

COMMITTENTE



GRV WIND SARDEGNA 7 S.R.L.
Via Durini, 9 Tel. +39.02.50043159
20122 Milano PEC: grwindsardegna7@legalmail.it

GRV WIND SARDEGNA 7 S.r.l.
Via Durini, 9
20122 Milano (MI)
P. IVA 12038430968

PROGETTISTI



Progettazione e coordinamento:
Ing. Giuseppe Frongia
I.A.T. Consulenza e progetti S.r.l.
Via Giua s.n.c. - Z.I. CACIP
09122 Cagliari (I)
Tel./Fax. +39.070.658297
Email: info@iatprogetti.it
PEC: iat@pec.it



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



PROVINCIA MEDIO CAMPIDANO



COMUNE VILLANOVAFRANCA



COMUNE FURTEI



COMUNE SANLURI



COMUNE VILLAMAR

PROGETTO

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO "SU MURDEGU" COMPOSTO DA 7 AEROGENERATORI DA 6.0 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 42 MW SITO NEL COMUNE DI VILLANOVAFRANCA (VS), CON OPERE DI CONNESSIONE NEI COMUNI DI VILLANOVAFRANCA, VILLAMAR, FURTEI E SANLURI (VS)

ELABORATO

Titolo:

REPORT MASW

Tav./Doc.:

WVNF-G2

Nome file:

WVNF-G2 Report Masw

Scala/Formato:

A4

0	Aprile 2022	Prima emissione	IAT PROGETTI	IAT PROGETTI	GRVALUE
REV.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE



31/03/2022

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO DA 42 MW E DELLE OPERE DI CONNESSIONE NEL COMUNE DI VILLANOVAFRANCA

PROPONENTE:

**GRV WIND SARDEGNA 7 S.R.L. - Via Durini,9 20122 Milano (MI)
pec grvwindsardegna7@legalmail.it**

**REGIONE SARDEGNA - PROVINCIA DEL MEDIO CAMPIDANO
COMUNI DI VILLANOVAFRANCA, FURTEI, SANLURI E VILLAMAR**

LOCALITÀ SU MURDEGU

ELABORATO N°G2

REPORT MASW

Progettazione

I.A.T. Consulenza e progetti S.r.l.
www.iatprogetti.it

Ing. Giuseppe Frongia / n. ordine 3453 CA

Codice elaborato

WVNF-G2 Report MASW

PROGETTAZIONE:

I.A.T. Consulenza e progetti S.r.l.

Ing. Giuseppe Frongia (Direttore tecnico)

Gruppo di progettazione:

Ing. Giuseppe Frongia (Coordinatore e responsabile)

Ing. Marianna Barbarino

Ing. Enrica Batzella

Dott. Andrea Cappai

Ing. Paolo Desogus

Ing. Gianluca Melis

Ing. Andrea Onnis

Dott.ssa Eleonora Re

Ing. Elisa Roych

Collaborazioni specialistiche:

Verifiche strutturali: Ing. Gianfranco Corda

Aspetti geologici e geotecnici: Dott. Geol. Maria Francesca Lobina e Dott. Geol. Mauro Pompei

Aspetti faunistici: Dott. Nat. Maurizio Medda

Caratterizzazione pedologica: Agr. Dott. Nat. Nicola Manis

Acustica: Ing. Antonio Dedoni

Aspetti floristico-vegetazionali: Agr. Dott. Nat. Fabio Schirru

Aspetti archeologici: NOSTOI S.r.l. Dott.ssa Maria Grazia Liseno

INDICE

1	PREMESSA	4
2	INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO E TERRITORIALE	5
3	BASE GEOGNOSTICA INFORMATIVA	7
3.1	STUDI PREGRESSI	7
3.2	PROSPEZIONE SISMICA MASW	7
3.2.1	Principi teorici	11
3.2.2	Strumentazione utilizzata	12
3.2.3	Elaborazione dei dati	12
3.2.4	Analisi spettrale e curva di dispersione	12
3.2.5	Inversione, profilo di velocità e sismostratigrafia	13
3.3	SISMICA A RIFRAZIONE	13
3.3.1	Tomografia sismica	13
3.4	SISMICA A RIFRAZIONE	14
4	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	18
4.1	ESITO DELL'INDAGINE SISMICA	18
4.1.1	Aerogeneratore V2 - Stendimento M1-R1	18
5.1.1	Aerogeneratore V4 - Stendimento M2-R2	23
5.1.2	Aerogeneratore V6 - Stendimento M3-R3	27
5.2	TOMOGRAFIA SISMICA	32
5.2.1	Aerogeneratore V2 - Stendimento M1-R1	32
5.2.2	Aerogeneratore V4 - Stendimento M2-R2	33
5.2.3	Aerogeneratore V6 - Stendimento M3-R3	34
5.3	SISMICA A RIFRAZIONE	35
5.3.1	Aerogeneratore V2 - Stendimento M1-R1	35
5.3.2	Aerogeneratore V4 - Stendimento M2-R2	37
5.3.3	Aerogeneratore V6 - Stendimento M3-R3	38

1 PREMESSA

La GRV Wind Sardegna 7 S.r.l. (Gruppo GR Value)⁽¹⁾ ha in programma la costruzione di un impianto eolico in agro di Villanovafranca (Provincia del Medio Campidano) costituito da n.7 aerogeneratori con una occupazione di superfici stimata in circa 6.5 ettari in fase di cantiere (4.3 ettari circa in fase di esercizio).

Sia per la posa in opera dei singoli aerogeneratori sia per il collegamento tra di essi è prevista la realizzazione di alcuni tratti nuova viabilità (piste di servizio) la cui lunghezza dipende dalla distanza rispetto a strade interpoderali preesistenti o dalle S.P. 5 e S.P. 36

L'impianto eolico in questione verrà collegato elettricamente, mediante una rete di cavidotti a 30kV, ad una nuova stazione elettrica MT/AT in progetto in agro di Sanluri.

In tale ambito, gli scriventi geologi *Dott.ssa MARIA FRANCESCA LOBINA*⁽²⁾ e *Dott. MAURO POMPEI*⁽³⁾ e sono stati incaricati per la stesura della presente «**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA**» quale corredo obbligatorio degli elaborati progettuali ai fini del conseguimento del titolo autorizzativo.

In questa fase si è convenuto di realizzare alcune prospezioni sismiche con tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) in modo da ricostruire, attraverso la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , una sismostratigrafia atta alla definizione della categoria di suolo, mediante elaborazione delle velocità equivalenti ($V_{s_{eq}}$), in ossequio alla normativa antisismica vigente (Ordinanza n. 3274) e delle «*Norme tecniche per le Costruzioni*» (D.M. 17.01.2018), aggiornamento 2019» le cui risultanze fanno parte della relazione in oggetto.

(1) Sede a Via Durini,9 20122 Milano (MI).

(2) Albo Geologi della Regione Sardegna N. 222 – Sezione A.

(3) Albo Geologi della Regione Sardegna N. 211 – Sezione A.

2 INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO E TERRITORIALE

L'areale che ospiterà parco eolico ricade nella regione geografica della Trexenta, in Comune di Villanovafranca (Provincia Sud Sardegna) e più specificatamente nel settore E-SE del territorio comunale, in una vasta area prevalentemente collinare, delimitata ad ovest dal *Rio Sa Cannu* e ad est dal *Rio Sippiu*.

Le torri eoliche saranno distribuite lungo un asse circa SW-NE che si estende in linea d'aria per poco più di 3 km, abbracciando i toponimi *Su Murdegu*, *Tuppe Piga*, *Perda Motta* e *Sa Matta Manna*.

Il sito di intervento è raggiungibile dalla S.S. 131 direzione Sassari fino al km 41 per poi svoltare a destra, imboccare la S.S. 197 in direzione Sanluri-Furtei-Villamar e, superato quest'ultimo centro, percorrendo la S.P. 36 fino all'abitato di Villanovafranca. Da qui si prosegue in direzione Mandas e poi, imboccata la S.P. 5, in direzione Guasila. L'accesso avviene infatti agevolmente proprio queste due arterie stradali, dalle quali è possibile accedere alla viabilità interpodereale.

Ad una distanza di circa 10 km a sud-ovest dall'impianto eolico è stato individuato il sito per la stazione elettrica, attualmente in progetto, ricadente in Comune di Sanluri, localizzato a SW del bivio fra la strada comunale di Lunamatrona e la vicinale Rio Ludu, in prossimità del limite amministrativo con Furtei.

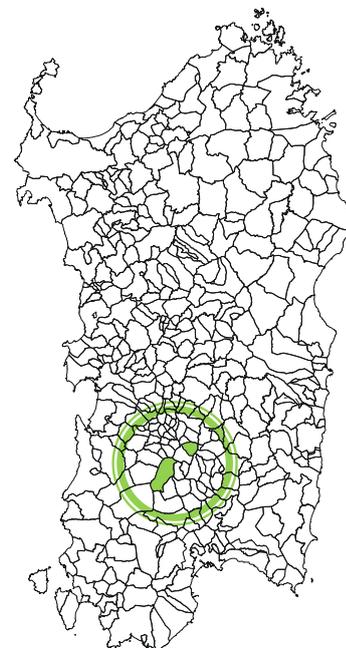


FIGURA 2.1

Comuni di Villanovafranca
(ad est) e di Sanluri
(ad ovest)

Inquadramento geografico.

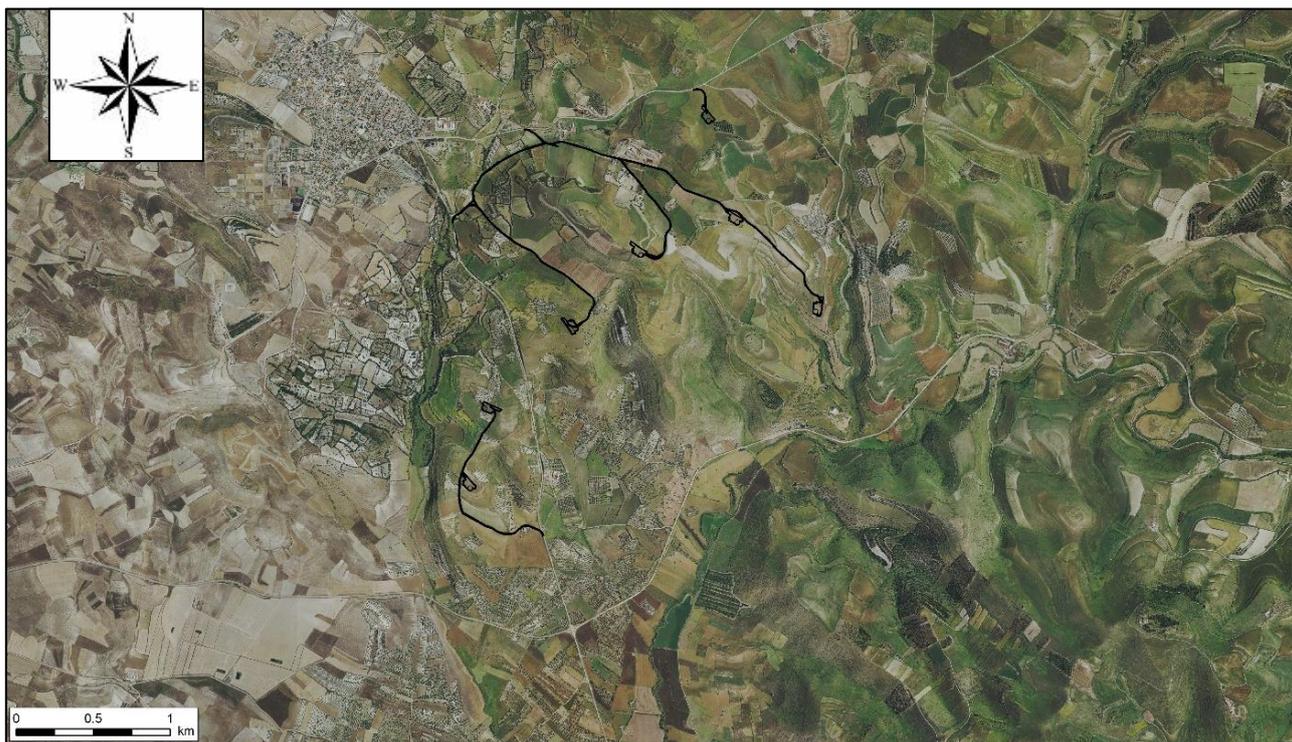


FIGURA 2.2 - Ubicazione degli interventi su immagine estratta da google earth, 2019.



FIGURA 2.3 - Vista aerea di dettaglio del parco eolico in progetto su immagine estratta da google earth, 2019.

3 BASE GEOGNOSTICA INFORMATIVA

3.1 STUDI PREGRESSI

Come accennato in premessa, la stesura del presente elaborato si è avvalsa di una base informativa e cognitiva diretta, confortata da descrizioni diverse e da dati in possesso degli scriventi: seppur relativi da lavori di differente natura ed in assenza di test geognostici diretti, hanno consentito una modellazione geologica confacente alla fase progettuale in essere ed una caratterizzazione indicativa geotecnica dei terreni interagenti con le opere in programma.

3.2 PROSPEZIONE SISMICA MASW

Per la classificazione dei terreni secondo la Nuova Normativa Antisismica (Ordinanza n. 3274) e l'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17.01.2018), è stata eseguita una prospezione sismica mediante tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves): trattasi di una tecnica non invasiva che, attraverso la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , è in grado di ricostruire una sismostratigrafia atta alla definizione della categoria di suolo, mediante elaborazione delle V_{sh} , ai sensi del D.M. 17.01.2018.

Fermi restando gli obiettivi preposti, l'indagine si è articolata nelle seguenti fasi:

- ⇒ valutazione della configurazione geometrica e della disposizione più consona dello stendimento,
- ⇒ acquisizione dei dati in campo,
- ⇒ elaborazione ed interpretazione dei dati.

Il principio teorico su cui si fondano le indagini sismiche "a rifrazione" è che consentono di ottenere informazioni di tipo geotecnico sul comportamento fisico-meccanico dei corpi geologici investigati, attraverso la determinazione dei relativi parametri, ed informazioni di tipo geologico sui caratteri strutturali e stratigrafici del volume indagato. Si tratta di uno dei metodi attualmente più utilizzati per l'esplorazione in profondità del sottosuolo e consiste nel creare delle onde artificiali nel terreno (energizzazione) battendo una piastra poggiata a terra con una mazza.

Sfruttano le proprietà dei terreni di farsi attraversare dalle onde sismiche a diversa velocità; questa dipende da molti fattori, quali la natura mineralogica della roccia, il grado di cementazione e di fatturazione, la porosità, il contenuto in acqua o in gas, etc..

Nel caso specifico sono stati realizzati n. 3 stendimenti di lunghezza 46 m ed allineamento di n. 24 geofoni con interdistanza geofonica 2,00 m, rispettivamente con baricentro nel punto con le seguenti coordinate:

1.	4.386.377,91"NORD	1.501.206,49" EST	pressi V2
2.	4.387.197,60"NORD	1.502.023,84" EST	pressi V4
3.	4.387.752,41"NORD	1.502.739,74" EST	pressi V6

L'ubicazione delle prospezioni e la corrispettiva documentazione fotografica è rappresentata in FIGURA 3.1 e seguenti.

