

Greendream1 S.r.l.

Impianto agro-fotovoltaico "Spiriti - Raso" da 79.209,15 kWp (65.000 kW in immissione), opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale

Comune di Ramacca e Belpasso (CT)

Progetto Definitivo Impianto Agro-fotovoltaico

All. P - Relazione Sismica



Professionista:

Dott. Geol. Michele Ognibene - Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia a n.3003 Sez. A

Rev. (1) del 10/01/2021



A handwritten signature in blue ink, appearing to read "M. Ognibene", written over the stamp.

wood.

INDICE

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUZIONE | 3 |
| 2 | APPROCCIO METODOLOGICO | 3 |
| 3 | INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE | 4 |
| | 3.1 Cenni sulla sismica a rifrazione | 4 |
| | 3.2 Strumentazione e tecniche utilizzate | 7 |
| 4 | RISULTATI DELLE INDAGINI DI SISMICA A RIFRAZIONE | 8 |
| | 4.1 Prospezione sismica a rifrazione Rz1 | 8 |
| | 4.2 Prospezione sismica a rifrazione Rz2 | 17 |
| | 4.3 Prospezione sismica a rifrazione Rz3 | 25 |
| | 4.4 Prospezione sismica a rifrazione Rz4 | 34 |
| | 4.5 Prospezione sismica a rifrazione Rz5 | 43 |
| 5 | RISULTATI DELLE INDAGINI DI SISMICA MASW | 51 |
| | 5.1 Risultati del Calcolo | 53 |
| 6 | CONCLUSIONI | 55 |

Allegati

- **Ubicazioni indagini su stralcio planimetrico Tavola 13**

Questo documento è di proprietà di Greendream1 S.r.l. e il detentore certifica che il documento è stato ricevuto legalmente. Ogni utilizzo, riproduzione o divulgazione del documento deve essere oggetto di specifica autorizzazione da parte di Greendream1 S.r.l.

1. INTRODUZIONE

La Società Greendream1 S.r.l. ("Greendream1" o "la Società") intende realizzare nel Comune di Ramacca (CT), in località Spiriti - Raso, un impianto per la produzione di energia elettrica con **tecnologia fotovoltaica, ad inseguimento monoassiale, combinato con l'attività di coltivazione agricola**. L'impianto avrà una potenza complessiva installata di 79.209,15 kWp (65,000 kW in immissione) e l'energia prodotta sarà immessa nella Rete di Trasmissione Nazionale (RTN). La STMG prevede che l'impianto agro-fotovoltaico debba essere collegato in antenna a 150 kV con la sezione a 150 kV di una nuova stazione elettrica (SE) RTN 380/150 kV da inserire in entra – esce sulla linea RTN a 380 kV "Chiaromonte Gulfi - Paternò" (la "Stazione RTN"), condividendo lo stallo in stazione con altri impianti. L'impianto agro-fotovoltaico si svilupperà su una superficie complessiva di circa 124 Ha; i terreni attualmente sono adibiti a colture cerealicole estensive come frumento e essenze foraggere in genere, con presenza di piante autoctone infestanti di natura spontanea. La Società, nell'ottica di cercare di riqualificare le aree da un punto di vista agronomico e di produttività dei suoli, ha scelto di adottare la soluzione impiantistica con tracker monoassiale, che permette di mantenere una distanza significativa tra le strutture di supporto dei moduli fotovoltaici (area libera minima 7 metri), consentendo una coltivazione di qualità tra le strutture con l'impiego di mezzi meccanici.

2. APPROCCIO METODOLOGICO

Lo studio è stato condotto, dallo scrivente Dott. Geol. Michele Ognibene iscritto all'ordine Regionale dei Geologi di Sicilia a n.3003 Sez. A, al fine di determinare le caratteristiche sismiche dei terreni su cui insiste l'area in oggetto.

Il piano di indagini in fase definitiva ha previsto la realizzazione di n°5 stendimenti per indagine di sismica a rifrazione identificate con le sigle Rz1-Rz5 e n°2 stese sismiche per indagine di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) al fine di valutare il parametro $V_{S,eq}$, ubicate come da planimetria allegata alla relazione geologica. Le indagini sono state realizzate in data 27/05/2021.

Scopo principale dell'indagine è stato quello di acquisire informazioni sia sulla stratigrafia del sito tramite indagini di sismica a rifrazione, sia quello di individuare la velocità delle onde di taglio verticali (onde S) al fine di definire il valore del parametro $V_{S,eq}$ come stabilito dal D.M. 17/01/2018, per la cui misura è stata utilizzata la metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

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 o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell. Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

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

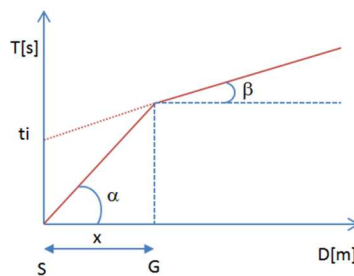
$$T = x_i / V_1$$

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

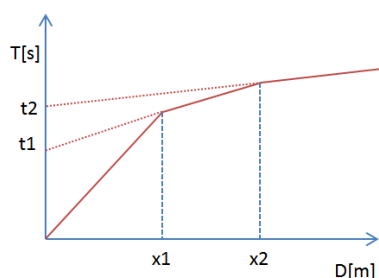
L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi- distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come:

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

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.



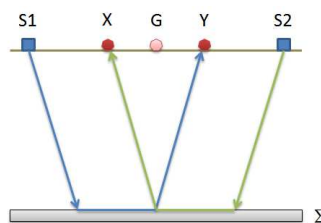
La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina,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



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

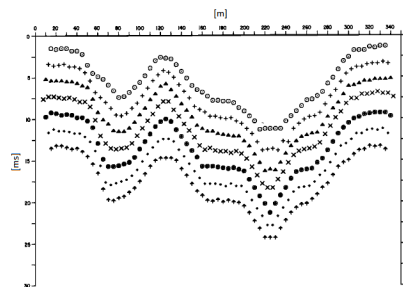
$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$

dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_v è il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento. Il calcolo della funzione T_v viene eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l'XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente

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

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

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



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

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

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h . Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°.

3.2 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 da il segnale di start al sismografo; Nello stendimento i geofoni sono stati posizionati ad una distanza intergeofonica di 2

metri mentre l'acquisizione è stata effettuata con un tempo di registrazione $T = 256$ ms ed un intervallo di campionamento $\Delta t = 250 \mu s$. Per l'energizzazione è stata usata una mazza da 8 kg ed un piattello in PVC 20x20 cm; in tutto sono state effettuate numero 5 energizzazioni. Per ottenere una traccia con un buon rapporto segnale/rumore, sono state eseguite tre energizzazioni rispettivamente tra l' 8° ed il 9° geofono e 2 battute poste a 2 metri dall'ultimo e dal primo geofono come da schema riportato in figure 3.2.1.

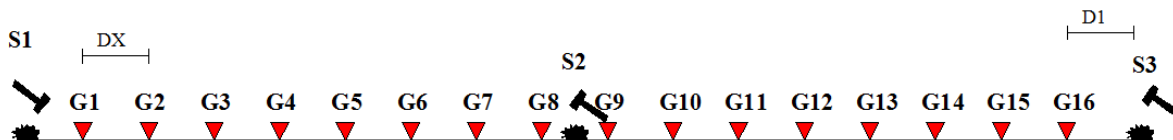


Fig. 3.2.1: Geometria tipo dello stendimento sismico.

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

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 rifratore.

4.1 PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE RZ1

Il modello di terreno ricavato dal processo di elaborazione della sismica a rifrazione RZ1 ha messo in evidenza la presenza, nei primi 12-14 metri, di un solo orizzonte rifratore ben definito. Tale interfaccia si presenta con aspetto 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 sensibilmente differenti (Fig. 4.1.1).

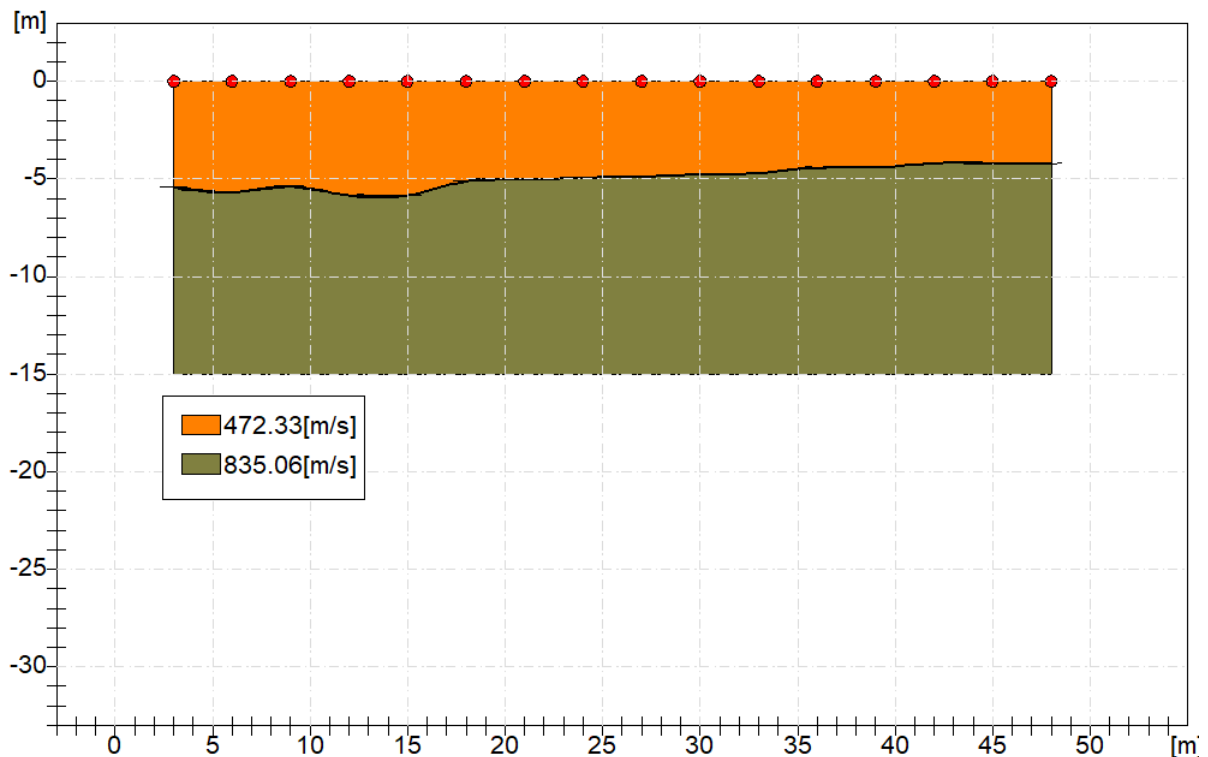


Fig. 4.1.1: Sismostratigrafia desunta dall'indagine Rz1.

Il primo sismostrato è caratterizzato da velocità delle onde di compressione V_p nell'ordine di 472,33 m/s, indicative di un livello sciolto areato tipico dei terreni alluvionali costituiti da sabbie e ghiaie eterometriche in una matrice prevalentemente sabbio-argillosa. Lo spessore è variabile ed è valutabile mediamente nell'ordine di 4,5-5 metri. Il secondo sismostrato è caratterizzato da una velocità V_p dell'ordine di 835,06 m/s, valore compatibile con sedimenti argillosi a consistenza media che migliora sempre di più con la profondità. Lo spessore risulta comunque indefinito.

Dal punto di vista sismo-stratigrafico è possibile ipotizzare una correlazione fra la sismo-stratigrafia e la litostratigrafia, occorre comunque rilevare che quasi mai un sismostrato corrisponde perfettamente con un litostrato. Tale ipotesi è inclusa nella Sintesi dei risultati riportata di seguito (Tab.4.1.1):

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

| SINTESI DEI RISULTATI | | | |
|-----------------------|--------------------------|--------|--|
| SISMOSTRATO | PROFONDITA' (m dal p.c.) | V_s | CORRELAZIONI GEO-LITOLOGICHE |
| 1 | Da 0 a 4,5/5 | 226.90 | Terreni alluvionali costituiti da sabbie e ghiaie eterometriche in una matrice prevalentemente sabbio-argillosa. |
| 2 | Da 4.5-5.0 a 12-15 | 401.15 | Depositi argillo-limosi, mediamente plastici e umidi a consistenza medio-bassa. |

ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE R_{z1}

Geometria geofoni

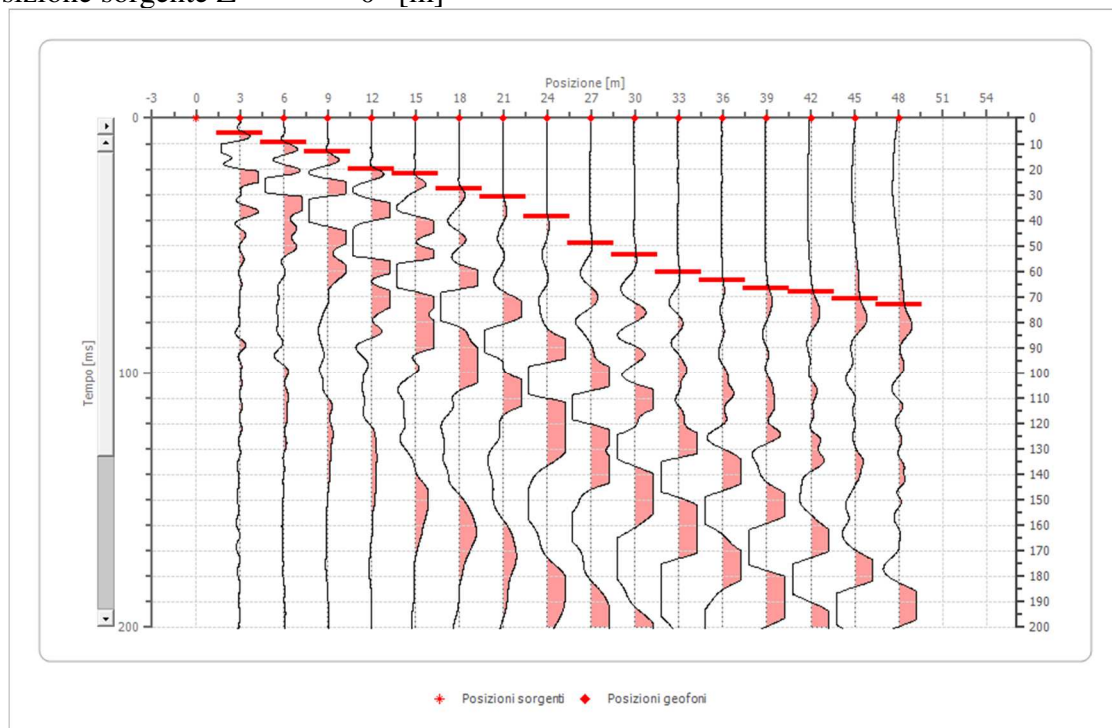
| | Posizione X [m] | Posizione Z [m] |
|----|--------------------|--------------------|
| 1 | 3.0 | 0.0 |
| 2 | 6.0 | 0.0 |
| 3 | 9.0 | 0.0 |
| 4 | 12.0 | 0.0 |
| 5 | 15.0 | 0.0 |
| 6 | 18.0 | 0.0 |
| 7 | 21.0 | 0.0 |
| 8 | 24.0 | 0.0 |
| 9 | 27.0 | 0.0 |
| 10 | 30.0 | 0.0 |
| 11 | 33.0 | 0.0 |
| 12 | 36.0 | 0.0 |
| 13 | 39.0 | 0.0 |
| 14 | 42.0 | 0.0 |
| 15 | 45.0 | 0.0 |
| 16 | 48.0 | 0.0 |

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]

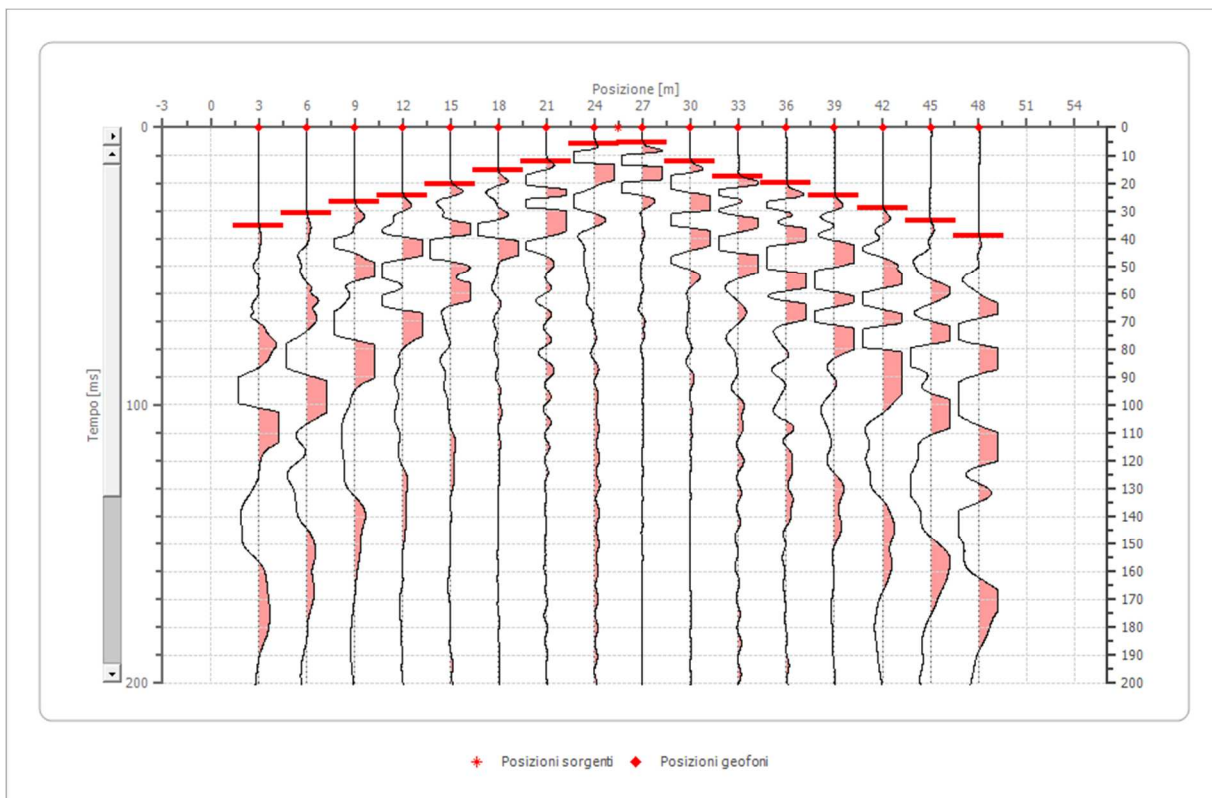
Posizione sorgente Z 0 [m]



| Posizione geofono [m] | Tempo [ms] |
|-----------------------|------------|
| 3.0 | 5.8957 |
| 6.0 | 9.5238 |
| 9.0 | 13.1519 |
| 12.0 | 20.0000 |
| 15.0 | 21.7687 |
| 18.0 | 27.6644 |
| 21.0 | 31.0000 |
| 24.0 | 38.6000 |
| 27.0 | 48.9796 |
| 30.0 | 53.5147 |
| 33.0 | 60.3175 |
| 36.0 | 63.4921 |
| 39.0 | 66.6667 |
| 42.0 | 68.0000 |
| 45.0 | 70.7483 |
| 48.0 | 73.0159 |

Battuta 2

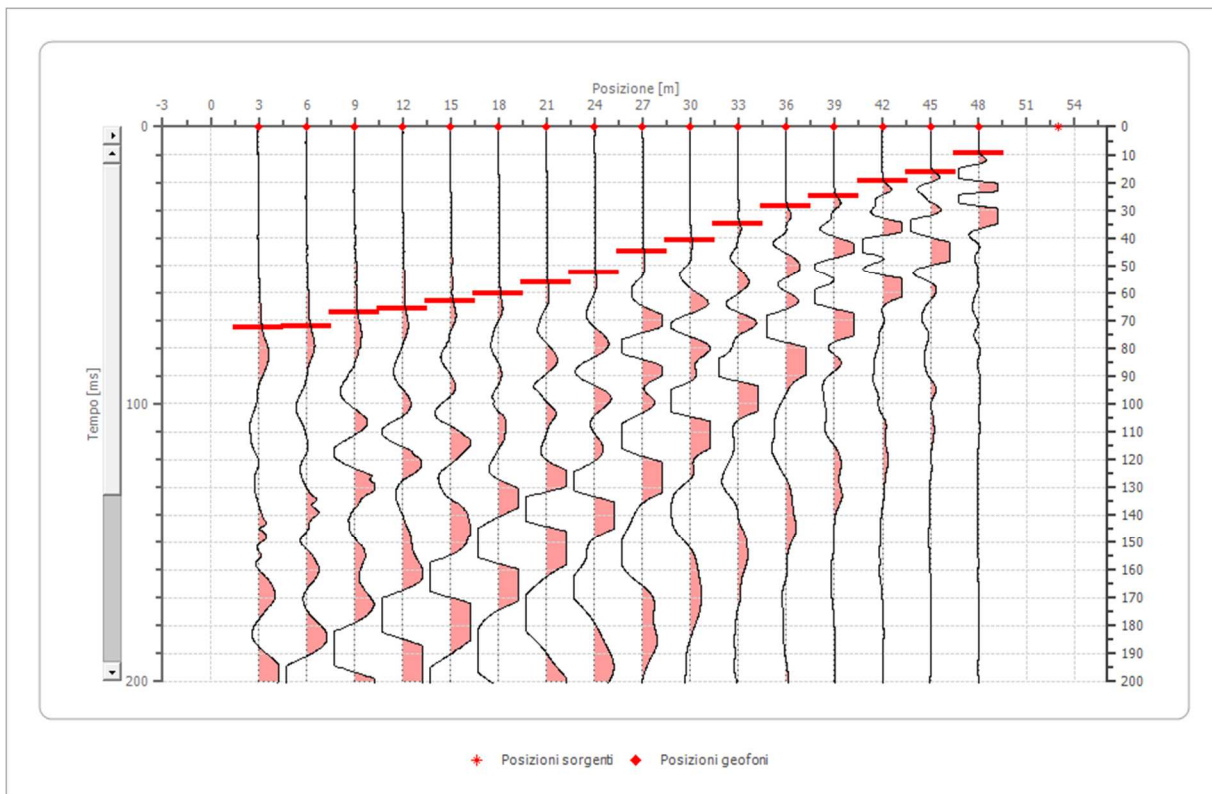
Posizione sorgente X 26 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



| Posizione geofono [m] | Tempo [ms] |
|-----------------------|------------|
| 3.0 | 35.3742 |
| 6.0 | 30.8390 |
| 9.0 | 26.7574 |
| 12.0 | 24.4898 |
| 15.0 | 20.4082 |
| 18.0 | 15.4195 |
| 21.0 | 12.2449 |
| 24.0 | 5.8957 |
| 27.0 | 5.4422 |
| 30.0 | 12.2449 |
| 33.0 | 17.6871 |
| 36.0 | 20.0000 |
| 39.0 | 24.4000 |
| 42.0 | 28.8000 |
| 45.0 | 33.6000 |
| 48.0 | 39.0000 |

