



Regione
PUGLIA



COMUNE DI TORREMAGGIORE
Provincia di Foggia

Oggetto:

Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG) - località "Voiragni-Stella Nuova" e delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)

Località:

"Torremaggiore"



Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw
Rapporto Interpretativo

Luglio 2023

Antonella Marinelli
geologa
Antonella
Marinelli
N 879
ORDINE GEOLOGI
PUGLIA



**COMUNE DI
TORREMAGGIORE**

Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw a supporto de': "Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)

RELAZIONE GEOFISICA

Luglio 2023

Codice
elaborato

Pagina 1 di 23

INDICE

1. PREMESSA	2
2. PIANIFICAZIONE ED ESECUZIONE DEI LAVORI.....	2
2.1 METODOLOGIE IMPIEGATE.....	2
2.1.1. PROSPEZIONE SISMICA DI TIPO MASW	3
2.1.2. PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE	4
3. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	6
4. MODALITA' DI ESECUZIONE DEI RILIEVI: ATTIVITA' DI CAMPO.....	7
5. RISULTATI INDAGINE GEOFISICA.....	8
5.1 5.1. ELABORAZIONE INDAGINE SISMICA DI TIPO MASW	8
5.2 5.2. ELABORAZIONE INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE	13
6. CONCLUSIONI.....	22

 <p>COMUNE DI TORRETAGGIORE</p>	<p><i>Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw a supporto de': "Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)</i></p> <p>RELAZIONE GEOFISICA</p>	Luglio 2023
		Codice elaborato
		Pagina 2 di 23

Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG) - località "Voiragni-Stella Nuova" e delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)

RELAZIONE GEOFISICA

1. PREMESSA

Il presente rapporto è stato redatto a supporto de': *Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG) - località "Voiragni-Stella Nuova" e delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG).*

A tal proposito è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche, volta alla determinazione di alcune proprietà fisiche del sottosuolo consistente in:

- esecuzione di n. 4 prospezioni sismiche superficiali con tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves);
- esecuzione di n. 4 prospezioni sismiche a rifrazione.

La prospezione Masw è stata eseguita in accordo con le norme tecniche per le costruzioni del D. M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento per le norme Tecniche per le Costruzioni".

Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (V_s). Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (V_s). Mediante l'indagine sismica a rifrazione è stato possibile determinare le caratteristiche dinamiche del sottosuolo nella prima decina di metri con l'individuazione delle principali unità geofisiche e delle relative proprietà meccaniche elastiche, quali velocità delle onde longitudinali P (V_p), velocità delle onde trasversali S (V_s) ed i relativi parametri elastici (E , G , K e ν).

2. PIANIFICAZIONE ED ESECUZIONE DEI LAVORI

2.1 METODOLOGIE IMPIEGATE

Nell'area oggetto di studio è stata applicata una specifica metodologia d'indagine geofisica, di cui vengono evidenziati brevemente i fondamenti teorici.



**COMUNE DI
TORREMAGGIORE**

Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw a supporto de': "Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)

RELAZIONE GEOFISICA

Luglio 2023

Codice
elaborato

Pagina 3 di 23

2.1.1. PROSPEZIONE SISMICA DI TIPO MASW

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

Dove

h_i = spessore dello strato i esimo;

V_{si} = velocità delle onde di taglio nell' i esimo strato;

N = numero di strati;

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

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{S30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Tale parametro può essere determinato attraverso indagini indirette ed in particolar modo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh, ossia onde di superficie generate dall'interazione tra onde di pressione (P) e le onde di taglio verticali (Sv) ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo.

In presenza di un semispazio non omogeneo la loro velocità presenta dipendenza dalla frequenza, provocando dispersione della loro energia.

La dispersione è la deformazione di un treno d'onde nel sottosuolo dovuta ad una variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza; per le onde di Rayleigh questa deformazione non si manifesta all'interno di un semispazio omogeneo e isotropo ma solo quando questi presenta una stratificazione.

Nelle nuove metodologie sismiche d'indagine del sottosuolo si considerano le onde di superficie in quanto la percentuale di energia convertita è di gran lunga predominante rispetto alle onde P ed S; inoltre l'ampiezza di tali onde dipende da \sqrt{r} anziché da r (distanza dalla sorgente in superficie) come per le onde di volume.

 <p>COMUNE DI TORREMAGGIORE</p>	<p><i>Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw a supporto de': "Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)</i></p> <p>RELAZIONE GEOFISICA</p>	Luglio 2023
		Codice elaborato
		Pagina 4 di 23

La propagazione delle onde di Rayleigh, sebbene influenzata dalla V_p e dalla densità, è funzione anzitutto della V_s , che rappresenta un parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito.

L'analisi delle onde S mediante tecnica MASW viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, che, a seguito di una trasformata di Fourier, restituisce lo spettro del segnale. In questo dominio è possibile separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P, propagazione in aria ecc.

Osservando lo spettro di frequenza è possibile evidenziare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della sua frequenza, come risultato del fenomeno della dispersione.

La metodologia Masw risulta particolarmente indicata in ambienti con spaziature limitate e, a differenza della sismica a rifrazione, consente di individuare la presenza di inversioni di velocità con la profondità, associabili alla presenza di strati "lenti" al di sotto del bedrock roccioso.

Tuttavia, un limite di tale metodologia è che esso risente particolarmente del principio di indeterminazione e, fornendo un modello mono-dimensionale del sottosuolo, rende necessaria l'applicazione di altre metodologie d'indagine per fornire un modello geofisico-geologico più attendibile.

2.1.2. PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE

La prospezione sismica considera i tempi di propagazione di onde elastiche che, generate al suolo, si propagano nel semispazio riflettendosi e rifrangendosi su eventuali superfici di discontinuità presenti.

Quando un'onda sismica incontra una superficie di separazione tra due mezzi con caratteristiche elastiche differenti, una parte dell'energia dell'onda si riflette nello stesso mezzo in cui si propaga l'onda incidente, e una parte si rifrange nel mezzo sottostante.

Le relazioni matematiche dei principi fisici della riflessione e rifrazione sono regolate dalle note leggi di Snell. La condizione necessaria per la riflessione e la rifrazione di un raggio sismico è la variazione del parametro impedenza sismica fra i 2 mezzi separati dalla superficie di discontinuità. L'impedenza sismica si determina attraverso il prodotto tra la velocità di propagazione dell'onda nel mezzo per la densità del materiale attraversato.

Ogni litotipo è caratterizzato da una particolare velocità di propagazione, determinata sperimentalmente attraverso prove di laboratorio o in situ. La velocità di propagazione delle onde sismiche nelle rocce dipende essenzialmente dai parametri elastici che sono influenzati, a loro volta, da numerosi fattori quali, ad esempio, la densità, la porosità, la tessitura, il grado di

 <p>COMUNE DI TORRETAGGIORE</p>	<p><i>Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw a supporto de': "Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)</i></p> <p>RELAZIONE GEOFISICA</p>	Luglio 2023
		Codice elaborato
		Pagina 5 di 23

alterazione e/o di fratturazione, la composizione mineralogica, la pressione, il contenuto di fluidi, ecc.

Questi parametri rendono piuttosto ampio il campo di variabilità della velocità per uno stesso litotipo. Per questo motivo, non sempre un orizzonte individuato con metodologie sismiche coincide con un orizzonte litologico.

Un impulso generato da una sorgente sismica in superficie genera un treno d'onde sismiche di varia natura; in fase di acquisizione e di elaborazione è possibile analizzare onde sismiche di volume o di superficie, a seconda delle modalità con cui esse si propagano nel sottosuolo.

In funzione del tipo di analisi delle onde sismiche investigate, è possibile distinguere fra la metodologia d'indagine sismica a rifrazione (analisi di onde di volume) e di tipo MASW (analisi di onde di superficie).

Disponendo un certo numero di sensori (geofoni) sul terreno lungo uno stendimento sismico e osservando il tempo di percorrenza delle onde per giungere ai sensori, è possibile determinare la velocità di propagazione delle onde sismiche che attraversano i vari strati nel sottosuolo, consentendo una ricostruzione attendibile delle sue caratteristiche elastico-dinamiche.

Al fine di una corretta interpretazione dei risultati dell'indagine sismica è importante sottolineare che:

- a) i sismostrati non sono necessariamente associabili a litotipi ben definiti, ma sono rappresentativi di livelli con simili caratteristiche elastiche, in cui le onde sismiche si propagano con la stessa velocità;
- b) la risoluzione del metodo è funzione della profondità di indagine e la risoluzione diminuisce con la profondità: considerato uno strato di spessore h ubicato a profondità z dal piano campagna, in generale non è possibile individuare sismostrati in cui $h < 0.25 * z$;
- c) nelle indagini superficiali, le onde di taglio (onde S), meno veloci, arrivano in un tempo successivo, per cui il segnale registrato sarà la risultante delle onde S con le onde P; quindi la lettura dei tempi di arrivo delle onde S può risultare meno precisa della lettura dei tempi di arrivo delle onde P;
- d) le velocità delle onde p, misurate in terreni saturi o molto umidi dipende, talora in maniera decisiva, dalle vibrazioni trasmesse dall'acqua interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, perciò tale valore può non essere rappresentativo delle proprietà meccaniche del materiale in questione. Ne consegue che per alcuni terreni al di sotto della falda, le uniche onde in grado di fornire informazioni precise sulla rigidezza del terreno sono quelle di taglio.



COMUNE DI
TORREMAGGIORE

Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw a supporto de': "Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)

RELAZIONE GEOFISICA

Luglio 2023

Codice
elaborato

Pagina 6 di 23

3. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Le prospezioni geofisiche sono state eseguite con l'ausilio della seguente strumentazione:

Sismografo **PASI mod. GEA24**.



SPECIFICHE TECNICHE GEA 24	
Numero di canali	24 can. + trigger (can. AUX)
Conversione Dati	Convertitore Analogico/Digitale Sigma-Delta 24 bit reali (compatibile con geofoni analogici a qualsiasi frequenza di risonanza)
Intervallo Campionamento	Acquisizioni "a pacchetto": - fino a 125 microsec (8000sps) con 24 can. - fino a 31.25 microsec (32000sps) con 6 can. Acquisizione continua: - fino a 4000 microsec (250sps) con 24 can. - fino a 500 microsec (2000sps) con 3 can.
Lunghezza Acquisizione	27500 campioni @ 24 can. (+aux) 174500 campioni @ 3 can. (+aux) Numero di campioni illimitato per acquisizioni continue
Guadagno Preamp.	0/52 dB, selezionabile via software
Stacking	Numero di stacking illimitato
Impedenza di ingresso	2M Ω // 22nF
Rapporto S/N	117db @1ksps



COMUNE DI
TORREMAGGIORE

Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw a supporto de': "Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)

RELAZIONE GEOFISICA

Luglio 2023

Codice
elaborato

Pagina 7 di 23

Distorsione	0.007% @16kHz
Largh.Banda -3dB Largh.Banda +/- 0.1dB	6.8kHz@32ksps - 0.21 kHz@1ksps 3.5 kHz@32ksps - 0.11 kHz@1ksps
Filtri	Passa Basso: 125-200-500-1000Hz Passa Alto: 10-20-30-40-50-70-100-150-200-300-400Hz
Filtri "Notch"	50-60Hz + armoniche
Trigger	Contatto normalmente chiuso, normalmente aperto (es. per uso con esplosivo), segnale analogico (geofono starter, starter piezoelettrico), trigger TTL. Sensibilità del trigger regolabile via software
Visualizzazione Tracce	Wiggle-trace (formato oscilloscopio) / area variabile
Noise-monitor	Tutti i canali + trigger
Canale AUX (ausiliario)	1x (per il trigger o qualsiasi altro segnale in ingresso)
Interfaccia comunicazione	1x USB 2.0 per PC esterno (di fornitura Cliente)
Formato Dati	SEG2, SAF (altri formati su richiesta)
Alimentazione	5VDC da USB, 0.25A
Temp.operativa/stoccaggio	-30°C to +80°C
Umidità	80% umidità relativa, non condensante
Dimensioni	24cm x19.5cm x11cm
Peso	2 Kg

4. MODALITA' DI ESECUZIONE DEI RILIEVI: ATTIVITA' DI CAMPO

Indagine sismica di tipo MASW

La tecnica MASW prevede l'utilizzo di una sorgente attiva per l'energizzazione (massa battente di peso pari a 8 Kg) e la registrazione simultanea di 12 o più canali, utilizzando geofoni a bassa frequenza. Infatti l'esigenza di analizzare con elevato dettaglio basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 20 Hz e corrispondenti a maggiori profondità d'investigazione) richiede la necessità di utilizzare geofoni ad asse verticale con frequenza di taglio non superiore a 4,5 Hz.