AEROGENERATORE V2

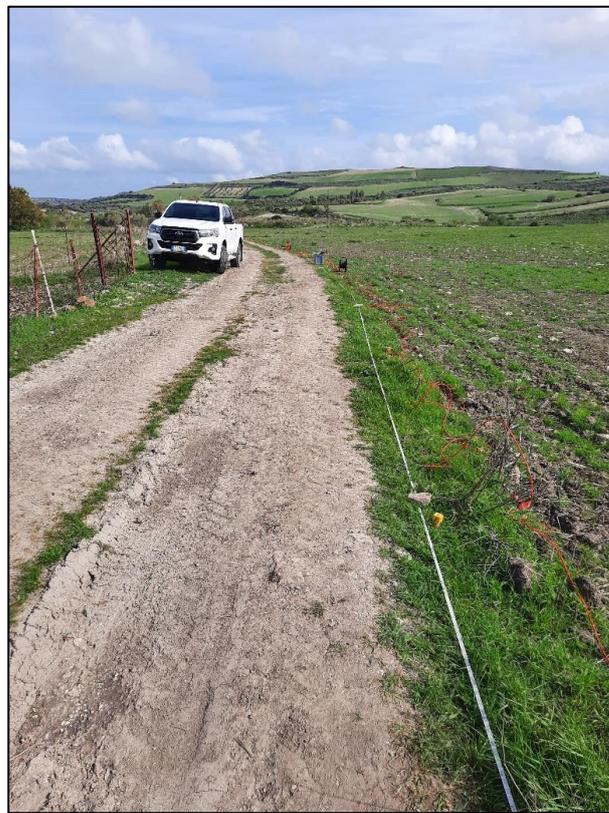
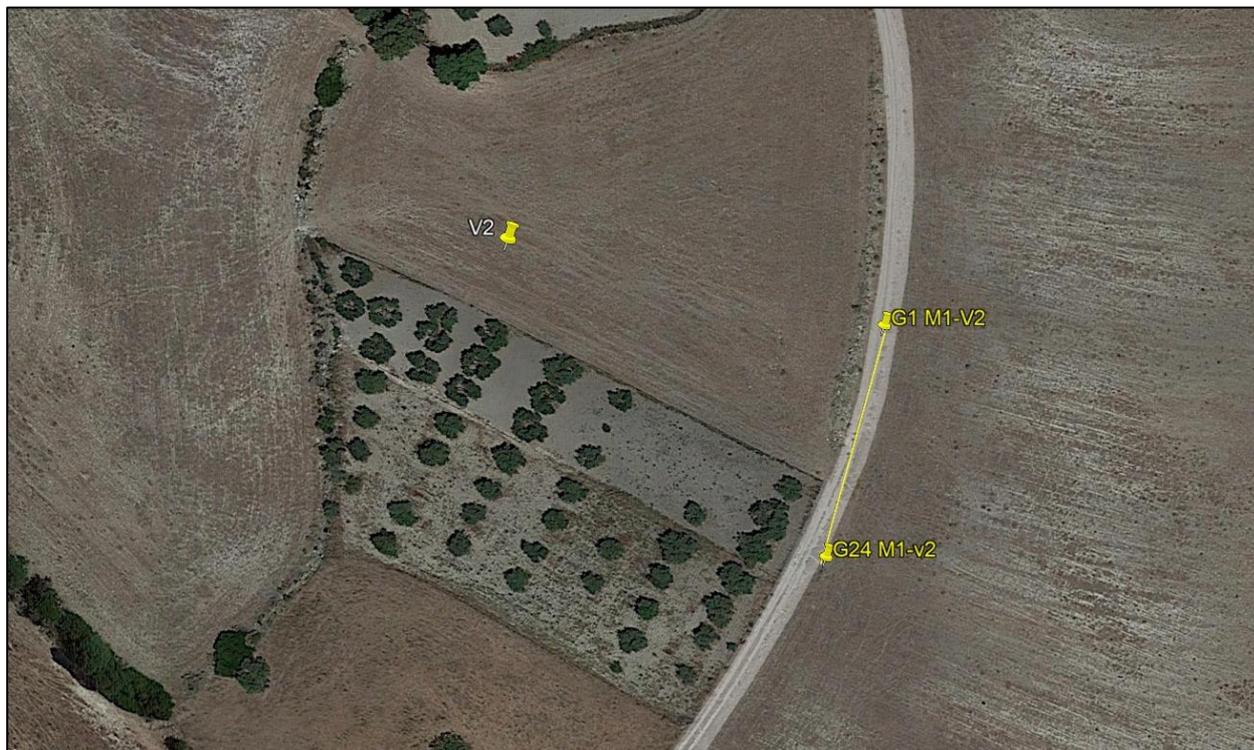


FIGURA 3.1 – Ubicazione della prospezione sismica M1-R1 nelle vicinanze della postazione V4.

AEROGENERATORE V4

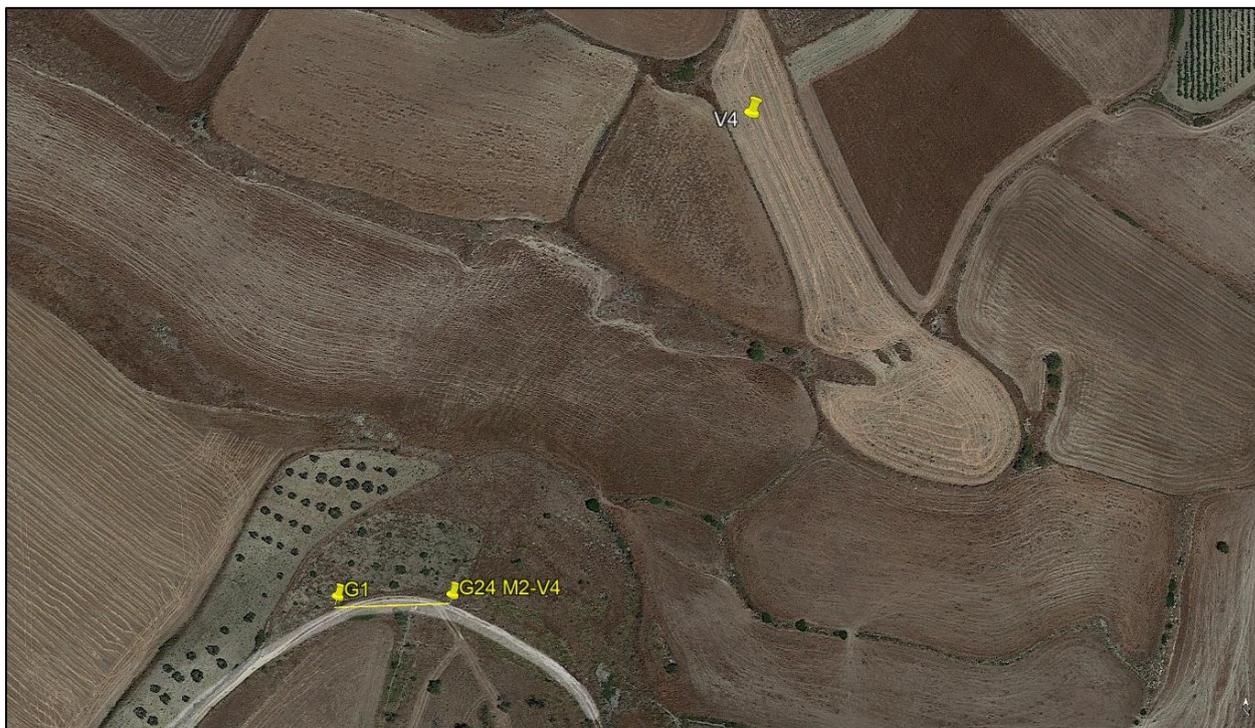


FIGURA 3.2 – Ubicazione della prospezione sismica M2-R2 nelle vicinanze della postazione V4.

AEROGENERATORE V6

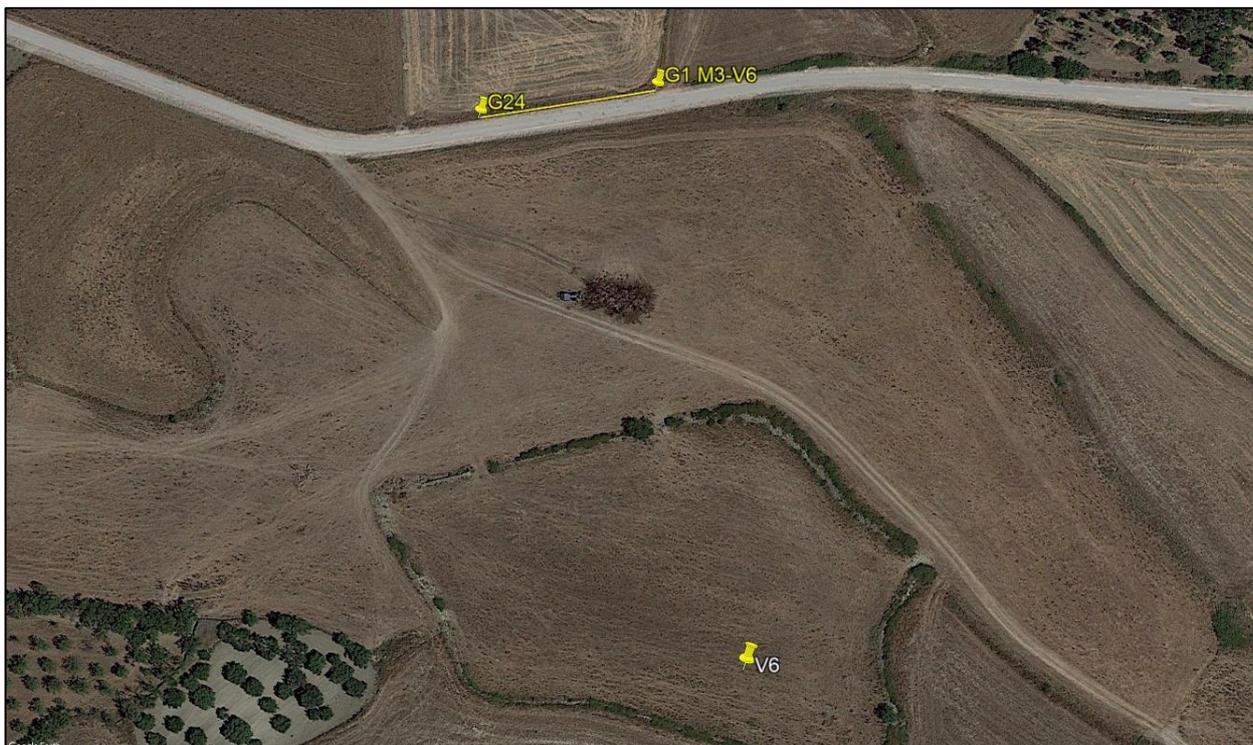


FIGURA 3.3 – Ubicazione della prospezione sismica M3-R3 nelle vicinanze della postazione V6.

3.2.1 Principi teorici

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

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (ACHENBACH J.D., 1999, AKI K. & RICHARDS P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo" (da *Caratterizzazione sismica dei suoli con il metodo MASW* (Multichannel Analysis of Surface Waves - V. Roma 2006)).

Dopo aver materializzato sul terreno una linea retta con la posa di una fettuccia metrica e posizionato i geofoni, si è proceduto all'energizzazione ma esternamente alla "stesa sismica", ad una certa distanza (pari ad un multiplo della distanza intergeofonica ma anche variabile in funzione delle disponibilità di cantiere), sia in andata (ovvero in prossimità del geofono 1) che al ritorno (ovvero all'ultimo geofono posizionato sulla base sismica), con distanza dal geofono 1 e dal geofono 24 crescente 2 m e 4 m e 6 m.

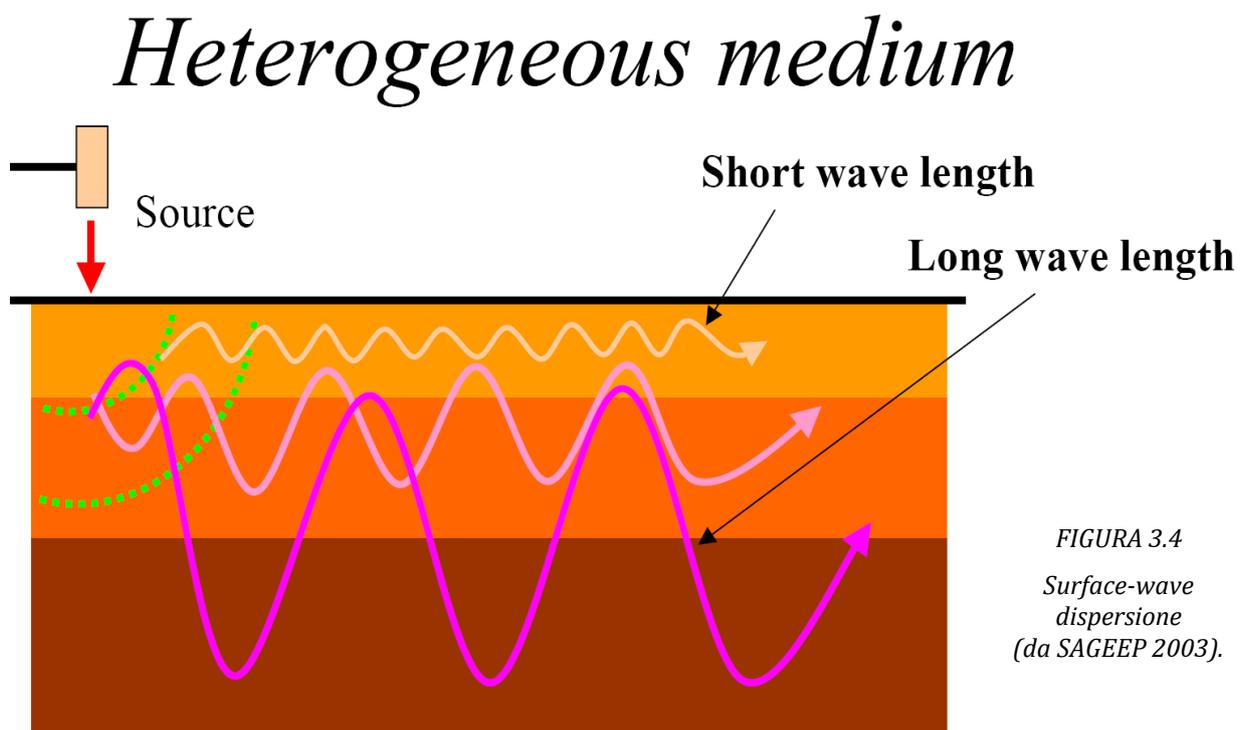


FIGURA 3.4
Surface-wave
dispersion
(da SAGEEP 2003).

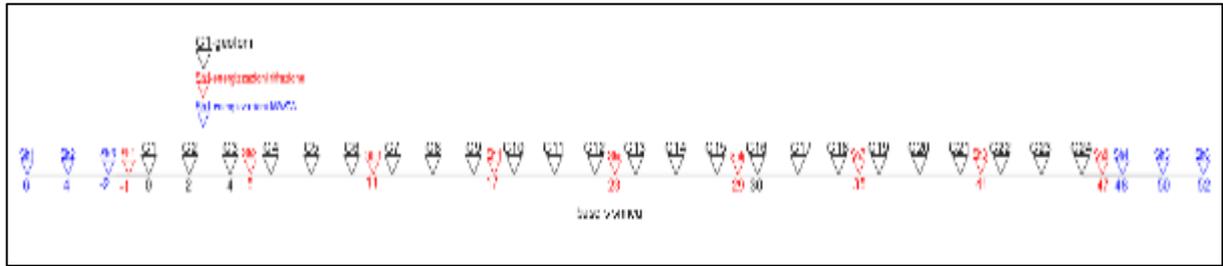


FIGURA 3.5 – Disposizione dello stendimento sismico.

Il metodo risulta efficace se la base sismica è ubicata su piano a pendenza costante e per una stratificazione piano parallela al piano topografico. La maggior profondità di caratterizzazione raggiunta è legata alla minor frequenza registrata.

La registrazione delle frequenze minori è destinata ai geofoni più lontani dalla sorgente.

