

Regione  
Puglia



Provincia di  
Andria-Barletta-Trani



Committente:

**GSMT WIND S.R.L**  
Piazza Europa, 14  
87100 Cosenza (CS) - Italy  
Tel. centralino + 39 0984 408606

Documento:

## PROGETTO DEFINITIVO

Titolo del Progetto:

## PARCO EOLICO "MINERVINO"

Elaborato:

## Relazione geologica

PROGETTO	DISCIPLINA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	SCALA
<b>E-MIN</b>	<b>A</b>	<b>-</b>	<b>RE</b>	<b>5</b>	

NOME FILE:

**E-MIN-A-RE-5.pdf**

Progettazione:



**Dott. Geol. Gian Vito Graziano**

Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	FEBBRAIO 2024	PRIMA EMISSIONE	GEMSA	GEMSA	GSMT WIND S.R.L

**Indice**

<b>1</b>	<b>Premessa .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Considerazioni Geologiche.....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Considerazioni geomorfologiche ed idrogeologiche.....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Indagini di sismica passiva a stazione singola.....</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Caratteristiche sismiche del territorio .....</b>	<b>74</b>
<b>6</b>	<b>Liquefazione dei terreni .....</b>	<b>77</b>
<b>7</b>	<b>Caratteristiche litologiche dei terreni inte- ressati .....</b>	<b>83</b>
<b>8</b>	<b>Campagna indagini geognostiche e geotecni- che da eseguire in fase di progettazione esecutiva .....</b>	<b>84</b>
<b>9</b>	<b>Conclusioni .....</b>	<b>86</b>

## 1 PREMESSA

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 geomorfolo-gico 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 state realizzate le indagini di sismica passiva HVSR per definire le velocità delle onde sismiche Vs 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. 17 aerogeneratori;
- b. **Cavidotto** di collegamento tra gli aerogeneratori e la SET;
- c. **Sottostazione elettrica**.

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

- ✓ n. 2 carte geologiche eseguita in scala 1/10.000 (fuori testo);
- ✓ n. 2 carte relative alla Pericolosità geomorfologica redatte dal "Piano di assetto idrogeologico (P.A.I.)" eseguita in scala 1/10.000 (fuori testo);
- ✓ n. 2 carte relative alla Pericolosità idraulica redatte dal "Piano di assetto idrogeologico (P.A.I.)" eseguita in scala 1/10.000 (fuori testo);
- ✓ 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, T15, T16, T17, T18 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 SET 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:

- ⇒ **DEPOSTI ALLUVIONALI (Olocene):** 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 gli aerogeneratori MN01, MN02 ed MN03 ed alcuni tratti di cavidotto.
- ⇒ **DEPOSTI ALLUVIONALI TERRAZZATI (Pleistocene sup.):** si tratta prevalentemente di rocce sciolte costituite da sabbie e ghiaie con giacitura sub-orizzontale. Interessano alcuni tratti di cavidotto.
- ⇒ **DEPOSTI MARINI TERRAZZATI (Pleistocene medio-sup.):** si tratta prevalentemente di sabbie e arenarie, ghiaie e conglomerati, calcareniti, silt e argille di ambiente di transizione e/o continentale. Interessano gli aerogeneratori MN09, MN14, MN16, la sottostazione ed alcuni tratti di cavidotto.
- ⇒ **DEPOSTI CONTINENTALI TERRAZZATI (Pleistocene medio):** si tratta prevalentemente di rocce sciolte costituite da ghiaie e conglomerati con giacitura sub-orizzontale. Le ghiaie sono caratterizzate da clasti calcarei arrotondati di dimensioni da millimetriche a decimetriche ed i conglomerati si presentano generalmente cementati. Interessano gli aerogeneratori MN04, MN05, MN06, MN07, MN08, MN10, MN11, MN17 ed alcuni tratti di cavidotto.

- ⇒ **COMPLESSO ARGILLOSO (Pliocene medio-Pleistocene medio):** Si tratta di argille, argille siltose ed argille marnose grigio-azzurre. Interessano gli aerogeneratori MN12, MN15, ed alcuni tratti di cavidotto.
- ⇒ **COMPLESSO CALCARENITICO (Pleistocene medio – Pleistocene inf.):** si tratta prevalentemente di calcareniti cementate con sporadici livelli sabbiosi, con stratificazione orizzontale. Interessano l'aerogeneratore MN13 ed alcuni tratti di cavidotto.
- ⇒ **COMPLESSO-CARBONATICO (Giurassico-Cretacico):** si tratta di calcari grigio-biancastri, spesso fortemente dolomitizzati, con stratificazione massiva o indistinta, passanti verso l'alto a calcari bianchi. Interessano alcuni tratti di cavidotto.

In particolare:

- Le aree interessate dagli aerogeneratori MN01, MN02 ed MN03 sono caratterizzate dall'affioramento dei depositi alluvionali costituiti da conglomerati con matrice sabbioso-pelitica, coperti da coltri sabbio-limose pedogenizzate di spessore pari a circa 3 m. Hanno uno spessore variabile tra circa 7 m e 10 m e poggiano sui terreni riferibili al Complesso Argilloso che si presenta alterato per uno spessore pari a 5 m (vedi Colonna stratigrafica Tipo 1 allegata).
- Le aree interessate dagli aerogeneratori MN04, MN05, MN06, MN07, MN08, MN10 ed MN11 sono caratterizzate dall'affioramento dei depositi continentali terrazzati costituiti da ghiaie e conglomerati con giacitura sub-orizzontale. Hanno uno spessore variabile tra 5 e 10 m e poggiano sui terreni riferibili al Complesso Argilloso che si presenta alterato per uno spessore pari a 5 m (vedi Colonna stratigrafica Tipo 2 allegata).
- L'area interessata dall'aerogeneratore MN17 è caratterizzata dall'affioramento dei depositi continentali terrazzati costituiti da ghiaie e conglomerati con giacitura sub-orizzontale. Hanno uno spessore pari a circa 10 m e poggiano sui terreni riferibili al Complesso Calcarenitico costituito da calcareniti cementate con sporadici livelli sabbiosi, con stratificazione orizzontale (vedi colonna stratigrafica Tipo 3 allegata).
- Le aree interessate dagli aerogeneratori MN12 ed MN15 sono caratterizzate dall'affioramento del Complesso Argilloso costituito da argille ed argille marnose grigio-azzurre da scarsamente a mediamente consistenti, di colore marrone chiaro quando alterate (spessore di alterazione variabile tra 6-8 m) mentre la frazione inalterata di colore grigio-azzurro si presenta consistente (vedi colonna stratigrafica Tipo 4 allegata).

- L'area interessata dall'aerogeneratore MN14 e dalla sottostazione è caratterizzata dall'affioramento dei Depositi marini terrazzati costituiti da calcareniti e conglomerati con intercalazione di silt e livelli sabbiosi. Hanno uno spessore pari a circa 10 m e poggiano sui terreni riferibili al Complesso Argilloso che si presenta alterato per uno spessore pari a 5 m (Vedi Colonna stratigrafica Tipo 5 allegata).
- Le aree interessate dagli aerogeneratori MN9 ed MN16 sono caratterizzate dall'affioramento dei Depositi marini terrazzati costituiti da calcareniti e conglomerati con intercalazione di silt e livelli sabbiosi. Hanno uno spessore variabile tra circa 5 e 10 m e poggiano sui terreni riferibili al Complesso Calcereo che si presenta costituito da calcari grigio-biancastri, spesso fortemente dolomitizzati, con stratificazione massiva o indistinta (vedi Colonna stratigrafica Tipo 6 allegata).

-

Tutti i suddetti terreni sono ricoperti da uno spessore variabile tra circa 1.00 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 SET 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 si presenta con habitus geomorfologico regolare, caratterizzato da aree sub-pianeggianti, rilievi dolci dove prevalgono i litotipi terrazzati stabili.

Per quanto riguarda i processi fluviali, il reticolato idrografico risulta avere un pattern poco articolato essendo costituito prevalentemente da litologie permeabili e prevalentemente coerenti.

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.) che esclude le aree interessate dalle opere in progetto da qualunque fenomenologia di dissesto e di rischio geomorfologico.

Dal punto di vista idrogeologico le aree in studio sono caratterizzate dall'affioramento di terreni diversi che abbiamo suddiviso in 3 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 pleistocenico, ai Depositi alluvionali recenti, ai Depositi alluvionali terrazzati, Depositi marini terrazzati ed ai Depositi continentali terrazzati.
- ***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. Appartengono a questa categoria i litotipi afferenti al Complesso Argilloso.
- ***Rocce permeabili per fratturazione e carsismo:*** Questa categoria comprende quelle rocce caratterizzate da una bassa o nulla porosità primaria ma che acquistano una permeabilità notevole a causa della fratturazione secondaria piuttosto articolata e dei fenomeni carsici per dissoluzione. Appartengono a questa categoria i litotipi afferenti al Complesso Carbonatico.

L'area è caratterizzata da n. 2 modelli idrogeologici differenti ed in particolare:

1. l'area Est è caratterizzata dall'affioramento prevalente di terreni permeabili (depositi alluvionali, continentali terrazzati e marini terrazzati) di spessore idrogeologicamente modesto, variabile tra 5 e 10 m poggianti su un substrato impermeabile (Complesso argilloso) che consente la formazione di una falda freatica, cosiddetta superficiale, fortemente condizionata dalle precipitazioni meteoriche fino a scomparire in caso di prolungate stagioni siccitose, il cui livello freatico si trova alla profondità variabile tra 8 e 5 m dal p.c.

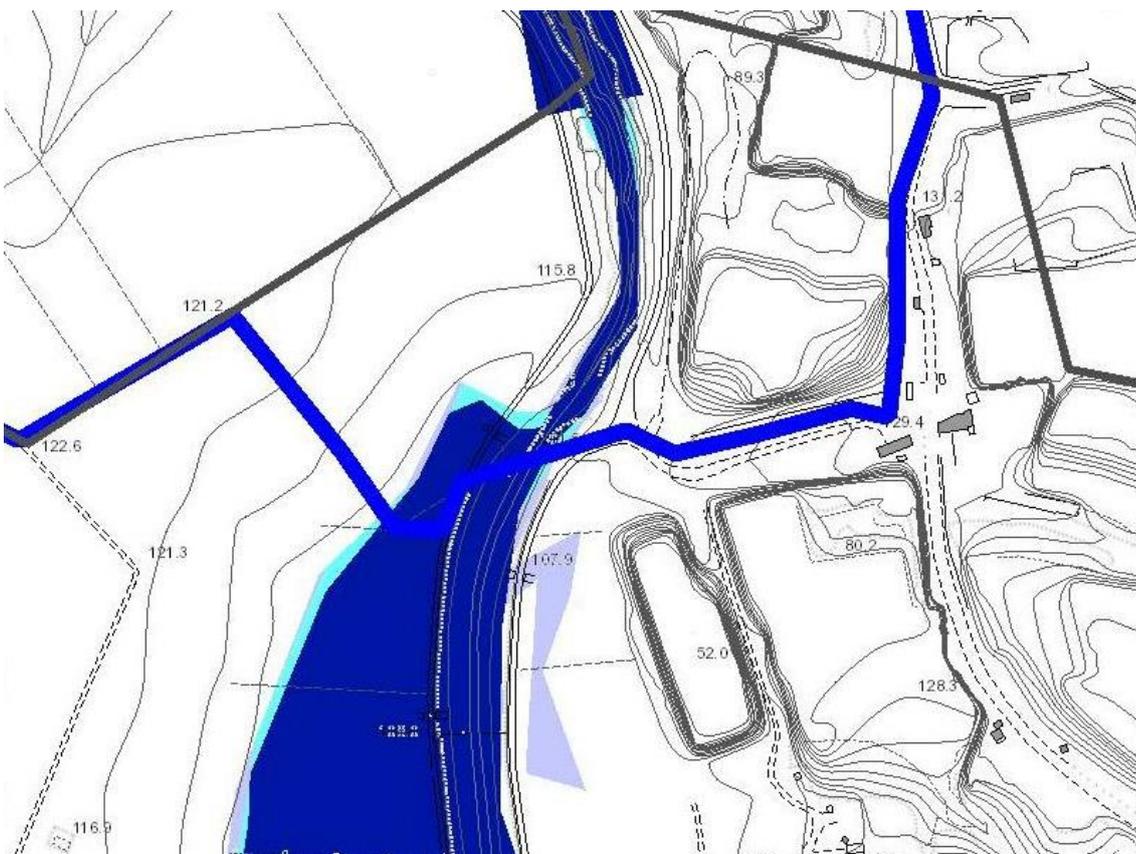
2. l'area Ovest è caratterizzata dall'affioramento di terreni permeabili (depositi marini terrazzati) poggianti sul complesso calcarenitico e carbonatico o dall'affioramento degli stessi dove è presente una falda freatica profonda il cui livello freatico si trova a profondità pari a circa 40 m.

3.

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

Da un punto di vista idraulico il P.A.I. non inserisce le opere in progetto all'interno di aree identificate con pericolosità e/o rischio idraulico eccetto due limitati tratti di cavidotto, rispettivamente di lunghezza pari a 50 e 140 m (Pericolosità Alta).

Per il passaggio del cavidotto in questi 2 tratti si utilizzerà la T.O.C. in modo da non interessare l'area a rischio.





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.

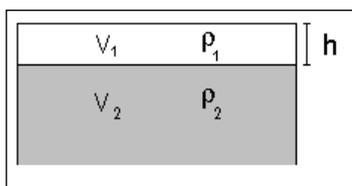
I primi studi su questa tecnica sono da attribuire a Kanai (1957) e da allora diversi metodi sono stati proposti per estrarre utili informazioni sul sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in sito.

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:

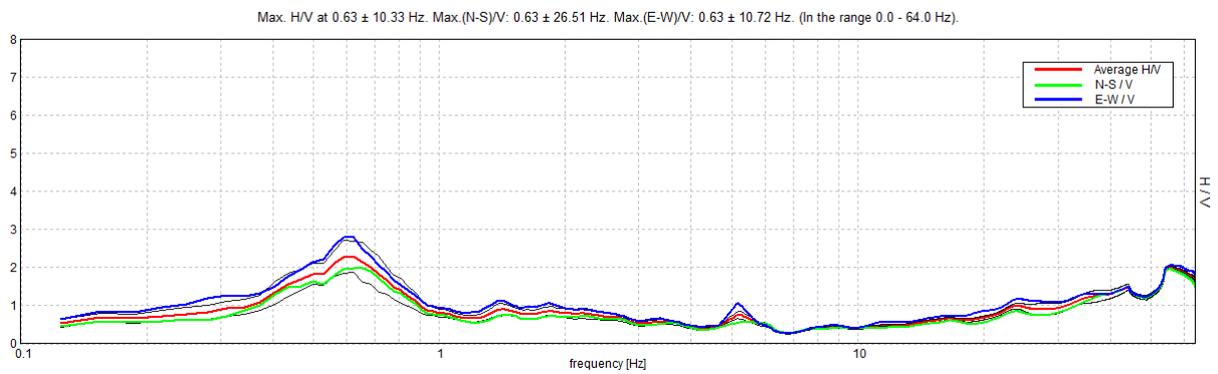
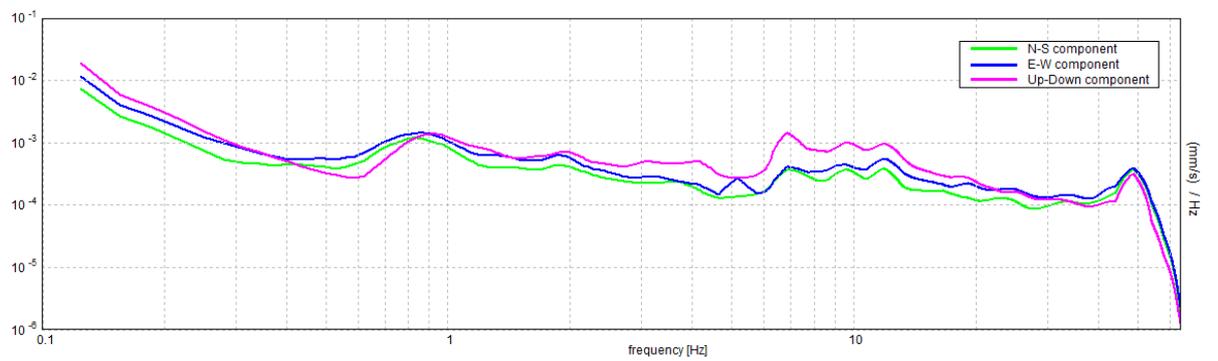
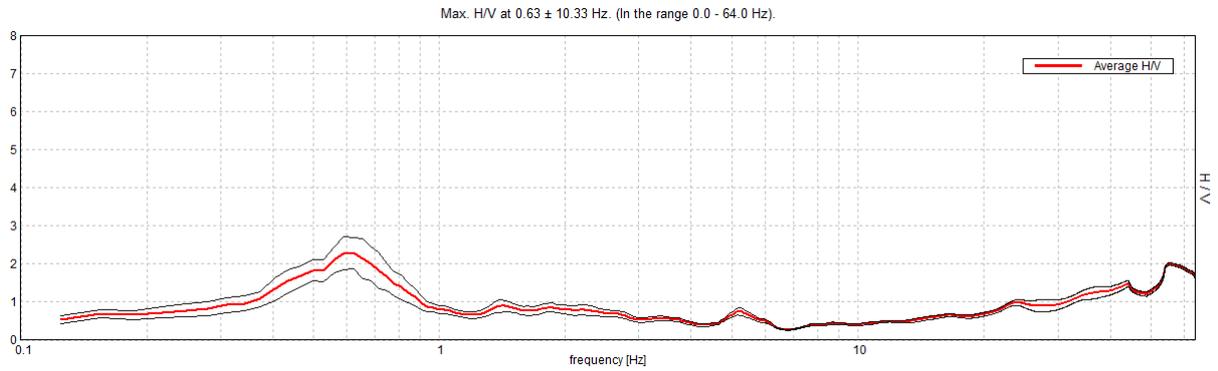
- ✓  $V_0$  è la velocità al tetto dello strato;
- ✓ ad un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.);
- ✓  $\nu$  la frequenza fondamentale di risonanza.

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

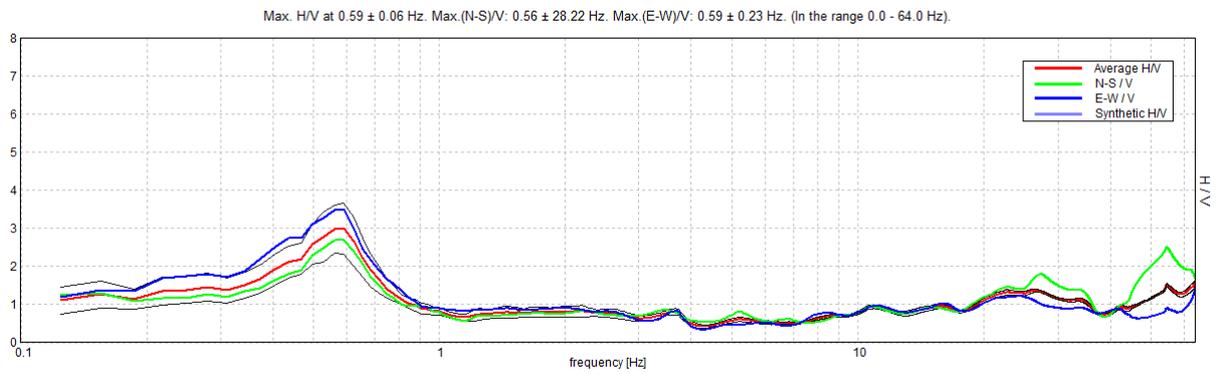
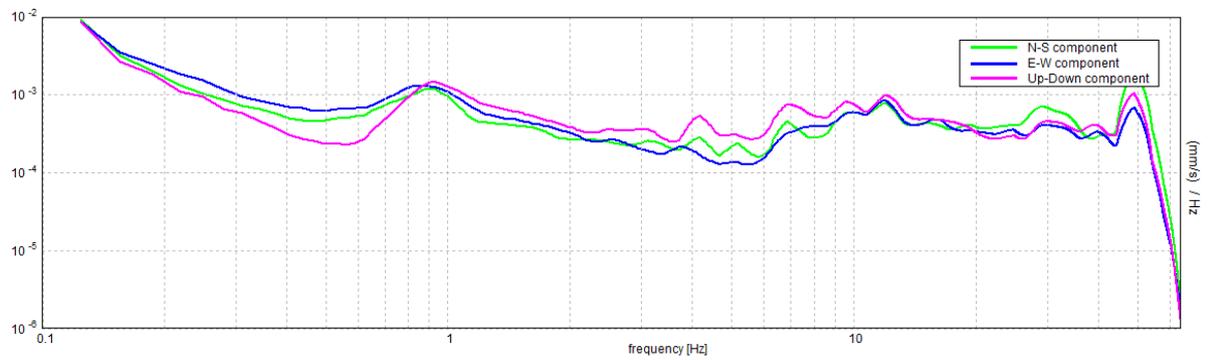
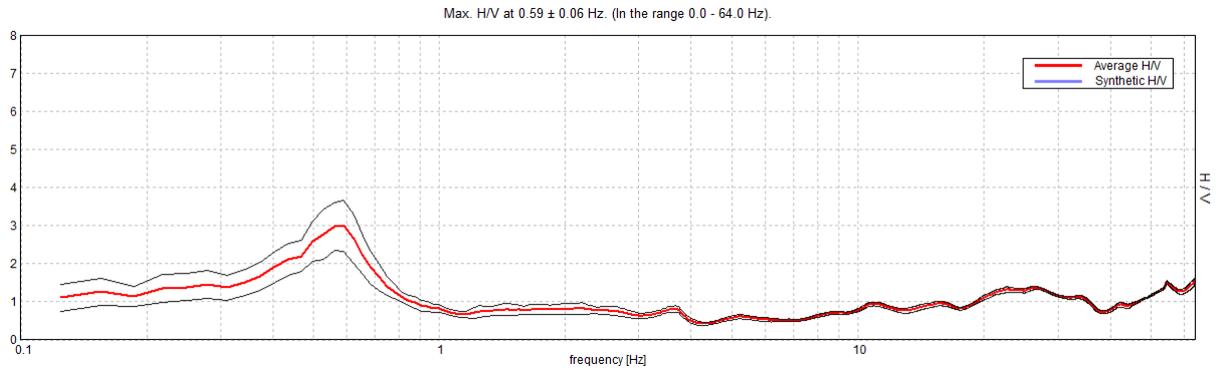
Le ubicazioni dei sondaggi che sono stati eseguiti sono visibili nelle planimetrie allegate mentre di seguito sono riportate, in dettaglio, le interpretazioni dei dati sperimentali ottenuti.