Per i 4 profili Masw eseguiti è stata adottata la seguente configurazione:

- lunghezza stendimento = 44.00 m;
- numero geofoni = 12;
- Spaziatura = 4.00 m;
- offset di scoppio = 2.00 metri;
- durata dell'acquisizione = 1 secondo;
- tempo di campionamento = 1 millisecondo.

Per energizzare il terreno è stata usata una sorgente impulsiva del tipo "mazza battente" di peso pari a 8 Kg, ad impatto verticale su piastra per la generazione delle onde sismiche.

 <p>COMUNE DI TORRETAGGIORE</p>	<p><i>Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw a supporto de': "Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)</i></p> <p>RELAZIONE GEOFISICA</p>	Luglio 2023
		Codice elaborato
		Pagina 8 di 23

Contrariamente a quanto richiesto nell'indagine sismica a rifrazione, il segnale sismico acquisito nella tecnica MASW deve includere tutto il treno d'onda superficiale; pertanto la durata dell'acquisizione deve essere definita in modo da contenere tutto il segnale e non troncato nelle ultime tracce.

Per quanto concerne il tempo di campionamento, mentre nella sismica a rifrazione si utilizza un tempo di campionamento più basso per ricostruire con dettaglio i primi arrivi dell'onda sismica, nell'indagine sismica Masw è sufficiente un campionamento più ampio per ricostruire tutto il segnale sismico.

Inoltre, lo stesso segnale viene acquisito senza applicazione di filtri e incrementi del segnale.

Indagine sismica a rifrazione

L'indagine sismica a rifrazione è consistita nell'esecuzione di n. 4 profili con acquisizione di onde longitudinali (P), aventi le seguenti configurazioni spaziali e temporali:

- lunghezza stendimento = 44.00 m;
- numero geofoni = 12;
- Spaziatura = 4.00 m;
- End shot A = 0.00 metri;
- Central Shot E = 24.00 metri;
- End Shot B = 48.00 metri;
- durata dell'acquisizione = 128 msec;
- tempo di campionamento = 250 µsec;
- Frequenza geofoni = 10.00 Hz;
- Sistema di energizzazione = "massa battente".

5. RISULTATI INDAGINE GEOFISICA

La topografia della superficie del sito investigato risulta essere subpianeggiante; il rumore ambientale poco rilevante.

Per tutte le stese si è utilizzato un sistema di riferimento relativo, la cui origine è posta in corrispondenza dell'end shot esterno al 1° geofono per l'indagine sismica a rifrazione e Masw.

5.1 5.1. ELABORAZIONE INDAGINE SISMICA DI TIPO MASW

La fase di elaborazione si sviluppa in due fasi:

- 1) determinazione della curva di dispersione e la valutazione dello spettro di velocità;



**COMUNE DI
TORRETAGGIORE**

Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw a supporto de': "Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)

RELAZIONE GEOFISICA

Luglio 2023

Codice
elaborato

Pagina 9 di 23

2) inversione della curva di dispersione interpretata, mediante picking di un modo dell'onda di Rayleigh e successiva applicazione di algoritmi genetici.

La sovrapposizione della curva teorica e sperimentale fornisce un parametro abbastanza indicativo sull'attendibilità del modello geofisico risultante.

Per l'inversione dei dati sperimentali è stato utilizzato il software WinMasw 4.0 della Eliosoft.

Le curve di dispersione ed i sismogrammi sperimentali, nonché le relative sezioni elaborate sono mostrati negli allegati.

L'indagine sismica ha consentito di determinare le caratteristiche elastodinamiche del terreno investigato e definire la categoria del sottosuolo di fondazione.

Di seguito si riportano le velocità delle onde S relative alle basi sismiche investigate:

Prospezione Masw 1

L'indagine Masw, eseguita ai sensi delle NTC 2018, ha restituito un valore di $V_{s30}=312$ m/s, coincidente col valore della $V_{s,eq}$, in quanto non è stato intercettato il bedrock (definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, con $V_s > 800$ m/sec) ad una profondità $H = 30.00$ m dal p.c..

Di seguito si riportano i valori delle V_s in funzione delle profondità considerate:

Valore del $V_{s30} = 312$ m/sec
Valore del $V_{s,eq} = 312$ m/sec

MASW	Velocità onde di taglio (m/sec)	Spessori (m)	Profondità (m)
SISMOSTRATO I	143	2.4	0.00 – 2.40
SISMOSTRATO II	213	4.6	2.40 – 7.00
SISMOSTRATO III	288	8.3	7.00 – 15.30
SISMOSTRATO IV	510	Semispazio	Semispazio
$V_{s,eq} = 312$ m/sec			

Per quanto attiene le correlazioni tra le unità sismostratigrafiche e litologie investigate, si rimanda il lettore alla tabella seguente:

Sismostrati	Litologia investigata	Profondità (m)
SISMOSTRATO I	Terreno vegetale; inferiormente limo;	0.00 – 2.40
SISMOSTRATO II	Argilla limosa;	2.40 – 7.00
SISMOSTRATO III	Argilla;	7.00 – 15.30
SISMOSTRATO IV	Argilla con migliori proprietà tecniche;	Semispazio



**COMUNE DI
TORRETAGGIORE**

Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw a supporto de': "Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)

RELAZIONE GEOFISICA

Luglio 2023

Codice
elaborato

Pagina 10 di 23

Prospezione Masw 2

L'indagine Masw, eseguita ai sensi delle NTC 2018, ha restituito un valore di $V_{s30}=314$ m/s, coincidente col valore della $V_{s,eq}$, in quanto non è stato intercettato il bedrock (definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, con $V_s>800$ m/sec) ad una profondità $H = 30.00$ m dal p.c..

Di seguito si riportano i valori delle V_s in funzione delle profondità considerate:

Valore del $V_{s30} = 314$ m/sec
Valore del $V_{s,eq} = 314$ m/sec

MASW	Velocità onde di taglio (m/sec)	Spessori (m)	Profondità (m)
SISMOSTRATO I	159	1.90	0.00 – 1.90
SISMOSTRATO II	200	4.00	1.90 – 5.90
SISMOSTRATO III	325	11.80	5.90 – 17.70
SISMOSTRATO IV	449	Semispazio	Semispazio

$V_{s,eq} = 314$ m/sec

Per quanto attiene le correlazioni tra le unità sismostratigrafiche e litologie investigate, si rimanda il lettore alla tabella seguente:

Sismostrati	Litologia investigata	Profondità (m)
SISMOSTRATO I	Terreno vegetale; inferiormente limo;	0.00 – 1.90
SISMOSTRATO II	Argilla limosa;	1.90 – 5.90
SISMOSTRATO III	Argilla;	5.90 – 17.70
SISMOSTRATO IV	Argilla con migliori proprietà tecniche;	Semispazio

Prospezione Masw 3

L'indagine Masw, eseguita ai sensi delle NTC 2018, ha restituito un valore di $V_{s30}=262$ m/s, coincidente col valore della $V_{s,eq}$, in quanto non è stato intercettato il bedrock (definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, con $V_s>800$ m/sec) ad una profondità $H = 30.00$ m dal p.c..

Di seguito si riportano i valori delle V_s in funzione delle profondità considerate:

Valore del $V_{s30} = 262$ m/sec
Valore del $V_{s,eq} = 262$ m/sec



COMUNE DI
TORRETAGGIORE

Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw a supporto de': "Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)

RELAZIONE GEOFISICA

Luglio 2023

Codice
elaborato

Pagina 11 di 23

MASW	Velocità onde di taglio (m/sec)	Spessori (m)	Profondità (m)
SISMOSTRATO I	138	2.10	0.00 – 2.10
SISMOSTRATO II	181	6.30	2.10 – 8.40
SISMOSTRATO III	251	9.70	8.40 – 18.10
SISMOSTRATO IV	455	Semispazio	Semispazio
$V_{s,eq} = 262 \text{ m/sec}$			

Per quanto attiene le correlazioni tra le unità sismostratigrafiche e litologie investigate, si rimanda il lettore alla tabella seguente:

Sismostrati	Litologia investigata	Profondità (m)
SISMOSTRATO I	Terreno vegetale; inferiormente limo;	0.00 – 2.10
SISMOSTRATO II	Argilla limosa;	2.10 – 8.40
SISMOSTRATO III	Argilla;	8.40 – 18.10
SISMOSTRATO IV	Argilla con migliori proprietà tecniche;	Semispazio

Prospezione Masw 4

L'indagine Masw, eseguita ai sensi delle NTC 2018, ha restituito un valore di $V_{s30}=279 \text{ m/s}$, coincidente col valore della $V_{s,eq}$, in quanto non è stato intercettato il bedrock (definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, con $V_s > 800 \text{ m/sec}$) ad una profondità $H = 30.00 \text{ m}$ dal p.c..

Di seguito si riportano i valori delle V_s in funzione delle profondità considerate:

Valore del $V_{s30} = 279 \text{ m/sec}$
Valore del $V_{s,eq} = 279 \text{ m/sec}$

MASW	Velocità onde di taglio (m/sec)	Spessori (m)	Profondità (m)
SISMOSTRATO I	108	1.00	0.00 – 1.00
SISMOSTRATO II	186	4.00	1.00 – 5.00
SISMOSTRATO III	234	10.40	5.00 – 15.40
SISMOSTRATO IV	452	Semispazio	Semispazio
$V_{s,eq} = 279 \text{ m/sec}$			

Per quanto attiene le correlazioni tra le unità sismostratigrafiche e litologie investigate, si rimanda il lettore alla tabella seguente:



COMUNE DI
TORREMAGGIORE

Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw a supporto de': "Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)

RELAZIONE GEOFISICA

Luglio 2023

Codice
elaborato

Pagina 12 di 23

Sismostrati	Litologia investigata	Profondità (m)
SISMOSTRATO I	Terreno vegetale; inferiormente limo;	0.00 – 1.00
SISMOSTRATO II	Limo sabbioso;	1.00 – 5.00
SISMOSTRATO III	Argilla;	5.00 – 15.40
SISMOSTRATO IV	Argilla con migliori proprietà tecniche;	Semispazio

Di seguito si riporta la tabella di riferimento relativa alle categorie di sottosuolo:

CATEGORIE SUOLI DI FONDAZIONE	
A	<i>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 di 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Deposit</i> <i>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 equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Deposit</i> <i>di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Pur evidenziando che l'indagine MASW risente particolarmente del problema della non univocità del modello geofisico rispetto ai dati sperimentali ed è principalmente finalizzata alla determinazione del parametro $V_{s,eq}$ più che alla ricostruzione sismostratigrafica del sottosuolo, è stato possibile evidenziare una congruenza fra il modello ricavato dalle indagini Masw con quello determinato dall'indagine sismica a rifrazione.

Sulla base di valutazioni incrociate sull'attendibilità dei risultati ottenuti dalle ricostruzioni sismiche è possibile scegliere il modello ritenuto più conforme alla situazione litostratigrafica presente nell'area e di cui è sempre preferibile avere a disposizione informazioni dirette di tipo geologico, geotecnico e/o idrogeologico.



**COMUNE DI
TORREMAGIORE**

Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw a supporto de': "Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)

RELAZIONE GEOFISICA

Luglio 2023

Codice
elaborato

Pagina 13 di 23

5.2.5.2. ELABORAZIONE INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE

Dai sismogrammi sperimentali sono stati letti i tempi di arrivo dei "first-break" attraverso l'utilizzo del software SISMOPC per la costruzione delle relative dromocrone (diagrammi tempo-distanza), mostrate in allegato.

L'interpretazione delle dromocrone, anche questa eseguita con processi computerizzati, è stata effettuata attraverso il software INTERSISM della Geo&Soft, utilizzando come tecnica di interpretazione il Metodo GRM.

Sempre in allegato è riportata la sezione sismostratigrafica interpretativa, ottenuta, scegliendo un modello a 3 strati.

Di seguito si riportano le velocità delle onde P ed S relative alle basi sismiche investigate:

Profilo sismico a rifrazione 1

Sismica a Rifrazione	Velocità Onde P (m/sec)	Velocità Onde S (m/sec)	Profondità	
			Da (m)	a (m)
SISMOSTRATO I	348	143	0.00	1.80 – 2.50
SISMOSTRATO II	1432	213	1.80 – 2.50	5.90 – 8.70
SISMOSTRATO III	1957	288	indefinito	

Per quanto attiene le correlazioni tra le unità sismostratigrafiche e litologie investigate, si rimanda il lettore alla tabella seguente:

Sismostrati	Litologia investigata
SISMOSTRATO I	Terreno vegetale; inferiormente limo;
SISMOSTRATO II	Argilla limosa;
SISMOSTRATO III	Argilla;

Nella tabella sottostante sono indicati i principali parametri elastici ricavati dall'indagine sismica, dove si è indicato con E (modulo di Young), G (modulo di taglio) e K (modulo di incompressibilità) espressi in Kg/cm², γ (peso di volume) è espresso in kN/m³, mentre ν (coefficiente di Poisson) rappresenta un numero adimensionale.