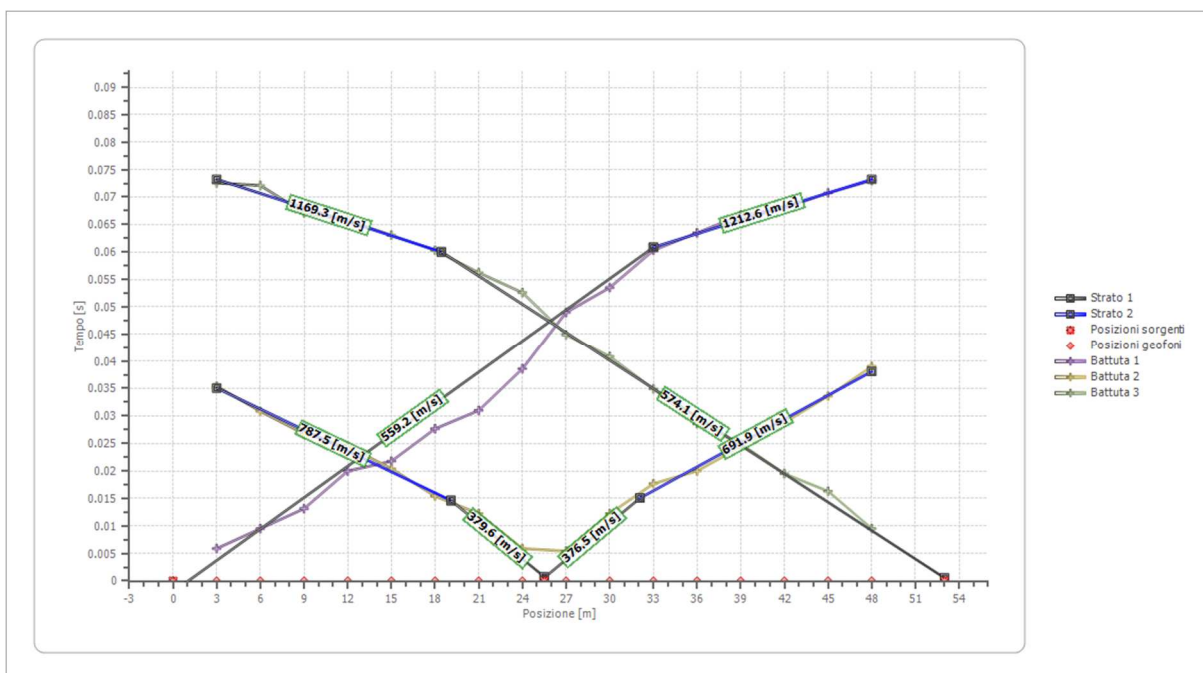
Battuta 3

Posizione sorgente X 53 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

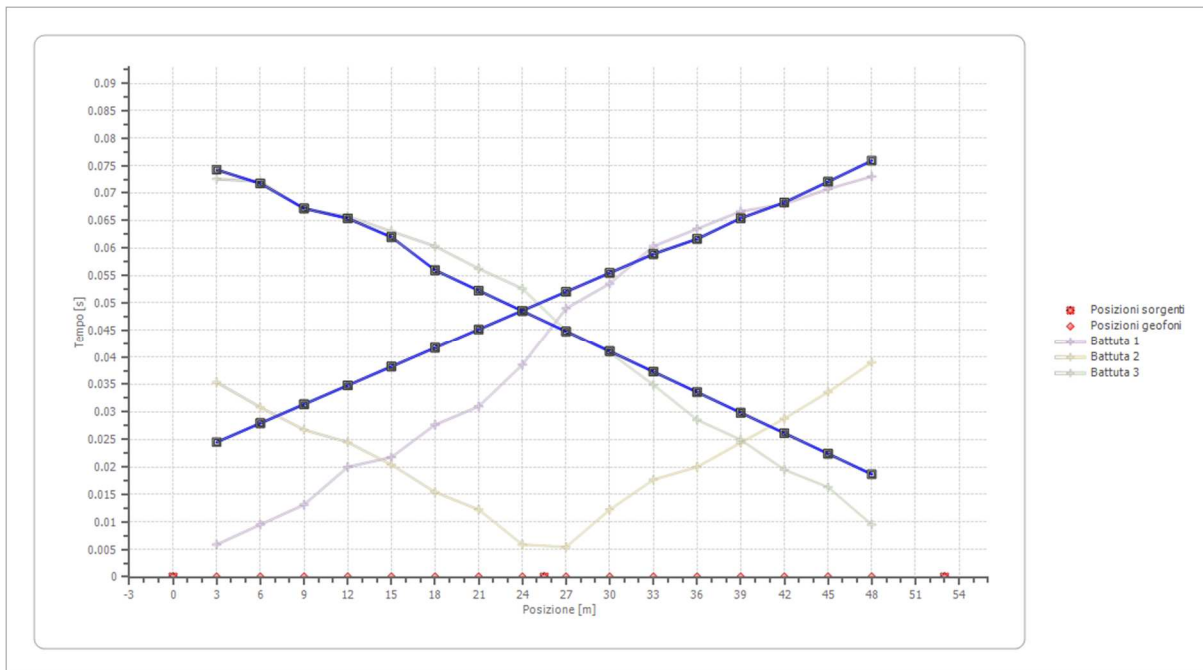


| Posizione geofono [m] | Tempo [ms] |
|-----------------------|------------|
| 3.0 | 72.5624 |
| 6.0 | 72.1088 |
| 9.0 | 67.1202 |
| 12.0 | 65.7596 |
| 15.0 | 63.0386 |
| 18.0 | 60.3175 |
| 21.0 | 56.2358 |
| 24.0 | 52.6077 |
| 27.0 | 44.8980 |
| 30.0 | 40.8163 |
| 33.0 | 34.9206 |
| 36.0 | 28.5714 |
| 39.0 | 24.9433 |
| 42.0 | 19.5011 |
| 45.0 | 16.3265 |
| 48.0 | 9.5238 |

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.R.M.

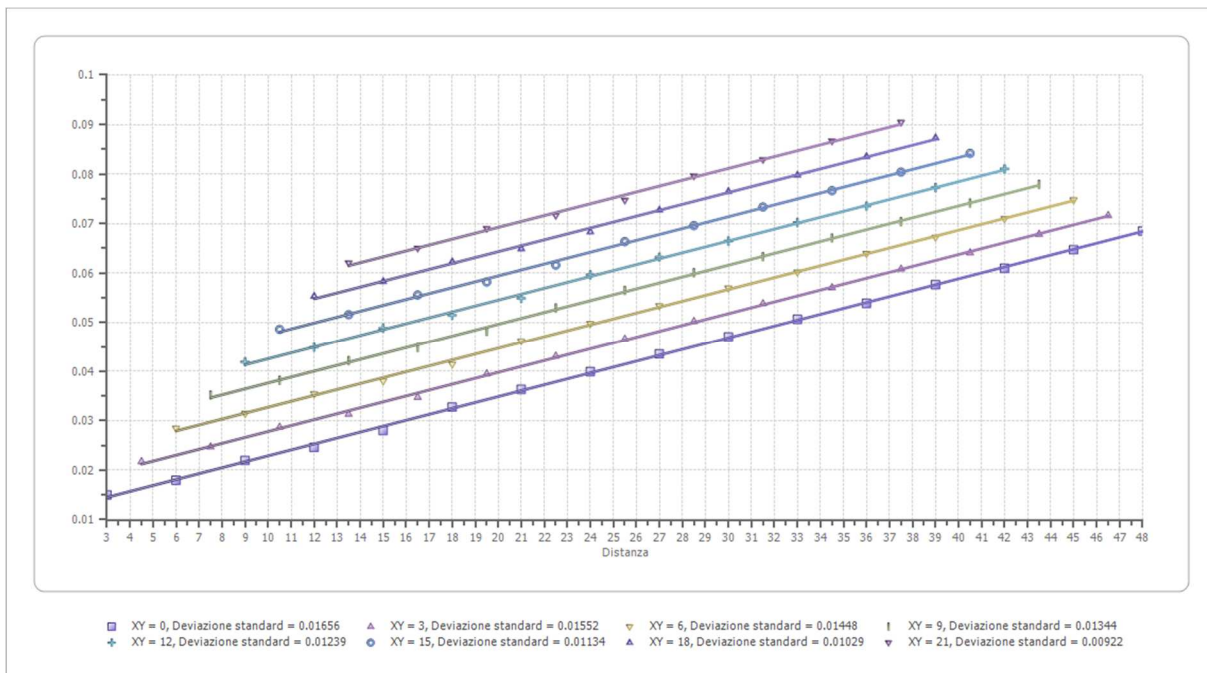
XY: 0

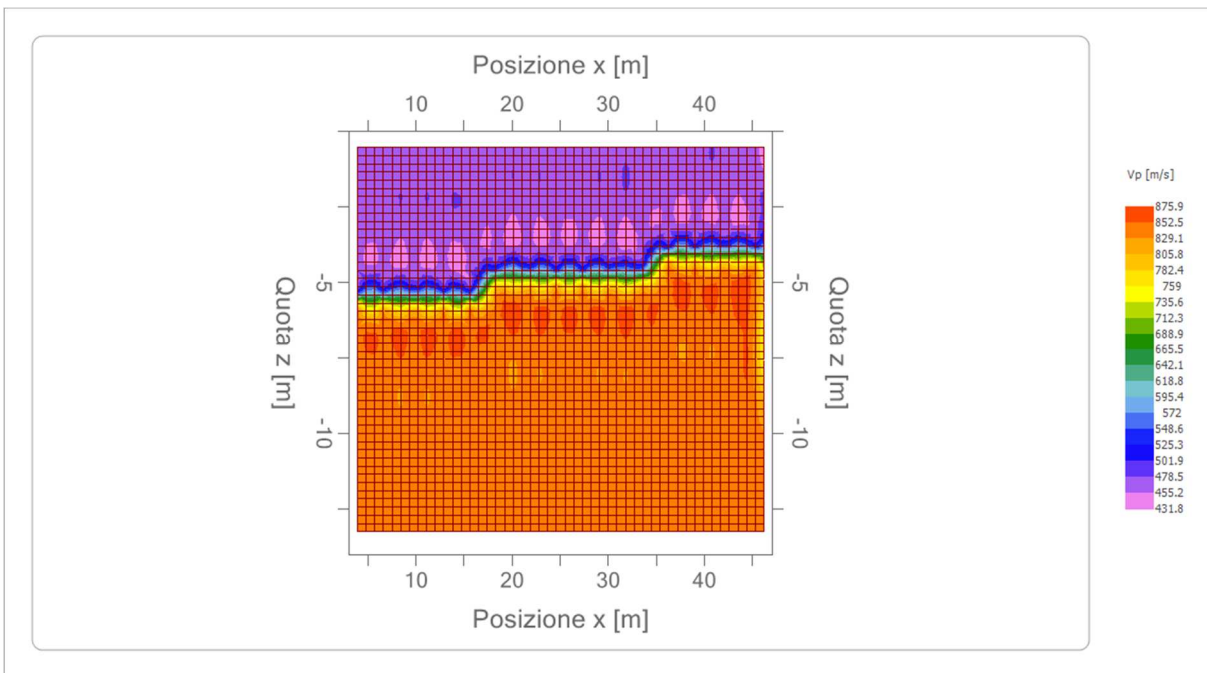
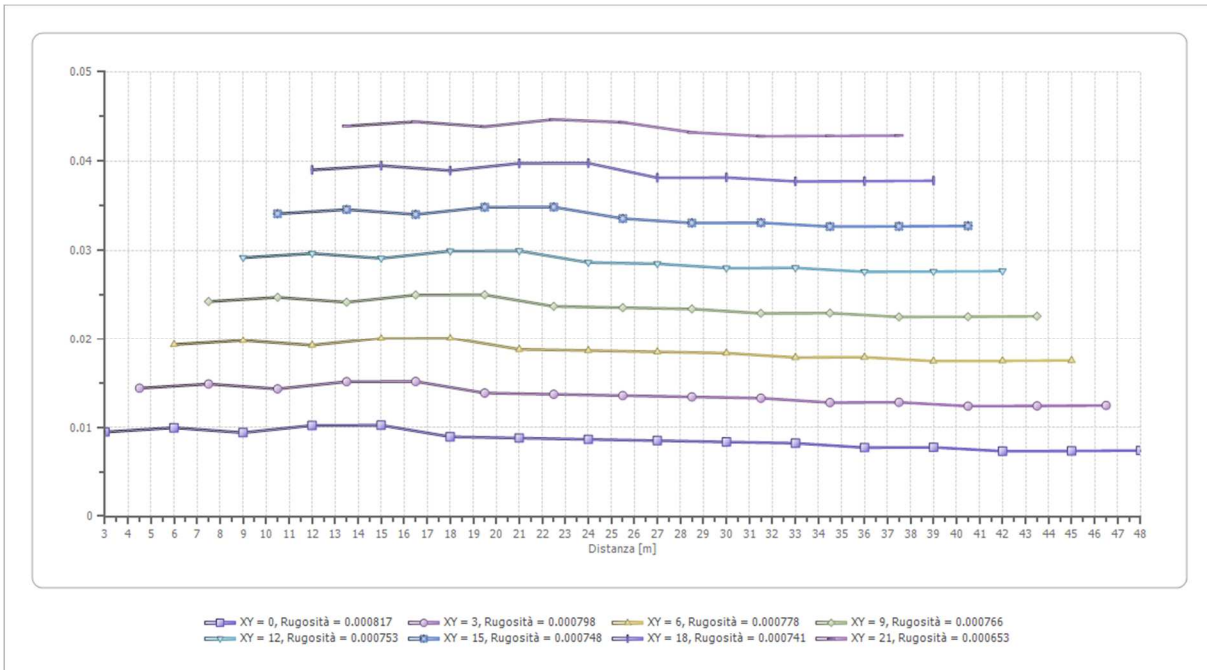
| | Strato n. 1 | Strato n. 2 |
|------------------|-------------|-------------|
| G= 3.0 [m] | 5.4 | -- |
| G= 6.0 [m] | 5.7 | -- |
| G= 9.0 [m] | 5.4 | -- |
| G= 12.0 [m] | 5.9 | -- |
| G= 15.0 [m] | 5.9 | -- |
| G= 18.0 [m] | 5.1 | -- |
| G= 21.0 [m] | 5.0 | -- |
| G= 24.0 [m] | 5.0 | -- |
| G= 27.0 [m] | 4.9 | -- |
| G= 30.0 [m] | 4.8 | -- |
| G= 33.0 [m] | 4.7 | -- |
| G= 36.0 [m] | 4.4 | -- |
| G= 39.0 [m] | 4.4 | -- |
| G= 42.0 [m] | 4.2 | -- |
| G= 45.0 [m] | 4.2 | -- |
| G= 48.0 [m] | 4.2 | -- |
| Velocità [m/sec] | 472.3 | 835.1 |
| 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] | 472.33 | 835.06 |
| Vs [m/s] | 226.90 | 401.15 |
| G0 [MPa] | 87.52 | 289.66 |
| Ed [Mpa] | 379.26 | 1255.18 |
| M0 [MPa] | 291.74 | 965.53 |
| Ey [Mpa] | 236.31 | 782.08 |

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





4.2 PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE RZ2

Il modello di terreno ricavato dal processo di elaborazione della sismica a rifrazione RZ2 ha messo in evidenza la presenza, nei primi 12-14 metri, di un solo orizzonte rifrattore ben definito. Tale interfaccia si presenta con aspetto lievemente in pendenza dettato essenzialmente da una leggera differenza di quota tra il primo e l'ultimo geofono. In definitiva sono stati quindi individuati n°2 sismostrati caratterizzati da velocità delle onde sismiche V_p sensibilmente differenti (Fig. 4.2.1).

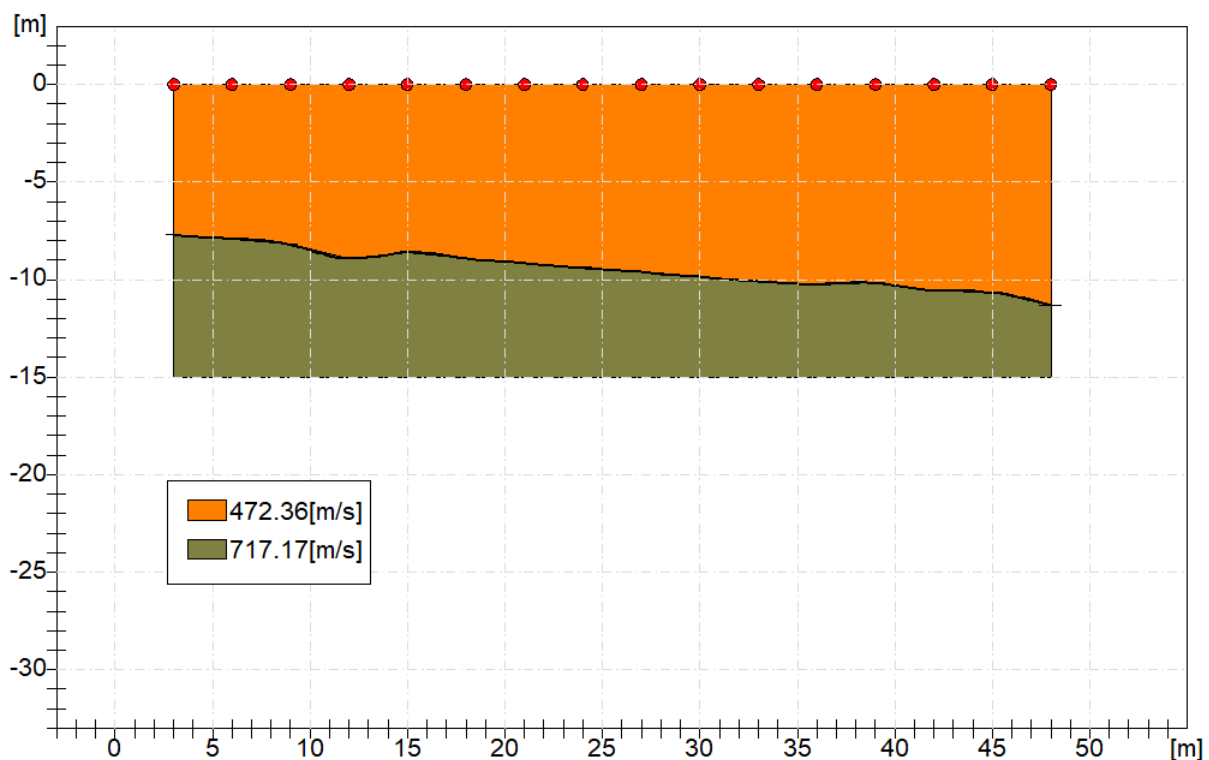


Fig. 4.2.1: Sismostratigrafia desunta dall'indagine RZ2.

Il primo sismostrato è caratterizzato da velocità delle onde di compressione V_p nell'ordine di 472,35 m/s, indicative di un livello poco addensato costituito dai depositi alluvionali costituiti da sabbie e ghiaie eterometriche in una matrice prevalentemente sabbio-argillosa. Lo spessore è variabile ed è valutabile mediamente nell'ordine di 8-10 metri. Il secondo sismostrato è caratterizzato da una velocità V_p dell'ordine di 717,17 m/s, valore compatibile con sedimenti argillo sabbiosi a consistenza media che migliora sempre di più con la profondità. Lo spessore risulta comunque indefinito.

