

Regione  
Sicilia



Città metropolitana di  
Catania



Comune di  
Caltagirone



Committente:

**CALTA WIND S.r.l.**  
Piazza Europa, 14  
87100 Cosenza (CS)

Documento:

**PROGETTO DEFINITIVO**

Titolo del Progetto:

**PARCO EOLICO "CALTAGIRONE"**

Elaborato:

**RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E  
IDROLOGICA (COMPATIBILITA' COL PTA)**

ID ELABORATO	DISCIPLINA	AMBITO	TIPO ELABORATO	SCALA	FORMATO
W-CAL-A-RE-04	W-CAL	A	RE		A4
NOME FILE:	W-CAL-A-RE-04_Relazione_geoogica_idrogeologica_idrologica				

Progettazione:



**Dott. Geol. Gian Vito Graziano**

Rev:	Prima Emissione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	09/2023	PRIMA EMISSIONE	IRIDE	GEMSA PRO	CALTA WIND S.r.l.

**REGIONE SICILIA**

**COMUNE DI CALTAGIRONE**

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO NEL  
COMUNE DI CALTAGIRONE**

**RELAZIONE GEOLOGICA E DI COMPATIBILITA’  
GEOMORFOLOGICA**

**1. PREMESSE**

Il presente studio geologico e di compatibilità geomorfologica è stato eseguito per il progetto definitivo indicato in epigrafe in ossequio a quanto descritto nelle normative vigenti in materia (D.M. 17/01/2018).

In particolare il paragrafo 6.12 delle NTC 2018 così testualmente recita:

**6.12. FATTIBILITÀ DI OPERE SU GRANDI AREE**

*Le presenti norme definiscono i criteri di carattere geologico e geotecnico da adottare nell’elaborazione di piani urbanistici e nel progetto di insiemi di manufatti e interventi che interessano ampie superfici, quali:*

- a) nuovi insediamenti urbani civili o industriali;*
- b) ristrutturazione di insediamenti esistenti, reti idriche e fognarie urbane e reti di sottoservizi di qualsiasi tipo;*
- c) strade, ferrovie ed idrovie;*
- d) opere marittime e difese costiere;*
- e) aeroporti;*
- f) bacini idrici artificiali e sistemi di derivazione da corsi d’acqua;*
- g) sistemi di impianti per l’estrazione di liquidi o gas dal sottosuolo;*

*h) bonifiche e sistemazione del territorio;*

*i) attività estrattive di materiali da costruzione.*

*6.12.1. INDAGINI SPECIFICHE Gli studi geologici e la caratterizzazione geotecnica devono essere estesi a tutta la zona di possibile influenza degli interventi previsti, al fine di accertare che la destinazione d'uso sia compatibile con il territorio in esame. In particolare, le indagini e gli studi devono caratterizzare la zona di interesse in termini vulnerabilità ambientale, per processi geodinamici interni (sismicità, vulcanismo,...) ed esterni (stabilità dei pendii, erosione, subsidenza,...) e devono consentire di individuare gli eventuali limiti imposti al progetto di insiemi di manufatti e interventi (ad esempio: modifiche del regime delle acque superficiali e sotterranee, subsidenza per emungimento di fluido dal sottosuolo).*

Lo studio ha, quindi, previsto l'esecuzione di tutti i rilievi, le indagini e le prove tecniche necessarie per:

- determinare la costituzione geologica dell'area interessata dal progetto;
- studiarne le caratteristiche geomorfologiche con particolare riguardo alle condizioni di stabilità dei versanti;
- definire l'assetto idrogeologico con riguardo alla circolazione idrica superficiale e sotterranea;
- individuare tutte le problematiche geologico-tecniche che possono interferire con le opere in progetto;
- indicare, in linea di prima approssimazione, eventuali opere di consolidamento o presidio per garantire la realizzazione ottimale delle opere in progetto;

- determinare, in linea di prima approssimazione, le caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni con maggiore interesse a quelle che più da vicino riguardano gli aspetti progettuali;
- verificare l’eventuale presenza di problematiche legate a fenomeni di liquefazione;
- indicare un programma di indagini geognostiche e geotecniche da eseguire nelle successive fasi di progettazione esecutiva.

Lo studio è stato, quindi, articolato come segue:

**a) Studio geologico dell’area interessata** comprendente la descrizione delle formazioni geologiche presenti, delle loro caratteristiche litologiche, dei reciproci rapporti di giacitura, dei loro spessori, nonché l’indicazione di tutti i lineamenti tettonici.

**b) Studio geomorfologico dell’area interessata** comprendente la descrizione dei principali lineamenti morfologici, degli eventuali fenomeni di erosione e dissesto, dei principali processi indotti da antropizzazione.

**c) Studio idrogeologico dell’area interessata** comprendente la descrizione dei lineamenti essenziali sulla circolazione idrica superficiale e sotterranea in relazione alla loro interferenza con le problematiche geotecniche ed all’individuazione delle aree soggette ad esondazione.

**d) Studio delle pericolosità geologiche dell’area interessata** comprendente tutto quanto necessario ad evidenziare le aree interessate da “pericolosità geologiche” quali frane, colate, crolli, erosioni, esondazioni, rappresentando, cioè, un’attenta analisi ed interpretazione degli studi precedenti.

**e) Studio della pericolosità sismica locale** atto ad evidenziare le aree con particolari problematiche sismiche e tali da poter provocare fenomeni di amplificazione, liquefazione, cedimenti ed instabilità.

Da quanto detto prima si evince che in una prima fase il nostro lavoro è stato organizzato eseguendo numerosi sopralluoghi finalizzati allo studio di una zona più vasta rispetto a quella direttamente interessata dal progetto per inquadrare, in una più ampia visione geologica, la locale situazione geostrutturale.

Nostro interesse era, inoltre, quello di definire l'habitus geomorfologico e l'assetto idrogeologico concentrando la nostra attenzione sulle condizioni di stabilità dei versanti, sullo stato degli agenti morfogenetici attivi e sulla presenza e profondità di eventuali falde freatiche.

Per la caratterizzazione della serie stratigrafica locale, per l'individuazione delle profondità del livello piezometrico e per la definizione delle problematiche sismiche delle aree in studio, in questa prima fase di lavoro, sono stati realizzati n. 15 indagini di sismica passiva HVSR per definire le velocità delle onde sismiche  $V_s$  nei primi 30 m di profondità dal p.c. in corrispondenza degli aerogeneratori e della sottostazione.

I risultati sono visibili negli allegati riportati nei capitoli successivi.

Il presente progetto prevede la realizzazione di:

- a. Parco eolico** costituito da n. 14 aerogeneratori;
- b. Cavidotto** di collegamento tra gli aerogeneratori e la sottostazione elettrica;
- c. Sottostazione elettrica.**

Con i dati in nostro possesso, abbiamo redatto la presente relazione geologico-tecnica corredata dai seguenti elaborati:

- ✓ n. 2 carta geologica eseguita in scala 1/10.000 (fuori testo);
- ✓ n. 2 carta dei bacini idrografici significativi (PTA) in scala 1/10.000 (fuori testo);

- ✓ n. 8 carte, fuori testo, relative al piano di assetto idrogeologico (P.A.I.) ed al Piano Gestione Rischio Alluvioni (P.G.R.A.);
- ✓ le colonne stratigrafiche tipo, inserite nel testo;
- ✓ elaborati relativi ai sondaggi di sismica passiva a stazione singola (tromografia) denominati T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, T13, T14 e TSOTT.

I risultati e le ipotesi geologiche formulate in questa sede sono da confermare con l'esecuzione delle indagini indicate nell'apposito capitolo, nella successiva fase di progettazione esecutiva.

Si ritiene, infatti, che in fase di progetto esecutivo e di calcolo delle strutture di fondazione si renderà necessario integrare le indagini ed i rilievi eseguiti in questa prima fase con la realizzazione di un sondaggio e relative prove geotecniche in situ ed in laboratorio in corrispondenza di ciascun aerogeneratore e della sottostazione nell'esatta posizione in cui, a valle dell'iter autorizzativo, saranno effettivamente realizzati ed alcune indagini in corrispondenza dei tracciati dei cavidotti, soprattutto dove le strade in cui sarà interrato sono limitrofe a fenomeni geodinamici.

## **2. CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE**

Lo studio geologico, di insieme e di dettaglio, è stato realizzato conducendo inizialmente la necessaria ricerca bibliografica sulla letteratura geologica esistente, la raccolta ed il riesame critico dei dati disponibili ed, infine, una campagna di rilievi effettuati direttamente nell'area strettamente interessata dallo studio.

L'insieme dei terreni presenti, delle relative aree di affioramento e dei rapporti stratigrafici e strutturali è riportato nella carta geologica allegata alla presente relazione.

I tipi litologici affioranti in corrispondenza delle opere in progetto sono riferibili ad un ampio periodo di tempo e che distinguiamo dal più recente al più antico:

⇒ **ALLUVIONI ATTUALI E RECENTI (Pleistocene medio-sup.):**

si tratta prevalentemente di rocce sciolte costituite da limi, silt, ghiaie, sabbie e sabbie limose con inclusi sporadici blocchi con giacitura sub-orizzontale. Le sabbie presentano granulometria variabile da fine a grossolana. Le ghiaie sono caratterizzate da sporadici clasti calcarei arrotondati di dimensioni da millimetriche a decimetriche. Interessano alcuni tratti di cavidotto.

⇒ **ALLUVIONI TERRAZZATE (Pleistocene medio-sup.):**

costituite da sabbie, con locali livelli limosi, argillosi e ghiaiosi a prevalenti clasti calcarenitici. Interessano alcuni tratti di cavidotto.

⇒ **DEPOSITI LIMNICI (Pleistocene medio-sup.):**

Si tratta di silts e argille lacustri con livelli torbosi, lenti di ghiaie, sabbie e silts travertinosi. Interessano alcuni tratti di cavidotto.

- ⇒ **COMPLESSO SABBIOSO (Pleistocene inf.-medio):** Si tratta di sabbie fini quarzose con livelli arenacei e siltoso-argillosi a Hyaline baltica. Interessano alcuni tratti di cavidotto.
- ⇒ **COMPLESSO SABBIOSO - CALCARENITICO (Pleistocene inf.):** Si tratta di sabbie da fini a grossolane, con inclusi di colore ocra, da scarsamente a mediamente addensate quando alterate, mentre la frazione inalterata è costituita da sabbie e livelli e strati calcarenitici. Le calcareniti sono massive o a stratificazione incrociata con livelli e lenti di conglomerati più frequenti alla base. Interessano tutti gli aerogeneratori in progetto, il cavidotto interno al parco e la sottostazione.
- ⇒ **COMPLESSO ARGILLOSO (Pleistocene inf.):** Si tratta di argille marnose azzurre talora siltose a stratificazione poco evidente con macrofaune ad *Artica islandica* e *Chlamys septemradiata*. Detto complesso costituisce il substrato impermeabile alla profondità di circa 60 m ed affiora a nord delle aree interessate dall'impianto.
- ⇒ **COMPLESSO MARNOSO (Pliocene medio-sup.):** Si tratta di marne grigio-azzurre della media valle del F. Dirillo e di Licodia E. Interessano alcuni tratti di cavidotto.
- ⇒ **FORMAZIONE TELLARO (Langhiano inf.-Messiniano):** Si tratta di marne grigio-azzurre a frattura subconcoide contenenti sporadici orizzonti di un'alternanza calcarenitico-marnosa bianco-crema spesso deformati da slumpings. Interessano alcuni tratti di cavidotto.

In definitiva, dall'analisi della carta geologica e dai rilievi eseguiti in campagna, nonché dalle indagini sismiche eseguite per il presente studio è stata ricostruita la colonna stratigrafica rappresentativa del modello

geologico in corrispondenza di ciascun aerogeneratore e della sottostazione di seguito allegata.

Le aree interessate dagli aerogeneratori, della sottostazione e del cavidotto interno al parco sono caratterizzate dall'affioramento del Complesso Calcarenitico-sabbioso costituito da sabbie fini limose di spessore variabile tra 5-8 m con inclusi elementi calcarenitici di colore ocra, da scarsamente a mediamente addensate quando alterate, mentre la frazione inalterata è costituita da sabbie addensate e livelli e strati calcarenitici cementati e fratturati. Detto complesso è caratterizzato da uno spessore pari a circa 50-60 m.

Tutti i suddetti terreni sono ricoperti da uno spessore variabile tra circa 2.00 e 3.00 m di terreno vegetale poco consistente e scarsamente addensato.

Si mette in evidenza che il cavidotto esterno al parco e di collegamento alla sottostazione verrà realizzato esclusivamente su strade asfaltate e, vista la limitata profondità di scavo pari a circa 1.20 m, interesserà esclusivamente la fondazione/rilevato stradale e non interferisce con i terreni in posto sottostanti.

### **3. CONSIDERAZIONI GEOMORFOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE**

Da un punto di vista geomorfologico, l'area vasta in cui sono ubicate le opere in progetto può essere divisa in due settori:

- ⇒ un settore ad habitus geomorfologico regolare, caratterizzato da aree sub-pianeggianti, rilievi dolci dove prevalgono i litotipi sabbiosi stabili con rotture di pendenza in corrispondenza degli strati calcarenitici;
- ⇒ una zona di fondovalle stabile dove affiorano i termini alluvionali caratterizzati dalla presenza di limi sabbiosi, sabbie e ghiaie.

Sono essenzialmente i processi fluviali quelli che hanno esplicito e tutt'ora esplicitano un ruolo fondamentale nell'evoluzione geomorfologica dell'area.

Per quanto riguarda i processi fluviali, il reticolato idrografico risulta avere, con un pattern poco articolato essendo costituito prevalentemente da litologie permeabili (Complesso Calcarenitico-sabbioso).

Per quanto concerne le forme di dissesto legate ai movimenti franosi presenti nei versanti interessati dalle opere in progetto, tramite i rilievi di superficie, integrati dallo studio delle fotografie aeree del territorio e dalle indagini geofisiche eseguite per il presente studio, in generale si evince che *i versanti dove sono ubicati gli aerogeneratori, la sottostazione ed i cavidotti interni ed esterni non sono interessati da fenomeni di instabilità.*

Ciò è confermato dal Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) redatto dall'A.R.T.A. (Servizio 4 “Assetto del Territorio e Difesa del suolo”) che esclude le aree interessate dalle opere in progetto da qualunque fenomenologia di dissesto e di rischio geomorfologico.

Si mette in evidenza che solo un breve tratto del cavidotto interessa un'area indicata dal P.A.I. come frana di scivolamento stabilizzato con pericolosità P0 (Livello basso) che, secondo le N.T.A. del P.A.I. non è ostativo alla realizzazione del progetto.

In ogni caso il tratto interessato sarà interrato lungo la viabilità esistente che non evidenzia criticità di rilievo.

Dal punto di vista idrogeologico le aree in studio sono caratterizzate dall'affioramento di terreni diversi che abbiamo suddiviso in 2 tipi di permeabilità prevalente:

⇒ **Rocce permeabili per porosità:** Si tratta di rocce incoerenti e coerenti caratterizzate da una permeabilità per porosità che varia al variare del grado di cementazione e delle dimensioni granulometriche dei terreni presenti. In particolare la permeabilità risulta essere media nella frazione sabbiosa fine mentre tende ad aumentare nei livelli sabbiosi grossolani e ghiaiosi. Rientrano in questo complesso i terreni afferenti al Complesso Calcarenitico-sabbioso, al Complesso Sabbioso pleistocenico, ai Depositi alluvionali recenti, ai Depositi alluvionali terrazzati ed ai Depositi Limnici,

⇒ **Rocce impermeabili:** Questo complesso è costituito dalle argille che presentano fessure o pori di piccole dimensioni in cui l'infiltrazione si esplica tanto lentamente da essere considerate praticamente impermeabili. Rientrano in questo complesso i terreni afferenti al Complesso Argilloso pleistocenico, al Complesso Marnoso e alla Formazione Tellaro che rappresenta il substrato impermeabile non affiorante nelle aree interessate dal progetto.

Nello specifico, l'affioramento prevalente di terreni permeabili poggianti su un substrato impermeabile consente la formazione una falda freatica il cui livello freatico si trova alla profondità pari a circa 40-50 m dal p.c. come si evince dai pochi pozzi presenti in zona.

In ogni caso si evidenzia che l'impianto in fase di esercizio e cantiere non produce emissioni in suolo/sottosuolo/falda sostanze inquinanti di nessun tipo.

Da un punto di vista idraulico le aree a pericolosità/rischio individuate dal P.A.I. e dal P.G.R.A. non interferiscono con le opere in progetto.

Si mette in evidenza che il P.A.I. indica un limitato tratto di cavidotto pari a circa 30 m come Sito di Attenzione con livello di Rischio R3 (elevato). In questo tratto la strada è sopraelevata per la presenza di un ponte.

Per il passaggio del cavidotto in questo tratto si utilizzerà la T.O.C. in modo da non interessare l'area a rischio.

#### **4. INDAGINI DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA**

Si è ritenuto necessario l'utilizzo della tecnica di sismica passiva a stazione singola HVSR (tomografia) allo scopo di determinare le velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) dei terreni presenti, in corrispondenza delle opere progettate.

In particolare sono state eseguite n. 15 misure di microtremore ambientale, con un tomografo digitale progettato specificatamente per l'acquisizione del rumore sismico.

Di seguito vengono riportati alcuni cenni riguardo la metodologia utilizzata.

La sismica passiva è una tecnica che permette di definire la serie stratigrafica locale basandosi sul concetto di contrasto di impedenza dove per strato si intende un'unità distinta in relazione al rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

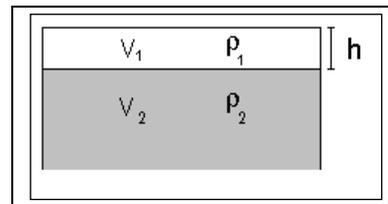
I primi studi su questa tecnica sono da attribuire a Kanai (1957) e da allora diversi metodi sono stati proposti per estrarre utili informazioni sul sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in sito.

Tra questi la tecnica che si è maggiormente consolidata è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSR), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970).

Successivamente Nakamura (1989) ha applicato tale metodo come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale.

Le basi teoriche dell'HVSR sono relativamente semplici in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D).

Considerando lo schema illustrato nella figura sotto riportata si osserva che sono presenti due strati (1 e 2) che si differenziano per le densità ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) e le velocità delle onde sismiche ( $V_1$  e  $V_2$ ).



*Modello di suolo costituito da due strati a diverse velocità delle onde sismiche e densità.*

In questo caso un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene parzialmente riflessa dalla superficie di strato.

L'onda riflessa interferendo con quelle incidenti si somma e raggiunge le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente ( $\lambda$ ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore  $H$  del primo strato.

Ne consegue che la frequenza di risonanza ( $f_r$ ) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a:

$$f_r = V_{P1}/(4 H) \quad [1]$$

mentre quella relativa alle onde S è

$$f_r = V_{S1}/(4 H). \quad [2]$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra, come massimi relativi, le frequenze di risonanza dei vari strati.

Questo dato, insieme alla stima delle velocità, è in grado di fornire utili previsioni sullo spessore  $H$  degli strati.

Questa informazione è contenuta principalmente nella componente verticale del moto ma la prassi di usare il rapporto tra gli spettri orizzontali

e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per:

- ❖ il contenuto in frequenza;
- ❖ la risposta strumentale;
- ❖ l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base della popolarità del metodo.

Da evidenziare, inoltre, che i microtremori sono costituiti da onde di volume, P o S, ed in misura maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh.

Tale inconveniente è facilmente superabile sia perché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva, sia perché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

D'altro canto l'applicabilità pratica della formula [2] è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico.

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati sperimentali, consiste in un tromografo digitale denominato “Tromino”, dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

- le curve HVSR che sono state ottenute col software Grilla eseguendo un processing con i seguenti parametri:

- ✓ larghezza delle finestre d’analisi pari a 20 s per tempi di acquisizione di 20 minuti;
  - ✓ lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 15% della frequenza centrale,
  - ✓ rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine/media a lungo termine) superiore a 2;
  - ✓ rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.
- le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto sono state ottenute dopo l’analisi con gli stessi parametri sopra riportati.

