

REGIONE
CALABRIA



PROVINCIA DI
CROTONE



Committente:

Euria S.r.l.
Piazza Europa 14
87100 Cosenza (CS)

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

Titolo del Progetto:

PARCO EOLICO "UMBRIATICO"

Elaborato:

Relazione geologica, idrogeologica e idrologica (Compatibilità col PTA)

PROGETTO	DISCIPLINA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	SCALA
W-UMB	A	-	RE	07	-
NOME FILE:	W-UMB-A-RE-07_Relazione geologica_idrogeologica_idrologica_Compatibilità PTA				

Progettazione:



Dott. Geol. Gian Vito Graziano

Rev:	Prima Emissione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	10/2023	PRIMA EMISSIONE	IRIDE	GEMSA PRO	Euria S.r.l.

REGIONE CALABRIA

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO NEL TERRITORIO COMUNALE DI UMBRIATICO (KR)

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 e per la definizione delle problematiche sismiche delle aree in studio, in questa prima fase di lavoro, sono stati realizzati in corrispondenza degli aerogeneratori e della sottostazione n. 15 indagini di sismica passiva per definire le velocità delle onde sismiche V_s nei primi 30 m di profondità dal p.c.

Tali indagini si ritengono sufficienti ai fine della presente fase di studio ma si rende necessario, a valle dell'AU, eseguire le necessarie indagini geognostiche e geotecniche (vedi capitolo specifico) nei siti degli aerogeneratori e della sottostazione effettivamente autorizzati ed in corrispondenza dei tratti di cavidotto che interessano o sono limitrofi ad importanti fenomeni geodinamici.

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. 1 carta geologica ed idrogeologica eseguita in scala 1/10.000 (fuori testo);
- ✓ n. 2 carte, fuori testo, relative al Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) con l'ubicazione dei dissesti rilevati per il presente studio;
- ✓ n. 2 carte, fuori testo, relative al Piano Gestione Rischio Alluvioni (P.G.R.A.);
- ✓ le colonne stratigrafiche tipo, inserite nel testo;
- ✓ elaborati relativi ai sondaggi di sismica passiva “HVSR”, inseriti nel testo.

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

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.

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 (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 clasti calcarei arrotondati di dimensioni da millimetriche a decimetriche immersi in matrice sabbiosa. Interessano alcuni tratti di cavidotto e la sottostazione.
- ⇒ **COMPLESSO CONGLOMERATICO (Miocene sup.):** Si tratta di ghiaie e conglomerati grossolani da sciolti a ben cementati. Interessano alcuni tratti di cavidotto.
- ⇒ **COMPLESSO ARGILLOSO (Miocene medio-sup.):** Si tratta di argille ed argille marnose da scarsamente a mediamente consistenti quando alterate mentre la frazione inalterata di colore grigio si presenta generalmente più consistente. Interessano gli aerogeneratori

UBR1, UBR2, UBR3, UBR5, UBR10 ed UBR13 ed alcuni tratti del cavidotto.

⇒ **COMPLESSO CALCARENITICO-SABBIOSO (Miocene medio-sup.):** si tratta di sabbie ed arenarie con intercalazioni di strati e livelli di sabbie grossolane sciolte e localmente di conglomerati, con inclusi di colore ocra, da scarsamente a mediamente addensate quando alterate mentre la frazione inalterata si presenta addensata ed in parte cementata. Interessano gli aerogeneratori UBR6 e UBR8 ed alcuni tratti del cavidotto.

⇒ **COMPLESSO SABBIOSO-ARGILLOSO (Miocene medio-sup.):** si tratta di un’alternanza di arenarie tenere e sabbie grossolane di colore da bruno-chiare a grigie e di argille, argille siltose e silt. Interessano gli aerogeneratori UBR4, UBR7, UBR9, UBR11, UBR12, UBR14 ed alcuni tratti del cavidotto.

In definitiva, dall’analisi della carta geologica e dai rilievi eseguiti in campagna, nonché dalle indagini sismiche eseguite per il presente studio sono state ricostruite le colonne stratigrafiche rappresentativa del modello geologico in corrispondenza di ciascun aerogeneratore e della sottostazione di seguito allegate.

Le aree interessate dagli aerogeneratori UBR1, UBR2, UBR3, UBR5, UBR10 e UBR13 sono caratterizzate dall’affioramento del Complesso Argilloso Miocenico formato da argille ed argille marnose da scarsamente a mediamente consistente quando alterate di spessore pari a circa 5-7 m mentre la frazione inalterata di colore grigio si presenta generalmente più consistente.

Le aree interessate dagli aerogeneratori UBR6 e UBR8 sono afferenti al Complesso Calcarenitico-Sabbioso costituito da arenarie tenere e sabbie

grossolane da scarsamente a mediamente addensate quando alterate di spessore pari a circa 5-7 m di colore da bruno-chiaro mentre la frazione inalterata è costituita da sabbie addensate e livelli e strati calcarenitici cementati.

Nelle aree interessate dagli aerogeneratori UBR4, UBR7, UBR9, UBR11, UBR12, UBR14 affiora il Complesso Sabbioso-Argilloso costituito da un’alternanza di arenarie tenere e sabbie grossolane di colore da bruno da scarsamente a mediamente addensate quando alterate di spessore pari a circa 6-8 m di colore da bruno-chiaro mentre la frazione inalterata è costituita da sabbie addensate e livelli e strati calcarenitici cementati. All’interno del complesso sono presenti intercalazioni di argille, argille siltose e silt consistenti.

La sottostazione è ubicata in un’area dove affiorano i Depositi Alluvionali costituiti da ghiaie, sabbie e sabbie limose addensate con intercalati livelli e strati di limi torbosi e con giacitura sub-orizzontale.

Le sabbie presentano granulometria variabile da fine a grossolana. Le ghiaie sono caratterizzate da clasti calcarei arrotondati di dimensioni da millimetriche a decimetriche in matrice sabbiosa.

Tutti i suddetti terreni sono ricoperti da uno spessore variabile tra circa 1.00 e 2.00 m di terreno vegetale poco consistente e scarsamente addensato.

Si mette in evidenza che la parte di cavidotto esterno al parco che verrà realizzato su strade asfaltate, 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, i tratti realizzati esternamente alle strade interesseranno i terreni sopra descritti.

3. CONSIDERAZIONI GEOMORFOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE

Da un punto di vista geomorfologico, l'area vasta in cui sono ubicate le opere in progetto è caratterizzata da un habitus geomorfologico irregolare, con versanti da media ad alta pendenza, con frequenti rotture di pendenza.

Si tratta di aree con elevata attività erosiva con impluvi molto incisi, con valli strette e spesso a carattere calanchivo, dove prevalgono i litotipi argillosi e sabbiosi.

Sono presenti delle zone 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 esplicato e tutt'ora esplicano un ruolo fondamentale nell'evoluzione geomorfologica dell'area.

Per quanto riguarda i processi fluviali, il reticolato idrografico risulta avere un pattern molto articolato, essendo costituito prevalentemente da numerosi impluvi che drenano le acque sui torrenti Scalone, Pipino, Lipuda, Francesco, sul Rio Caraconessa e sul Vallone Mammodello.

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 e la sottostazione non sono interessati da fenomeni di instabilità ma molti fenomeni geodinamici sono presenti nell'area vasta e nelle vicinanze degli aerogeneratori ed in**

particolare tre si rinvencono in prossimità degli aerogeneratori UBR4, UBR8 ed UBR12 (vedi carta dei dissesti).

Per quanto riguarda il cavidotto si mette in evidenza che è limitrofo ed in alcuni tratti intercetta aree in dissesto come visibile nella “Carta dei dissesti” allegata.

Tali condizioni, non ostante alla realizzazione degli aerogeneratori e del cavidotto, presuppongono la necessità di prevedere, una volta che l'AU ha individuato con precisione la posizione degli aerogeneratori ed eseguite le necessarie indagini geognostiche e geotecniche, opere di ingegneria naturalistica atte a consolidare i fenomeni franosi in atto ed ad evitare che l'evoluzione geodinamica di tali fenomenologia possa, eventualmente, interferire in un futuro con il sedime degli aerogeneratori e i tratti di strada dove viene collocato il cavidotto.

E' possibile che in corrispondenza degli aerogeneratori UBR4, UBR8 ed UBR 12 sia necessaria qualche opera di consolidamento più impegnativa vista la vicinanza dei fenomeni geodinamici.

Da evidenziare che il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) 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 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 aumen-

tare nei livelli sabbiosi grossolani e ghiaiosi. Rientrano in questo complesso i terreni afferenti al Complesso Conglomeratico, al Complesso Calcarenitico-sabbioso, ai Depositi alluvionali ed alla frazione sabbiosa del Complesso Sabbioso-Argilloso.

⇒ **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.

Nello specifico, l'affioramento prevalente di terreni argillosi impermeabili e la limitata estensione degli affioramenti dei terreni permeabili in corrispondenza degli aerogeneratori UBR1, UBR2, UBR3, UBR5, UBR10 ed UBR13 non consente la formazione di falde freatiche di interesse.

In corrispondenza del complesso Sabbioso-Argilloso (UBR4, UBR 7, UBR9, UBR11, UBR12 e UBR14) sono presenti modesti livelli idrici sospesi evidenziati da una serie di sorgentelle stagionali di scarsa potenzialità, di cui una vicina all'aerogeneratore UBR4.