Dal punto di vista sismo-stratigrafico è possibile ipotizzare una correlazione fra la sismo-stratigrafia e la litostratigrafia, occorre comunque rilevare che quasi mai un sismostrato corrisponde perfettamente con un litostrato. Tale ipotesi è inclusa nella Sintesi dei risultati riportata di seguito (Tab.4.2.1):

Tabella 4.2.1 – Sintesi dei risultati dell'indagine sismica Rz2.

| SINTESI DEI RISULTATI | | | |
|------------------------------|---------------------------------|-----------|---|
| SISMOSTRATO | PROFONDITA' (m dal p.c.) | Vs | CORRELAZIONI GEO-LITOLOGICHE |
| 1 | Da 0 a 8/10 | 226.91 | Terreni alluvionali costituiti da sabbie e ghiaie eterometriche in una matrice prevalentemente sabbio-argillosa |
| 2 | Da 8-10 a 12-15 | 344.52 | Depositi argillo-limosi, mediamente plastici e umidi a consistenza medio-bassa. |

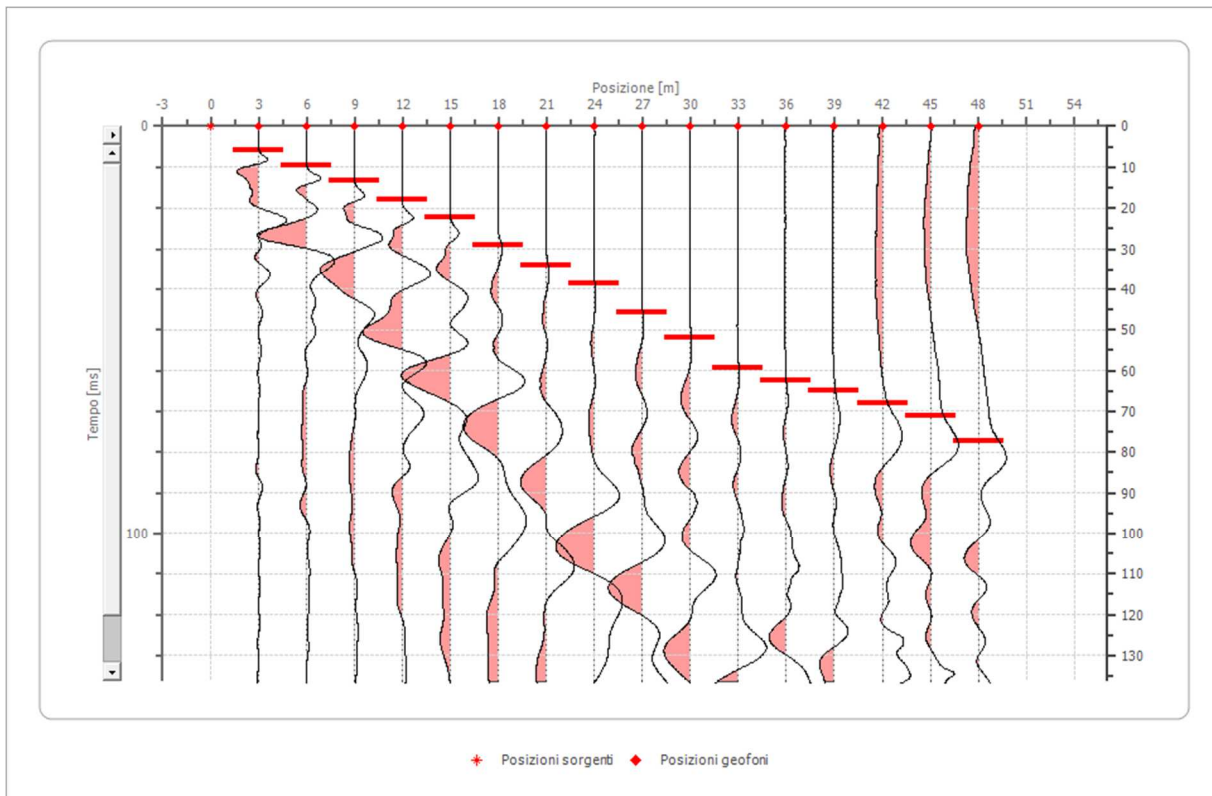
Geometria geofoni

| | Posizione X [m] | Posizione Z [m] |
|----|------------------------|------------------------|
| 1 | 3.0 | 0.0 |
| 2 | 6.0 | 0.0 |
| 3 | 9.0 | 0.0 |
| 4 | 12.0 | 0.0 |
| 5 | 15.0 | 0.0 |
| 6 | 18.0 | 0.0 |
| 7 | 21.0 | 0.0 |
| 8 | 24.0 | 0.0 |
| 9 | 27.0 | 0.0 |
| 10 | 30.0 | 0.0 |
| 11 | 33.0 | 0.0 |
| 12 | 36.0 | 0.0 |
| 13 | 39.0 | 0.0 |
| 14 | 42.0 | 0.0 |
| 15 | 45.0 | 0.0 |
| 16 | 48.0 | 0.0 |

Dati battute

Battuta 1

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

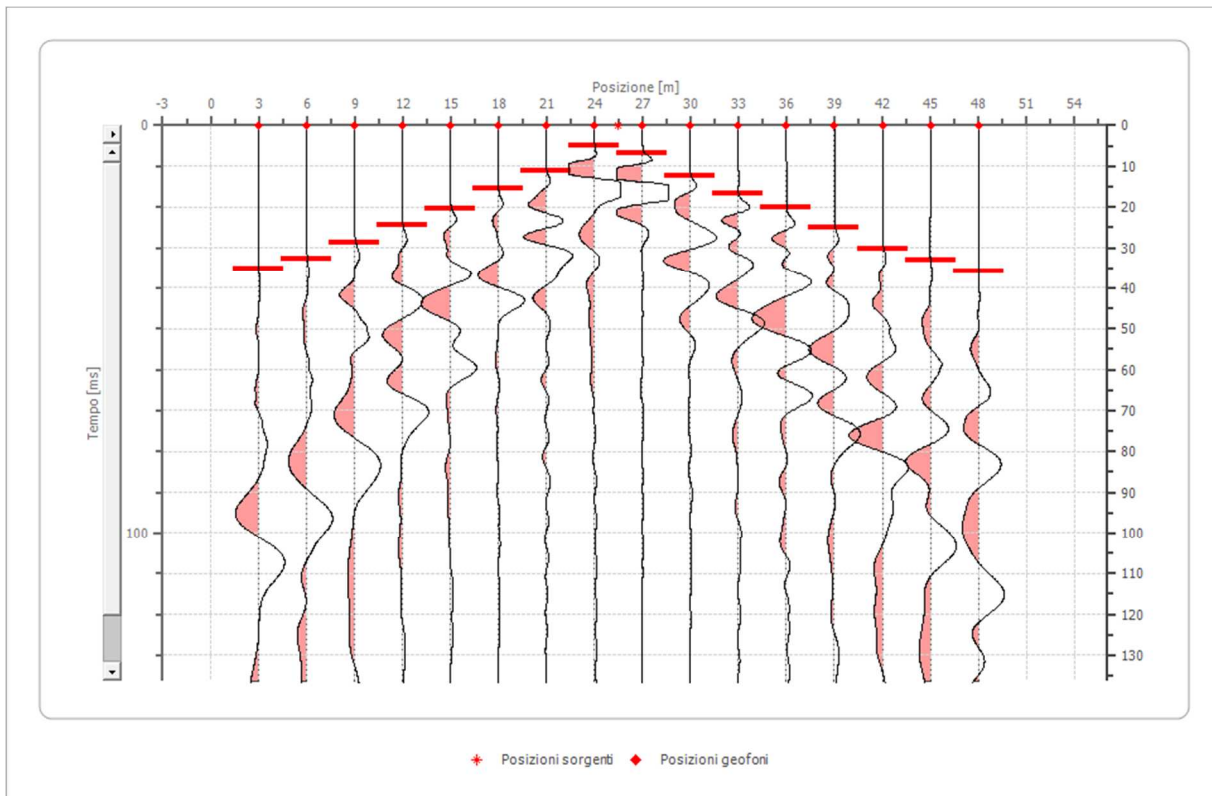


| Posizione geofono [m] | Tempo [ms] |
|-----------------------|------------|
| 3.0 | 5.8957 |
| 6.0 | 9.5238 |
| 9.0 | 13.1519 |
| 12.0 | 17.9344 |
| 15.0 | 22.2635 |
| 18.0 | 29.0662 |
| 21.0 | 34.0136 |
| 24.0 | 38.6000 |
| 27.0 | 45.7638 |
| 30.0 | 51.9481 |
| 33.0 | 59.3692 |
| 36.0 | 62.4614 |
| 39.0 | 64.9351 |
| 42.0 | 68.0000 |
| 45.0 | 71.1194 |
| 48.0 | 77.3037 |

Battuta 2

Posizione sorgente X 26 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

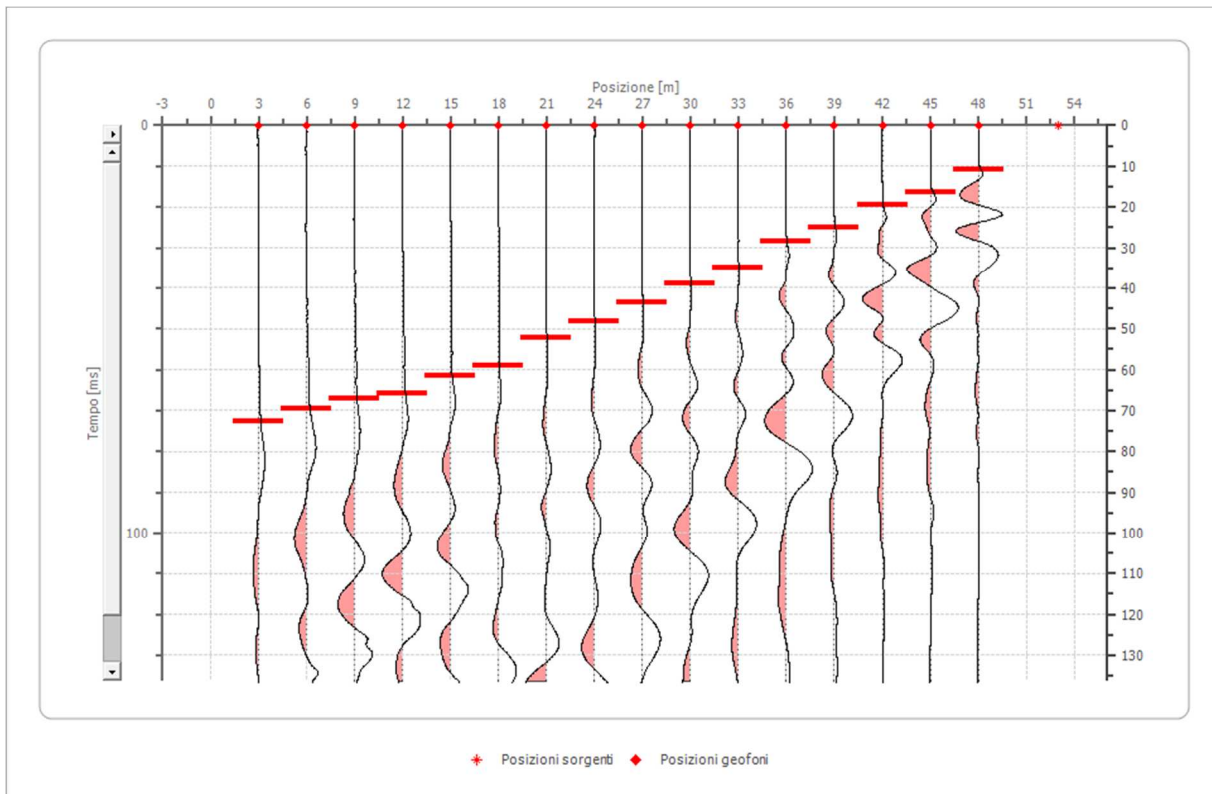


| Posizione geofono [m] | Tempo [ms] |
|--------------------------|---------------|
| 3.0 | 35.3742 |
| 6.0 | 32.7767 |
| 9.0 | 28.7570 |
| 12.0 | 24.4898 |
| 15.0 | 20.4082 |
| 18.0 | 15.4195 |
| 21.0 | 11.1317 |
| 24.0 | 4.9474 |
| 27.0 | 6.8027 |
| 30.0 | 12.2449 |
| 33.0 | 16.6976 |
| 36.0 | 20.0000 |
| 39.0 | 25.0464 |
| 42.0 | 30.3030 |
| 45.0 | 33.0860 |
| 48.0 | 35.8689 |

Battuta 3

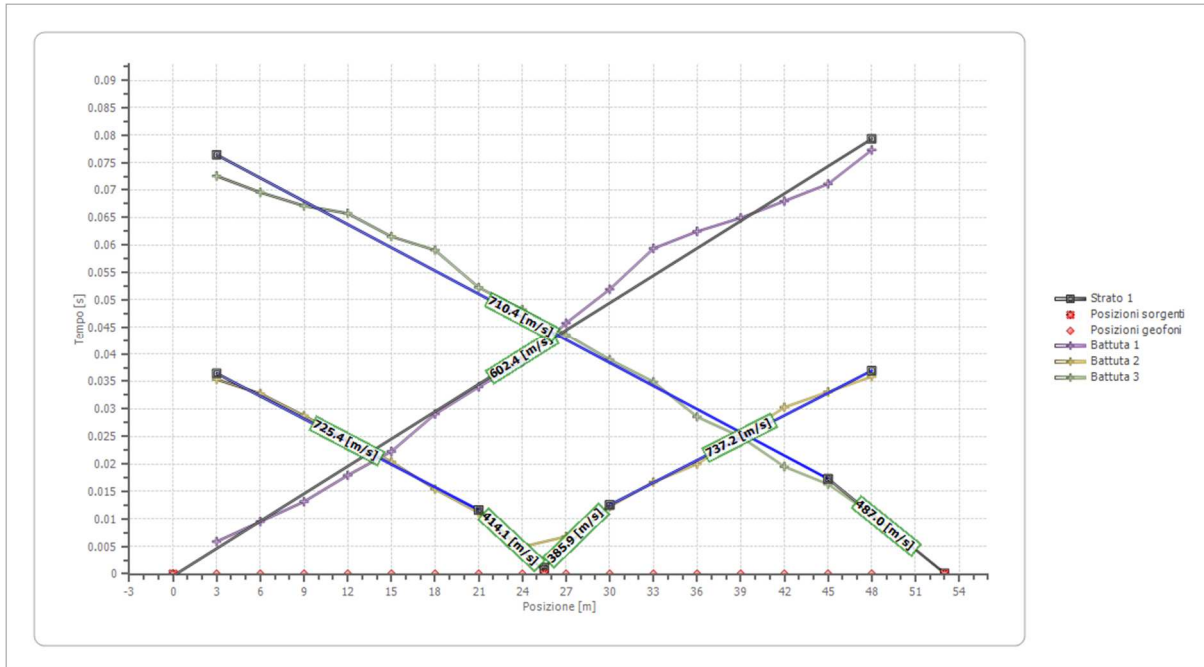
Posizione sorgente X 53 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

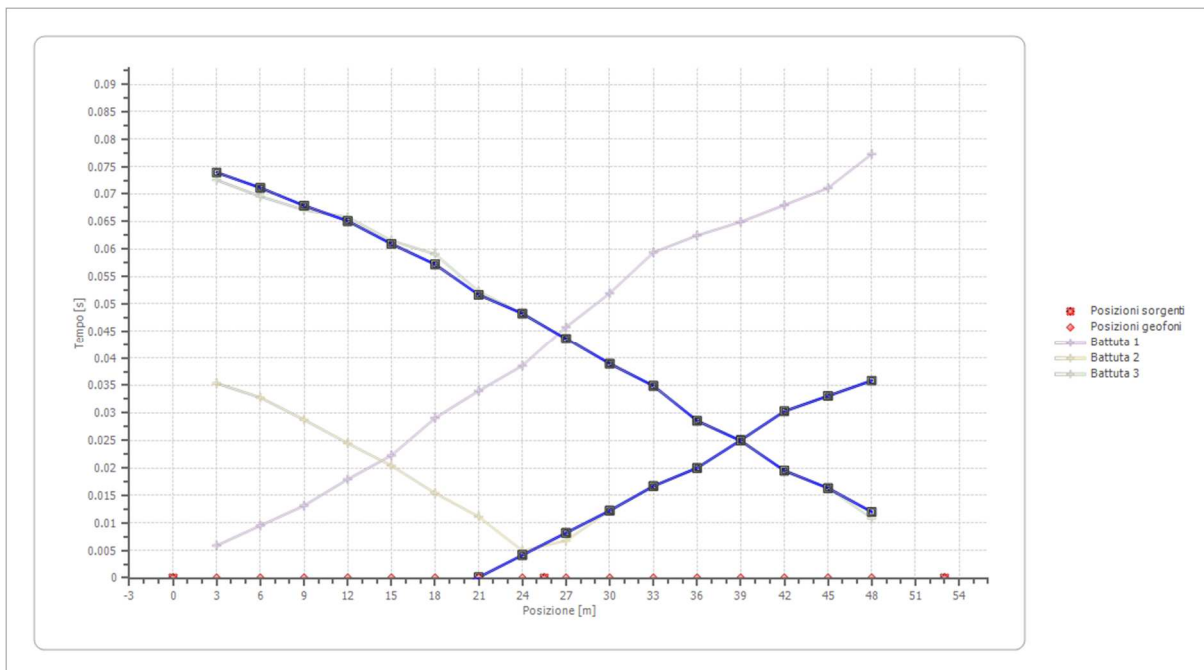


| Posizione geofono [m] | Tempo [ms] |
|--------------------------|---------------|
| 3.0 | 72.5624 |
| 6.0 | 69.5733 |
| 9.0 | 67.1202 |
| 12.0 | 65.7596 |
| 15.0 | 61.5337 |
| 18.0 | 59.0600 |
| 21.0 | 52.2573 |
| 24.0 | 48.2375 |
| 27.0 | 43.5993 |
| 30.0 | 38.9610 |
| 33.0 | 34.9206 |
| 36.0 | 28.5714 |
| 39.0 | 24.9433 |
| 42.0 | 19.5011 |
| 45.0 | 16.3265 |
| 48.0 | 10.8225 |

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

XY: 0

| | Strato n. 1 | Strato n. 2 |
|------------------|-------------|-------------|
| G= 3.0 [m] | 7.7 | -- |
| G= 6.0 [m] | 7.9 | -- |
| G= 9.0 [m] | 8.2 | -- |
| G= 12.0 [m] | 8.9 | -- |
| G= 15.0 [m] | 8.6 | -- |
| G= 18.0 [m] | 8.9 | -- |
| G= 21.0 [m] | 9.2 | -- |
| G= 24.0 [m] | 9.4 | -- |
| G= 27.0 [m] | 9.6 | -- |
| G= 30.0 [m] | 9.9 | -- |
| G= 33.0 [m] | 10.1 | -- |
| G= 36.0 [m] | 10.2 | -- |
| G= 39.0 [m] | 10.2 | -- |
| G= 42.0 [m] | 10.6 | -- |
| G= 45.0 [m] | 10.7 | -- |
| G= 48.0 [m] | 11.3 | -- |
| Velocità [m/sec] | 472.4 | 717.2 |
| Descrizione | | |

Altri parametri geotecnici

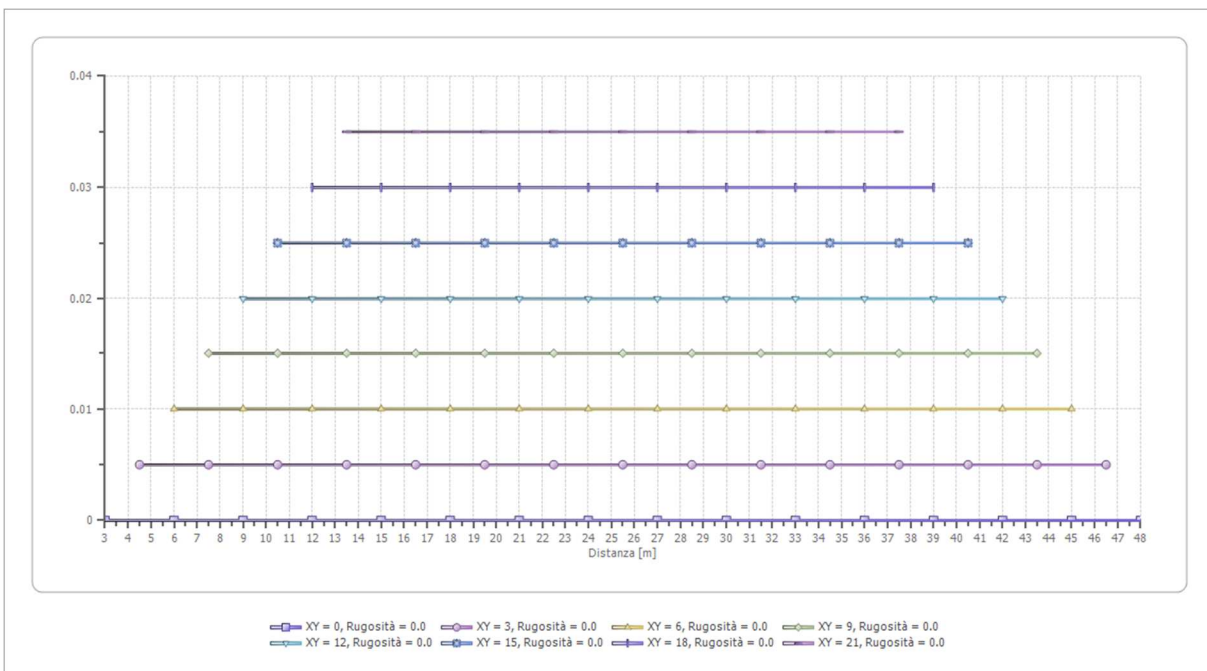
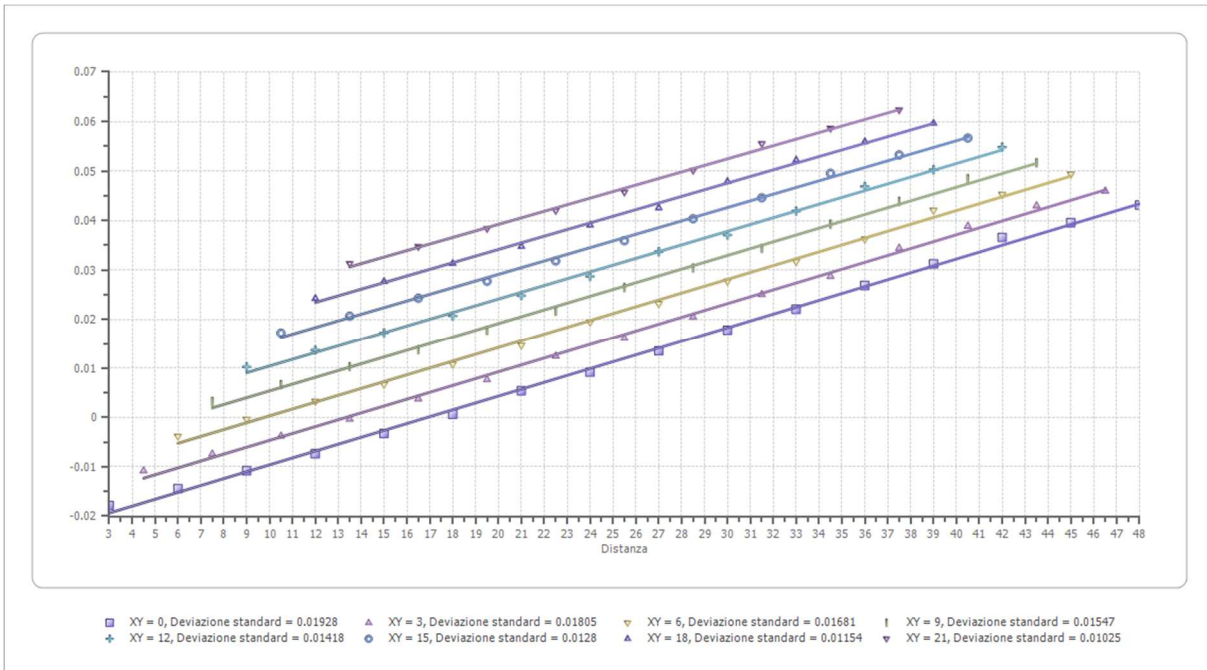
| | Strato n. 1 | Strato n. 2 |
|------------------------------|-------------|-------------|
| Coefficiente Poisson | 0.35 | 0.35 |
| Densità [kg/m ³] | 1700.00 | 1800.00 |
| Vp [m/s] | 472.36 | 717.17 |
| Vs [m/s] | 226.91 | 344.52 |
| G0 [MPa] | 87.53 | 213.65 |
| Ed [Mpa] | 379.30 | 925.81 |
| M0 [MPa] | 291.77 | 712.16 |
| Ey [Mpa] | 236.34 | 576.85 |

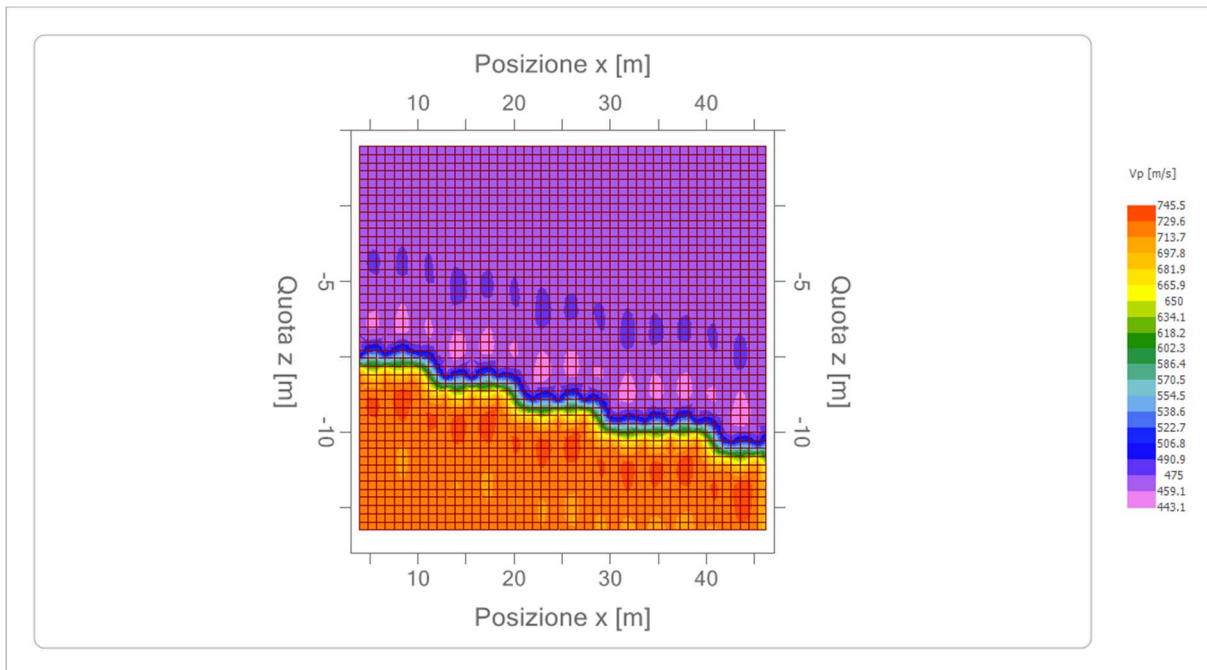
G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;





4.3 PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE RZ3

Il modello di terreno ricavato dal processo di elaborazione della sismica a rifrazione RZ3 ha messo in evidenza la presenza, nei primi 12-14 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 sensibilmente differenti (Fig. 4.3.1).