Le profondità H delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula sotto riportata, in cui:

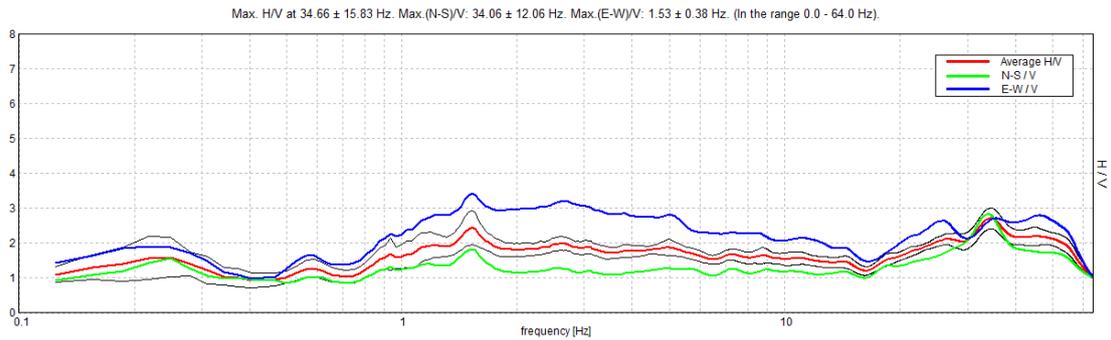
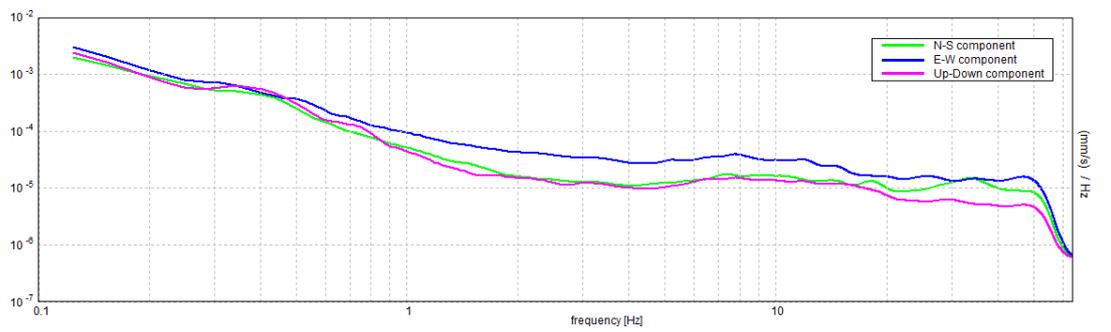
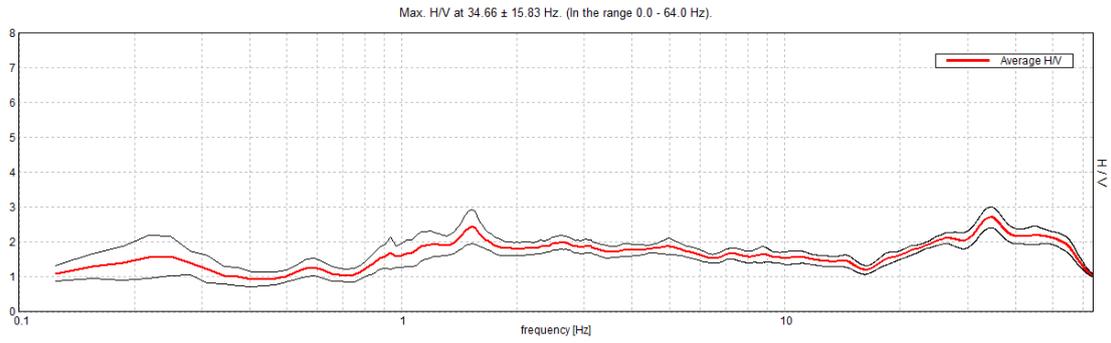
- ✓  $V_0$  è la velocità al tetto dello strato;
- ✓ ad un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.);
- ✓  $\nu$  la frequenza fondamentale di risonanza.

$$H = \left[ \frac{V_0(1-\alpha)}{4\hat{V}_1} + 1 \right]^{1/(1-\alpha)} - 1$$

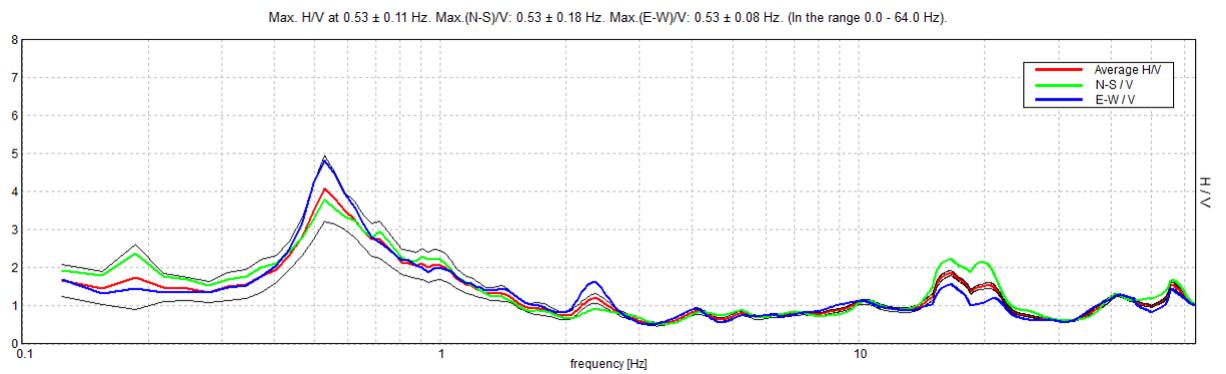
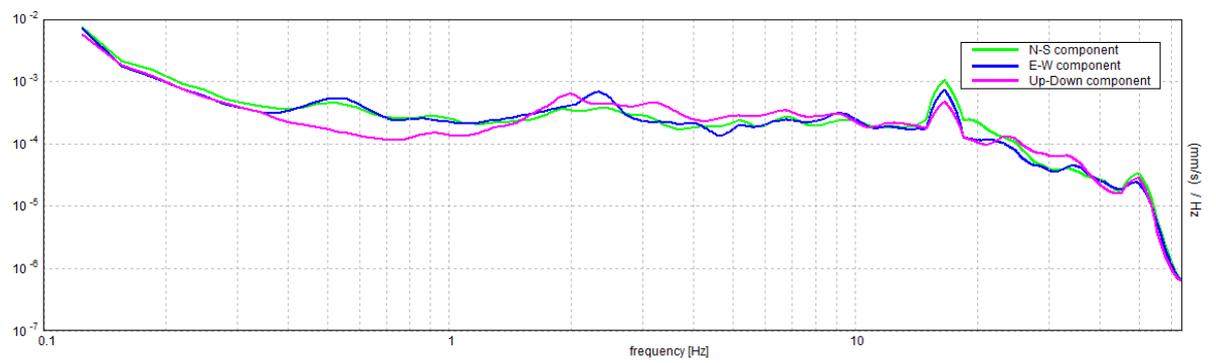
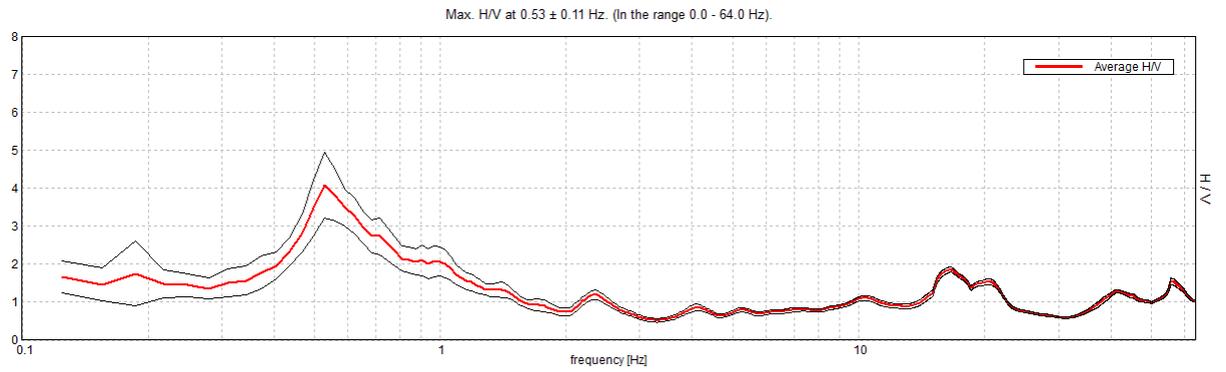
Le ubicazioni dei sondaggi che sono stati eseguiti sono visibili nelle planimetrie allegate mentre di seguito sono riportate, in dettaglio, le interpretazioni dei dati sperimentali ottenuti.

I dati sperimentali ricavate dalle indagini di sismica passiva a stazione singola permettono di ricavare una stima delle velocità delle onde di taglio  $V_s$ .

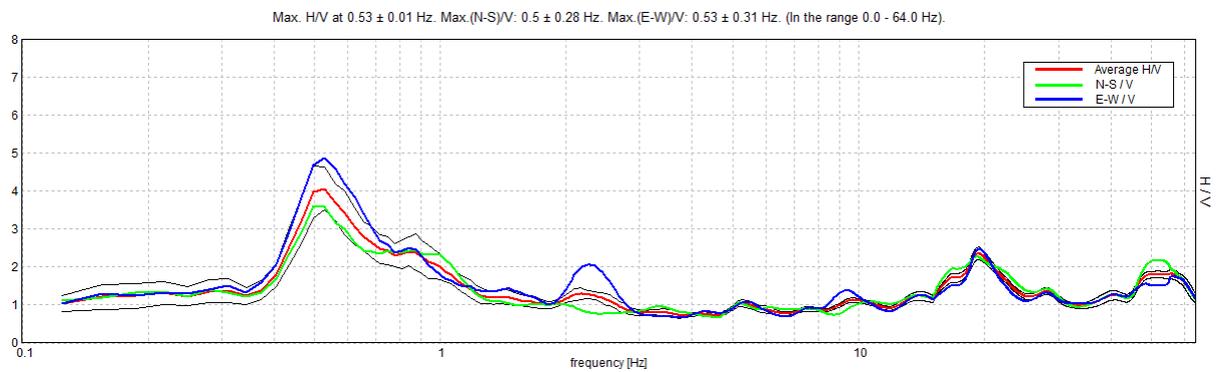
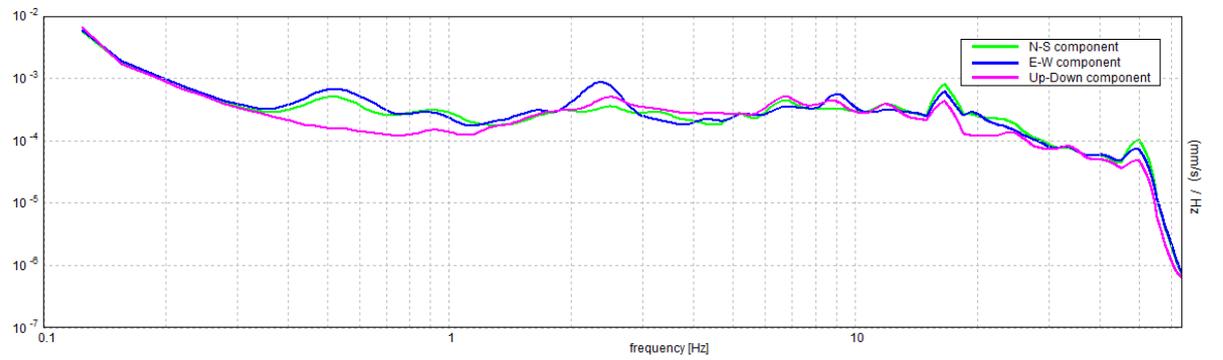
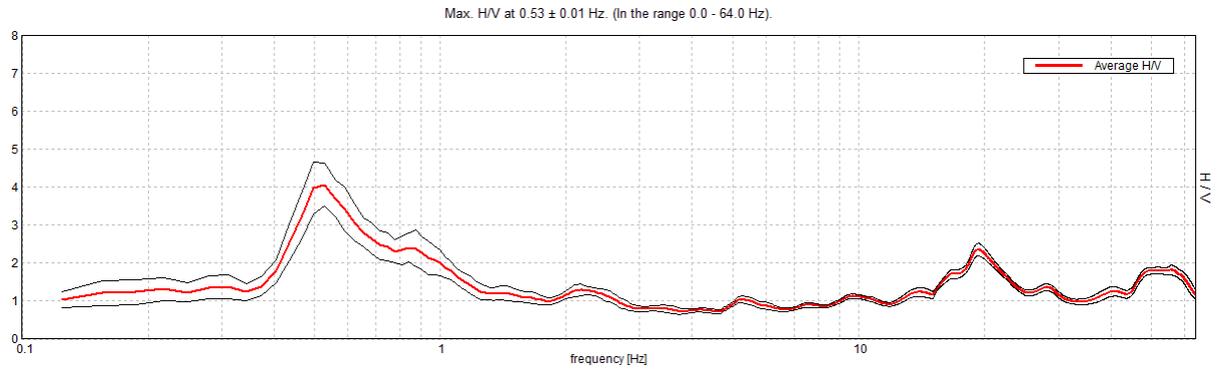
### Sondaggio tromografico T1



