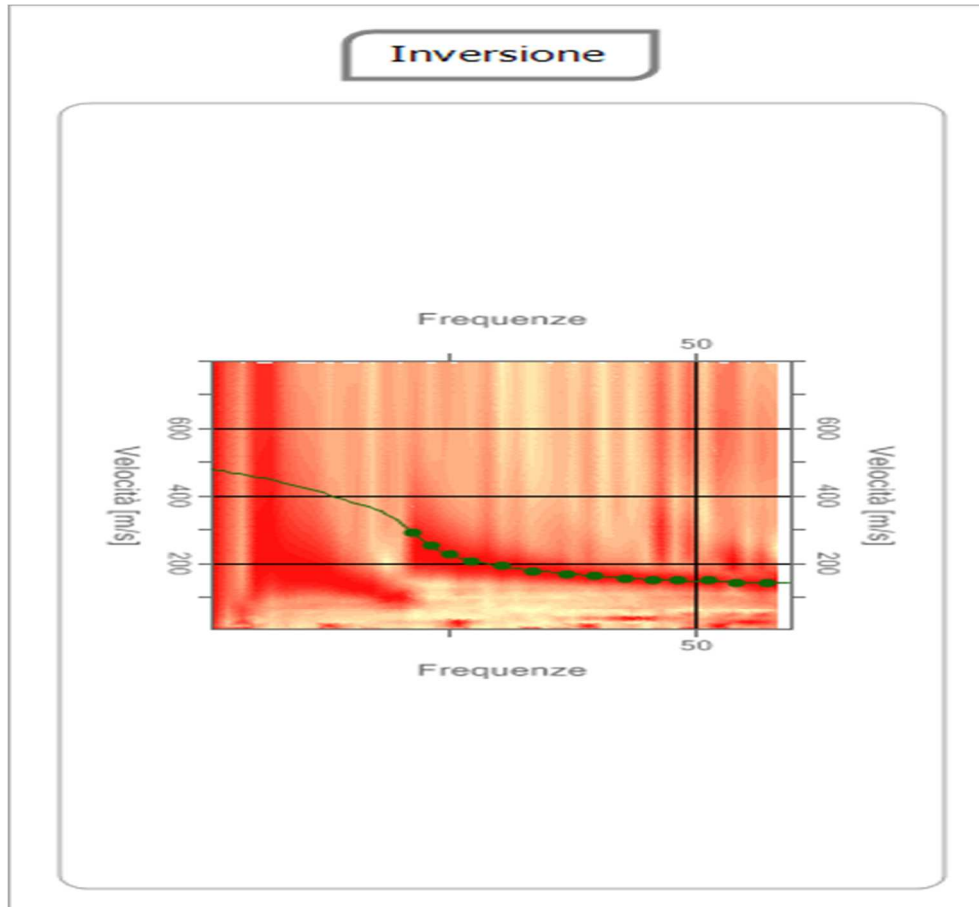


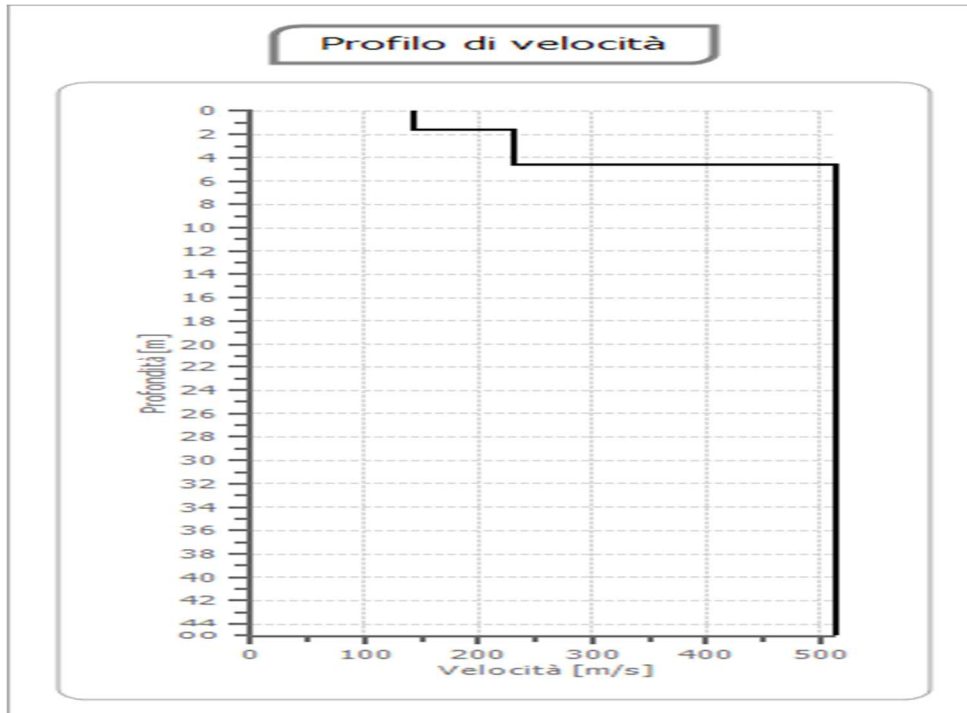
Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.62	1.62	1700.0	0.35	No	298.7	143.5
2	4.61	2.99	1800.0	0.35	No	479.9	230.5
3	oo	oo	1900.0	0.35	No	1071.2	514.6

Percentuale di errore 0.008 %

Fattore di disadattamento della soluzione 0.010





Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	407.61
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Altri parametri geotecnici