Nello specifico, come si evince dai pochi pozzi presenti in zona e dal fatto che le aree degli aerogeneratori sono ubicate sempre nella cresta della collina ed in una posizione tale che le acque sotterranee vengono drenate verso valle non sono ipotizzabili effetti negativi dalla realizzazione delle opere in progetto sulla risorsa idrica.

Anche se non è ipotizzabile che la realizzazione delle fondazioni degli aerogeneratori né tantomeno la realizzazione del cavidotto possano incidere sulla potenzialità e qualità delle acque delle suddette sorgentelle in fase ante, in e post operam queste saranno tenute costantemente sotto monitoraggio al fine di verificare tale ipotesi di progetto.

Si mette in evidenza che in ogni caso anche dove i terreni permeabili poggiano su un substrato impermeabile la falda freatica che si forma ha un livello freatico che si trova a profondità variabile in funzione dello spessore del complesso permeabile ma comunque, in corrispondenza degli aerogeneratori, generalmente superiore a 15 metri.

L'area in cui verrà realizzata la sottostazione è invece caratterizzata dalla presenza di una falda freatica il cui livello si attesta a circa 3-4 m dal p.c.

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.G.R.A. non interferiscono con le opere in progetto eccetto che limitati tratti di cavidotto con pericolosità “Alta” e con Rischio “R1” ed “R3”.

In corrispondenza di questi tratti sarà interrato utilizzando la tecnica T.O.C., ed a profondità tale da non interferire con il naturale deflusso idrico superficiale e con il vincolo idraulico presente.

4. INDAGINI DI SISMICA PASSIVA (TROMOGRAFIA)

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, in corrispondenza di ciascun aerogeneratore e della sottostazione, n. 15 misure di microtremore ambientale, con un tromografo 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.

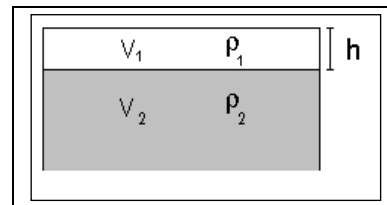
I primi studi su questa tecnica sono da attribuire a Kanai (1957) e da allora diversi metodi sono stati proposti per estrarre utili informazioni sul sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in sito.

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 (ρ_1 e ρ_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 (λ) 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.);
- ✓ v la frequenza fondamentale di risonanza.

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

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 .