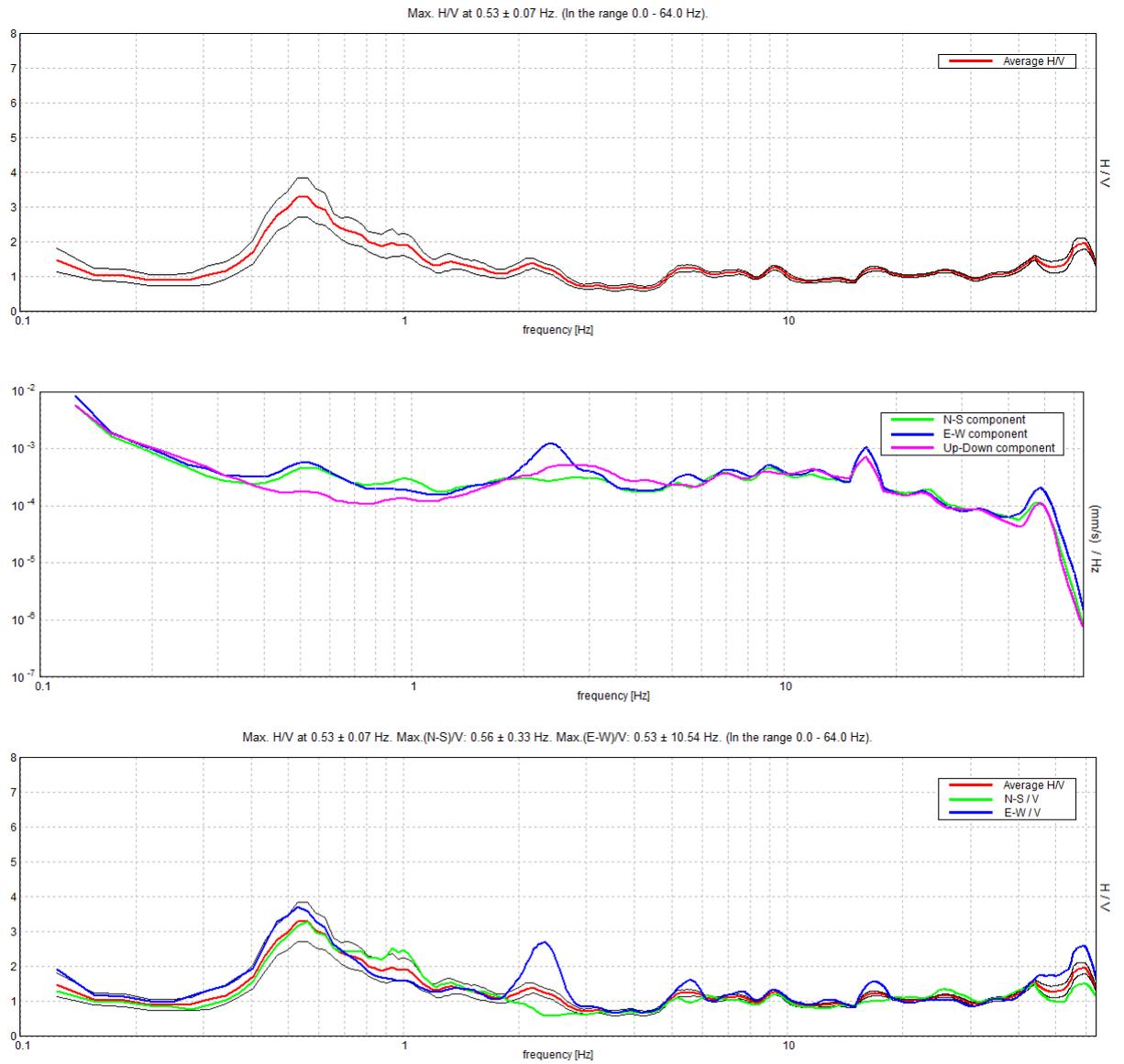
### Sondaggio tromografico T2



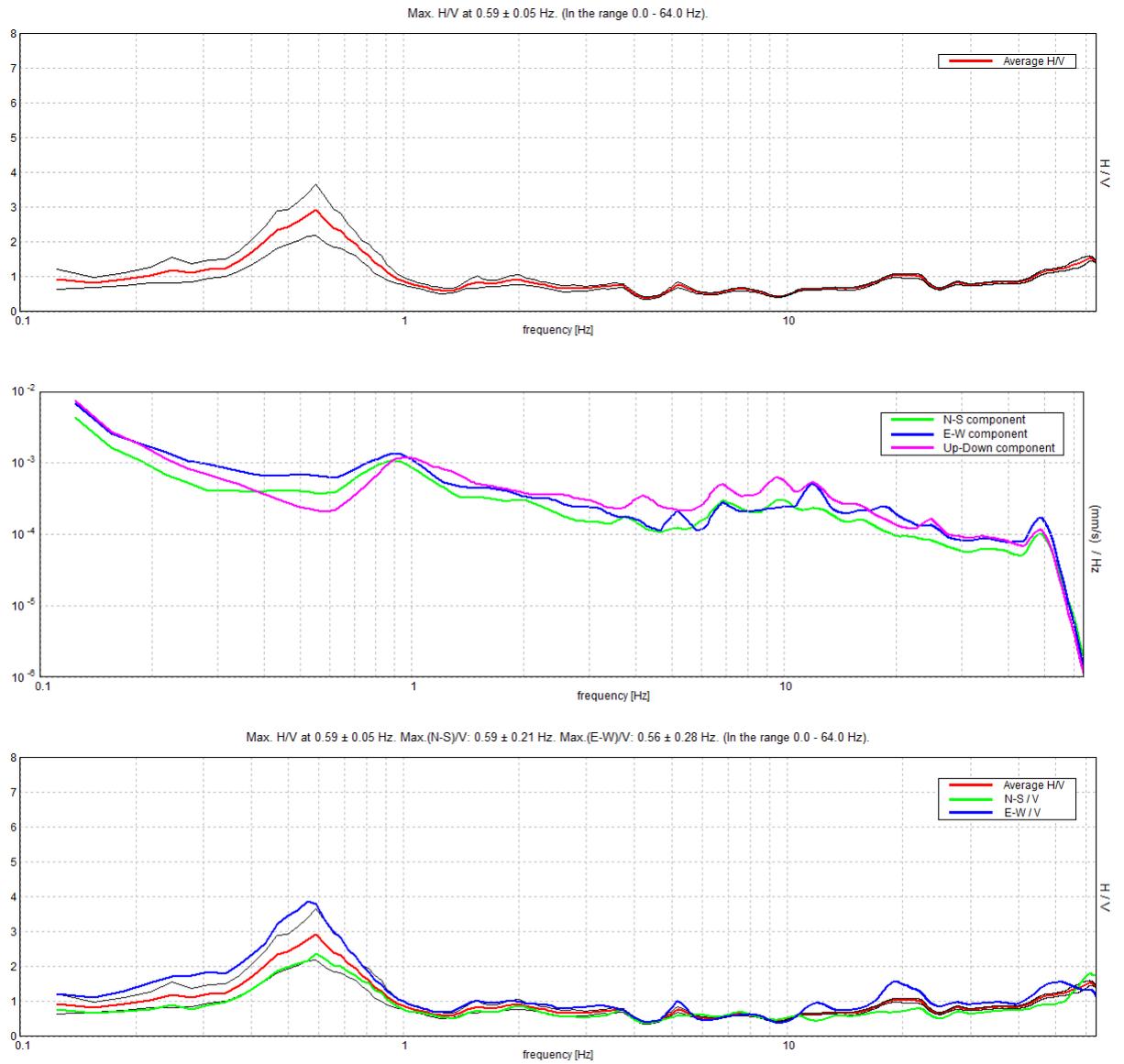
### Sondaggio tromografico T3



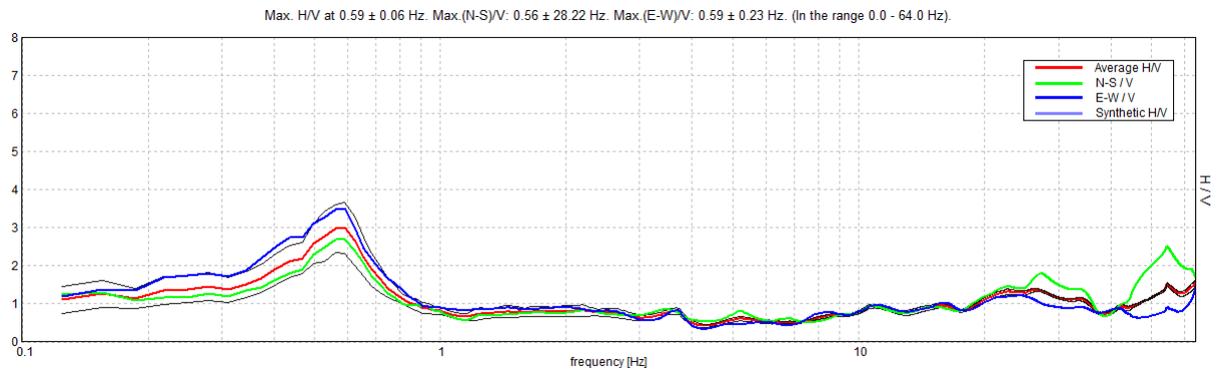
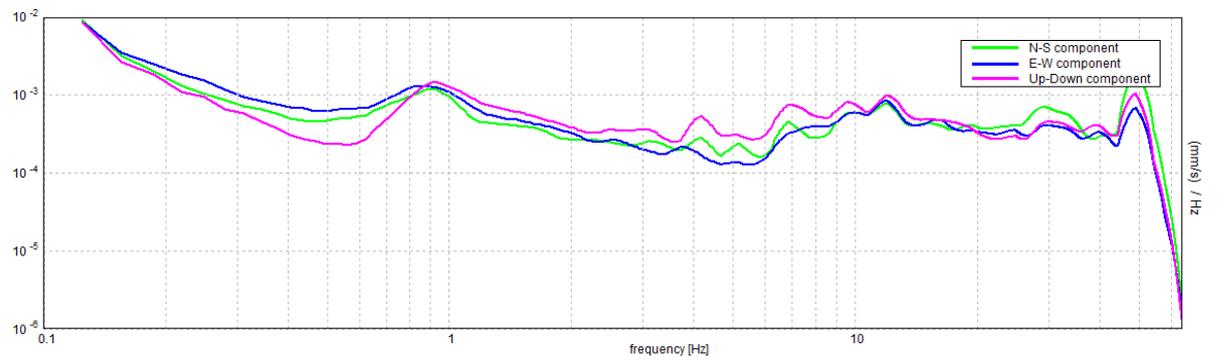
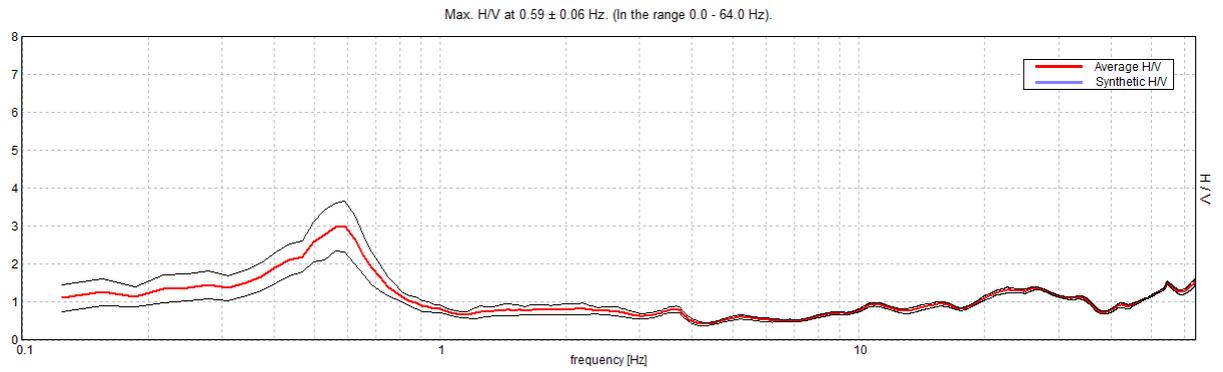
### Sondaggio tromografico T4



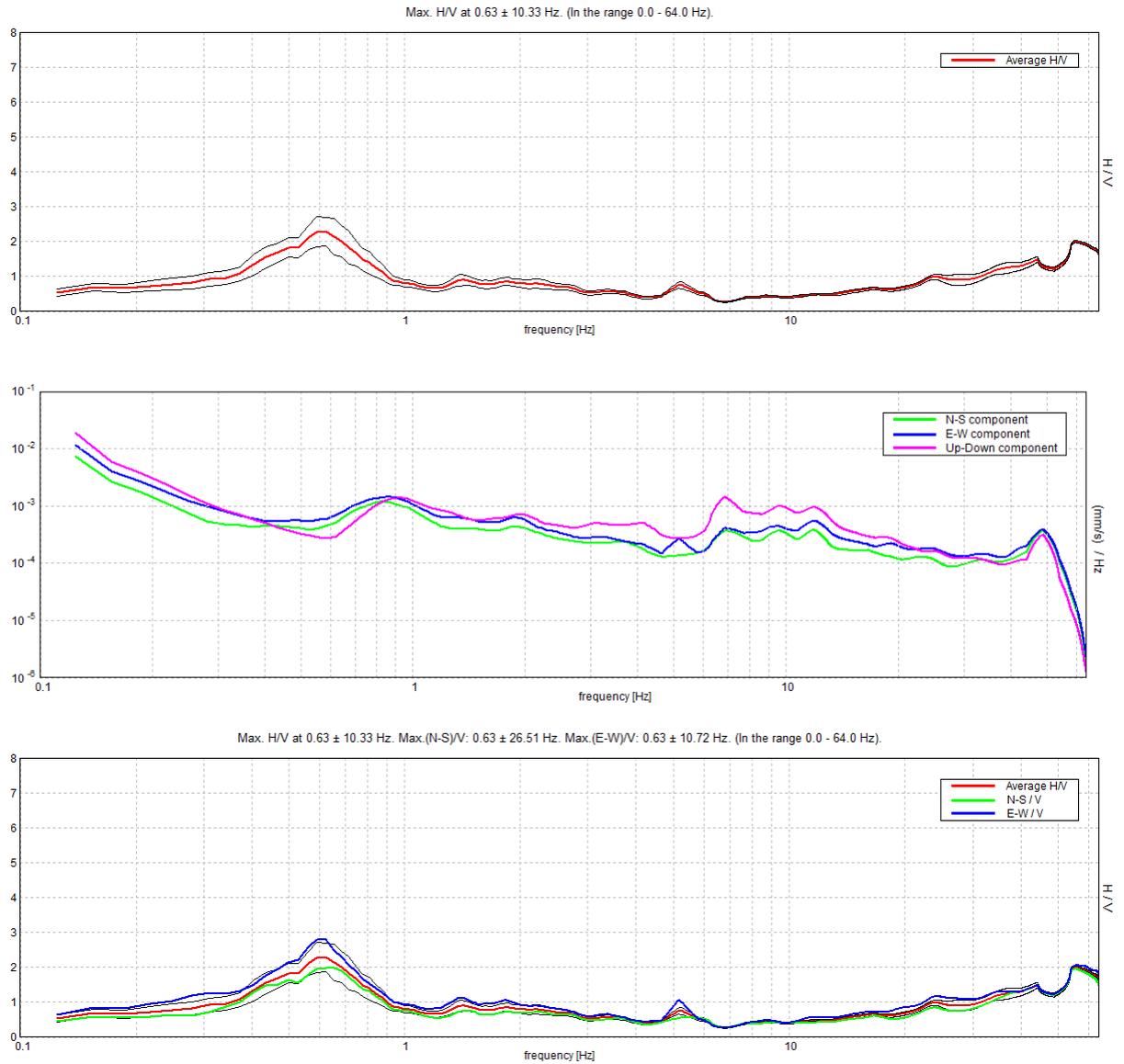
### Sondaggio tromografico T5



### Sondaggio tromografico T6

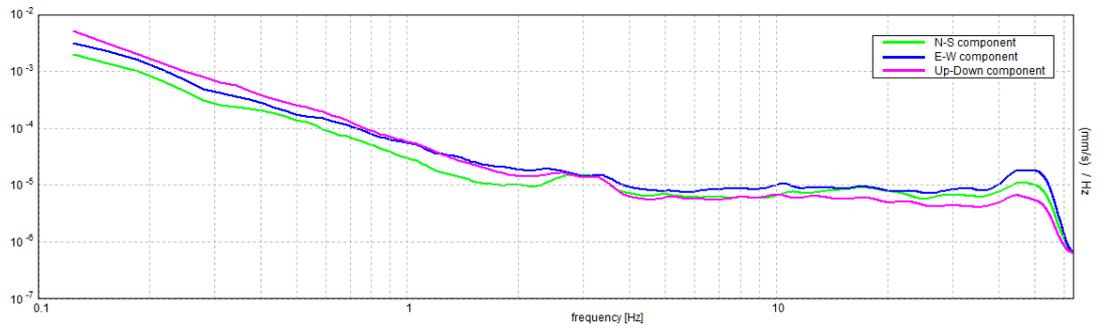
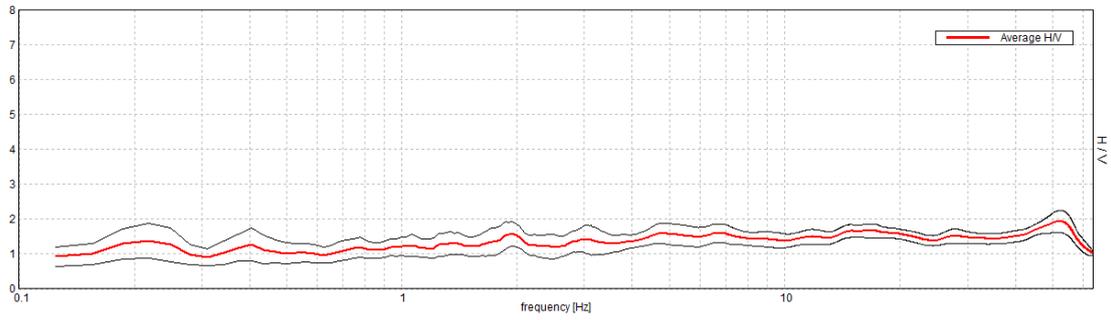


### Sondaggio tromografico T7

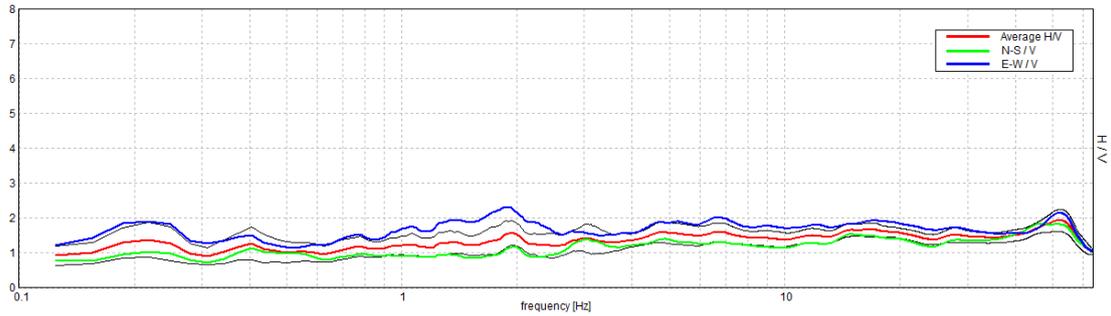


### Sondaggio tromografico T8

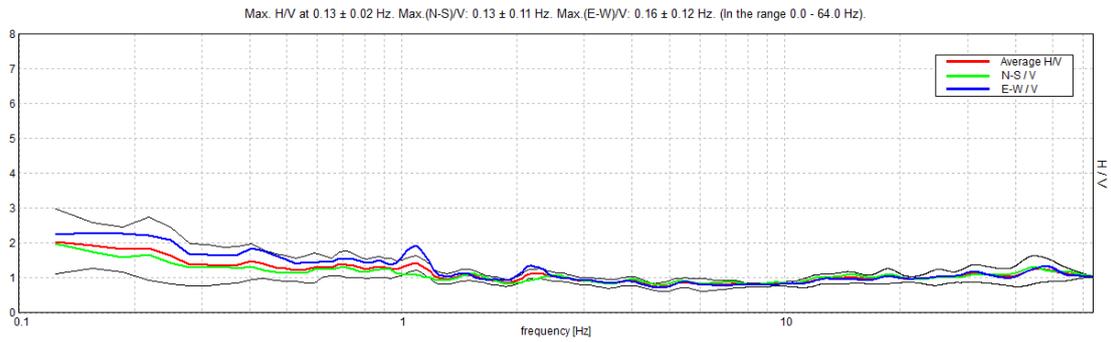
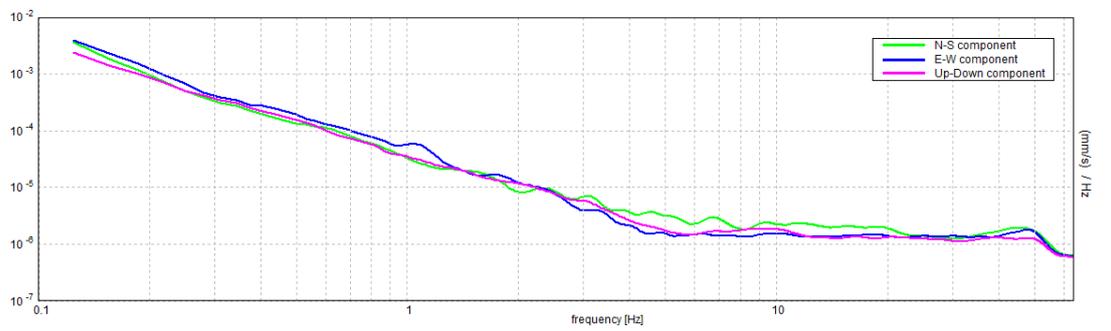
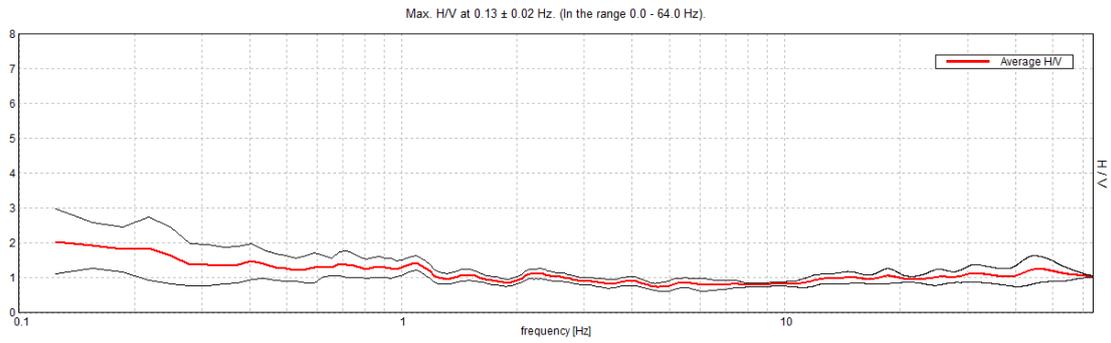
Max. H/V at 52.16 ± 13.11 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



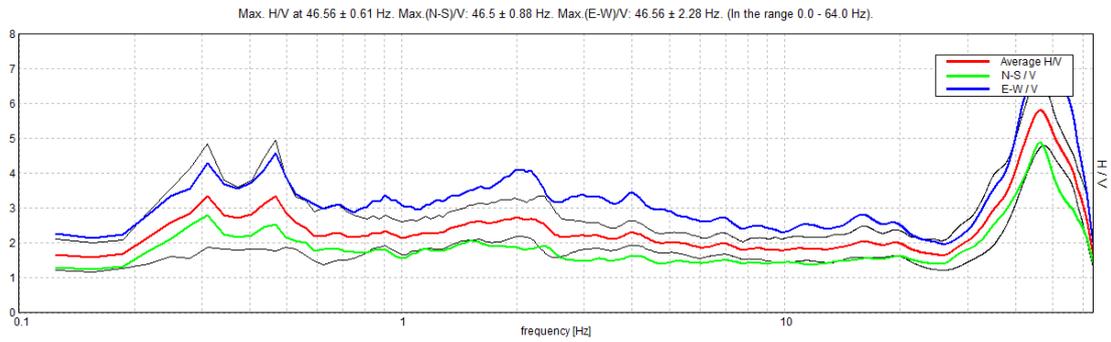
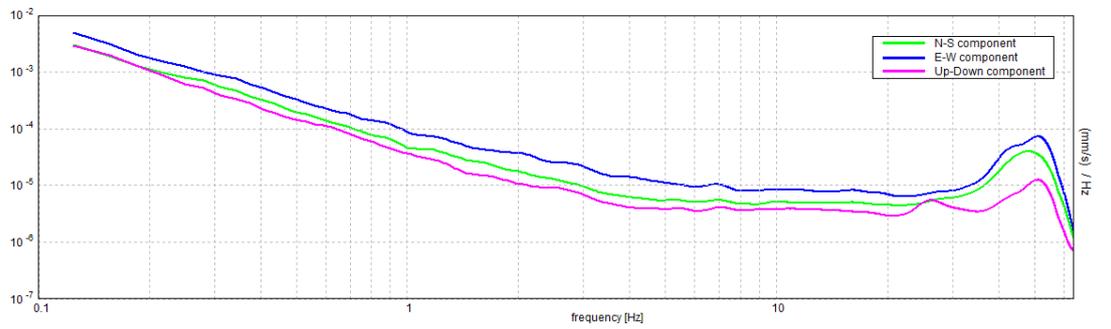
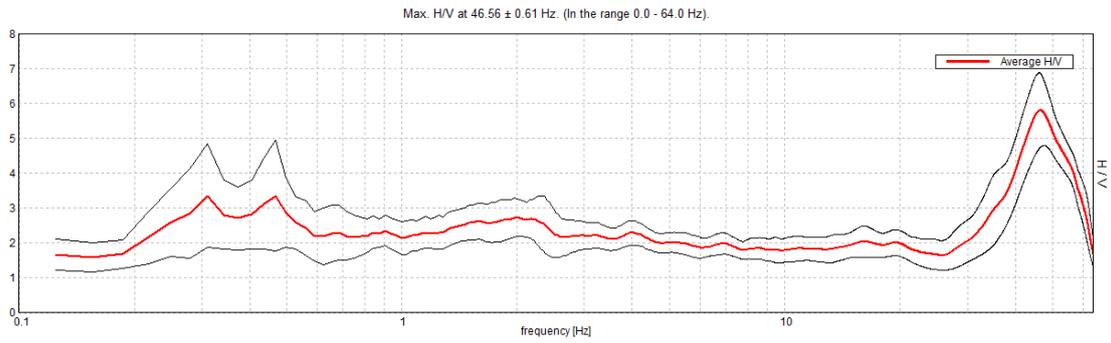
Max. H/V at 52.16 ± 13.11 Hz. Max.(N-S)/V: 46.44 ± 5.01 Hz. Max.(E-W)/V: 1.88 ± 10.25 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