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 tomografico T1***

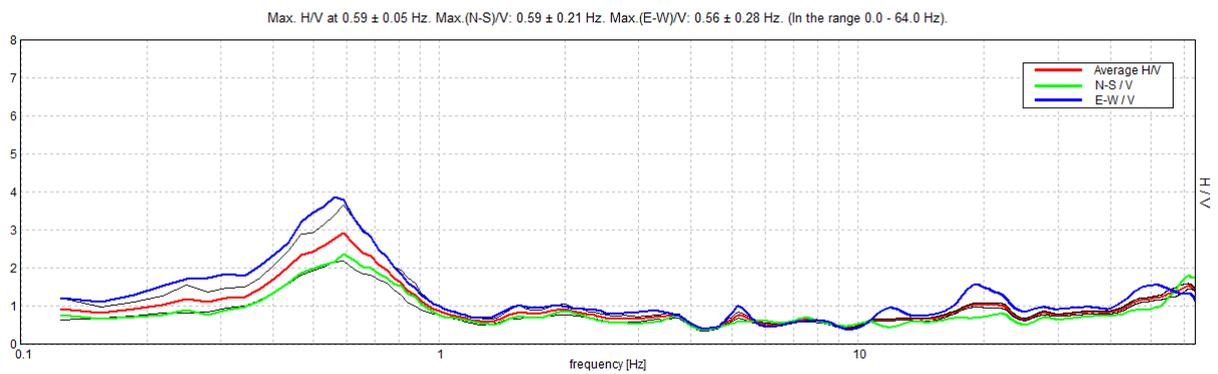
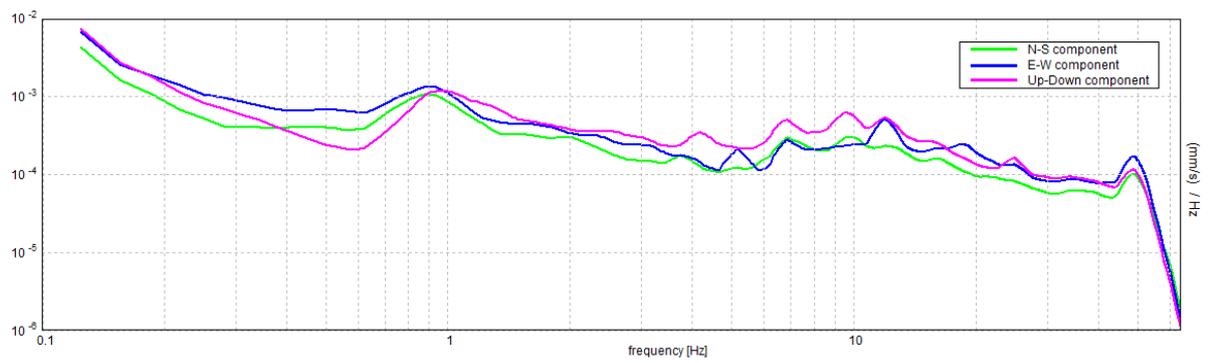
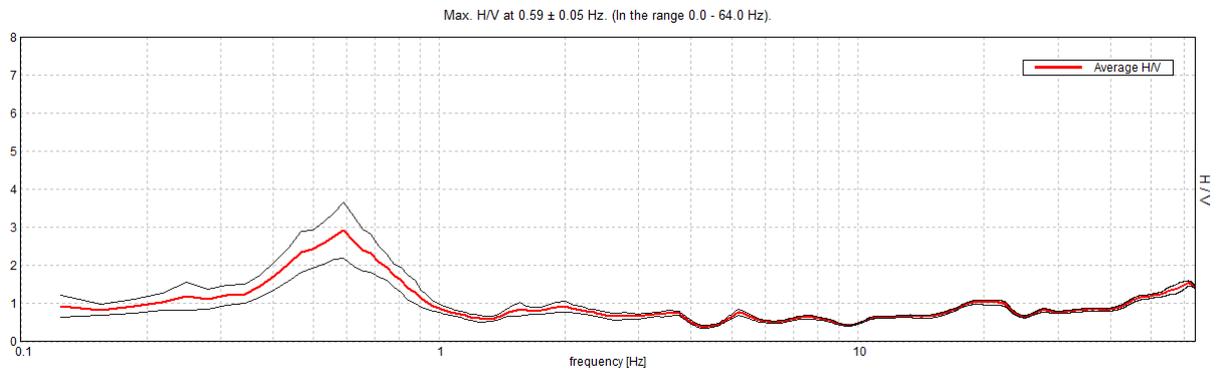


**Sondaggio tomografico T2**



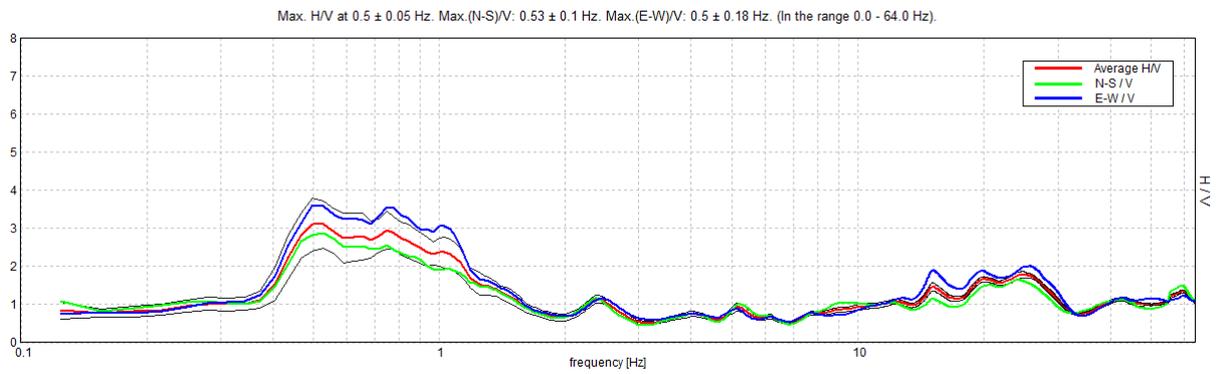
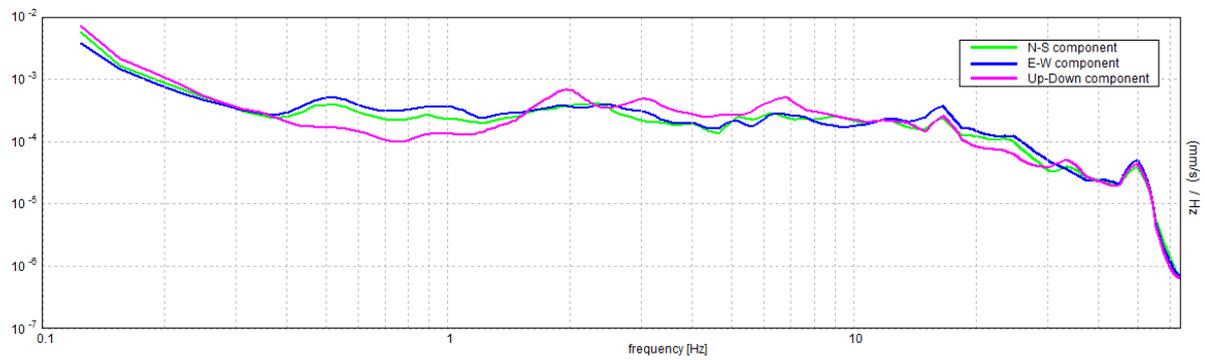
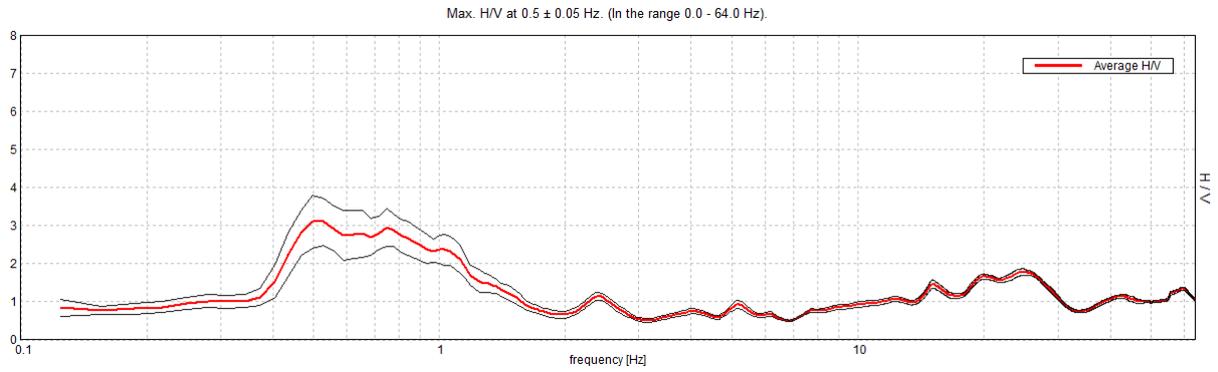


**Sondaggio tomografico T3**



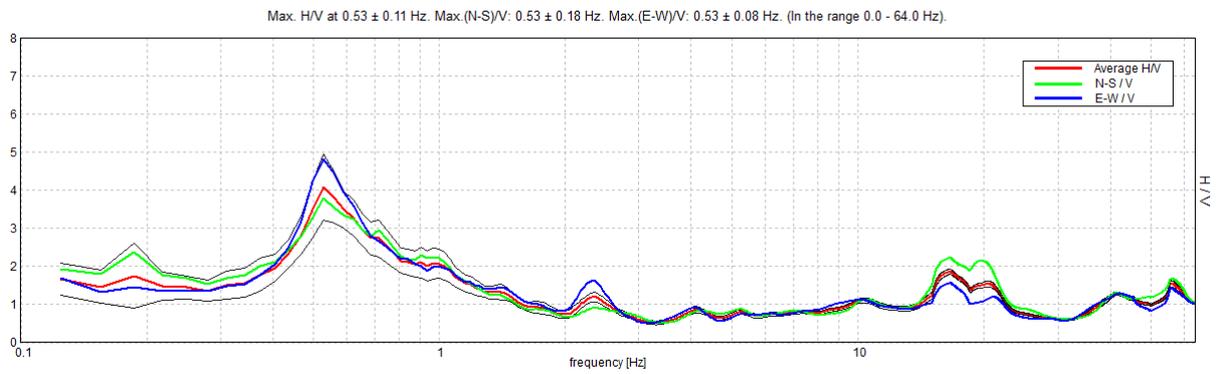
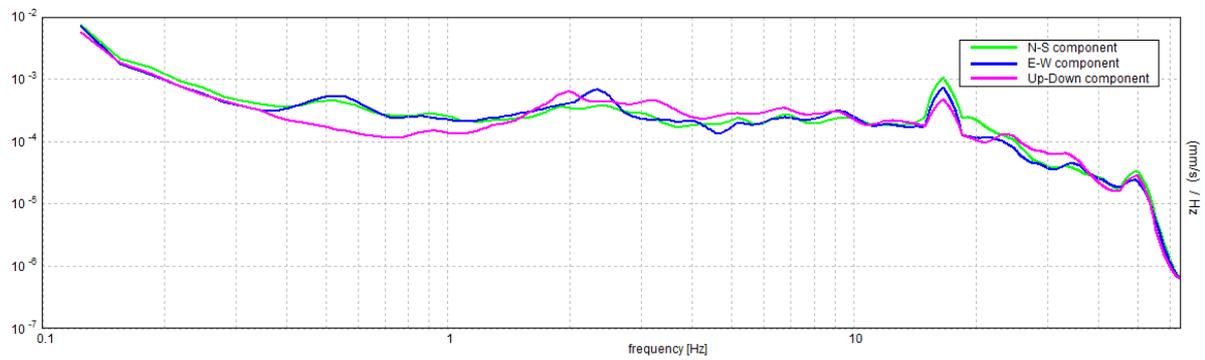
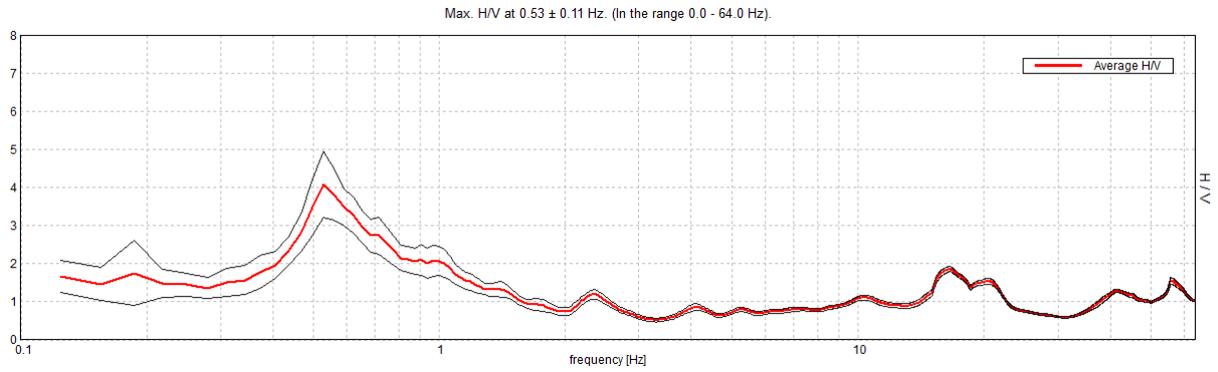


**Sondaggio tomografico T4**

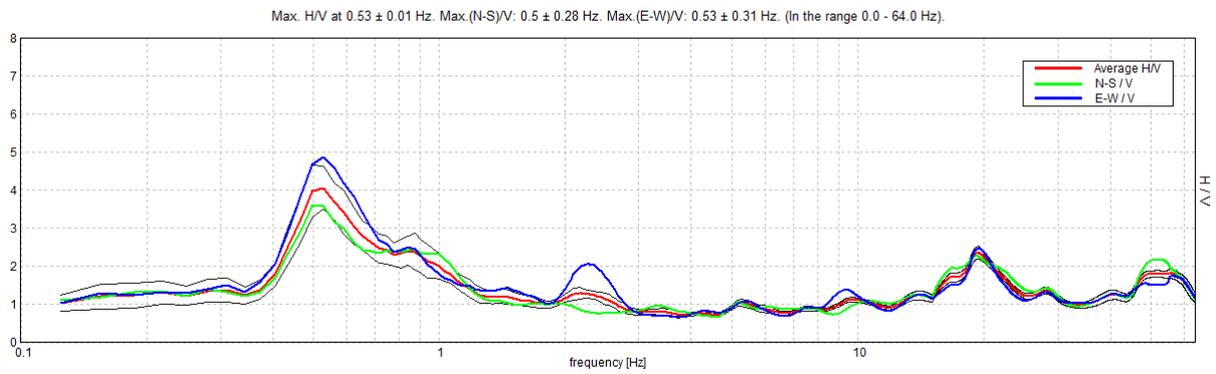
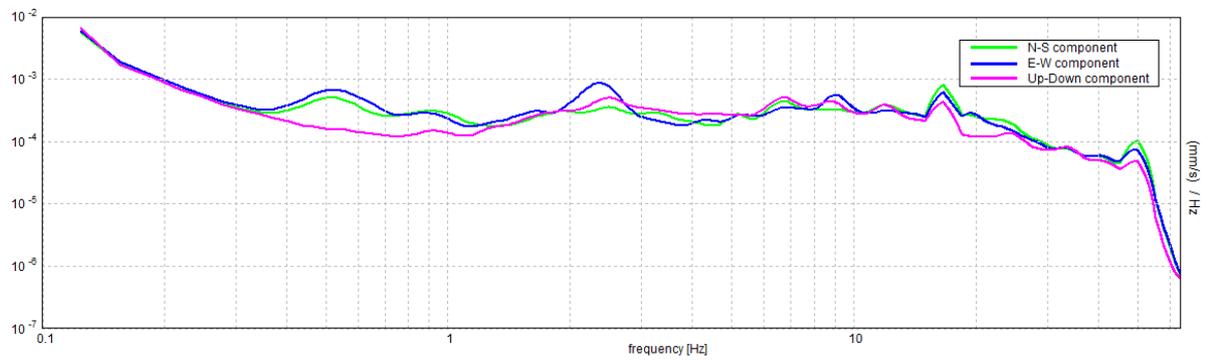
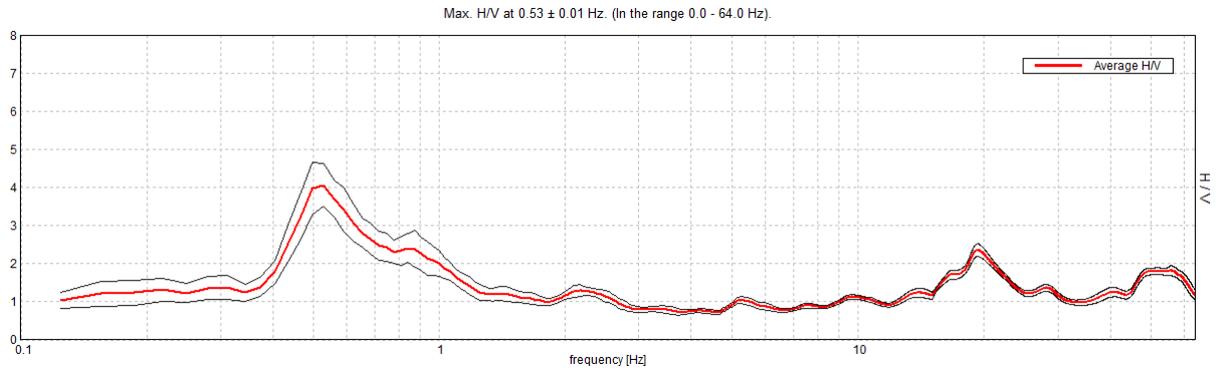




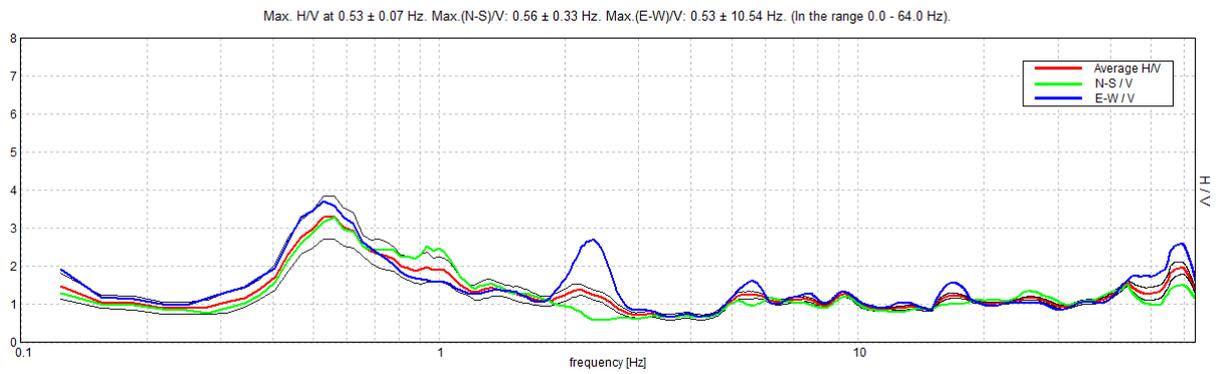
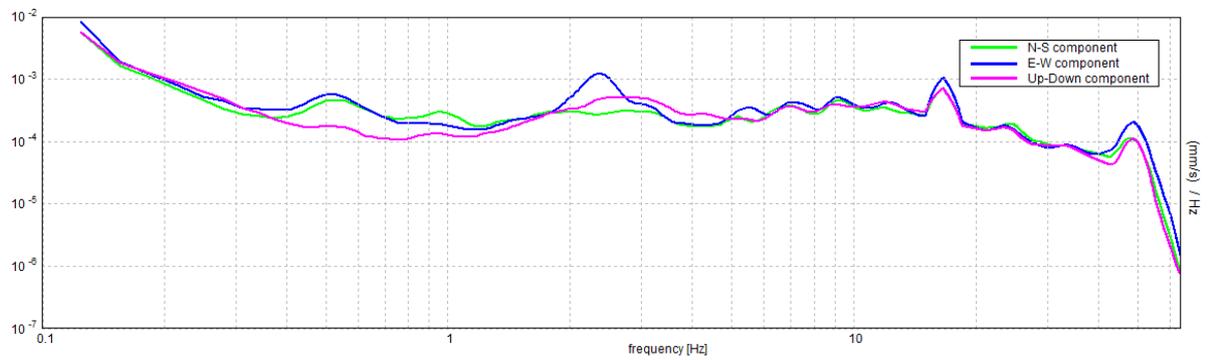
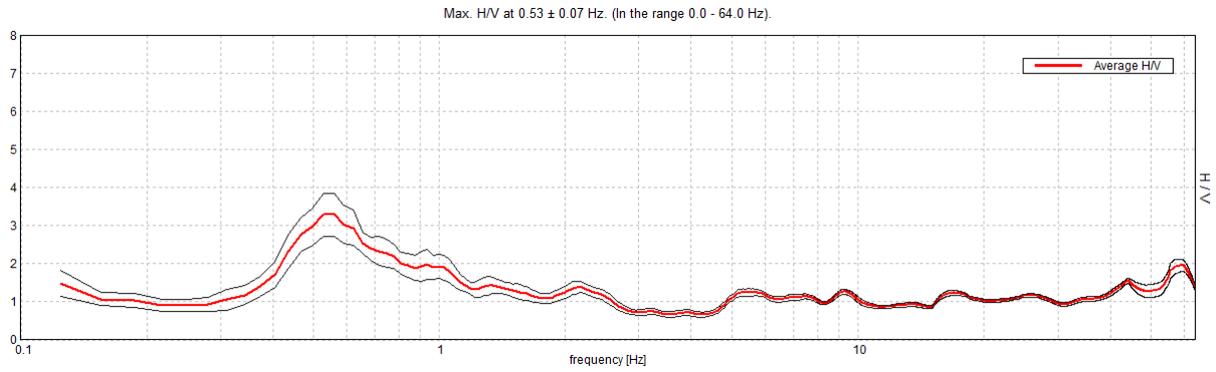
**Sondaggio tromografico T5**