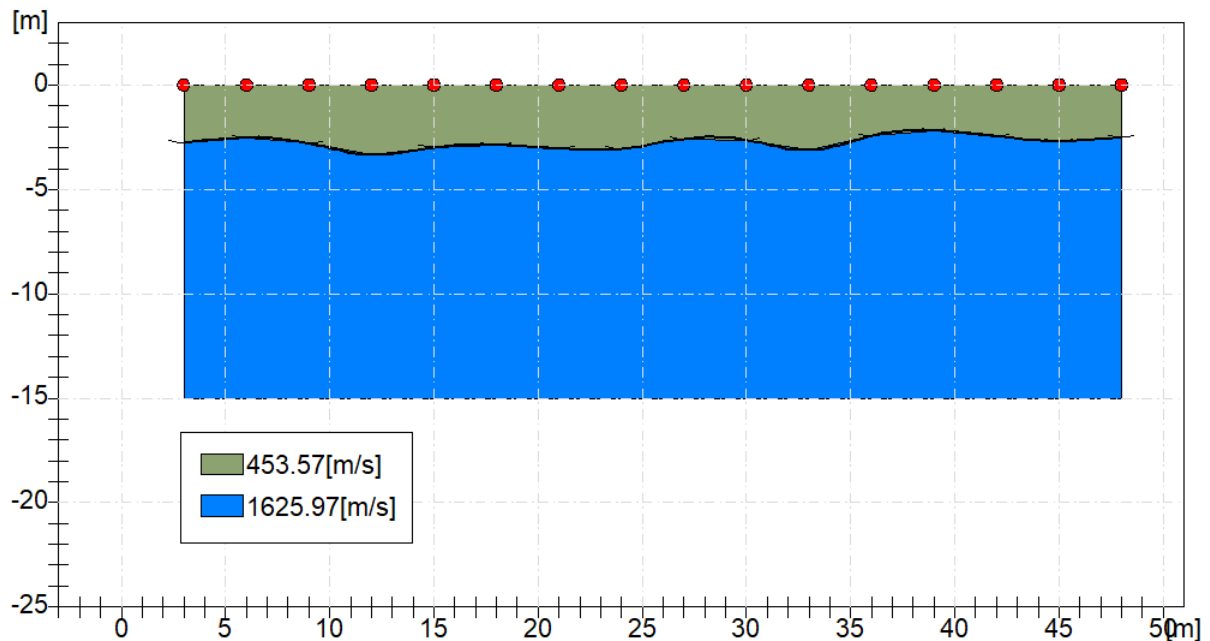


Fig. 4.3.1: Sismostratigrafia desunta dall'indagine Rz3.

Il primo sismostrato è caratterizzato da velocità delle onde di compressione V_p nell'ordine di 453,57 m/s, indicative di un livello poco addensato tipico del terreno agrario o colluviale areato che interessa anche la porzione alterata della sottostante formazione argillo-marnosa. Lo spessore è variabile ed è valutabile mediamente nell'ordine di 2,4-3,4 metri. Il secondo sismostrato è caratterizzato da una velocità V_p dell'ordine di 1625,97 m/s, valore compatibile con il membro argillo-sabbioso mediamente addensato. Lo spessore risulta comunque indefinito.

Dal punto di vista sismo-stratigrafico è possibile ipotizzare una correlazione fra la sismo-stratigrafia e la litostratigrafia, occorre comunque rilevare che quasi mai un sismostrato corrisponde perfettamente con un litostrato. Tale ipotesi è inclusa nella sintesi dei risultati riportata di seguito (Tab.4.3.1):

Tabella 4.3.1 – Sintesi dei risultati dell'indagine sismica Rz3.

| SINTESI DEI RISULTATI | | | |
|-----------------------|--------------------------|--------|---|
| SISMOSTRATO | PROFONDITA' (m dal p.c.) | V_s | CORRELAZIONI GEO-LITologiche |
| 1 | Da 0 a 2,4-3,4 | 217,89 | Terreno agrario e colluviale oltre la porzione alterata del sub-strato argilloso. |
| 2 | Da 2,4-3,4 a 10-15 | 781,09 | Depositi argillo-limosi, mediamente plastici e umidi a consistenza medio-bassa. |

ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE Rz3

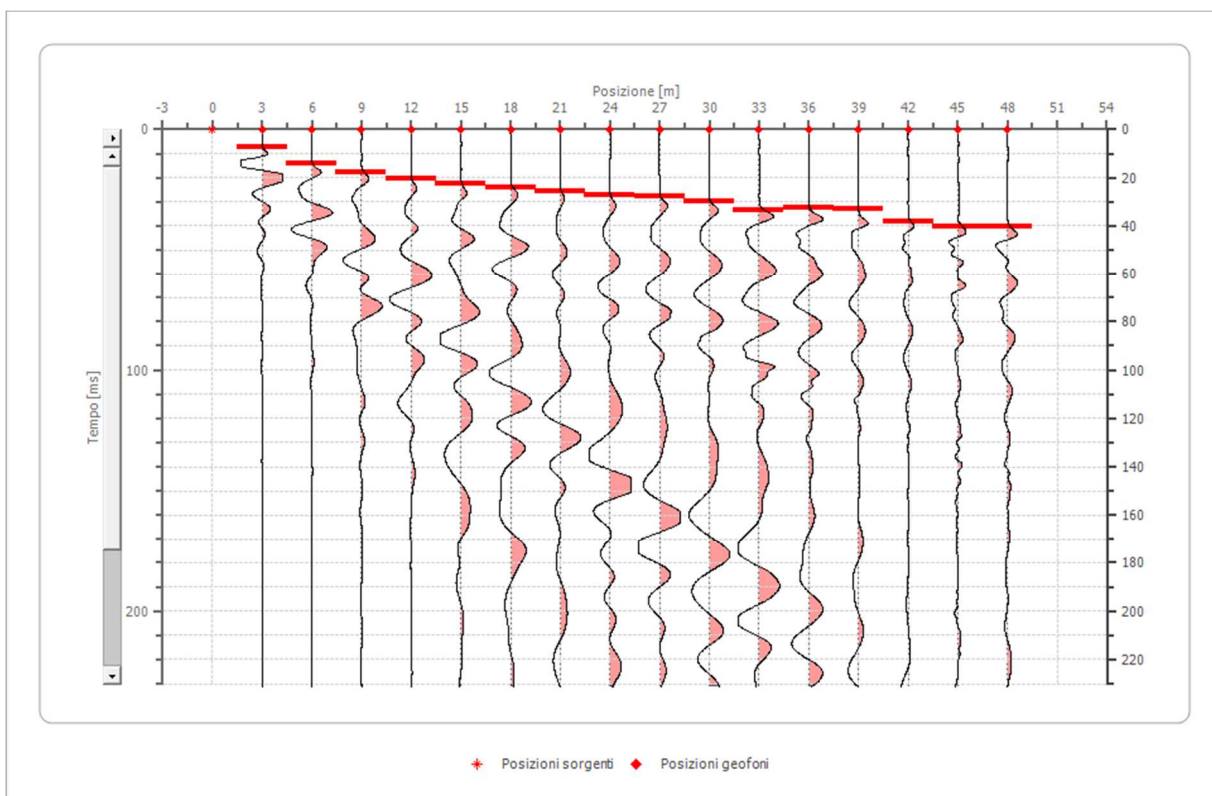
Geometria geofoni

| | Posizione X [m] | Posizione Z [m] |
|----|--------------------|--------------------|
| 1 | 3.0 | 0.0 |
| 2 | 6.0 | 0.0 |
| 3 | 9.0 | 0.0 |
| 4 | 12.0 | 0.0 |
| 5 | 15.0 | 0.0 |
| 6 | 18.0 | 0.0 |
| 7 | 21.0 | 0.0 |
| 8 | 24.0 | 0.0 |
| 9 | 27.0 | 0.0 |
| 10 | 30.0 | 0.0 |
| 11 | 33.0 | 0.0 |
| 12 | 36.0 | 0.0 |
| 13 | 39.0 | 0.0 |
| 14 | 42.0 | 0.0 |
| 15 | 45.0 | 0.0 |
| 16 | 48.0 | 0.0 |

Dati battute

Battuta 1

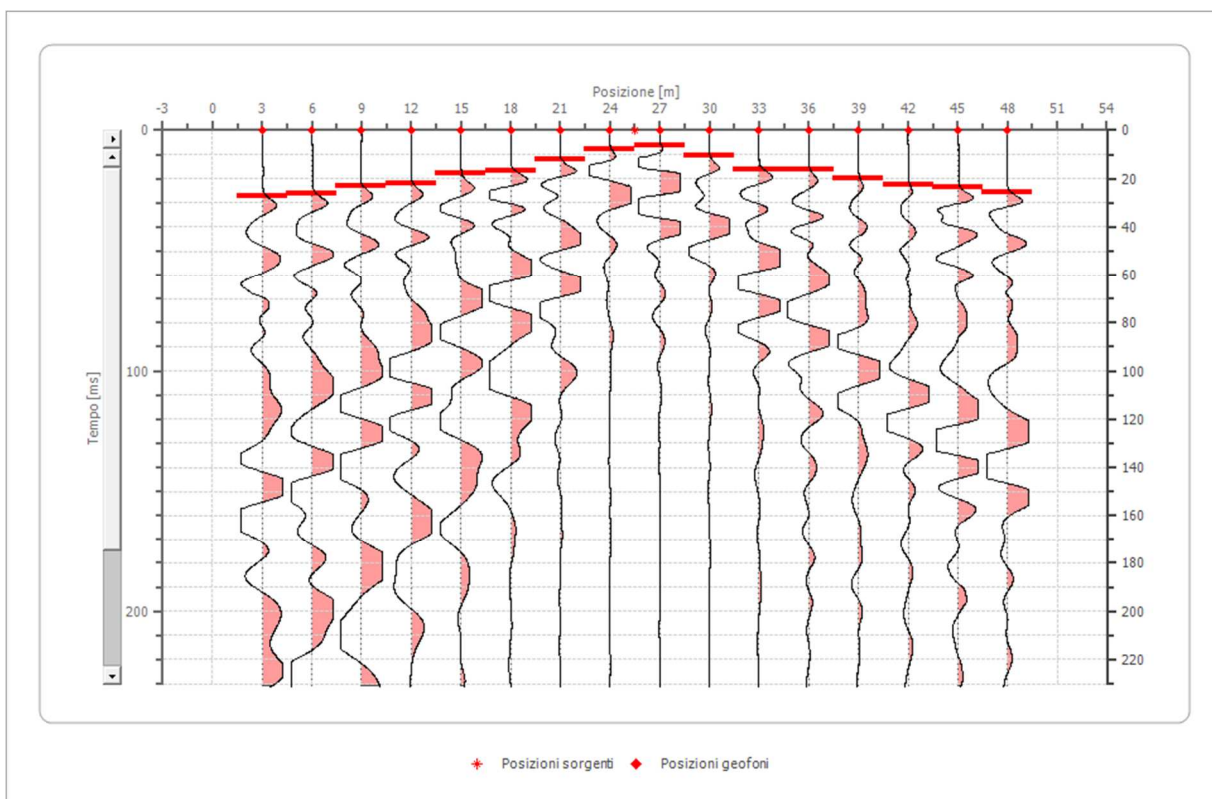
Posizione sorgente X 0 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



| Posizione geofono [m] | Tempo [ms] |
|--------------------------|---------------|
| 3.0 | 7.4830 |
| 6.0 | 14.2857 |
| 9.0 | 17.6871 |
| 12.0 | 20.4000 |
| 15.0 | 22.4490 |
| 18.0 | 23.8095 |
| 21.0 | 25.8503 |
| 24.0 | 27.0000 |
| 27.0 | 27.6000 |
| 30.0 | 29.9320 |
| 33.0 | 33.3333 |
| 36.0 | 32.6531 |
| 39.0 | 33.0000 |
| 42.0 | 38.0952 |
| 45.0 | 40.1361 |
| 48.0 | 40.1361 |

Battuta 2

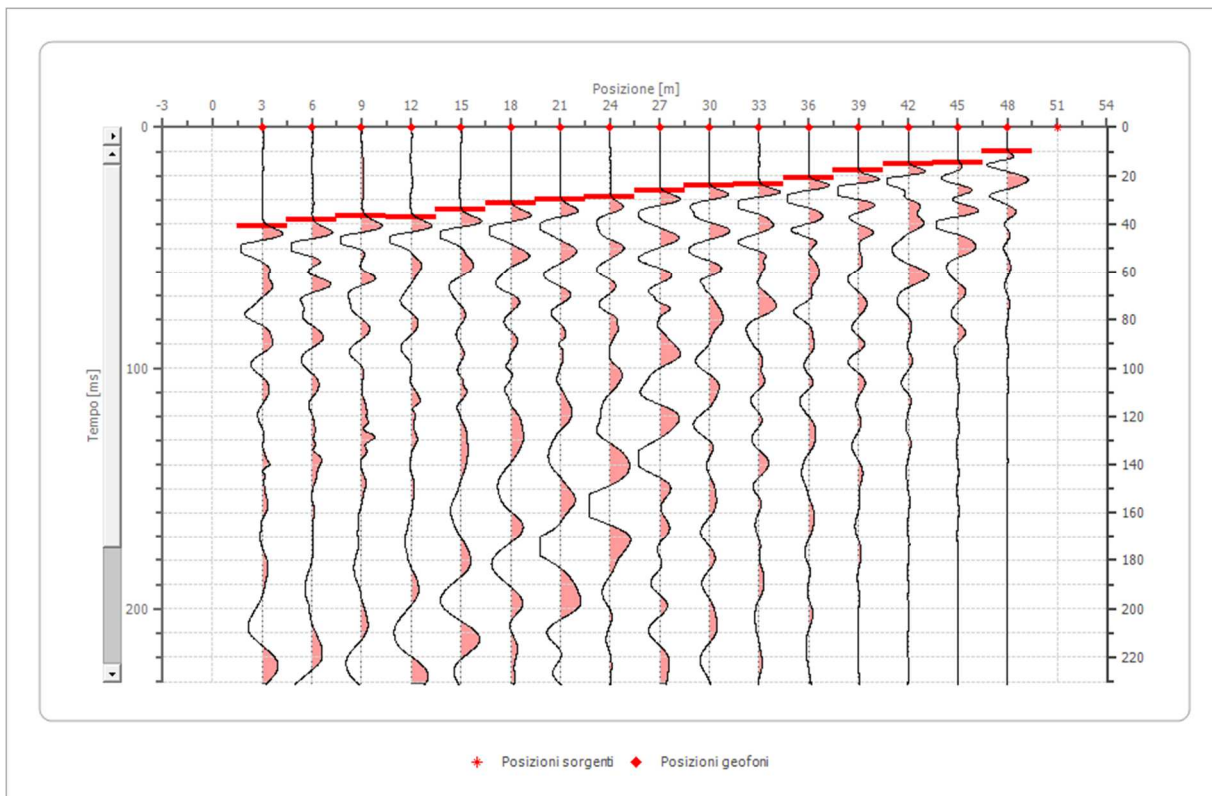
Posizione sorgente X 26 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



| Posizione geofono [m] | Tempo [ms] |
|--------------------------|---------------|
| 3.0 | 27.2109 |
| 6.0 | 26.1643 |
| 9.0 | 23.0246 |
| 12.0 | 21.9780 |
| 15.0 | 17.7917 |
| 18.0 | 16.7452 |
| 21.0 | 12.0356 |
| 24.0 | 7.8493 |
| 27.0 | 6.2794 |
| 30.0 | 10.4657 |
| 33.0 | 16.2219 |
| 36.0 | 16.2219 |
| 39.0 | 20.0000 |
| 42.0 | 22.5013 |
| 45.0 | 23.5479 |
| 48.0 | 25.6410 |

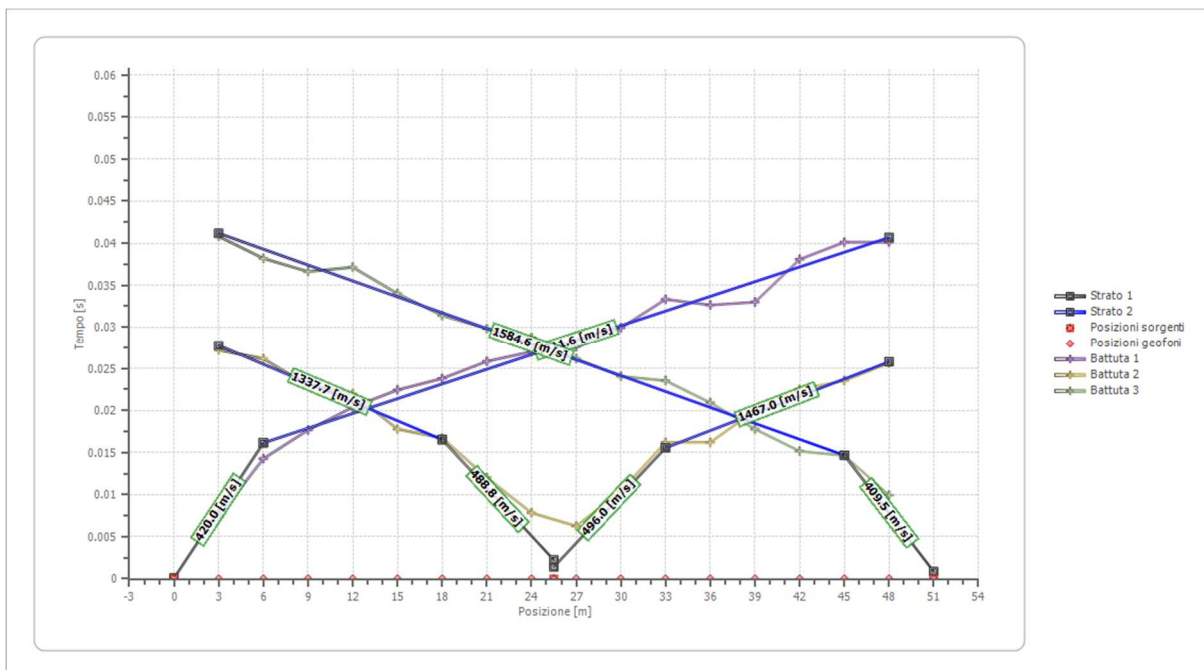
Battuta 3

Posizione sorgente X 51 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

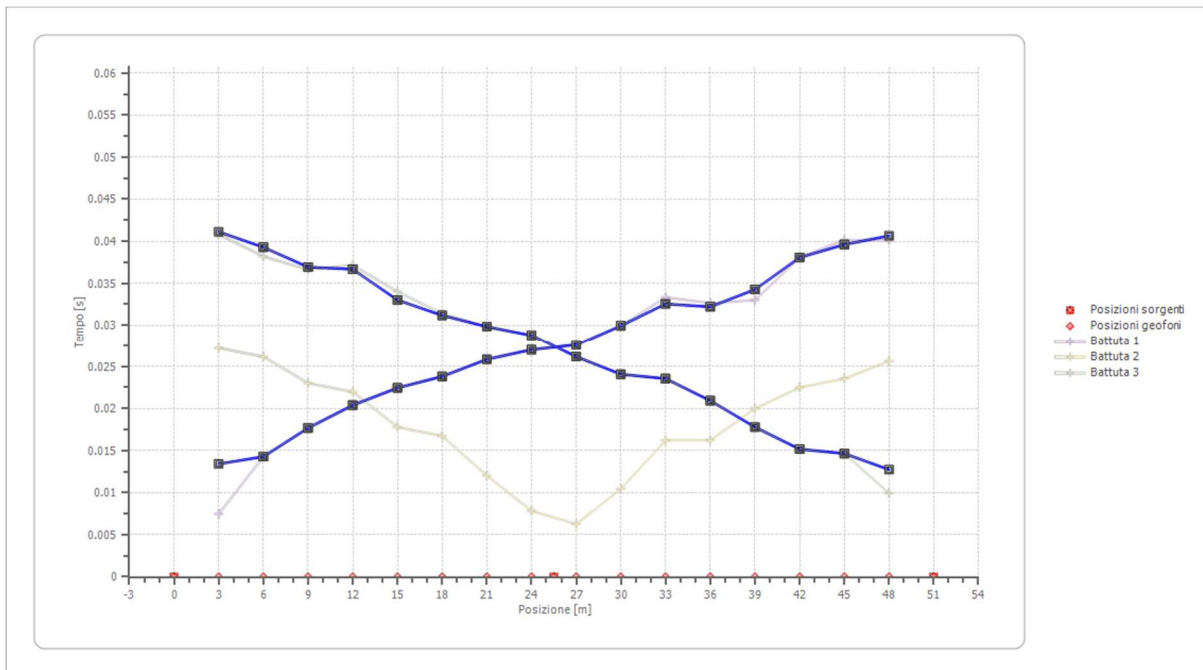


| Posizione geofono [m] | Tempo [ms] |
|-----------------------|------------|
| 3.0 | 40.8163 |
| 6.0 | 38.1999 |
| 9.0 | 36.6300 |
| 12.0 | 37.1533 |
| 15.0 | 34.0136 |
| 18.0 | 31.3972 |
| 21.0 | 29.8273 |
| 24.0 | 28.7807 |
| 27.0 | 26.1643 |
| 30.0 | 24.0712 |
| 33.0 | 23.5479 |
| 36.0 | 20.9315 |
| 39.0 | 17.7917 |
| 42.0 | 15.1753 |
| 45.0 | 14.6520 |
| 48.0 | 9.9424 |

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.R.M.