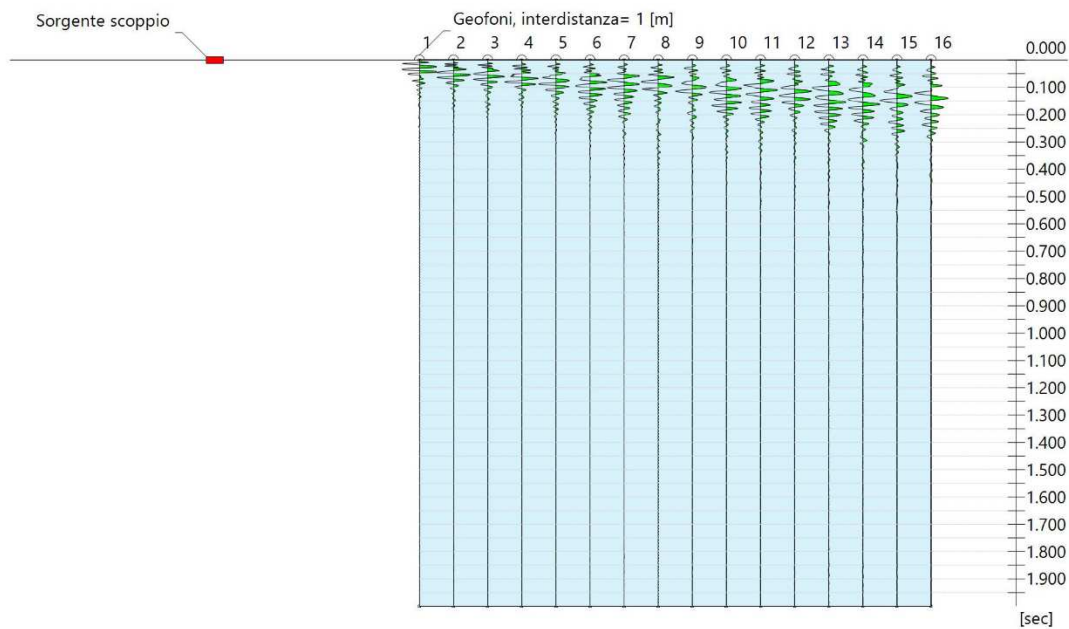
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/m ³]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.62	1.62	143.50	298.71	1700.00	0.35	35.00	151.69	105.01	94.51	20	143.39
2	4.61	2.99	230.53	479.88	1800.00	0.35	95.66	414.52	286.97	258.28	68	1552.75
3	oo	oo	514.57	1071.16	1900.00	0.35	503.09	2180.04	1509.26	1358.33	0	N/A

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

**SCHEDE DI CALCOLO INDAGINI SISMICHE MASW
ANALISI SISMICA Mw3**

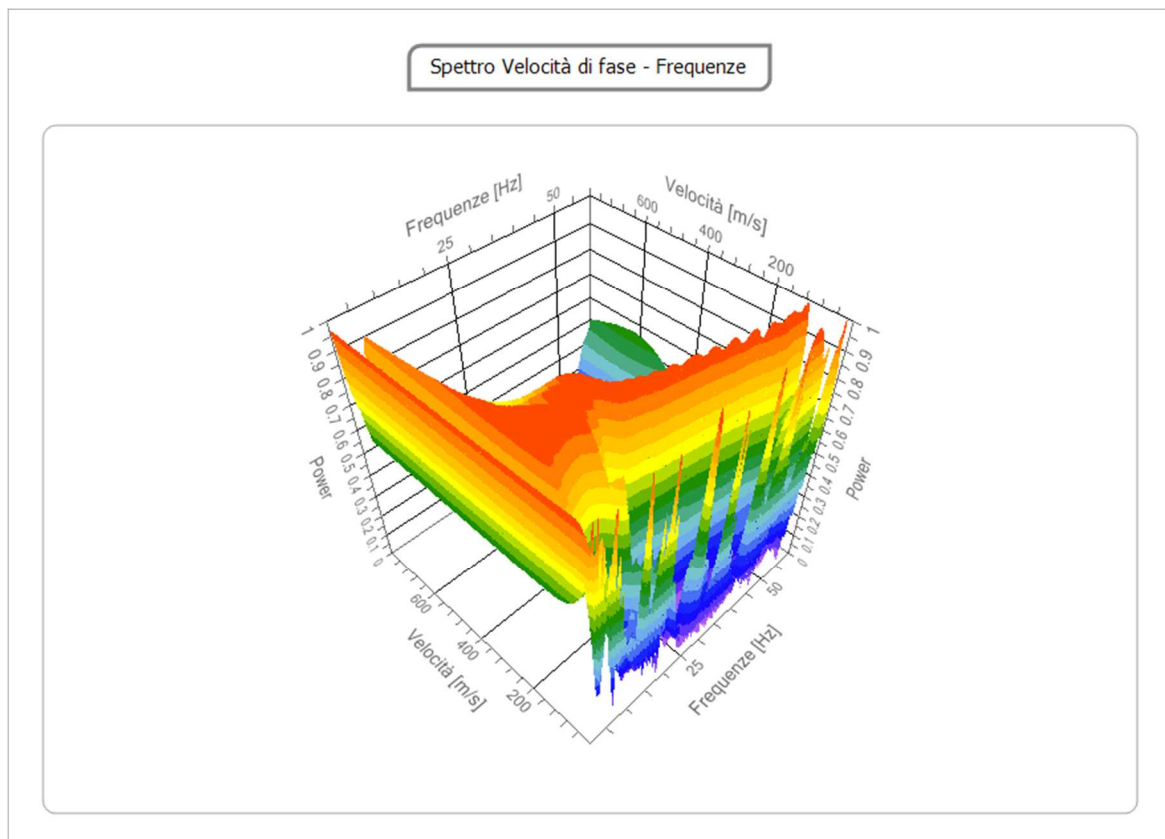
Tracce

N. tracce	16
Durata acquisizione [msec]	2000.0
Interdistanza geofoni [m]	1.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00