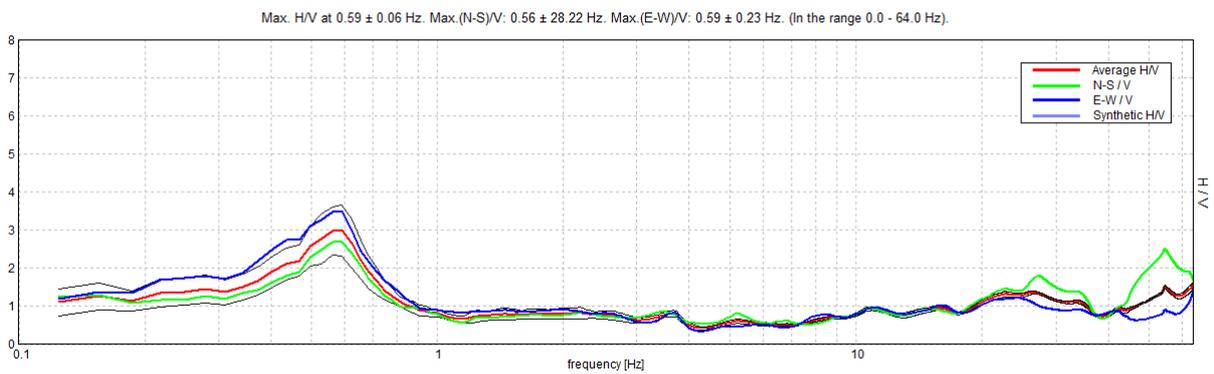
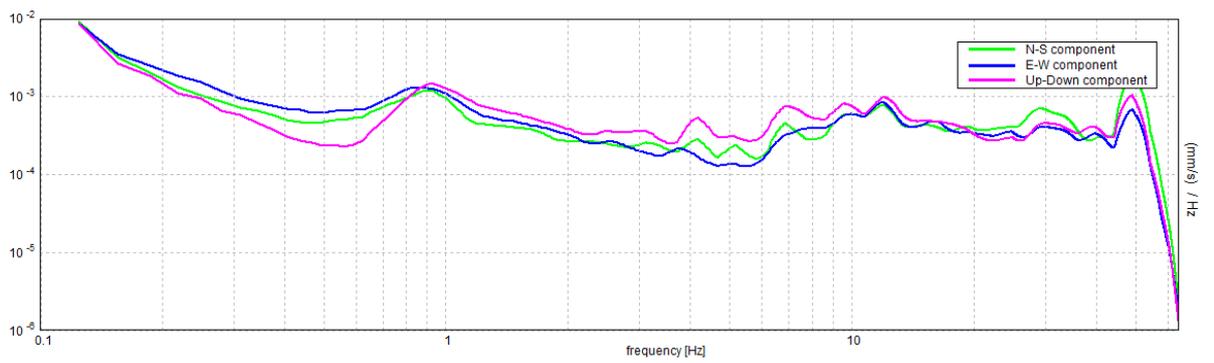
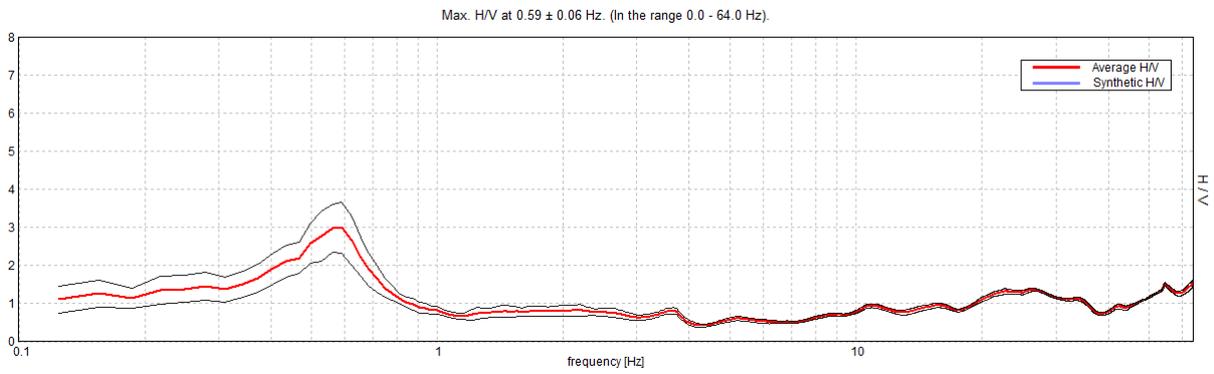
**Sondaggio tomografico T6**



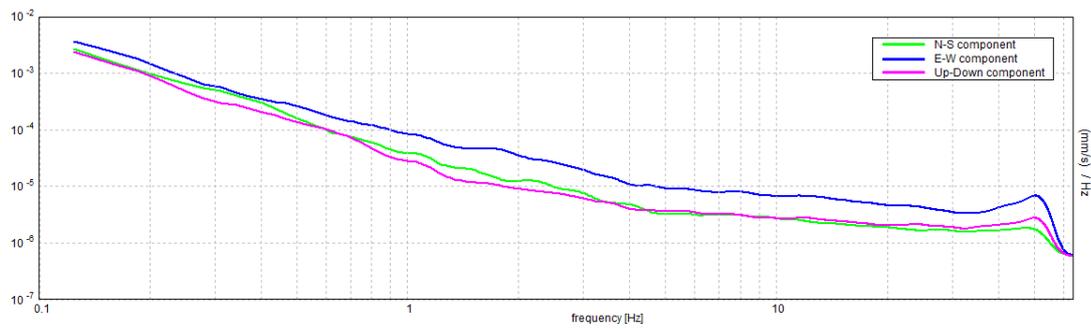
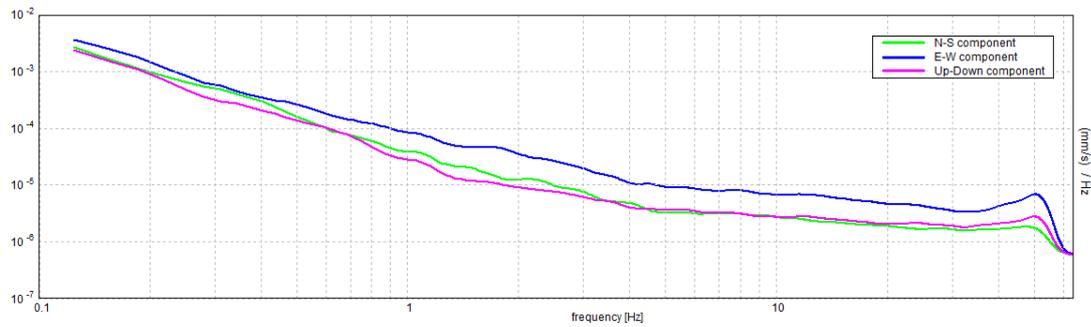
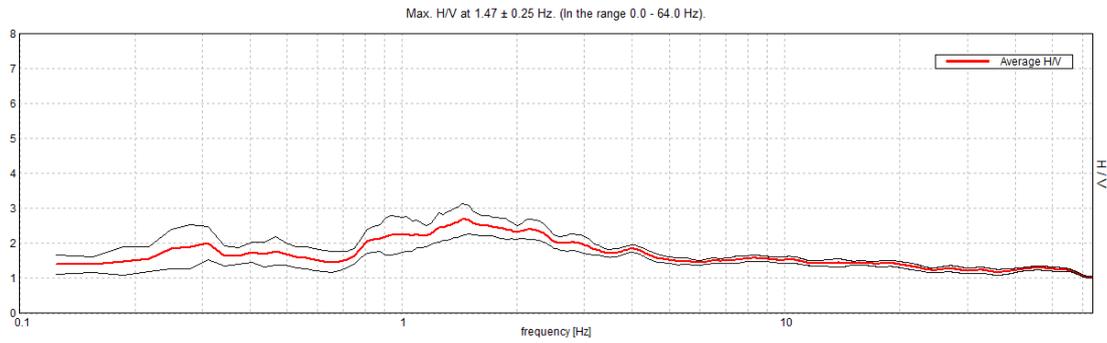
**Sondaggio tomografico T7**



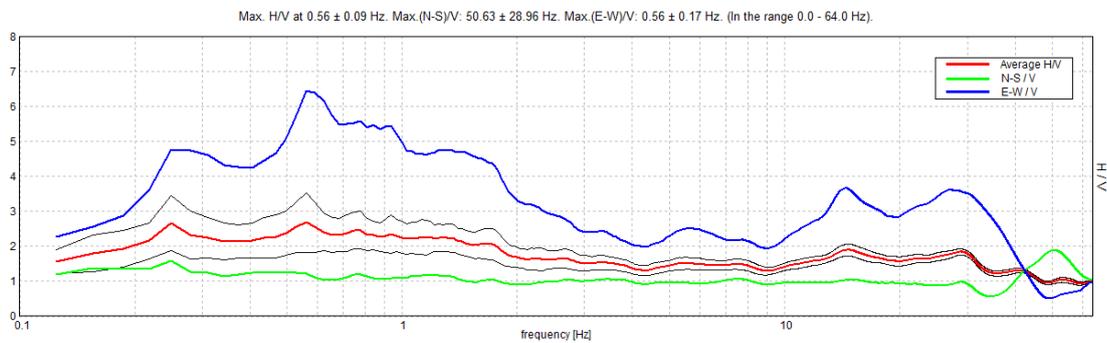
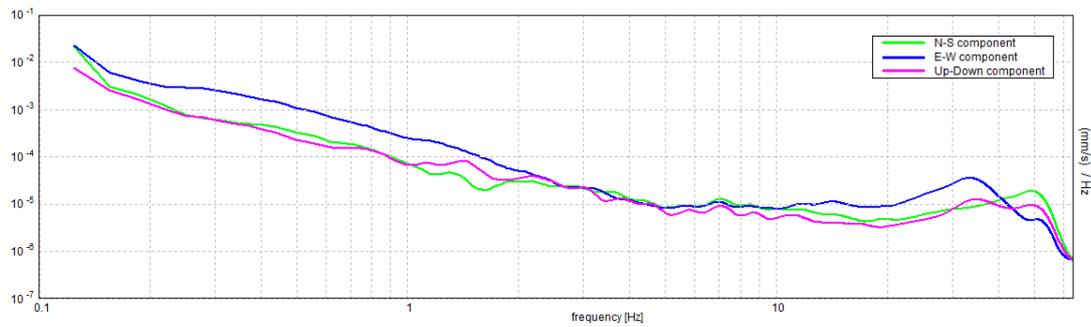
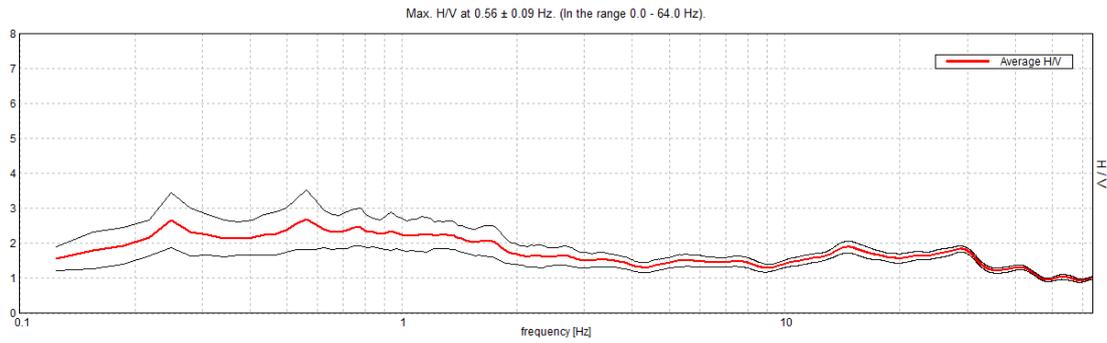
**Sondaggio tomografico T8**



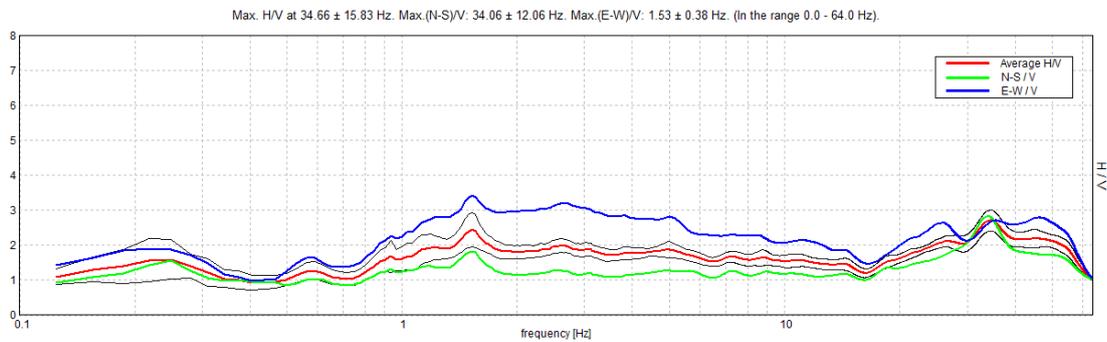
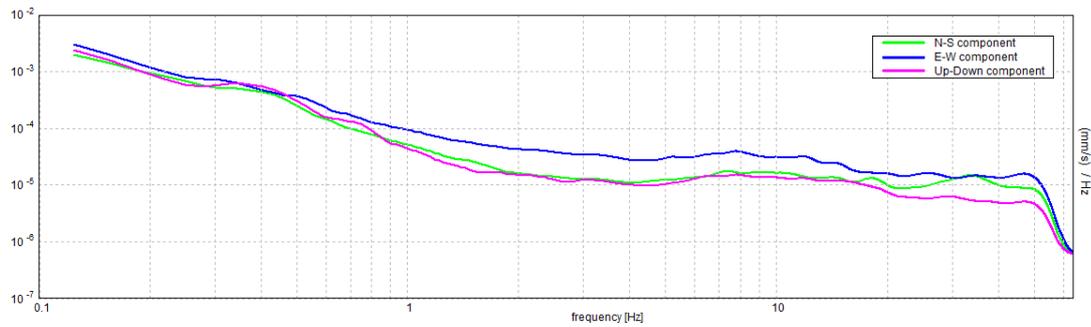
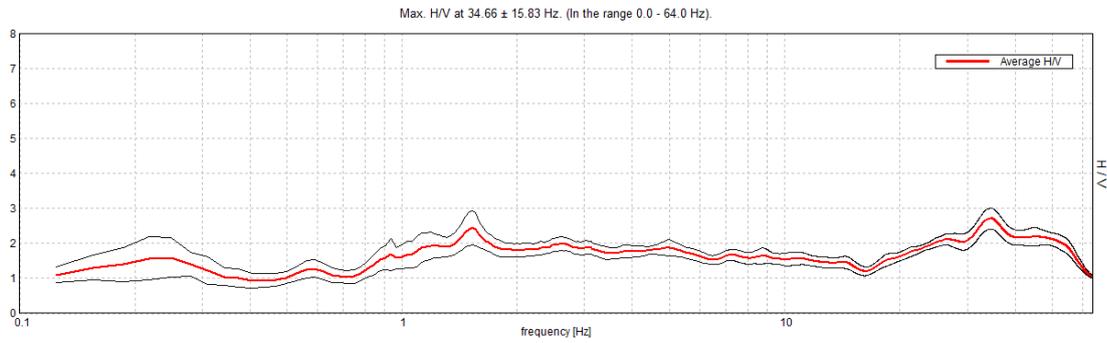
**Sondaggio tromografico T9**



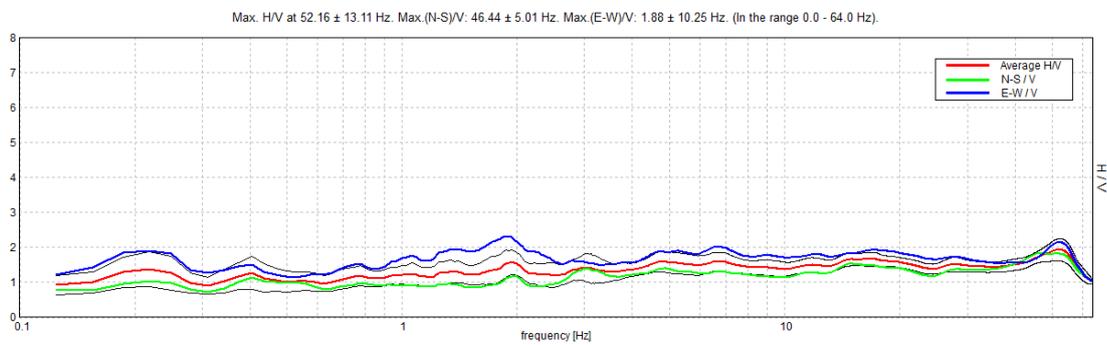
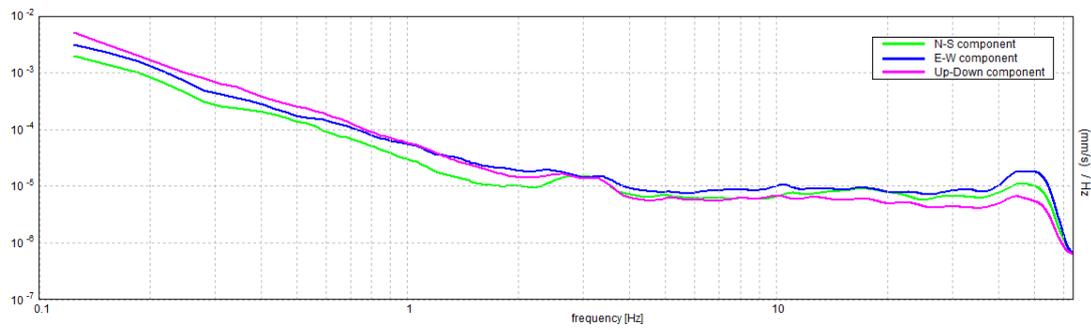
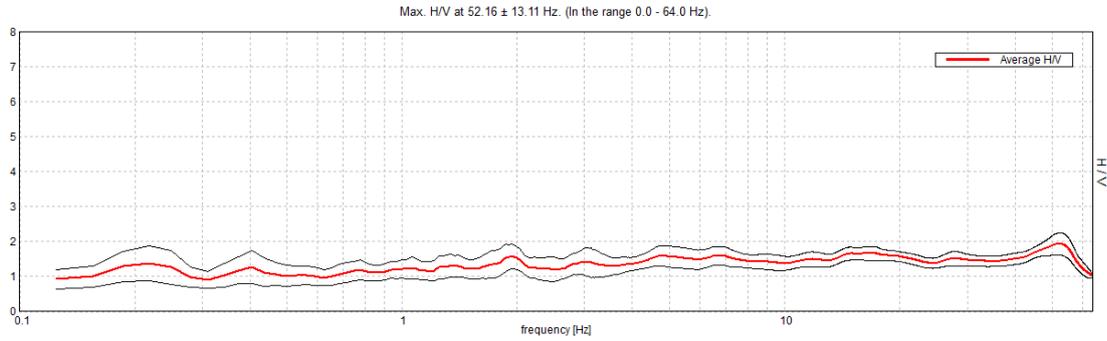
**Sondaggio tromografico T10**



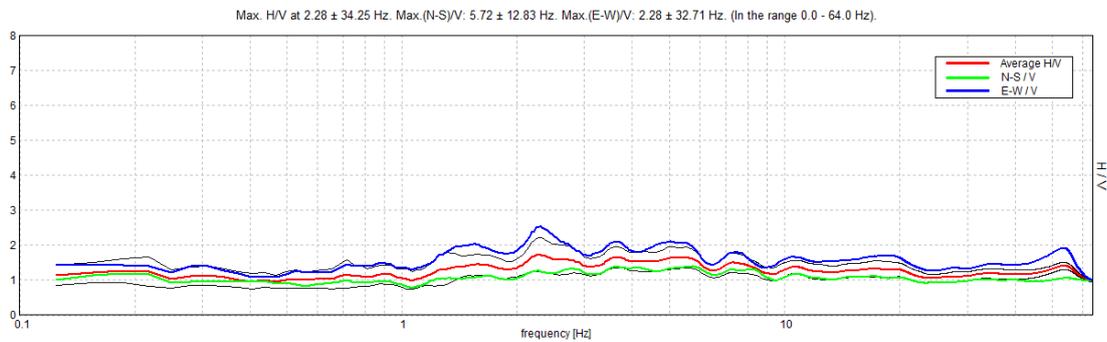
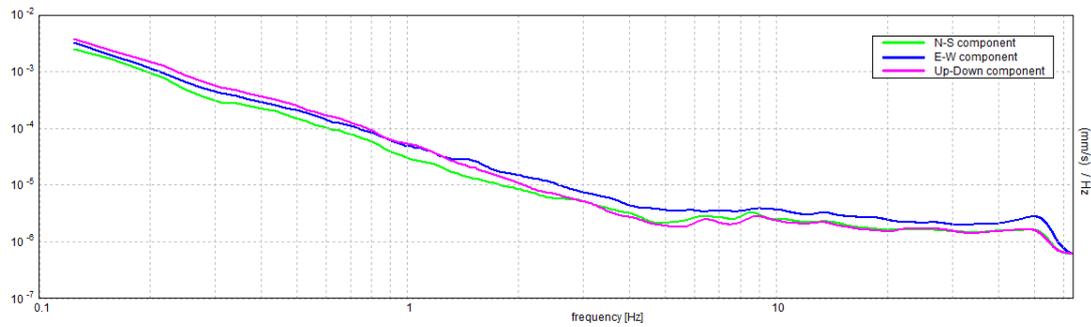
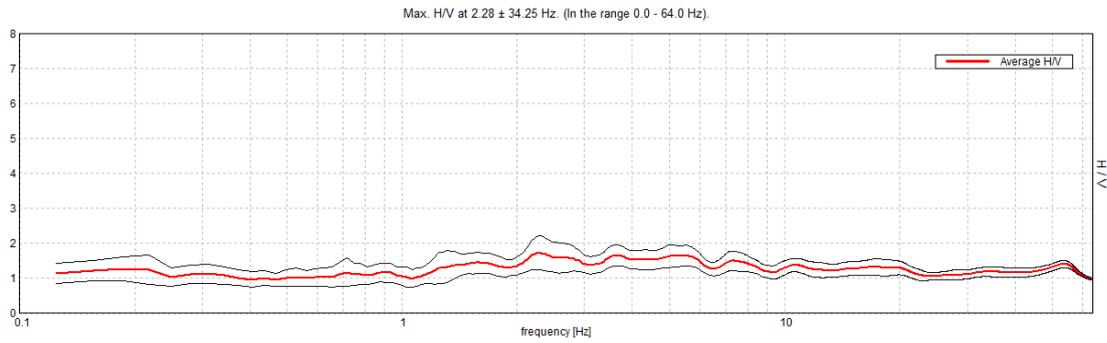
**Sondaggio tromografico T11**