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

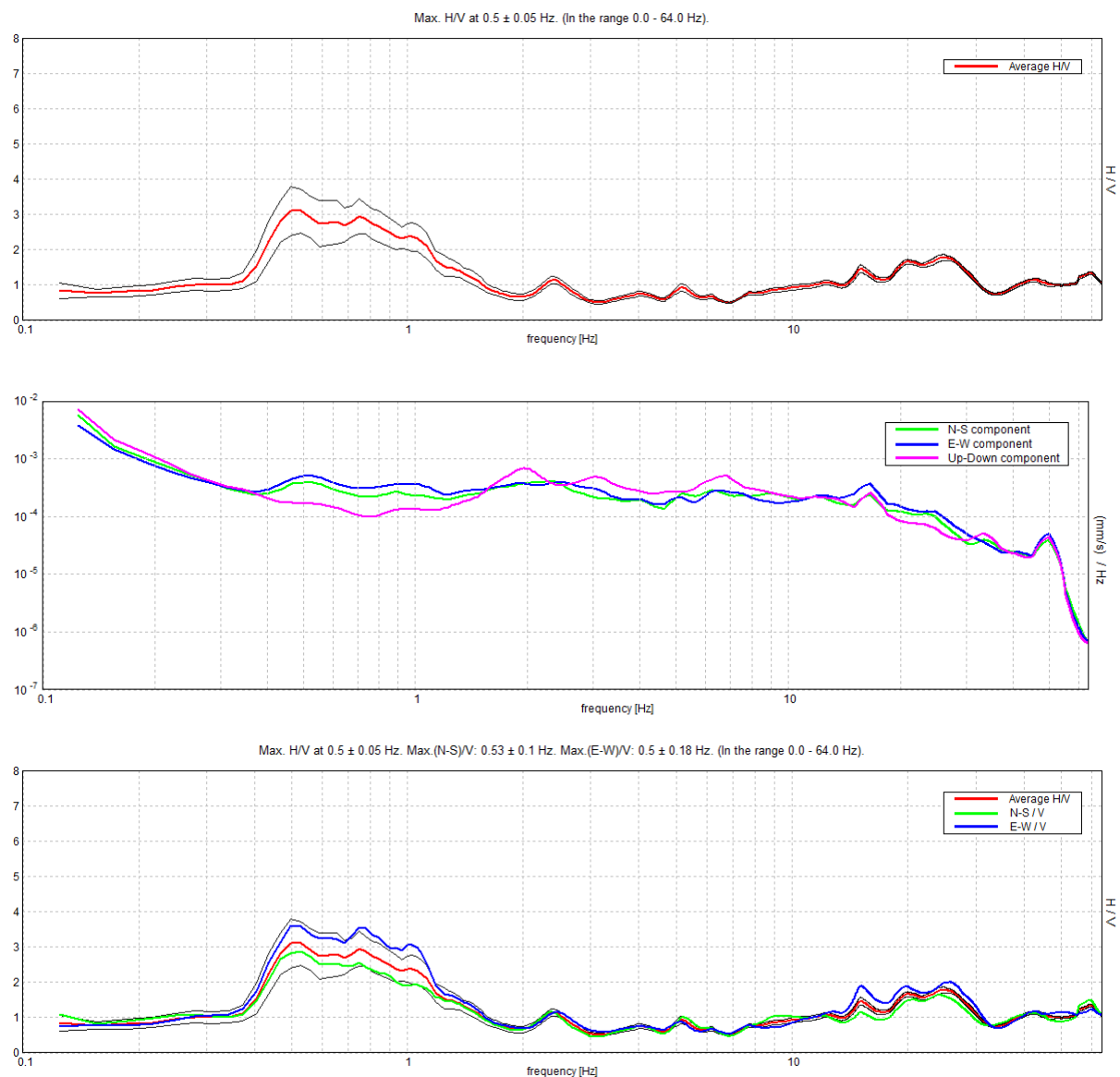
$$f_r = \frac{1}{4T_H}$$

da cui si ricava

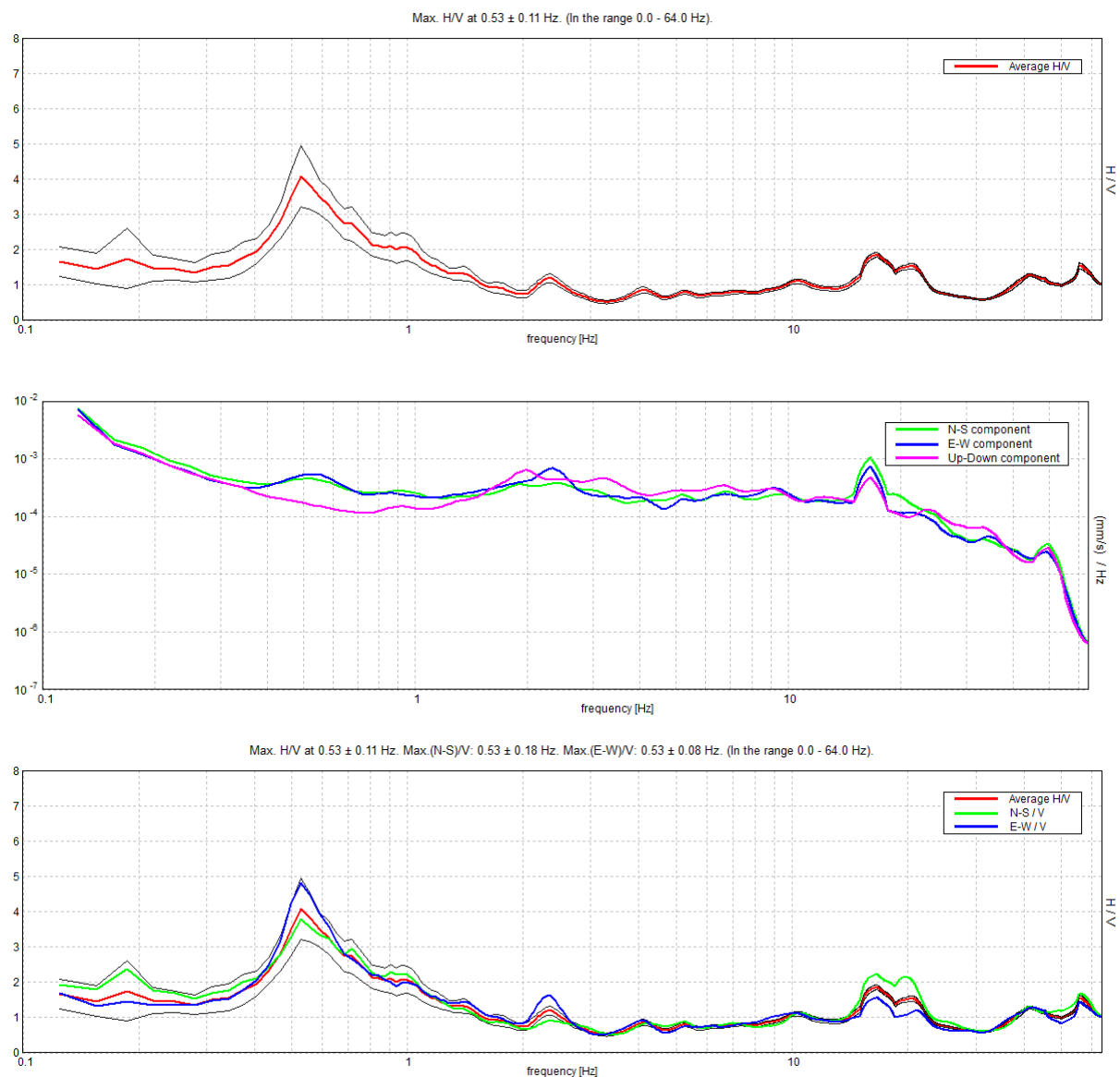
$$V = 4 f_r h$$