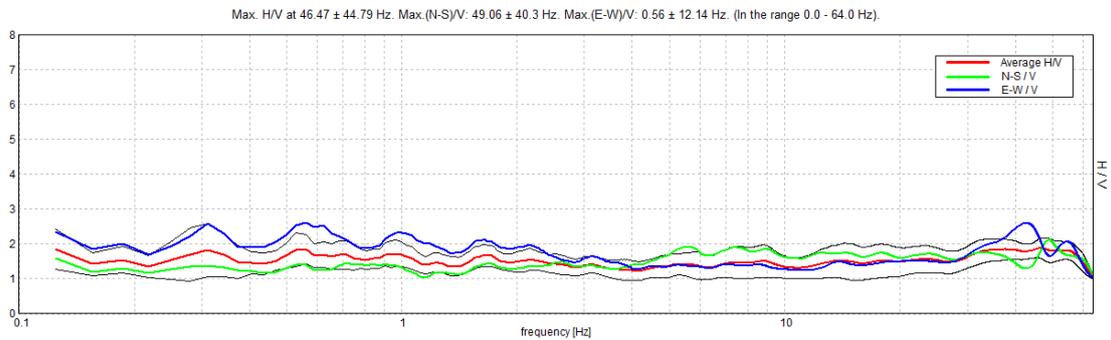
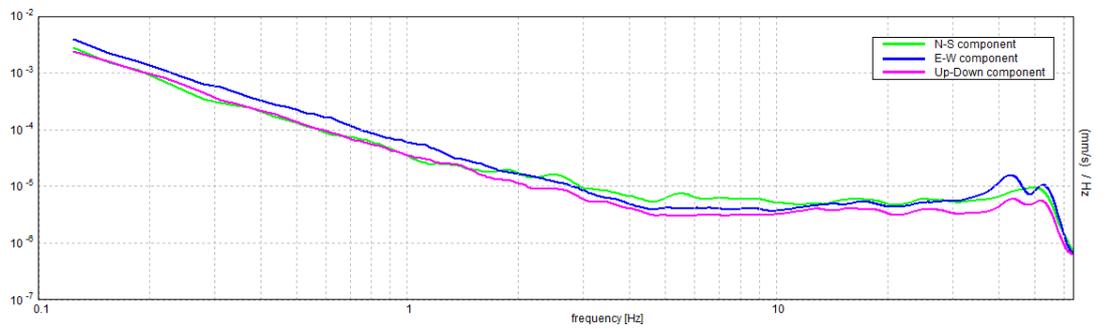
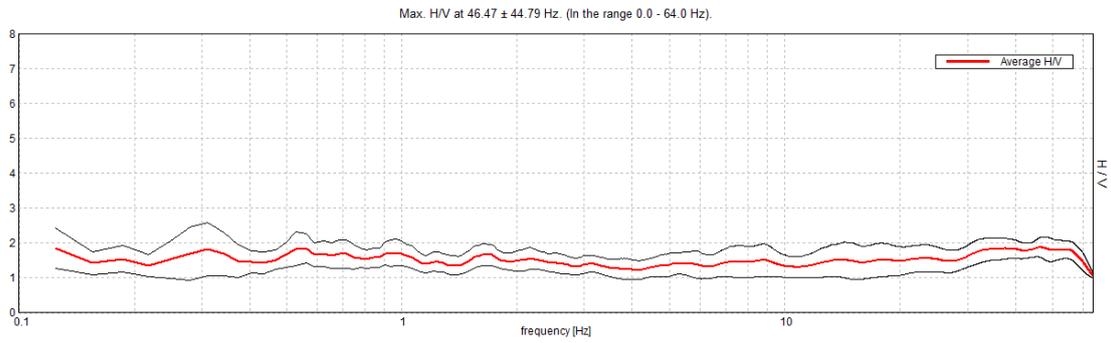
Sondaggio tromografico T9



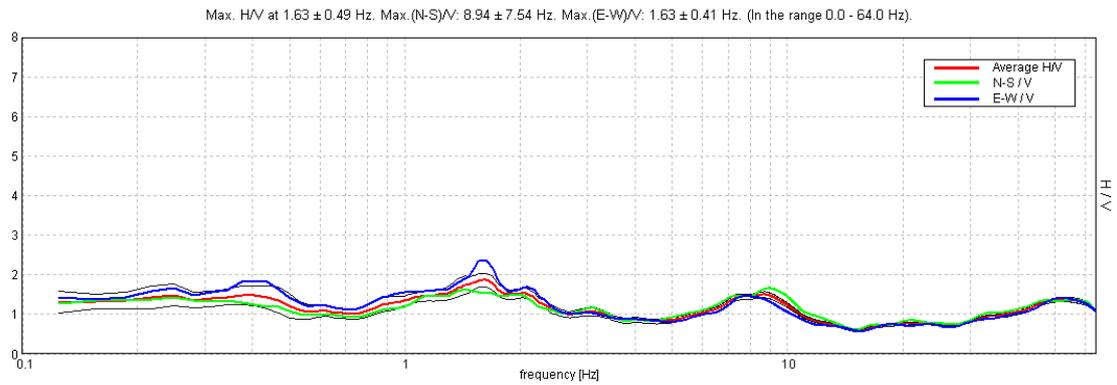
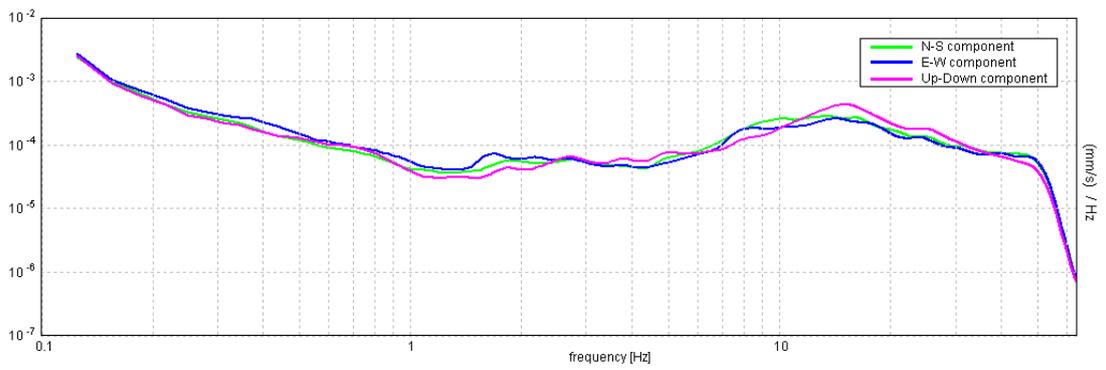
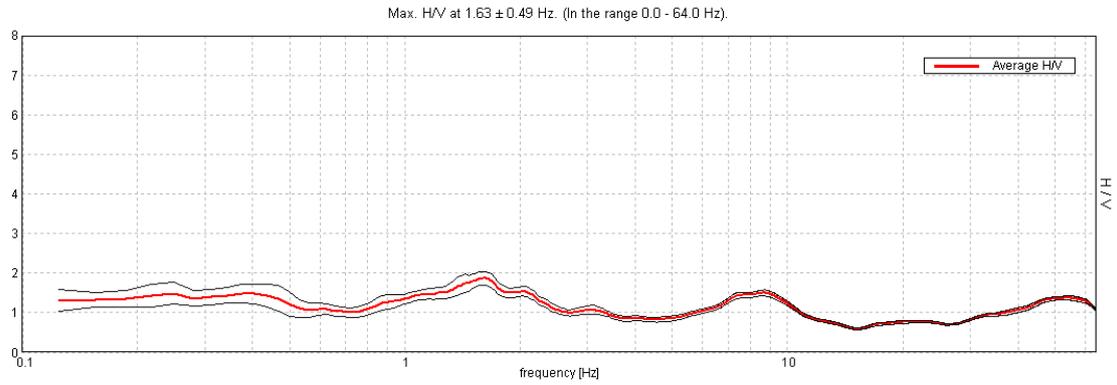
**Sondaggio tromografico T10**



### Sondaggio tromografico T11

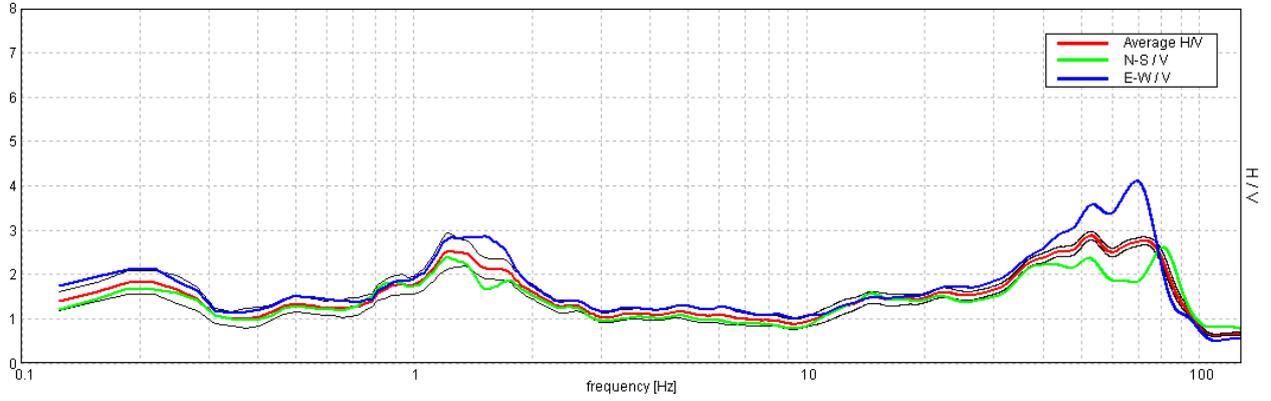


### Sondaggio tromografico T12

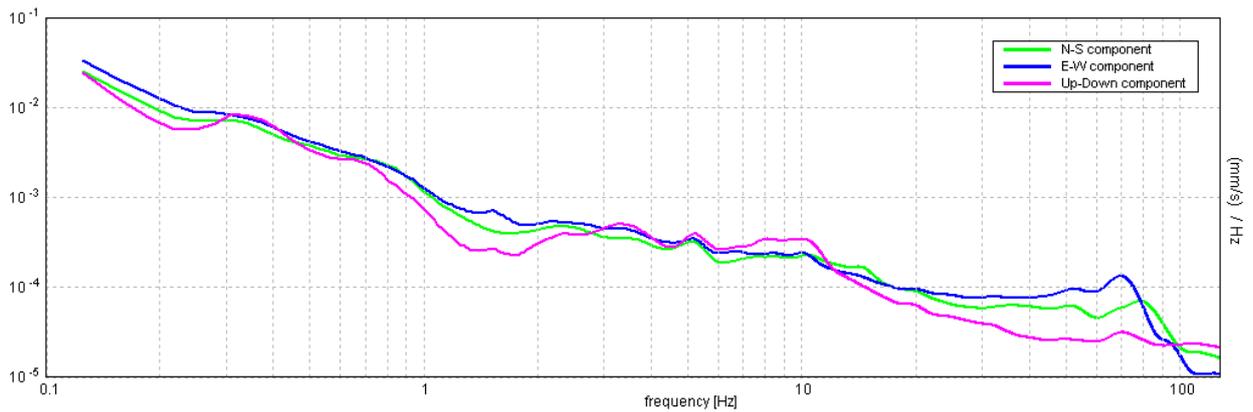
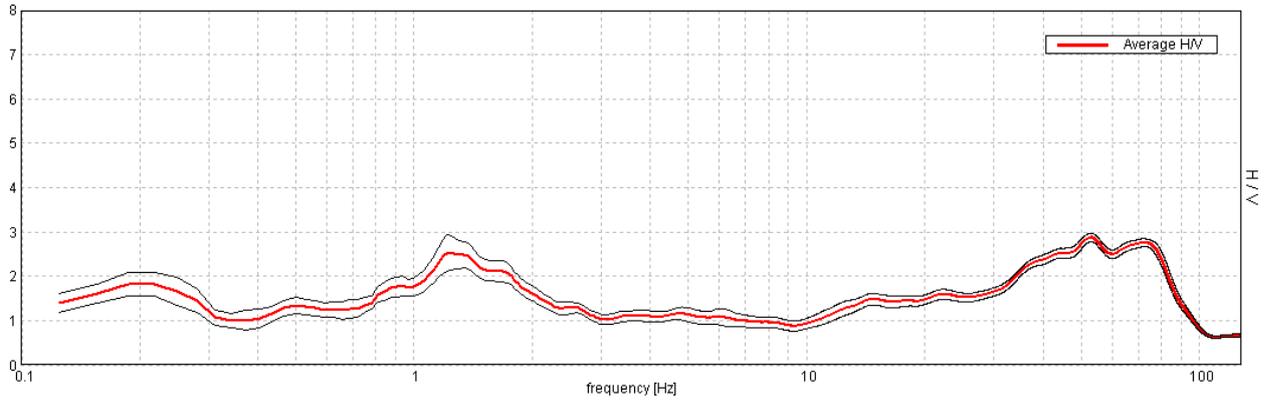


**Sondaggio tromografico T13**

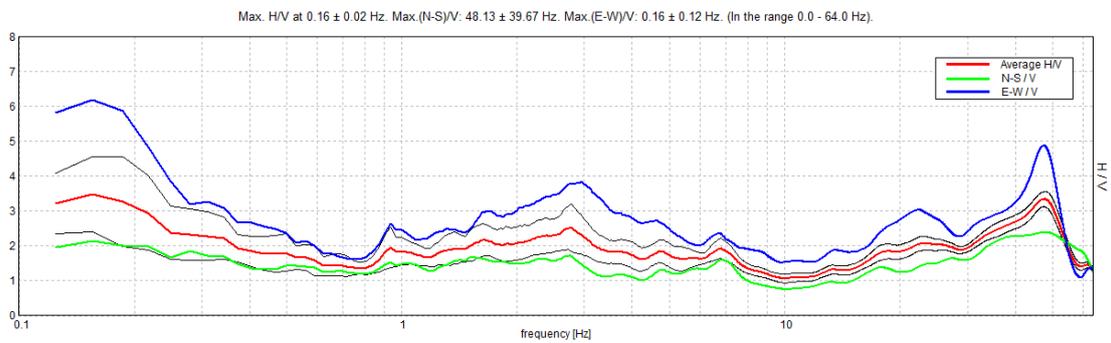
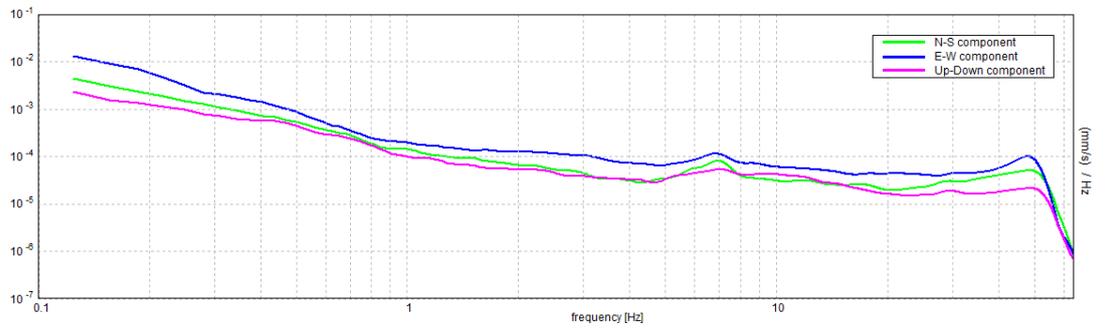
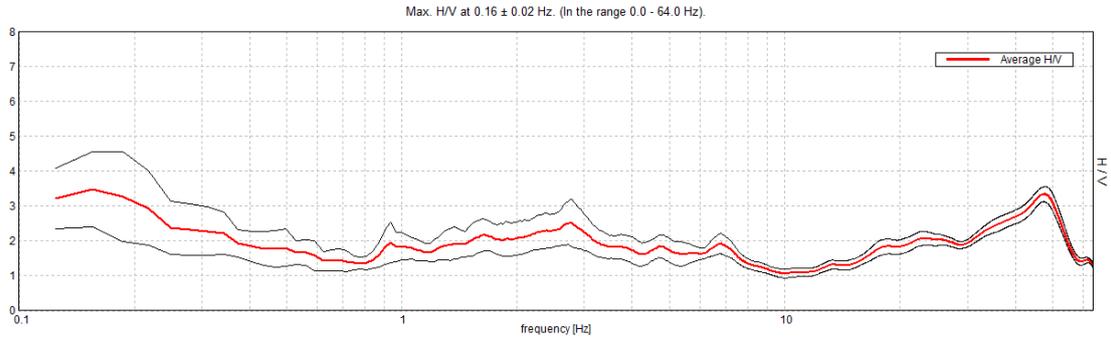
Max. H/V at 53.09 ± 7.14 Hz. Max. (N-S)/V: 80.94 ± 14.44 Hz. Max. (E-W)/V: 69.38 ± 3.48 Hz. (In the range 0.0 - 128.0 Hz).



Max. H/V at 53.09 ± 7.14 Hz. (In the range 0.0 - 128.0 Hz).

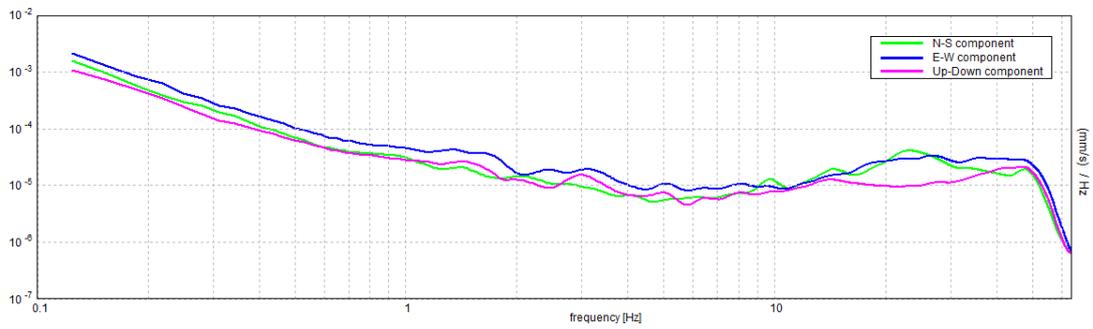
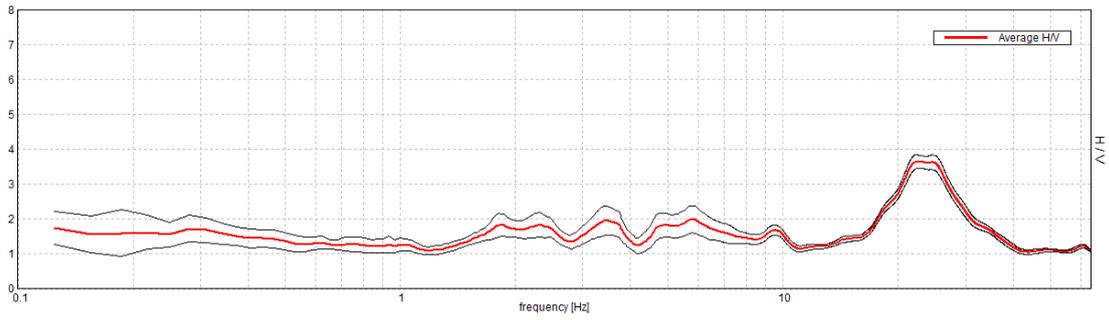


Sondaggio tromografico T12

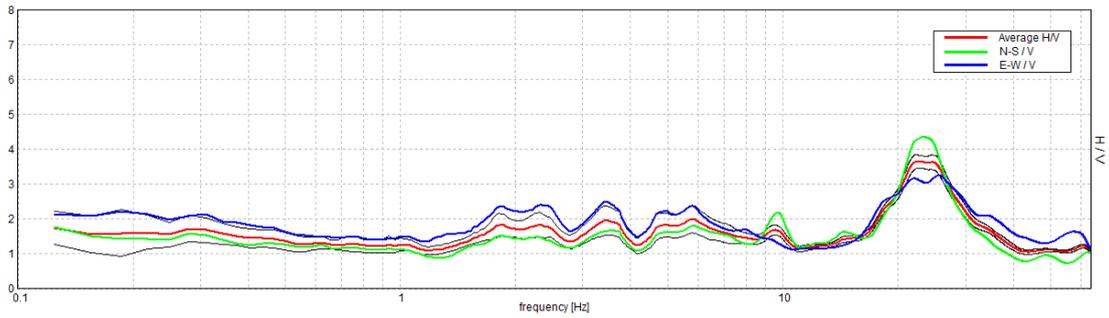


### Sondaggio tomografico TSOTT

Max. H/V at  $22.47 \pm 0.46$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Max. H/V at  $22.47 \pm 0.46$  Hz. Max. (N-S)/V:  $23.31 \pm 1.12$  Hz. Max. (E-W)/V:  $25.59 \pm 5.83$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



In generale, la frequenza di risonanza delle onde S che viaggiano all'interno di uno strato è legata al tempo di tragitto delle onde S nello strato stesso dalla relazione

$$f_r = \frac{1}{4T_H}$$

Dove  $T_H$  è il tempo di tragitto dall'interfaccia risonante e  $f_r$  è la frequenza di risonanza.