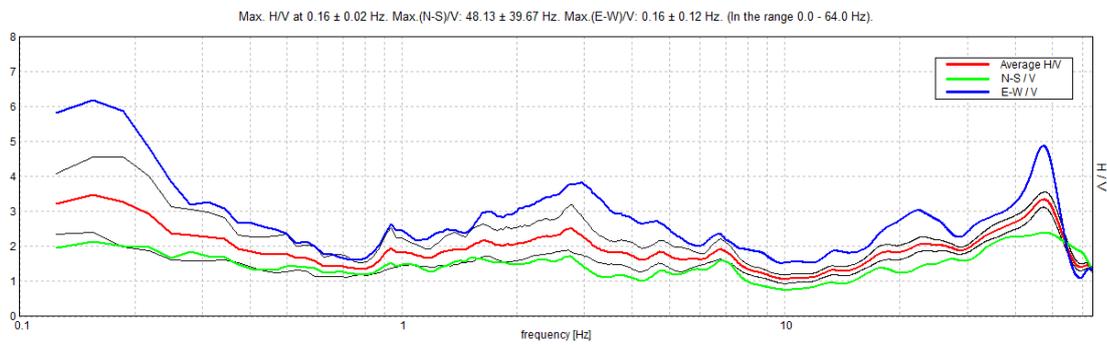
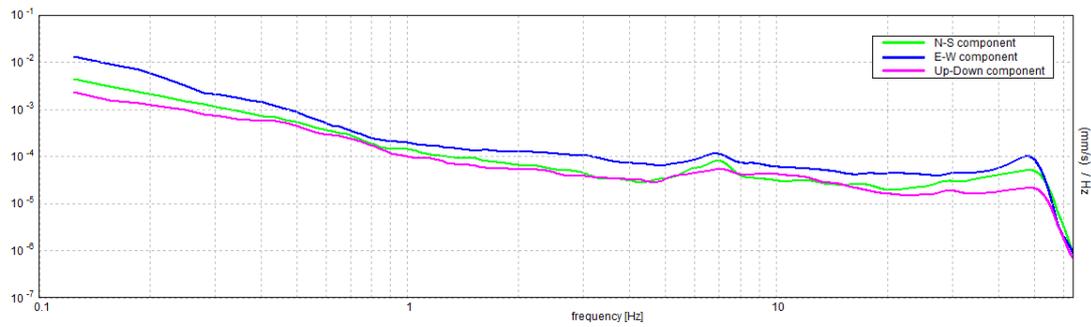
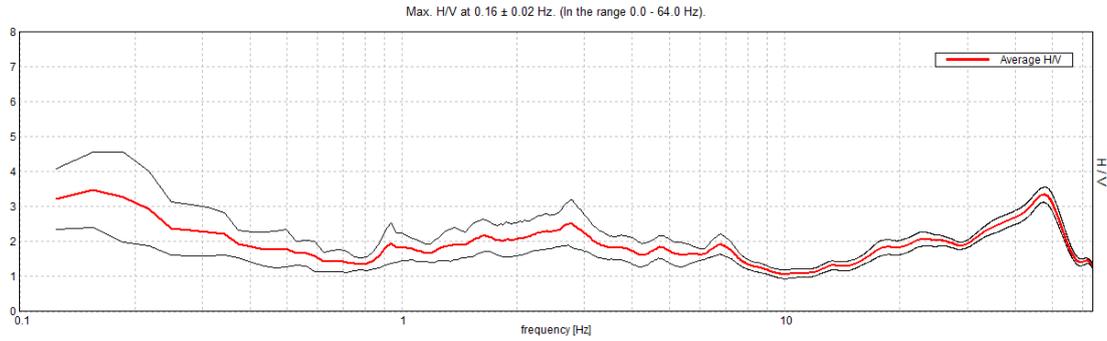
**Sondaggio tromografico T12**



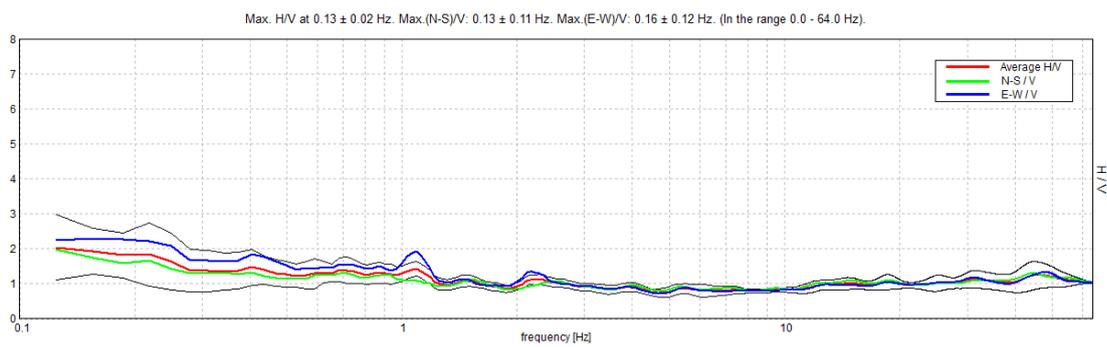
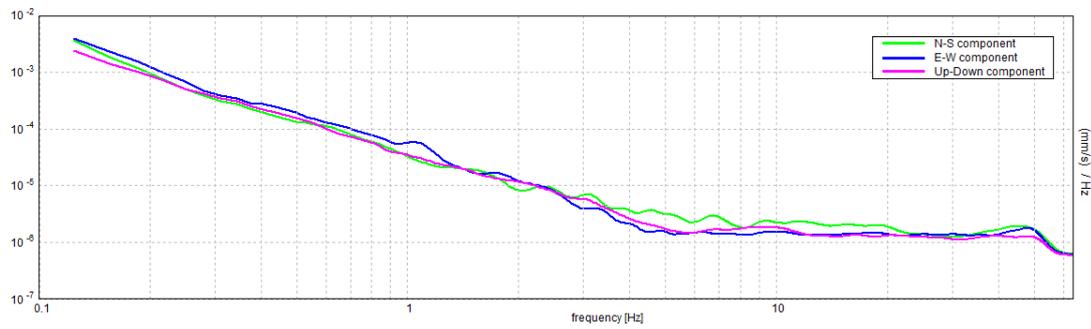
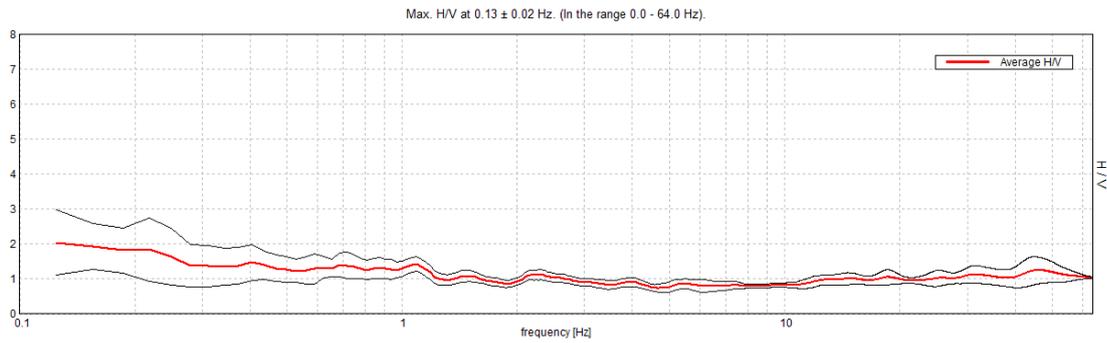
**Sondaggio tromografico T13**



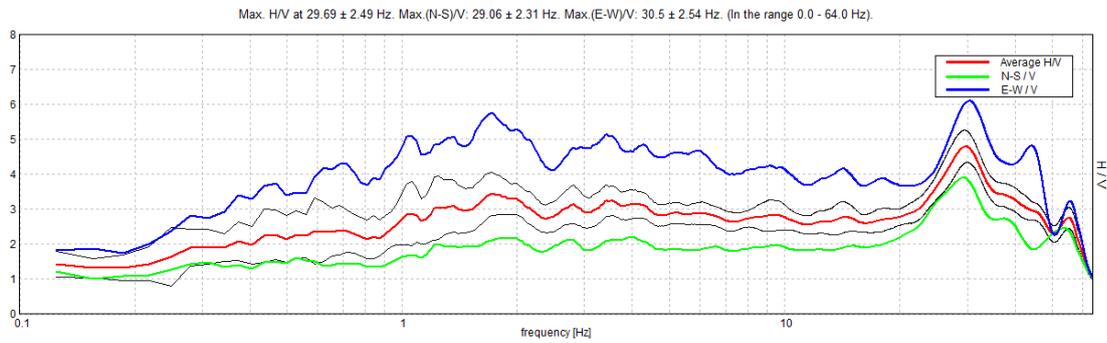
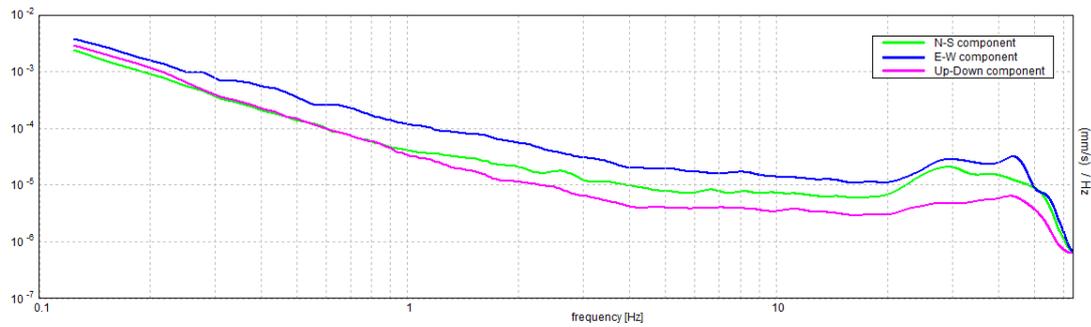
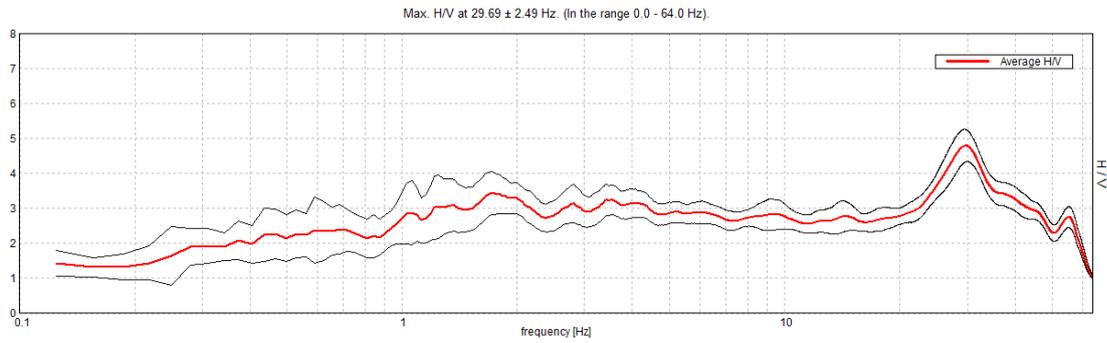
**Sondaggio tromografico T14**



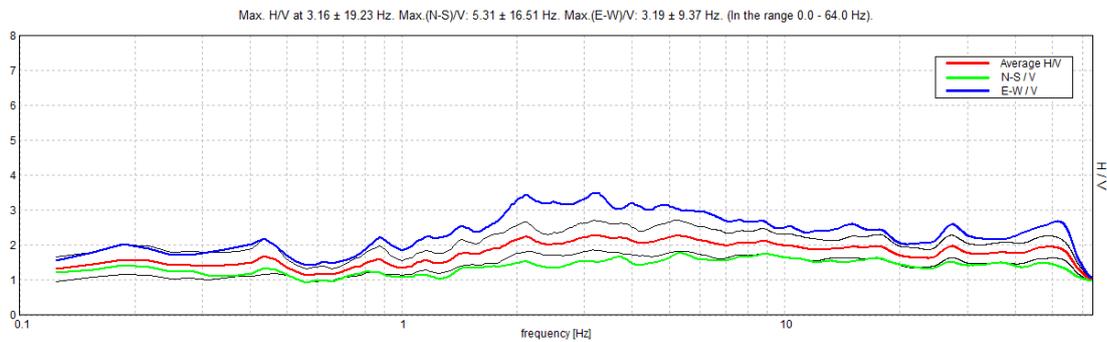
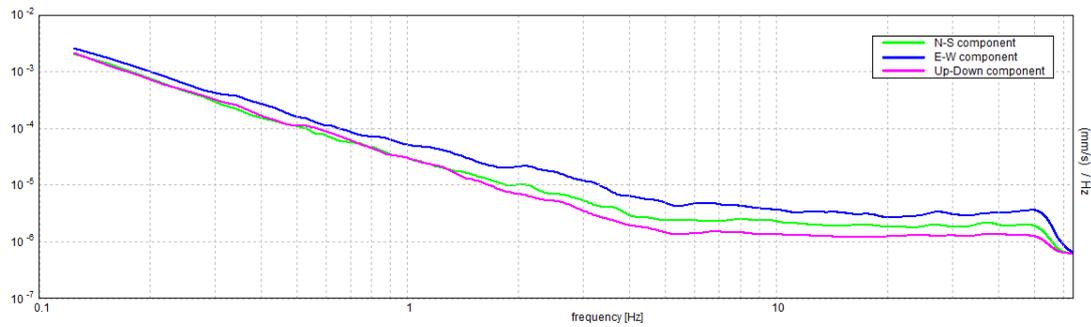
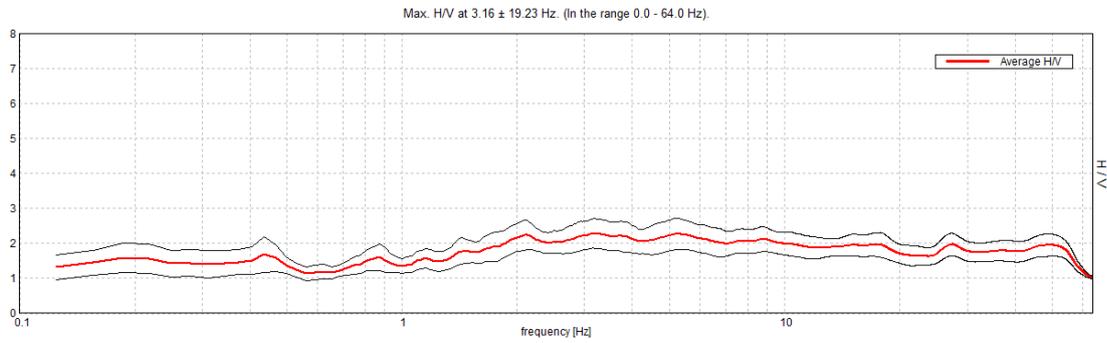
**Sondaggio tromografico T15**



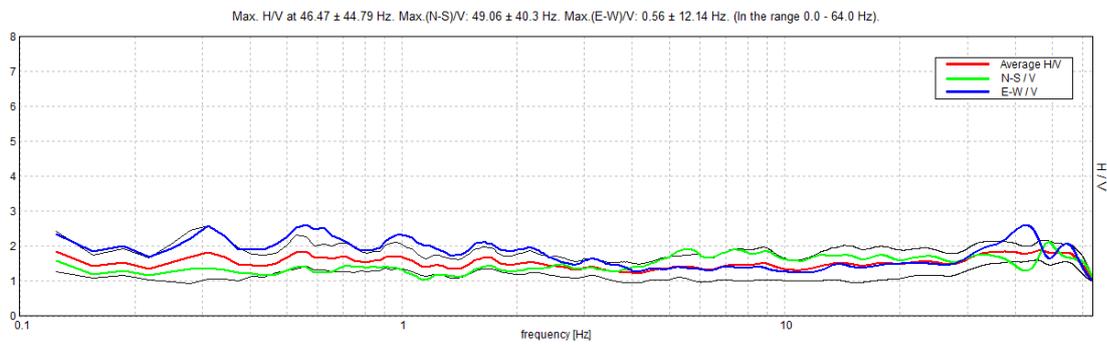
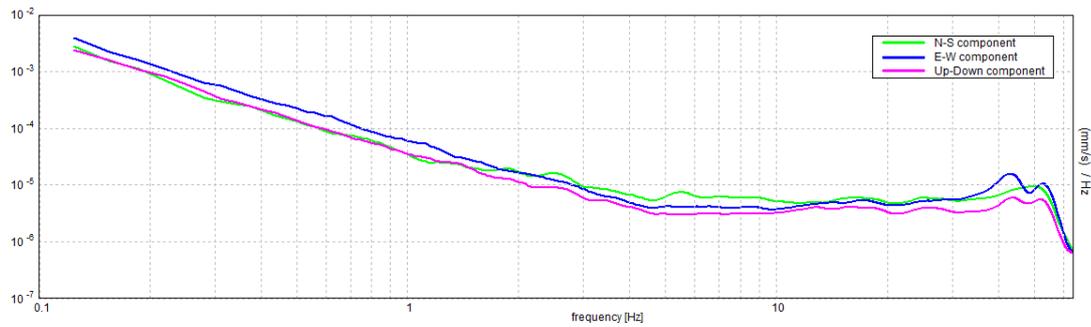
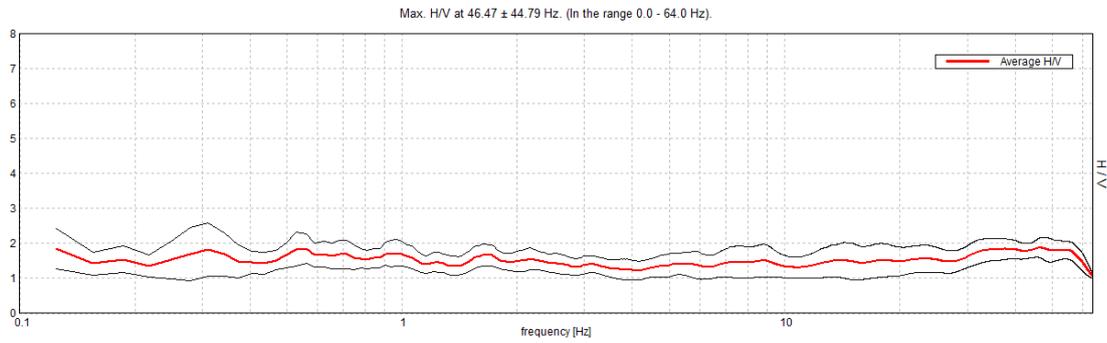
**Sondaggio tromografico T16**