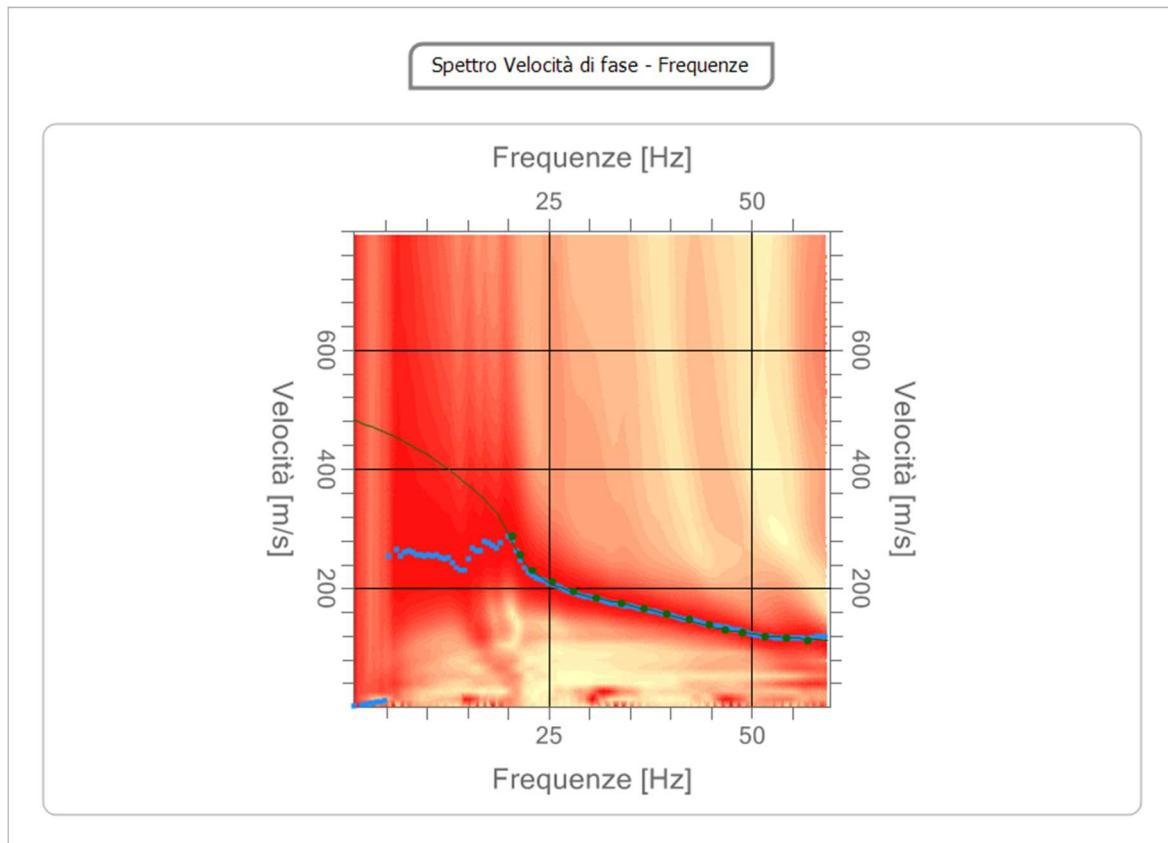
Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	di	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	di	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	di	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	di	800
Intervallo velocità [m/sec]		1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	20.5	287.9	0
2	21.5	257.1	0
3	23.1	228.6	0
4	25.5	209.6	0
5	28.1	193.0	0
6	30.9	183.6	0
7	34.0	174.1	0
8	36.8	164.6	0
9	39.6	155.1	0
10	42.4	148.0	0
11	44.8	138.5	0
12	46.7	129.0	0
13	48.8	124.3	0
14	51.6	117.2	0
15	54.2	114.8	0
16	57.0	112.4	0