A partire dalla formula precedente e conoscendo la profondità  $h$  dell'interfaccia risonante è definibile la velocità media delle onde S nella struttura risonante

$$V = \frac{H}{T_H}$$

e

$$f_r = \frac{1}{4T_H}$$

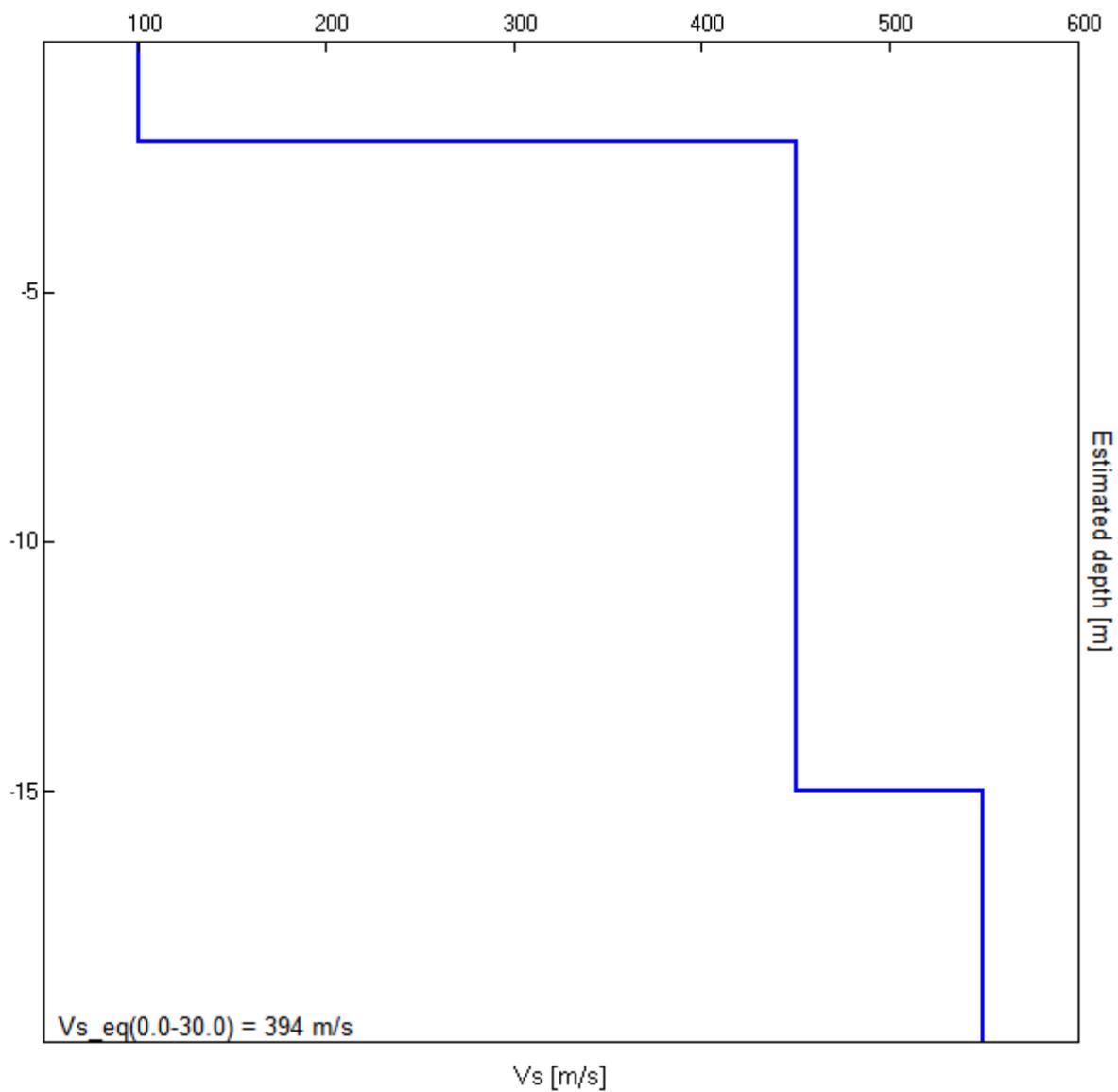
da cui si ricava

$$V = 4 f_r h$$

In allegato sono riportate, in dettaglio, le interpretazioni dei dati sperimentali ottenuti.

*Relazione geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di un impianto eolico denominato “CALTAGIRONE”*

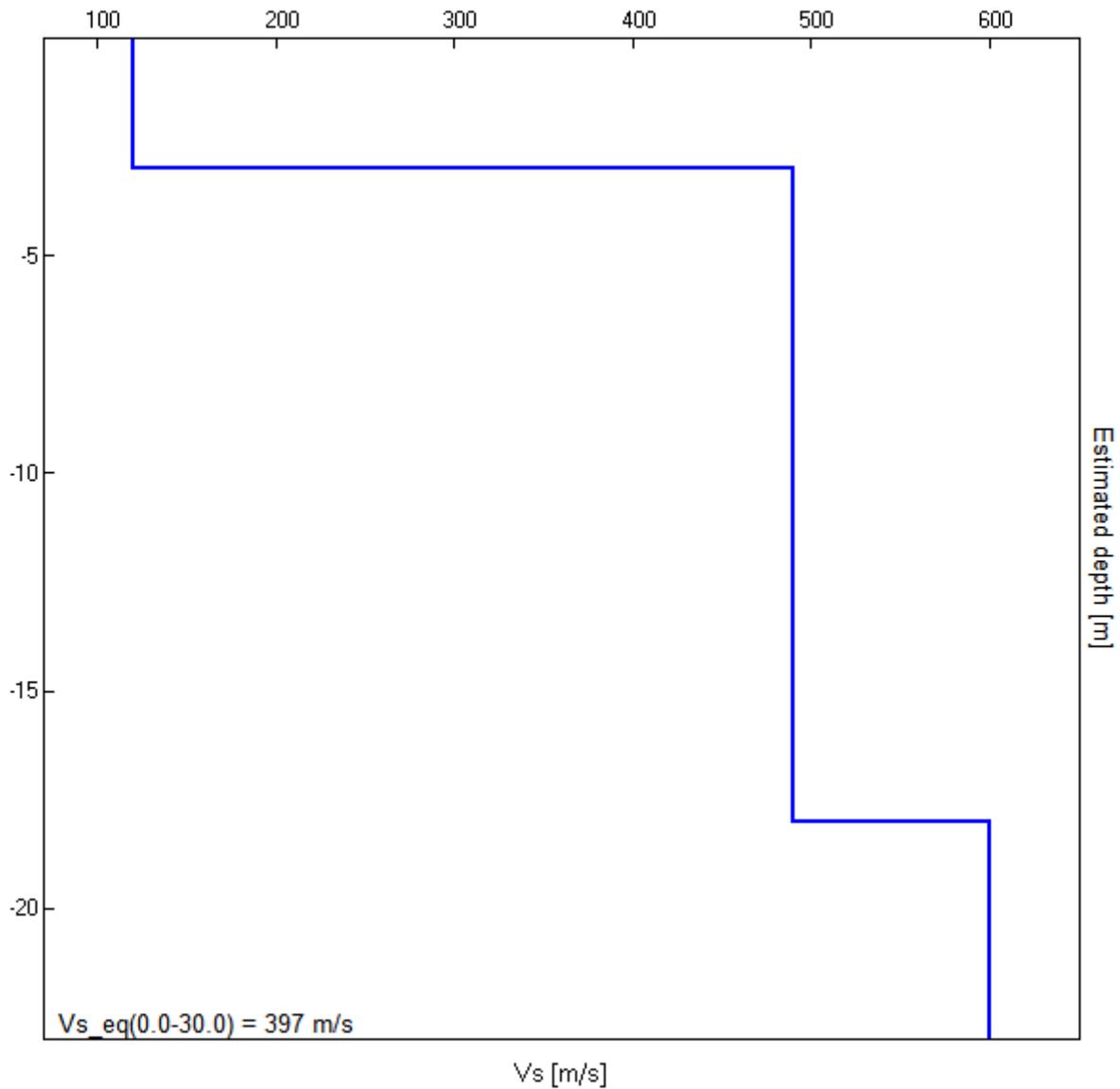
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-2.00	100	<b>B</b> (Vs,eq = 394 m/s)
2.00-15.00	450	
15.00-30.00	550	



*Interpretazione sondaggio tomografico T1*

*Relazione geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di un impianto eolico denominato “CALTAGIRONE”*

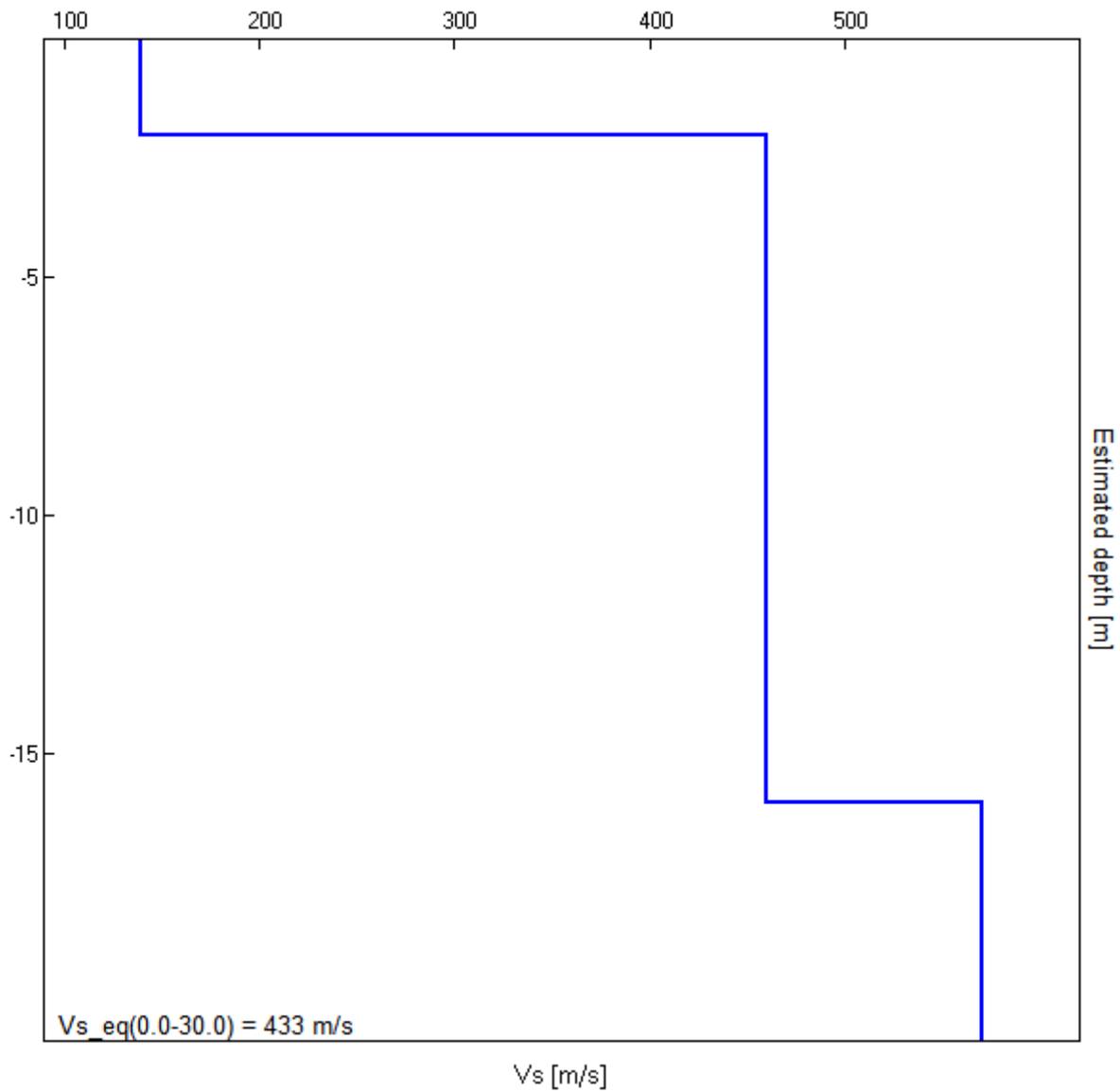
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-3.00	120	<b>B</b> (Vs,eq = 397 m/s)
3.00-18.00	490	
18.00-30.00	600	



*Interpretazione sondaggio tomografico T2*

*Relazione geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di un impianto eolico denominato “CALTAGIRONE”*

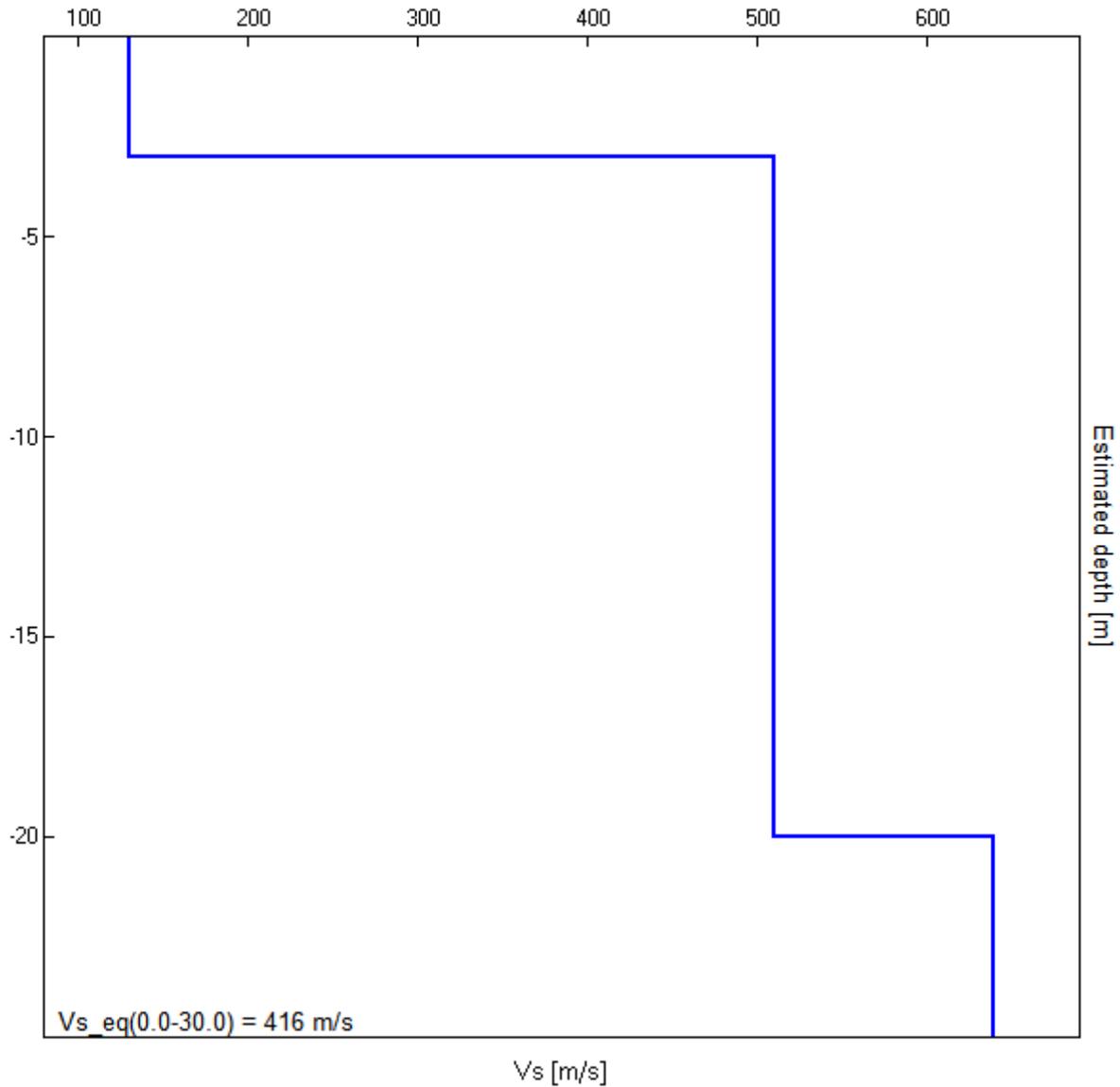
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-2.00	140	<b>B</b> (Vs,eq =433 m/s)
2.00-16.00	460	
16.00-30.00	570	



*Interpretazione sondaggio tomografico T3*

*Relazione geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di un impianto eolico denominato “CALTAGIRONE”*

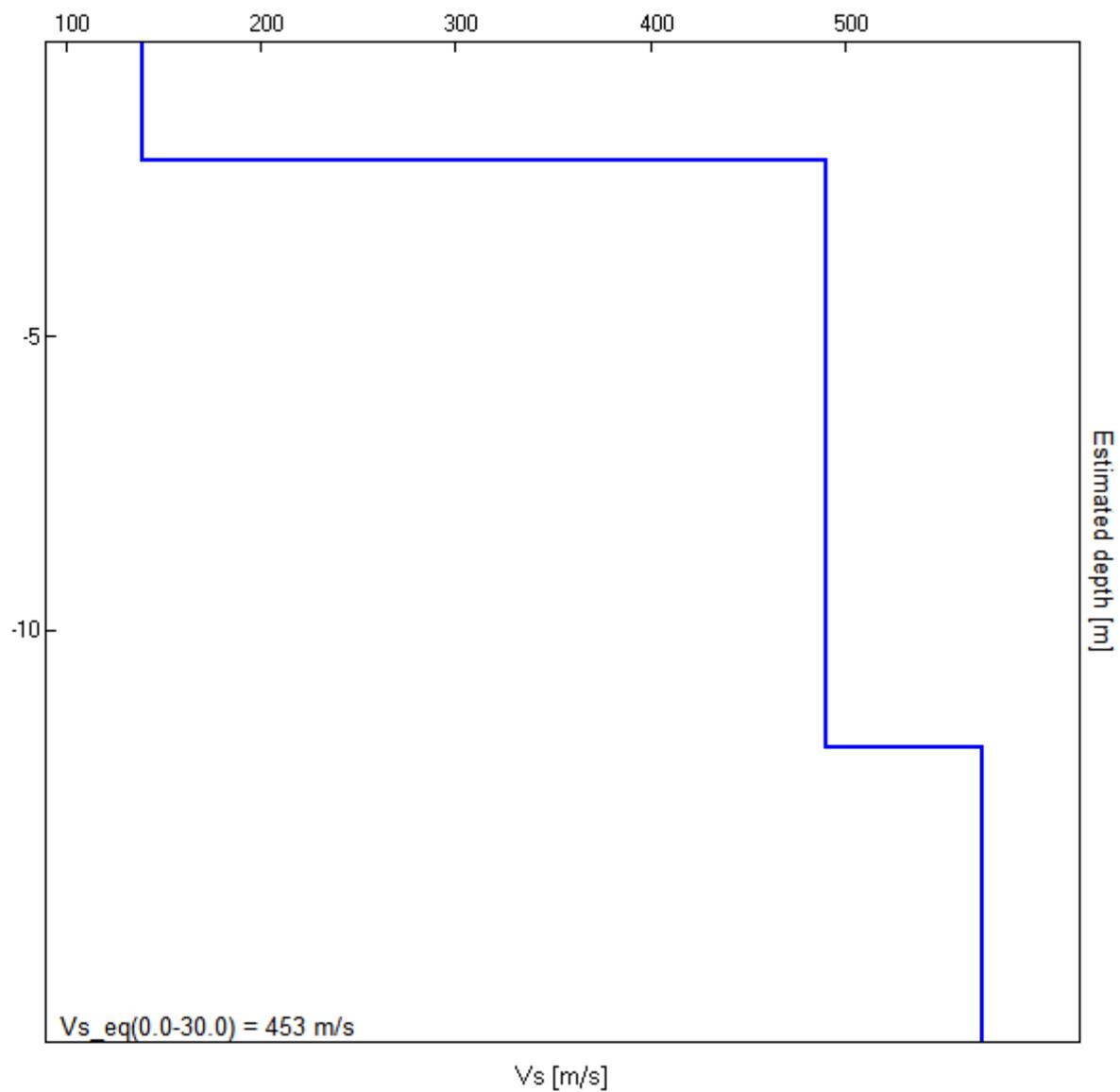
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-3.00	130	<b>B</b> (Vs,eq = 416 m/s)
3.00-20.00	510	
20.00-30.00	640	



*Interpretazione sondaggio tomografico T4*

*Relazione geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di un impianto eolico denominato “CALTAGIRONE”*