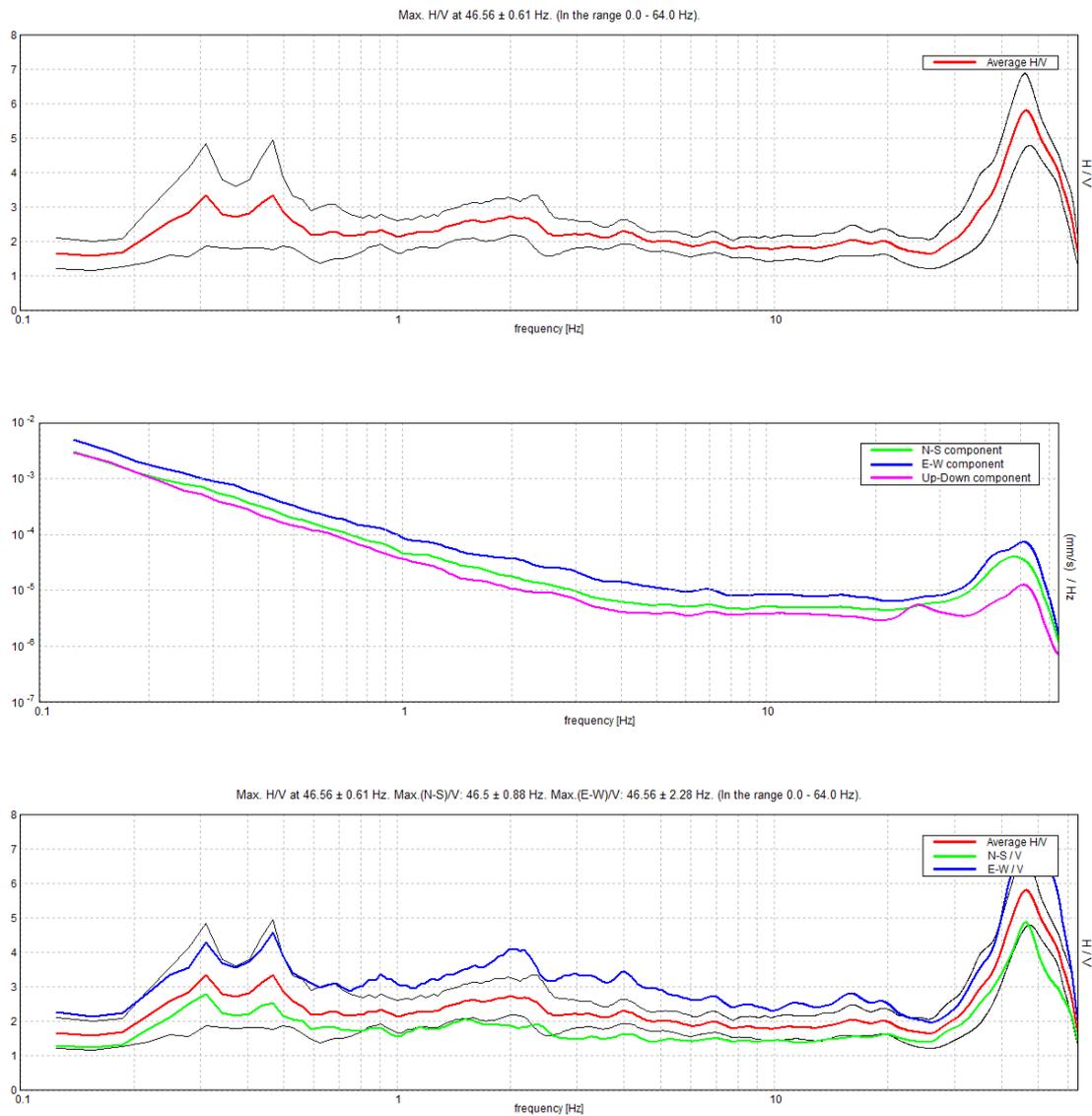


**Sondaggio tromografico T17**



**Sondaggio tromografico T18**



**Sondaggio tromografico Tsott**

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

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

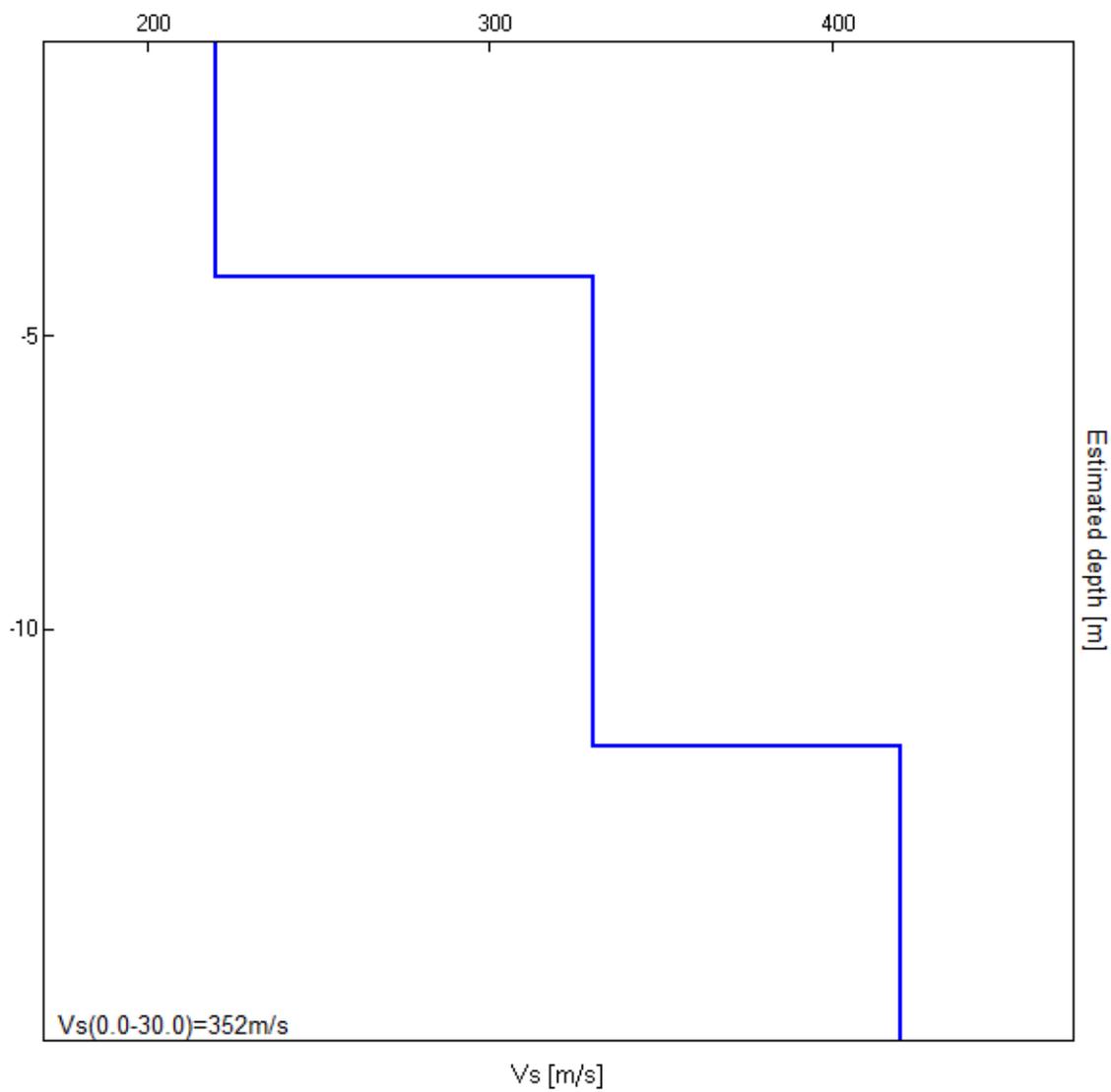
da cui si ricava

$$V = 4 f_r h$$

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

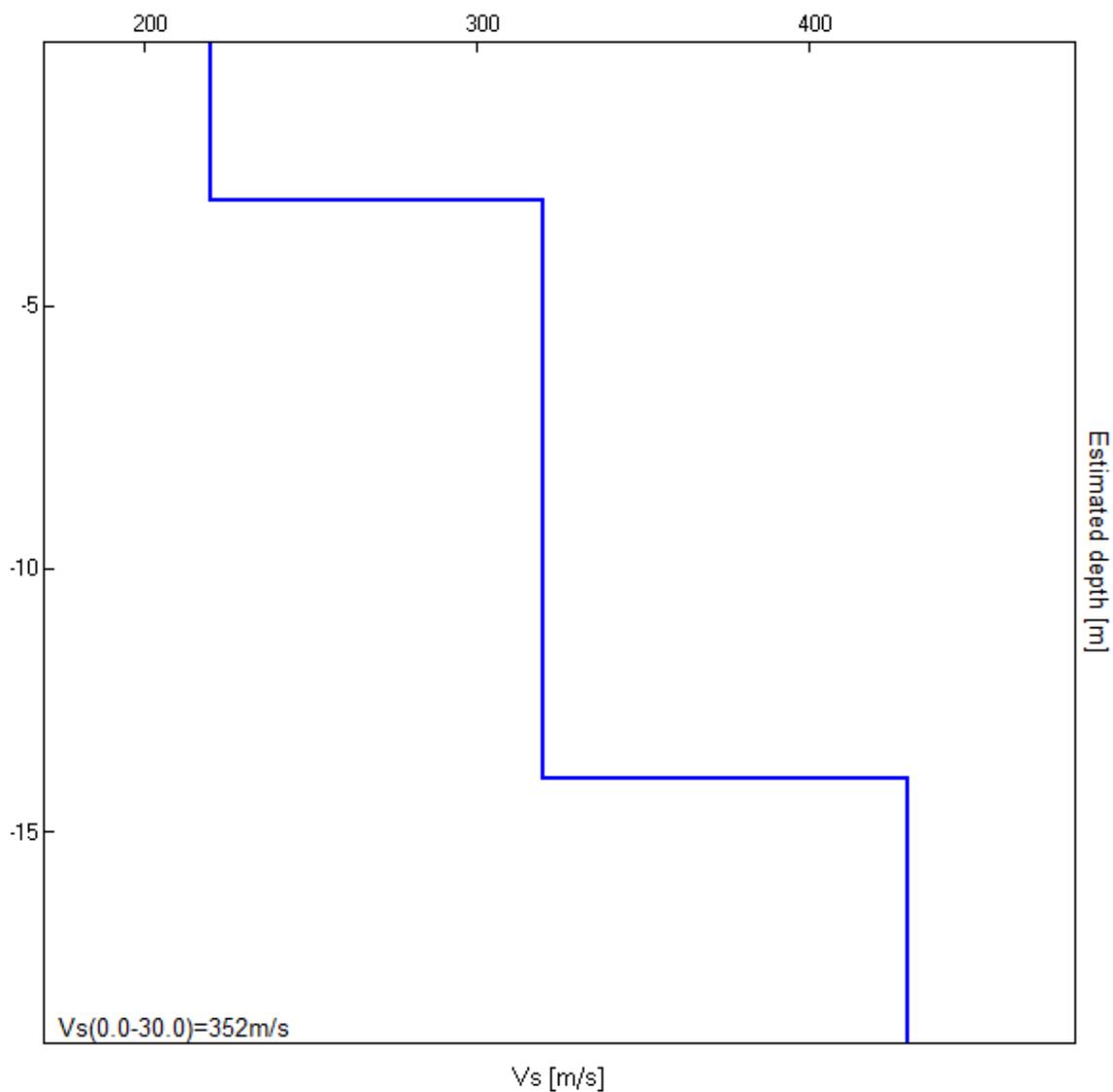
**Sondaggio tomografico T1**

<b>Profondità (m)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	<b>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2008</b>	
0.00 – 4.00	220	C	<b>C</b> (Vs,eq=352 m/s)
4.00 – 12.00	330	C	
12.00 – 30.00	420	B	



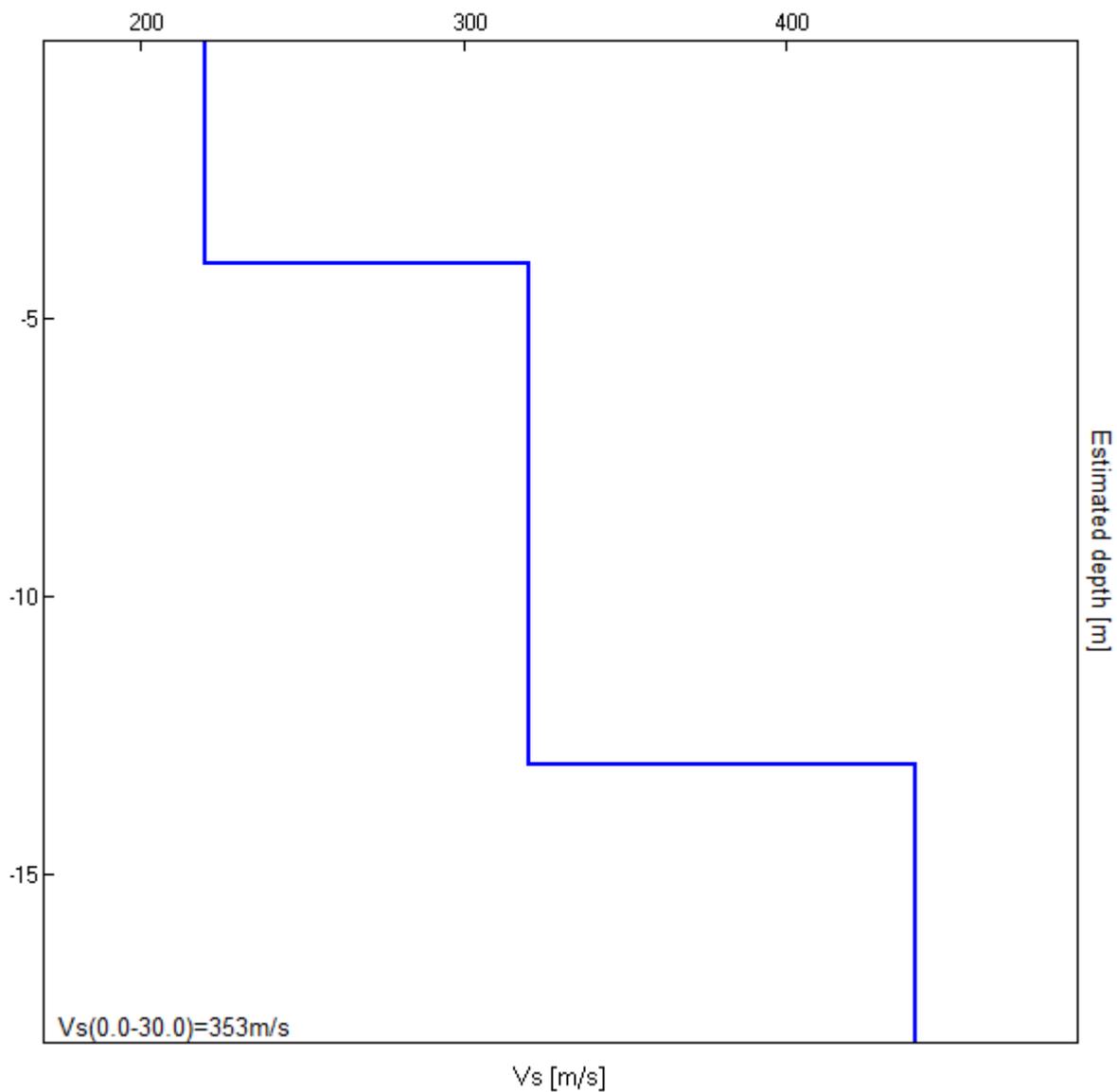
**Sondaggio tomografico T2**

<b><i>Profondità (m)</i></b>	<b><i>Vs (m/s)</i></b>	<b><i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2008</i></b>	
0.00 – 3.00	220	C	<b>C</b> (Vs,eq =352 m/s)
3.00 – 14.00	320	C	
19.00 – 30.00	430	B	



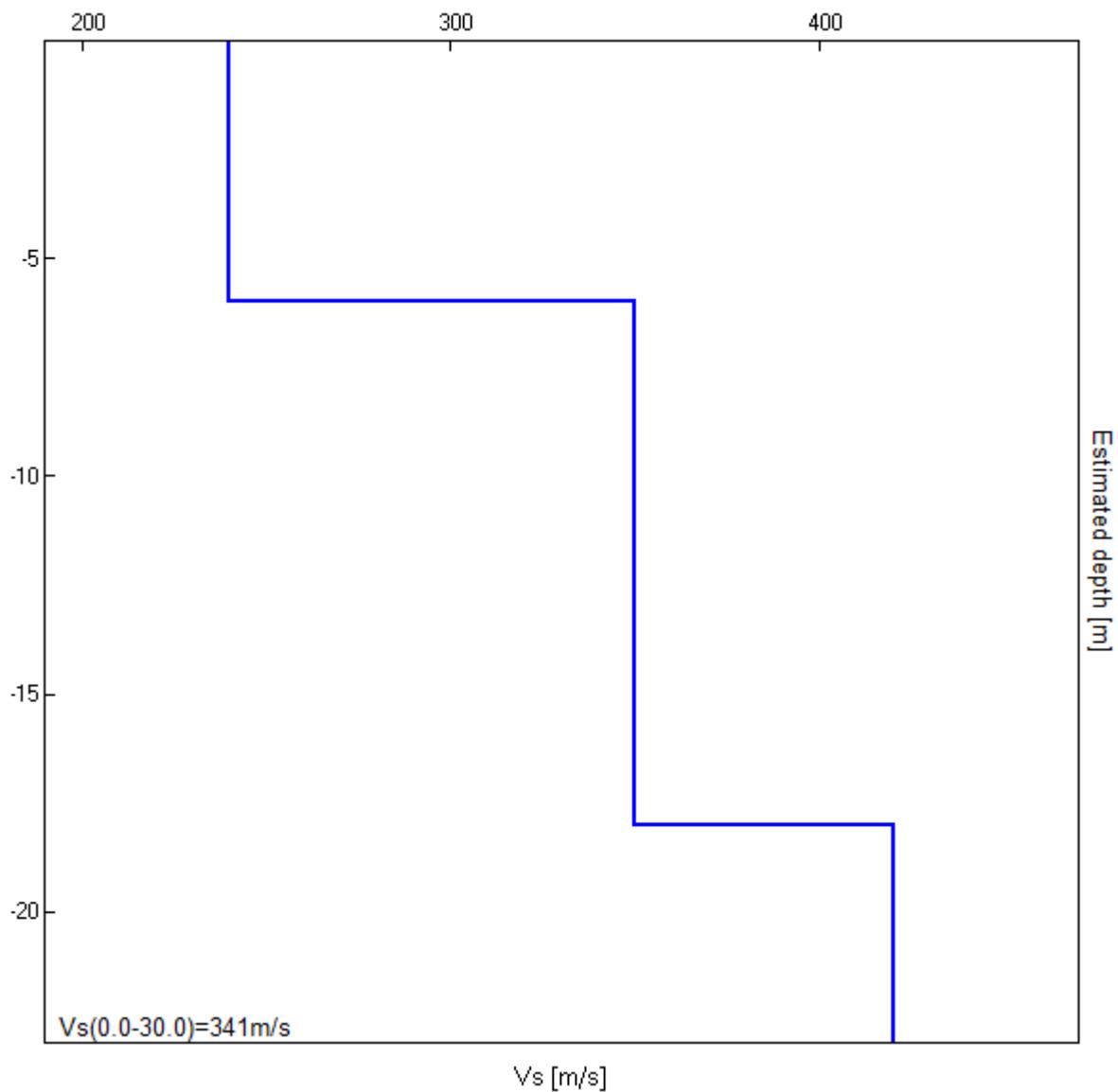
**Sondaggio tomografico T3**

<b>Profondità (m)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	<b>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2008</b>	
0.00 – 4.00	220	C	<b>C</b> (Vs,eq =353 m/s)
4.00 – 13.00	320	C	
13.00 – 30.00	440	B	



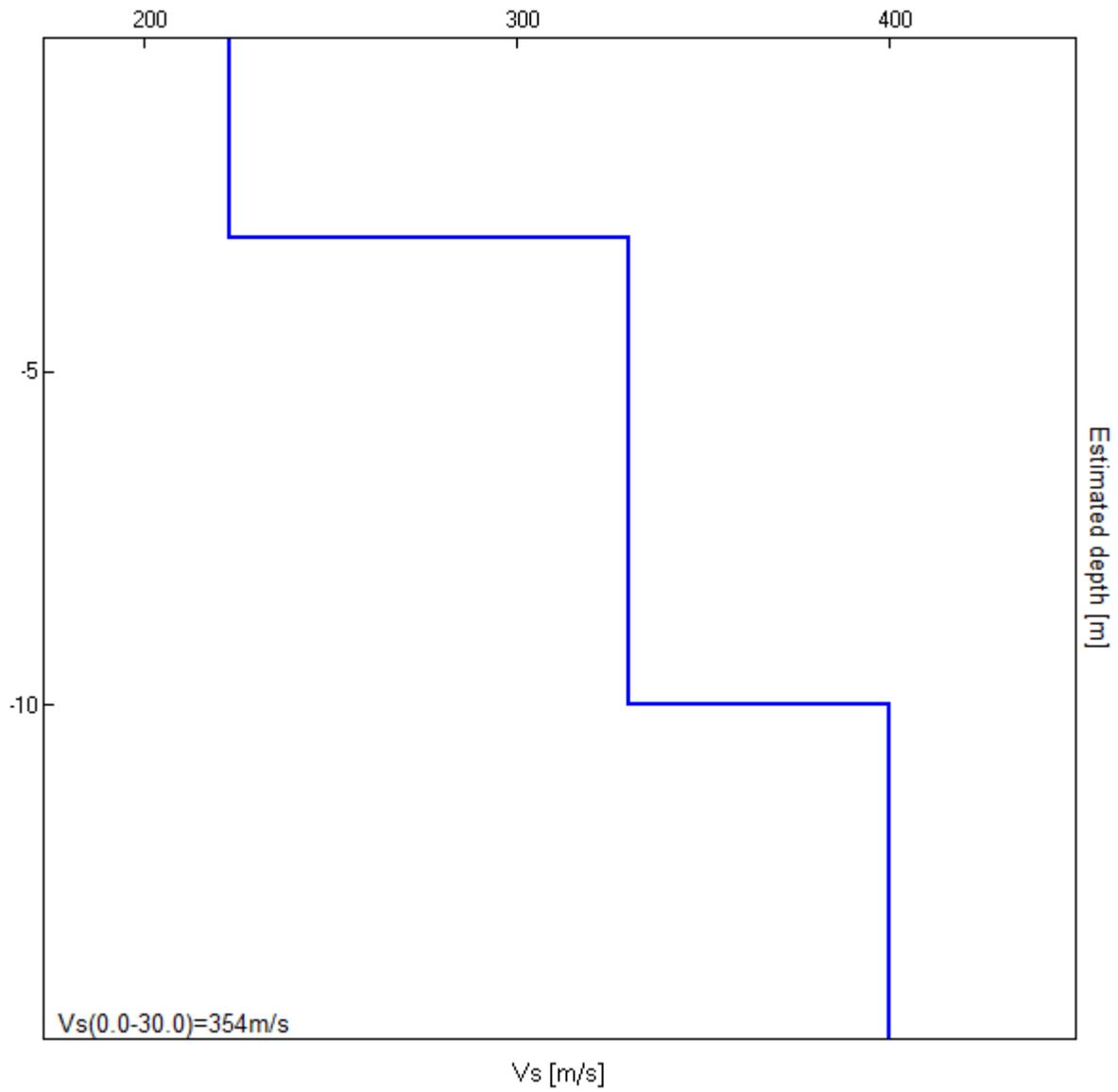
**Sondaggio tomografico T4**

<b><i>Profondità (m)</i></b>	<b><i>Vs (m/s)</i></b>	<b><i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2008</i></b>	
0.00 – 6.00	240	C	<b>C</b> (Vs,eq =341 m/s)
6.00 – 18.00	350	C	
18.00 – 30.00	420	B	