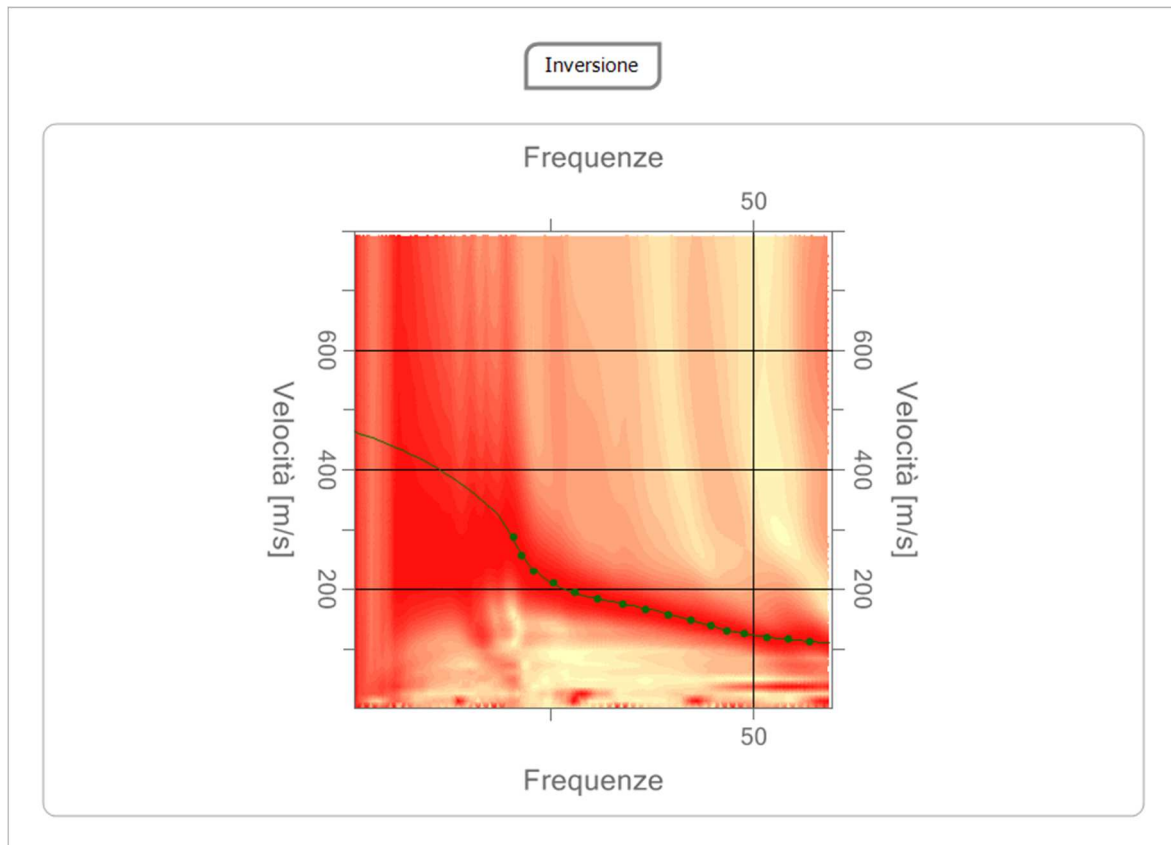


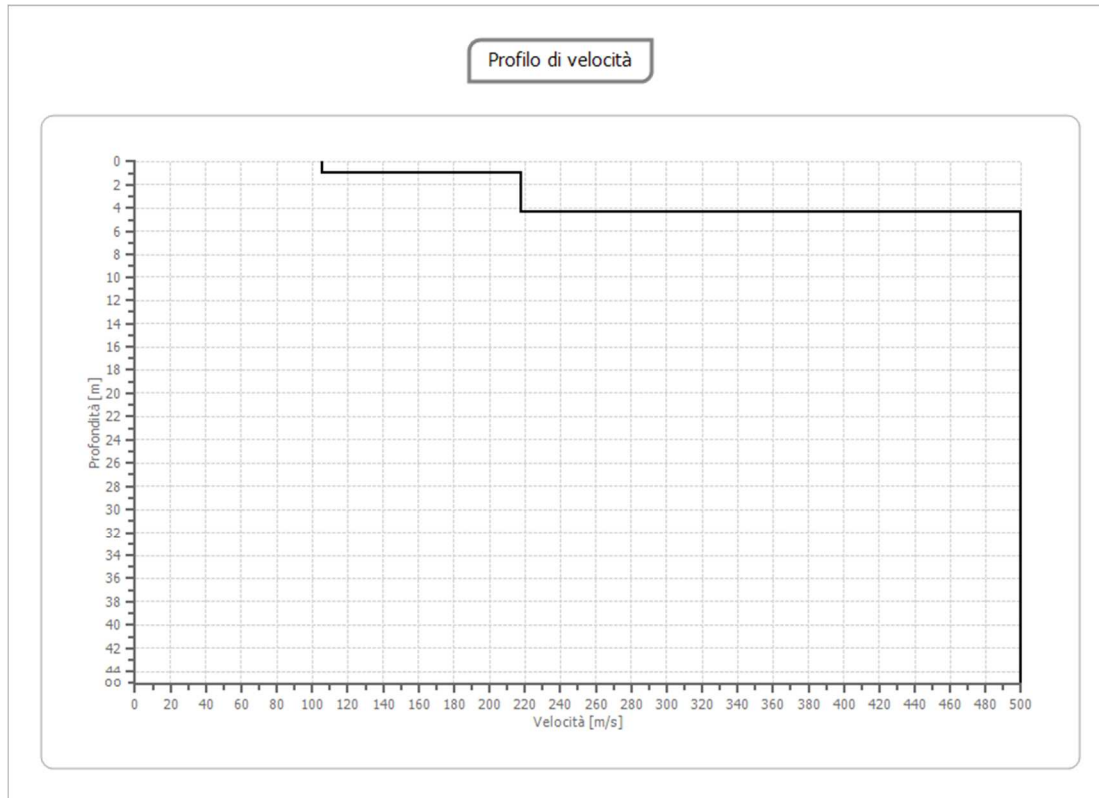
Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.02	1.02	1700.0	0.35	No	219.9	105.7
2	4.37	3.35	1800.0	0.35	No	452.7	217.5
3	oo	oo	1800.0	0.35	No	1040.5	499.8

Percentuale di errore 0.010 %

Fattore di disadattamento della soluzione 0.010





Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	392.99
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