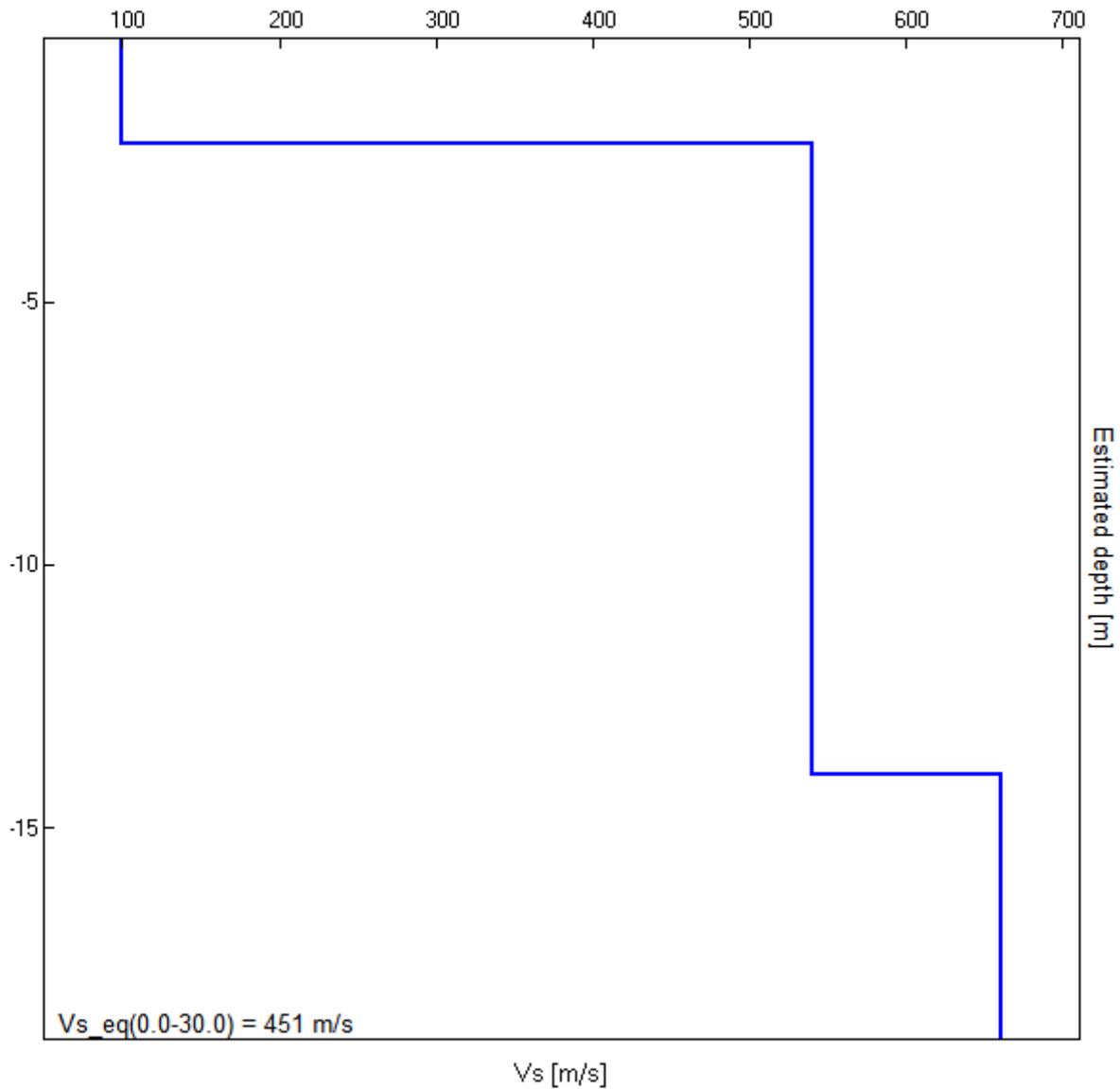
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-2.00	140	<b>B</b> (Vs,eq = 453 m/s)
2.00-12.00	490	
12.00-30.00	570	



*Interpretazione sondaggio tomografico T5*

*Relazione geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di un impianto eolico denominato “CALTAGIRONE”*

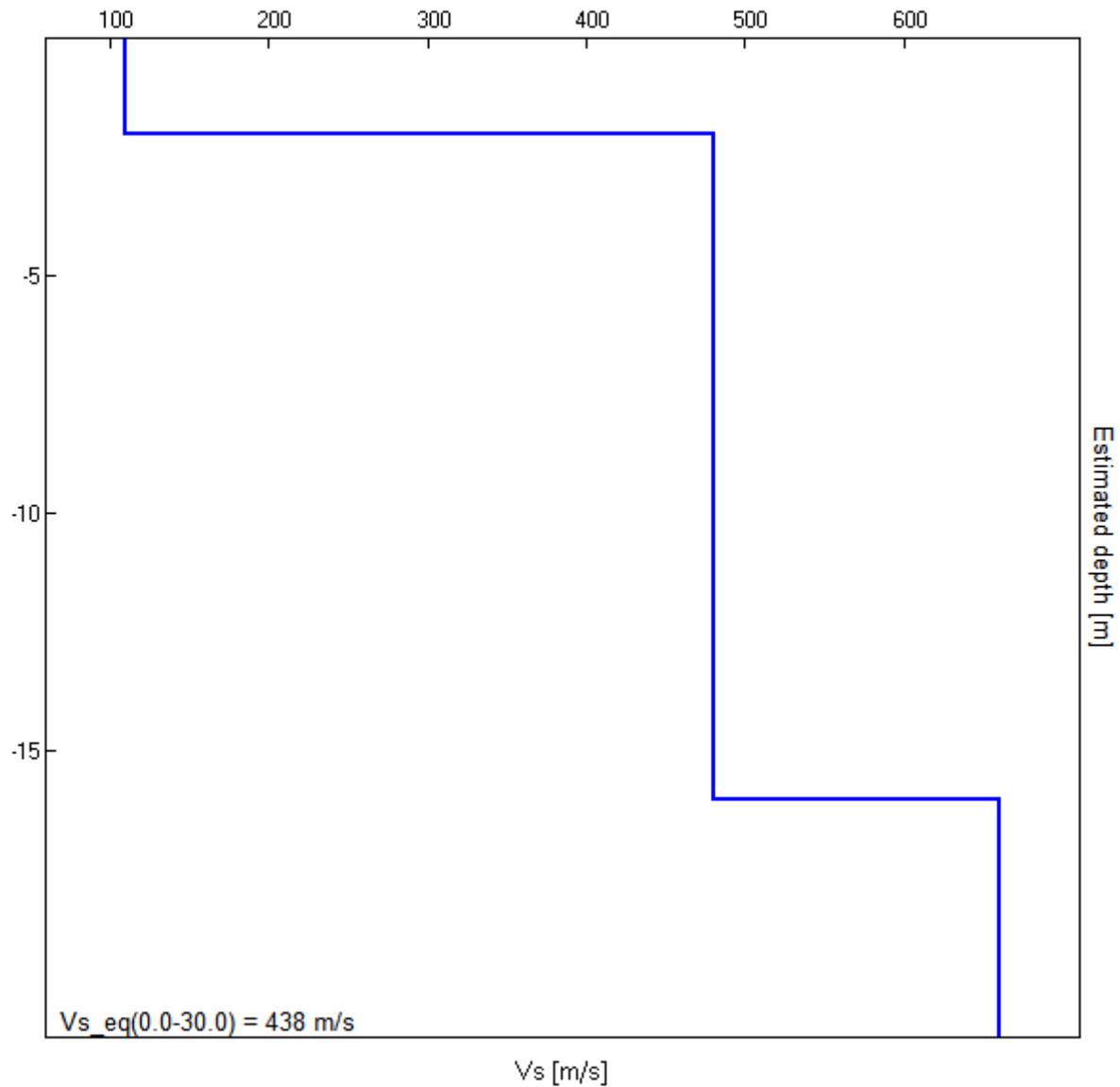
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-2.00	100	<b>B</b> (Vs,eq = 451 m/s)
2.00-14.00	540	
14.00-30.00	660	



*Interpretazione sondaggio tomografico T6*

*Relazione geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di un impianto eolico denominato “CALTAGIRONE”*

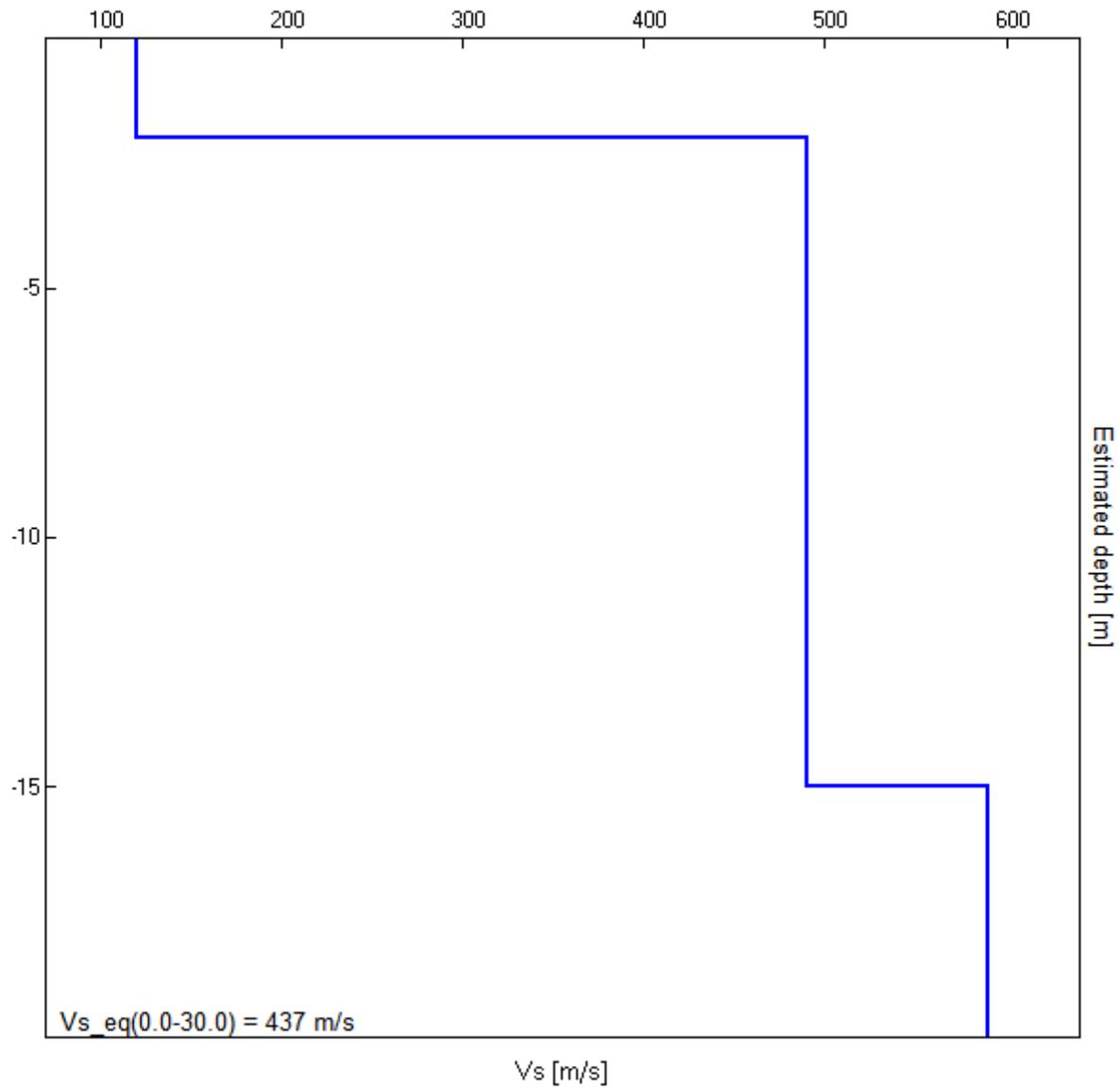
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-3.00	110	<b>B</b> (Vs,eq = 438 m/s)
3.00-17.00	480	
17.00-30.00	660	



*Interpretazione sondaggio tomografico T7*

*Relazione geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di un impianto eolico denominato “CALTAGIRONE”*

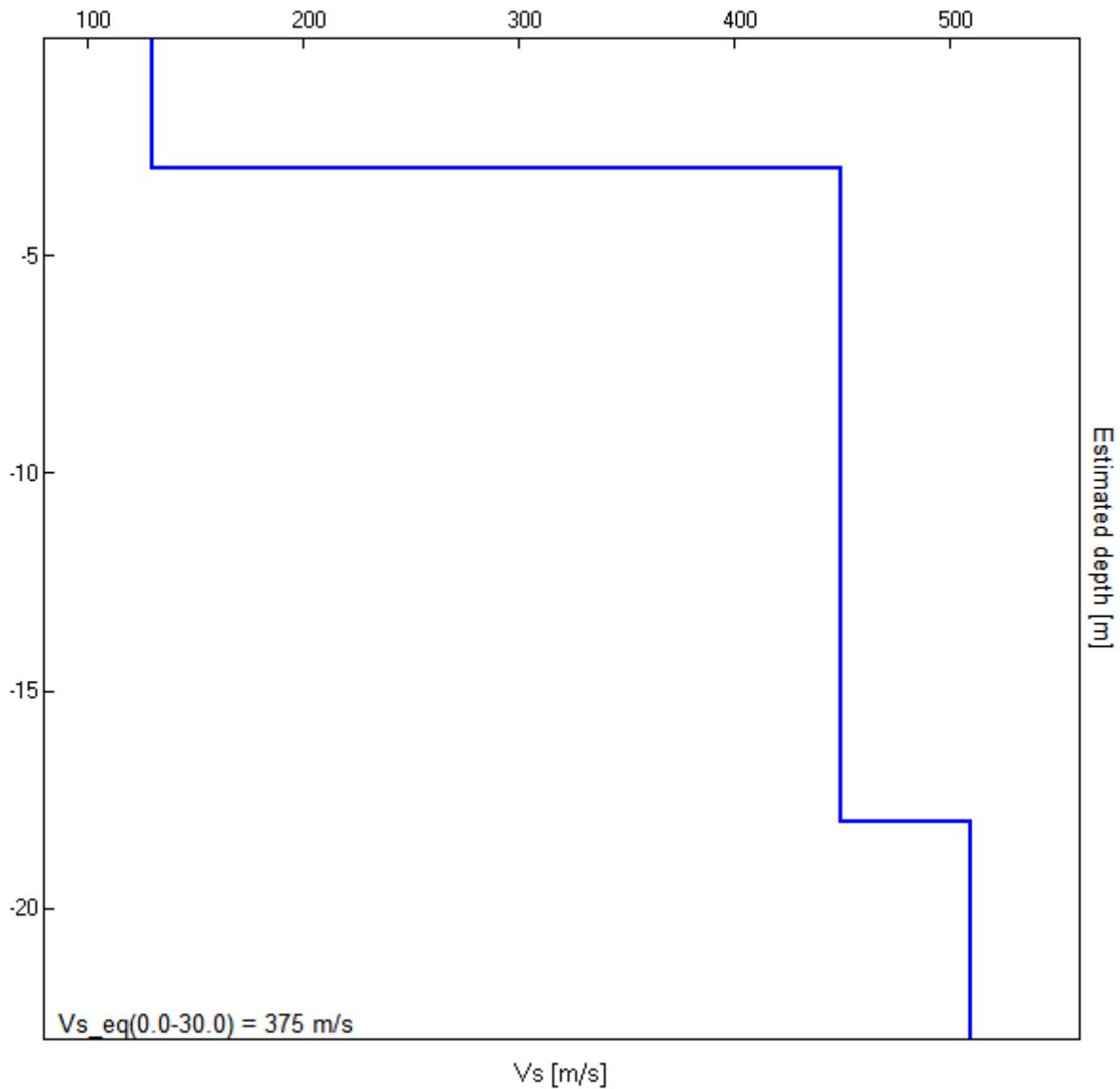
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-2.00	120	<b>B</b> (Vs,eq = 437 m/s)
2.00-15.00	490	
15.00-30.00	590	



*Interpretazione sondaggio tomografico T8*

*Relazione geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di un impianto eolico denominato “CALTAGIRONE”*

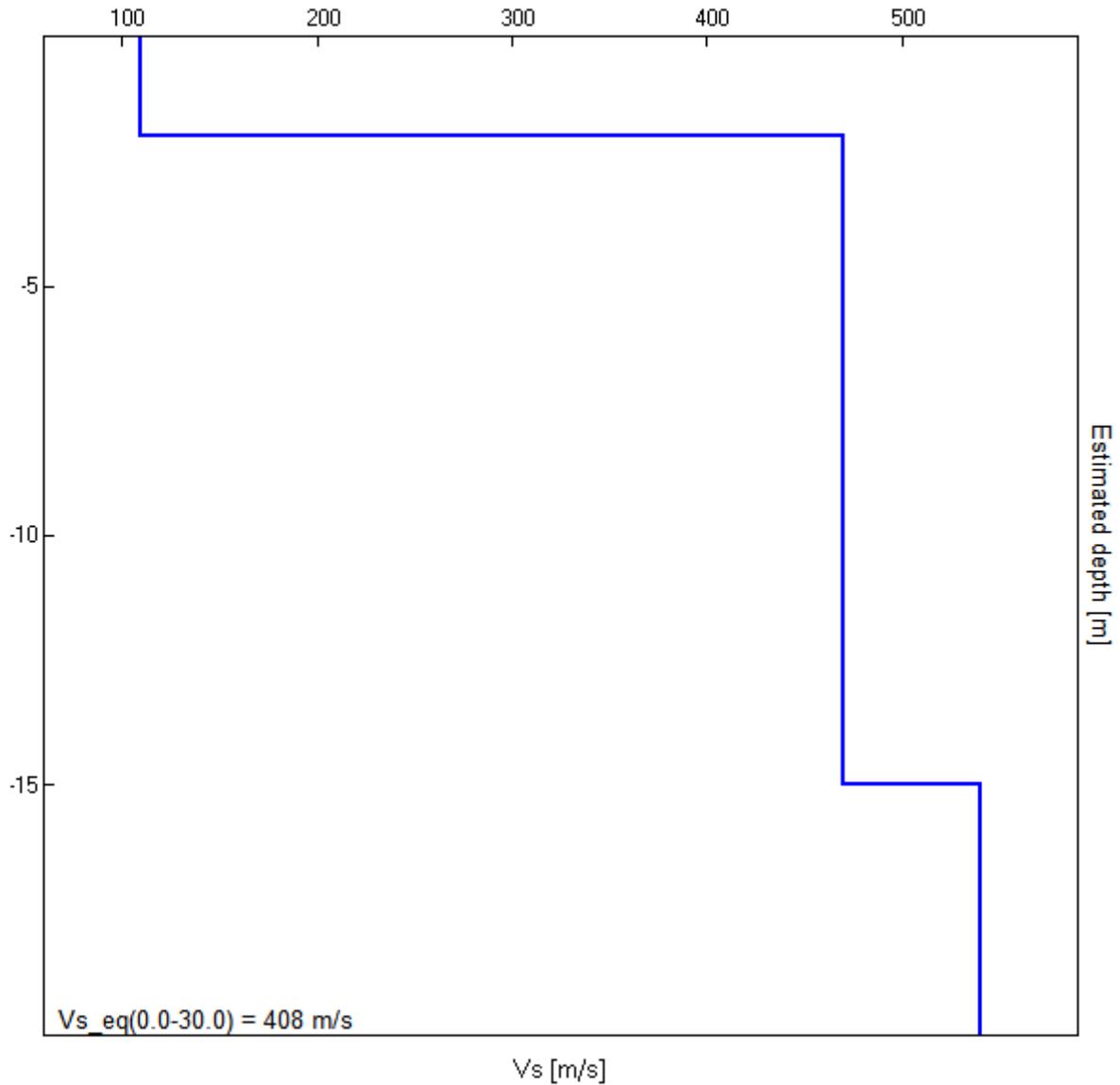
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-3.00	130	<b>B</b> (Vs,eq = 375 m/s)
3.00-18.00	450	
18.00-30.00	510	



*Interpretazione sondaggio tomografico T9*

*Relazione geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di un impianto eolico denominato “CALTAGIRONE”*

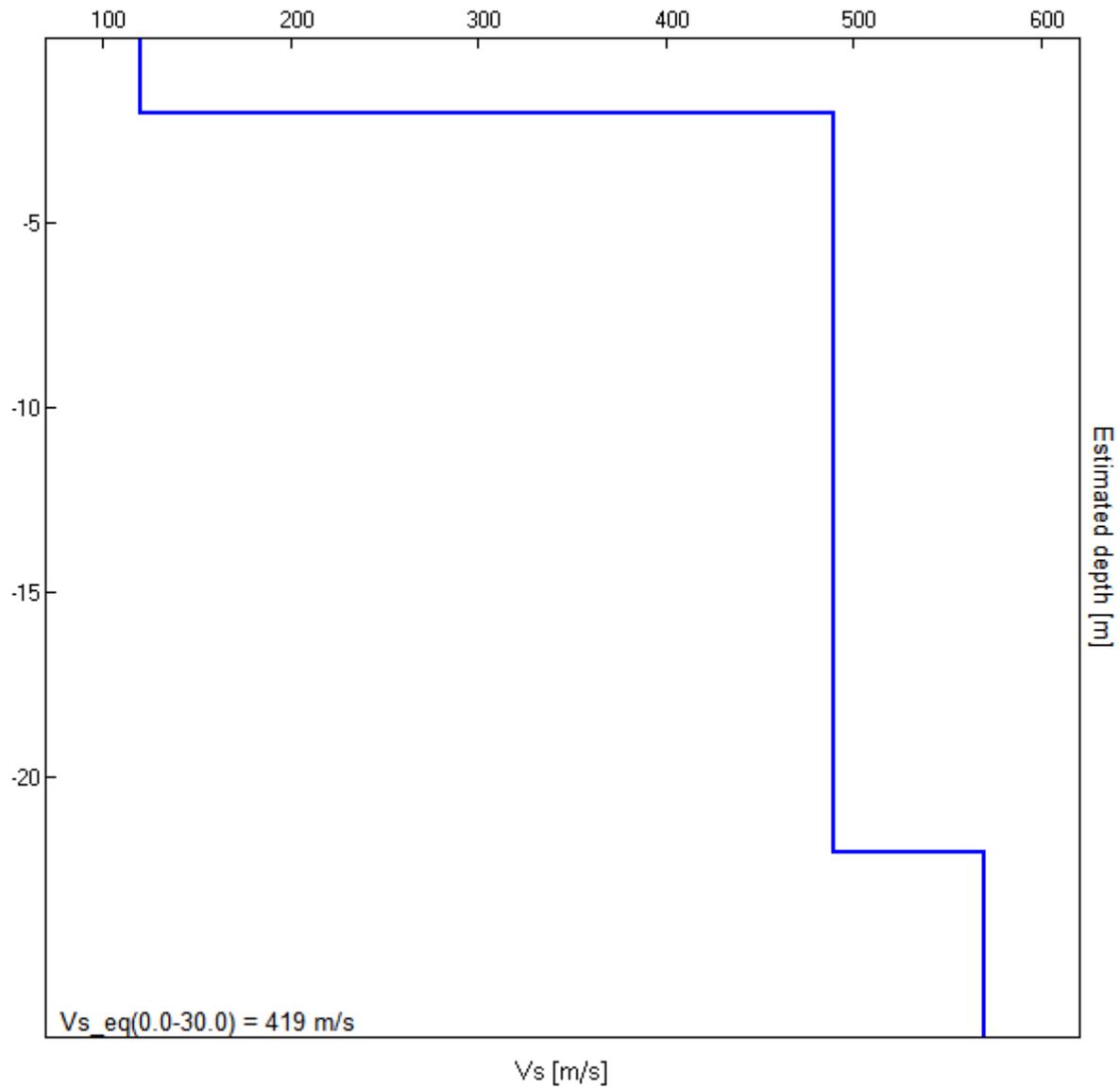
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-2.00	110	<b>B</b> (Vs,eq = 408 m/s)
2.00-15.00	470	
15.00-30.00	540	