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

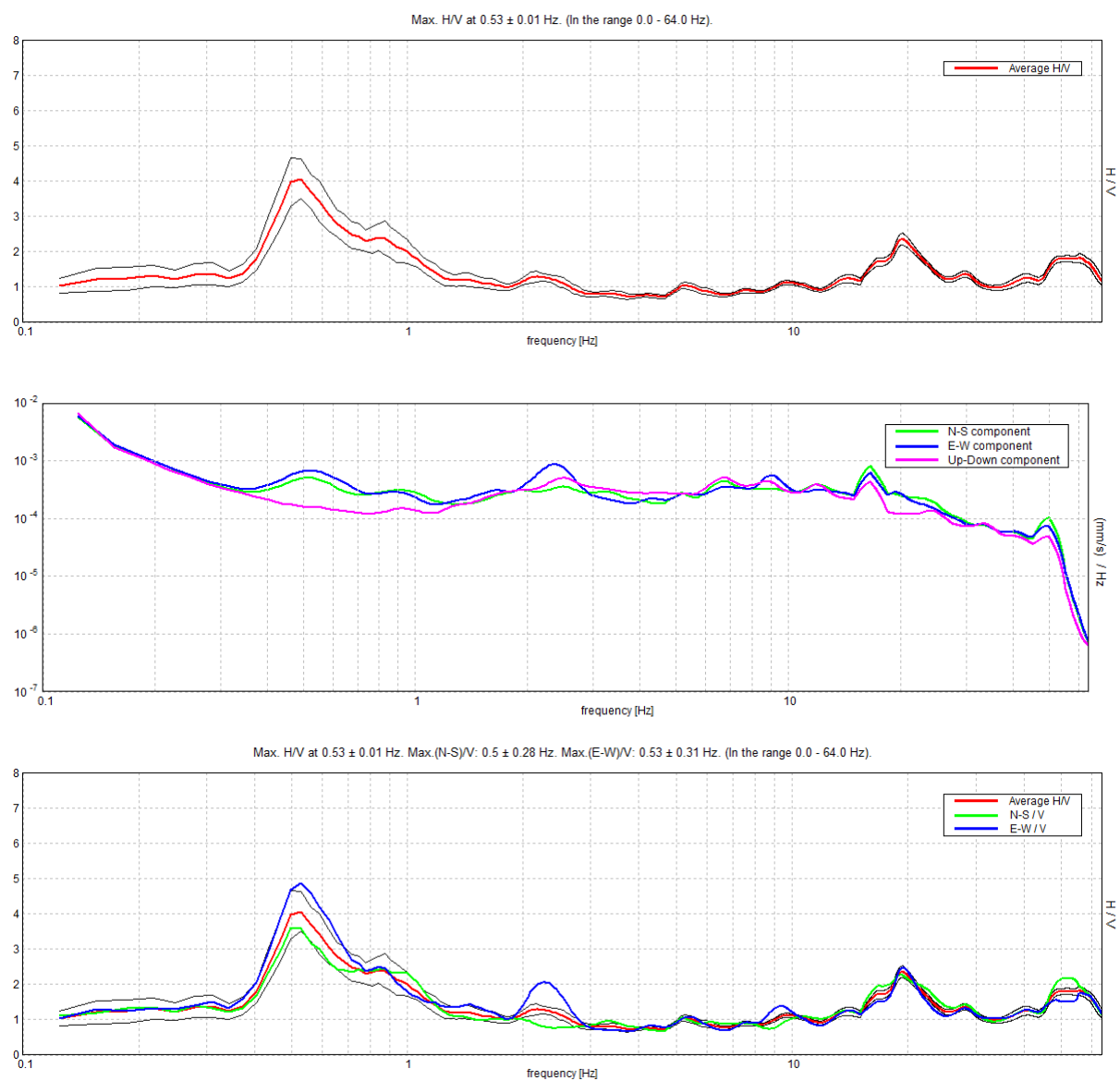
Sondaggio tromografico T1



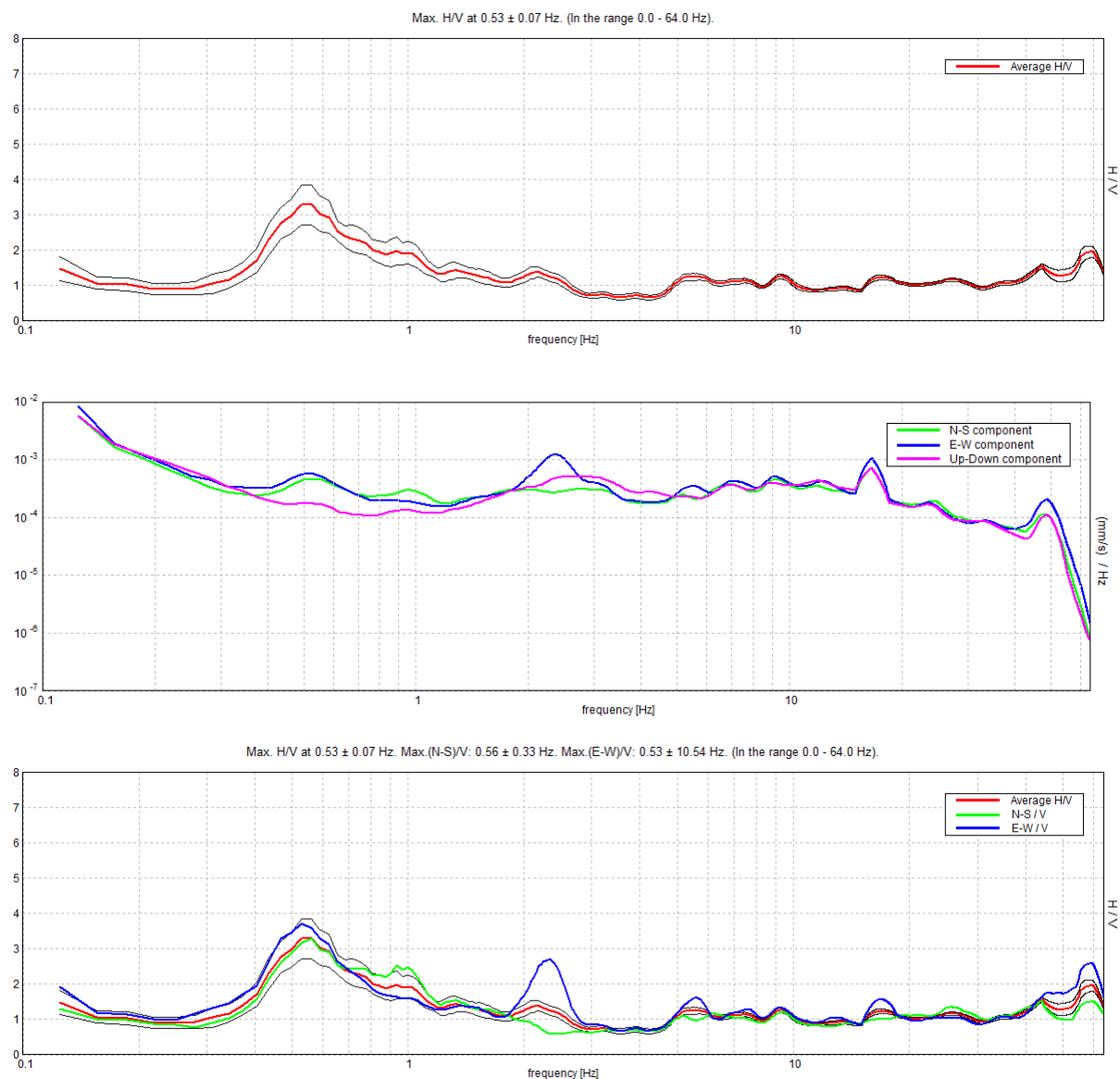
Sondaggio tromografico T2



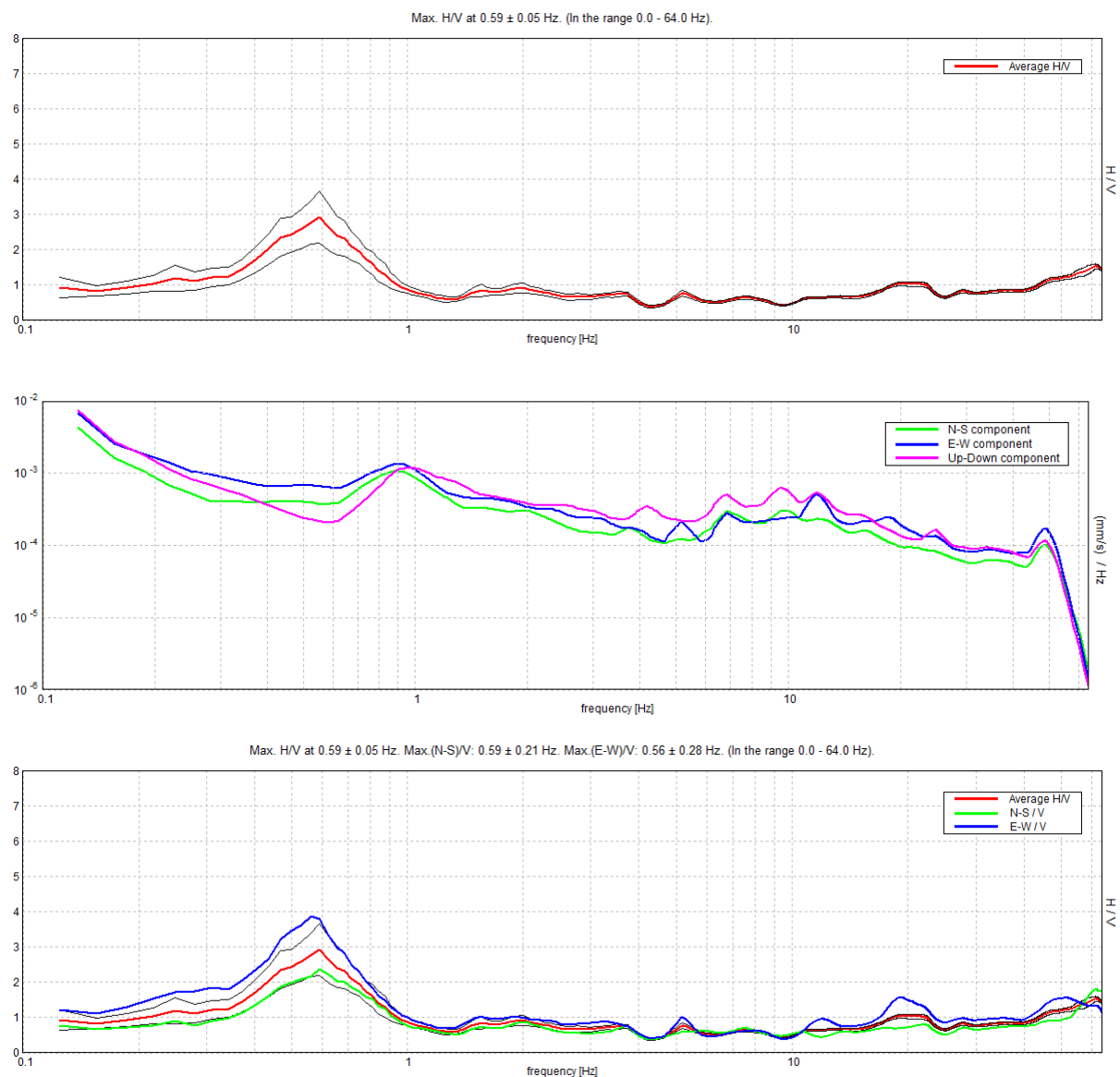