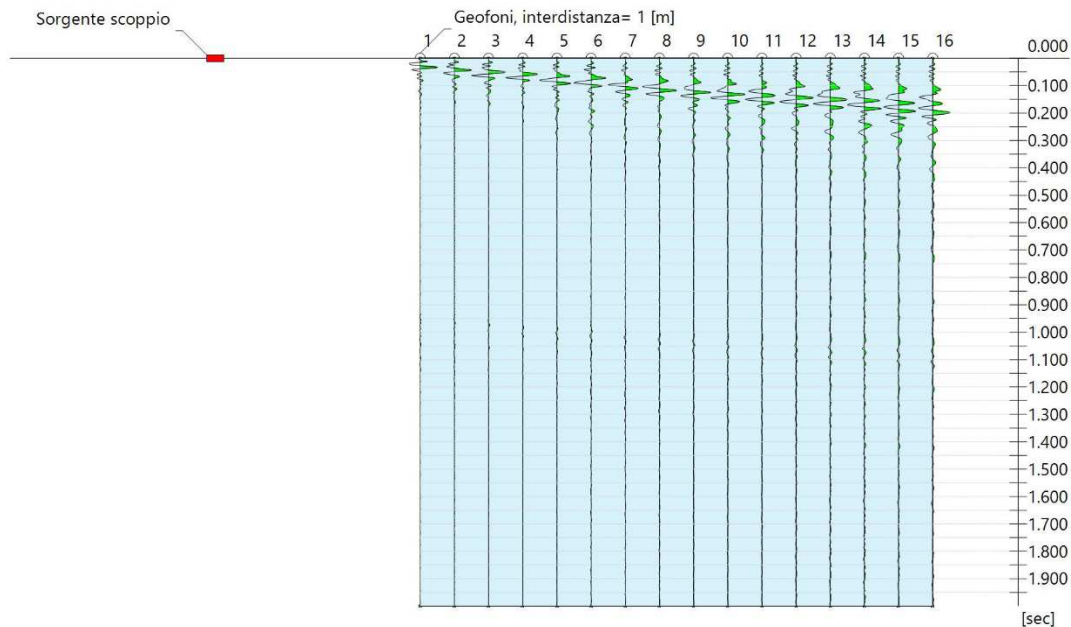
Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/m ³]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.02	1.02	105.65	219.94	1700.00	0.35	18.98	82.23	56.93	51.24	26	30.79
2	4.37	3.35	217.47	452.69	1800.00	0.35	85.13	368.88	255.38	229.84	N/A	1158.28
3	oo	oo	499.82	1040.46	1800.00	0.35	449.67	1948.59	1349.02	1214.12	0	N/A

**SCHEDE DI CALCOLO INDAGINI SISMICHE MASW
ANALISI SISMICA Mw4**

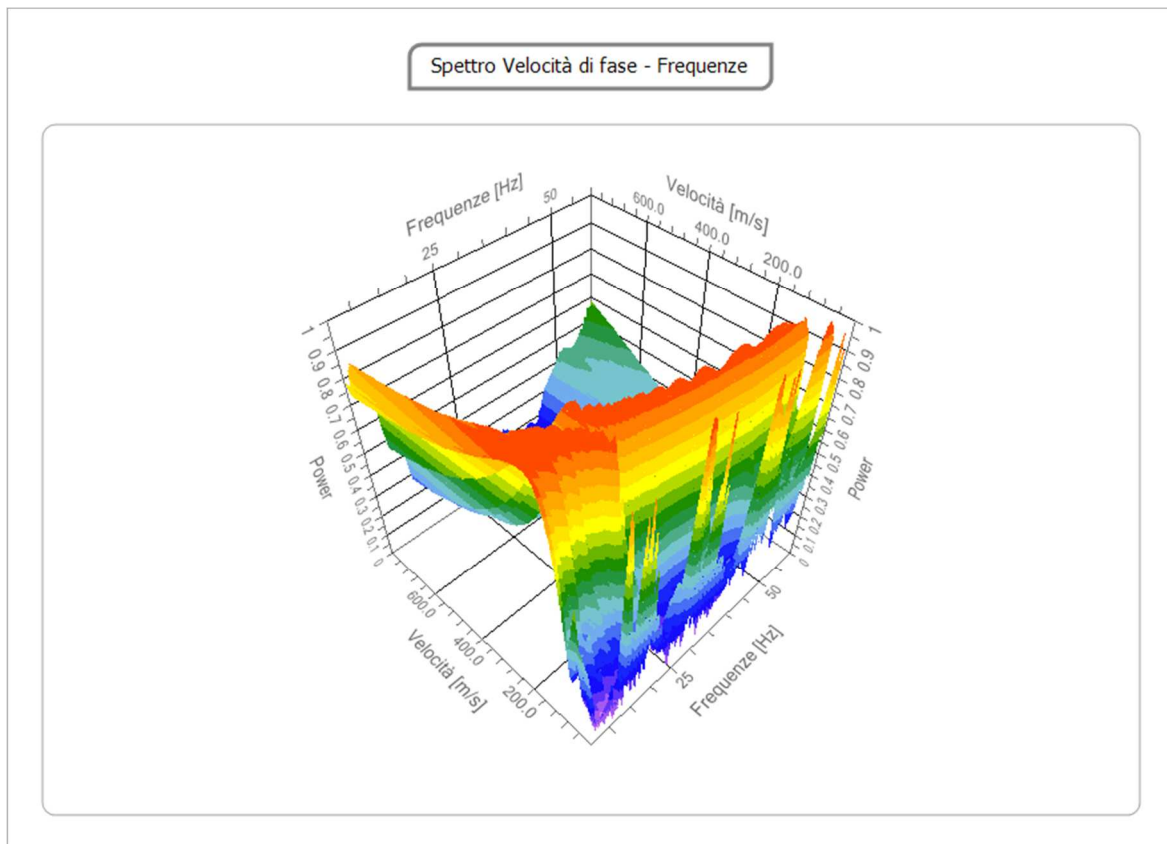
Tracce

N. tracce	16
Durata acquisizione [msec]	2000.0
Interdistanza geofoni [m]	1.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00