XY: 0

| | Strato n. 1 | Strato n. 2 |
|------------------|-------------|-------------|
| G= 3.0 [m] | 2.8 | 2.8 |
| G= 6.0 [m] | 2.5 | 2.5 |
| G= 9.0 [m] | 2.8 | 2.8 |
| G= 12.0 [m] | 3.4 | 4.0 |
| G= 15.0 [m] | 3.0 | 5.5 |
| G= 18.0 [m] | 2.9 | 3.2 |
| G= 21.0 [m] | 3.0 | 4.5 |
| G= 24.0 [m] | 3.0 | 5.3 |
| G= 27.0 [m] | 2.6 | 3.6 |
| G= 30.0 [m] | 2.6 | 4.6 |
| G= 33.0 [m] | 3.1 | 8.5 |
| G= 36.0 [m] | 2.4 | 8.1 |
| G= 39.0 [m] | 2.2 | 5.9 |
| G= 42.0 [m] | 2.4 | 9.5 |
| G= 45.0 [m] | 2.7 | 9.5 |
| G= 48.0 [m] | 2.5 | 8.1 |
| Velocità [m/sec] | 453.6 | 1626.0 |
| Descrizione | | |

Altri parametri geotecnici

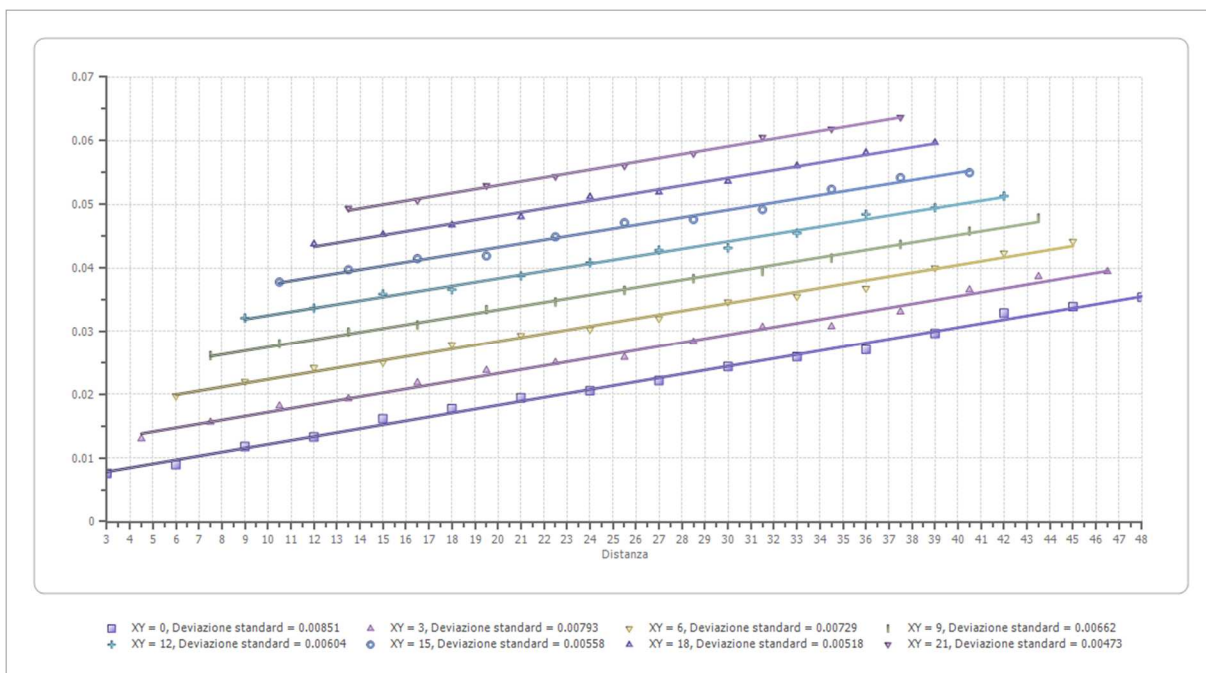
| | Strato n. 1 | Strato n. 2 |
|------------------------------|-------------|-------------|
| Coefficiente Poisson | 0.35 | 0.35 |
| Densità [kg/m ³] | 1800.00 | 1800.00 |
| Vp [m/s] | 453.57 | 1625.97 |
| Vs [m/s] | 217.89 | 781.09 |
| G0 [MPa] | 85.45 | 1098.18 |
| Ed [Mpa] | 370.30 | 4758.78 |
| M0 [MPa] | 284.85 | 3660.60 |
| Ey [Mpa] | 230.72 | 2965.09 |

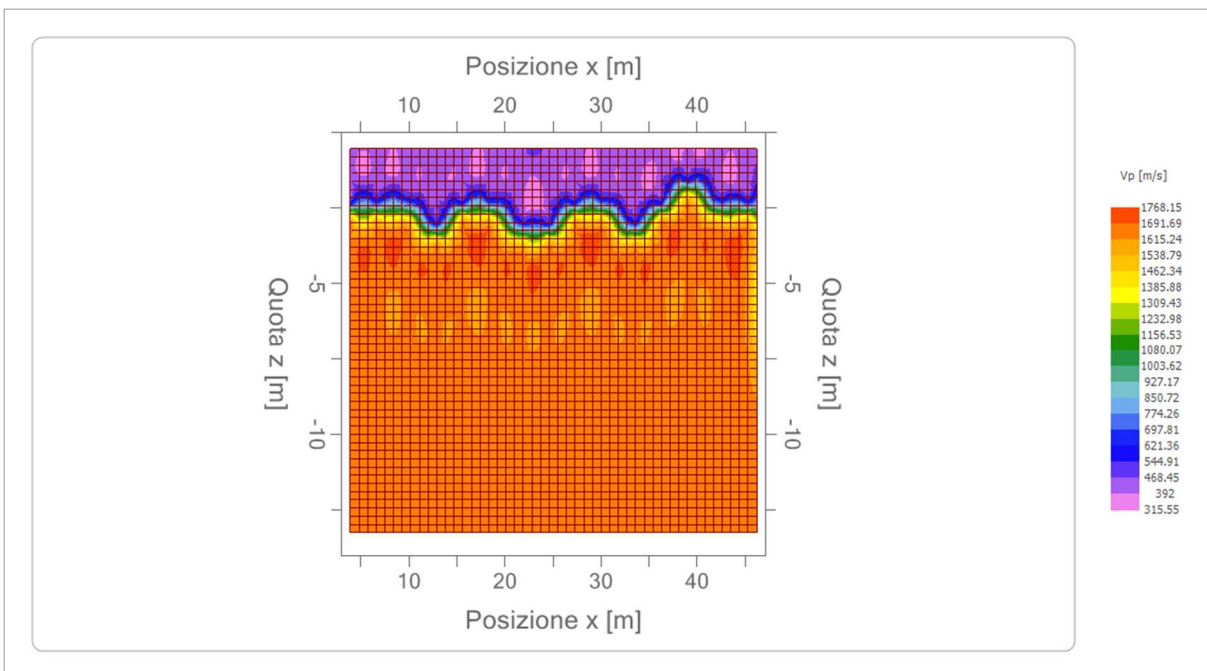
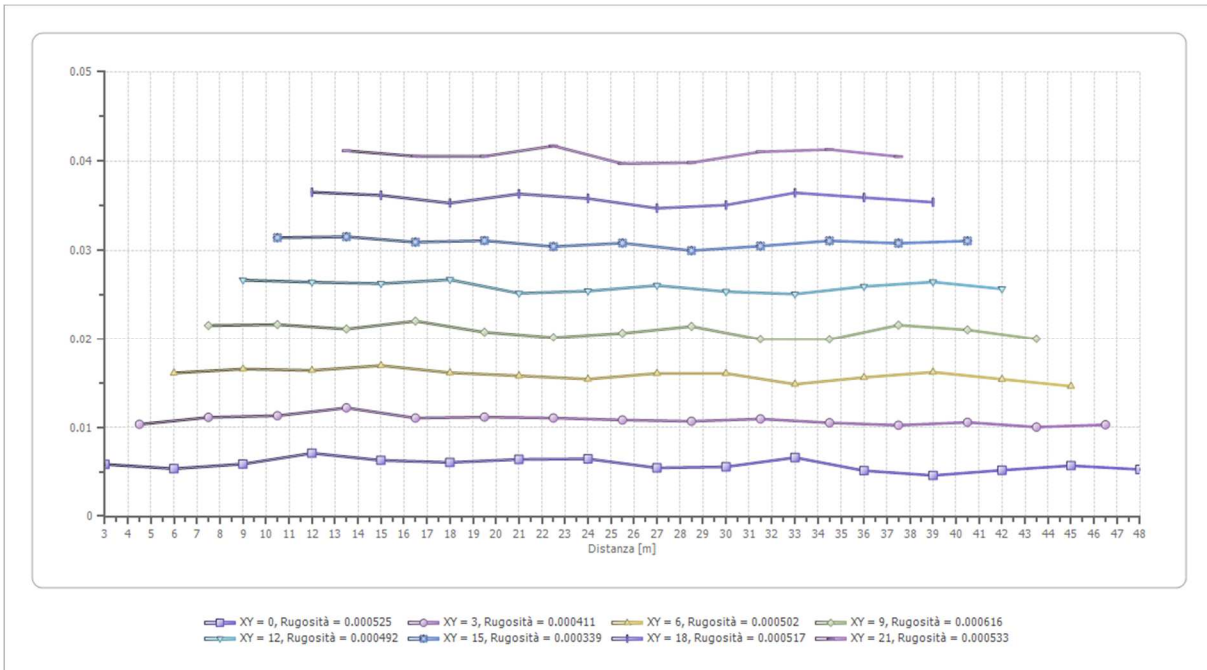
G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;





4.4 PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE RZ4

Il modello di terreno ricavato dal processo di elaborazione della sismica a rifrazione RZ4 ha messo in evidenza la presenza, nei primi 12-14 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 sensibilmente differenti (Fig. 4.4.1).

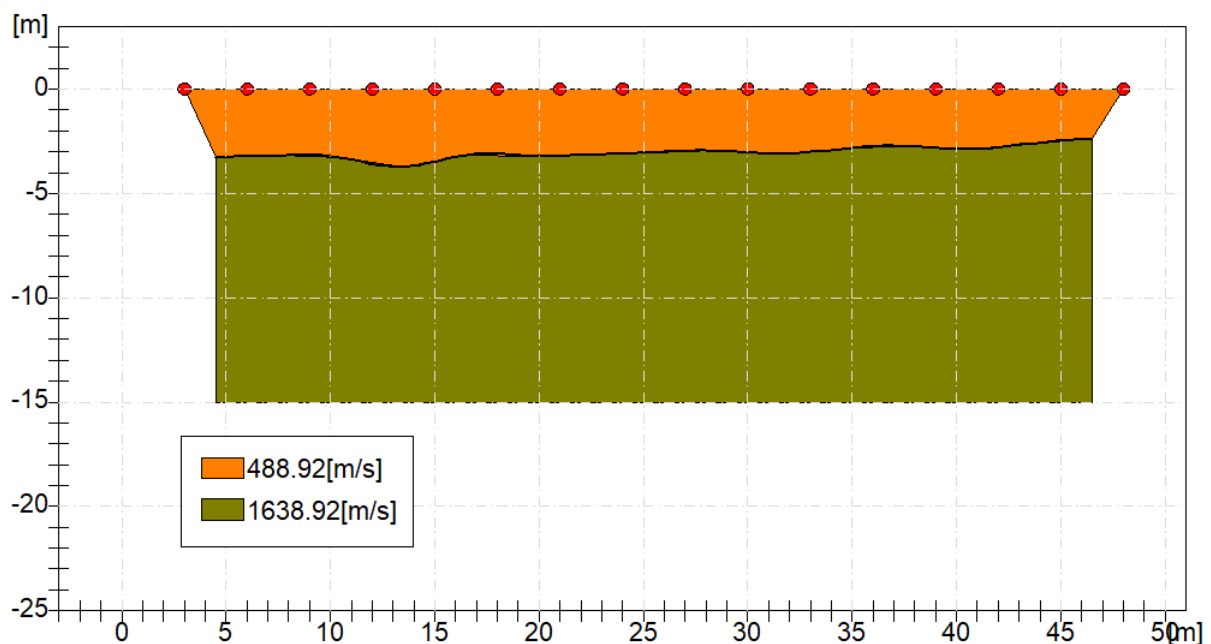


Fig. 4.4.1: Sismostratigrafia desunta dall'indagine RZ4.

Il primo sismostrato è caratterizzato da velocità delle onde di compressione V_p nell'ordine di 488,92 m/s, indicative di un livello poco addensato tipico del terreno agrario o colluviale areato che interessa anche la porzione alterata della sottostante formazione argillo-marnosa. Lo spessore è variabile ed è valutabile mediamente nell'ordine di 2,7-3,7 metri. Il secondo sismostrato è caratterizzato da una velocità V_p dell'ordine di 1638,92 m/s, valore compatibile con il membro argillo-sabbioso mediamente addensato. Lo spessore risulta comunque indefinito.

Dal punto di vista sismo-stratigrafico è possibile ipotizzare una correlazione fra la sismo-stratigrafia e la litostratigrafia, occorre comunque rilevare che quasi mai un sismostrato corrisponde perfettamente con un litostrato. Tale ipotesi è inclusa nella sintesi dei risultati riportata di seguito (Tab.4.3.1):

Tabella 4.4.1 – Sintesi dei risultati dell'indagine sismica Rz4.

| SINTESI DEI RISULTATI | | | |
|------------------------------|---------------------------------|----------------------|---|
| SISMOSTRATO | PROFONDITA' (m dal p.c.) | V_s | CORRELAZIONI GEO-LITOLOGICHE |
| 1 | Da 0 a 2.7-3,7 | 234.87 | Terreno agrario e colluviale oltre la porzione alterata del sub-strato argilloso. |
| 2 | Da 2.7-3.7 a 10-15 | 787.31 | Depositi argillo-limosi, mediamente plastici e umidi a consistenza medio-bassa. |

Geometria geofoni

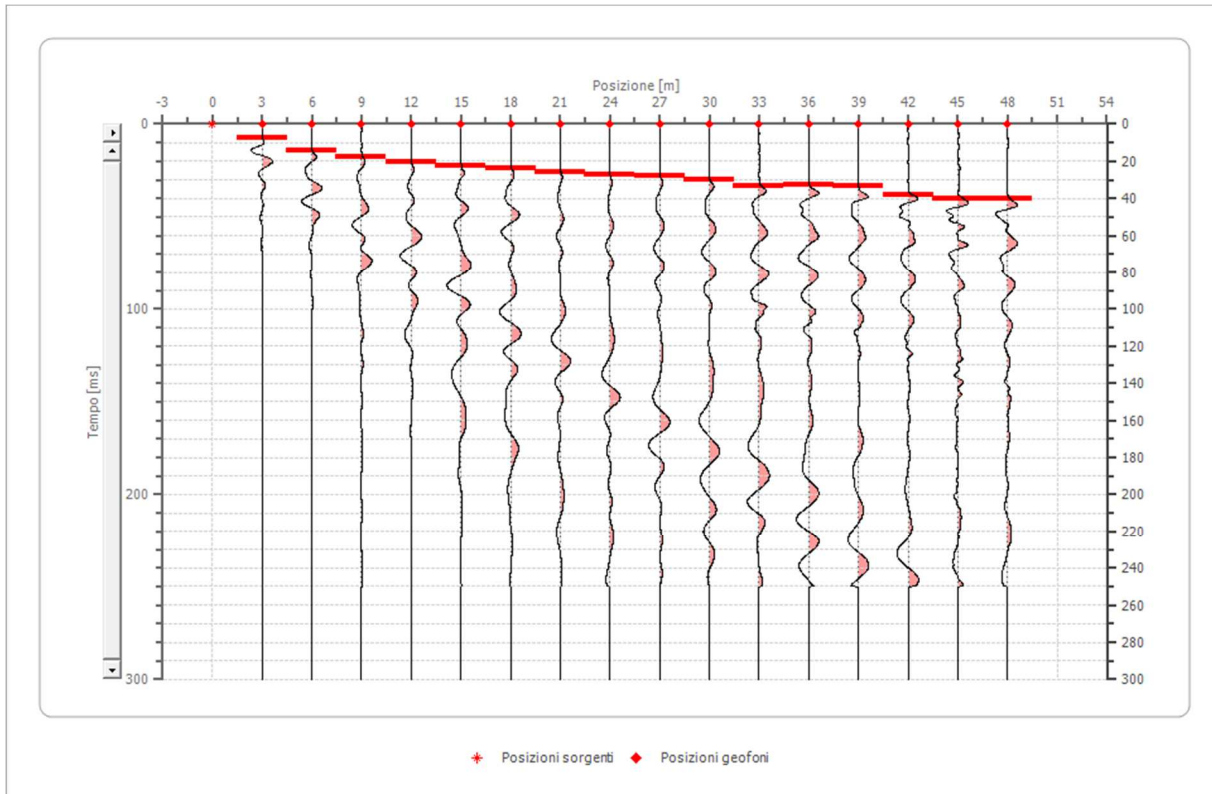
| | Posizione X [m] | Posizione Z [m] |
|----|---------------------------|---------------------------|
| 1 | 3.0 | 0.0 |
| 2 | 6.0 | 0.0 |
| 3 | 9.0 | 0.0 |
| 4 | 12.0 | 0.0 |
| 5 | 15.0 | 0.0 |
| 6 | 18.0 | 0.0 |
| 7 | 21.0 | 0.0 |
| 8 | 24.0 | 0.0 |
| 9 | 27.0 | 0.0 |
| 10 | 30.0 | 0.0 |
| 11 | 33.0 | 0.0 |
| 12 | 36.0 | 0.0 |
| 13 | 39.0 | 0.0 |
| 14 | 42.0 | 0.0 |
| 15 | 45.0 | 0.0 |
| 16 | 48.0 | 0.0 |

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]



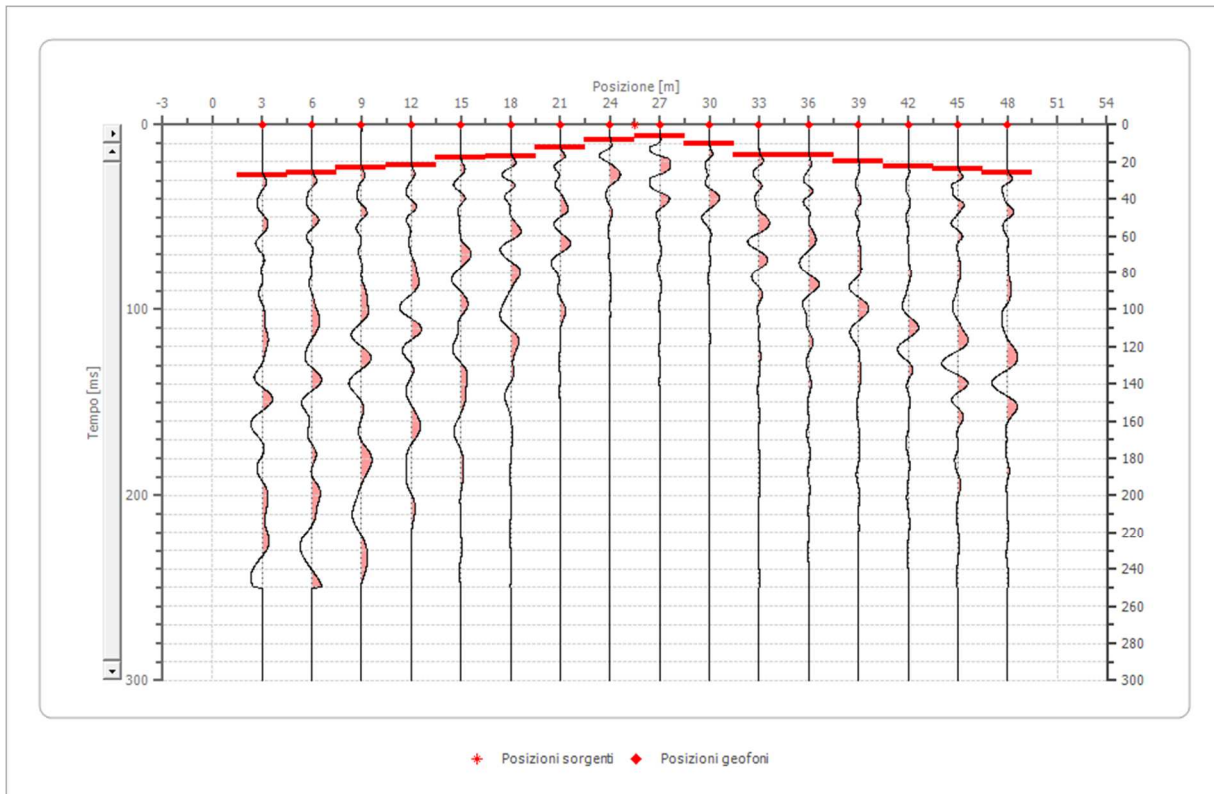
| Posizione geofono [m] | Tempo [ms] |
|--------------------------|---------------|
| 3.0 | 7.4830 |
| 6.0 | 14.2857 |
| 9.0 | 17.6871 |
| 12.0 | 20.4000 |
| 15.0 | 22.4490 |
| 18.0 | 23.8095 |
| 21.0 | 25.8503 |
| 24.0 | 27.0000 |
| 27.0 | 27.6000 |
| 30.0 | 29.9320 |
| 33.0 | 33.3333 |
| 36.0 | 32.6531 |
| 39.0 | 33.0000 |

| | |
|------|---------|
| 42.0 | 38.0952 |
| 45.0 | 40.1361 |
| 48.0 | 40.1361 |

Battuta 2

Posizione sorgente X 26 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]