3.2.2 Strumentazione utilizzata

3.2.3 Elaborazione dei dati

Il metodo interpretativo della MASW si compone dei seguenti passaggi di analisi dei segnali acquisiti:

- individuazione della variazione del segnale acquisito nel tempo,
- analisi di Fourier con definizione dei contenuti spettrali acquisiti nei segnali,
- stacking dello spostamento di fase con definizione delle velocità di rotazione retrograda compatibile con il campo di frequenza definita.

3.2.4 Analisi spettrale e curva di dispersione

A posteriori dell'analisi matematica del segnale acquisito, definito un modello stratigrafico compatibile con la geologia locale, si provvede all'inversione della curva di dispersione ottenendo la sismo-stratigrafia.

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". Queste ultime, 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.

3.2.5 Inversione, profilo di velocità e sismostratigrafia

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:

$$v = \lambda \cdot \nu .$$

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

3.3 SISMICA A RIFRAZIONE

In ambito di indagini indirette l'esplorazione geofisica di sismica a rifrazione risulta tra le metodologie più diffuse e meglio sperimentate: si basa sugli effetti di rifrazione del segnale sismico in corrispondenza dell'interfaccia tra un mezzo soprastante a velocità sismica minore rispetto ad uno strato sottostante al primo con velocità sismica inferiore. La tecnica consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in un punto in superficie (punto di energizzazione/sparo), in corrispondenza di una molteplicità di ricevitori (geofoni) disposti allineati sulla superficie topografica. Lo studio della propagazione delle onde consente di stimare le proprietà fisico-meccaniche dei terreni ed il grado di addensamento e/o la compattezza dei materiali da queste attraversati.

Le profondità raggiunte sono al massimo la metà della distanza compresa tra lo shot esterno e l'ultimo geofono della stesa sismica sviluppata. È comunque generalmente considerato che la profondità esplorata non superi 1/3 dello sviluppo geometrico sopradescritto. La capacità risolutiva in termini di spessore degli strati sismici viene ad essere valutato in circa il 25% della distanza geofonica.

Di fatto lo sviluppo numerico vede la ricerca dei percorsi dei raggi sismici nello spessore sottostante la stesa sismica, individuando quei tratti a velocità uguale (o comunque contenuta in intervalli preordinati); una successiva campitura del grigliato di celle costruito al di sotto della base sismica permette una rappresentazione grafica che rende meglio leggibile le valutazioni che, per la gran mole di calcoli richiesti in fase di sviluppo del modello numerico, può essere affrontato solo mediante elaboratore elettronico.

Utilizzando la medesima strumentazione di acquisizione e conservando la medesima distribuzione dei geofoni, si è proceduto con l'elaborazione dei dati anche con metodo tomografico che permette il superamento dei limiti imposti a livello geometrico dagli strati con inversione di velocità sismica. Nel caso specifico sono state eseguite n. 9 energizzazioni (2 esterne e 7 interne).

3.3.1 Tomografia sismica

La prima fase dell'elaborazione delle tracce sismiche consiste nell'individuare i primi arrivi.

L'elaborazione dei dati di sismica a rifrazione secondo il metodo tomografico permette il superamento dei limiti imposti a livello geometrico dagli strati con inversione di velocità sismica. Di fatto lo sviluppo numerico vede la ricerca dei percorsi dei raggi sismici nello spessore sottostante la stesa sismica, individuando quei tratti a velocità uguale (o comunque contenuta in intervalli preordinati); una successiva campitura del grigliato di celle costruito al di sotto della base sismica permette una rappresentazione grafica che rende meglio leggibile le valutazioni che, per la gran mole di calcoli richiesti in fase di sviluppo del modello numerico, può essere affrontato solo mediante elaboratore elettronico.

Il processing dei dati, in questa sede eseguito con il software RAYFRACT (distribuito dalla Intelligent Resources Inc.), prosegue con la fase di inversione tomografica detta WET (Wavepath

Eikonal Traveltime), che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo.

Successivamente, con la fase di imaging con l'impiego di un programma (SURFER 8) è stata estrapolata la sezione tomografica.

3.4 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 rifrattorio).

La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti.

Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici.

L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il primo 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.

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

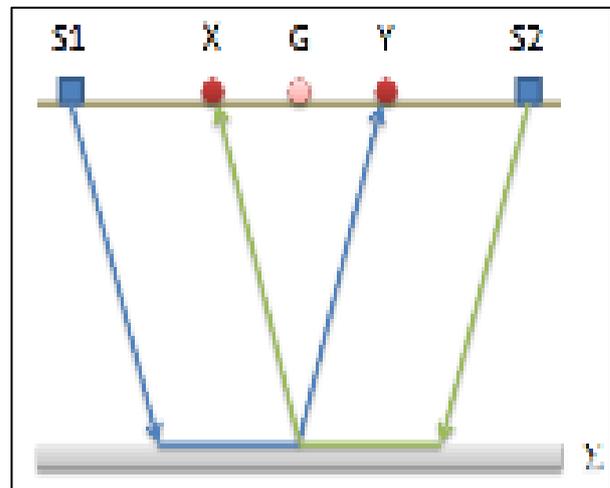


FIGURA 3.6 – Percorso delle onde sismiche.

Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze (FIGURA 3.7) 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. In tal modo è possibile individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione.

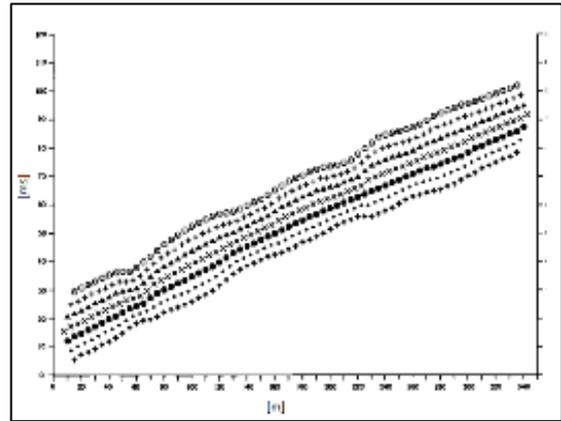


FIGURA 3.7 – Diagramma tempi/distanze.

Nelle interpretazioni multistrato, 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 ad X e dalla sorgente S2 ad 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 ed 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 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:

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

dove 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°.

Come noto, il settore energetico ha un ruolo fondamentale nella crescita dell'economia delle moderne nazioni, sia come fattore abilitante (disporre di energia a costi competitivi, con limitato impatto ambientale e con elevata qualità del servizio è una condizione essenziale per lo sviluppo delle imprese e per le famiglie), sia come fattore di crescita in sé (si pensi al grande potenziale economico della *Green economy*). Come riconosciuto nelle più recenti strategie energetiche europee e nazionali, assicurare un'energia più competitiva e sostenibile è dunque una delle sfide più rilevanti per il futuro.

Per quanto attiene al settore della produzione energetica da fonte eolica, nell'ultimo decennio si è registrata una consistente riduzione dei costi di generazione con valori ormai competitivi rispetto alle tecnologie convenzionali; tale circostanza è evidentemente amplificata per i grandi impianti installati in corrispondenza di aree con elevato potenziale energetico.

Ciò è il risultato dei progressivi miglioramenti nella tecnologia, scaturiti da importanti investimenti in ricerca applicata, e dalla diffusione globale degli impianti (economie di scala), alimentata dalle politiche di incentivazione adottate dai governi a livello mondiale. Lo scenario attuale, contraddistinto dalla progressiva riduzione degli incentivi, ha contribuito ad accelerare il progressivo annullamento del differenziale di costo tra la generazione elettrica convenzionale e la generazione FER (c.d. *grid parity*).

In tale direzione si inquadra il presente progetto di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica che il Gruppo GR Value, attraverso la sua controllata GRV Wind Sardegna 7 S.r.l. (di seguito "la Proponente"), ha in programma di realizzare nel Comune di Villanovafranca – Provincia del Medio Campidano, nella porzione meridionale del territorio comunale.

Oltre al comune di Villanovafranca le opere da realizzare riguardano i comuni di Furtei e Villamar, interessati da un tratto di cavidotto a 30kV, nonché il comune di Sanluri interessato dalla nuova sottostazione di trasformazione e dalla linea AT di collegamento tra la stessa e la nuova stazione elettrica AT prevista da TERNA.

In considerazione del rapido evolversi della tecnologia, che oggi mette a disposizione aerogeneratori di provata efficienza, con potenze di circa un ordine di grandezza superiori rispetto a quelle disponibili solo vent'anni or sono, il progetto proposto prevede l'installazione di n. 7 turbine di grande taglia, aventi diametro del rotore pari a 170 m, posizionate su torri di sostegno in acciaio dell'altezza pari a 115 m, ed aventi altezza al *tip* pari a 200 m, nonché l'approntamento delle opere accessorie indispensabili per un ottimale funzionamento e gestione degli aerogeneratori (viabilità e piazzole di servizio, distribuzione elettrica di impianto, sottostazione utente di trasformazione 30/150 kV, opere per la successiva immissione dell'energia prodotta alla Rete di Trasmissione Nazionale). La potenza nominale complessiva del parco eolico sarà di 42 MW, con potenza nominale dei singoli aerogeneratori pari a 6.0 MW.

Gli aerogeneratori in progetto saranno dislocati tra quote altimetriche indicativamente comprese nell'intervallo 258÷350 m s.l.m.

In coerenza con la normativa nazionale e regionale applicabile, la GRV Wind Sardegna 7 S.r.l. il conseguimento dei titoli abilitativi alla costruzione ed esercizio dell'impianto presuppone l'espletamento dei seguenti procedimenti amministrativi:

- Procedimento Unico ai sensi art.12 DLgs 387/2003 e DGR 3/25 del 23.01.2018 presso la Regione Sardegna – Servizio Energia ed Economia Verde, in quanto progetto di impianto di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili di potenza pari a 42.0 MW;
- Procedura di Valutazione di Impatto Ambientale Statale ai sensi DLgs 152/2006 di competenza del Ministero della Transizione Ecologica e del Ministero della Cultura, in quanto progetto di impianto eolico di potenza superiore a 30 MW (art. 7 bis D.Lgs. 152/2006).

Le significative interdistanze tra le turbine, imposte dalle accresciute dimensioni degli aerogeneratori oggi disponibili sul mercato, contribuiscono ad affievolire i principali impatti o disturbi ambientali caratteristici della tecnologia, quali l'eccessivo accentrimento di turbine in aree ristrette (in particolare il disordine visivo determinato dal cosiddetto "effetto selva"), le probabilità di collisione con l'avifauna, attenuate dalle basse velocità di rotazione dei rotori, la propagazione di rumore o l'ombreggiamento intermittente.

La presente costituisce la relazione tecnico-illustrativa generale del progetto definitivo delle opere civili indispensabili per assicurare il processo costruttivo e l'ottimale esercizio della centrale (viabilità di servizio, piazzole, opere di regimazione dei deflussi e ripristini). La descrizione delle opere elettromeccaniche è riportata nello specifico progetto delle infrastrutture elettriche. Si precisa, infine, come il posizionamento degli aerogeneratori sul terreno sia stato definito e verificato, sotto il profilo delle interferenze aerodinamiche, dalla società proponente.

4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

4.1 ESITO DELL'INDAGINE SISMICA

Come anticipato, l'analisi del profilo sismico per il calcolo delle Vs equivalenti è stata effettuata attraverso prospezioni di sismica a rifrazione con metodo MASW, che hanno consentito di ricostruire la sequenza stratigrafica secondo le caratteristiche legate alla velocità delle onde di taglio e quindi di classificare il sito secondo le categorie di suolo previste dalle NTC 2018 e ss.ii..

4.1.1 Aerogeneratore V2 - Stendimento M1-R1

TRACCE SISMICHE

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	2.000
Interdistanza geofoni [m]	2,00
Periodo di campionamento [msec]	1

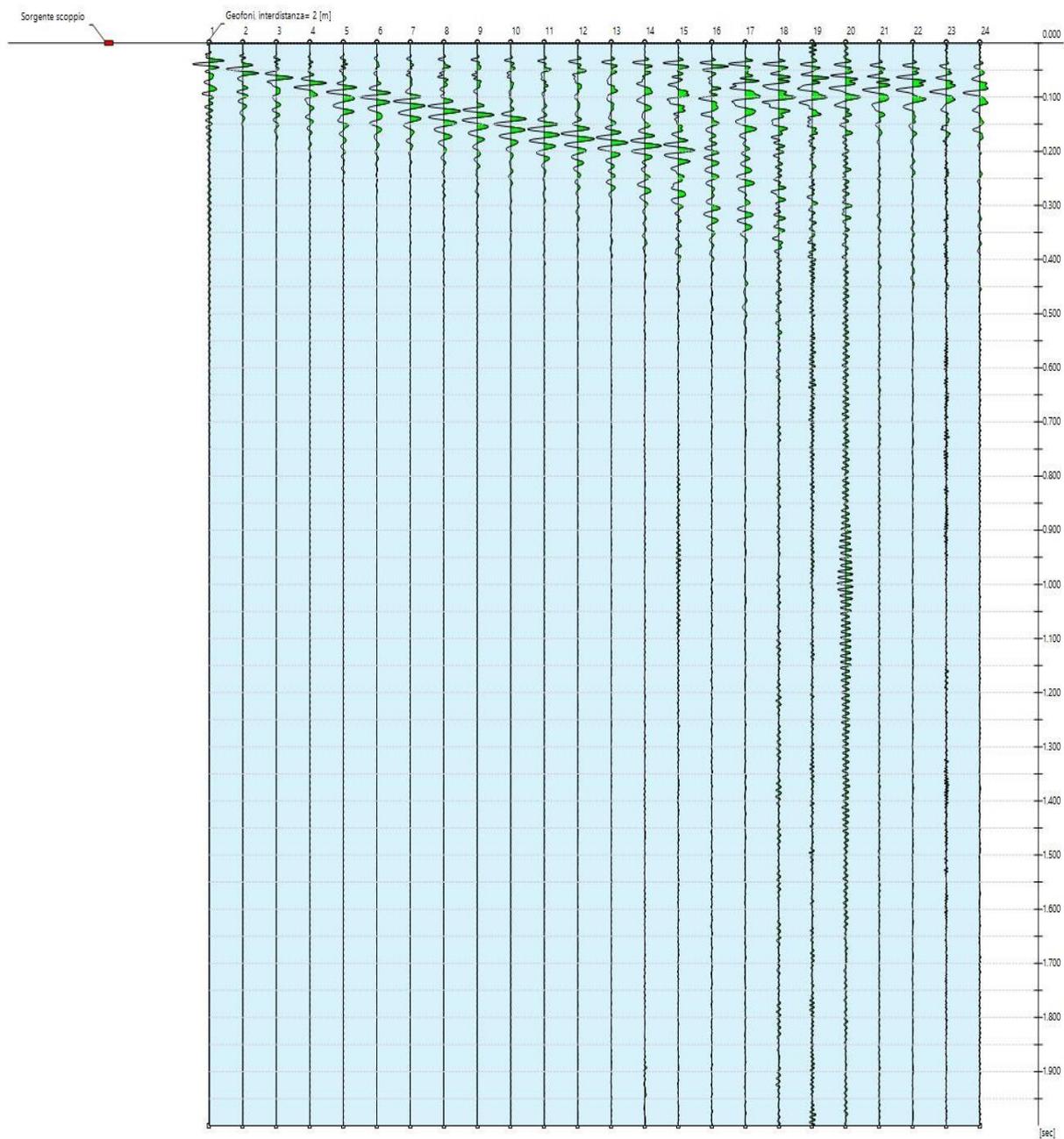


FIGURA 4.1 – Sismogramma utilizzato per l'elaborazione.