Sondaggio tromografico T3



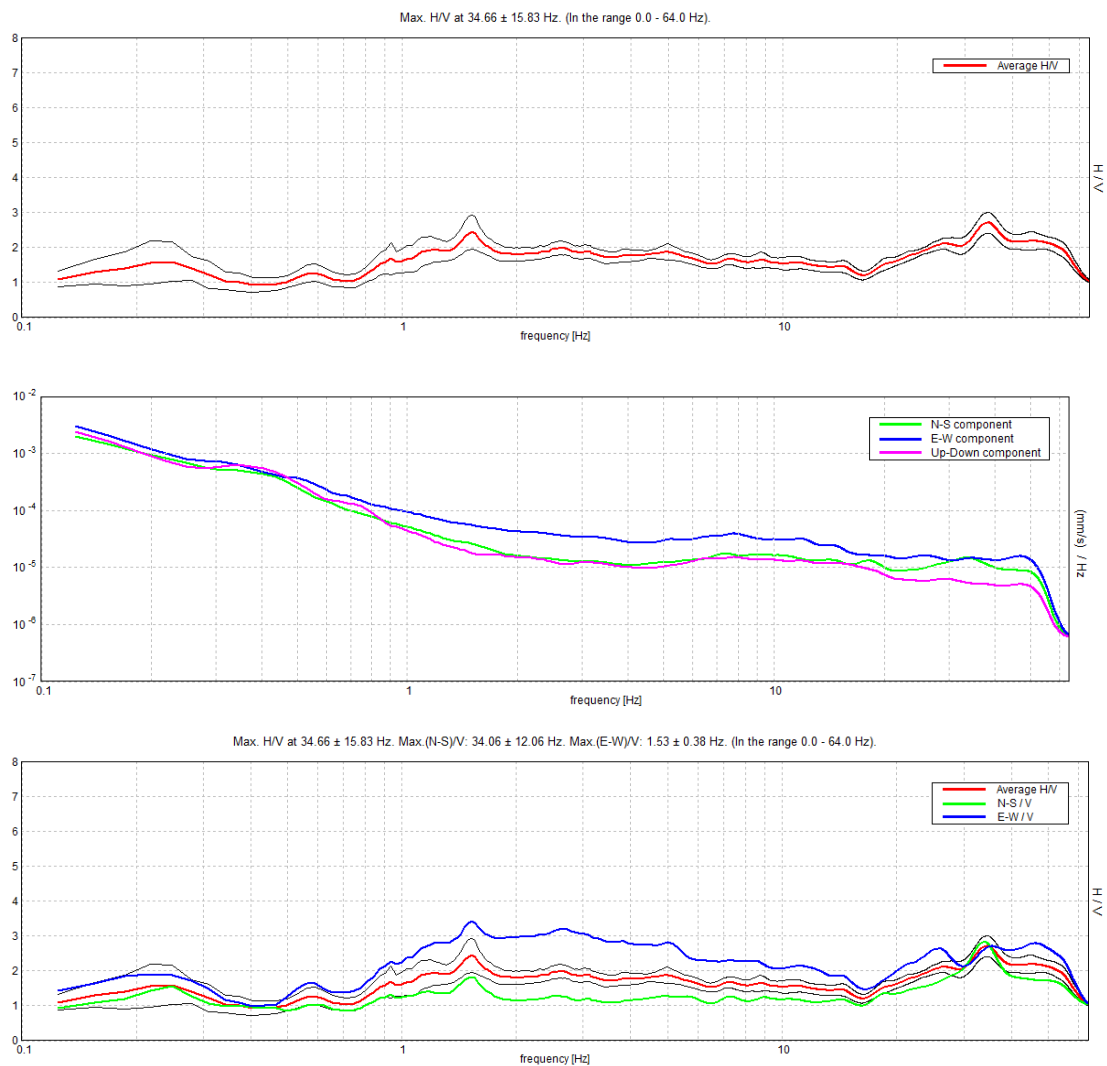
Sondaggio tromografico T4



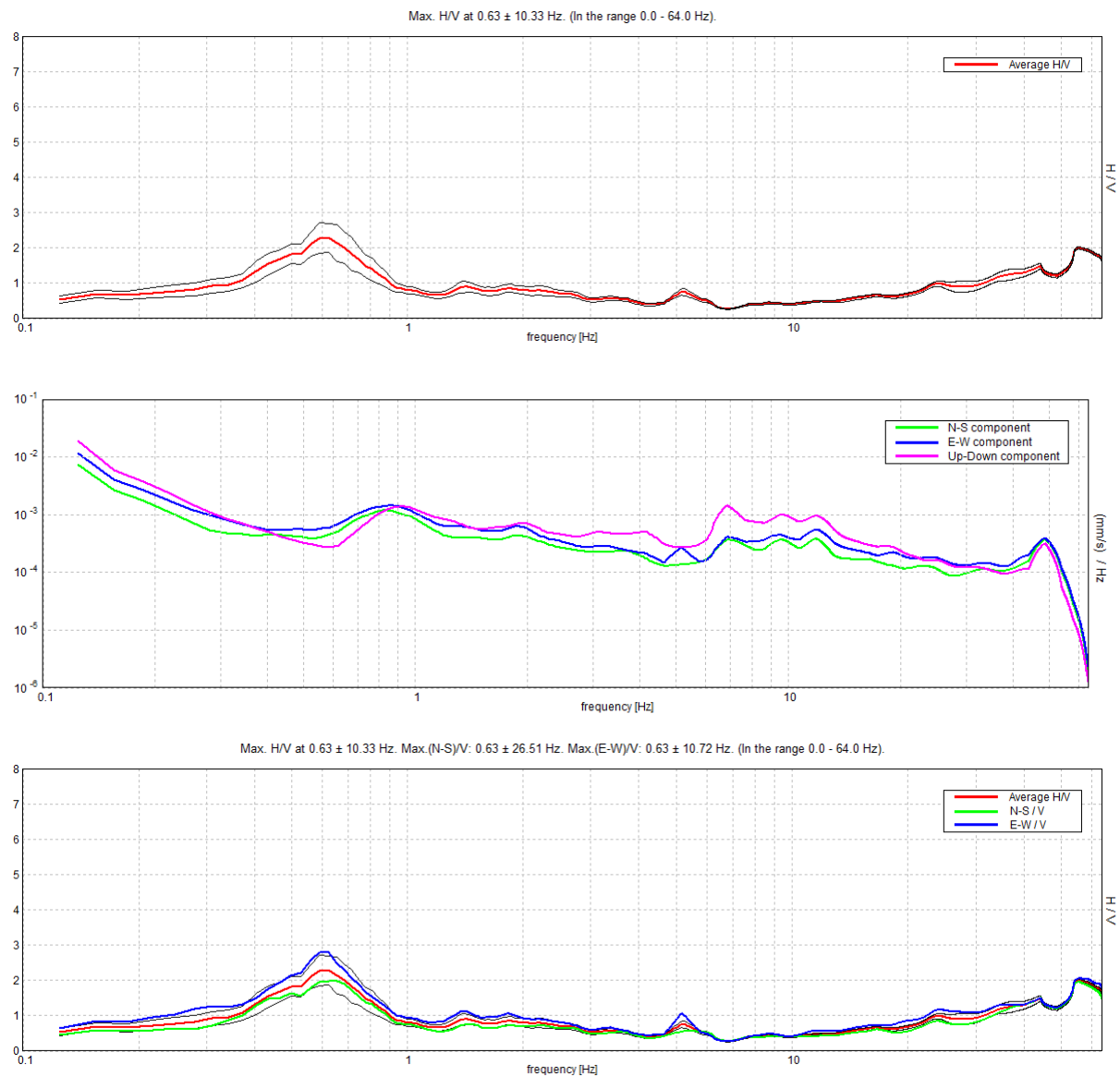
Sondaggio tromografico T5



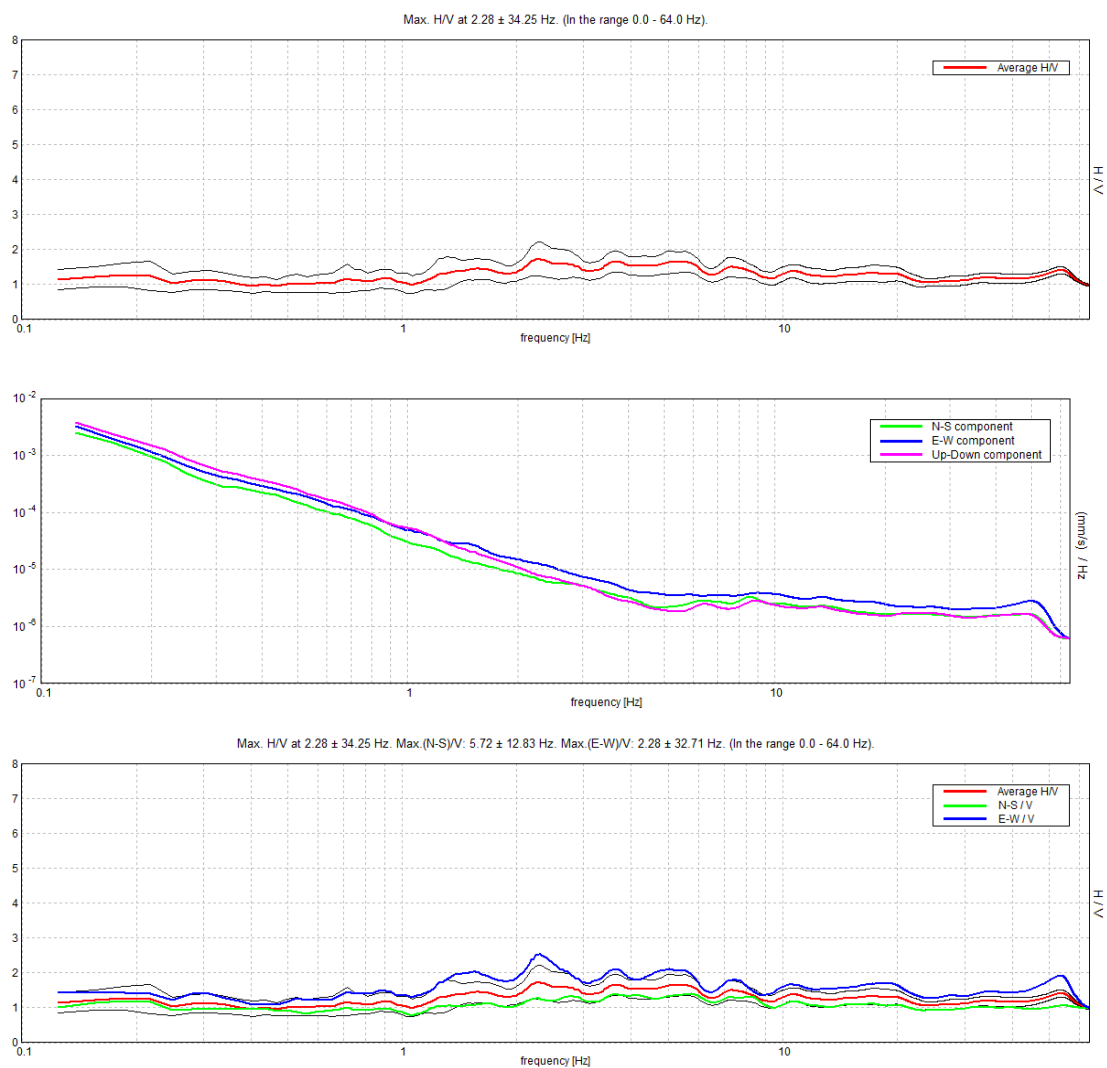
Sondaggio tromografico T6