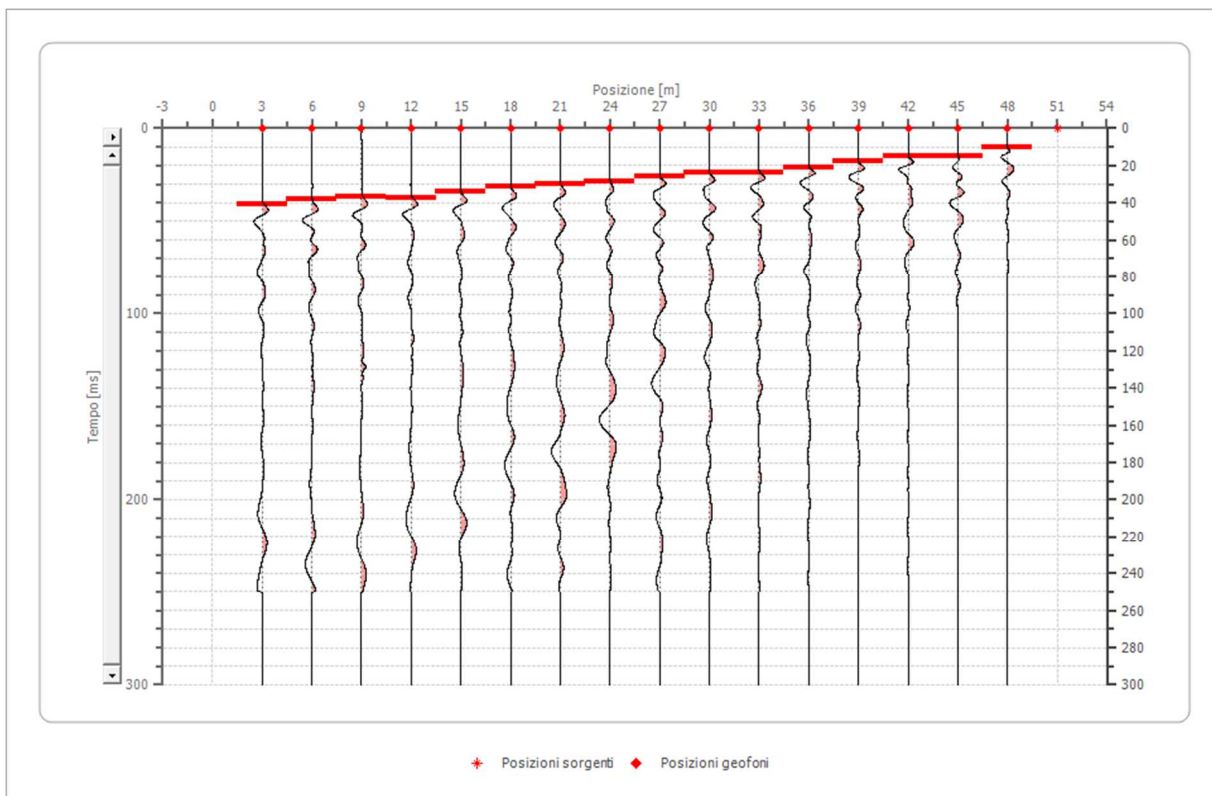
| Posizione geofono [m] | Tempo [ms] |
|--------------------------|---------------|
| 3.0 | 27.2109 |
| 6.0 | 26.1643 |
| 9.0 | 23.0246 |
| 12.0 | 21.9780 |
| 15.0 | 17.7917 |
| 18.0 | 16.7452 |
| 21.0 | 12.0356 |
| 24.0 | 7.8493 |
| 27.0 | 6.2794 |
| 30.0 | 10.4657 |
| 33.0 | 16.2219 |

| | |
|------|---------|
| 36.0 | 16.2219 |
| 39.0 | 20.0000 |
| 42.0 | 22.5013 |
| 45.0 | 23.5479 |
| 48.0 | 25.6410 |

Battuta 3

Posizione sorgente X 51 [m]

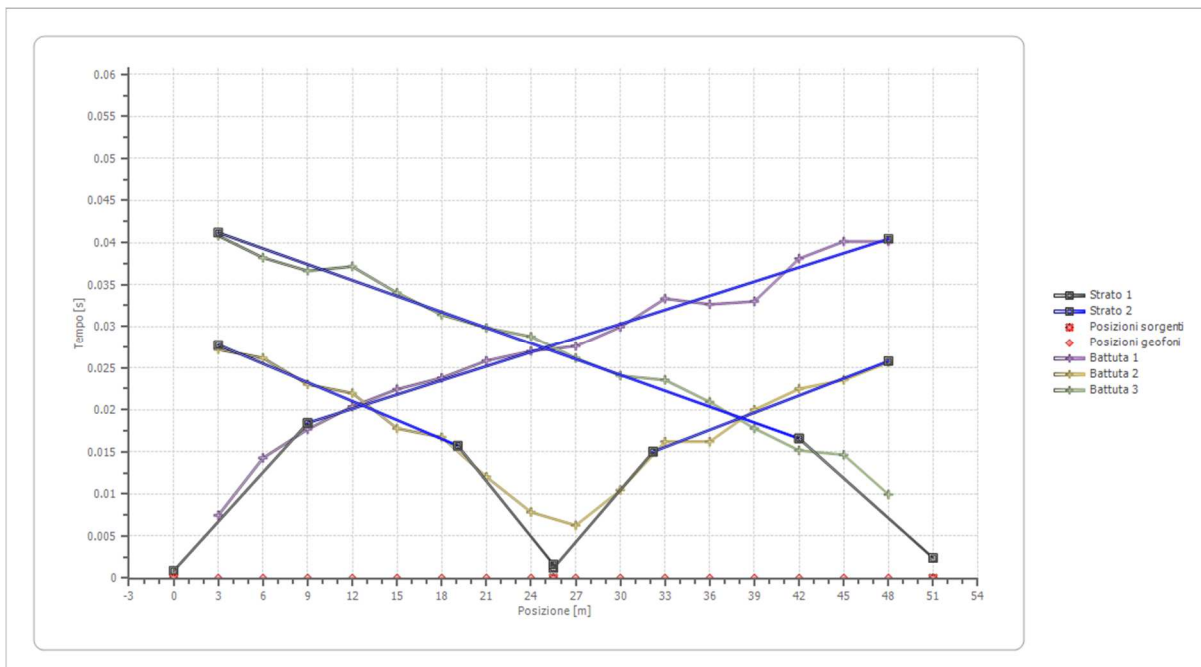
Posizione sorgente Z 0 [m]



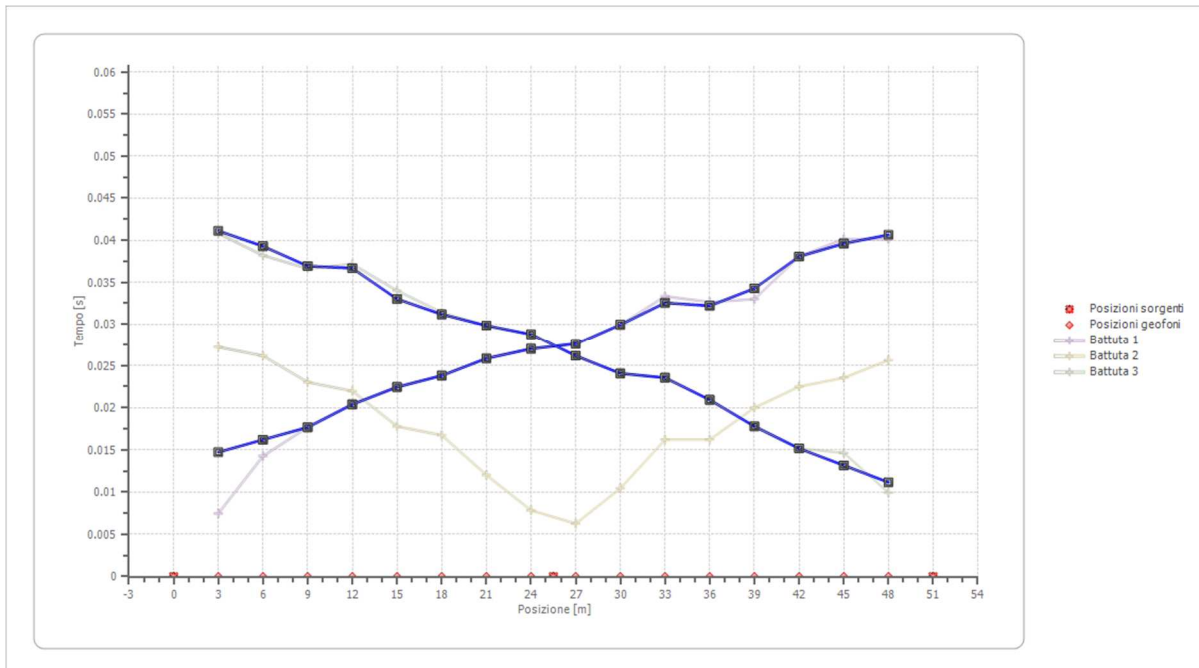
| Posizione geofono [m] | Tempo [ms] |
|--------------------------|---------------|
| 3.0 | 40.8163 |
| 6.0 | 38.1999 |
| 9.0 | 36.6300 |
| 12.0 | 37.1533 |
| 15.0 | 34.0136 |
| 18.0 | 31.3972 |
| 21.0 | 29.8273 |
| 24.0 | 28.7807 |

| | |
|------|---------|
| 27.0 | 26.1643 |
| 30.0 | 24.0712 |
| 33.0 | 23.5479 |
| 36.0 | 20.9315 |
| 39.0 | 17.7917 |
| 42.0 | 15.1753 |
| 45.0 | 14.6520 |
| 48.0 | 9.9424 |

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

XY: 3

| | Strato n. 1 | Strato n. 2 |
|------------------|-------------|-------------|
| G= 4.5 [m] | 3.3 | 3.3 |
| G= 7.5 [m] | 3.2 | 3.2 |
| G= 10.5 [m] | 3.3 | 3.3 |
| G= 13.5 [m] | 3.7 | 4.4 |
| G= 16.5 [m] | 3.1 | 5.7 |
| G= 19.5 [m] | 3.2 | 3.5 |
| G= 22.5 [m] | 3.1 | 4.6 |
| G= 25.5 [m] | 3.0 | 5.3 |
| G= 28.5 [m] | 3.0 | 4.0 |
| G= 31.5 [m] | 3.1 | 5.0 |
| G= 34.5 [m] | 2.9 | 8.3 |
| G= 37.5 [m] | 2.7 | 8.4 |
| G= 40.5 [m] | 2.9 | 6.6 |
| G= 43.5 [m] | 2.6 | 9.7 |
| G= 46.5 [m] | 2.4 | 9.2 |
| Velocità [m/sec] | 488.9 | 1638.9 |
| Descrizione | | |

Altri parametri geotecnici

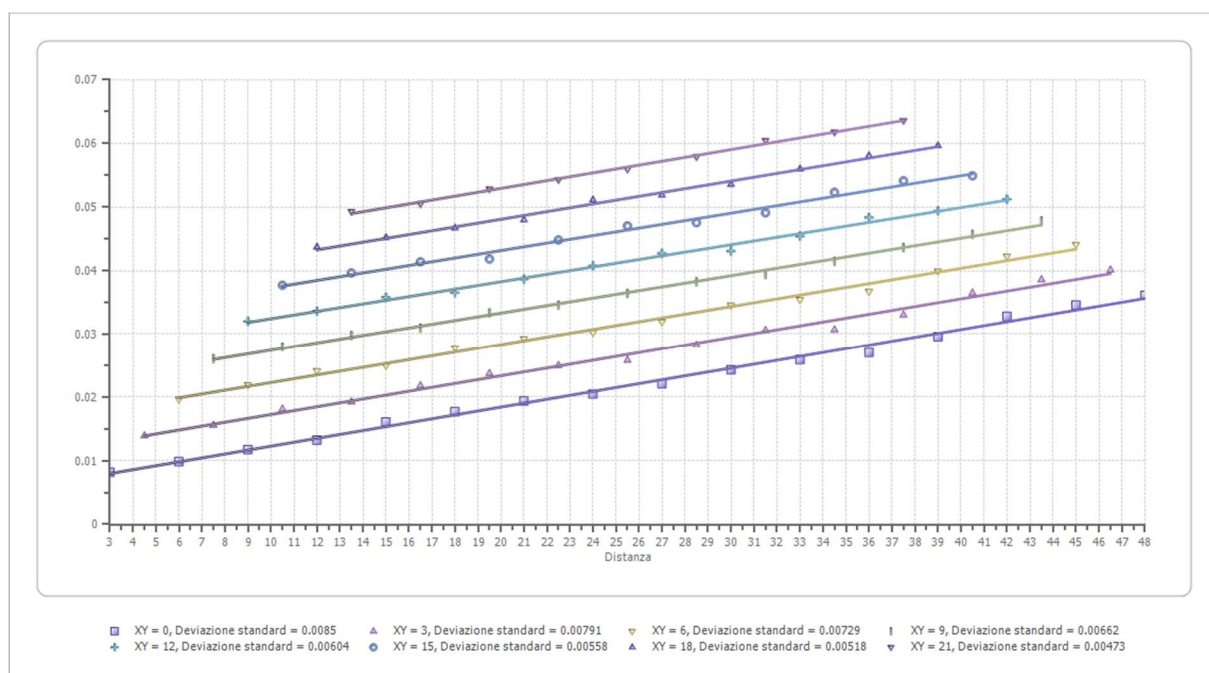
| | Strato n. 1 | Strato n. 2 |
|------------------------------|-------------|-------------|
| Coefficiente Poisson | 0.35 | 0.35 |
| Densità [kg/m ³] | 1700.00 | 1800.00 |
| Vp [m/s] | 488.92 | 1638.92 |
| Vs [m/s] | 234.87 | 787.31 |
| G0 [MPa] | 93.78 | 1115.74 |
| Ed [Mpa] | 406.37 | 4834.88 |
| M0 [MPa] | 312.59 | 3719.14 |
| Ey [Mpa] | 253.20 | 3012.50 |

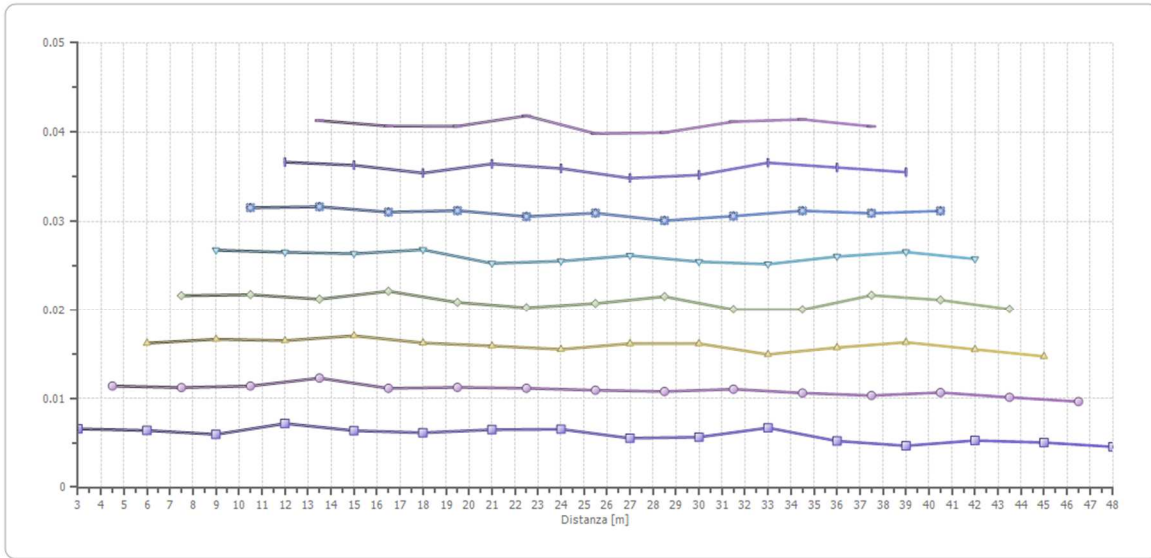
G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

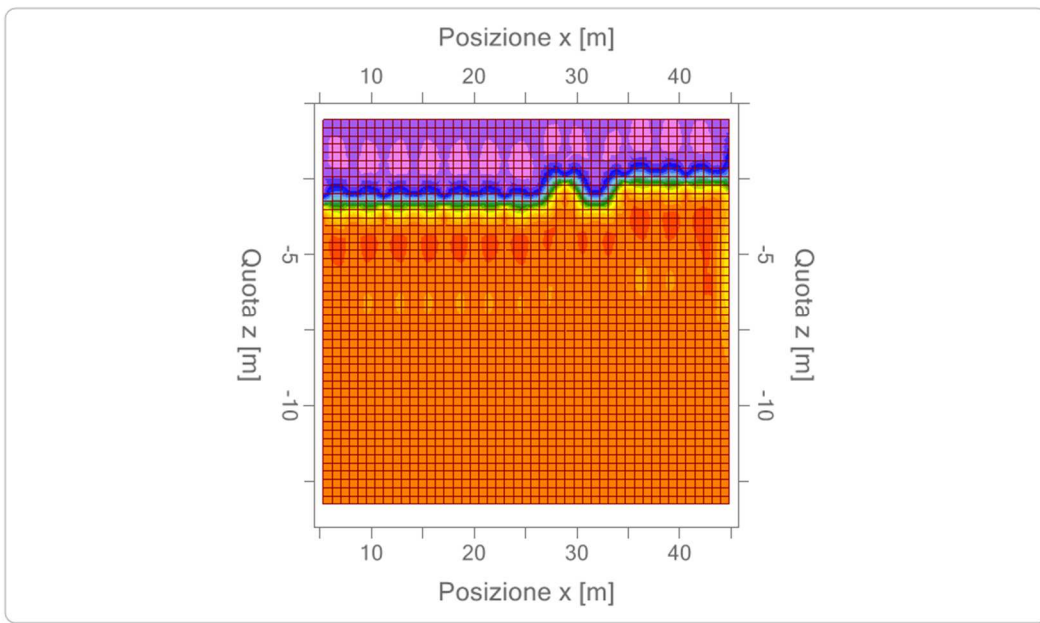
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;





XY = 0, Rugosità = 0.000665 XY = 3, Rugosità = 0.000459 XY = 6, Rugosità = 0.000502 XY = 9, Rugosità = 0.000616
 XY = 12, Rugosità = 0.000492 XY = 15, Rugosità = 0.000339 XY = 18, Rugosità = 0.000517 XY = 21, Rugosità = 0.000533



Vp [m/s]

| |
|---------|
| 1768.74 |
| 1695.38 |
| 1622.01 |
| 1548.64 |
| 1475.27 |
| 1401.9 |
| 1328.53 |
| 1255.17 |
| 1181.8 |
| 1108.43 |
| 1035.06 |
| 961.69 |
| 888.32 |
| 814.96 |
| 741.59 |
| 668.22 |
| 594.85 |
| 521.48 |
| 448.12 |
| 374.75 |

4.5 PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE RZ5

Il modello di terreno ricavato dal processo di elaborazione della sismica a rifrazione RZ5 ha messo in evidenza la presenza, nei primi 12-14 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 con un leggero assottigliamento degli spessori verso l'inizio dello. In definitiva sono stati quindi individuati n°2 sismostrati caratterizzati da velocità delle onde sismiche V_p sensibilmente differenti (Fig. 4.5.1).

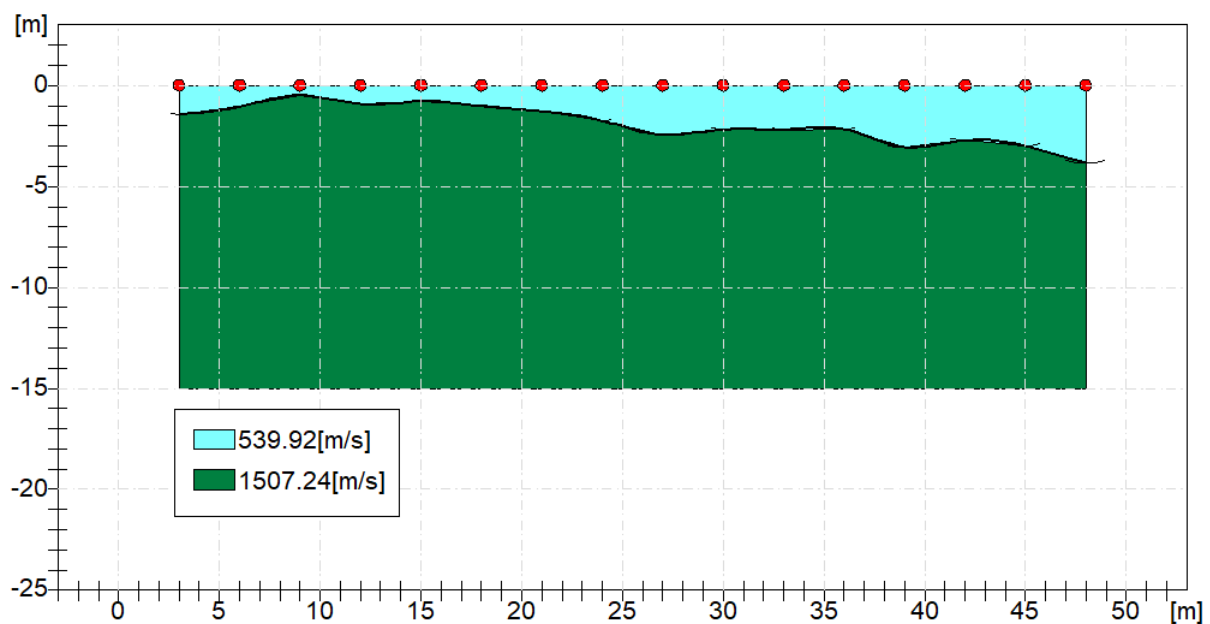


Fig. 4.5.1: Sismostratigrafia desunta dall'indagine RZ5.

Il primo sismostrato è caratterizzato da velocità delle onde di compressione V_p nell'ordine di 539,92 m/s, indicativo di un livello poco addensato tipico di un terreno alluvionali caratterizzato dalla presenza di ghiaia e blocchi eterometrici ed eterolitici di varie forme e dimensioni. Lo spessore è variabile ed è valutabile mediamente nell'ordine di 1.0-3 metri. Il secondo sismostrato è caratterizzato da una velocità V_p dell'ordine di 1507,24 m/s, valore compatibile con i depositi argillo-sabbiosi e marnosi, mediamente plastici e umidi a consistenza media. Lo spessore risulta comunque indefinito.