MODULI DINAMICI PROFILO 1			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	348	1432	1957



COMUNE DI
TORREMAGIORE

Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw
a supporto de': "Progetto definitivo di un parco eolico
composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a
6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)

RELAZIONE GEOFISICA

Luglio 2023

Codice
elaborato

Pagina 14 di 23

Velocità Onde S (m/s):	143	213	288
Modulo di Poisson:	0.40	0.49	0.49
Peso di volume (KN/m ³):	16.70	18.86	19.91
Peso di volume (g/cm ³):	1.70	1.92	2.03
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	2.40	4.60	8.30
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Kg/cm ²)	994	2651	5118
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Mpa o Nmm ²)	97	260	502
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Kg/cm ²)	35	87	168
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Mpa o Nmm ²)	3	9	17
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm ²) (mod. di incompressibilità di volume)	1630	39063	77066
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm ²)	160	3831	7558
MODULO DI YOUNG STATICO E _{stat} (Kg/cm ²)	120	319	617
POROSITA' % (correlazione Rzheshvky e Novik (1971) (%))	47.50	37.36	32.46
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (valido per le terre)	206	3945	7777
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (Relazione di Navier)	253	4848	9559
RIGIDITA' SISMICA (m/sec · KN/m ³)	2388	4018	5735
Frequenza dello strato	14.90	11.58	8.67
Periodo dello strato	0.07	0.086	0.115
B (Larghezza fondazione in m.)	1.0	1.0	1.0
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm ³)	3.79	9.87	20.36



COMUNE DI
TORREMAGGIORE

Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw a supporto de': "Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)

RELAZIONE GEOFISICA

Luglio 2023

Codice
elaborato

Pagina 15 di 23

Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm³)	37.20	96.81	199.68
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm³)	1.90	4.94	10.18
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm³)	18.60	48.40	99.84

Profilo sismico a rifrazione 2

Sismica a Rifrazione	Velocità Onde P (m/sec)	Velocità Onde S (m/sec)	Profondità	
			Da (m)	a (m)
SISMOSTRATO I	633	159	0.00	1,70 - 2,20
SISMOSTRATO II	1655	200	1.70 - 2.20	4.30 - 6.50
SISMOSTRATO III	1902	325	indefinito	

Per quanto attiene le correlazioni tra le unità sismostratigrafiche e litologie investigate, si rimanda il lettore alla tabella seguente:

Sismostrati	Litologia investigata
SISMOSTRATO I	Terreno vegetale; inferiormente limo;
SISMOSTRATO II	Argilla limosa;
SISMOSTRATO III	Argilla;

Nella tabella sottostante sono indicati i principali parametri elastici ricavati dall'indagine sismica, dove si è indicato con E (modulo di Young), G (modulo di taglio) e K (modulo di incompressibilità) espressi in Kg/cm², γ (peso di volume) è espresso in kN/m³, mentre ν (coefficiente di Poisson) rappresenta un numero adimensionale.

MODULI DINAMICI PROFILO 2			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	633	1655	1902
Velocità Onde S (m/s):	159	200	325
Modulo di Poisson:	0.47	0.49	0.48
Peso di volume (KN/m³):	18.27	19.31	19.80
Peso di volume (g/cm³):	1.86	1.97	2.02



COMUNE DI
TORREMAGGIORE

Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw
a supporto de': "Progetto definitivo di un parco eolico
composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a
6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)

RELAZIONE GEOFISICA

Luglio 2023

Codice
elaborato

Pagina 16 di 23

SPESSORE MEDIO STRATO (m)	1.90	4.00	11.80
MODULO DI YOUNG DINAMICO E_{din} (Kg/cm ²)	1409	2399	6464
MODULO DI YOUNG DINAMICO E_{din} (Mpa o Nmm ²)	138	235	634
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G_{din} (Kg/cm ²)	47	79	213
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G_{din} (Mpa o Nmm ²)	5	8	21
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm ²) (mod. di incompressibilità di volume)	6975	53962	71643
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm ²)	684	5292	7026
MODULO DI YOUNG STATICO E_{stat} (Kg/cm ²)	170	289	779
POROSITA' % (correlazione Rzheshvky e Novik (1971) (%))	44.83	35.28	32.97
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (valido per le terre)	746	5393	7305
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (Relazione di Navier)	917	6628	8980
RIGIDITA' SISMICA (m/sec · KN/m ³)	2904	3862	6436
Frequenza dello strato	20.92	12.50	6.89
Periodo dello strato	0.05	0.080	0.145
B (Larghezza fondazione in m.)	1.0	1.0	1.0
K_v (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm ³)	4.89	8.49	27.21
K_v (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm ³)	47.99	83.23	266.88
K_h (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm ³)	2.45	4.24	13.61
K_h (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm ³)	23.99	41.61	133.44



COMUNE DI
TORRETAGGIORE

Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw a supporto de': "Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)

RELAZIONE GEOFISICA

Luglio 2023

Codice
elaborato

Pagina 17 di 23

Profilo sismico a rifrazione 3

Sismica a Rifrazione	Velocità Onde P (m/sec)	Velocità Onde S (m/sec)	Profondità	
			Da (m)	a (m)
SISMOSTRATO I	432	138	0.00	1.60 – 2.60
SISMOSTRATO II	1475	181	1.60 – 2.60	5.50 – 8.50
SISMOSTRATO III	2008	251	<i>indefinito</i>	

Per quanto attiene le correlazioni tra le unità sismostratigrafiche e litologie investigate, si rimanda il lettore alla tabella seguente:

Sismostrati	Litologia investigata
SISMOSTRATO I	Terreno vegetale; inferiormente limo;
SISMOSTRATO II	Argilla limosa;
SISMOSTRATO III	Argilla;

Nella tabella sottostante sono indicati i principali parametri elastici ricavati dall'indagine sismica, dove si è indicato con E (modulo di Young), G (modulo di taglio) e K (modulo di incompressibilità) espressi in Kg/cm², γ (peso di volume) è espresso in kN/m³, mentre ν (coefficiente di Poisson) rappresenta un numero adimensionale.

MODULI DINAMICI PROFILO 3			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	432	1475	2008
Velocità Onde S (m/s):	138	181	251
Modulo di Poisson:	0.44	0.49	0.49
Peso di volume (KN/m ³):	17.86	18.95	20.02
Peso di volume (g/cm ³):	1.82	1.93	2.04
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	2.10	6.30	9.70
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Kg/cm ²)	1022	1928	3916
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Mpa o Nmm ²)	100	189	384
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Kg/cm ²)	35	63	129



COMUNE DI
TORRETAGGIORE

Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw a supporto de': "Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)

RELAZIONE GEOFISICA

Luglio 2023

Codice
elaborato

Pagina 18 di 23

MODULO DI TAGLIO DINAMICO Gdin (Mpa o Nmm ²)	3	6	13
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm ²) (mod. di incompressibilità di volume)	2997	42037	82226
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm ²)	294	4122	8064
MODULO DI YOUNG STATICO E _{stat} (Kg/cm ²)	123	232	472
POROSITA' % (correlazione Rzheshky e Novik (1971) (%))	46.71	36.96	31.98
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (valido per le terre)	340	4204	8230
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (Relazione di Navier)	418	5166	10115
RIGIDITA' SISMICA (m/sec · KN/m ³)	2465	3430	5024
Frequenza dello strato	16.43	7.18	6.47
Periodo dello strato	0.06	0.139	0.155
B (Larghezza fondazione in m.)	1.0	1.0	1.0
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm ³)	3.48	6.68	14.64
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm ³)	34.16	65.50	143.55
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm ³)	1.74	3.34	7.32
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm ³)	17.08	32.75	71.78

Profilo sismico a rifrazione 4

Sismica a Rifrazione	Velocità Onde P (m/sec)	Velocità Onde S (m/sec)	Profondità	
			Da (m)	a (m)
SISMOSTRATO I	472	108	0.00	0.90 – 1.50
SISMOSTRATO II	648	186	0.90 – 1.50	4.10 – 5.10
SISMOSTRATO III	1627	234	indefinito	

Per quanto attiene le correlazioni tra le unità sismostratigrafiche e litologie investigate, si rimanda il lettore alla tabella seguente:



COMUNE DI
TORRETAGGIORE

Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw
a supporto de': "Progetto definitivo di un parco eolico
composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a
6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)

RELAZIONE GEOFISICA

Luglio 2023

Codice
elaborato

Pagina 19 di 23

Sismostrati	Litologia investigata
SISMOSTRATO I	Terreno vegetale; inferiormente limo;
SISMOSTRATO II	Limo sabbioso;
SISMOSTRATO III	Argilla;

Nella tabella sottostante sono indicati i principali parametri elastici ricavati dall'indagine sismica, dove si è indicato con E (modulo di Young), G (modulo di taglio) e K (modulo di incompressibilità) espressi in Kg/cm², γ (peso di volume) è espresso in kN/m³, mentre ν (coefficiente di Poisson) rappresenta un numero adimensionale.

MODULI DINAMICI PROFILO 4			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	472	648	1627
Velocità Onde S (m/s):	108	186	234
Modulo di Poisson:	0.47	0.46	0.49
Peso di volume (KN/m ³):	17.94	17.30	19.25
Peso di volume (g/cm ³):	1.83	1.76	1.96
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	1.00	4.00	10.40
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Kg/cm ²)	641	1812	3268
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Mpa o Nmm ²)	63	178	320
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Kg/cm ²)	21	61	108
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Mpa o Nmm ²)	2	6	11
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm ²) (mod. di incompressibilità di volume)	3869	6727	51570
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm ²)	379	660	5057
MODULO DI YOUNG STATICO E _{stat} (Kg/cm ²)	77	218	394
POROSITA' % (correlazione Rzheshvky e Novik (1971) (%))	46.34	44.69	35.54



COMUNE DI
TORREMAGGIORE

Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw a supporto de': "Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)

RELAZIONE GEOFISICA

Luglio 2023

Codice
elaborato

Pagina 20 di 23

MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm²) (valido per le terre)	408	741	5197
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm²) (Relazione di Navier)	500	910	6388
RIGIDITA' SISMICA (m/sec · KN/m³)	1938	3217	4505
Frequenza dello strato	27.00	11.63	5.63
Periodo dello strato	0.04	0.086	0.178
B (Larghezza fondazione in m.)	1.0	1.0	1.0
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm³)	1.93	7.13	12.37
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm³)	18.97	69.92	121.31
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm³)	0.97	3.57	6.19
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm³)	9.48	34.96	60.66

Moduli Elastici Dinamici

- **Rapporto Vp / Vs** - Questo parametro può fornire utili informazioni sullo stato di consolidazione e sulla presenza di gas nei mezzi porosi. Alcuni Autori (Gardner & Harris, 1968) affermano che rapporti maggiori di 2 si riscontrano in presenza di sabbie saturate non consolidate; alti rapporti risultano altresì per terreni incoerenti argillo-limosi ad alto grado di saturazione. Valori inferiori a 2 si registrano in presenza di rocce compatte o sedimenti gas saturati. In rocce saturate tale rapporto risulta dipendente dalla litologia, dalla quantità e geometria dei pori e dalle microfratture e potrebbe, nota la litologia, fornire indicazioni su questi ultimi due parametri.
- **Coefficiente di Poisson Dinamico** - Tra i moduli elastici dinamici tale parametro è l'unico che non necessita della conoscenza della densità per la sua determinazione. E' definito dalla seguente equazione:

$$\nu = 0.5 \cdot \frac{(V_p / V_s)^2 - 2}{(V_p / V_s)^2 - 1}$$

Sebbene in teoria sia considerato stress indipendente ed i suoi valori risultino compresi tra 0.25 e 0.33, nei mezzi porosi risulta stress dipendente, e presenta un campo di variabilità più esteso e può addirittura arrivare secondo GREGORY (1976) a valori negativi. I valori più bassi, in natura, si registrano per litotipi ad alta porosità, sottoposti a bassa pressione litostatica e gas saturati, in



COMUNE DI
TORRETAGGIORE

Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw a supporto de': "Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)

RELAZIONE GEOFISICA

Luglio 2023

Codice
elaborato

Pagina 21 di 23

alcuni sedimenti incoerenti e saturi i valori possono risultare uguali o superiori a 0,49; nelle sospensioni assume il valore di 0,5.

- **Modulo di Taglio Dinamico** – E' definito dalla seguente equazione:

$$G = \gamma \cdot Vs^2$$

dove γ = densità

Tale parametro è fortemente dipendente dalla porosità e dalla pressione; assume valori più bassi in litotipi ad alta porosità, sottoposti a basse pressioni e saturati in acqua. Il campo di variabilità nei mezzi porosi è molto esteso.