*Interpretazione sondaggio tomografico T10*

*Relazione geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di un impianto eolico denominato “CALTAGIRONE”*

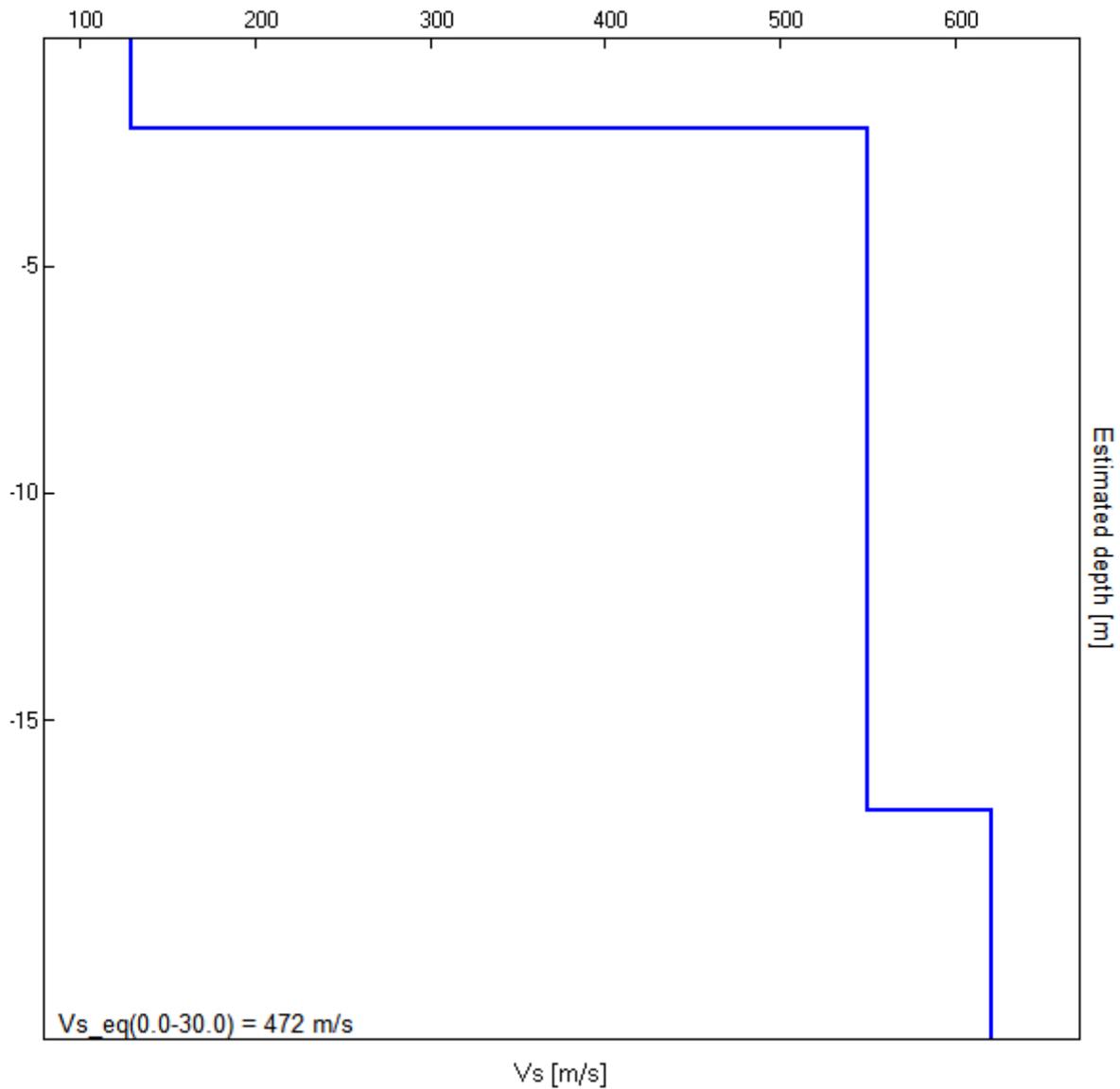
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-2.00	120	<b>B</b> (Vs,eq = 419 m/s)
2.00-22.00	490	
22.00-30.00	570	



*Interpretazione sondaggio tomografico T11*

*Relazione geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di un impianto eolico denominato “CALTAGIRONE”*

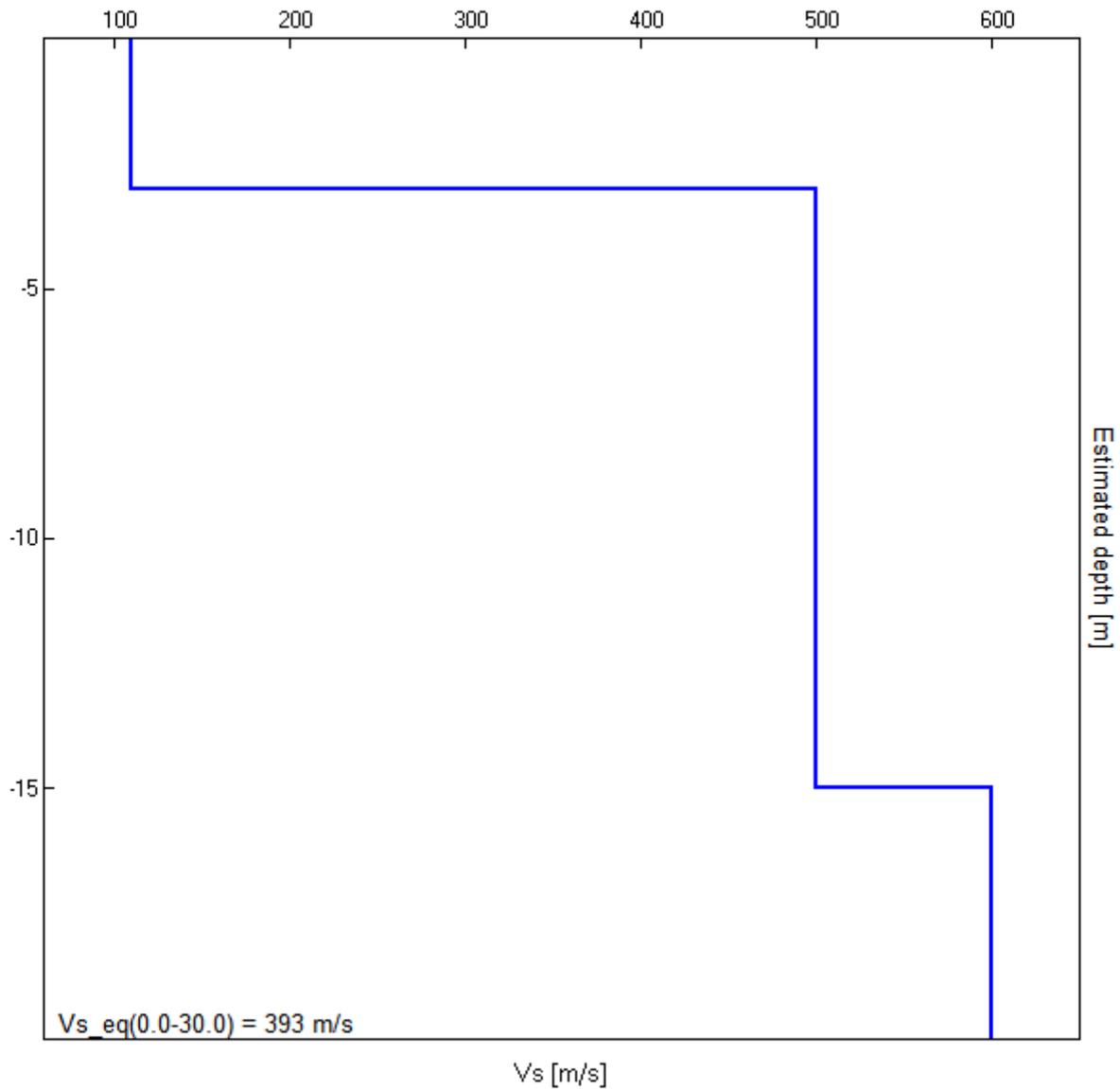
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-2.00	130	<b>B</b> (Vs,eq = 472 m/s)
2.00-17.00	550	
17.00-30.00	620	



*Interpretazione sondaggio tomografico T12*

*Relazione geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di un impianto eolico denominato “CALTAGIRONE”*

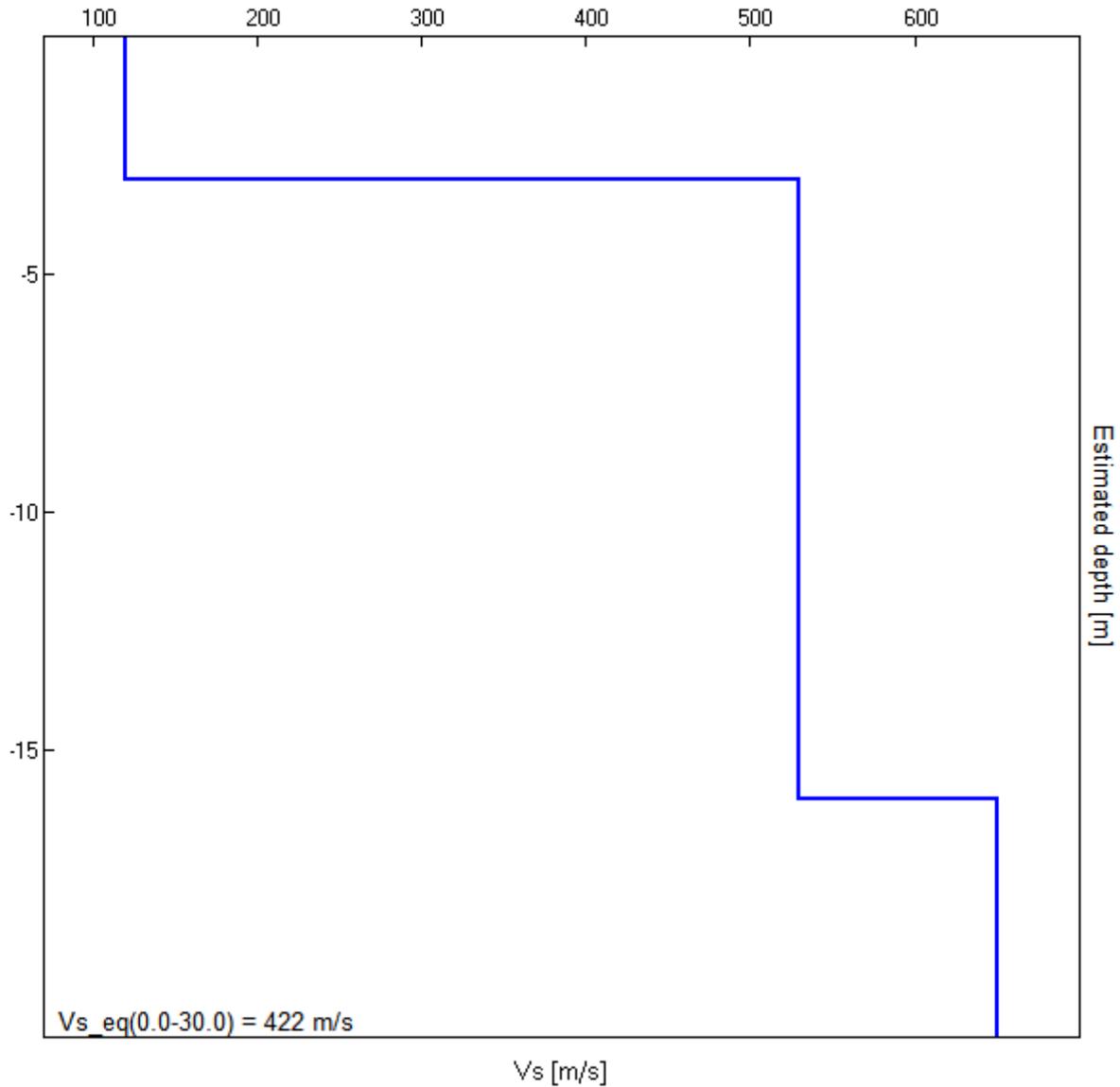
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-3.00	110	<b>B</b> (Vs,eq = 393 m/s)
3.00-15.00	500	
15.00-30.00	600	



*Interpretazione sondaggio tomografico T13*

*Relazione geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di un impianto eolico denominato “CALTAGIRONE”*

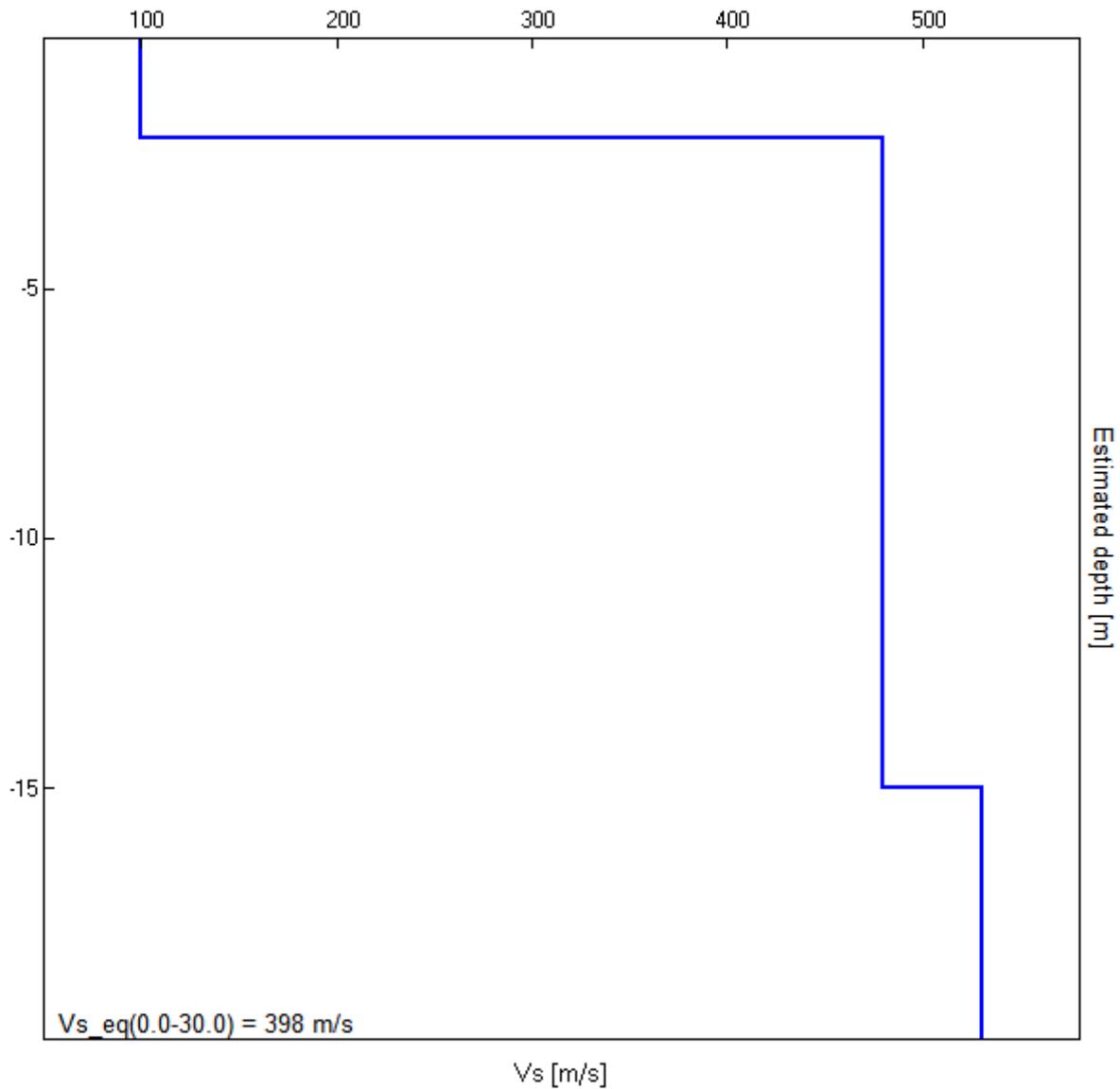
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-2.00	120	<b>B</b> (Vs,eq = 422 m/s)
2.00-15.00	530	
15.00-30.00	650	



*Interpretazione sondaggio tomografico T14*

*Relazione geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di un impianto eolico denominato “CALTAGIRONE”*

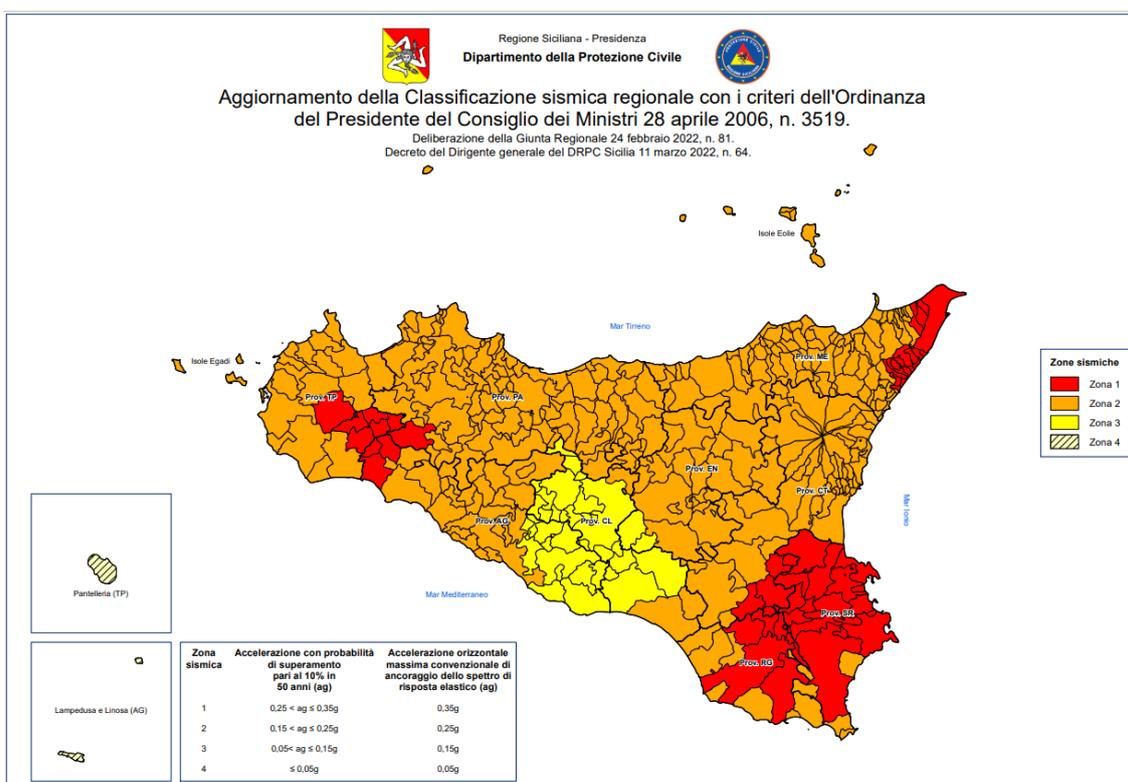
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-2.00	100	<b>B</b> (Vs,eq = 398 m/s)
2.00-15.00	480	
15.00-30.00	530	



*Interpretazione sondaggio tomografico Tsott*

## 5. CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO

Il territorio dei Comuni di Caltagirone e Chiaramonte Gulfi, in cui si trovano le aree oggetto di intervento progettuale, a seguito di aggiornamento della classificazione sismica del territorio regionale della Sicilia con Decreto del Dirigente Generale del DRPC Sicilia dell’11 marzo 2022, n. 64 ricadono in zona sismica 2 (Caltagirone) e 1 (Chiaramonte Gulfi).