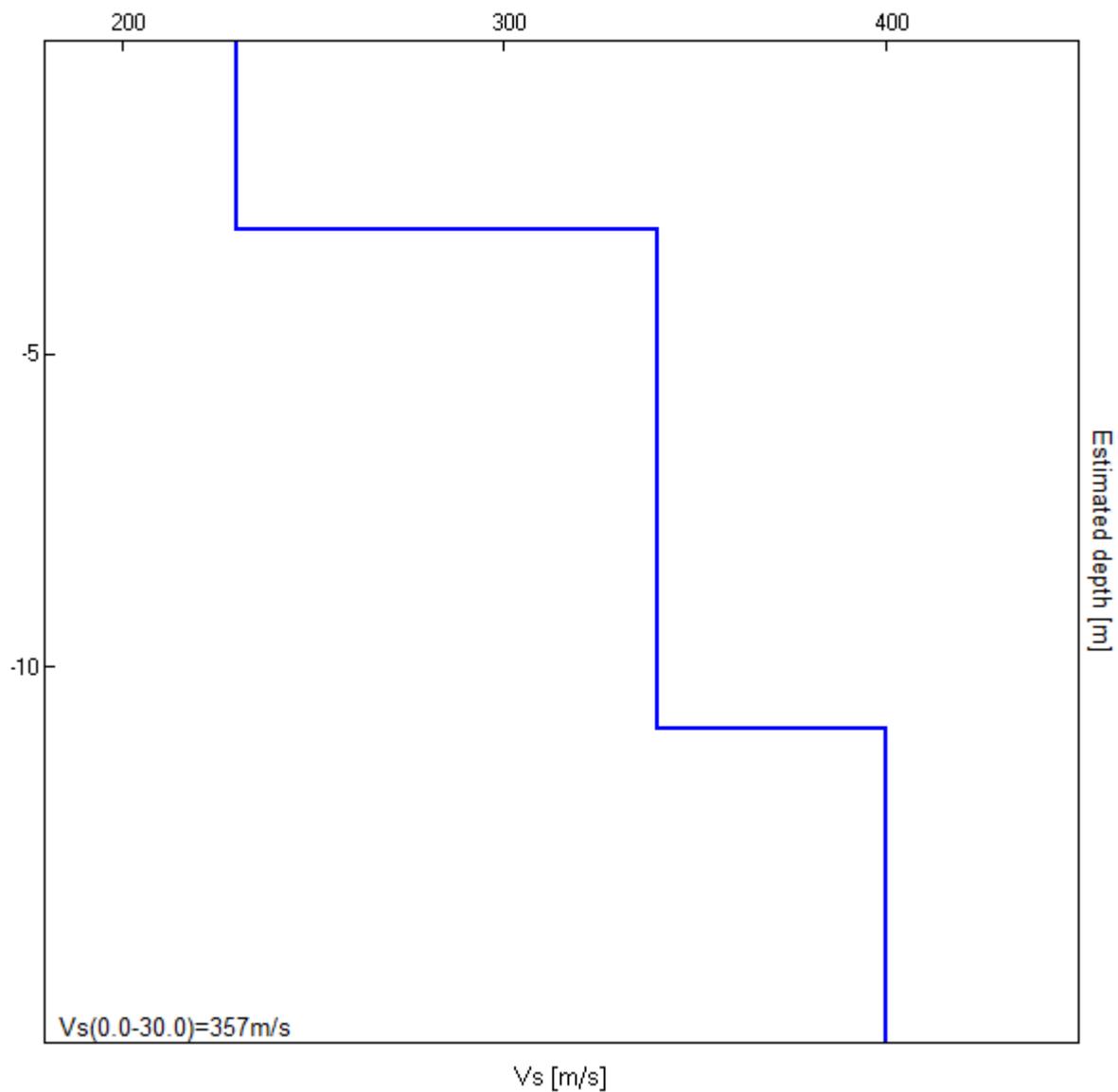
**Sondaggio tomografico T5**

<b><i>Profondità (m)</i></b>	<b><i>Vs (m/s)</i></b>	<b><i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2008</i></b>	
0.00 – 3.00	220	C	<b>C</b> (Vs,eq =354 m/s)
3.00 – 10.00	330	C	
10.00 – 30.00	400	B	



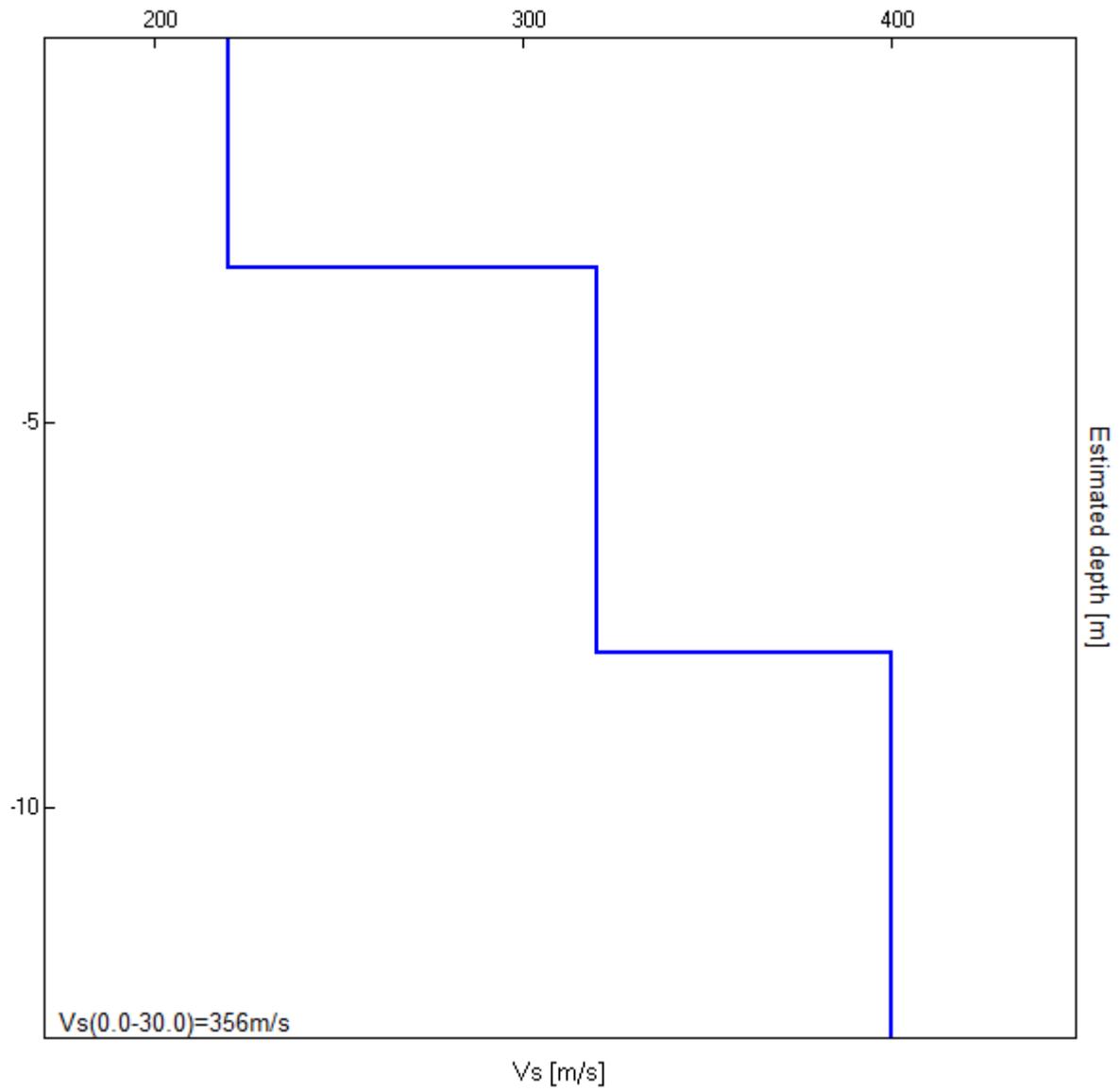
**Sondaggio tomografico T6**

<b><i>Profondità (m)</i></b>	<b><i>Vs (m/s)</i></b>	<b><i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2008</i></b>	
0.00 – 3.00	230	C	<b>C</b> (Vs,eq =357 m/s)
3.00 – 11.00	340	C	
11.00 – 30.00	400	B	



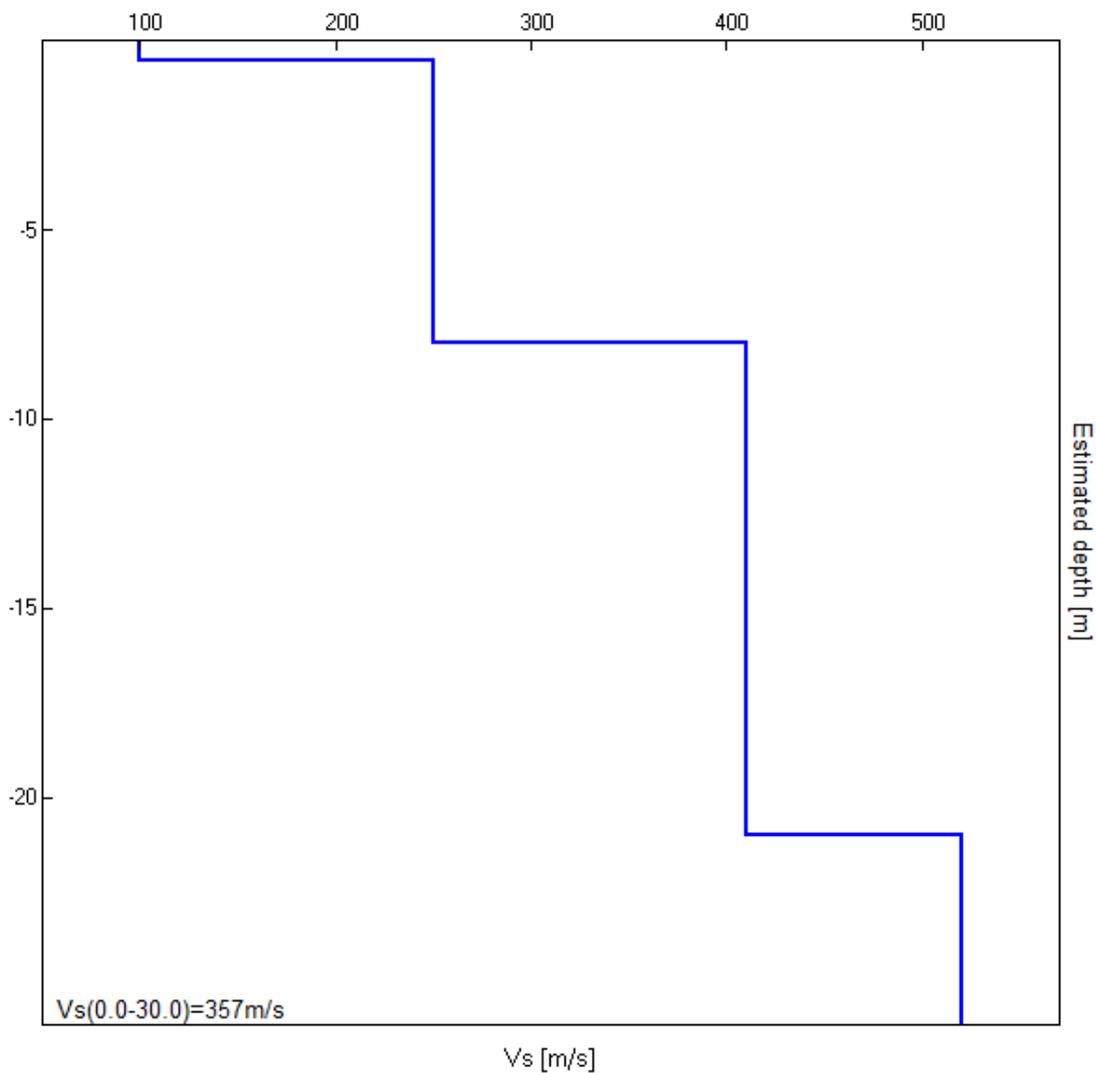
**Sondaggio tomografico T7**

<b>Profondità (m)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	<b>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2008</b>	
0.00 – 3.00	220	C	<b>C</b> (Vs,eq =356 m/s)
3.00 – 8.00	320	C	
8.00 – 30.00	400	B	



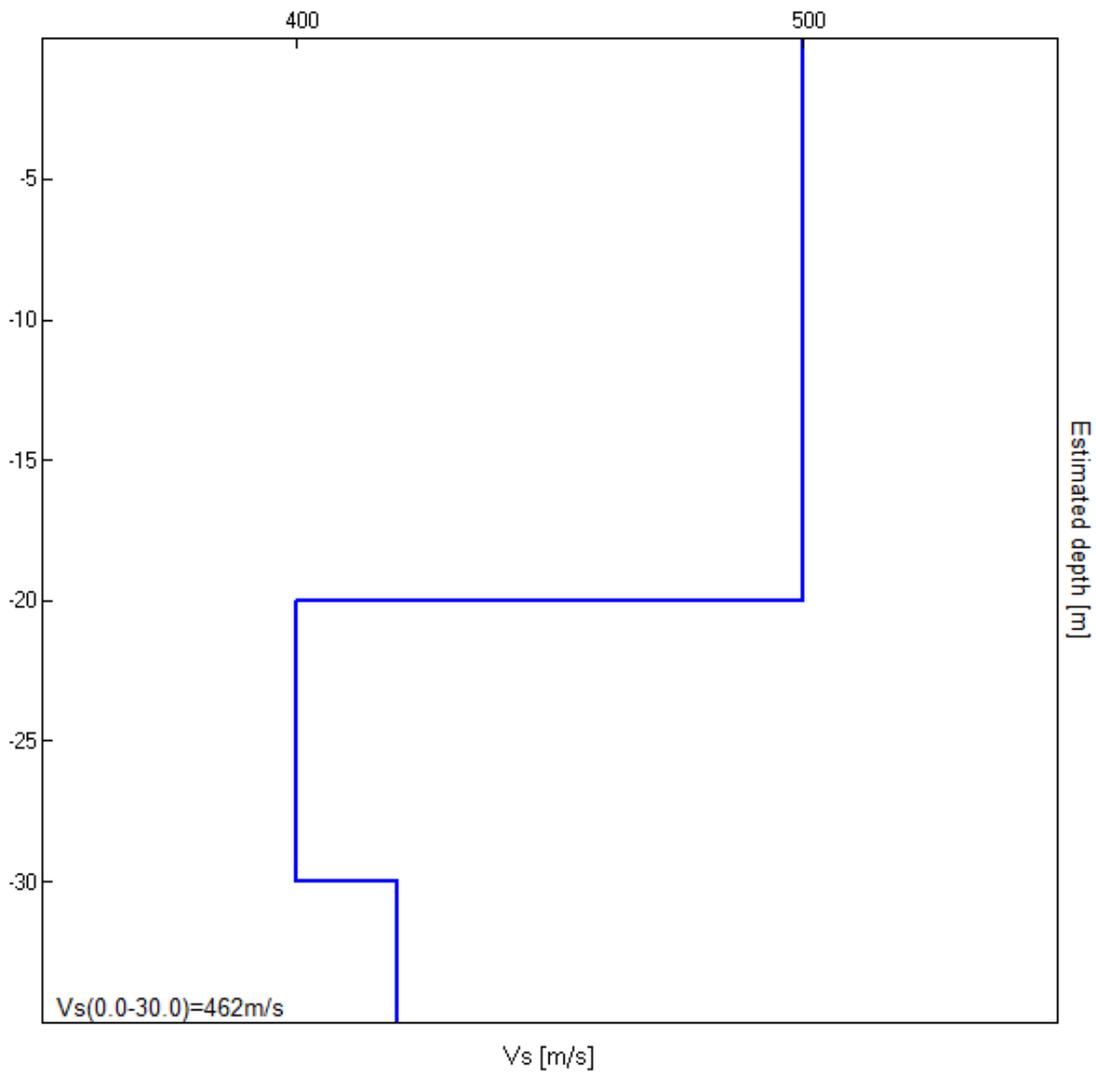
**Sondaggio tomografico T8**

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00-0.50	100	D	<b>C</b> (Vs30=357 m/s)
0.50-6.00	250	C	
6.00-21.00	410	B	
21.00-30.00	520	B	



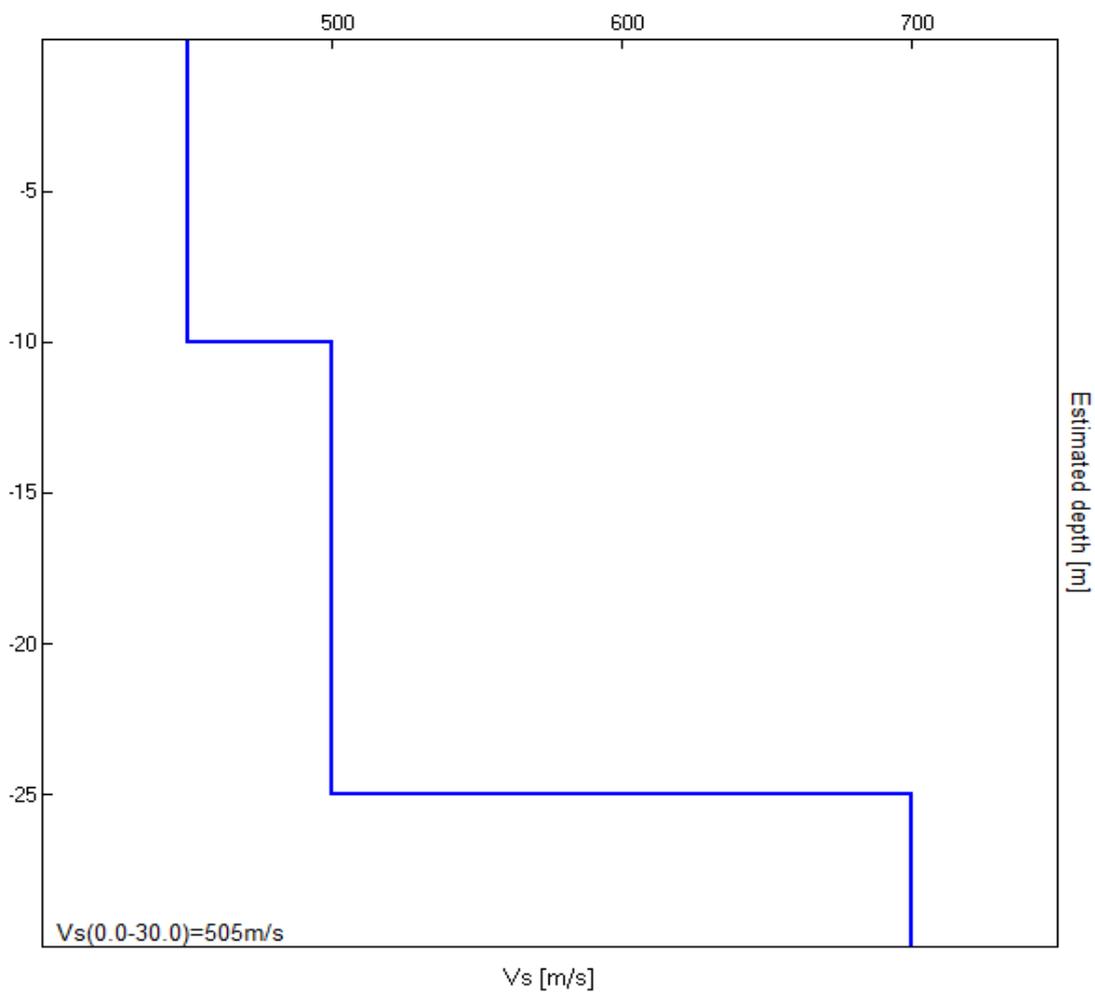
**Sondaggio tomografico T9**

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 20.00	500	B	<b>B</b>  (Vs30=462 m/s)
20.00 – 30.00	400	B	
30.00 – 40.00	420	B	



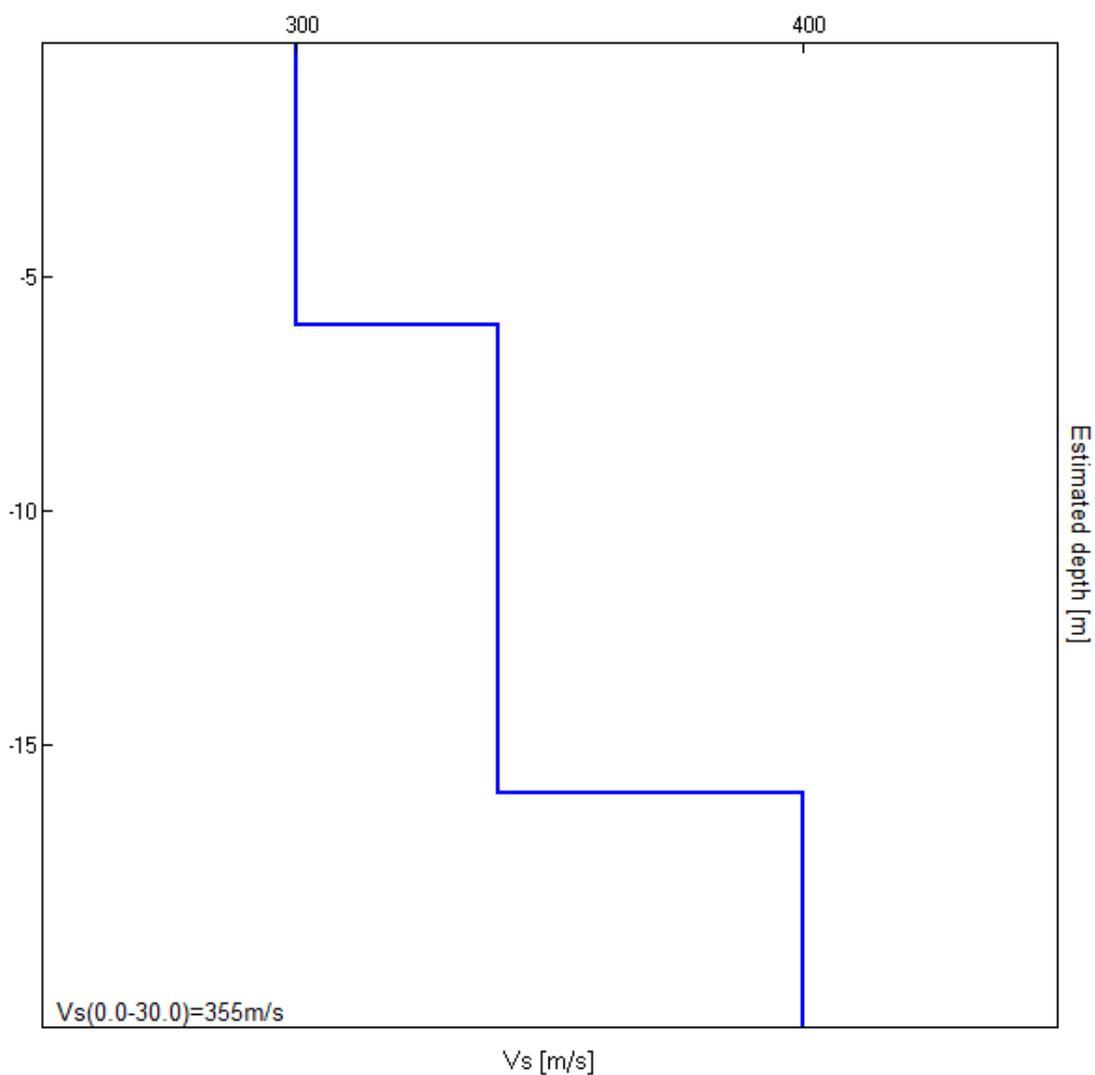
**Sondaggio tomografico T10**

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 10.00	450	B	<b>B</b> (Vs30=505 m/s)
10.00 – 25.00	500	B	
25.00 – 30.00	700	B	