- **Modulo di Young Dinamico** - E' definito dalla seguente equazione:

$$E = (9 \gamma \cdot Vs^2 \cdot R2^2) / (3R2^2 + 1)$$

dove:

γ = densità

$$R2^2 = K / (\gamma \cdot Vs^2)$$

$$K = \gamma \cdot (Vp^2 - 4/3 Vs^2)$$

Tale modulo dipende dalla porosità, dalla pressione litostatica e dagli altri moduli elastici. Aumenta in misura considerevole quando al campione "dry" a bassa porosità vengono aggiunte piccole quantità di acqua, diminuisce quando un campione ad alta porosità viene sottoposto allo stesso trattamento.

I minimi valori del modulo si registrano in litotipi ad alta porosità saturi in gas, mentre i valori massimi si hanno per litotipi sotto pressione saturati in acqua ed a bassa porosità.

Il campo di variabilità è considerevole.

- **Modulo di Incompressibilità** - Esso è definito rispetto alle Vp , Vs e densità dalla seguente equazione:

$$K = \gamma \cdot (Vp^2 - 4/3 Vs^2)$$

dove:

γ = densità

Questo Modulo varia con la porosità, con la pressione e con la quantità di fluido saturante. Esso aumenta con il grado di saturazione con il decrescere della porosità e con l'aumentare della pressione. Nelle rocce sedimentarie varia di oltre 30 volte.

- **Peso di volume** - ricavato dalla relazione empirica di Tezcan et al. (2009) che lega tale parametro alla velocità di propagazione delle onde P, tenendo conto del tipo di terreno:

$$\gamma = \gamma_0 + 0,002 \cdot Vp$$



COMUNE DI
TORRETAGGIORE

Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw a supporto de': "Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)

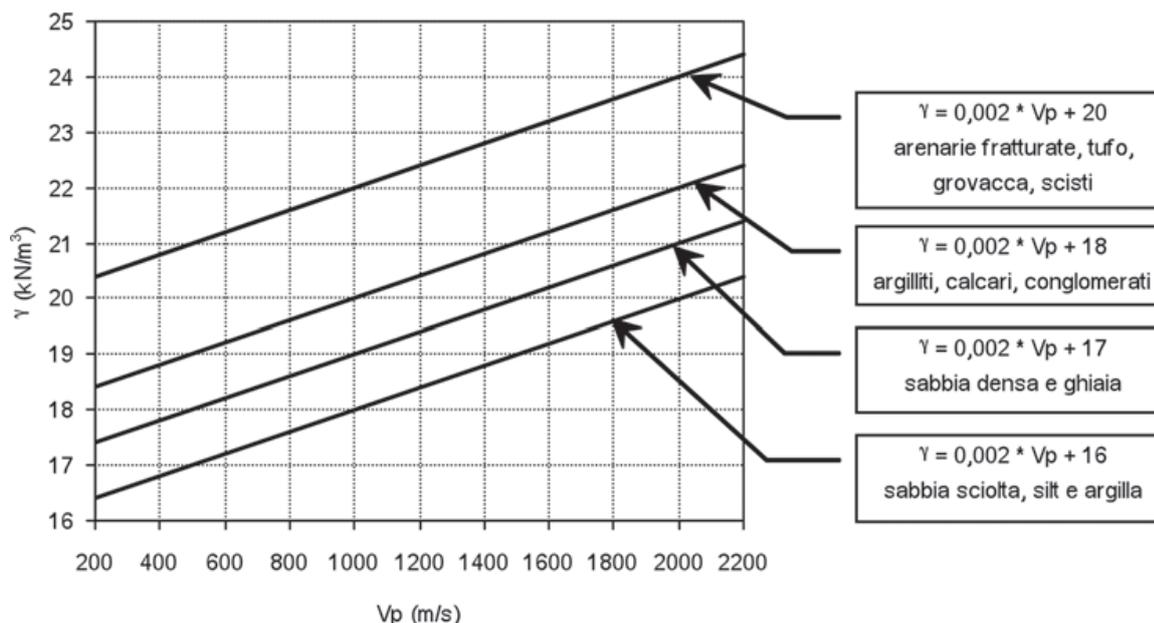
RELAZIONE GEOFISICA

Luglio 2023

Codice
elaborato

Pagina 22 di 23

Tipo di terreno	Sabbie sciolte, silt e argilla	Sabbie dense e ghiaie	Marne, argilliti e conglomerati	Arenarie fratturate, tufi, scisti	Rocce dure
γ_o (kN/m ³)	16	17	18	20	24



dove γ è la densità espressa in kN/m³ e V è la velocità delle onde di tipo P (longitudinali o di pressione) espressa in m/s.

➤ **Rigidità sismica (R):**

$$R = \gamma \cdot V_s \text{ (KN/m}^2\text{-sec)}$$

dove γ è la densità espressa in kg/m³ e V è la velocità delle onde di tipo S (trasversali o di taglio) espressa in m/s.

E' un parametro strettamente legato alla amplificazione sismica locale: infatti l'incidenza dei danni tende a diminuire all'aumentare della rigidità sismica.

6. CONCLUSIONI

Il presente rapporto è stato redatto a supporto de': *Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG) - località "Voiragni-Stella Nuova" e delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG).*

A tal proposito è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche, volta alla determinazione di alcune proprietà fisiche del sottosuolo consistente in:

 COMUNE DI TORRETAGGIORE	<i>Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw a supporto de': "Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG)</i> RELAZIONE GEOFISICA	Luglio 2023
		Codice elaborato
		Pagina 23 di 23

- esecuzione di n. 4 prospezioni sismiche superficiali con tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves);
- esecuzione di n. 4 prospezioni sismiche a rifrazione.

Nei casi innanzi esaminati l'andamento della velocità, aumenta con la profondità. Tuttavia si deve tenere presente che qualunque tecnica di geofisica applicata, ha un margine di errore intrinseco variabile in funzione del tipo di tecnica usata, della strumentazione adottata e di problematiche incontrate durante l'indagine, che solo l'operatore è in grado di quantificare in modo ottimale. La risoluzione del metodo non consente *precisioni in termini di spessore inferiori al metro* e i valori di velocità sono da intendersi come velocità medie all'interno di ciascuna unità geofisica individuata.

Le indagini sismiche eseguite, hanno consentito di determinare le caratteristiche elasto-dinamiche dei terreni investigati e definire la categoria del sottosuolo di fondazione.

Le VS equivalenti calcolate, per le quattro prospezioni Masw eseguite, riferite al p.c., sono risultate essere, pari a:

- Prospezione Masw 1 - Vs, eq = 312 m /s (Classe C)**
- Prospezione Masw 2 - Vs, eq = 314 m /s (Classe C)**
- Prospezione Masw 3 - Vs, eq = 262 m /s (Classe C)**
- Prospezione Masw 4 - Vs, eq = 279 m /s (Classe C)**

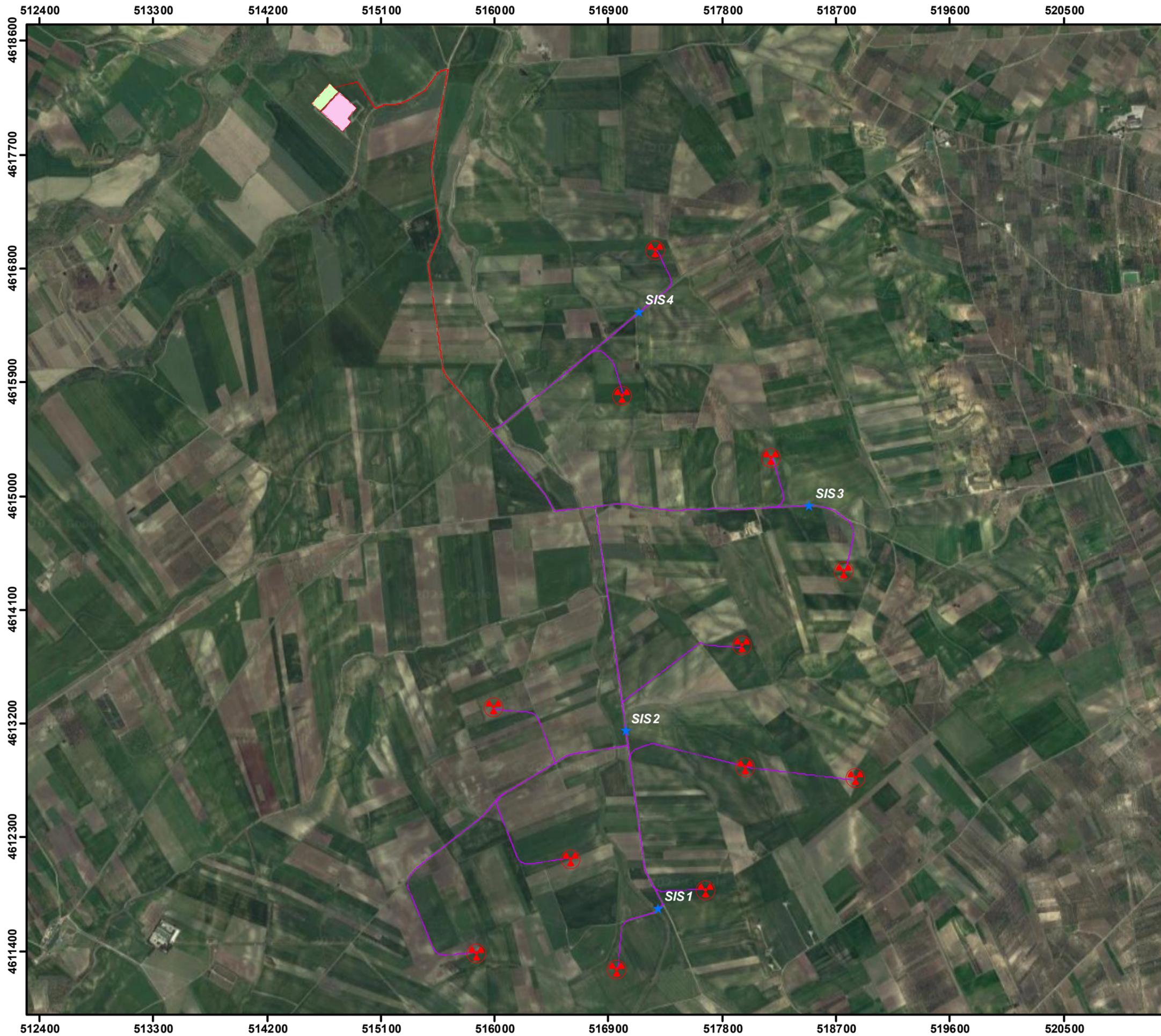
Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Cagnano Varano, Luglio 2023

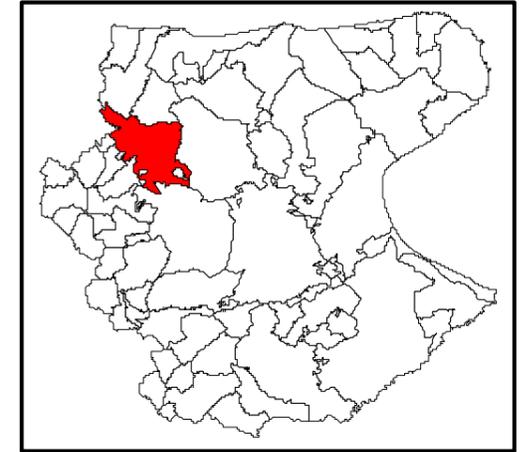
Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG) - località "Voiragni-Stella Nuova"

ALLEGATO 1

UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE



UBICAZIONE PROSPEZIONI GEOFISICHE



Legenda:

-  AEROGENERATORI
-  CAVIDOTTO INTERNO
-  CAVIDOTTO ESTERNO
-  Sezione 36 kV
-  Stazione 380 kV - ridotta
-  PROSPEZIONI GEOFISICHE



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 33N
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 False Easting: 500.000.0000
 False Northing: 0.0000
 Central Meridian: 15.0000
 Scale Factor: 0.9996
 Latitude Of Origin: 0.0000
 Units: Meter