ANALISI SPETTRALE E CURVA DI DISPERSIONE

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	20
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	75
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	2.000
Intervallo velocità [m/sec]	1

INVERSIONE, PROFILO DI VELOCITÀ E SISMOSTRATIGRAFIA

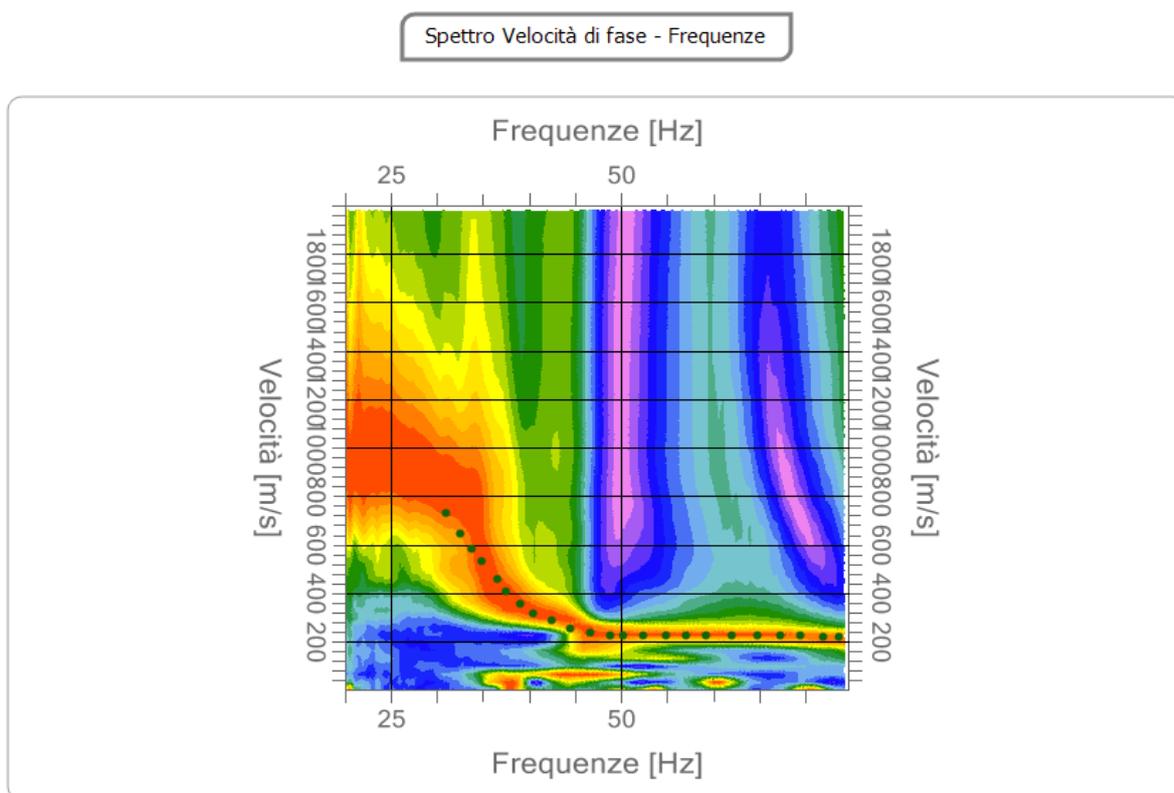


FIGURA 4.2 – Spettro velocità di fase / Frequenze.

SISMOSTRATO	PROF.TÀ [m]	SPESSORE [m]	DENSITÀ [kN/mc]	COEFF. POISSON	FALDA	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]	
1	Eluvio	2,75	2,75	1.800	0,40	No	562,5	229,6
2	Marna alterate	6,80	4,05	1.900	0,30	No	1.683,7	900,0
3	Marna	13,68	6,88	2.200	0,25	No	2.073,5	1.197,2
4	Marna	21,22	7,54	2.200	0,25	No	3.107,1	1.793,9
5	Marna	28,31	7,09	2.200	0,20	No	2.933,8	1796,6
6		oo	oo	2.200	0,25	No	3.360,4	1940,1

TABELLA 4.1 – Successione sismo-stratigrafica ricavata dall'interpretazione sismica.

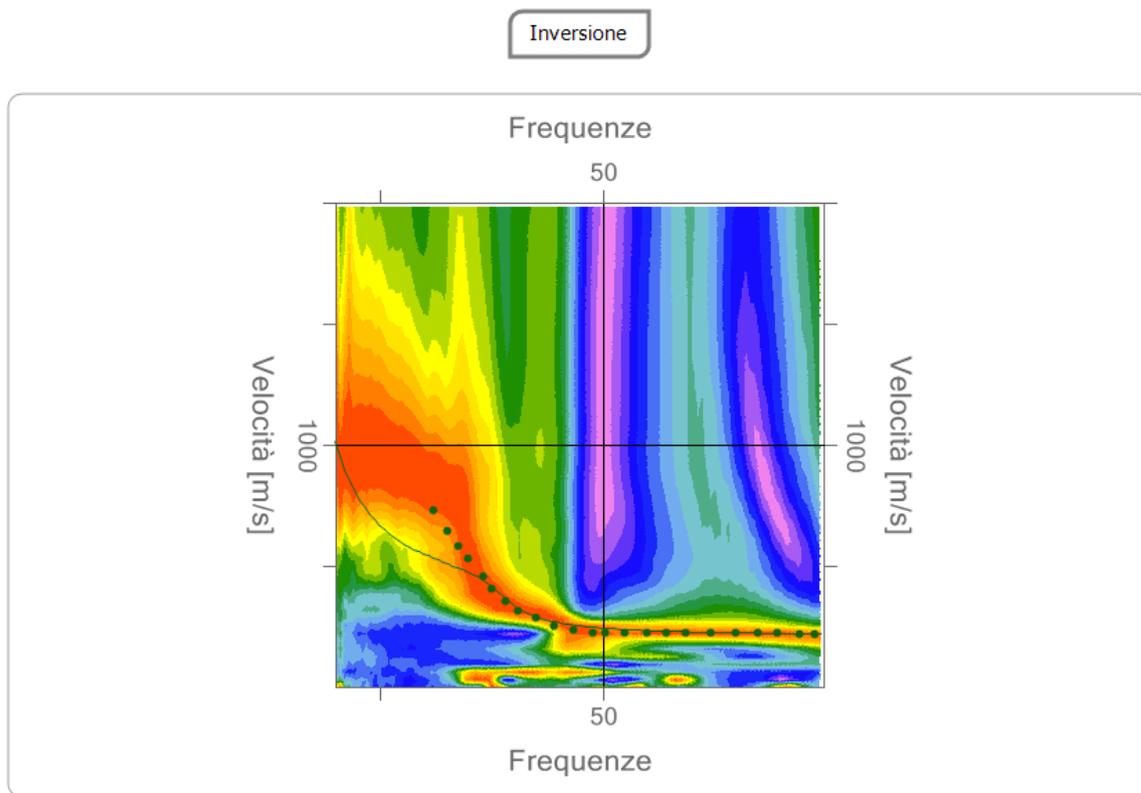


FIGURA 4.3 – Profilo di velocità di fase / Frequenze.

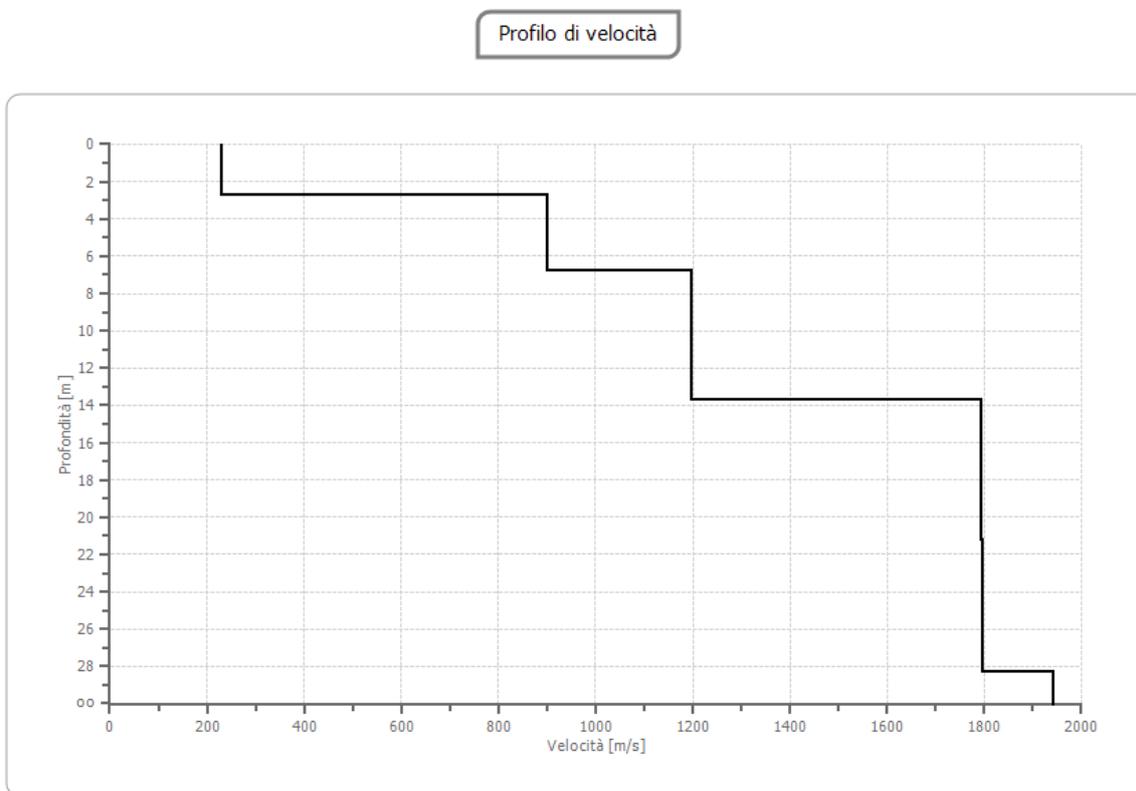


FIGURA 4.4 – Spettro di inversione velocità di fase / Frequenze dopo inversione.

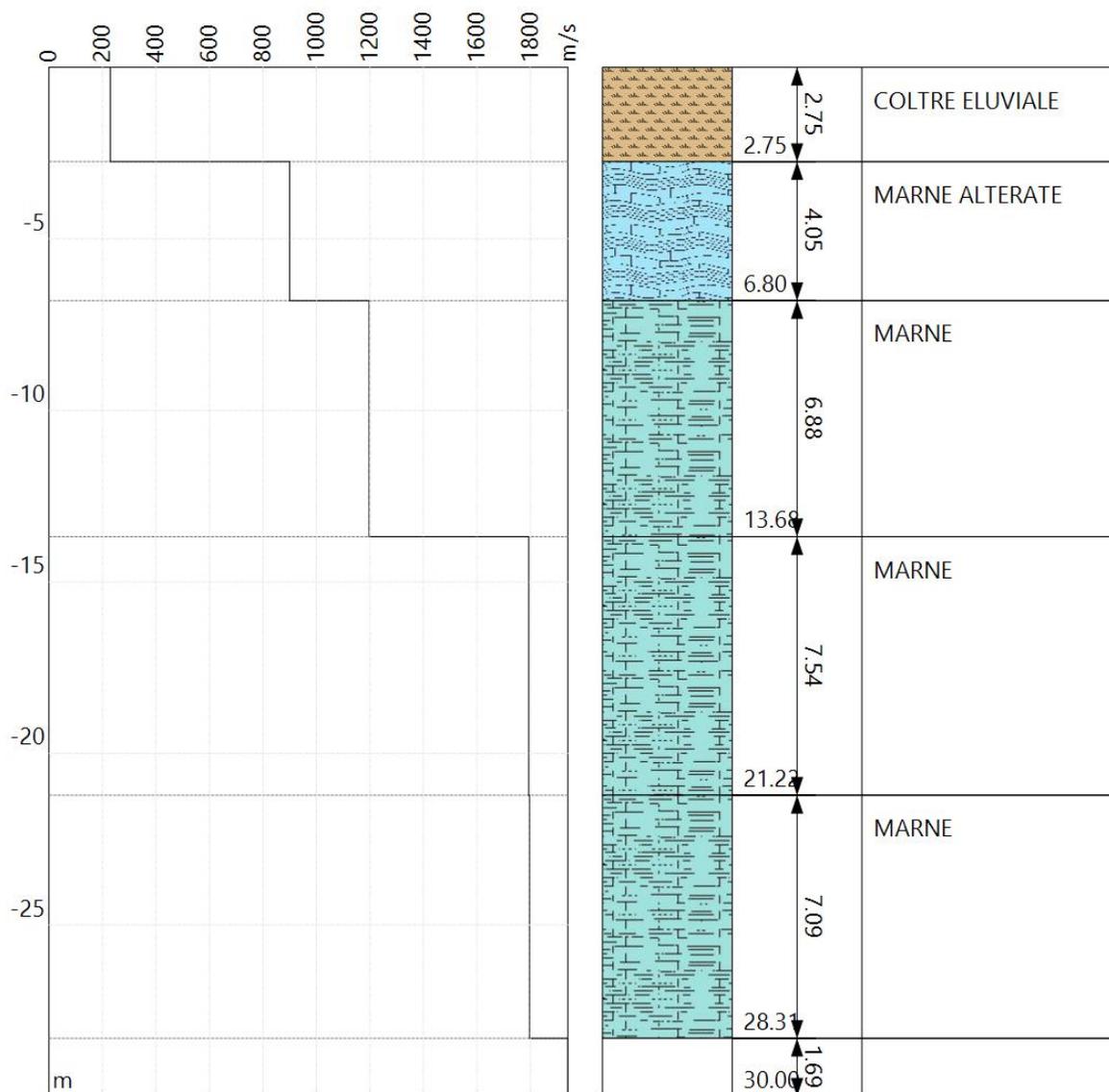


FIGURA 4.5 – Interpretazione litologica del profilo sismo-stratigrafico.

ESITO CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Profondità piano di posa	0,00 m
$V_{s,eq}$ (H = 30,00 m)	
Categoria di sottosuolo	A

CATEGORIA DI SUOLO "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.