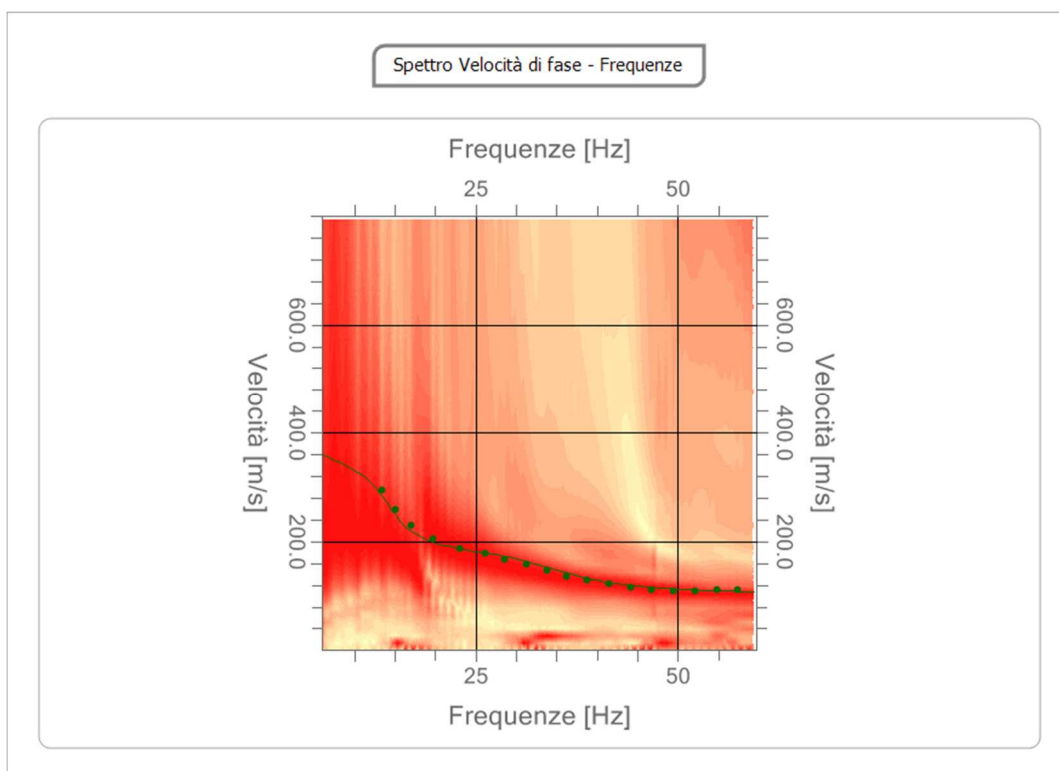
Analisi spettrale

Frequenza minima elaborazione [Hz]	di	6
Frequenza massima elaborazione [Hz]	di	60
Velocità minima elaborazione [m/sec]	di	1
Velocità massima elaborazione [m/sec]	di	800
Intervallo velocità [m/sec]		1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	15.1	259.4	0
2	13.5	295.0	0
3	17.0	228.6	0
4	19.7	204.9	0
5	23.1	188.3	0
6	26.2	178.8	0
7	28.6	167.0	0
8	31.3	157.5	0
9	33.9	148.0	0
10	36.2	136.3	0
11	38.8	128.8	0
12	41.5	121.8	0
13	44.1	116.0	0
14	46.8	111.8	0
15	49.5	109.8	0
16	52.1	109.9	0
17	54.8	110.9	0
18	57.4	112.1	0