Scala 1:30000
 0 0.25 0.5 0.75 1 Km

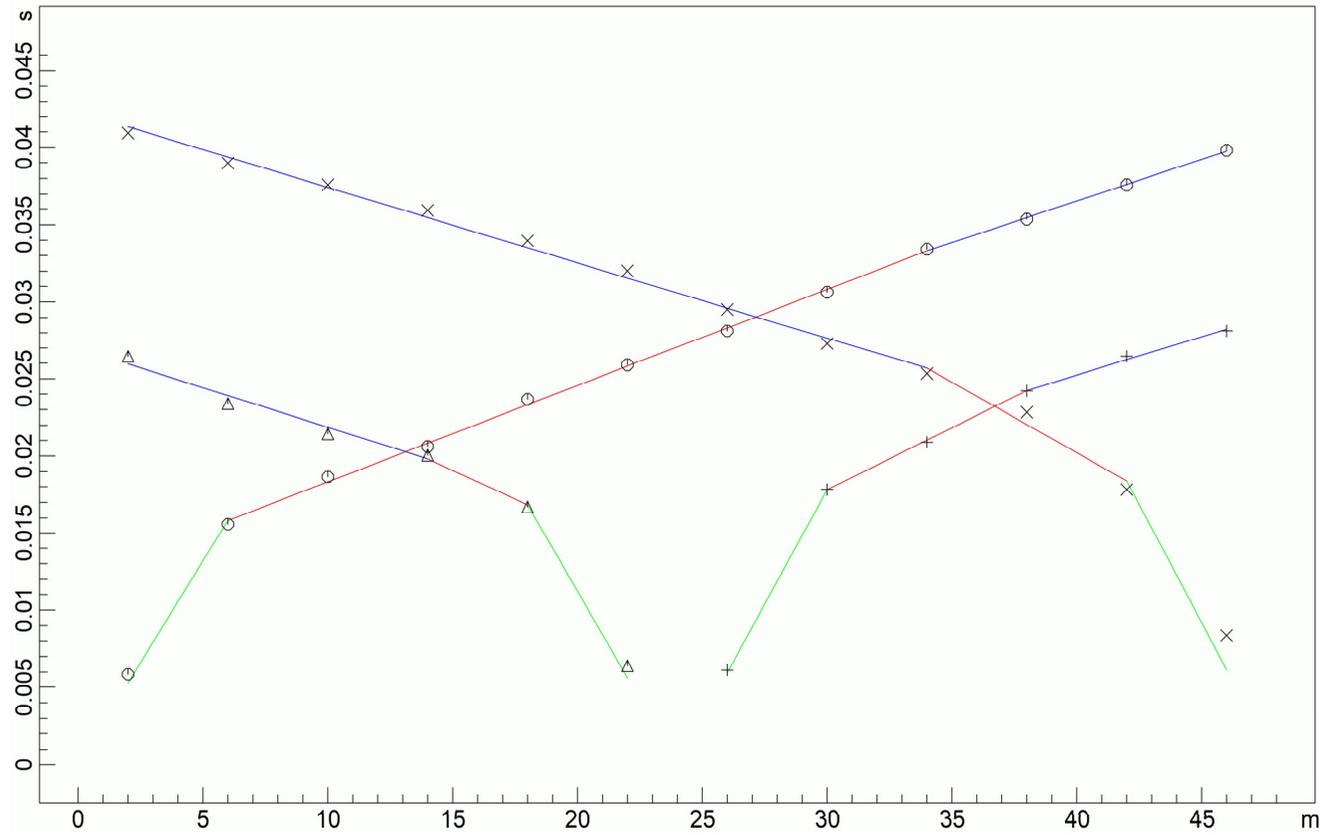
COMUNE DI TORREMAGGIORE



Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG) - località "Voiragni-Stella Nuova"