4.1.2 Aerogeneratore V4 – Stendimento M2-R2

TRACCE SISMICHE

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	2.000
Interdistanza geofoni [m]	2,00
Periodo di campionamento [msec]	1

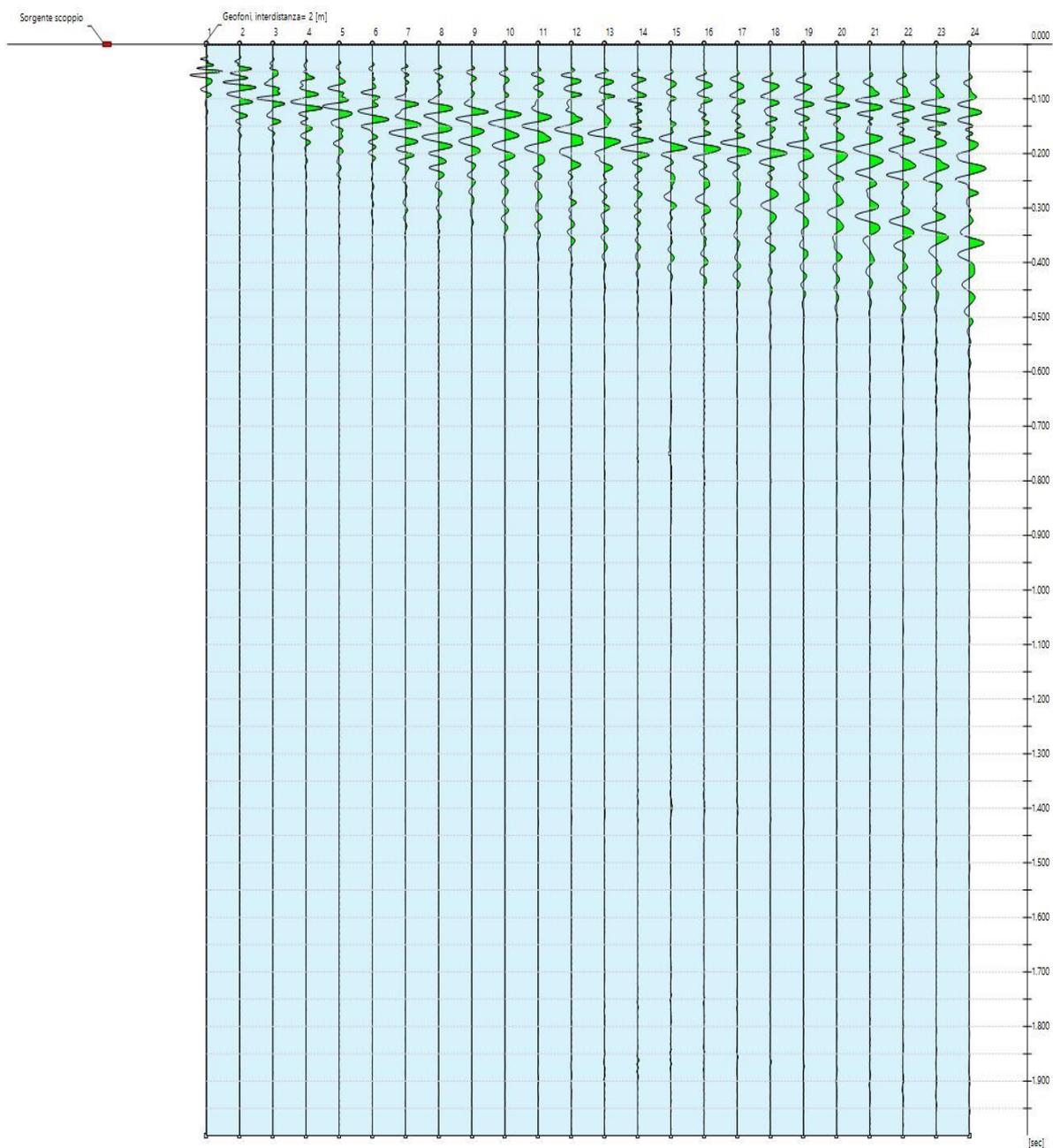


FIGURA 4.6 – Sismogramma utilizzato per l'elaborazione.

ANALISI SPETTRALE E CURVA DI DISPERSIONE

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	15
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	65
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	1.000
Intervallo velocità [m/sec]	1

INVERSIONE, PROFILO DI VELOCITÀ E SISMOSTRATIGRAFIA

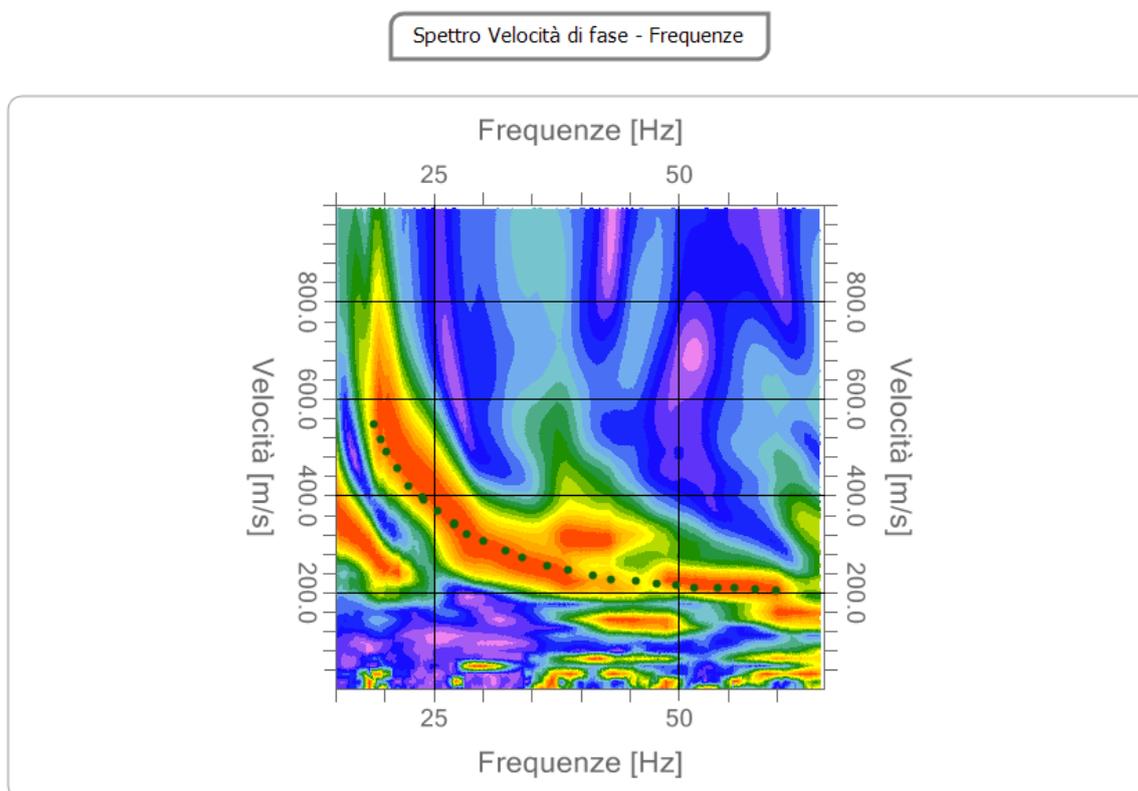


FIGURA 4.7 – Spettro velocità di fase / Frequenze.

SISMOSTRATO	PROF.TÀ [m]	SPESSORE [m]	DENSITÀ [kN/mc]	COEFF. POISSON	FALDA	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]	
1	Riporto	3,00	3,00	1.800	0,35	No	456,6	219,3
2	Marna alterate	9,00	6,00	2.000	0,30	No	873,6	466,9
3	Marna	14,00	5,00	2.200	0,25	No	1.184,6	683,9
4	Marna	20,00	6,00	2.200	0,25	No	1.400,1	808,3
5	Marna	28,85	8,85	2.200	0,25	No	1.557,6	899,3
6		oo	oo	2.200	0,25	No	2.025,3	1.169,3

TABELLA 4.2 – Successione sismo-stratigrafica ricavata dall'interpretazione sismica.

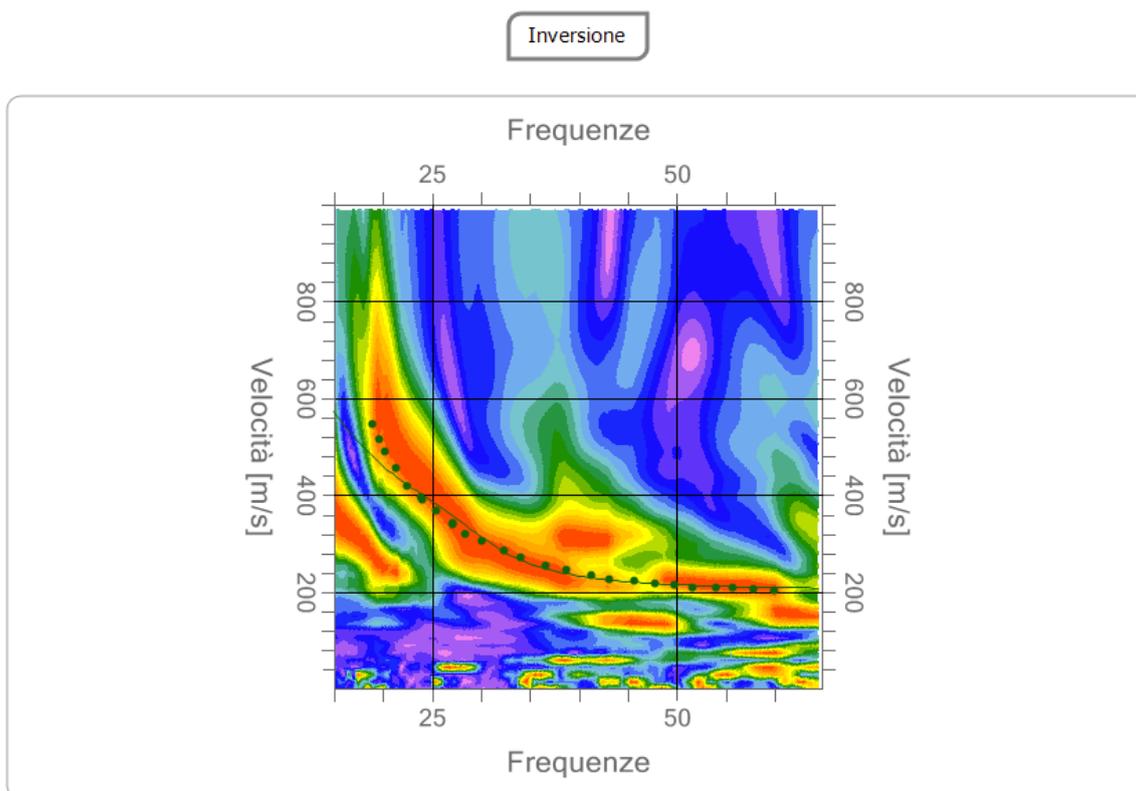


FIGURA 4.8 – Profilo di velocità di fase / Frequenze.

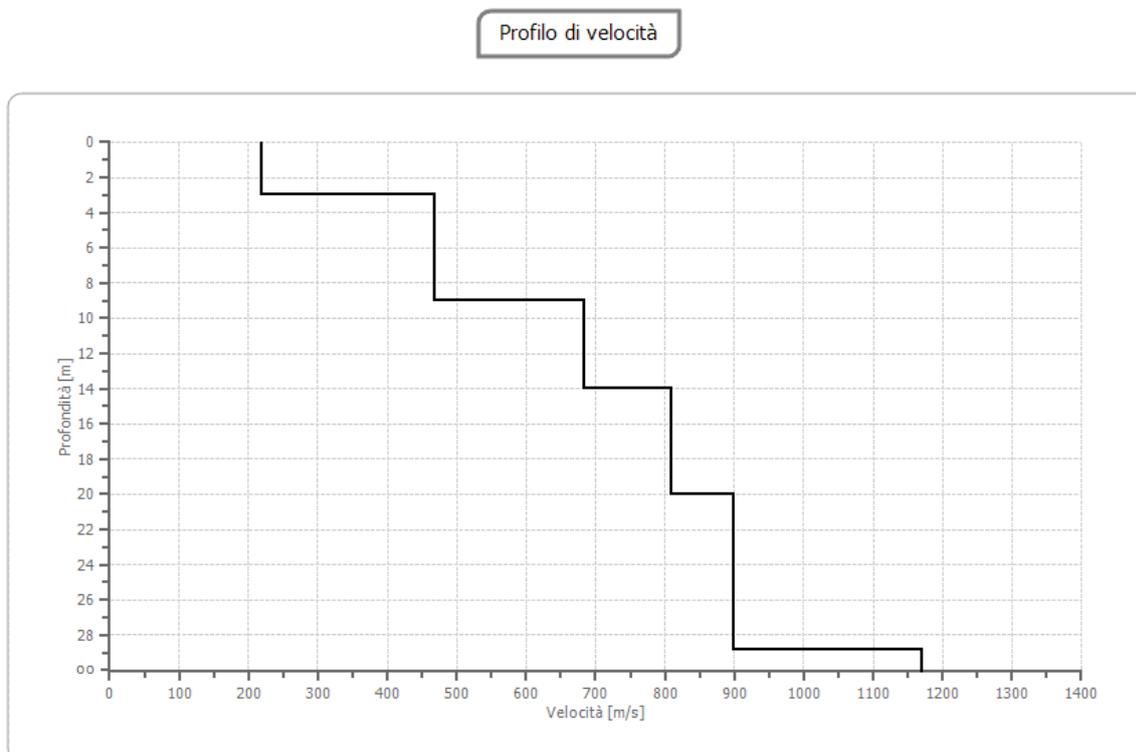


FIGURA 4.9 – Spettro di inversione velocità di fase / Frequenze dopo inversione.

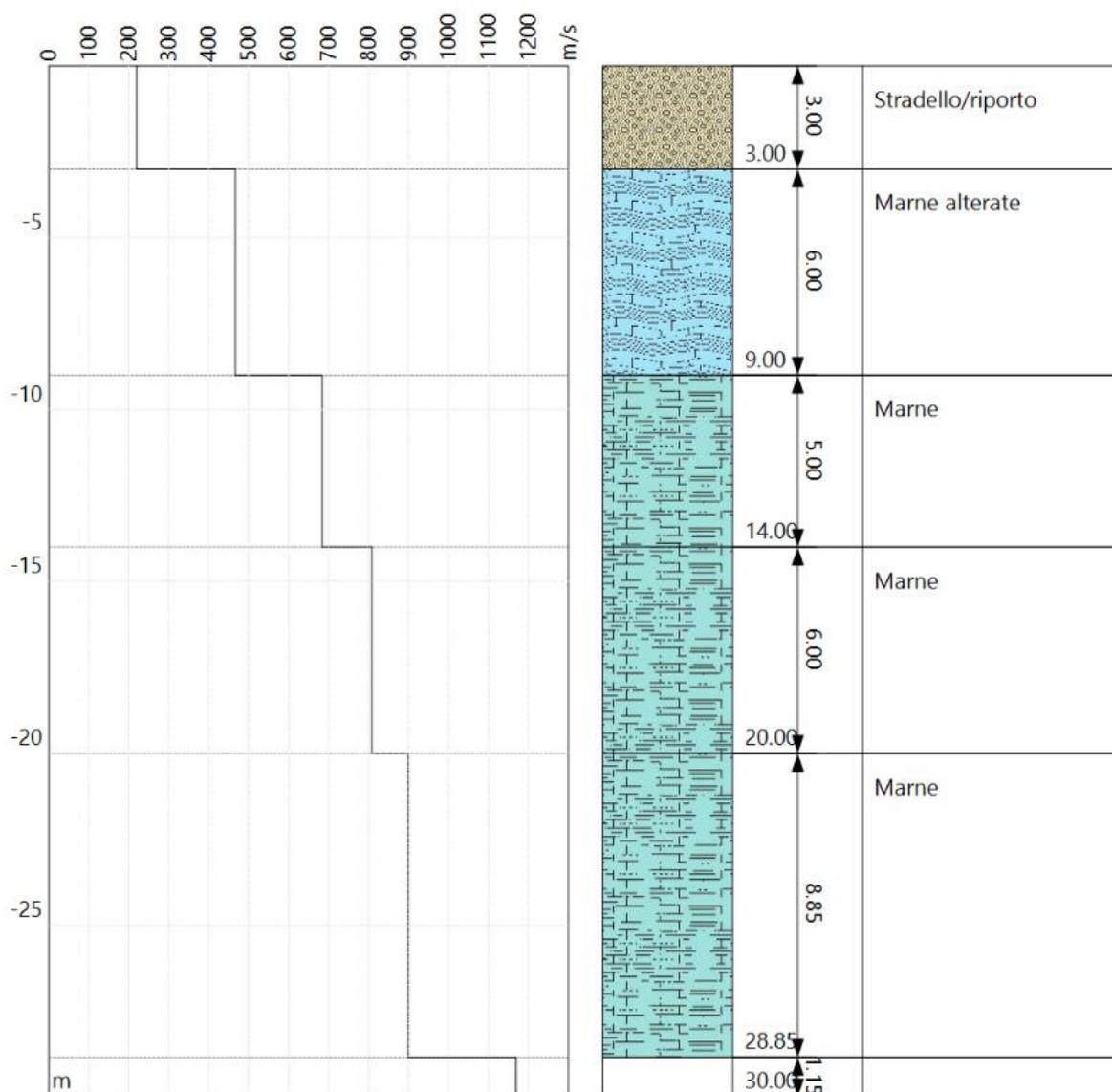


FIGURA 4.10 - Interpretazione litologica del profilo sismo-stratigrafico.