In questo quadro trova conferma la classificazione sismica dell’area e la necessità di studiare le eventuali modificazioni che dovessero subire le sollecitazioni sismiche ad opera dei fattori morfologici, strutturali e litologici.

Tali studi, eseguiti anche in Italia nelle zone dell'Irpinia, del Friuli, dell’Umbria e più recentemente di Palermo e del Molise, hanno evidenziato notevoli differenze di effetti da zona a zona nell'ambito di brevi distanze,

associate a differenti morfologie dei siti o a differenti situazioni geologiche e geotecniche dei terreni.

In tal senso sembra opportuno soffermarsi su alcuni aspetti di carattere generale riguardanti la tematica in oggetto, utili all'inquadramento del "problema sismico".

La propagazione delle onde sismiche verso la superficie è influenzata dalla deformabilità dei terreni attraversati. Per tale ragione gli accelerogrammi registrati sui terreni di superficie possono differire notevolmente da quelli registrati al tetto della formazione di base, convenzionalmente definita come substrato nel quale le onde di taglio, che rappresentano la principale causa di trasmissione degli effetti delle azioni sismiche verso la superficie, si propagano con velocità maggiori o uguali a 1.000 m/sec.

Si può osservare in generale che nel caso in cui la "formazione di base" sia ricoperta da materiali poco deformabili e approssimativamente omogenei gli accelerogrammi che si registrano al tetto della formazione di base non differiscono notevolmente da quelli registrati in superficie: inoltre in tale caso lo spessore dei terreni superficiali non influenza significativamente la risposta dinamica locale.

Nel caso in cui la formazione di base è ricoperta da materiali deformabili, gli accelerogrammi registrati sulla formazione ed in superficie possono differire notevolmente, in particolare le caratteristiche delle onde sismiche vengono modificate in misura maggiore all'aumentare della deformabilità dei terreni.

La trasmissione di energia dal bedrock verso la superficie subisce trasformazioni tanto più accentuate quanto più deformabili sono i terreni attraversati; all'aumentare della deformabilità alle alte frequenze di

propagazione corrispondono livelli di energia più bassi e viceversa a frequenze più basse corrispondono livelli di energia più alti.

Il valore del periodo corrispondente alla massima accelerazione cresce quanto la rigidità dei terreni diminuisce; nel caso di rocce sciolte tale valore aumenta anche all'aumentare della potenza dello strato di terreno.

Di particolare importanza è, inoltre, lo studio dei contatti stratigrafici in affioramento soprattutto tra terreni a risposta sismica differenziata.

Ai sensi del D.M. 17/01/2018, dai dati delle indagini sismiche eseguite i terreni presenti in corrispondenza degli aerogeneratori e della sottostazione appartengono alla *Categoria 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”*.

## 6. LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Il problema della liquefazione dei terreni è di estrema importanza in aree a rischio sismico, come quella in cui si deve realizzare il progetto.

Si tratta di un fenomeno estremamente importante e pericoloso in particolari condizioni.

Il termine *liquefazione* viene usato, per definire un processo per cui una massa di terreno saturo, a seguito dell'intervento di forze esterne, statiche o dinamiche perde resistenza al taglio e si comporta come un fluido.

Ricordando la relazione di un terreno incoerente saturo:

$$\tau_f = (\sigma_f - u) \operatorname{tg} \varphi$$

se per effetto delle azioni esterne la pressione applicata si trasferisce integralmente alla fase liquida, ossia  $\sigma = u$ , viene  $\tau_f = 0$  e quindi resistenza tangenziale nulla.

Sono soprattutto le azioni dinamiche a disturbare l'equilibrio dello scheletro solido orientando le particelle di roccia, immerse in acqua, verso una maggiore compattezza.

Le particelle di terreno sotto la vibrazione, si dispongono infatti facilmente in un nuovo assetto ed in questa fase di transizione perdono il contatto fra di loro e, quindi, sono «flottanti» temporaneamente nell'acqua perdendo ogni funzione portante.

La presenza dell'acqua pone le sabbie, sottoposte a rapide alternanze di carico, in situazione analoga a quella delle argille sature sottoposte rapidamente a carichi statici; infatti la velocità con la quale si producono le variazioni di volume è talmente elevata che, nonostante la forte permeabilità dello scheletro granulare della sabbia, l'acqua non riesce a sfuggire

mentre avviene la riduzione di volume del tessuto e, quindi, le pressioni interstiziali annullano la resistenza di attrito.

Di qui la liquefazione del terreno e lo sprofondamento delle opere.

La predisposizione alla liquefazione dipende, quindi, dalla capacità del terreno ad aumentare la propria densità, il che è legato evidentemente alla percentuale di vuoti iniziale.

Il fenomeno della liquefazione si verifica per stratificazioni superficiali, a profondità di 15 m può dirsi che esso sia escluso a causa della compattezza prodotta dalla pressione geostatica.

Notevoli assestamenti possono verificarsi con terreni anche asciutti sottoposti a vibrazioni ma senza la presenza della falda non è possibile l'istaurarsi del fenomeno della liquefazione.

I metodi con cui si calcola la tendenza alla liquefazione sono divisi in due categorie: a) Metodi semplificati; b) Metodi empirici ed il nostro studio utilizza quelli definiti dal programma Liquiter della Geostru.

I metodi semplificati si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi privilegiando metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ ed indagini geofisiche per il calcolo delle Vs30.

La resistenza del deposito alla liquefazione viene, quindi, valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione

$$(1.0)F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

I metodi semplificati proposti differiscono fra loro soprattutto per il modo con cui viene ricavata CRR, la resistenza alla liquefazione.

Il parametro maggiormente utilizzato è il numero dei colpi nella prova SPT anche se oggi, con il progredire delle conoscenze, si preferisce valutare il potenziale di liquefazione utilizzando prove di misurazione delle onde di taglio Vs.

I metodi di calcolo del potenziale di liquefazione adottati dal programma sono:

- 1) *Metodo di Seed e Idriss (1982);*
- 2) *Metodo di Iwasaki et al. (1978; 1984);*
- 3) *Metodo di Tokimatsu e Yoshimi (1983);*
- 4) *Metodo di Finn (1985);*
- 5) *Metodo di Cortè (1985);*
- 6) *Metodo di Robertson e Wride modificato (1997);*
- 7) *Metodo di Andrus e Stokoe (1998);*
- 8) *Metodi basati sull'Eurocodice 8 (ENV 1998-5);*
- 9) *Metodo basato sull'NTC 2008.*

In base all'Eurocodice 8 (ENV 1998-5) si può escludere pericolo di liquefazione per i terreni sabbiosi saturi che si trovano a profondità di 15 m o quando  $a_g < 0,15$  e, contemporaneamente, il terreno soddisfi almeno una delle seguenti condizioni:

- ❖ contenuto in argilla superiore al 20%, con indice di plasticità  $> 10$ ;
- ❖ contenuto di limo superiore al 10% e resistenza  $N_{1,60} > 20$ ;

- ❖ frazione fine trascurabile e resistenza  $N_{1,60} > 25$ .

Quando nessuna delle precedenti condizioni è soddisfatta, la suscettibilità a liquefazione deve essere verificata come minimo mediante i metodi generalmente accettati dall'ingegneria geotecnica, basati su correlazioni di campagna tra misure in situ e valori critici dello sforzo ciclico di taglio che hanno causato liquefazione durante terremoti passati.

Lo sforzo ciclico di taglio CSR viene stimato con l'espressione semplificata:

$$CSR = 0,65 \frac{a_g}{g} S \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \frac{r_d}{MSF}$$

dove **S** è il coefficiente di profilo stratigrafico, definito come segue:

Categoria suolo	Spettri di Tipo 1 - S (M > 5,5)	Spettri di Tipo 2 - S (M < 5,5)
A	1,00	1,00
B	1,20	1,35
C	1,15	1,50
D	1,35	1,80
E	1,40	1,60

Il fattore di correzione della magnitudo **MSF** consigliato dalla normativa è quello di Ambraseys.

Nel caso vengano utilizzati dati provenienti da prove SPT, la resistenza alla liquefazione viene calcolata mediante la seguente relazione di Blake, 1997:

(a)

$$CRR = \frac{0,04844 - 0,004721(N_{1,60})_{cs} + 0,0006136[(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,00001673[(N_{1,60})_{cs}]^3}{1 - 0,1248(N_{1,60})_{cs} + 0,009578[(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,0003285[(N_{1,60})_{cs}]^3 + 0,000003714[(N_{1,60})_{cs}]^4}$$

dove  $(N_{1,60})_{cs}$  viene valutato con il metodo proposto da Youd e Idriss (1997) e raccomandato dal NCEER:

$$(N_{1,60})_{cs} = \alpha + \beta N_{1,60}$$

dove  $N_{1,60}$  è la normalizzazione dei valori misurati dell'indice  $N_m$  (ridotti del 25% per profondità  $< 3$  m) nella prova SPT rispetto ad una pressione efficace di confinamento di 100 KPa ed a un valore del rapporto tra l'energia di impatto e l'energia teorica di caduta libera pari al 60%, cioè:

$$N_{1,60} = C_N C_E N_m$$

$$C_N = \left( \frac{100}{\sigma_{vo}} \right)^{0,5}$$

$$C_E = \frac{ER}{60}$$

dove ER è pari al rapporto dell'energia misurato rispetto al valore teorico x 100 e dipende dal tipo di strumento utilizzato.

<b>Attrezzatura</b>	<b>C<sub>E</sub></b>
Safety Hammer	0,7 – 1,2
Donut Hammer (USA)	0,5 – 1,0
Donut Hammer (Giappone)	1,1 – 1,4
Automatico-Trip Hammer (Tipo Donut o Safety)	0,8 – 1,4

I parametri  $\alpha$  e  $\beta$ , invece, dipendono dalla frazione fine (FC):

$$\alpha = 0 \quad \text{per } FC \leq 5\%$$

$$\alpha = \exp[1,76 - (190 / FC^2)] \quad \text{per } 5\% < FC \leq 35\%$$

$$\alpha = 5 \quad \text{per } FC > 35\%$$

$$\beta = 1,0 \quad \text{per } FC \leq 5\%$$

$$\beta = [0,99 + (FC^{1,5} / 1000)] \quad \text{per } 5\% < FC \leq 35\%$$

$$\beta = 1,2 \quad \text{per FC} > 35\%$$

Se invece si possiedono dati provenienti da una prova penetrometrica statica (CPT), i valori di resistenza alla punta misurati  $q_c$  devono essere normalizzati rispetto ad una pressione efficace di confinamento pari a 100 KPa e vanno calcolati mediante la seguente formula

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa} \left( \frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n$$

Per poter tenere conto della eventuale presenza di particelle fini, il software utilizza il metodo di Robertson e Wride.

Poiché, come dimostrato, è possibile assumere:

$$\frac{(q_{c1N})_{cs}}{(N_{1,60})_{cs}} = 5$$

come proposto dall'EC8, derivato  $(N_{1,60})_{cs}$ , si utilizza la (a) per il calcolo di CRR.

Quando invece si possiedono dati provenienti da prove sismiche, si calcola la velocità di propagazione normalizzata con la formula:

$$V_{s1} = V_s \left( \frac{100}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,25}$$

e la resistenza alla liquefazione mediante la formula di Andrus e Stokoe:

$$CRR = 0,03 \left( \frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + 0,9 \left[ \frac{1}{(V_{s1})_{cs} - V_{s1}} - \frac{1}{(V_{s1})_{cs}} \right]$$

Rispetto alla normativa europea, la normativa italiana (NTC 2008) è meno accurata e non fornisce proposte di metodologie per valutare il potenziale di liquefazione.

La normativa richiede che il controllo della possibilità di liquefazione venga effettuato quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse

di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa.

Secondo le normative europea e italiana è suscettibile di liquefazione un terreno in cui lo sforzo di taglio generato dal terremoto supera l'80% dello sforzo critico che ha provocato liquefazione durante terremoti passati.

La probabilità di liquefazione  $P_L$ , invece, è data dall'espressione di Juang et al. (2001):

$$P_L = \frac{1}{1 + \left( \frac{F_s}{0,72} \right)^{3,1}}$$

Nello specifico del nostro lavoro e dai dati in nostro possesso, si evince che in corrispondenza delle opere in progetto dove sono presenti i litotipi sabbiosi e calcarenitici non è possibile la formazione di fenomeni di liquefazione in quanto il livello freatico è localizzato a profondità superiori di 15 m dal p.c.

## **7. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DEI TERRENI INTERESSATI**

I dati in nostro possesso hanno messo in evidenza che nell'area direttamente interessata dagli aerogeneratori e dalla sottostazione è presente uno spessore variabile da 2.0 e 3.0 m di terreno vegetale che sarà totalmente asportato in fase di realizzazione che ricopre il Complesso Calcarenitico-sabbioso di spessore pari a circa 40-50 mt. Detto complesso poggia sul Complesso Argilloso Pleistocenico.

Ne descriviamo singolarmente le caratteristiche litologiche.

**1) *Terreno vegetale:*** si tratta di limi e limi sabbiosi, di colore marrone, scarsamente consistenti e plastici. Per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni sopra citati, può farsi riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, ai seguenti parametri desunti dall'esperienza maturata su questi terreni:

$$\varphi' = 17^\circ, c' = 0.0 \text{ t/mq}, \gamma = 1.7 \text{ t/mc.}$$

**2) *Complesso Calcarenitico-sabbioso:*** si tratta di sabbie fini limose di colore oca di spessore variabile tra 5-8 m con inclusi elementi calcarenitici, da scarsamente a mediamente addensate quando alterate, mentre la frazione inalterata è costituita da sabbie addensate e livelli e strati calcarenitici cementati e fratturati. Per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni sopra citati, può farsi riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, ai seguenti parametri desunti dall'esperienza maturata su questi terreni:

$$\text{Frazione alterata: } \varphi' = 25^\circ, c' = 0.0 \text{ t/mq}, \gamma = 1.8 \text{ t/mc.}$$

$$\text{Frazione inalterata: } \varphi' = 30^\circ, c' = 0.0 \text{ t/mq}, \gamma = 1.9 \text{ t/mc.}$$

3) **Complesso Argilloso**: si tratta di argille marnose azzurre talora siltose a stratificazione poco evidente. Per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni sopra citati, può farsi riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, ai seguenti parametri desunti dall'esperienza maturata su questi terreni:

$$\varphi' = 25^\circ, c' = 2.0 \text{ t/mq}, \gamma = 2.0 \text{ t/mc}.$$

## **7. CAMPAGNA INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE DA ESEGUIRE IN FASE DI PROGETTAZIONE ESECUTIVA**

Fermo restando che il piano di indagini sotto indicato sarà individuato in modo definitivo prima della redazione della progettazione esecutiva utile per la realizzazione dell'impianto, sulla base di un'analisi preliminare si ritiene opportuno eseguire, nelle successive fasi di progettazione, le indagini di seguito elencate.

In corrispondenza di ciascun aerogeneratore:

- ✓ n. 1 sondaggio a carotaggio continuo ciascuno di profondità pari a 40 mt. dal p.c. con installazione di piezometro a tubo aperto;
- ✓ prelievo di n. 3 campioni indisturbati, per ciascun sondaggio, sui quali eseguire le prove geotecniche in laboratorio per la caratterizzazione fisico-meccanica;
- ✓ n. 6 S.P.T. in foro per ciascun sondaggio;

In corrispondenza della sottostazione:

- ✓ n. 1 sondaggi a carotaggio continuo ciascuno di profondità pari a 15 mt. dal p.c. con installazione di piezometro a tubo aperto;
- ✓ prelievo di n. 2 campioni indisturbati sui quali eseguire le prove geotecniche in laboratorio per la caratterizzazione fisico-meccanica;
- ✓ n. 4 S.P.T. in foro.

## **8. CONCLUSIONI**

Da quanto detto precedentemente in ordine alle caratteristiche geologico-tecniche, geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area vasta si evince che:

- le aree interessate dagli aerogeneratori, della sottostazione interno al parco sono caratterizzate dall'affioramento del Complesso Calcarenitico-sabbioso costituito da sabbie fini limose di spessore variabile tra 5-8 m con inclusi elementi calcarenitici di colore ocra, da scarsamente a mediamente addensate quando alterate, mentre la frazione inalterata è costituita da sabbie addensate e livelli e strati calcarenitici cementati e fratturati. Detto complesso è caratterizzato da uno spessore pari a circa 50-60 m;
- i suddetti terreni sono ricoperti da uno spessore variabile tra circa 2.00 e 3.00 m di terreno vegetale poco consistente e scarsamente addensato;
- si mette in evidenza che il cavidotto esterno al parco e di collegamento alla sottostazione verrà realizzato esclusivamente su strade asfaltate e, vista la limitata profondità di scavo pari a circa 1.20 m, interesserà esclusivamente la fondazione/rilevato stradale e non interferisce con i terreni in posto sottostanti.
- per quanto concerne le forme di dissesto legate ai movimenti franosi presenti nei versanti interessati dalle opere in progetto, tramite i rilievi di superficie, integrati dallo studio delle fotografie aeree del territorio e dalle indagini geofisiche eseguite per il presente studio, *i versanti dove sono ubicati gli aerogeneratori, la sottostazione ed i*

***cavidotti interni ed esterni non sono interessate da fenomeni di instabilità;***

- il Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico (P.A.I.) redatto dall’A.R.T.A. (Servizio 4 “Assetto del Territorio e Difesa del suolo”) esclude le aree interessate dalle opere in progetto da qualunque fenomenologia di dissesto e di rischio geomorfologico;
- si mette in evidenza che solo un breve tratto del cavidotto interessa un’area indicata dal P.A.I. come frana di scivolamento stabilizzato con pericolosità P0 (Livello basso) che, secondo le N.T.A. del P.A.I. non è ostativo alla realizzazione del progetto ed in questo tratto il cavidotto è interrotto nella viabilità esistente che non presenta ad oggi criticità particolari.
- da un punto di vista idraulico il P.A.I. ed il P.G.R.A. non inseriscono le opere in progetto all’interno di aree identificate con pericolosità e/o rischio;
- si mette in evidenza che il P.A.I. indica un limitato tratto di cavidotto pari a circa 30 m, in cui la strada è sopraelevata per la presenza di un ponte, come Sito di Attenzione con livello di Rischio R3 (elevato). Per il passaggio del cavidotto in questo tratto si utilizzerà la T.O.C. in modo da non interessare l’aera a rischio.
- ai sensi del D.M. 17/01/2018, dai dati delle indagini sismiche eseguite i terreni presenti in corrispondenza degli aerogeneratori e della sottostazione appartengono alla *Categoria 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”*;

- in corrispondenza delle opere in progetto dove sono presenti i litotipi sabbiosi e calcarenitici non è possibile la formazione di fenomeni di liquefazione in quanto il livello freatico è localizzato a profondità superiori di 15 m dal p.c.
- in definitiva in ordine alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e tecniche del sito si evince che, coerentemente con il D.M. 17/01/2018 cap. 6 comma 12 e 12.1, gli studi geologici e la caratterizzazione geotecnica sono stati estesi a tutta la zona di possibile influenza degli interventi previsti ed idonei ad accertare che la destinazione d'uso è perfettamente compatibile con il territorio in esame. In particolare, le indagini e gli studi hanno caratterizzato la zona di interesse in termini vulnerabilità ambientale, per processi geodinamici interni (sismicità, vulcanismo,...) ed esterni (stabilità dei pendii, erosione, subsidenza,...) ed hanno consentito di individuare l'assenza di limiti imposti al progetto (ad esempio: modifiche del regime delle acque superficiali e sotterranee, subsidenza per emungimento di fluido dal sottosuolo) ed in particolare:
  - ✓ la destinazione d'uso è compatibile con il territorio in esame;
  - ✓ non ci sono problemi di subsidenza per emungimento di fluido dal sottosuolo;
  - ✓ non si impongono modifiche del regime delle acque superficiali e sotterranee;
- si ritiene, comunque, indispensabile che in fase di progettazione esecutiva e di calcolo delle strutture in c.a. si eseguano le indagini di verifica delle su esposte ipotesi geologiche.