ALLEGATO 2

PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE

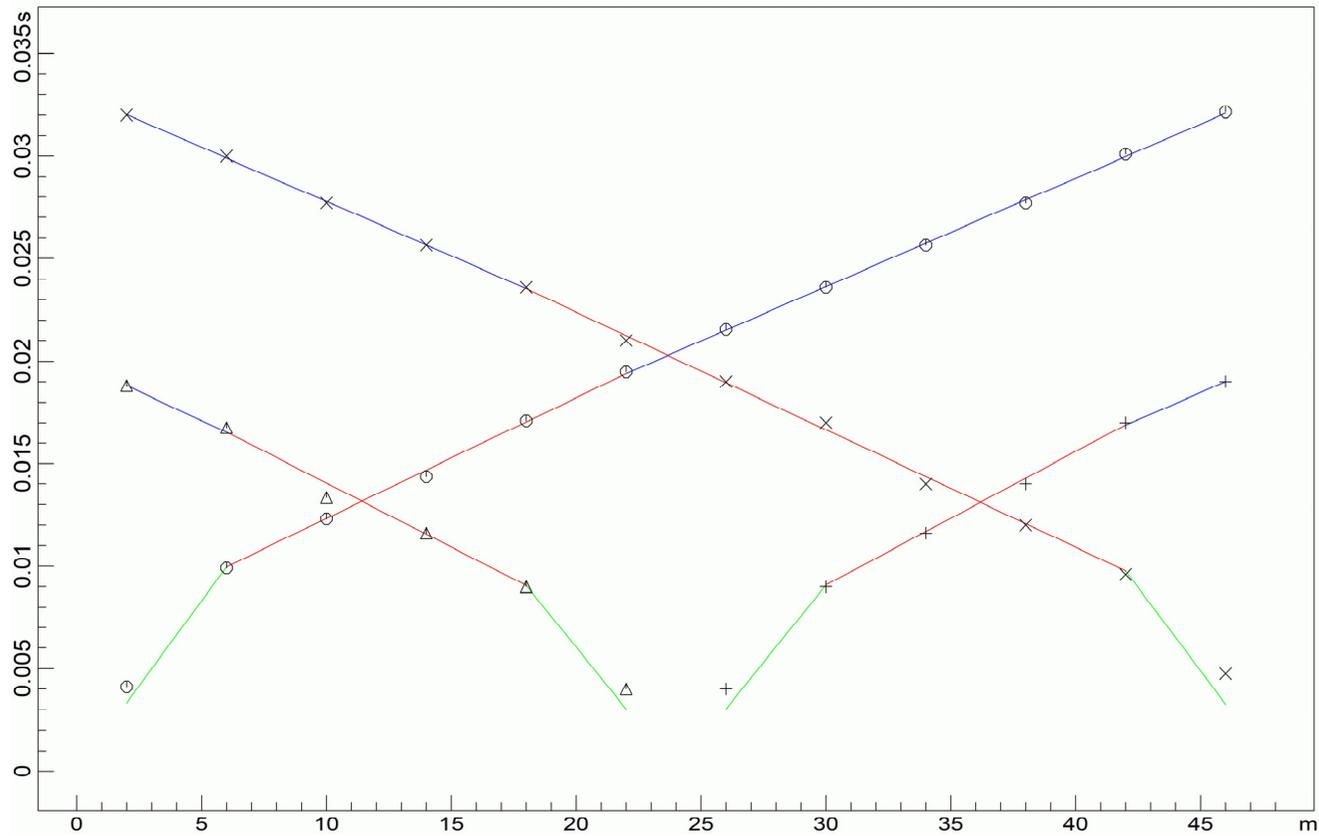


**COMUNE DI
TORREMAGGIORE**

**DROMOCRONE ONDE LONGITUDINALI (P)
PROFILO 1**

A 2

**Luglio
2023**

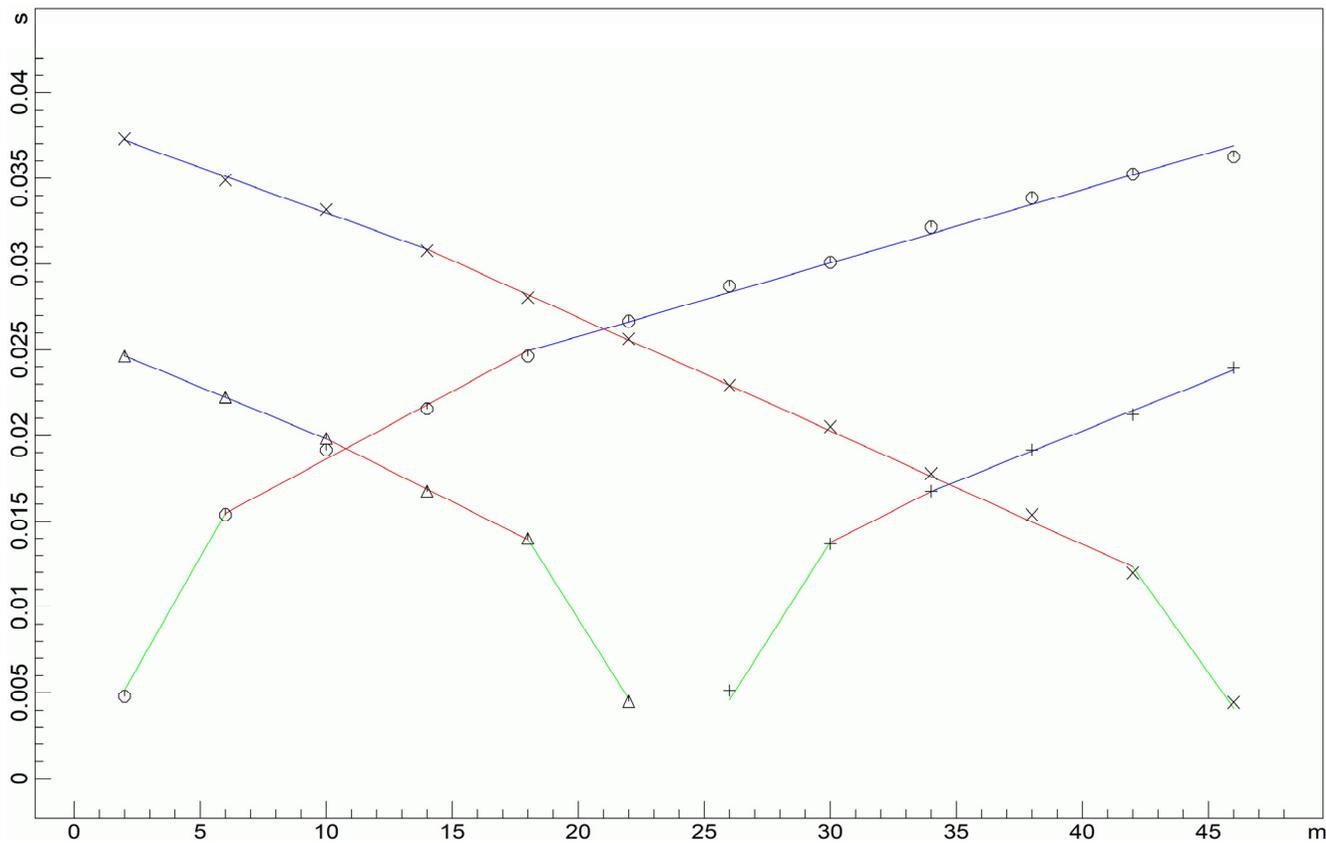


**COMUNE DI
TORREMAGGIORE**

**DROMOCRONE ONDE LONGITUDINALI (P)
PROFILO 2**

A 3

**Luglio
2023**

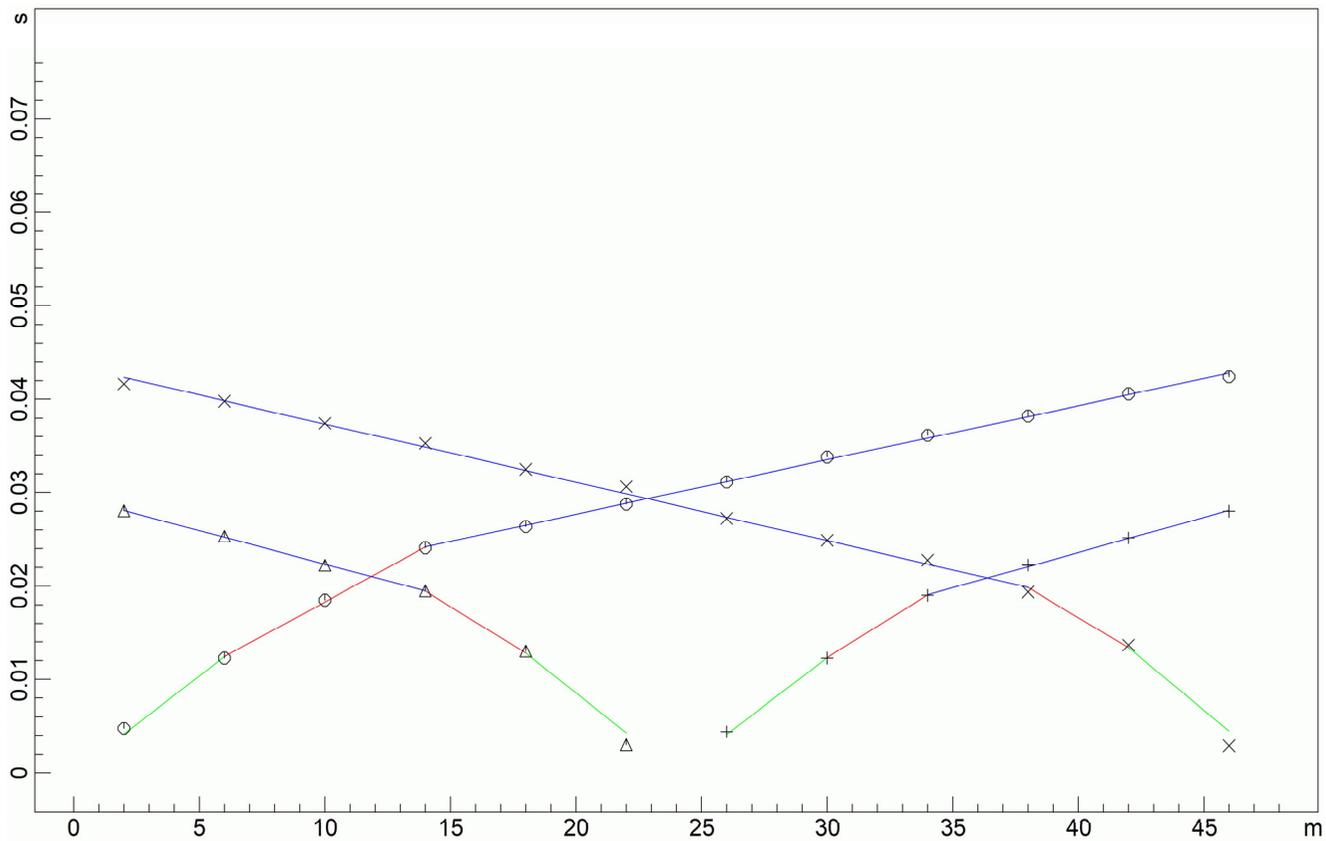


**COMUNE DI
TORREMAGGIORE**

**DROMOCRONE ONDE LONGITUDINALI (P)
PROFILO 3**

A 4

**Luglio
2023**

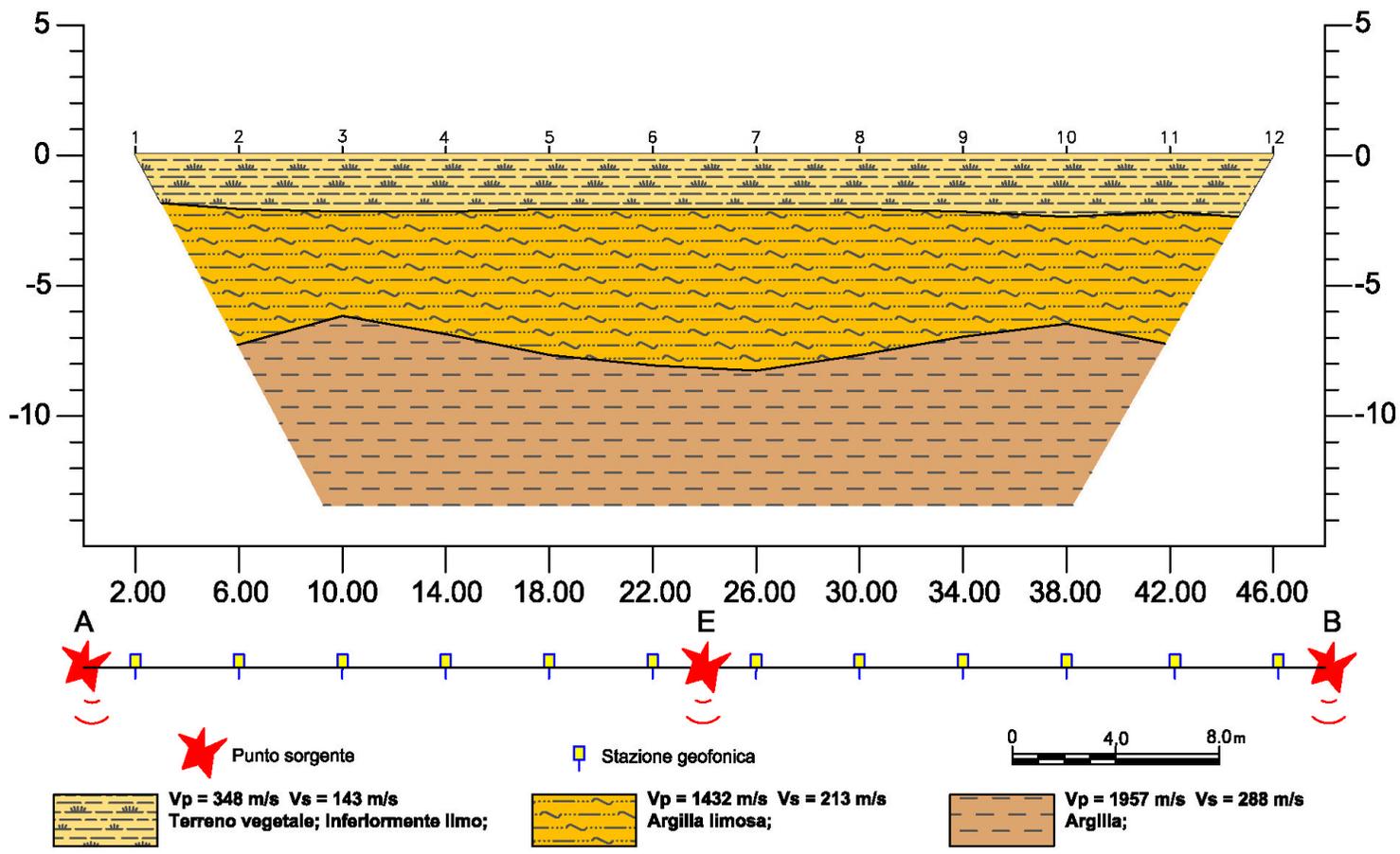


**COMUNE DI
TORREMAGGIORE**

**DROMOCRONE ONDE LONGITUDINALI (P)
PROFILO 4**

A 5

**Luglio
2023**

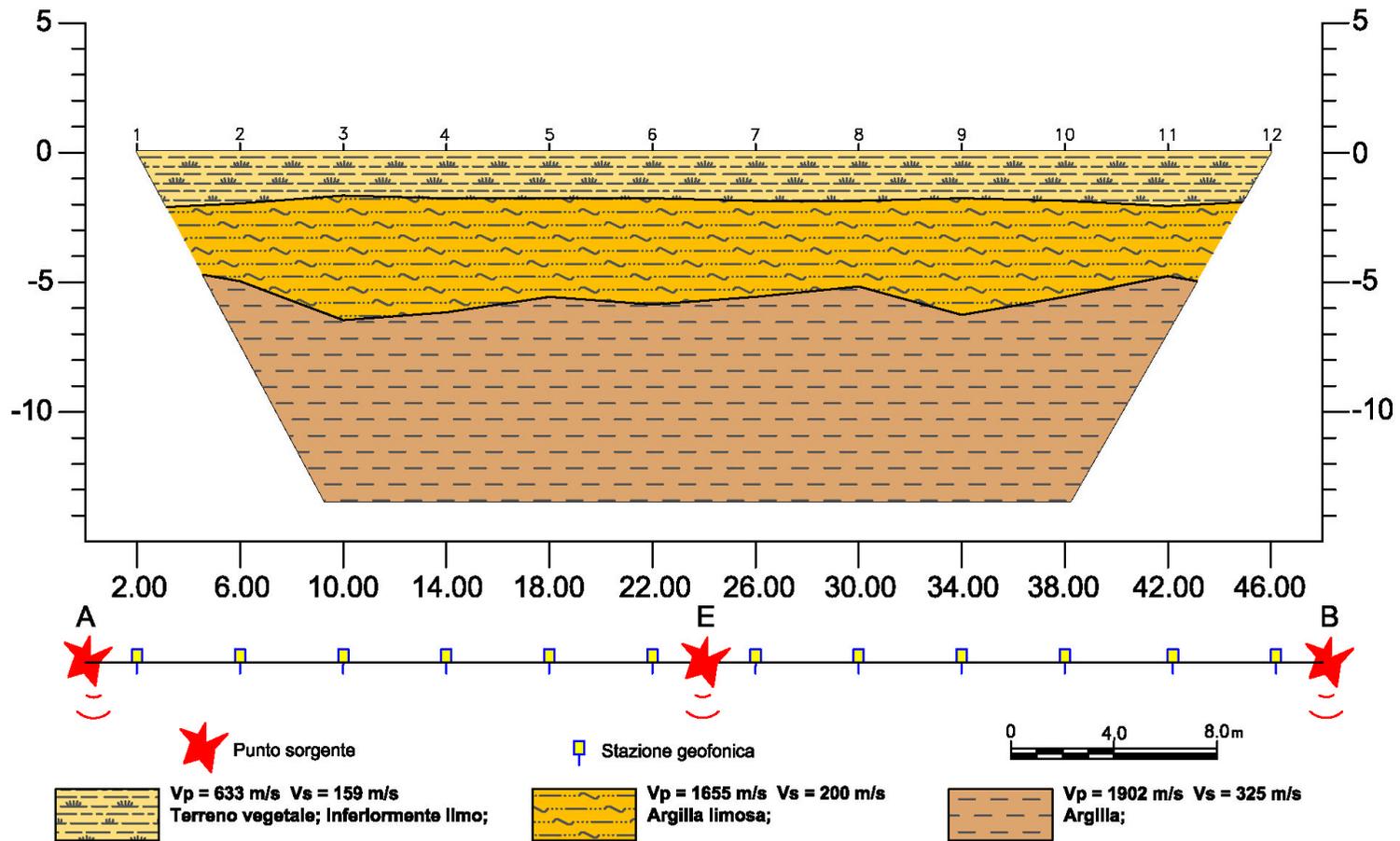


**COMUNE DI
TORREMAGGIORE**

**DROMOCRONE ONDE LONGITUDINALI (P)
PROFILO 1**

A 6

Luglio
2023

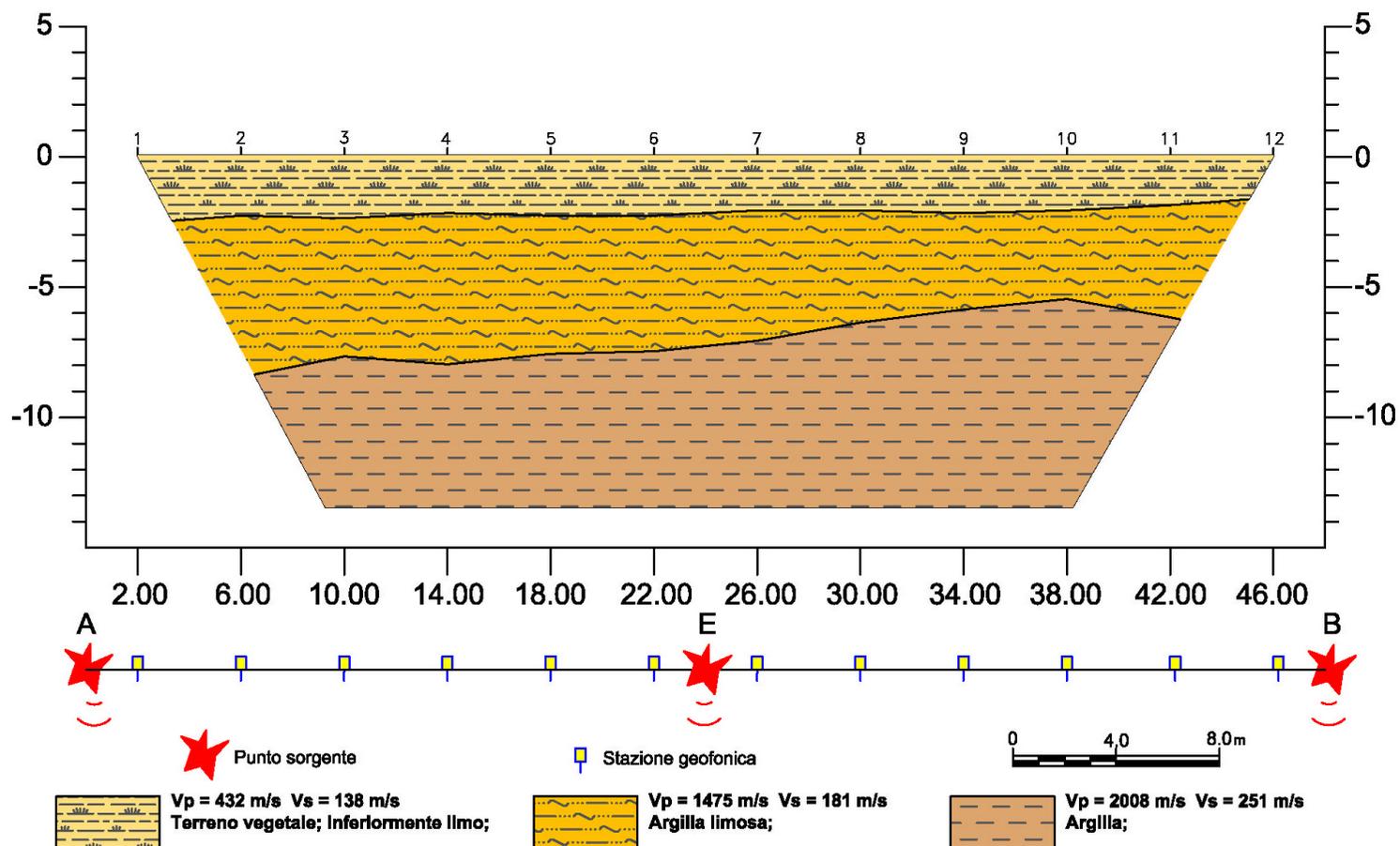


**COMUNE DI
TORREMAGGIORE**

**DROMOCRONE ONDE LONGITUDINALI (P)
PROFILO 2**

A 7

Luglio
2023

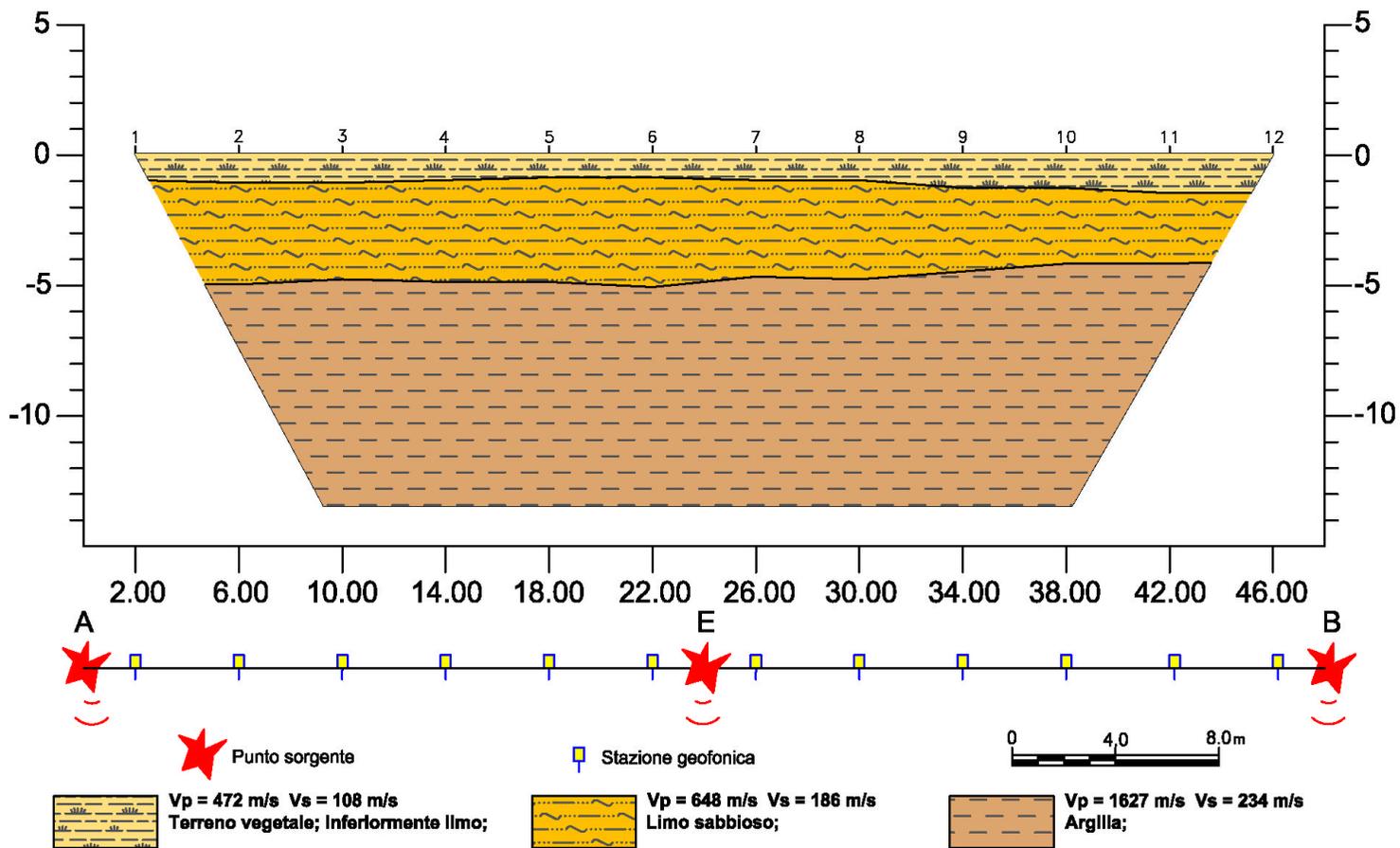


**COMUNE DI
TORREMAGGIORE**

**DROMOCRONE ONDE LONGITUDINALI (P)
PROFILO 3**

A 8

Luglio
2023



**COMUNE DI
TORREMAGGIORE**

**DROMOCRONE ONDE LONGITUDINALI (P)
PROFILO 4**

A 9

Luglio
2023

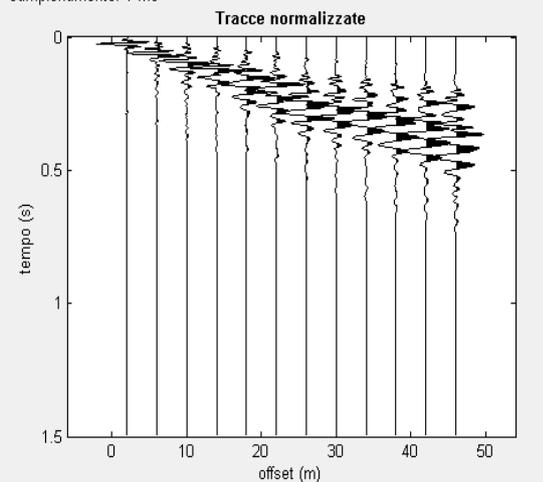
Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG) - località "Voiragni-Stella Nuova"