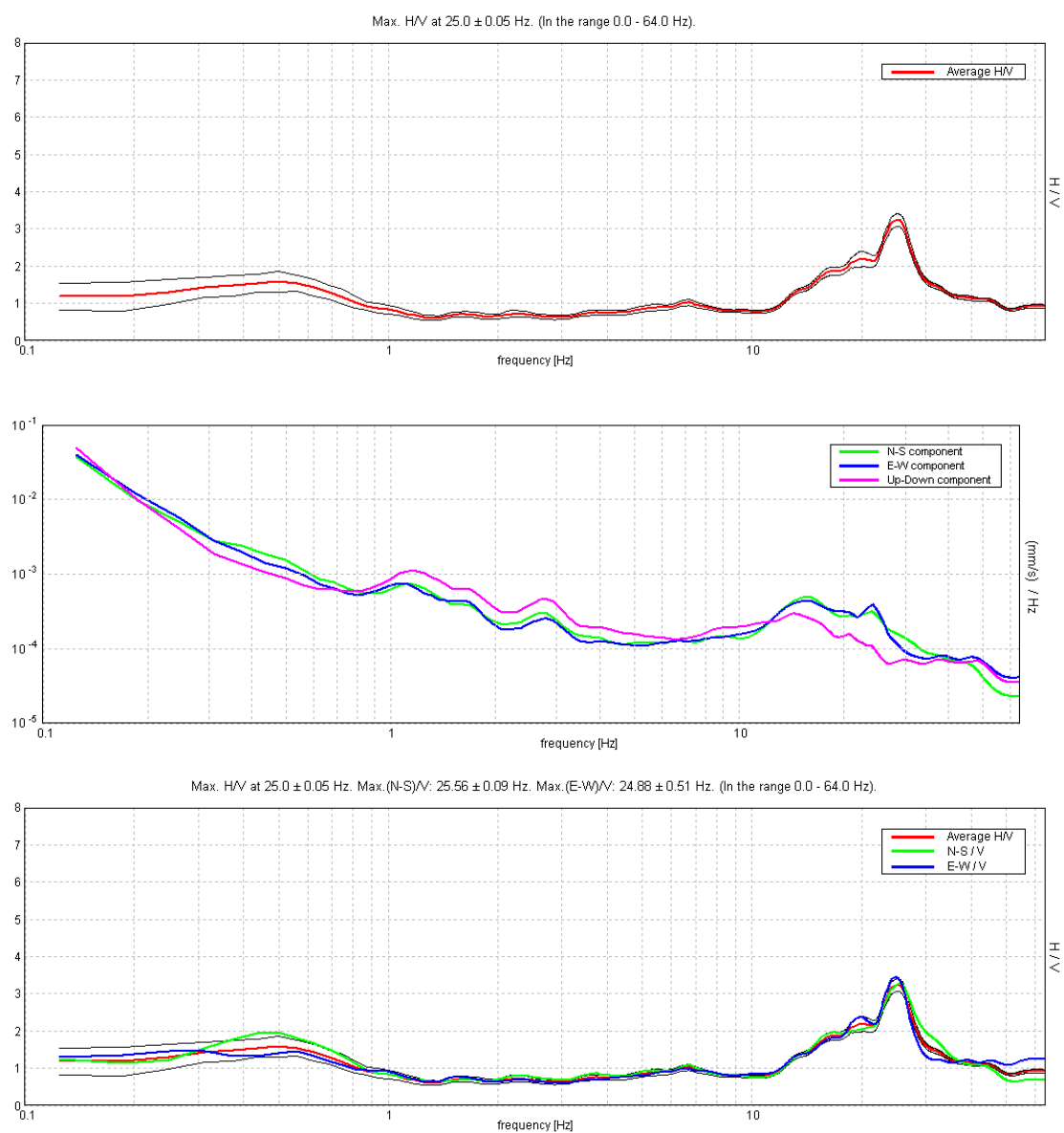
Sondaggio tromografico T7



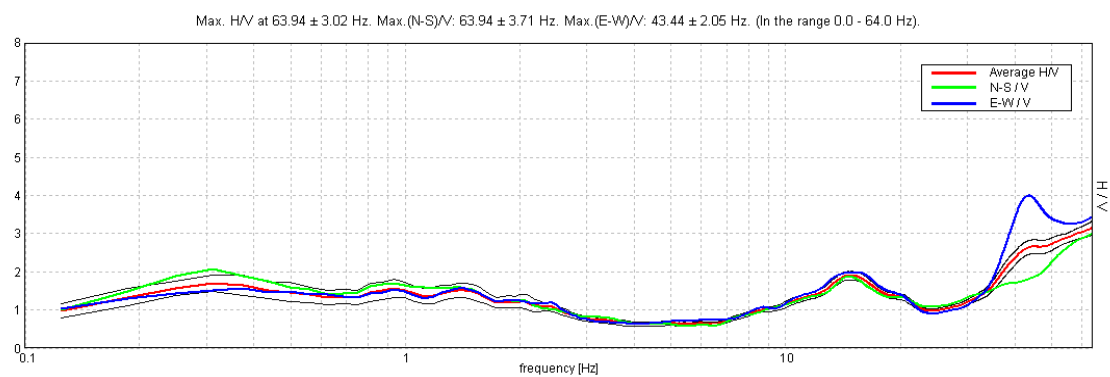
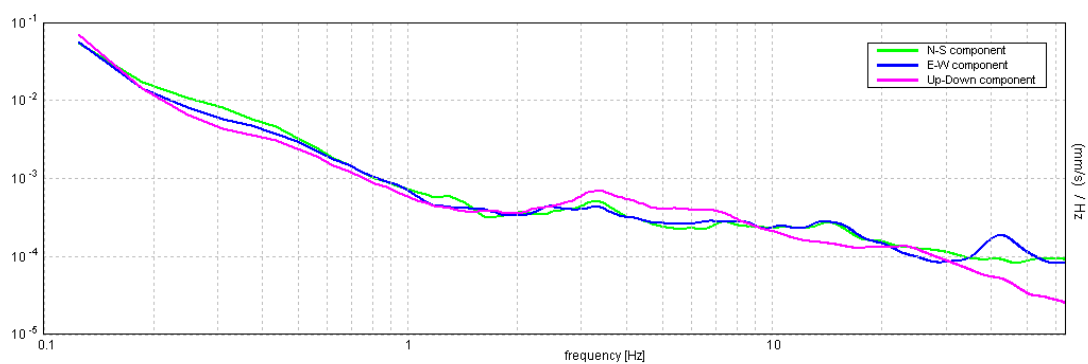
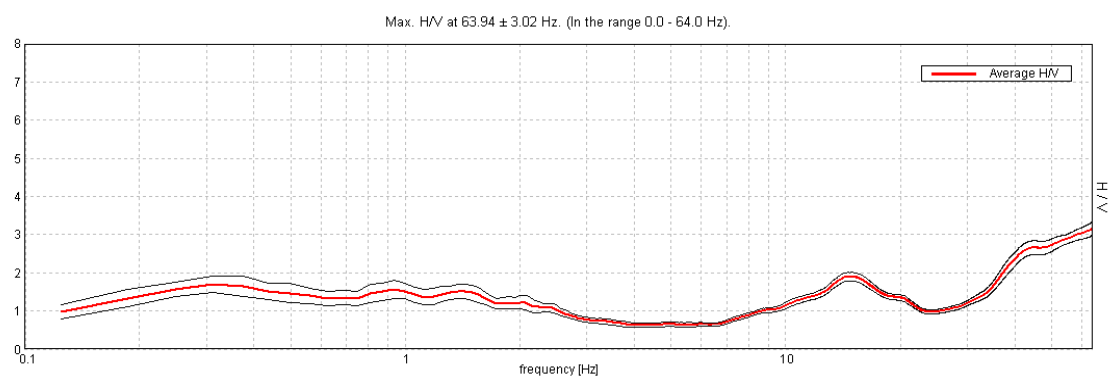
Sondaggio tromografico T8