ESITO CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Profondità piano di posa	0,00 m
$V_{s,eq}$ (H = 30,00 m)	413,75
Categoria di sottosuolo	B

CATEGORIA DI SUOLO "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.

4.1.3 Aerogeneratore V6 – Stendimento M3-R3

TRACCE SISMICHE

N. tracce	23
Durata acquisizione [msec]	2.000
Interdistanza geofoni [m]	2,00
Periodo di campionamento [msec]	1

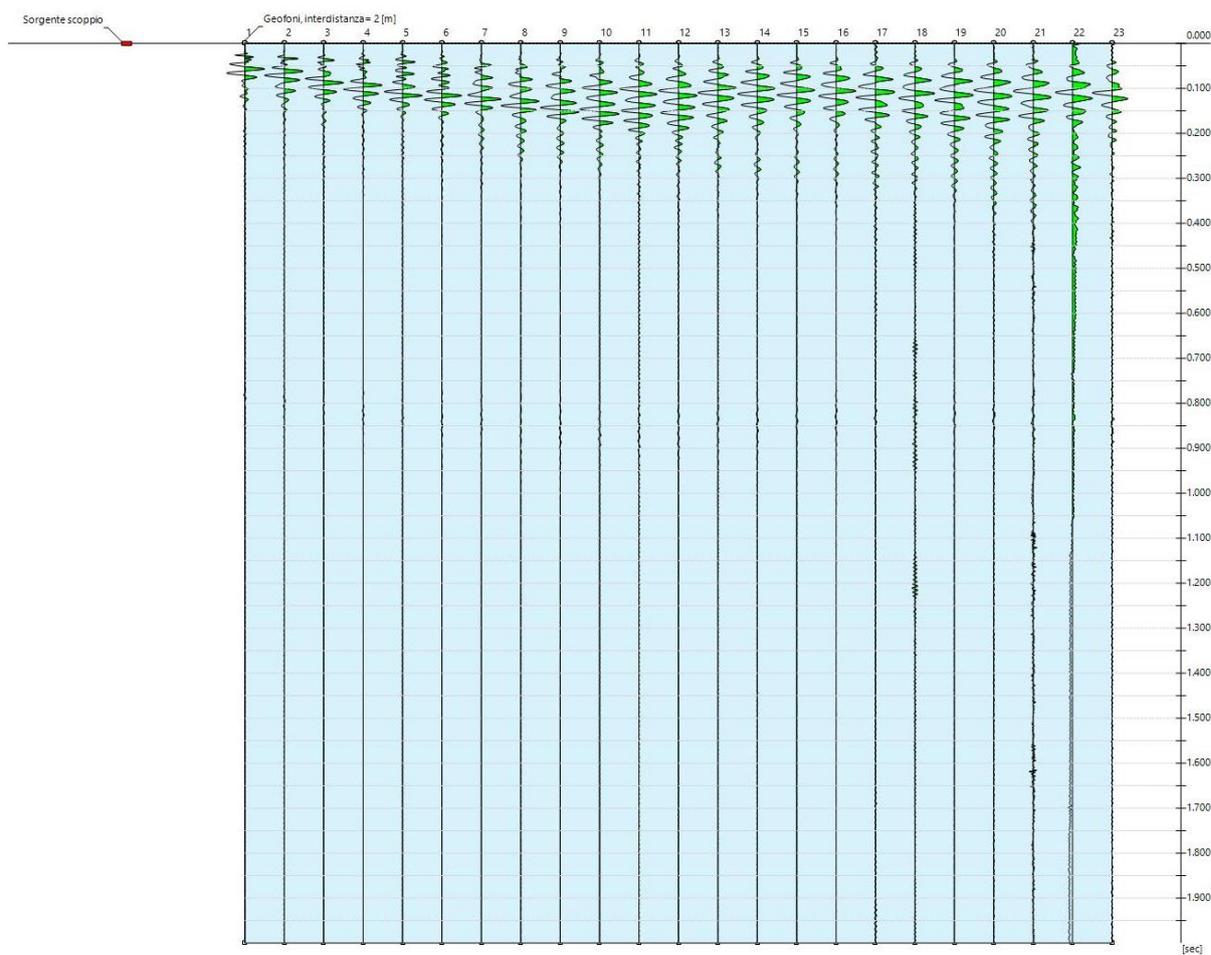


FIGURA 4.11 – Sismogramma utilizzato per l'elaborazione.

ANALISI SPETTRALE E CURVA DI DISPERSIONE

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	8
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	75
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	2.000
Intervallo velocità [m/sec]	1

Spettro Velocità di fase - Frequenze

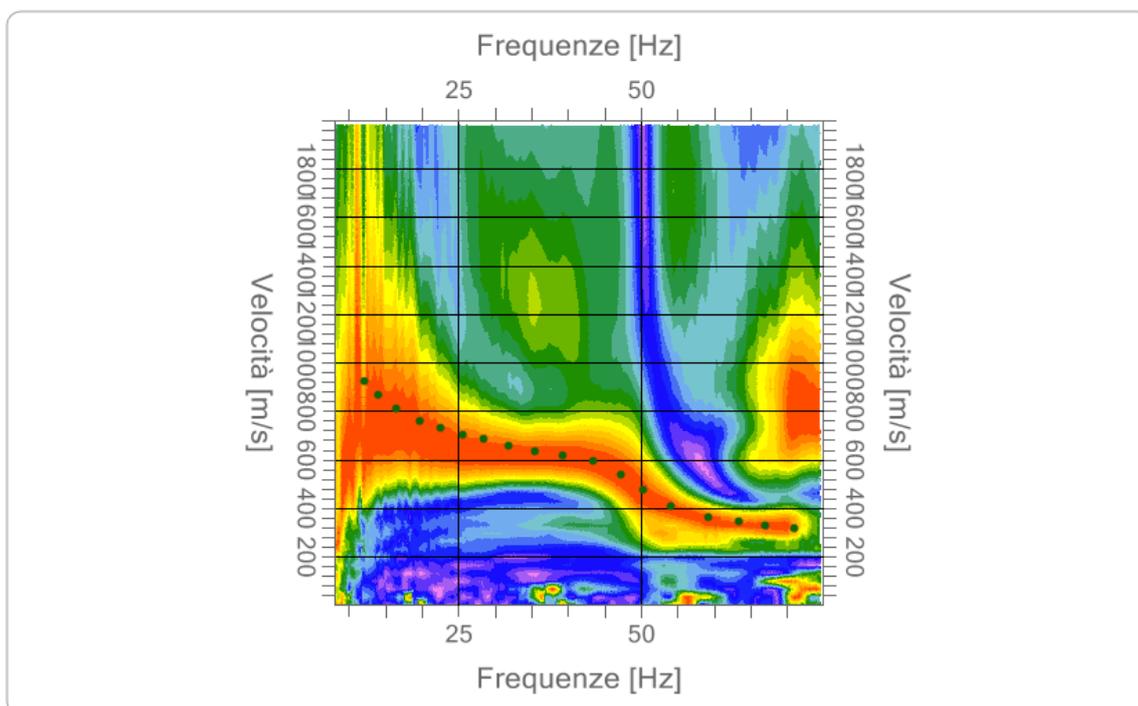


FIGURA 4.12 – Spettro velocità di fase / Frequenze.

INVERSIONE, PROFILO DI VELOCITÀ E SISMOSTRATIGRAFIA

SISMOSTRATO	PROF.TÀ [m]	SPESSORE [m]	DENSITÀ [kN/mc]	COEFF. POISSON	FALDA	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	Eluvio	3,00	1.800	0,40	No	837,4	341,8
2	Marna alterate	7,93	2.000	0,30	No	1,231,5	658,3
3	Marna	13,96	2.200	0,25	No	1,646,9	950,9
4	Marna	20,05	2.200	0,25	No	1,642,1	948,1
5	Marna	27,10	2.200	0,25	No	1,656,2	956,2
6		oo	2.200	0,25	No	2,213,4	1.277,9

TABELLA 4.3 – Successione sismo-stratigrafica ricavata dall'interpretazione sismica.

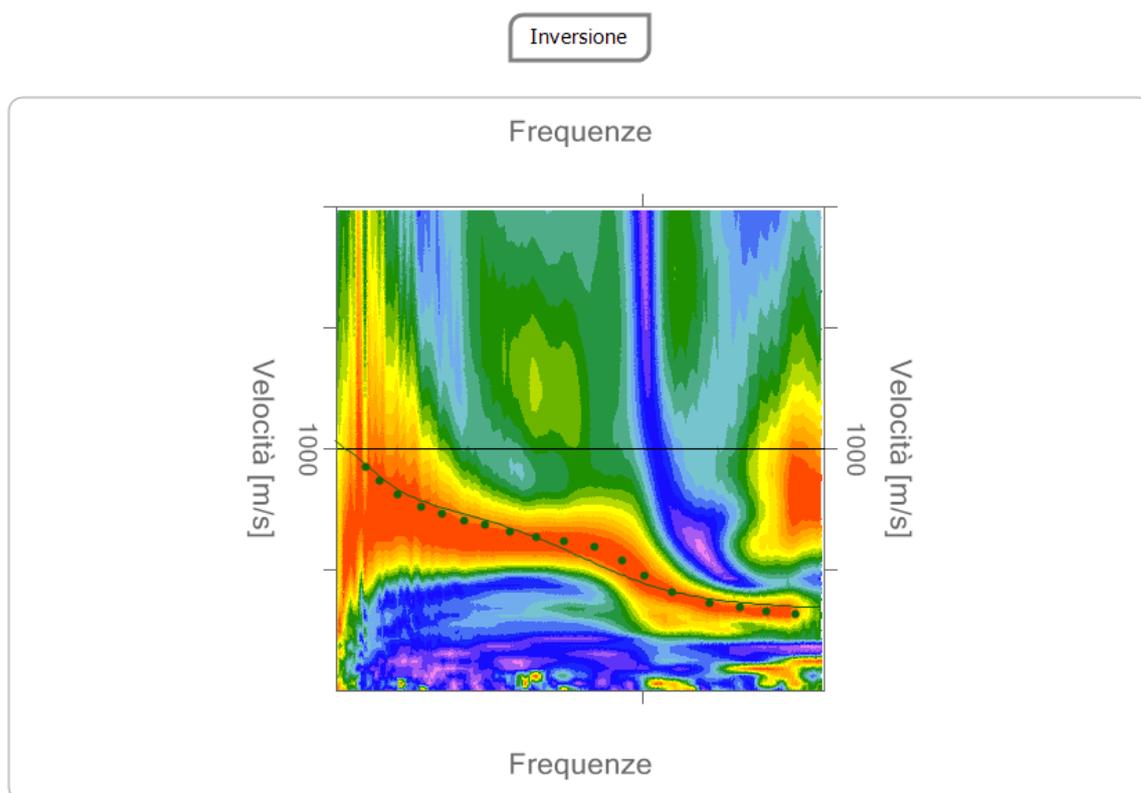


FIGURA 4.13 – Profilo di velocità di fase / Frequenze.

Profilo di velocità

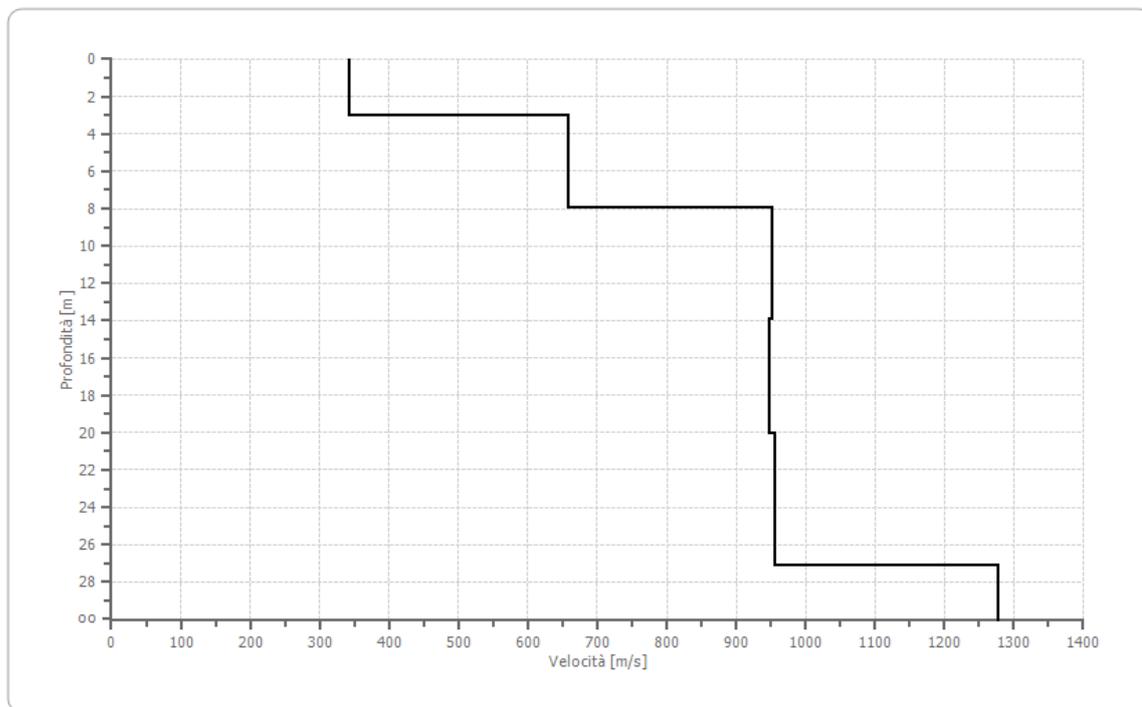


FIGURA 4.14 – Spettro di inversione velocità di fase / Frequenze dopo inversione.