ALLEGATO 3

PROSPEZIONI MASW

Primo: trattamento dati

dataset: MASW 1 - PARCO EOLICO TORREMAGGIORE.sgy
 offset minimo: 2 m
 distanza intergeofonica: 4 m
 campionamento: 1 ms



Utilità

?

Selezione dati

20

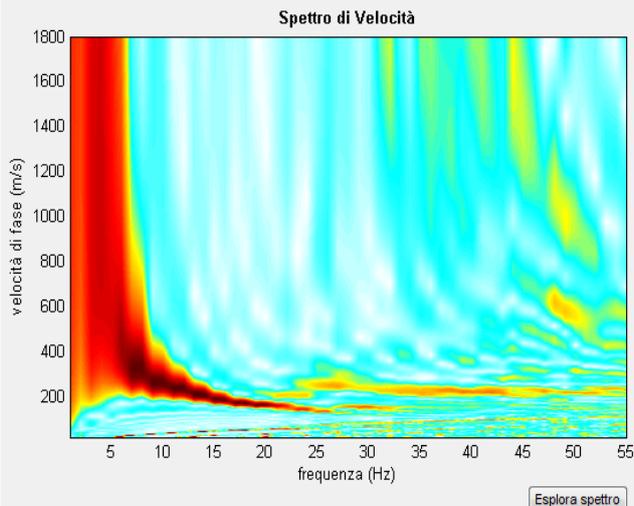


ver. 4.0 Standard

Secondo: determinazione spettro di velocità e picking

Tau - v

?



modellazione diretta

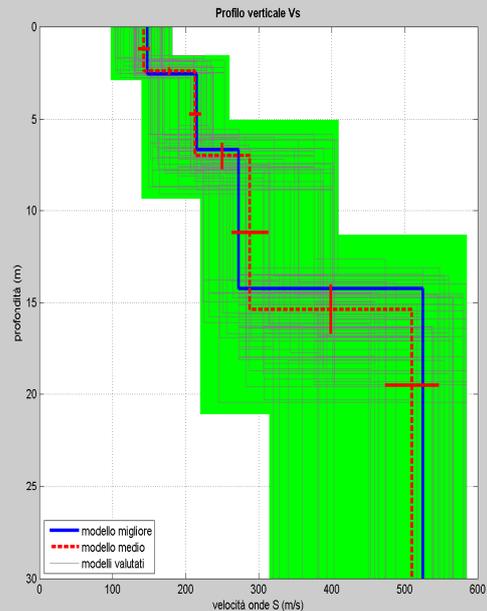
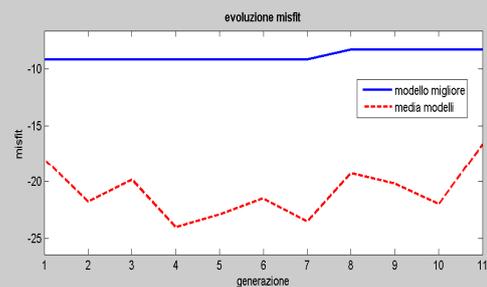
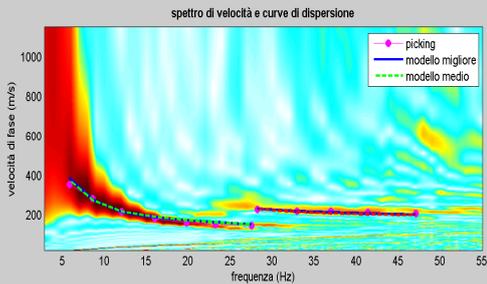
3

picking

?

selezionare l'ultimo punto del modo utilizzando il tasto destro

?



dataset: MASW 1 - PARCO EOLICO TORREMAGGIORE.sgy
 curva di dispersione: MASW 1 - PARCO EOLICO TORREMAGGIORE.edp
 modello migliore VS30: 318 m/s
 modello medio VS30: 312 m/s



**COMUNE DI
TORREMAGGIORE**

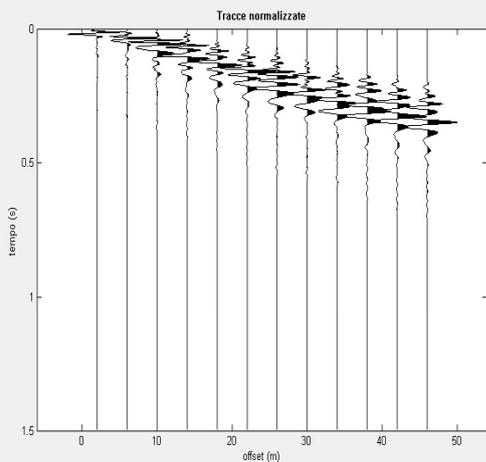
PROSPEZIONE MASW 1

A 10

**Luglio
2023**

Primo: trattamento dati

dataset: MASW 2 - PARCO EOLICO TORREMAGGIORE.sgy
 offset minimo: 2 m
 distanza intergeofonica: 4 m
 campionamento: 1 ms



Utilità

ruota le tracce

movie ?

Selezione dati

Attiva

Seleziona 20

Annulla

Salva



invia e-mail

ver. 4.0 Standard

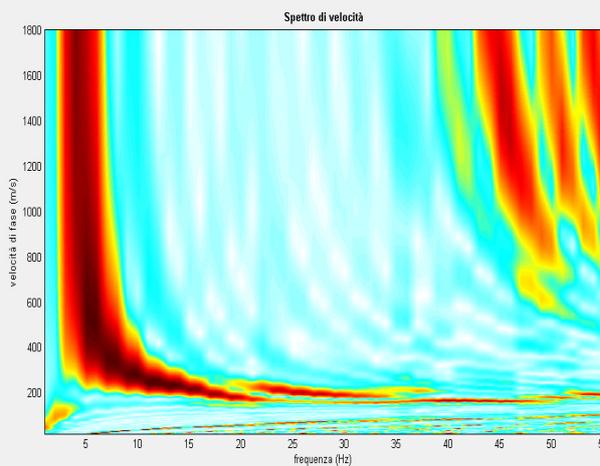
Secondo: determinazione spettro di velocità e picking

calcolo spettro di velocità

Tau - v

visualizza curve

input curva ?