**Sondaggio tromografico T11**

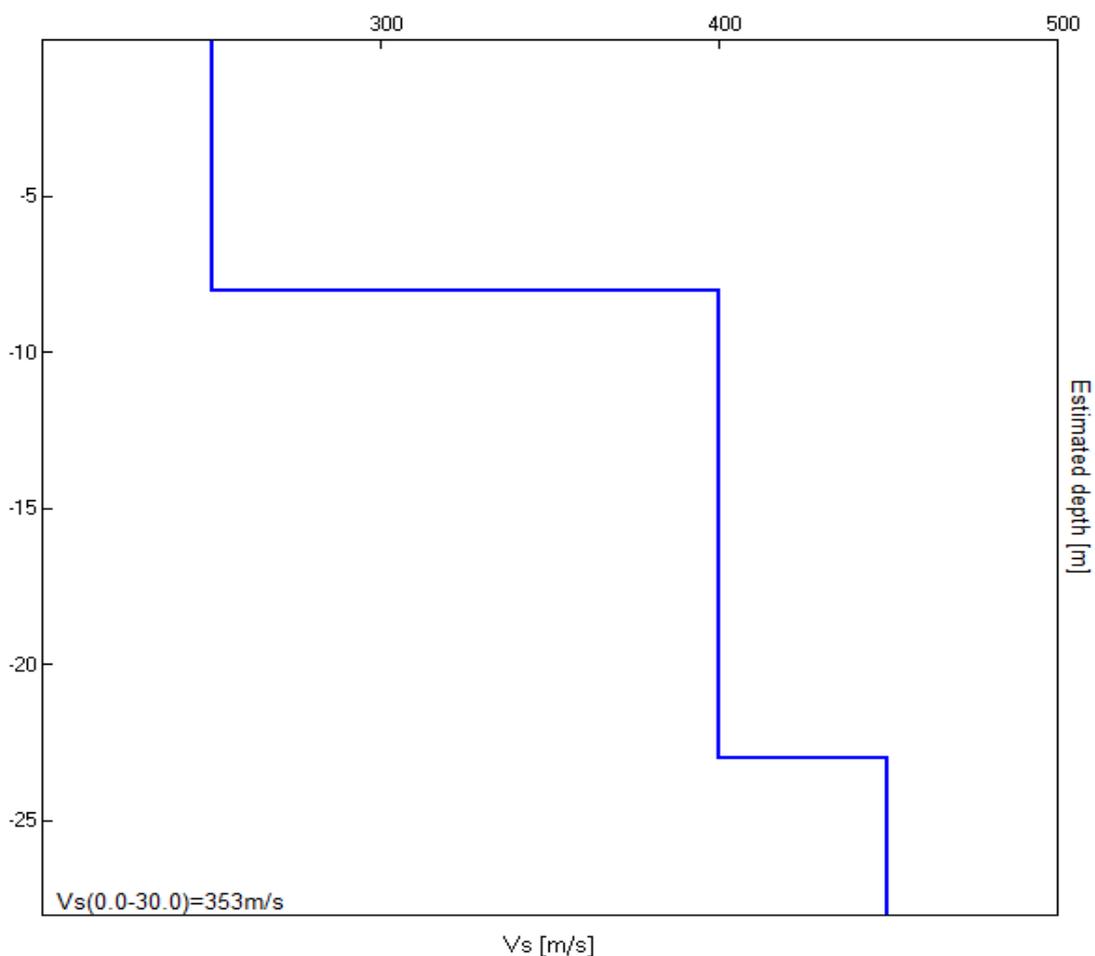
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 6.00	300	C	<b>C</b> (Vs30=355 m/s)
6.00 – 16.00	340	C	
16.00 – 30.00	400	B	





**Sondaggio tromografico T12**

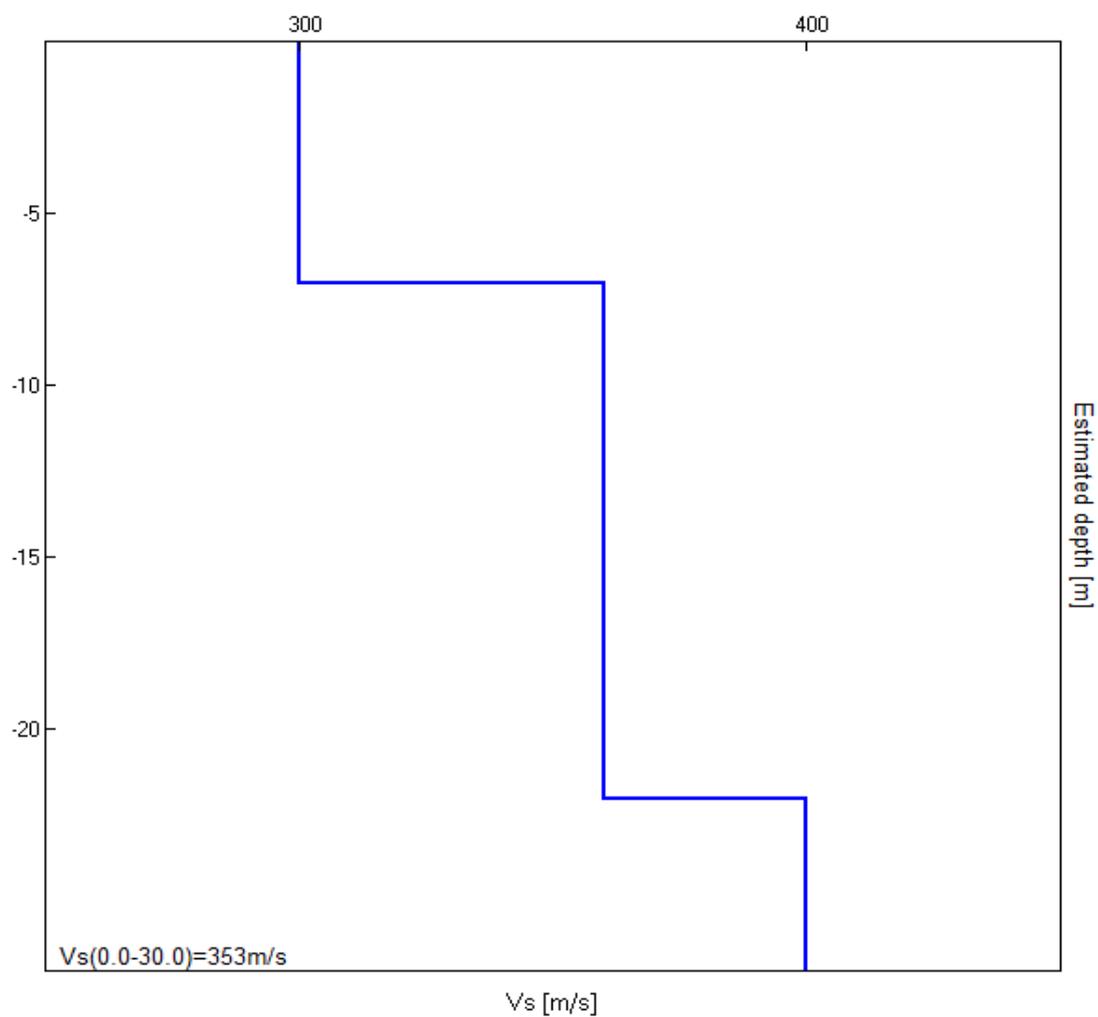
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 8.00	250	C	<b>C</b> (Vs30=353 m/s)
8.00 – 23.00	400	B	
23.00 – 30.00	450	B	





**Sondaggio tomografico T13**

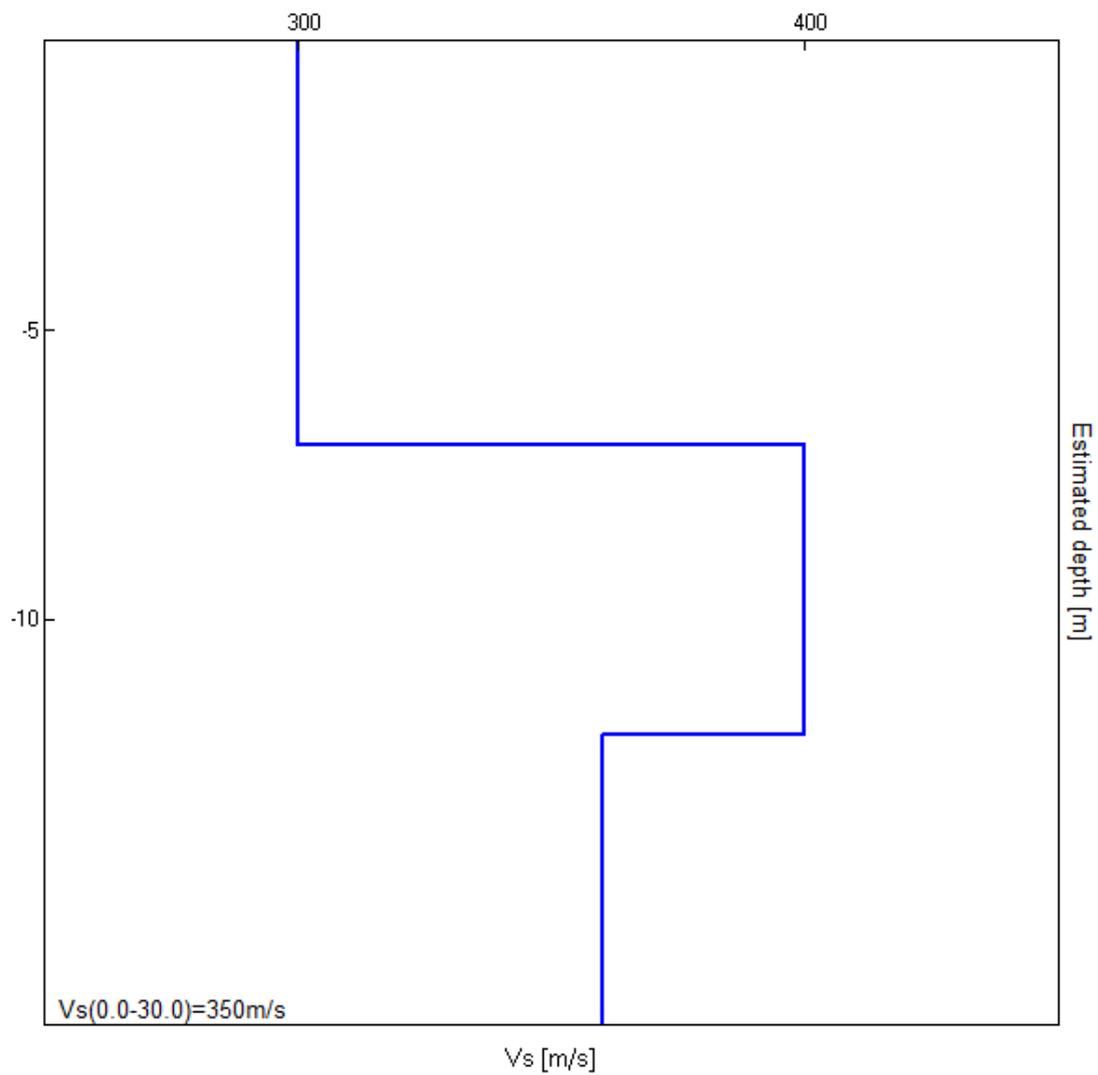
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 12.00	450	B	<b>B</b> (Vs30=479 m/s)
12.00 – 30.00	500	B	
30.00 – 40.00	600	B	





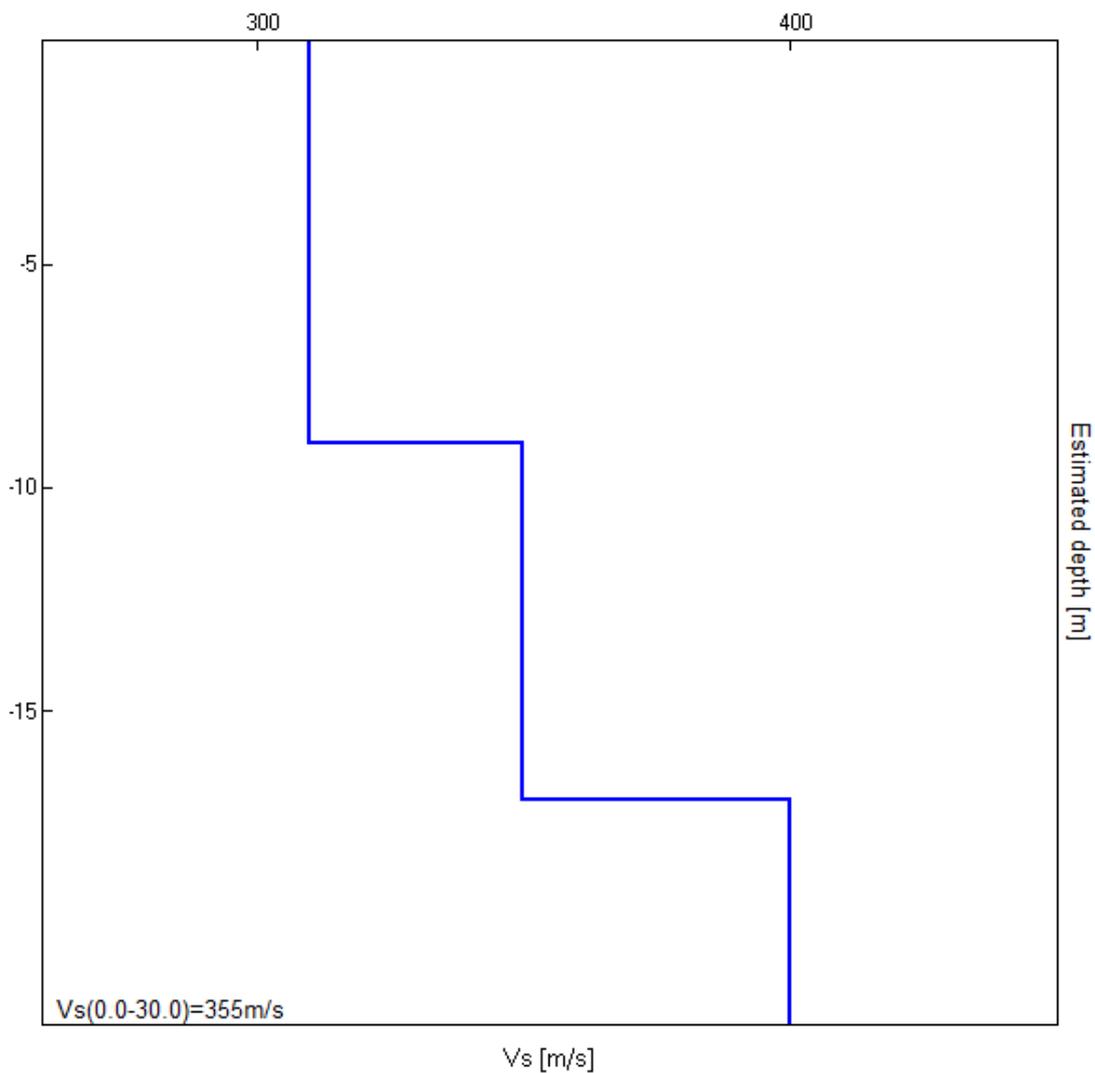
**Sondaggio tomografico T14**

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 7.00	300	C	<b>C</b> (Vs30=350 m/s)
7.00 – 12.00	400	B	
12.00 – 30.00	360	B	



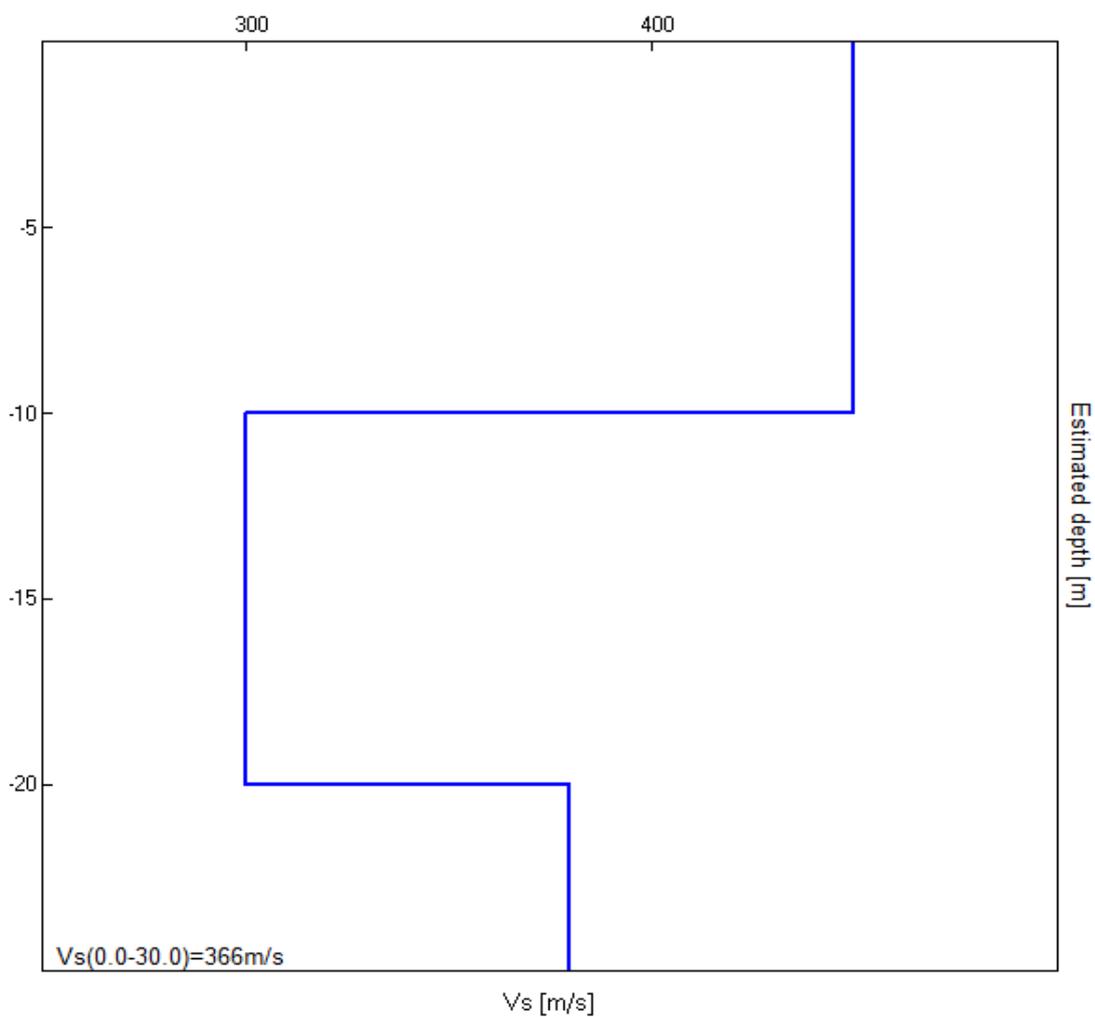
**Sondaggio tomografico T15**

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 9.00	310	C	<b>C</b> (Vs30=355 m/s)
9.00 – 17.00	350	C	
17.00 – 30.00	400	B	



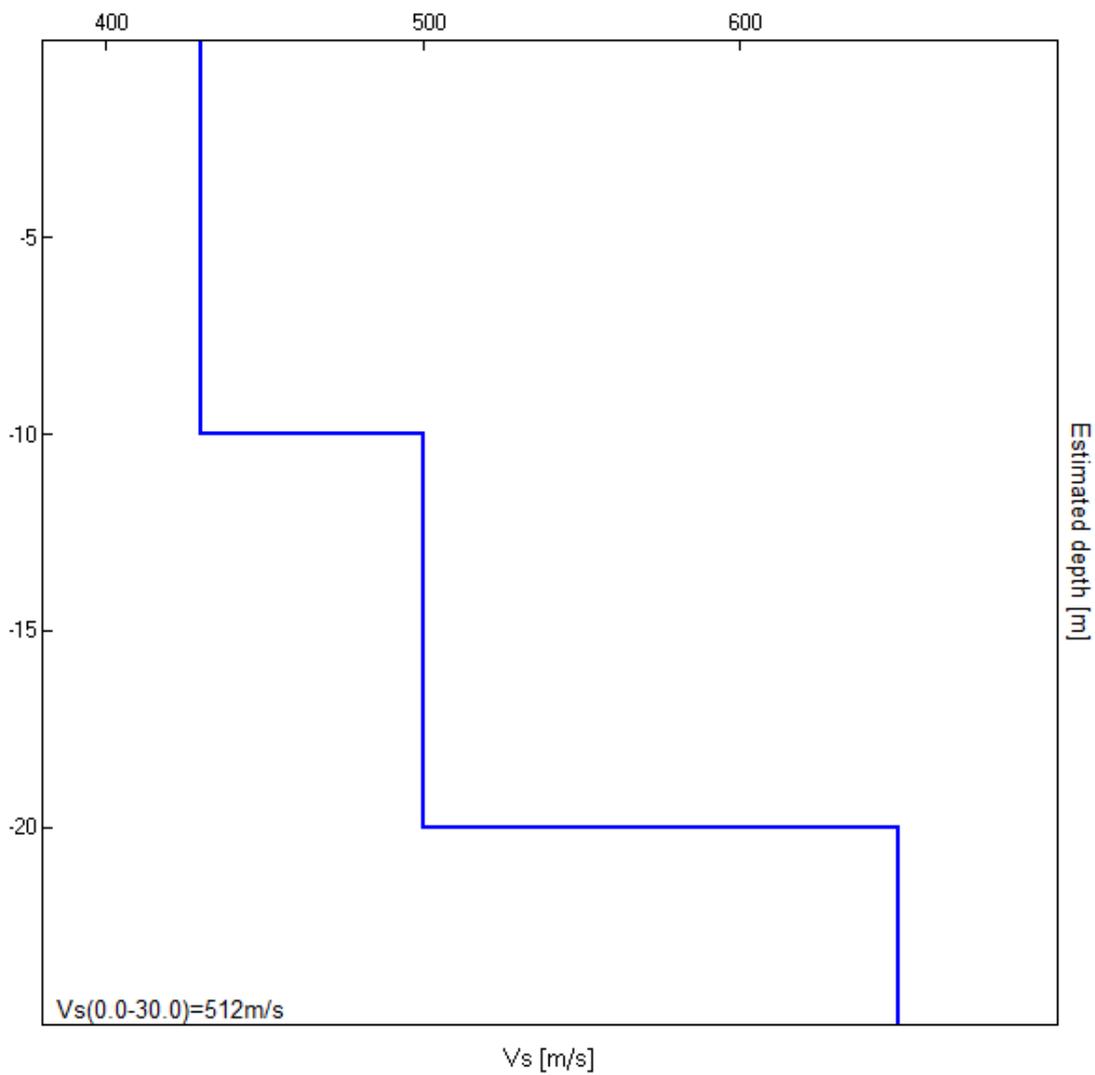
**Sondaggio tromografico T16**

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 10.00	450	B	<b>B</b> (Vs30=366 m/s)
10.00 – 20.00	300	C	
20.00 – 30.00	380	B	