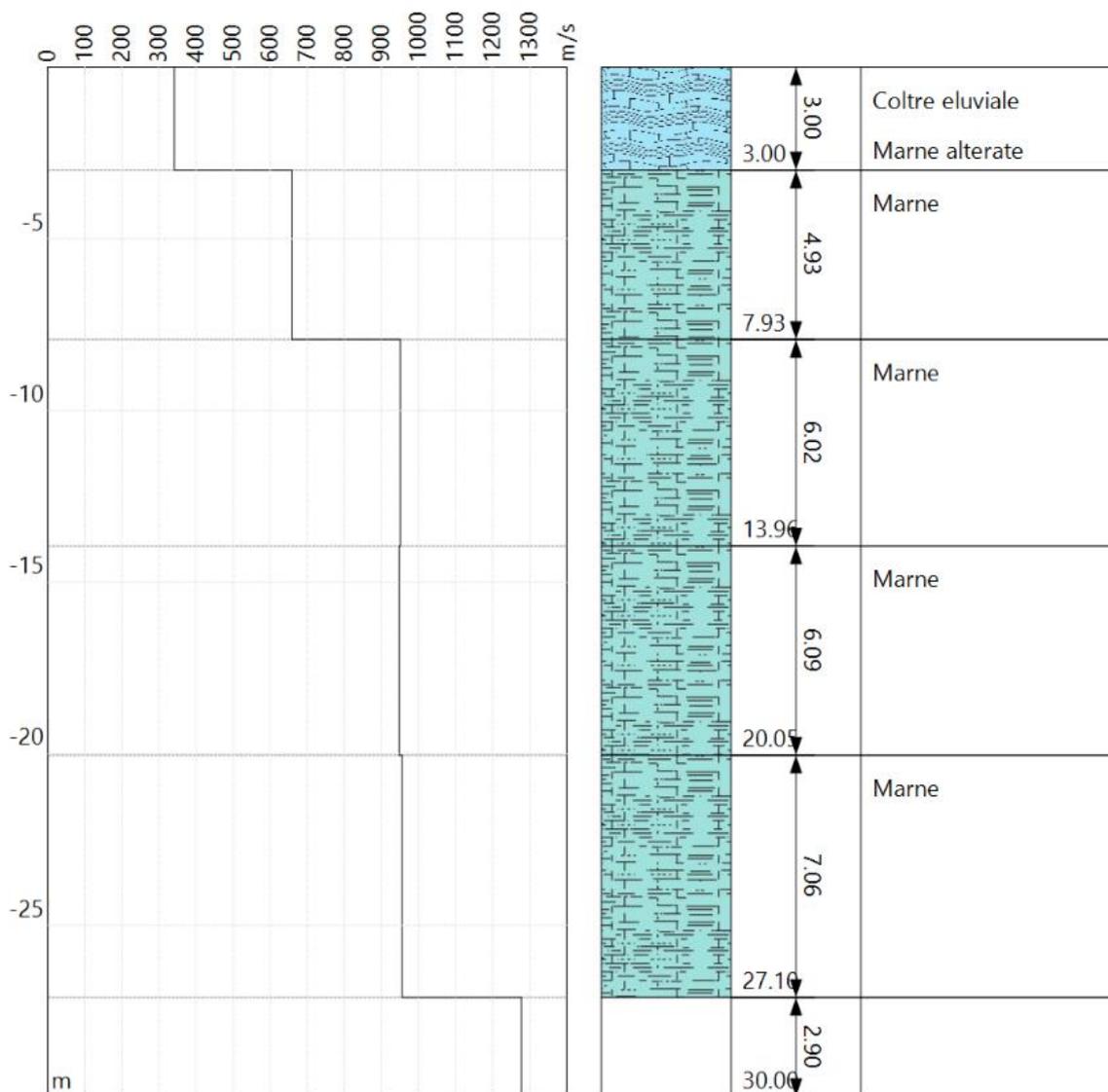


FIGURA 4.15 - Interpretazione litologica del profilo sismo-stratigrafico.

ESITO CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Profondità piano di posa	0,00 m
Vs,eq (H = 30,00 m)	413,75
487,62	B

CATEGORIA DI SUOLO "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.

4.2 TOMOGRAFIA SISMICA

4.2.1 Aerogeneratore V2 – Stendimento M1-R1

L'interpretazione dei dati sismici con il metodo tomografico, per le massime profondità raggiunte dalle onde (16 m) ha consentito di riconoscere n. 3 sismostrati, le cui corrispettive velocità delle onde elastiche sono richiamate in TABELLA 4.4.

La rappresentazione grafica è quella della FIGURA 4.16.

SISMOSTRATO		TETTO [m]	LETTO [m]	Vp [m/sec]
1	Coltre eluviale prevalentemente argillosa	0,00	2,50	450÷1.200
2	Marne alterate	2,50	8,00	1.200÷2.200
3	Marne	8,00	?	> 2.200

TABELLA 4.4 – Successione sismo-stratigrafica ricavata dall'interpretazione sismica.

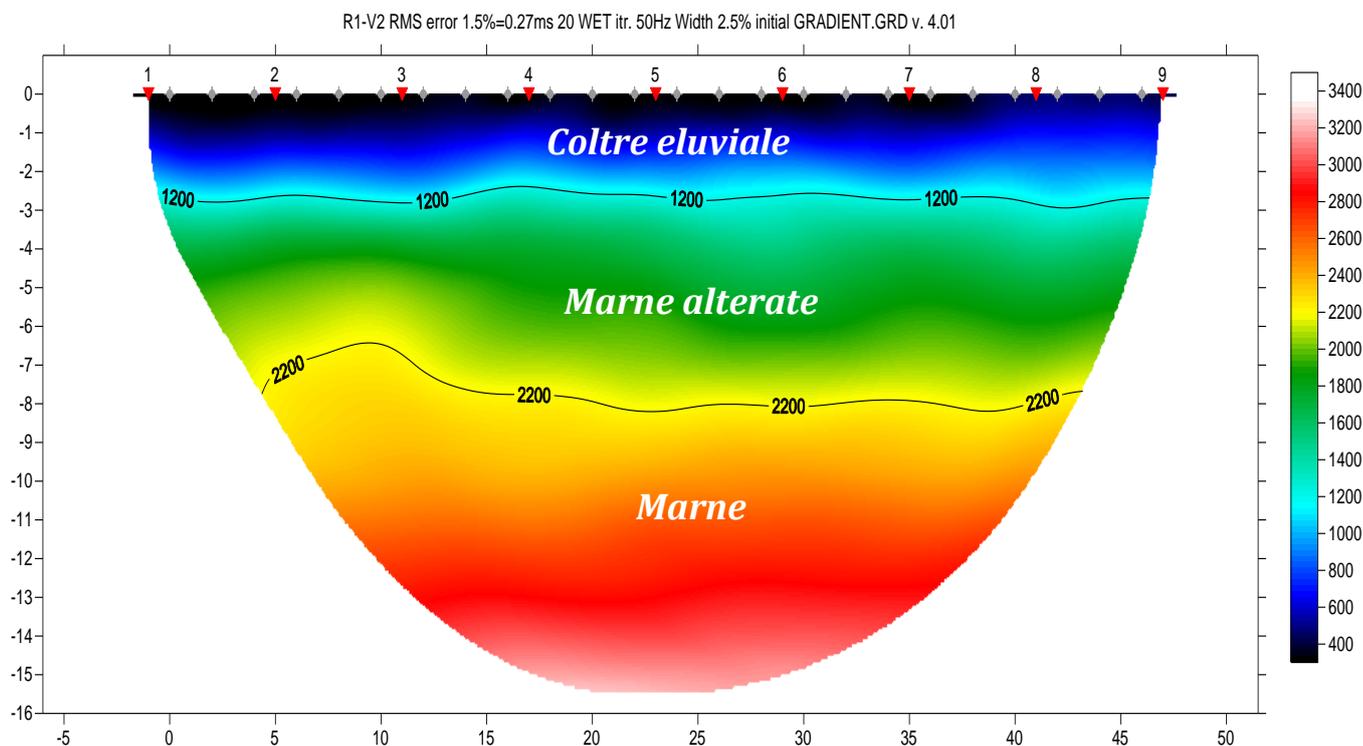


FIGURA 4.16 – Profilo di tomografia sismica.

4.2.2 Aerogeneratore V4 – Stendimento M2-R2

L'interpretazione dei dati sismici con il metodo tomografico, per le massime profondità raggiunte dalle onde (24 m) ha consentito di riconoscere n. 3 sismostrati, le cui corrispettive velocità delle onde elastiche sono richiamate in TABELLA 4.5.

La rappresentazione grafica è quella della FIGURA 4.17 FIGURA 4.16.

SISMOSTRATO		TETTO [m]	LETTO [m]	Vp [m/sec]
1	Stradello sterrato	0,00	2,00	300÷600
2	Marne alterate	2,00	9,00	600÷1.200
3	Marne	9,00	?	> 1.200

TABELLA 4.5 – Successione sismo-stratigrafica ricavata dall'interpretazione sismica.

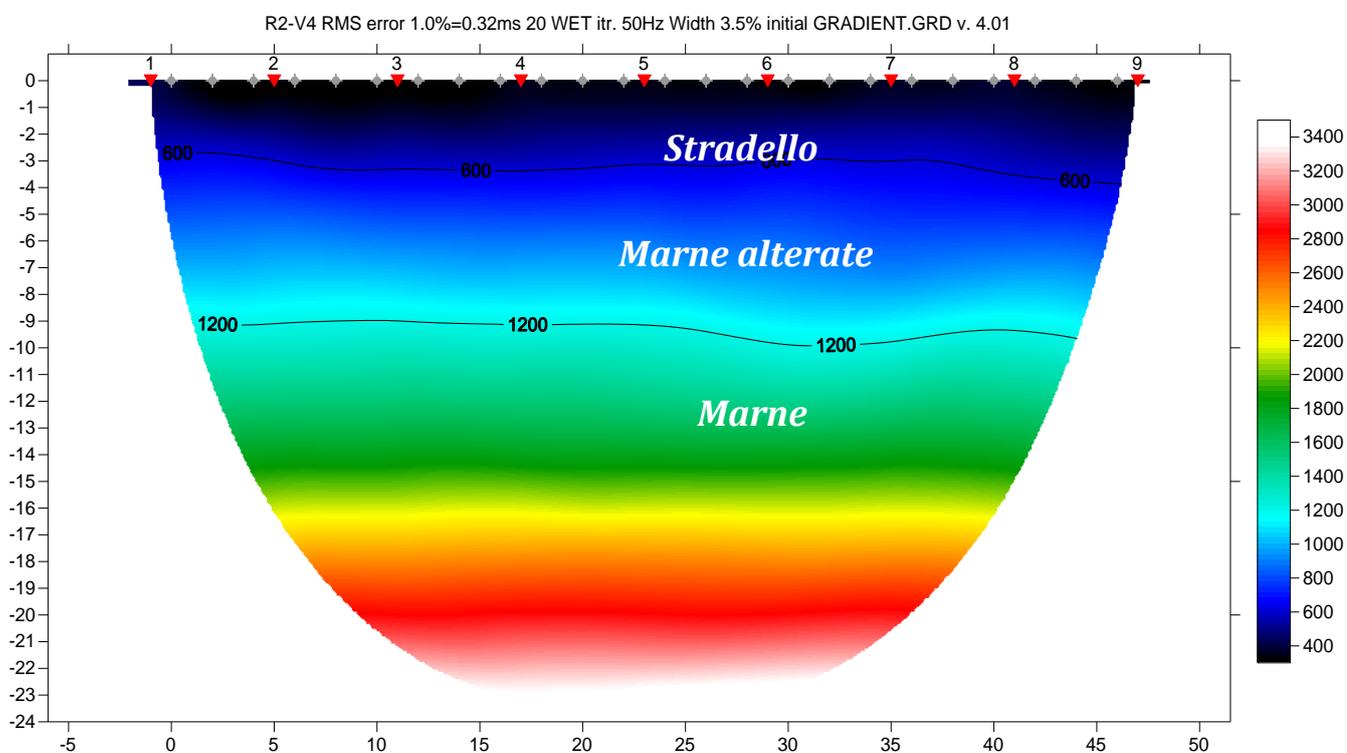


FIGURA 4.17 – Profilo di tomografia sismica.

4.2.3 Aerogeneratore V6 – Stendimento M3-R3

L'interpretazione dei dati sismici con il metodo tomografico, per le massime profondità raggiunte dalle onde (10 m) ha consentito di riconoscere n. 2 sismostrati, le cui corrispettive velocità delle onde elastiche sono richiamate in TABELLA 4.6.

La rappresentazione grafica è quella della FIGURA 4.18.

SISMOSTRATO		TETTO [m]	LETTO [m]	Vp [m/sec]
1	Coltre eluviale / Marne alterate	0,00	3,00	300÷1.400
3	Marne	3,00	?	> 1.400

TABELLA 4.6 – Successione sismo-stratigrafica ricavata dall'interpretazione sismica.

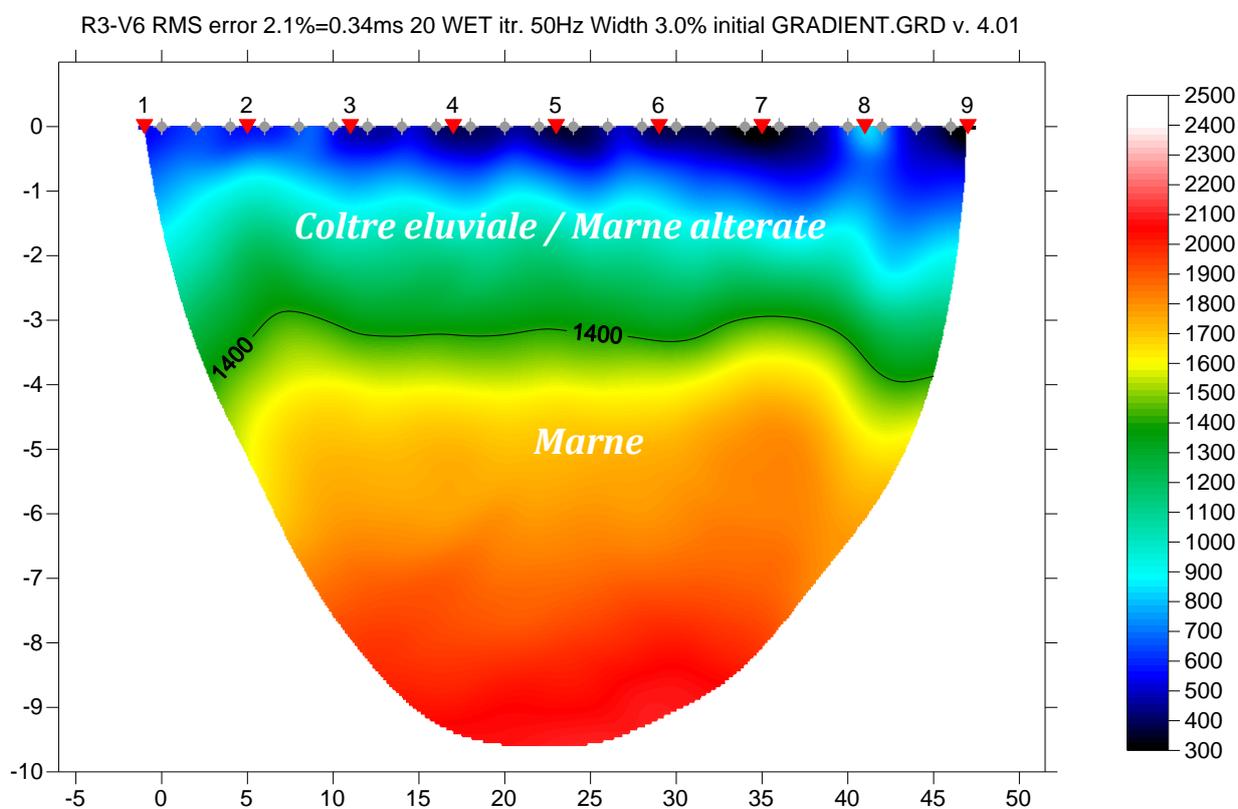


FIGURA 4.18 – Profilo di tomografia sismica.

4.3 SISMICA A RIFRAZIONE

4.3.1 Aerogeneratore V2 – Stendimento M1-R1

Le dromocrome determinate dopo aver eseguito il picking sono restituite in FIGURA 4.19. L'elaborazione è stata eseguita su tre strati (TABELLA 4.9).