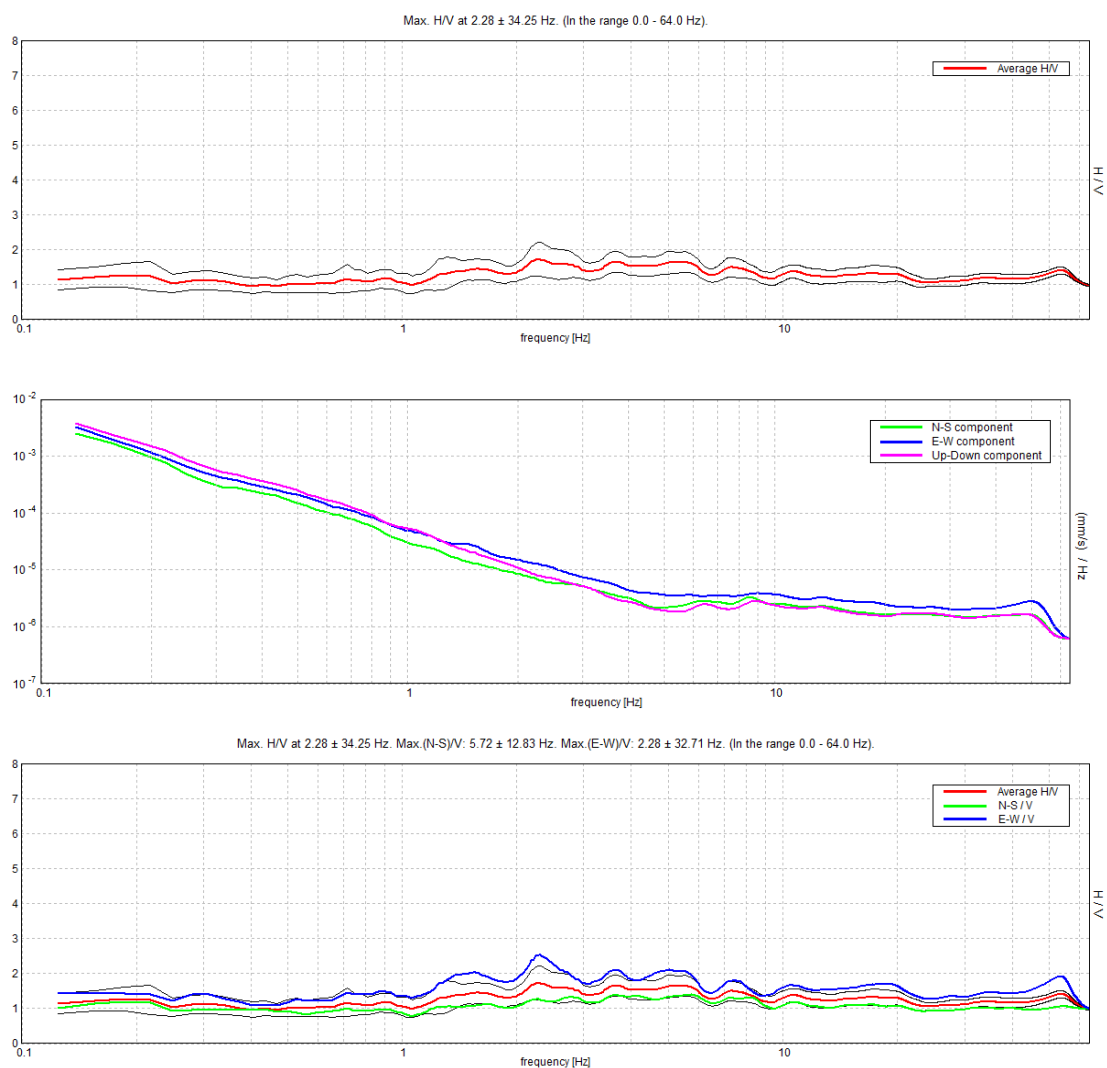
Sondaggio tromografico T9



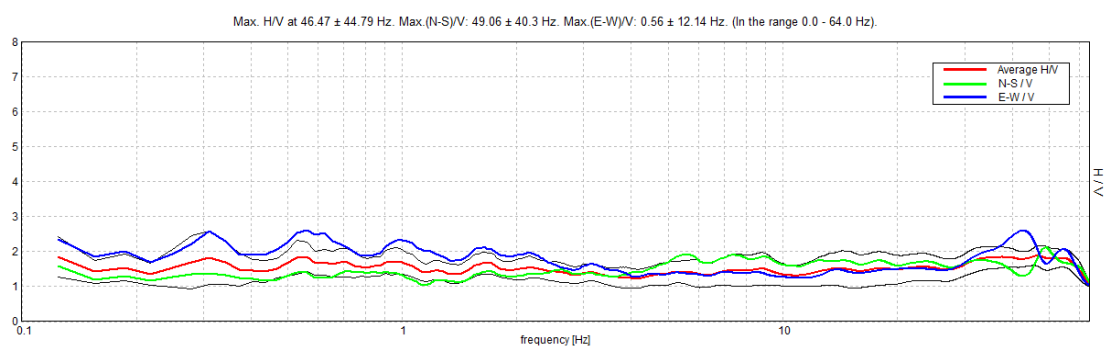
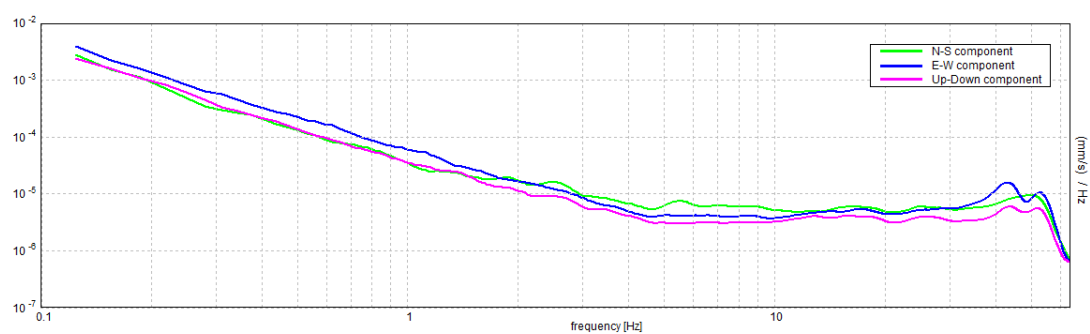
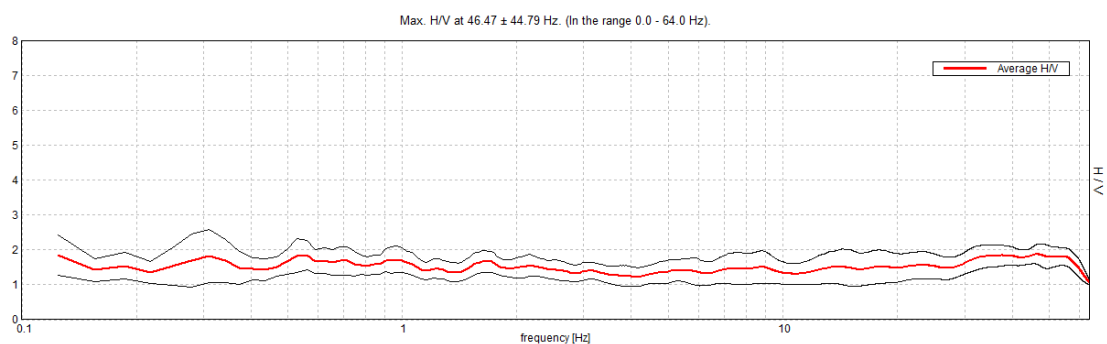
Sondaggio tromografico T10