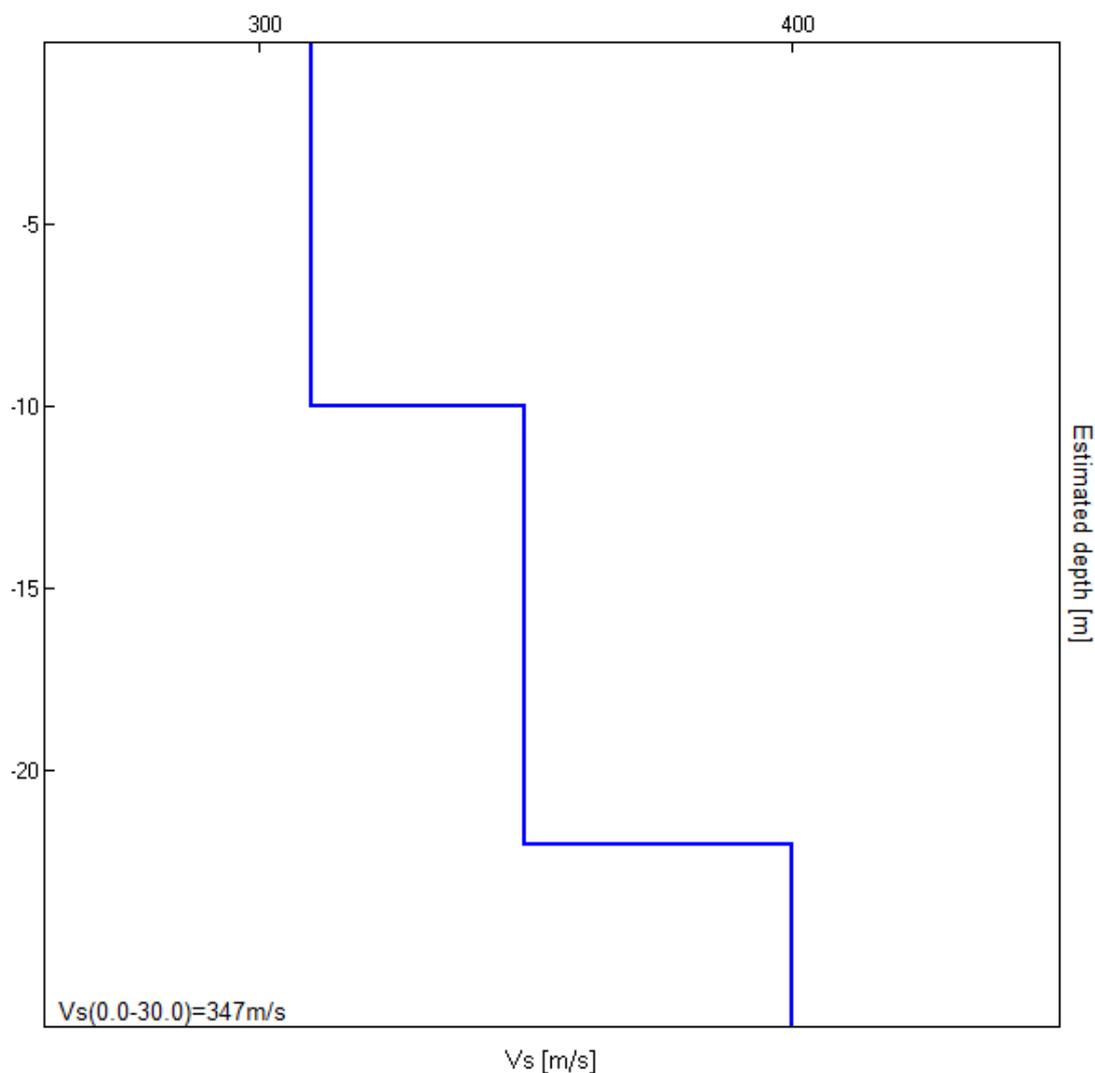
**Sondaggio tomografico T17**

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 10.00	430	B	<b>B</b>  (Vs30=512 m/s)
10.00 – 20.00	500	B	
20.00 – 30.00	650	B	



**Sondaggio tomografico Tsott**

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 10.00	310	C	<b>C</b>  (Vs30=347 m/s)
10.00 – 22.00	350	C	
22.00 – 30.00	400	B	



## 5 CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO

Ai fini sismici il territorio interessato è incluso nell'elenco delle località sismiche con un livello di pericolosità 2.

Tale classificazione è stata dettata dalla O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/03 e dall'OPCM 28 aprile 2006, n. 3519 e recepita dalla Regione Puglia (DGR 153/04).

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 C - "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle

proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s” ed 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 particolare:

OPERA	Categoria di suolo ai sensi delle NTC 2018
AEROGENERATORE MN01	C
AEROGENERATORE MN02	C
AEROGENERATORE MN03	C
AEROGENERATORE MN04	C
AEROGENERATORE MN05	C
AEROGENERATORE MN06	C
AEROGENERATORE MN07	C
AEROGENERATORE MN08	C
AEROGENERATORE MN09	B
AEROGENERATORE MN10	B
AEROGENERATORE MN11	C
AEROGENERATORE MN12	C
AEROGENERATORE MN13	B
AEROGENERATORE MN14	C
AEROGENERATORE MN15	C
AEROGENERATORE MN16	B
AEROGENERATORE MN17	B
SOTTOSTAZIONE	C

Ai fini della corretta valutazione sito-specifica della categoria sismica di suolo le indagini eseguite sono esaustive per la fase di progetto definitivo e le indagini che saranno eseguite in fase di progettazione esecutiva potranno dare ulteriori e più approfondite indicazioni.

## 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'e-vento 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 cor-relazioni 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:

<i>Categoria suolo</i>	<i>Spettri di Tipo 1 - S (M &gt; 5,5)</i>	<i>Spettri di Tipo 2 - S (M &lt; 5,5)</i>
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.

Attrezzatura	$C_E$
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):

- $\alpha = 0$  per  $FC \leq 5\%$
- $\beta = \exp[1,76 - (190 / FC^2)]$  per  $5\% < FC \leq 35\%$
- $\beta = 5$  per  $FC > 35\%$
- $\alpha = 1,0$  per  $FC \leq 5\%$
- $\beta = [0,99 + (FC^{1,5} / 1000)]$  per  $5\% < FC \leq 35\%$
- $\beta = 1,2$  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 sono presenti terreni ghiaiosi, conglomeratici, calcarenitici afferenti ai depositi alluvionali, continentali e marini terrazzati che poggiano sui complessi argilloso, calcarenitico e calcareo che non consentono la formazione di fenomeni di liquefazione.

Dette condizioni inibiscono l'istaurarsi di tale fenomeno per cui si può dire che il problema non sussiste, come peraltro dimostra la serie storica dei terremoti che si sono avvertiti in zona.

Infatti, in tutta la storia recente, pur in presenza di terremoti anche di magnitudo importante, non si sono osservati fenomeni di liquefazione in sito.

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 descritte nel capitolo "Campagna indagini geognostiche e geotecniche da eseguire in fase di progettazione esecutiva".

## 7 CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DEI TERRENI INTERESSATI

Da quanto desumibile dai rilievi eseguite in questa prima fase, i terreni che costituiscono il volume geotecnicamente significativo delle opere in progetto sono riferibili alle seguenti litologie: **a) Depositi alluvionali; b) Depositi marini terrazzati; c) Depositi continentali terrazzati; d) Complesso Calcarenitico; e) Complesso argilloso; f) Complesso calcareo.**

Ne descriviamo singolarmente le caratteristiche litologiche e meccaniche così come desumibili dai dati ricavati dalle pubblicazioni scientifiche e dall'esperienza maturata su questi terreni, tenendo conto che in fase di progettazione esecutiva e di calcolo delle strutture fondali sarà necessario integrare le indagini eseguite di questa fase come descritto in premessa.

- a) Depositi alluvionali:** si tratta di conglomerati con matrice sabbioso-pellica, coperti da coltri sabbioso-limose pedogenizzate di spessore pari a circa 3 m. Per la caratterizzazione fisico-meccanica di tale complesso, il progettista può fare riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, all'esperienza maturata su questi terreni e alle sperimentazioni scientifiche:  $\varphi' = 25^\circ$ ;  $c' = 00,0 \text{ kN/m}^2$ ;  $\gamma = 1,9 \text{ kN/m}^3$ .
- b) Depositi marini terrazzati:** si tratta di calcareniti e conglomerati con intercalazione di silt e livelli sabbiosi. Per la caratterizzazione fisico-meccanica di tale complesso, il progettista può fare riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, all'esperienza maturata su questi terreni e alle sperimentazioni scientifiche:  $\varphi' = 28^\circ$ ;  $c' = 00,0 \text{ kN/m}^2$ ;  $\gamma = 1,9 \text{ kN/m}^3$ .
- c) Depositi continentali terrazzati:** si tratta di ghiaie e conglomerati con giacitura sub-orizzontale. Per la caratterizzazione fisico-meccanica di tale complesso, il progettista può fare riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, all'esperienza maturata su questi terreni e alle sperimentazioni scientifiche:  $\varphi' = 30^\circ$ ;  $c' = 00,0 \text{ kN/m}^2$ ;  $\gamma = 1,9 \text{ kN/m}^3$ .
- d) Complesso Calcarenitico:** si tratta di calcareniti cementate con sporadici livelli sabbiosi, con stratificazione orizzontale. Per la caratterizzazione fisico-meccanica di tale complesso, il progettista può fare riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, all'esperienza maturata su questi terreni e alle sperimentazioni scientifiche:  $\varphi' = 33^\circ$ ;  $c' = 10,0 \text{ kN/m}^2$ ;  $\gamma = 2,0 \text{ kN/m}^3$ .
- e) Complesso argilloso:** si tratta di argille ed argille marnose grigio-azzurre da scarsamente a mediamente consistente e di colore marrone chiaro quando alterate (spessore di

alterazione variabile tra 6-8 m mentre la frazione inalterata di colore grigio-azzurro si presenta consistente. Per la caratterizzazione fisico-meccanica di tale complesso, il progettista può fare riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, all'esperienza maturata su questi terreni e alle sperimentazioni scientifiche:

*Frazione alterata:  $\varphi' = 20^\circ$ ,  $c' = 1,5 \text{ t/mq}$ ,  $\gamma = 1,9 \text{ t/mc}$*

*Frazione inalterata:  $\varphi' = 24^\circ$ ,  $c' = 2,0 \text{ t/mq}$ ,  $\gamma = 2,0 \text{ t/mc}$*

**f) Complesso calcareo:** Si tratta di calcari grigio-biancastri, spesso fortemente dolomitizzati, con stratificazione massiva o indistinta. Per la caratterizzazione fisico-meccanica di tale complesso, il progettista può fare riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, all'esperienza maturata su questi terreni e alle sperimentazioni scientifiche:  $\varphi' = 45^\circ$ ,  $c' = 5 \text{ t/mq}$ ,  $\gamma = 2,5 \text{ t/mc}$

## **8 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 SSE:
- n. 1 sondaggio a carotaggio continuo ciascuno di profondità pari a 20 mt. dal p.c. con installazione di piezometro a tubo aperto;

- prelievo di n. 3 campioni indisturbati sui quali eseguire le prove geotecniche in laboratorio per la caratterizzazione fisico-meccanica;
- n. 6 S.P.T. in foro.

## 9 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 MN01, MN02 ed MN03 sono caratterizzate dall'affioramento dei depositi alluvionali costituiti da conglomerati con matrice sabbioso-pelitica, coperti da coltri sabbio-limose pedogenizzate di spessore pari a circa 3 m. Hanno uno spessore vari tra circa 7 m e 10 m e poggiano sui terreni riferibili al Complesso Argilloso che si presenta alterato per uno spessore pari a 5 m (vedi Colonna stratigrafica Tipo 1 allegata).

Le aree interessate dagli aerogeneratori MN04, MN05, MN06, MN07, MN08, MN10 ed MN11 sono caratterizzate dall'affioramento dei depositi continentali terrazzati costituiti da ghiaie e conglomerati con giacitura sub-orizzontale. Hanno uno spessore variabile tra 5 e 10 m e poggiano sui terreni riferibili al Complesso Argilloso che si presenta alterato per uno spessore pari a 5 m (vedi Colonna stratigrafica Tipo 2 allegata).

L'area interessata dall'aerogeneratore MN17 è caratterizzata dall'affioramento dei depositi continentali terrazzati costituiti da ghiaie e conglomerati con giacitura sub-orizzontale. Hanno uno spessore pari a circa 10 m e poggiano sui terreni riferibili al Complesso Calcarenitico costituito da calcareniti cementate con sporadici livelli sabbiosi, con stratificazione orizzontale (vedi colonna stratigrafica Tipo 3 allegata).

Le aree interessate dagli aerogeneratori MN12 ed MN15 sono caratterizzate dall'affioramento del Complesso Argilloso costituito da argille ed argille marnose grigio-azzurre da scarsamente a mediamente consistente e di colore marrone chiaro quando alterate (spessore di alterazione variabile tra 6-8 m mentre la frazione inalterata di colore grigio-azzurro si presenta consistente (vedi colonna stratigrafica Tipo 4 allegata).

L'area interessata dall'aerogeneratore MN14 e dalla sottostazione è caratterizzata dall'affioramento dei Depositi marini terrazzati costituiti da calcareniti e conglomerati con intercalazione di silt e livelli sabbiosi. Hanno uno spessore pari a circa 10 m e poggiano sui terreni riferibili al Complesso Argilloso che si presenta alterato per uno spessore pari a 5 m (Vedi Colonna stratigrafica Tipo 5 allegata).

Le aree interessate dagli aerogeneratori MN9 ed MN16 sono caratterizzate dall'affioramento dei Depositi marini terrazzati costituiti da calcareniti e conglomerati con intercalazione di silt e livelli sabbiosi. Hanno uno spessore variabile tra circa 5 e 10 m e poggiano sui terreni riferibili al Complesso Calcereo che si presenta costituito da calcari grigio-biancastri, spesso fortemente dolomitizzati, con stratificazione massiva o indistinta (vedi Colonna stratigrafica Tipo 6 allegata).

i suddetti terreni sono ricoperti da uno spessore variabile tra circa 1.00 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, 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 Idrogeo-logico (P.A.I.) che esclude le aree interessate dalle opere in progetto da qualunque fenomenologia di dissesto e di rischio geomorfologico.

Da un punto di vista idraulico il P.A.I. non inserisce le opere in progetto all'interno di aree identificate con pericolosità e/o rischio idraulico eccetto due limitati tratti di cavidotto, rispettivamente di lunghezza pari a 50 e 140 m (Pericolosità Alta). Per il passaggio del cavidotto in questi 2 tratti si utilizzerà la T.O.C. in modo da non interessare l'area 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 C - "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s" ed 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 particolare:

-

OPERA	Categoria di suolo ai sensi delle NTC 2018
AEROGENERATORE MN01	C
AEROGENERATORE MN02	C
AEROGENERATORE MN03	C
AEROGENERATORE MN04	C
AEROGENERATORE MN05	C
AEROGENERATORE MN06	C
AEROGENERATORE MN07	C
AEROGENERATORE MN08	C
AEROGENERATORE MN09	B
AEROGENERATORE MN10	B
AEROGENERATORE MN11	C
AEROGENERATORE MN12	C
AEROGENERATORE MN13	B
AEROGENERATORE MN14	C

AEROGENERATORE MN15	C
AEROGENERATORE MN16	B
AEROGENERATORE MN17	B
SOTTOSTAZIONE	C

In definitiva in ordine alle caratteristiche geologiche, geomorfo-logiche, 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 e che il geologo sia sempre presente durante la realizzazione delle fondazioni degli aerogeneratori.

## 10 ALLEGATO - COLONNE STRATIGRAFICHE



**COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 1**  
(AEROGENERATORI MN01 - MN02 - MN03 )

Stratigrafia	Profondita'	Descrizione
↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓		<p>Terreno vegetale (spessore variabile tra 1.00 - 3.00 m)      <math>\varphi' = 17^\circ, C' = 0,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,7 \text{ t/m}^3</math></p>
		<p>Conglomerati in matrice sabbioso-pelitica - Depositi alluvionali (spessore variabile tra 7-10 m)</p> <p style="text-align: center;"><math>\varphi' = 25^\circ, C' = 0,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,9 \text{ t/m}^3</math></p>
		<p>Argille ed argille marnose - Frazione alterata - Complesso Argilloso (spessore pari a circa 5 m)</p> <p style="text-align: center;"><math>\varphi' = 20^\circ, C' = 1,5 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,9 \text{ t/m}^3</math></p>
		<p>Argille ed argille marnose - Frazione inalterata - Complesso Argilloso</p> <p style="text-align: center;"><math>\varphi' = 24^\circ, C' = 2,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 2,0 \text{ t/m}^3</math></p>



**COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 2**  
(AEROGENERATORI MN04 - MN05 - MN06 - MN07 - MN08 - MN10 - MN11)

Stratigrafia	Profondita'	Descrizione
		Terreno vegetale (spessore variabile tra 1.00 - 2.00 m) $\varphi' = 17^\circ, C' = 0,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$
		Ghiaie e conglomerati con giacitura sub-orizzontale - Depositi continentali terrazzati (spessore variabile tra 5-10 m)  $\varphi' = 30^\circ, C' = 0,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,9 \text{ t/m}^3$
		Argille ed argille marnose - Frazione alterata - Complesso Argilloso (spessore pari a circa 5 m)  $\varphi' = 20^\circ, C' = 1,5 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,9 \text{ t/m}^3$
		Argille ed argille marnose - Frazione inalterata - Complesso Argilloso  $\varphi' = 24^\circ, C' = 2,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 2,0 \text{ t/m}^3$



## COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 3 (AEROGENERATORE MN17)

Stratigrafia	Profondita'	Descrizione
		Terreno vegetale (spessore variabile tra 1.00 - 2.00 m) $\varphi' = 17^\circ, C' = 0,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$
		Ghiaie e conglomerati con giacitura sub-orizzontale - Depositi continentali terrazzati (spessore pari a circa 10 m)  $\varphi' = 30^\circ, C' = 0,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,89 \text{ t/m}^3$
		Calcareniti cementate con sporadici livelli sabbiosi -- Complesso Calcarenitico  $\varphi' = 33^\circ, C' = 1,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 2,0 \text{ t/m}^3.$



## COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 4 (AEROGENERATORI MN12 - MN15)

Stratigrafia	Profondità	Descrizione
		<p>Terreno vegetale (spessore variabile tra 1.00 - 2.00 m)      <math>\varphi' = 17^\circ, C' = 0,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,7 \text{ t/m}^3</math></p>
		<p>Argille ed argille marnose - Frazione alterata - Complesso Argilloso (spessore pari a circa 5 m)</p> <p style="text-align: center;"><math>\varphi' = 20^\circ, C' = 1,5 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,9 \text{ t/m}^3</math></p>
		<p>Argille ed argille marnose - Frazione inalterata - Complesso Argilloso</p> <p style="text-align: center;"><math>\varphi' = 24^\circ, C' = 2,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 2,0 \text{ t/m}^3</math></p>



**COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 5  
(AEROGENERATORE MN14 - SOTTOSTAZIONE)**

Stratigrafia	Profondità	Descrizione
		Terreno vegetale (spessore variabile tra 1.00 - 3.00 m) $\varphi' = 17^\circ, C' = 0,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$
		Calcareniti e conglomerati con intercalazioni di livelli siltosi e sabbiosi - Depositi marini terrazzati (spessore pari a circa 10 m) $\varphi' = 28^\circ, C' = 0,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,9 \text{ t/m}^3$
		Argille ed argille marnose - Frazione alterata - Complesso Argilloso (spessore pari a circa 5 m) $\varphi' = 20^\circ, C' = 1,5 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,9 \text{ t/m}^3$
		Argille ed argille marnose - Frazione inalterata - Complesso Argilloso $\varphi' = 24^\circ, C' = 2,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 2,0 \text{ t/m}^3$



## COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 6 (AEROGENERATORE MN09 - MN16)

Stratigrafia	Profondita'	Descrizione
		Terreno vegetale (spessore variabile tra 1.00 - 3.00 m) $\varphi' = 17^\circ, C' = 0,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$
		Calcareniti e conglomerati con intercalazioni di livelli siltosi e sabbiosi - Depositi marini terrazzati (spessore variabile tra 5 e 10 m) $\varphi' = 28^\circ, C' = 0,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,9 \text{ t/m}^3$
		Calcari grigio biancastro con stratificazione massiva o indistinta - Complesso carbonatico $\varphi' = 45^\circ, C' = 5,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 2,5 \text{ t/m}^3$