Dal punto di vista sismo-stratigrafico è possibile ipotizzare una correlazione fra la sismo-stratigrafia e la litostratigrafia, occorre comunque rilevare che quasi mai un sismostrato corrisponde perfettamente con un litostrato. Tale ipotesi è inclusa nella sintesi dei risultati riportata di seguito (Tab.4.5.1):

Tabella 4.5.1 – Sintesi dei risultati dell'indagine sismica Rz5.

| SINTESI DEI RISULTATI | | | |
|------------------------------|---------------------------------|----------------------|---|
| SISMOSTRATO | PROFONDITA' (m dal p.c.) | V_s | CORRELAZIONI GEO-LITOLOGICHE |
| 1 | Da 0 a 1-3 | 259.37 | Terreno alluvionali caratterizzato dalla presenza di ghiaia e blocchi eterometrici ed eterolitici di varie forme e dimensioni |
| 2 | Da 1-3 a 10-14 | 724.06 | Terreni argillo-sabbiosi e marnosi, mediamente plastici e umidi a consistenza media |

ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE Rz5

Geometria geofoni

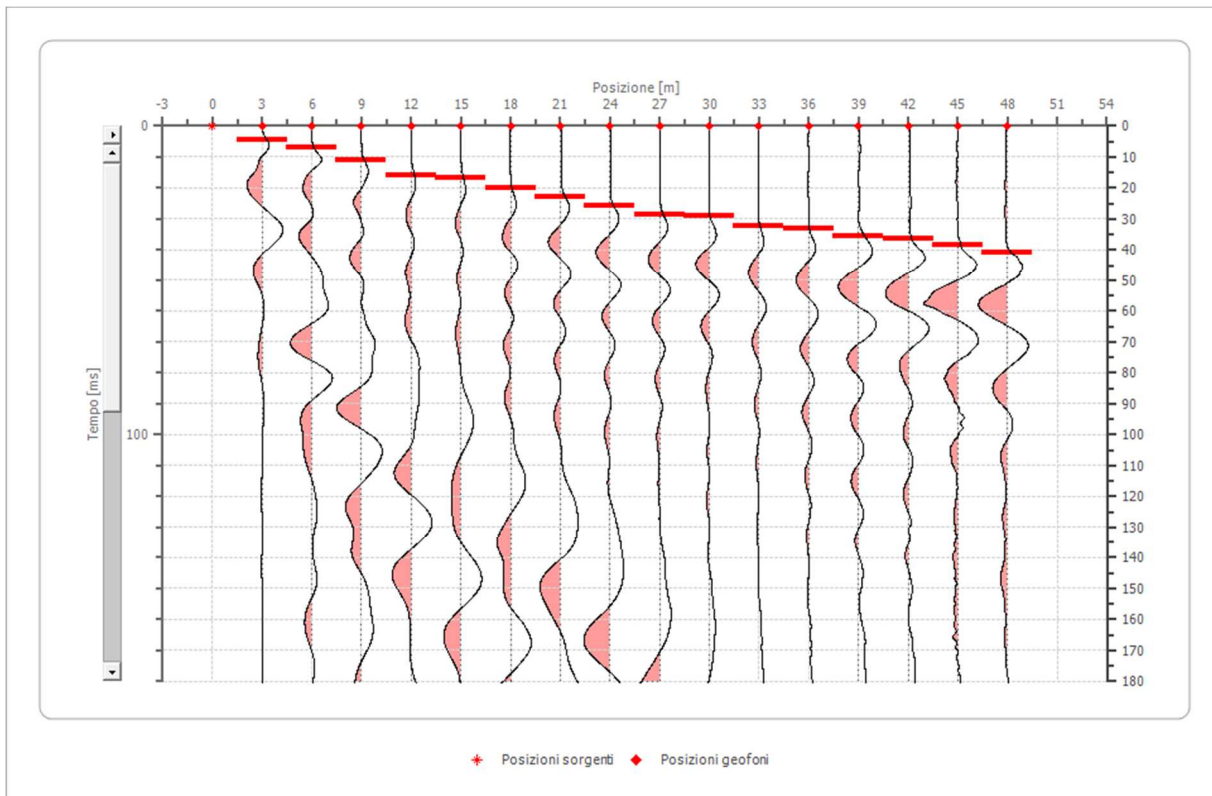
| | Posizione X [m] | Posizione Z [m] |
|----|----------------------------|----------------------------|
| 1 | 3.0 | 0.0 |
| 2 | 6.0 | 0.0 |
| 3 | 9.0 | 0.0 |
| 4 | 12.0 | 0.0 |
| 5 | 15.0 | 0.0 |
| 6 | 18.0 | 0.0 |
| 7 | 21.0 | 0.0 |
| 8 | 24.0 | 0.0 |
| 9 | 27.0 | 0.0 |
| 10 | 30.0 | 0.0 |
| 11 | 33.0 | 0.0 |
| 12 | 36.0 | 0.0 |
| 13 | 39.0 | 0.0 |
| 14 | 42.0 | 0.0 |
| 15 | 45.0 | 0.0 |
| 16 | 48.0 | 0.0 |

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]

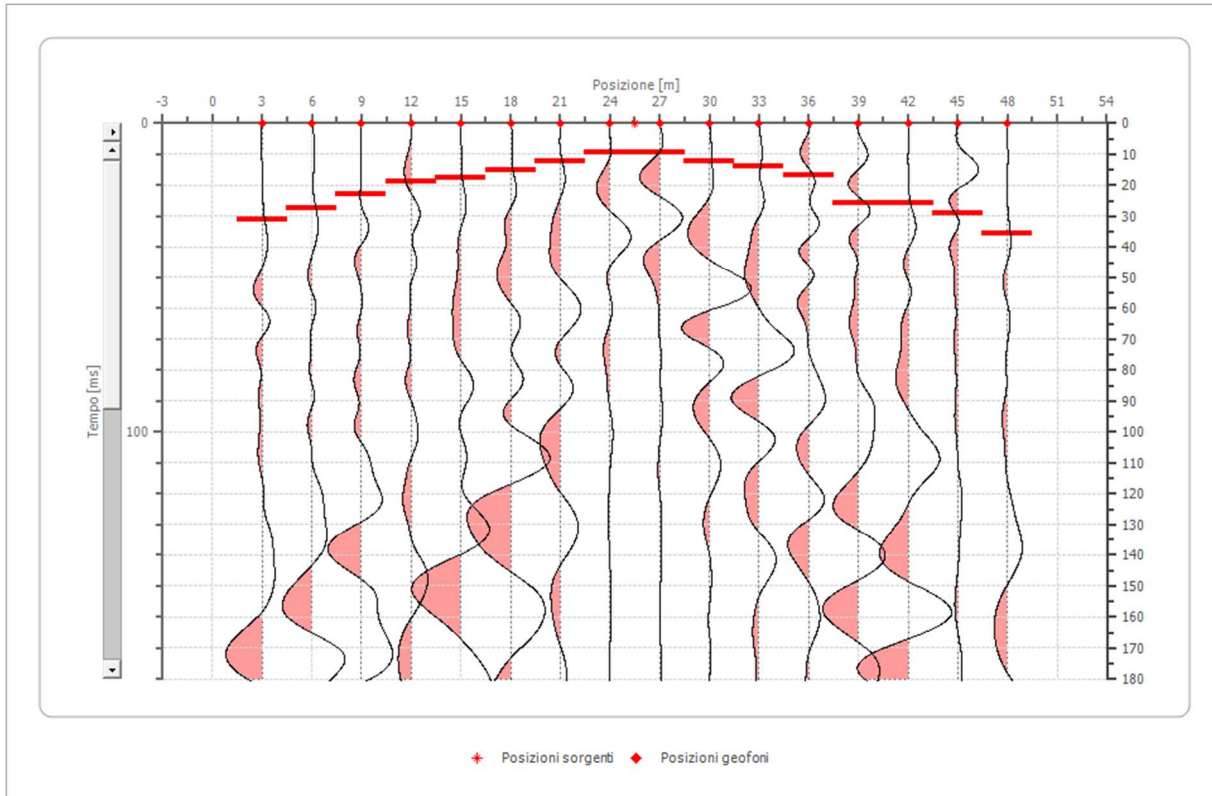
Posizione sorgente Z 0 [m]



| Posizione geofono [m] | Tempo [ms] |
|--------------------------|---------------|
| 3.0 | 4.6647 |
| 6.0 | 6.9971 |
| 9.0 | 11.0787 |
| 12.0 | 15.7434 |
| 15.0 | 16.9096 |
| 18.0 | 20.0000 |
| 21.0 | 22.7405 |
| 24.0 | 25.6560 |
| 27.0 | 28.5714 |
| 30.0 | 28.8000 |
| 33.0 | 32.2000 |
| 36.0 | 33.0000 |
| 39.0 | 35.5685 |
| 42.0 | 36.4000 |
| 45.0 | 38.2000 |
| 48.0 | 41.0000 |

Battuta 2

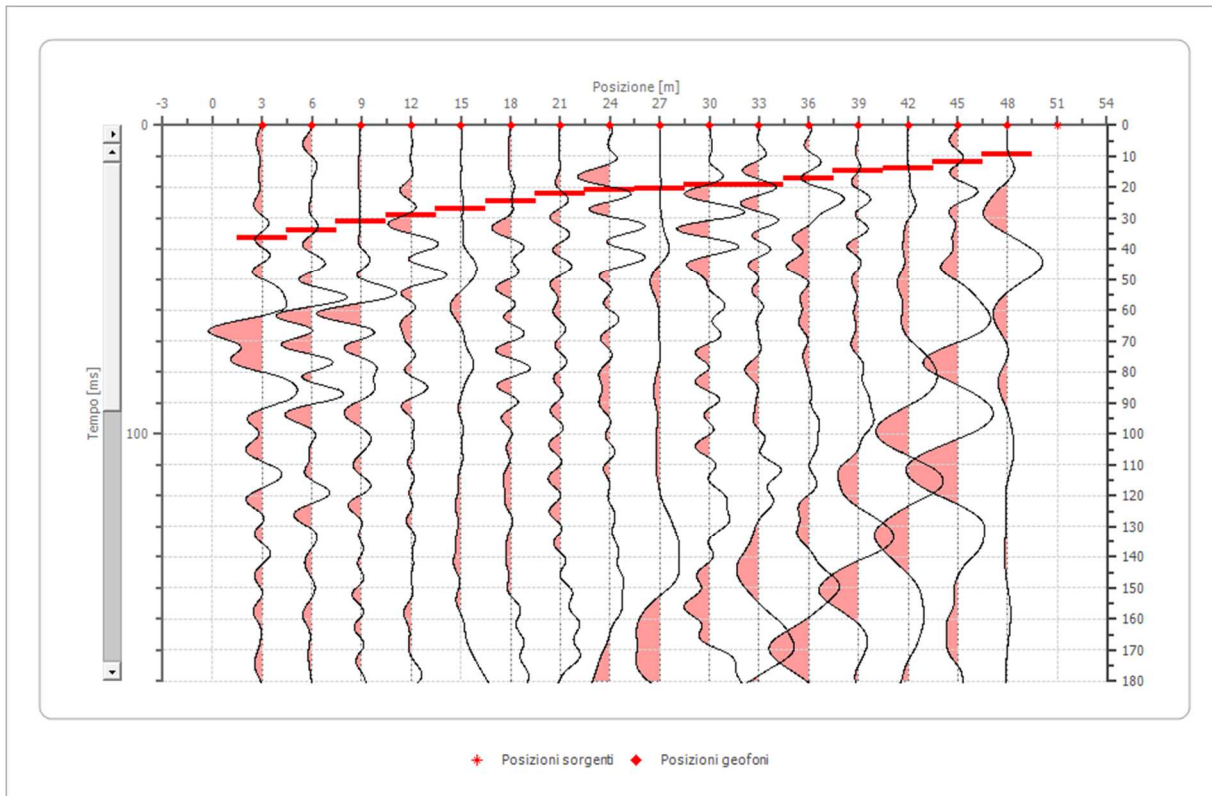
Posizione sorgente X 26 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



| Posizione geofono [m] | Tempo [ms] |
|--------------------------|---------------|
| 3.0 | 31.0204 |
| 6.0 | 27.4052 |
| 9.0 | 22.8571 |
| 12.0 | 18.6589 |
| 15.0 | 17.4927 |
| 18.0 | 15.1604 |
| 21.0 | 12.2449 |
| 24.0 | 9.3294 |
| 27.0 | 9.3294 |
| 30.0 | 12.2449 |
| 33.0 | 13.9942 |
| 36.0 | 16.9096 |
| 39.0 | 25.6560 |
| 42.0 | 25.6560 |
| 45.0 | 29.1545 |
| 48.0 | 35.5685 |

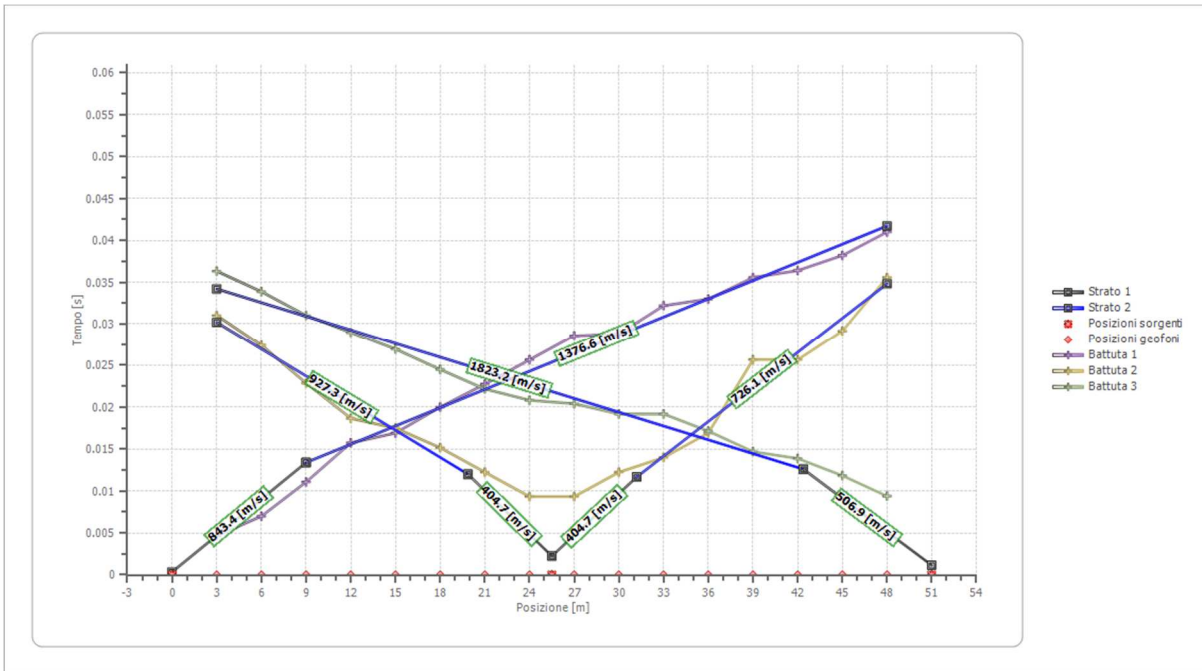
Battuta 3

Posizione sorgente X 51 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

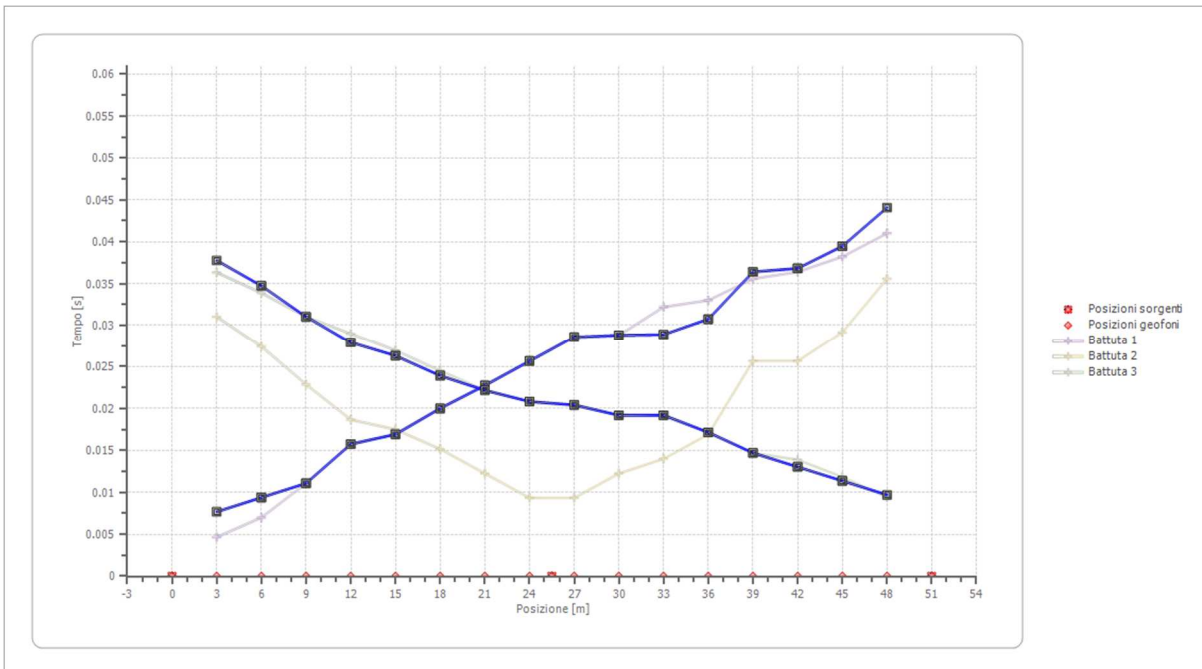


| Posizione geofono [m] | Tempo [ms] |
|-----------------------|------------|
| 3.0 | 36.3265 |
| 6.0 | 33.8776 |
| 9.0 | 31.0204 |
| 12.0 | 28.9796 |
| 15.0 | 26.9388 |
| 18.0 | 24.4898 |
| 21.0 | 22.1574 |
| 24.0 | 20.8163 |
| 27.0 | 20.4082 |
| 30.0 | 19.1837 |
| 33.0 | 19.1837 |
| 36.0 | 17.1429 |
| 39.0 | 14.6939 |
| 42.0 | 13.8776 |
| 45.0 | 11.8367 |
| 48.0 | 9.3878 |

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.R.M.

XY: 0

| | Strato n. 1 | Strato n. 2 |
|------------------|-------------|-------------|
| G= 3.0 [m] | 1.4 | -- |
| G= 6.0 [m] | 1.0 | -- |
| G= 9.0 [m] | 0.5 | -- |
| G= 12.0 [m] | 0.9 | -- |
| G= 15.0 [m] | 0.8 | -- |
| G= 18.0 [m] | 1.0 | -- |
| G= 21.0 [m] | 1.3 | -- |
| G= 24.0 [m] | 1.7 | -- |
| G= 27.0 [m] | 2.5 | -- |
| G= 30.0 [m] | 2.2 | -- |
| G= 33.0 [m] | 2.2 | -- |
| G= 36.0 [m] | 2.1 | -- |
| G= 39.0 [m] | 3.1 | -- |
| G= 42.0 [m] | 2.7 | -- |
| G= 45.0 [m] | 3.0 | -- |
| G= 48.0 [m] | 3.8 | -- |
| Velocità [m/sec] | 539.9 | 1507.2 |
| Descrizione | | |

Altri parametri geotecnici

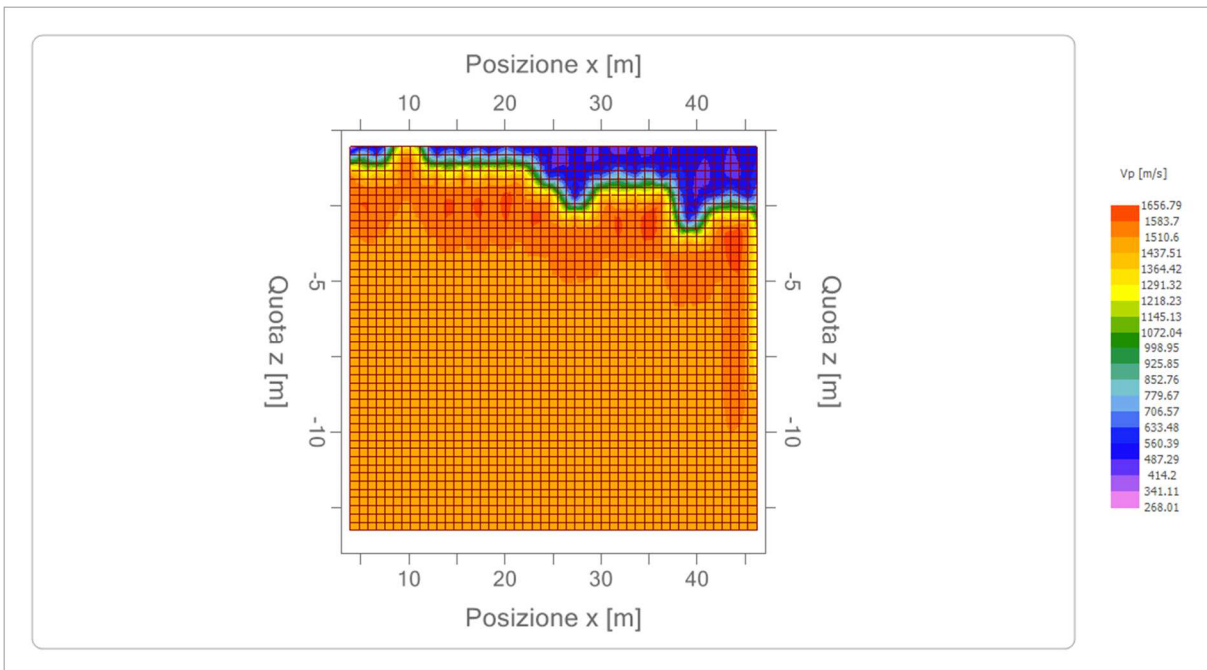
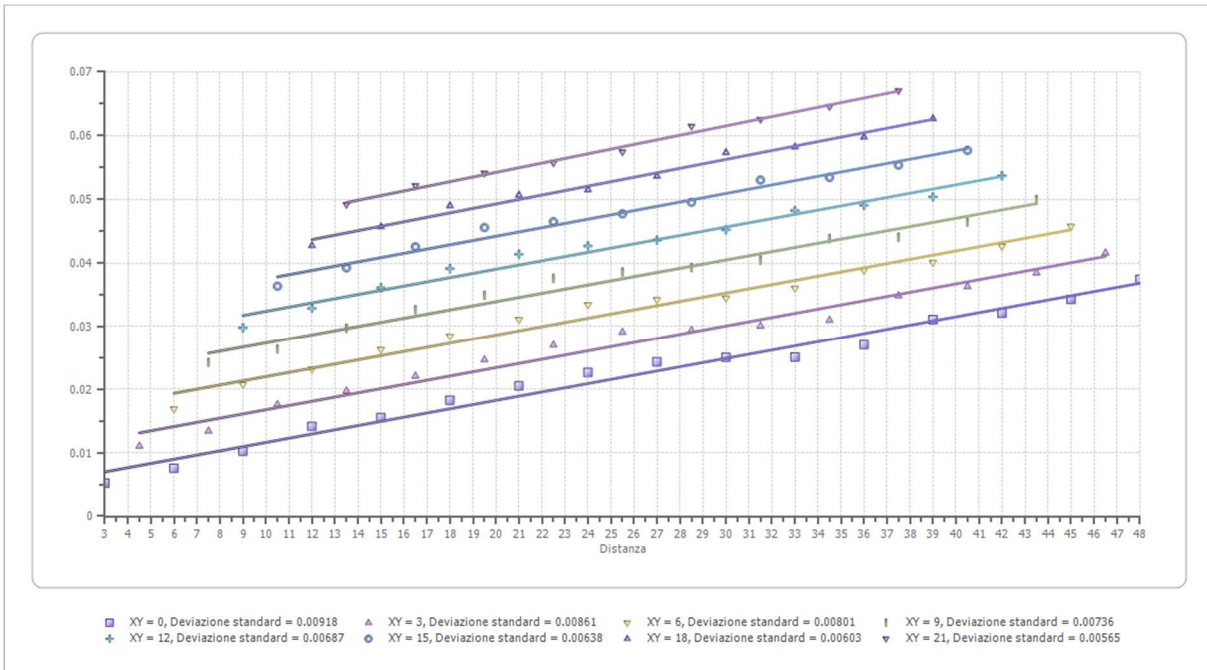
| | Strato n. 1 | Strato n. 2 |
|------------------------------|-------------|-------------|
| Coefficiente Poisson | 0.35 | 0.35 |
| Densità [kg/m ³] | 1800.00 | 1800.00 |
| Vp [m/s] | 539.92 | 1507.24 |
| Vs [m/s] | 259.37 | 724.06 |
| G0 [MPa] | 121.09 | 943.66 |
| Ed [Mpa] | 524.72 | 4089.20 |
| M0 [MPa] | 403.63 | 3145.54 |
| Ey [Mpa] | 326.94 | 2547.89 |

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



5. INDAGINE DI SISMICA MASW

Nell'interpretazione della curva di dispersione delle onde di superficie di tipo Rayleigh, valutata tra 3 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 3 sismostrati. **I risultati delle inversioni hanno fornito valori di categoria suolo fondazione di tipo C per il sito in progetto.**

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.