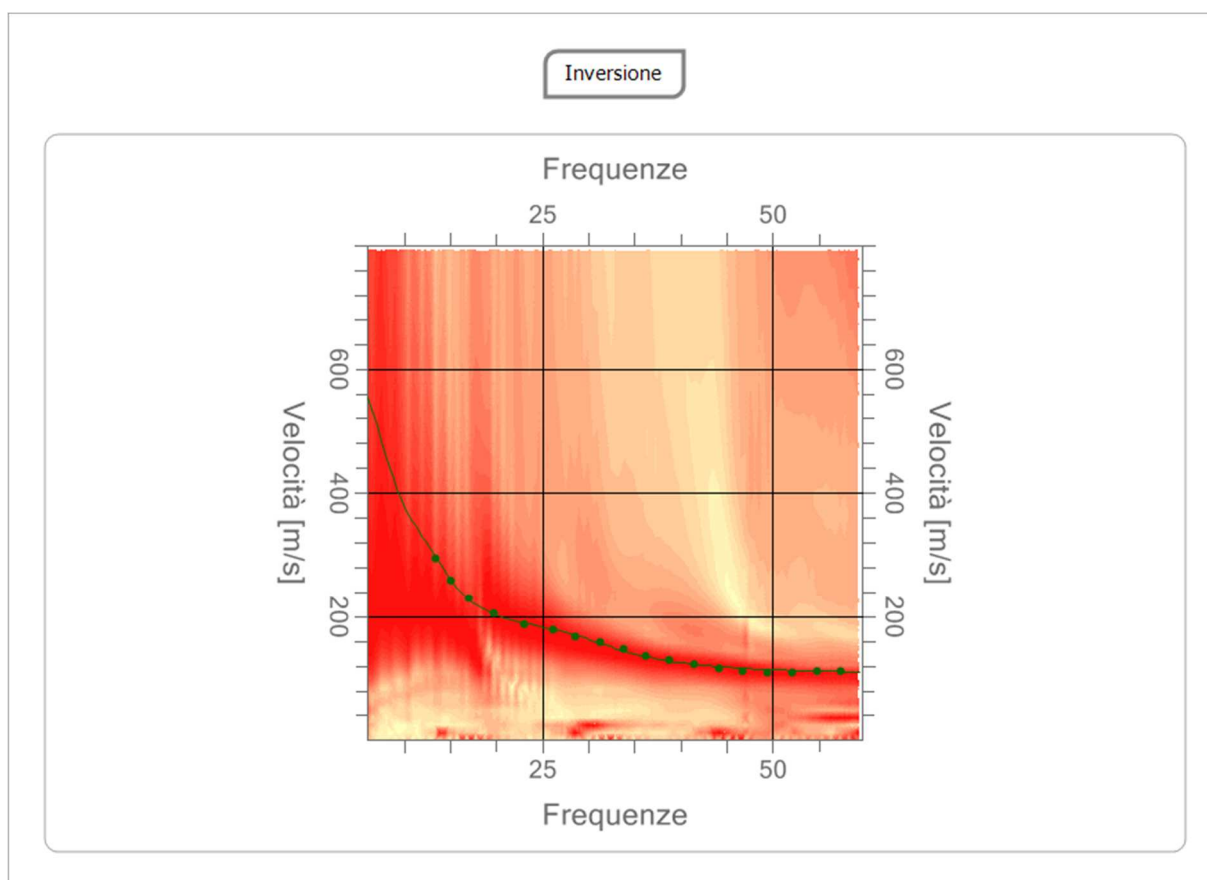


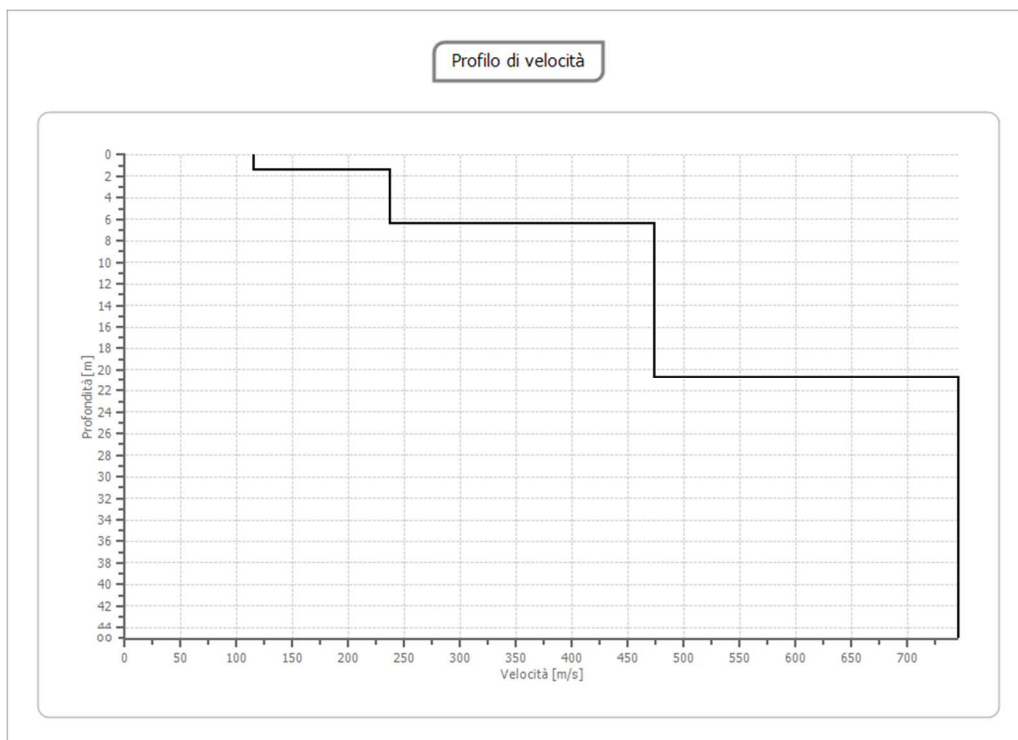
Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.44	1.44	1700.0	0.30	No	215.1	115.0
2	6.35	4.91	1800.0	0.30	No	442.5	236.5
3	20.73	14.39	1800.0	0.30	No	886.8	474.0
4	oo	Oo	1900.0	0.30	No	1395.4	745.9