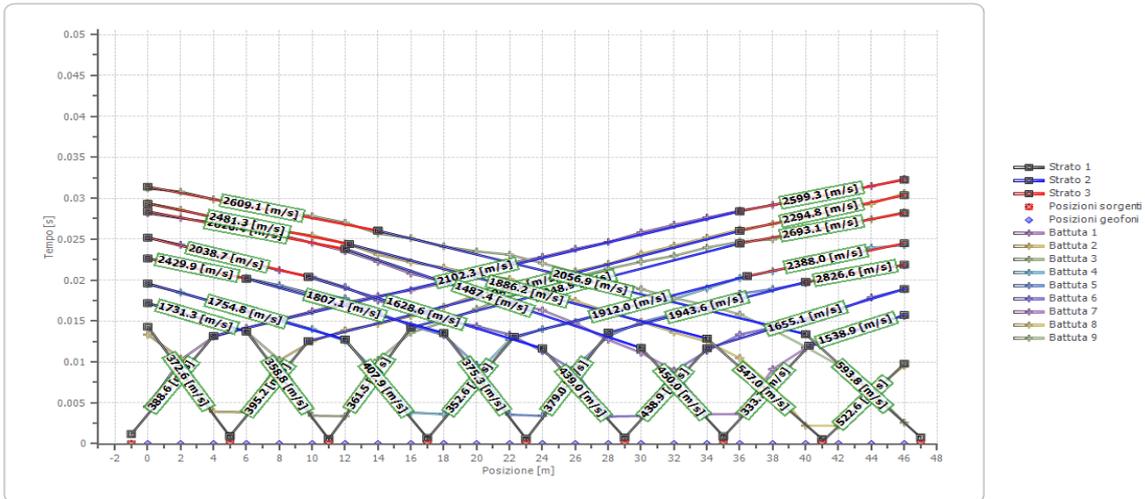


FIGURA 4.19 – Andamento delle dromocrome.

Valore di G (m)	STRATO N. 1	STRATO N. 2	STRATO N. 3
0,00	2,3	6,1	--
2,00	2,3	6,0	--
4,00	2,3	5,6	--
6,00	2,2	6,2	--
8,00	2,2	6,5	--
10,00	2,1	6,9	--
12,00	2,2	6,7	--
14,00	1,9	7,5	--
16,00	1,8	8,2	--
18,00	1,8	8,0	--
20,00	2,0	7,1	--
22,00	2,1	6,4	--
24,00	2,0	7,0	--
26,00	2,0	6,9	--
28,00	1,8	7,5	--
30,00	1,8	7,6	--
32,00	1,9	7,2	--
34,00	1,9	7,3	--
36,00	2,0	6,5	--
38,00	1,8	7,1	--
40,00	1,5	8,7	--
42,00	1,9	6,6	--
44,00	2,0	6,1	--
46,00	2,0	6,2	--
Velocità [m/sec]	419,8	1.816,9	2.464,3
Descrizione	Coltre eluviale	Marne alterate	Marne

TABELLA 4.7 – Dati scaturiti dall'elaborazione di sismica a rifrazione

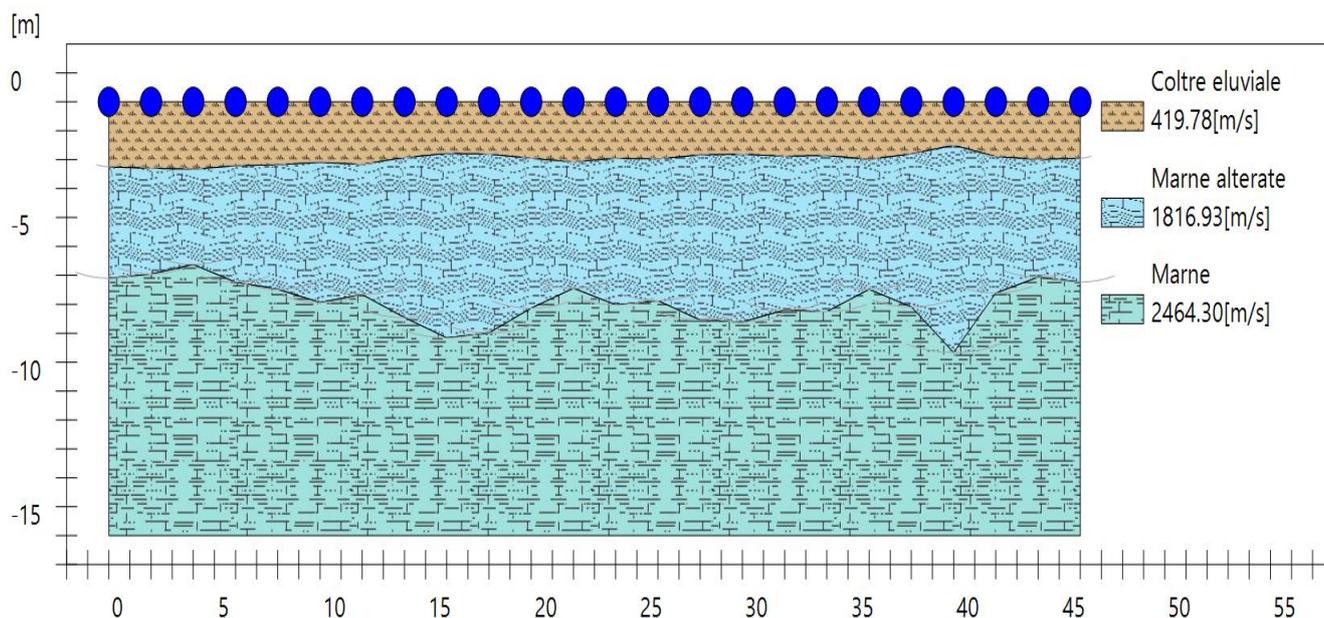


FIGURA 4.20 – Profilo sismostratigrafico.

Coefficiente Poisson	0,35	0,30	0,25
Densità [kg/m ³]	1.800	1.900	2.200
Vp [m/s]	419,78	1.816,93	2.464,30
Vs [m/s]	201,65	971,19	1.422,76
Modulo di deformazione al taglio [MPa]	73,20	1.792,10	4.453,35
Modulo edometrico [Mpa]	317,18	6.272,34	13.360,05
Modulo di compressibilità volumetrica [MPa]	243,98	4.480,24	8.906,70
Modulo di Young [Mpa]	197,63	4.659,45	11.133,38

TABELLA 4.8 – Parametri geotecnici scaturiti dall'elaborazione di sismica a rifrazione

4.3.2 Aerogeneratore V4 – Stendimento M2-R2

Le dromocrone determinate dopo aver eseguito il picking sono restituite in FIGURA 4.19. L'elaborazione è stata eseguita su due strati (TABELLA 4.9).

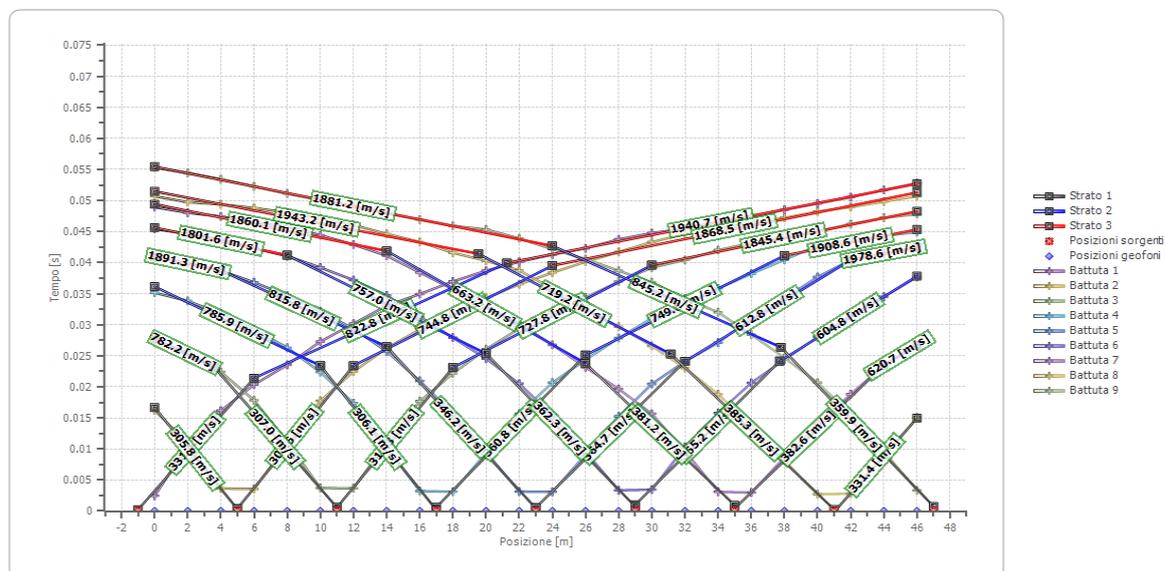


FIGURA 4.21 – Andamento delle dromocrome.

Valore di G (m)	STRATO N. 1	STRATO N. 2	STRATO N. 3
0,00	0,6	10,1	--
2,00	1,0	9,7	--
4,00	1,2	9,6	--
6,00	1,5	9,3	--
8,00	1,7	9,1	--
10,00	1,9	8,9	--
12,00	2,0	8,8	--
14,00	2,0	8,5	--
16,00	2,1	8,6	--
18,00	1,8	8,7	--
20,00	1,7	8,9	--
22,00	1,9	8,8	--
24,00	1,6	8,6	--
26,00	1,6	8,8	--
28,00	1,8	8,7	--
30,00	1,8	8,6	--
32,00	2,7	7,7	--
34,00	2,8	7,6	--
36,00	2,7	7,6	--
38,00	2,7	7,4	--
40,00	3,5	6,6	--
42,00	3,6	6,5	--
44,00	3,6	6,4	--
46,00	3,7	6,2	--
Velocità [m/sec]	344,1	691,0	1.834,8
Descrizione	Stradello	Marne alterate	Marne

TABELLA 4.9 – Dati scaturiti dall'elaborazione di sismica a rifrazione

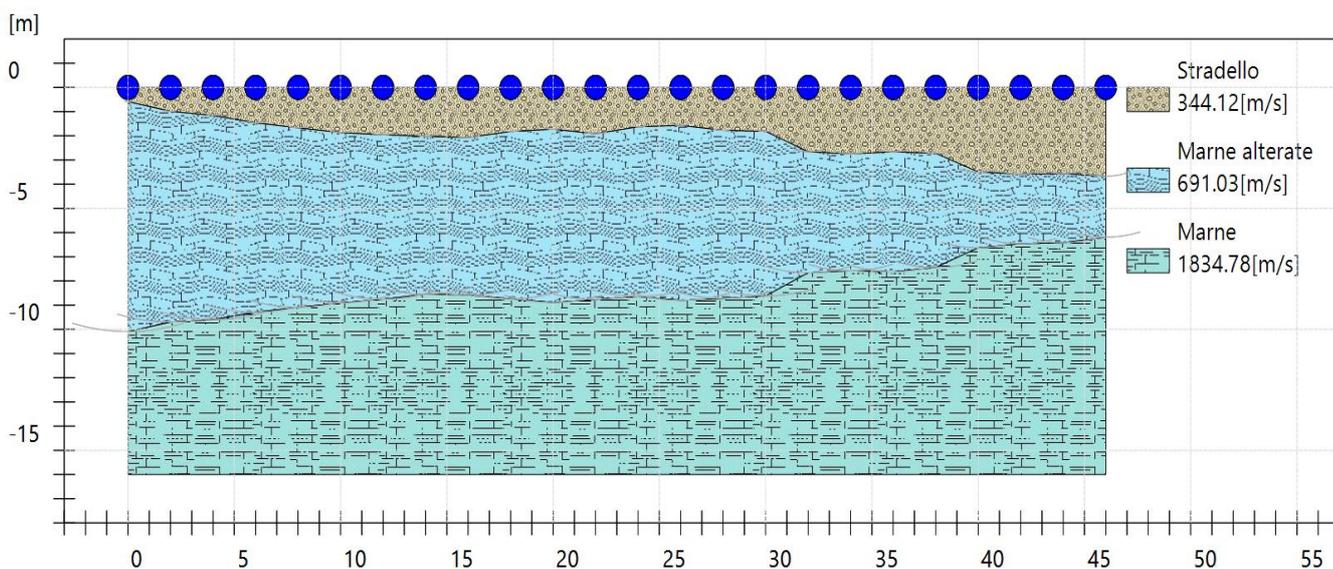


FIGURA 4.22 – Profilo sismostratigrafico.

Coefficiente Poisson	0,35	0,30	0,25
Densità [kg/m ³]	1.800	2.000	2.200
Vp [m/s]	344,12	691,03	1.834,78
Vs [m/s]	165,31	369,37	1.059,31
Modulo di deformazione al taglio [MPa]	49,19	272,87	2.468,71
Modulo edometrico [Mpa]	213,15	955,04	7.406,14
Modulo di compressibilità volumetrica [MPa]	163,96	682,17	4.937,43
Modulo di Young [Mpa]	132,81	709,46	6.171,79

TABELLA 4.10 – Parametri geotecnici scaturiti dall'elaborazione di sismica a rifrazione

4.3.3 Aerogeneratore V6 – Stendimento M3-R3

Le dromocrone determinate dopo aver eseguito il picking sono restituite in FIGURA 4.23. L'elaborazione è stata eseguita su due strati (TABELLA 4.11).

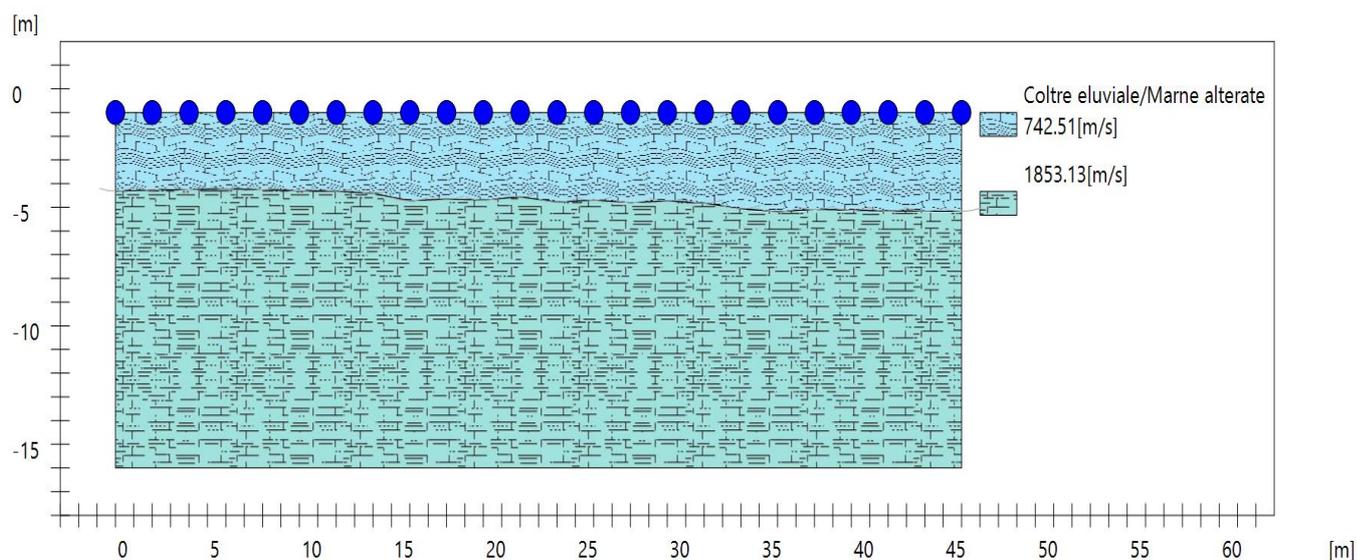


FIGURA 4.24 – Profilo sismostratigrafico.

Coefficiente Poisson	0,40	0,25
Densità [kg/m ³]	1.800	2.200
Vp [m/s]	742,51	1.853,13
Vs [m/s]	303,13	1.069,90
Modulo di deformazione al taglio [MPa]	165,40	2.518,32
Modulo edometrico [Mpa]	992,37	7.554,97
Modulo di compressibilità volumetrica [MPa]	826,98	5.036,64
Modulo di Young [Mpa]	463,11	6.295,80

TABELLA 4.12 – Parametri geotecnici scaturiti dall'elaborazione di sismica a rifrazione