Lo studio sugli effetti di sito è un aspetto fondamentale nella valutazione e mitigazione del rischio sismico. Tale studio si effettua in termini di risposta sismica locale, partendo dal concetto di amplificazione del moto sismico che si origina dal basamento roccioso (definito bedrock sismico) e che si propaga all'interno di un deposito sino a raggiungere la superficie. Valutare questi effetti non è sempre del tutto facile anche perché, in molti casi, l'amplificazione è dovuta ai cosiddetti fenomeni di risonanza nei terreni stratificati posti al di sopra del bedrock, di riflessione e rifrazione delle onde sismiche nelle interfacce di discontinuità e tra mezzi a diversa densità, dove le onde vengono per così dire "intrappolate" e successivamente trasmesse allo strato più superficiale generando così onde di tipo Love e di Rayleigh. A questi, poi, si aggiunge l'effetto di focalizzazione del raggio sismico nelle zone morfologicamente più acclive. Sul territorio italiano la valutazione degli effetti della risposta sismica locale viene fatta sulla base delle vigenti norme tecniche per le costruzioni pubblicate in GU n.42 del 20/02/2018 - Suppl. Ordinario n. 8. In particolare per situazioni riconducibili alle categorie definite in Tab. 3.2.11 di cui al § 3.2.2 si può fare riferimento ad un approccio semplificato basato sui valori di velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s , che costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo di cui al § 6.2.2. In tal caso si calcola la velocità equivalente con la seguente espressione:

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

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_{Seq} è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H = 30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

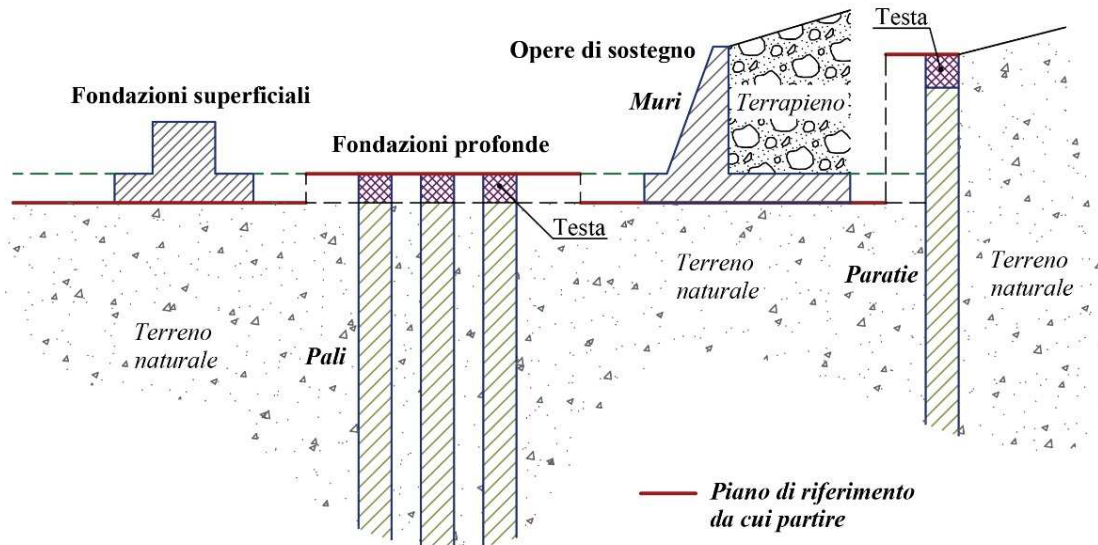


Figura 5.1.1: Schemi di riferimento richiamati al § 3.2.2 delle NTC 2018.

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

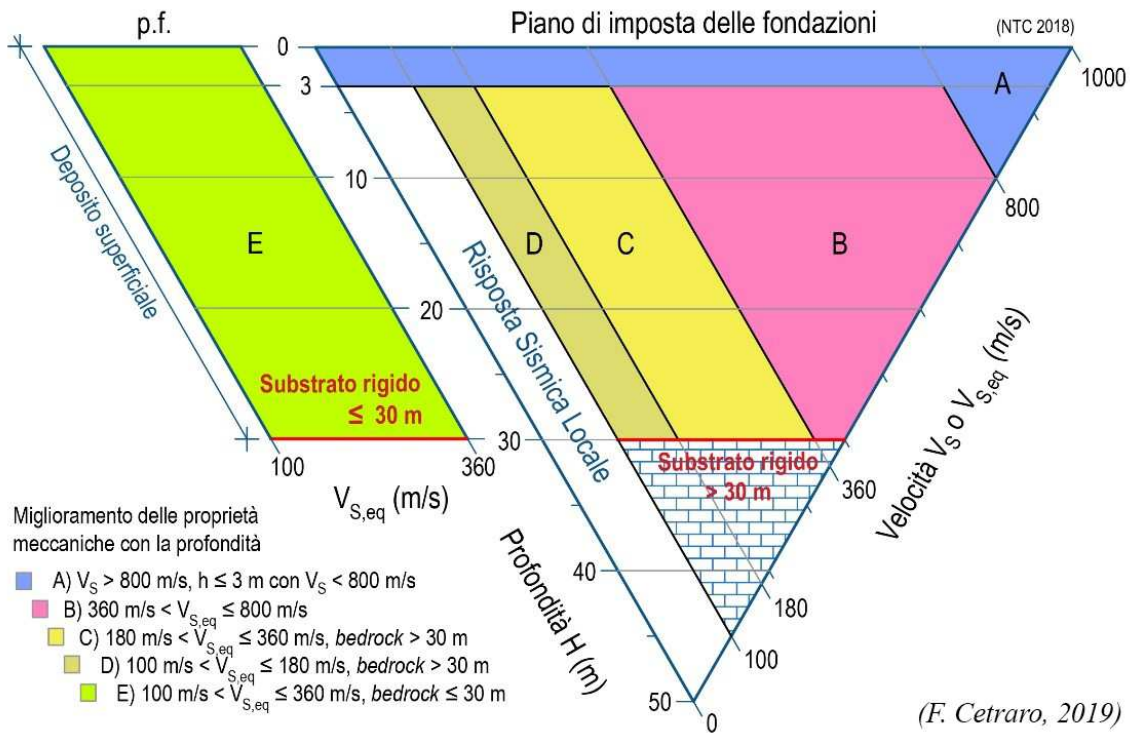


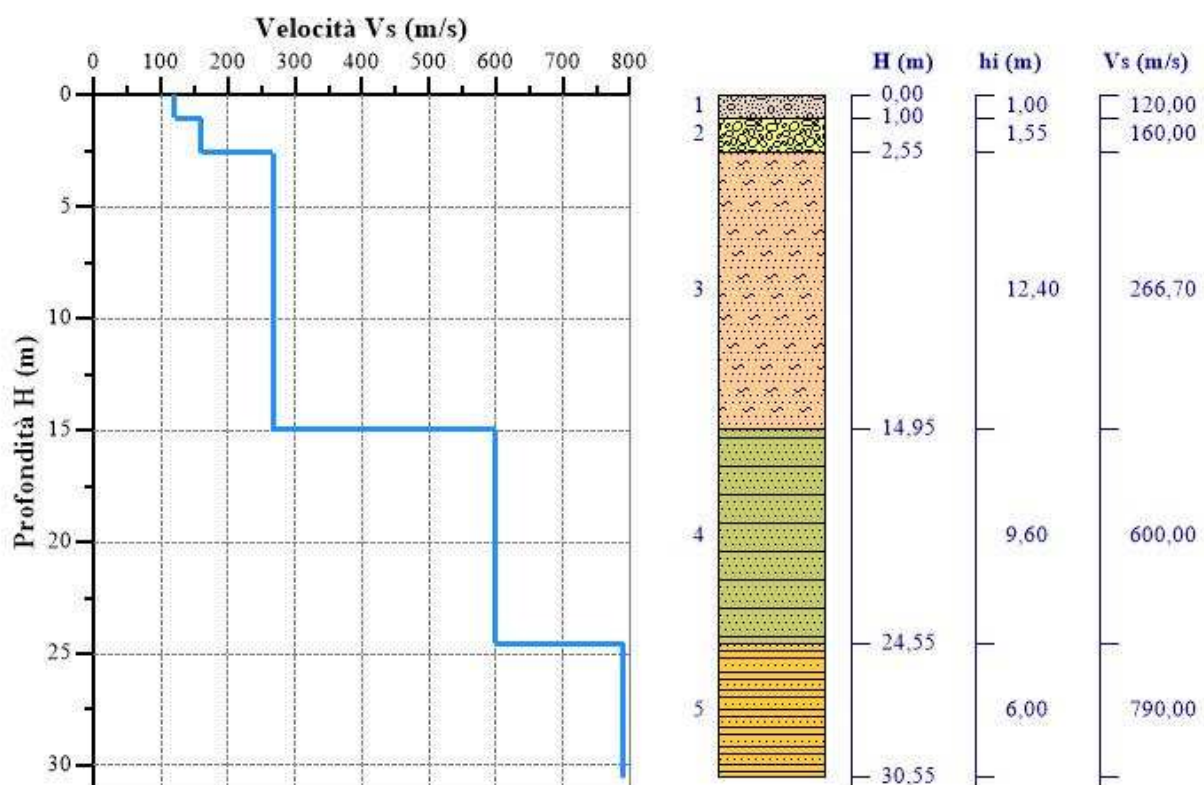
Figura 5.1.2: Diagramma categorie di sottosuolo secondo i riferimenti del § 3.2.2 delle NTC 2018.

5.1 RISULTATI DEL CALCOLO

In corrispondenza dell'area in progetto sono state eseguite n°2 indagini di sismica masw identificata con le sigle Mw1-Mw2 (**vedi Relazione Sismica**). Il modello interpretativo ha permesso pertanto di ottenere la seguente sismo-stratigrafia con i relativi valori di velocità delle onde S:

Tabella 5.1.1: Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo Masw1 (§ 3.2.2 alle NTC 2018).

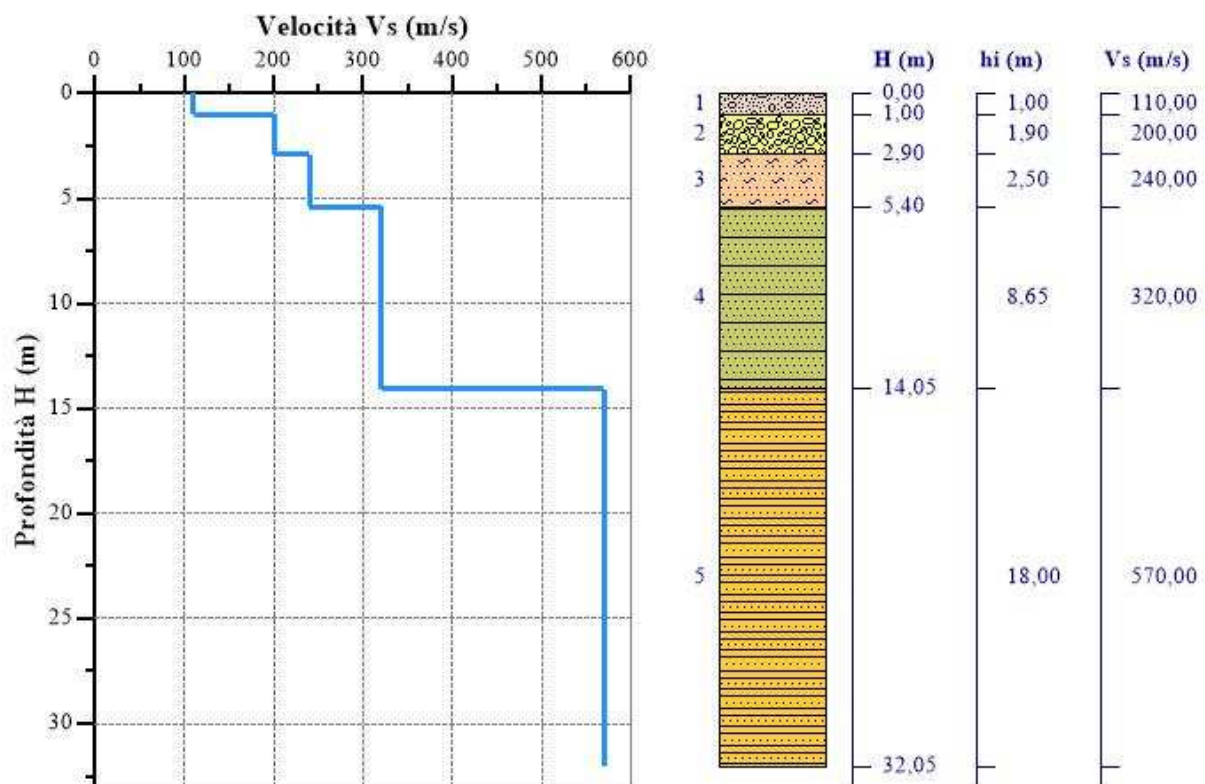
| n. | Profondità [m] | Spessore [m] | Peso unità volume [kg/mc] | Coefficiente Poisson | Falda | Vp [m/sec] | Vs [m/sec] |
|----|----------------|--------------|---------------------------|----------------------|-------|------------|------------|
| 1 | 1.00 | 1.00 | 1700.0 | 0.30 | No | 224.5 | 120.0 |
| 2 | 2.55 | 1.55 | 1800.0 | 0.30 | No | 299.3 | 160.0 |
| 3 | 14.95 | 12.40 | 1800.0 | 0.30 | No | 498.9 | 266.7 |
| 4 | 24.55 | 9.60 | 1800.0 | 0.30 | No | 1122.5 | 600.0 |
| 5 | ∞ | ∞ | 1900.0 | 0.30 | No | 1478.0 | 790.0 |



Per la determinazione della Categoria del sottosuolo in applicazione delle NTC/2018 (§ 3.2.2), sulla base del valore ricavato, $V_{S,eq} = 343.17\text{m/s}$, unitamente a valutazioni circa la stratigrafia e l'andamento del valore delle Vs, il sottosuolo in esame risulta classificabile come sottosuolo di tipo C e Categoria topografica T1.

Tabella 5.1.2: Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo Masw2 (§ 3.2.2 alle NTC 2018).

| n. | Profondità [m] | Spessore [m] | Peso unità volume [kg/mc] | Coefficient e Poisson | Falda | Vp [m/sec] | Vs [m/sec] |
|----|-------------------|-----------------|---------------------------------|--------------------------|-------|---------------|---------------|
| 1 | 1.00 | 1.00 | 1700.0 | 0.32 | No | 213.8 | 110.0 |
| 2 | 2.90 | 1.90 | 1800.0 | 0.32 | No | 388.7 | 200.0 |
| 3 | 5.40 | 2.50 | 1800.0 | 0.30 | No | 449.0 | 240.0 |
| 4 | 14.05 | 8.65 | 1800.0 | 0.30 | No | 598.7 | 320.0 |
| 5 | ∞ | ∞ | 1900.0 | 0.30 | No | 1066.4 | 570.0 |



Per la determinazione della Categoria del sottosuolo in applicazione delle NTC/2018 (§ 3.2.2), sulla base del valore ricavato, $V_{S_{eq}} = 357.07 \text{ m/s}$, unitamente a valutazioni circa la stratigrafia e l'andamento del valore delle Vs, il sottosuolo in esame risulta classificabile come sottosuolo di tipo C 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 12 – 14 metri sia sulle velocità delle onde sismiche di compressione e di taglio.

Sulla base delle elaborazioni effettuate sono stati individuati n°2 sismostrati interfacciati da una superficie di discontinuità con aspetto lievemente ondulato e andamento sub-parallelo rispetto alla traccia sulla superficie topografica. In particolare le indagini Rz1 e Rz2 e Rz5 hanno messo in evidenza un orizzonte rifrattore posto ad una profondità di circa 6-8 metri che separa i più superficiali depositi alluvionali dai sottostanti depositi argillo-marnosi e sabbiosi. Le indagini Rz3 e Rz4 invece testimoniano la presenza di un orizzonte rifrattore più superficiale rinvenuto ad una profondità media di circa 3 metri ed è riconducibile alla porzione alterata dei depositi a componente argillosa.

L'indagine sismica Mw1-Mw2 eseguite, hanno consentito, inoltre, di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde di taglio al fine di valutare il valore del parametro **VS,eq** e quindi stabilire la categoria di appartenenza del sottosuolo come da D.M. 17/01/2018.

Sulla base dei valori ricavati, **VS,eq = 343.17m/s** (Mw1) e **VS,eq = 357.07m/s** (Mw2), unitamente a valutazioni circa la stratigrafia e l'andamento del valore delle Vs, il sottosuolo in esame risulta classificabile come **sottosuolo di tipo C** ovvero *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalenti compresi tra 180 m/s e 360 m/s”* (D.M. 17/01/2018).

Palermo, Giugno 2021

Il Tecnico Redattore

Geol. Michele Ognibene



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

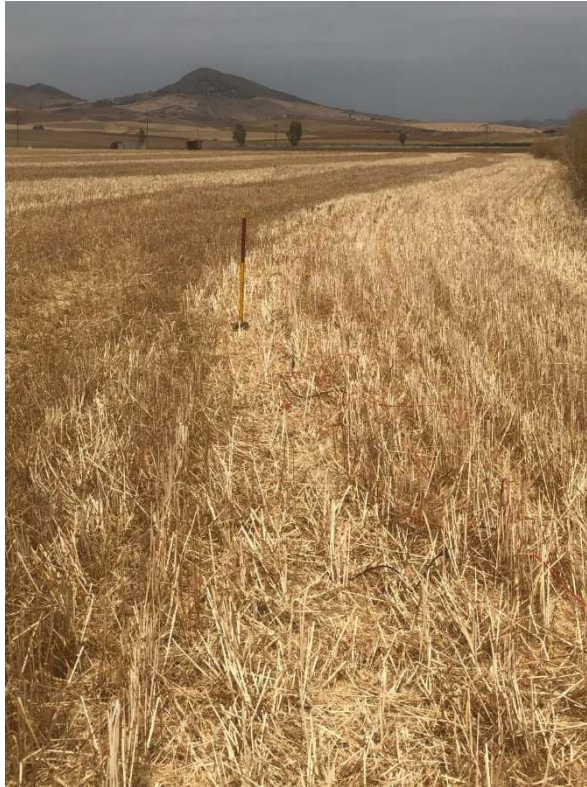


Foto Stendimento di sismica a rifrazione Rz1.



Foto Stendimento di sismica a rifrazione Rz2.



Foto Stendimento di sismica a rifrazione Rz3.

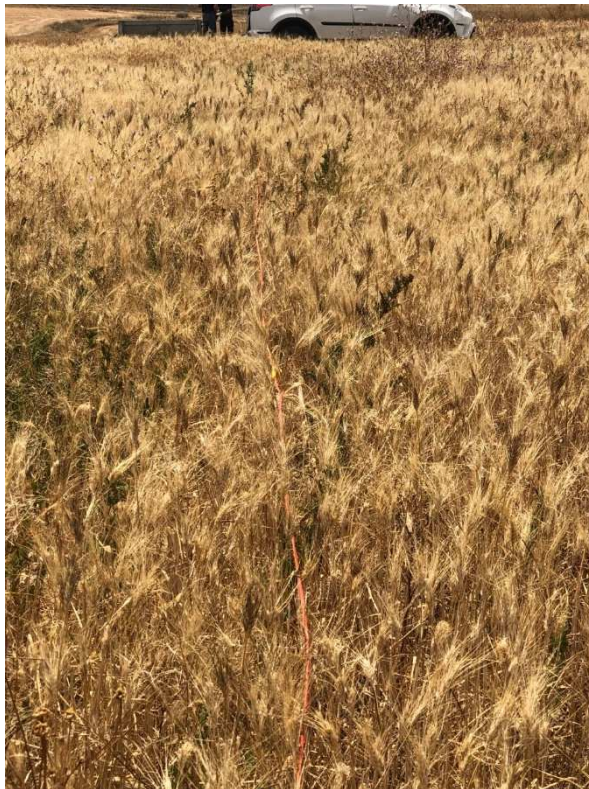


Foto Stendimento di sismica a rifrazione Rz2.



Foto Stendimento di sismica a rifrazione Rz5.



Foto Stendimento di sismica a masw Mw1.

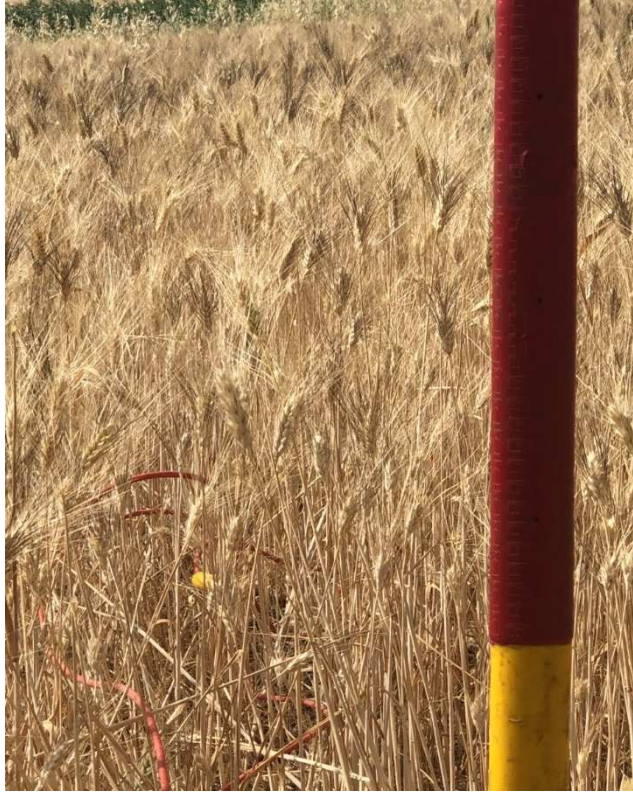


Foto Stendimento di sismica a masw Mw2.