Percentuale di errore 0.014 %

Fattore di disadattamento della soluzione 0.017





Risultati

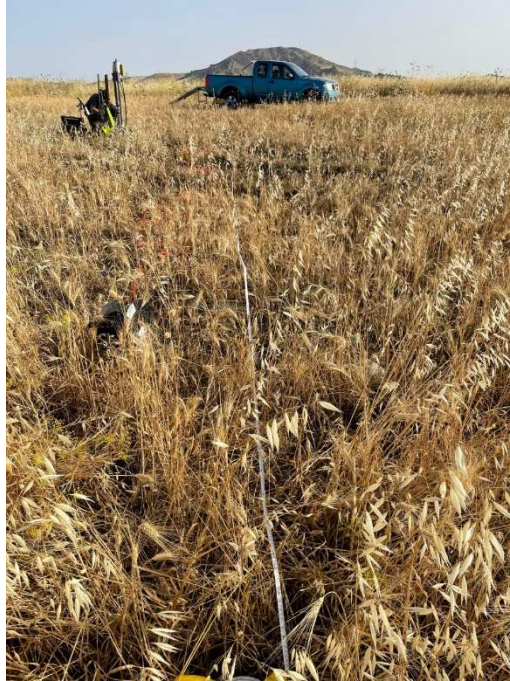
Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	394.52
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/m ³]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.44	1.44	115.00	215.15	1700.00	0.30	22.48	78.69	48.71	58.45	29	47.14
2	6.35	4.91	236.53	442.51	1800.00	0.30	100.71	352.47	218.20	261.84	N/A	1767.00
3	20.73	14.39	474.04	886.85	1800.00	0.30	404.49	1415.70	876.39	1051.66	N/A	N/A
4	∞	∞	745.86	1395.37	1900.00	0.30	1056.98	3699.42	2290.12	2748.14	0	N/A

DOCUMETAZIONE FOTOGRAFICA



Indagine Sismica Rz1-Mw1



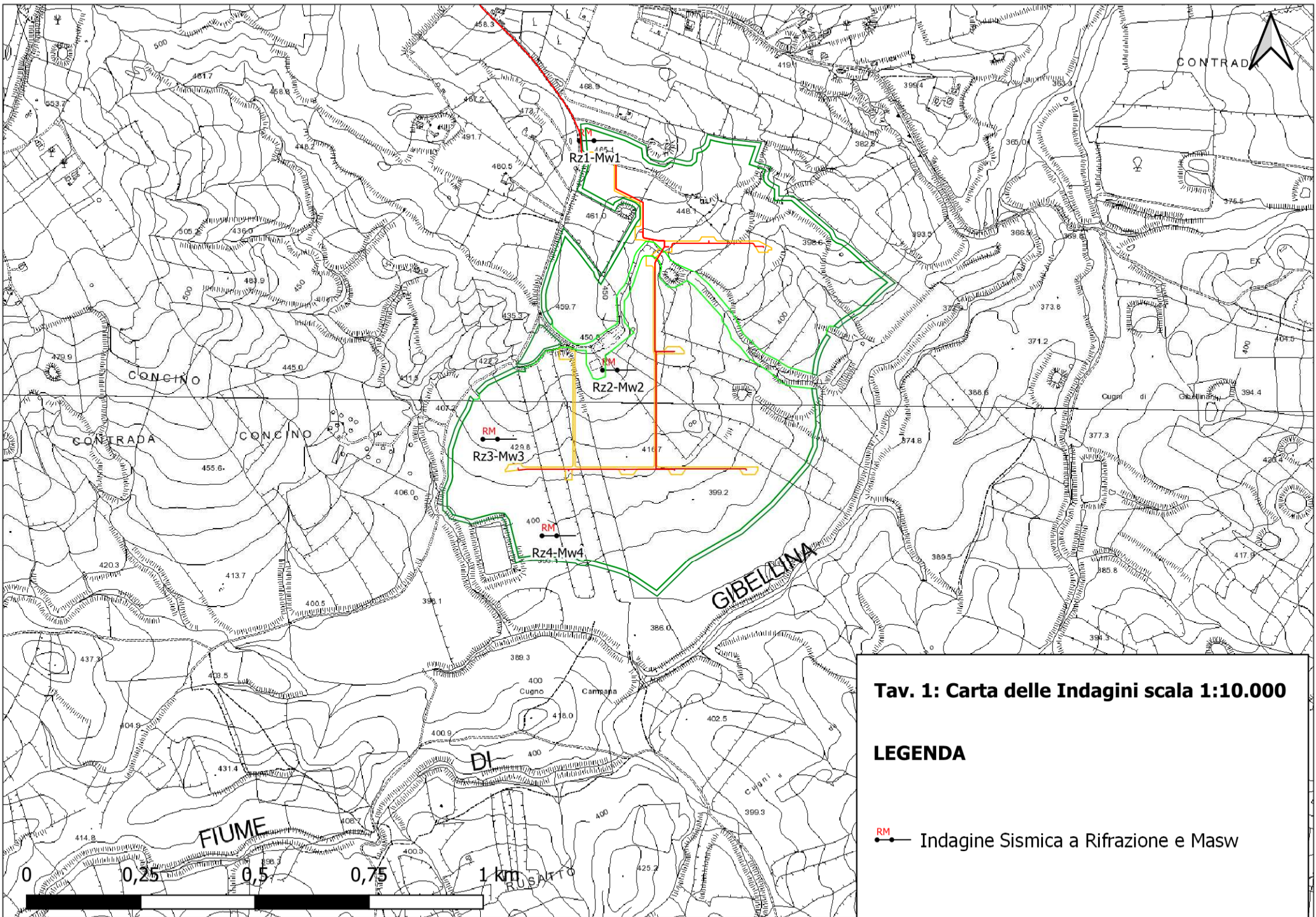
Indagine Sismica Rz2-Mw2



Indagine Sismica Rz3-Mw3



Indagine Sismica Rz4-Mw4



Tav. 1: Carta delle Indagini scala 1:10.000

LEGENDA

RM — Indagine Sismica a Rifrazione e Masw