Esplora spettro

modellazione diretta

parametri

carica modello 3

refresh

salva modello

picking

modo fondamentale ?

selezionare l'ultimo punto del modo utilizzando il tasto destro

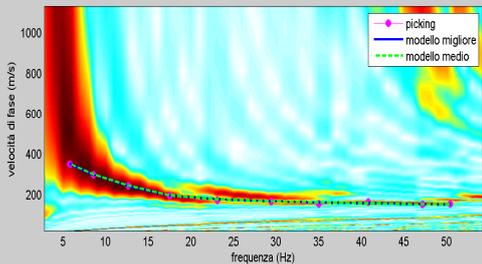
salva picking ?

cancela picking

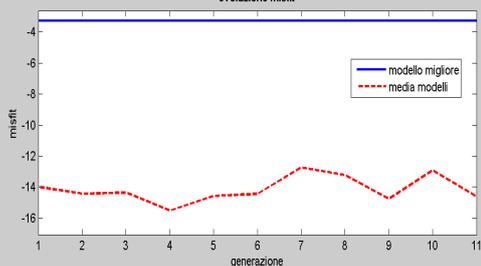
Inverti

Esci

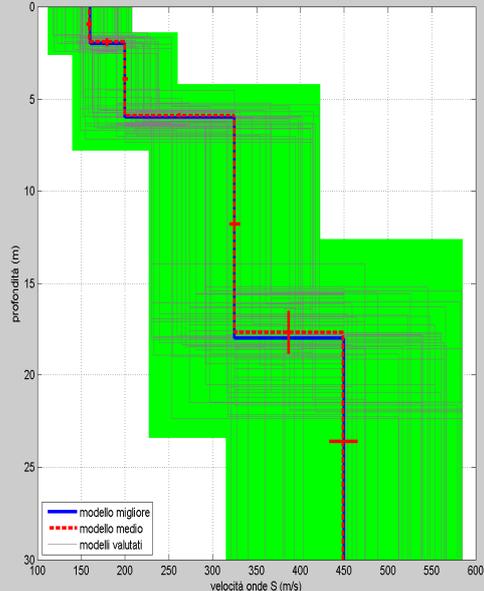
spettro di velocità e curve di dispersione



evoluzione misfit



Profilo verticale Vs



dataset: MASW 2 - PARCO EOLICO TORREMAGGIORE.sgy
 curva di dispersione: MASW 2 - PARCO EOLICO TORREMAGGIORE.edp
 modello migliore VS30: 312 m/s
 modello medio VS30: 314 m/s



COMUNE DI
TORREMAGGIORE

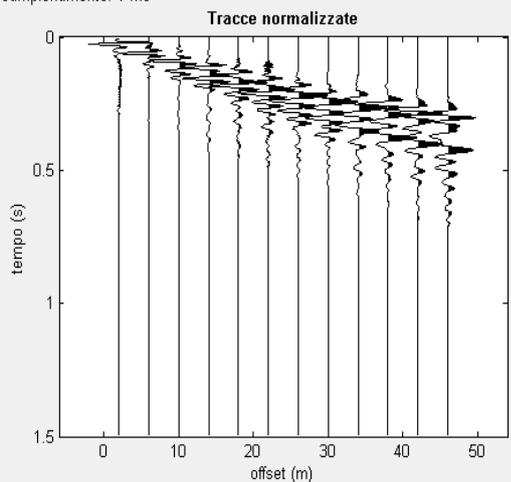
PROSPEZIONE MASW 2

A 11

Luglio
2023

Primo: trattamento dati

dataset: MASW 3 - PARCO EOLICO TORREMAGGIORE.sgy
 offset minimo: 2 m
 distanza intergeofonica: 4 m
 campionamento: 1 ms



Utilità: ruota le tracce, movie ?

Selezione dati: Attiva, Selezione: 20, Annulla, Salva



Invia e-mail

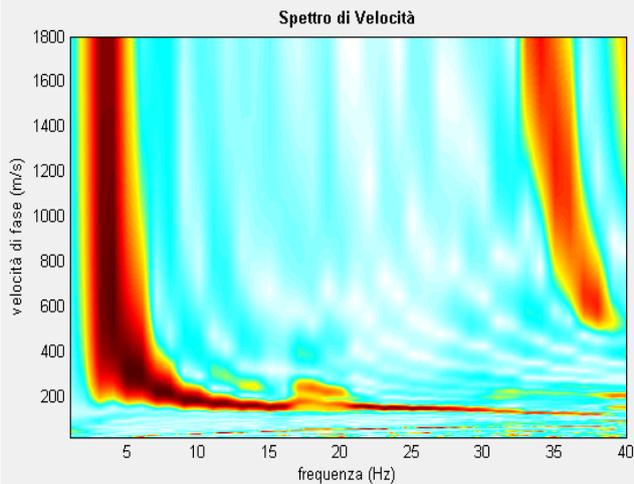
ver. 4.0 Standard

Secondo: determinazione spettro di velocità e picking

calcolo spettro di velocità Tau - v

visualizza curve

input curva ?



Esplora spettro

modellazione diretta

parametri, salva modello, carica modello: 3, refresh

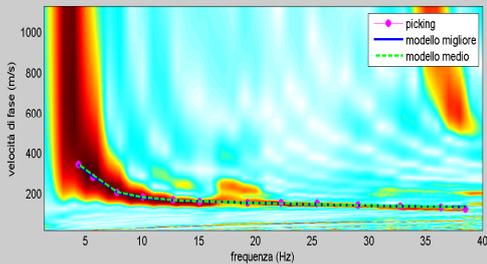
picking

selezione modo, seleziona l'ultimo punto del modo utilizzando il tasto destro, salva picking ?, cancella picking

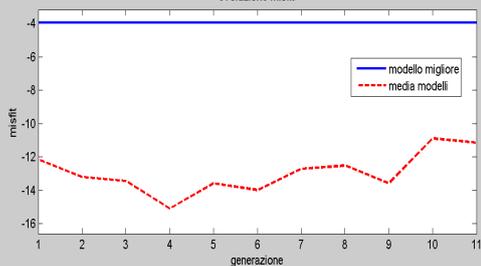
Inverti

Esci

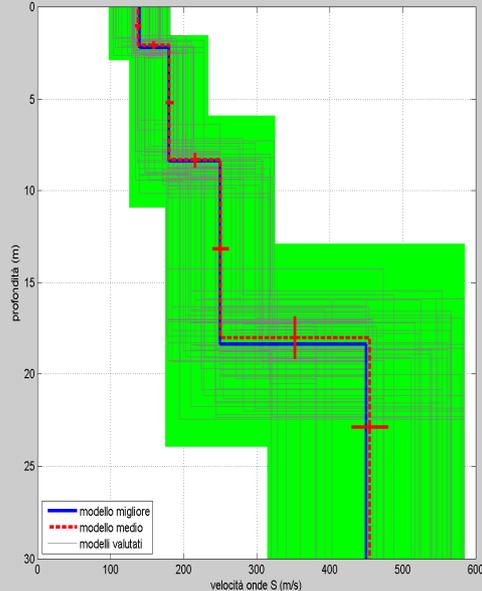
spettro di velocità e curve di dispersione



evoluzione misfit



Profilo verticale Vs



dataset: MASW 3 - PARCO EOLICO TORREMAGGIORE.sgy

curva di dispersione: MASW 3 - PARCO EOLICO TORREMAGGIORE.edp

modello migliore VS30: 259 m/s

modello medio VS30: 262 m/s



COMUNE DI TORREMAGGIORE

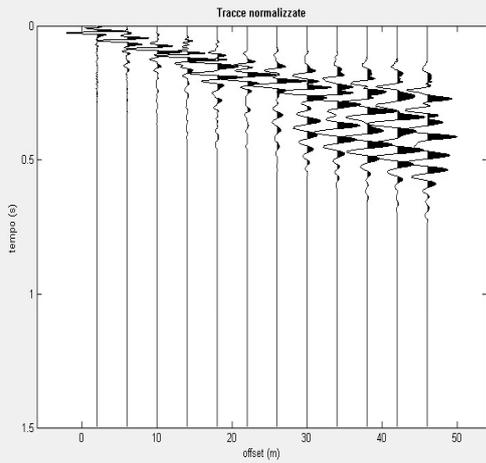
PROSPEZIONE MASW 3

A 12

Luglio 2023

Primo: trattamento dati

dataset: MASW 4 - PARCO EOLICO TORREMAGGIORE.sgy
offset minimo: 2 m
distanza intergeofonica: 4 m
campionamento: 1 ms



Utilità: ruota le tracce, movie, ?

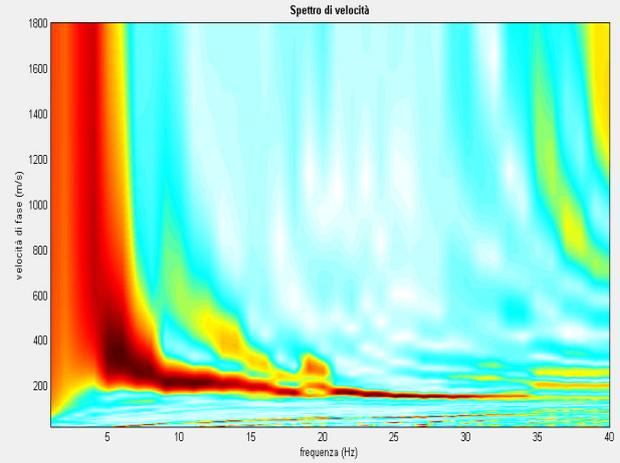
Selezione dati: Attiva, Selezione (20), Annulla, Salva



invia e-mail
ver. 4.0 Standard

Secondo: determinazione spettro di velocità e picking

calcolo spettro di velocità Tau - v visualizza curve
input curva ?

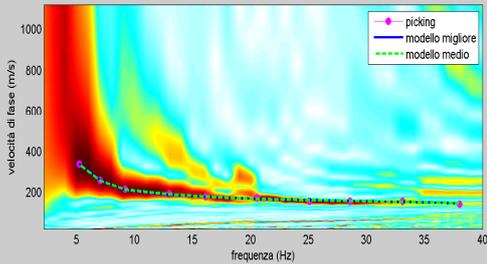


modellazione diretta: parametri, salva modello, carica modello (3), refresh

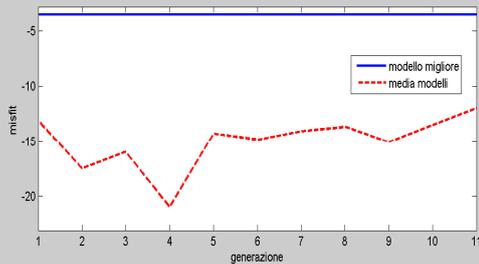
picking: modo fondamentale, selezione l'ultimo punto del modo utilizzando il tasto destro, salva picking, cancella picking

Inverti, Esci

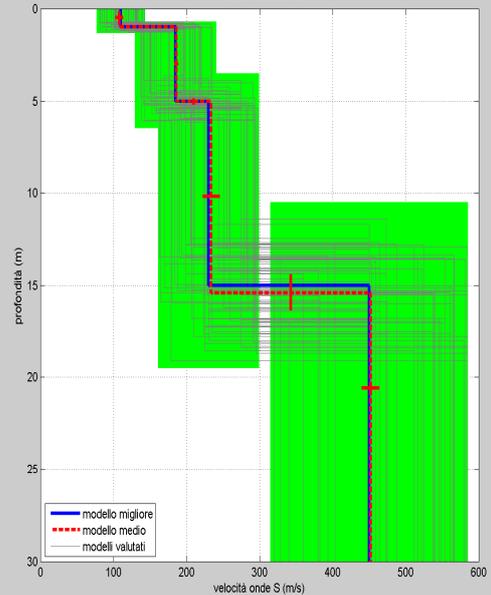
spettro di velocità e curve di dispersione



evoluzione misfit



Profilo verticale Vs



dataset: MASW 4 - PARCO EOLICO TORREMAGGIORE.sgy
curva di dispersione: MASW 4 - PARCO EOLICO TORREMAGGIORE.edp
modello migliore VS30: 279 m/s
modello medio VS30: 279 m/s



COMUNE DI
TORREMAGGIORE

PROSPEZIONE MASW 4

A 13

Luglio
2023

Progetto definitivo di un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,0 MW, da ubicarsi in agro del comune di Torremaggiore (FG) - località "Voiragni-Stella Nuova"

ALLEGATO 4

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Particolare Prospezione Sismica a Rifrazione



Particolare Prospezione Masw



**COMUNE DI
TORREMAGGIORE**

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA 1

A 14

**Luglio
2023**



Particolare Prospezione Sismica a Rifrazione



Particolare Prospezione Masw



**COMUNE DI
TORREMAGGIORE**

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA 2

A 15

**Luglio
2023**



Particolare Prospezione Sismica a Rifrazione



Particolare Prospezione Masw



**COMUNE DI
TORREMAGGIORE**

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA 3

A 16

**Luglio
2023**



Particolare Prospezione Sismica a Rifrazione



Particolare Prospezione Masw



**COMUNE DI
TORREMAGGIORE**

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA 4

A 17

**Luglio
2023**