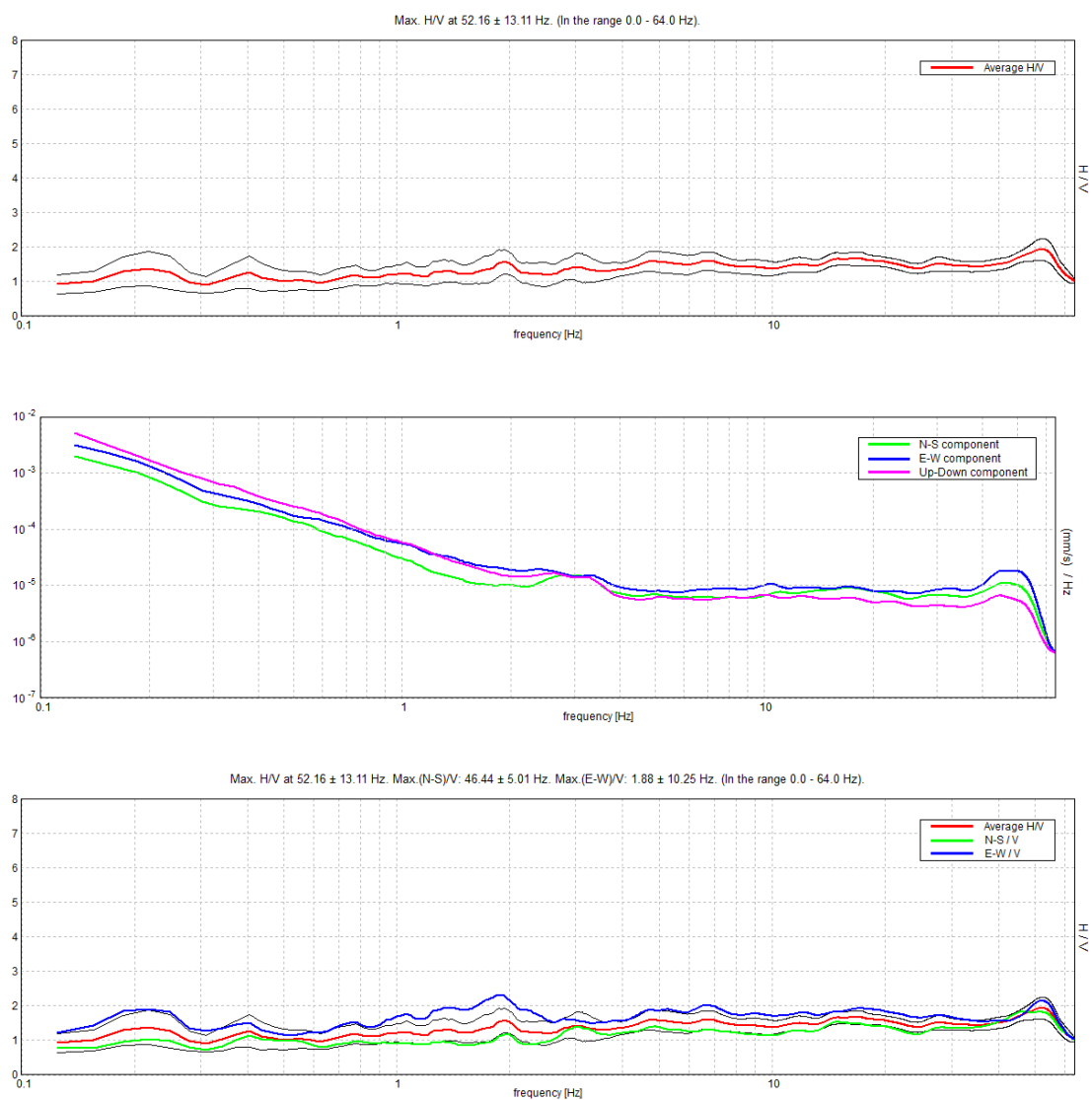
Sondaggio tromografico T11



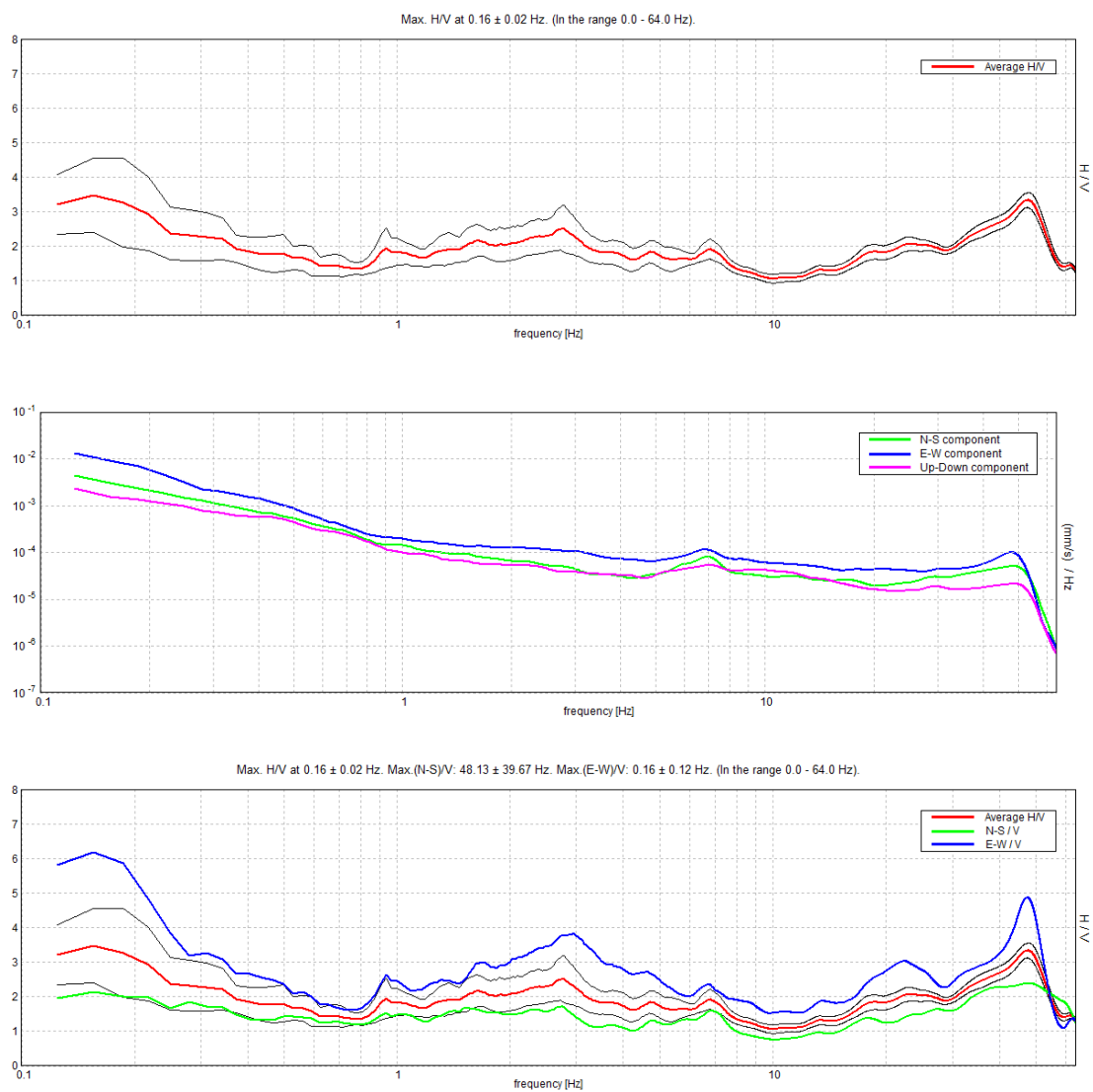
Sondaggio tromografico T12



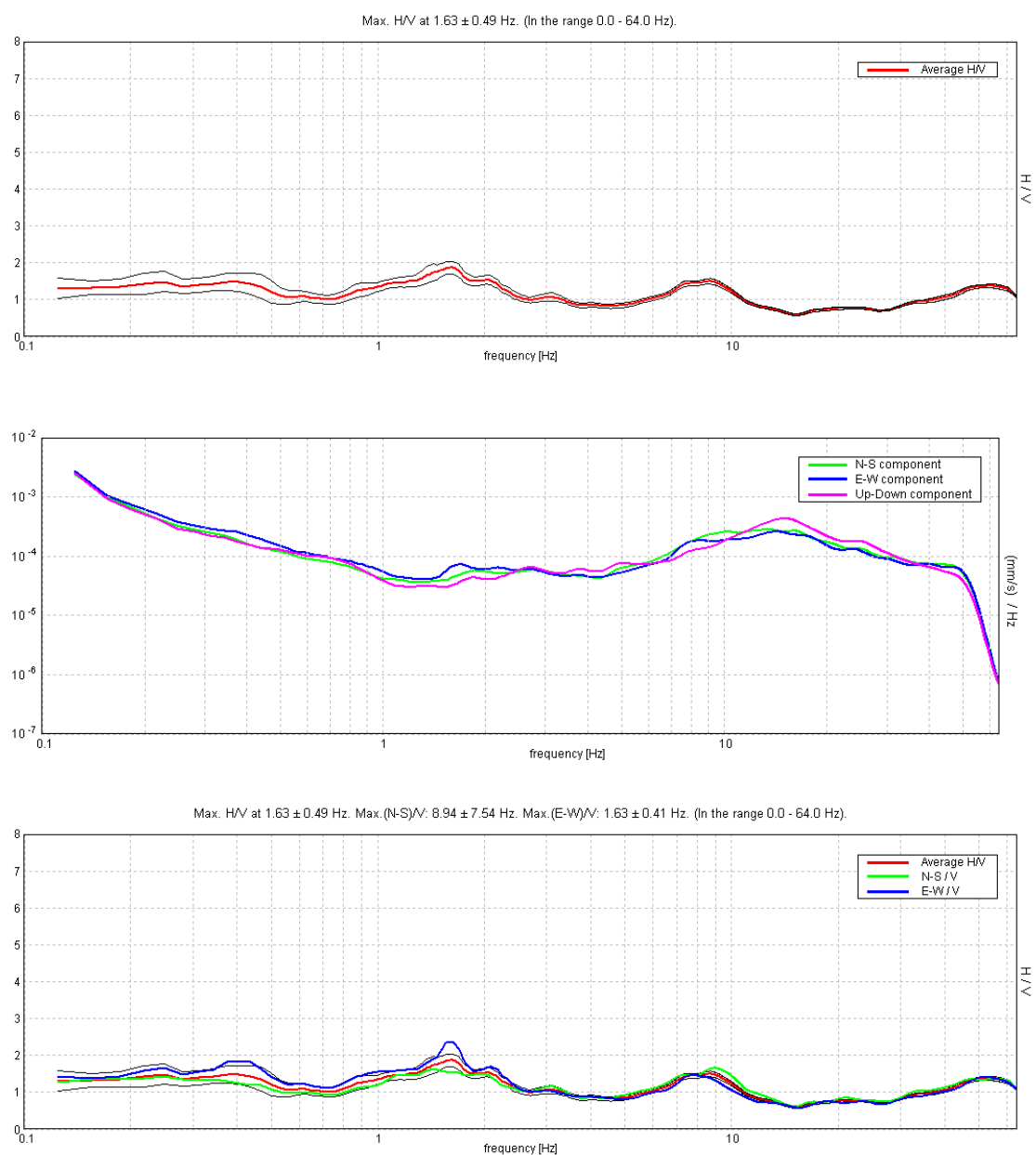
Sondaggio tromografico T13



Sondaggio tromografico T14



Sondaggio tromografico TSOTT



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

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

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

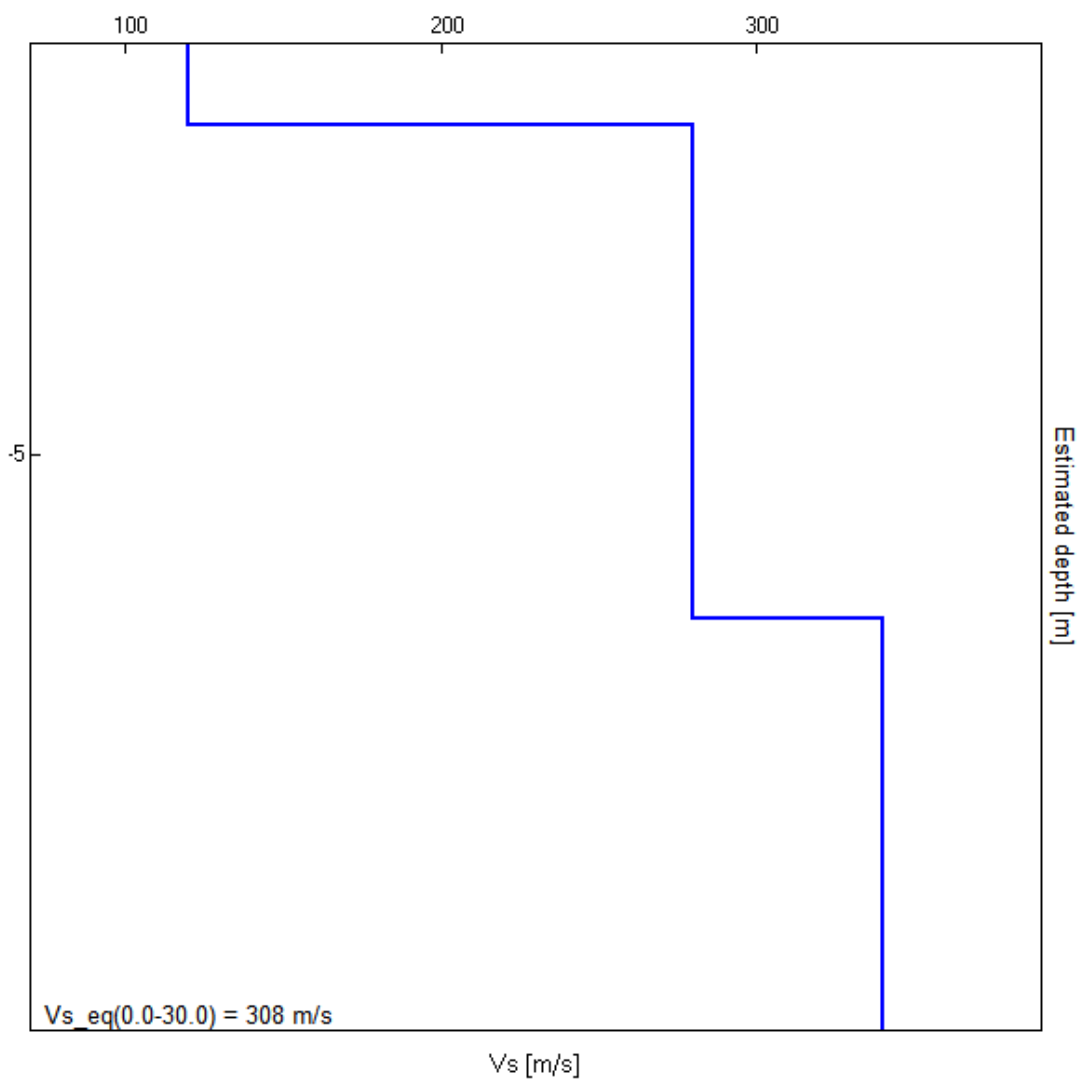
da cui si ricava

$$V = 4 f_r h$$

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

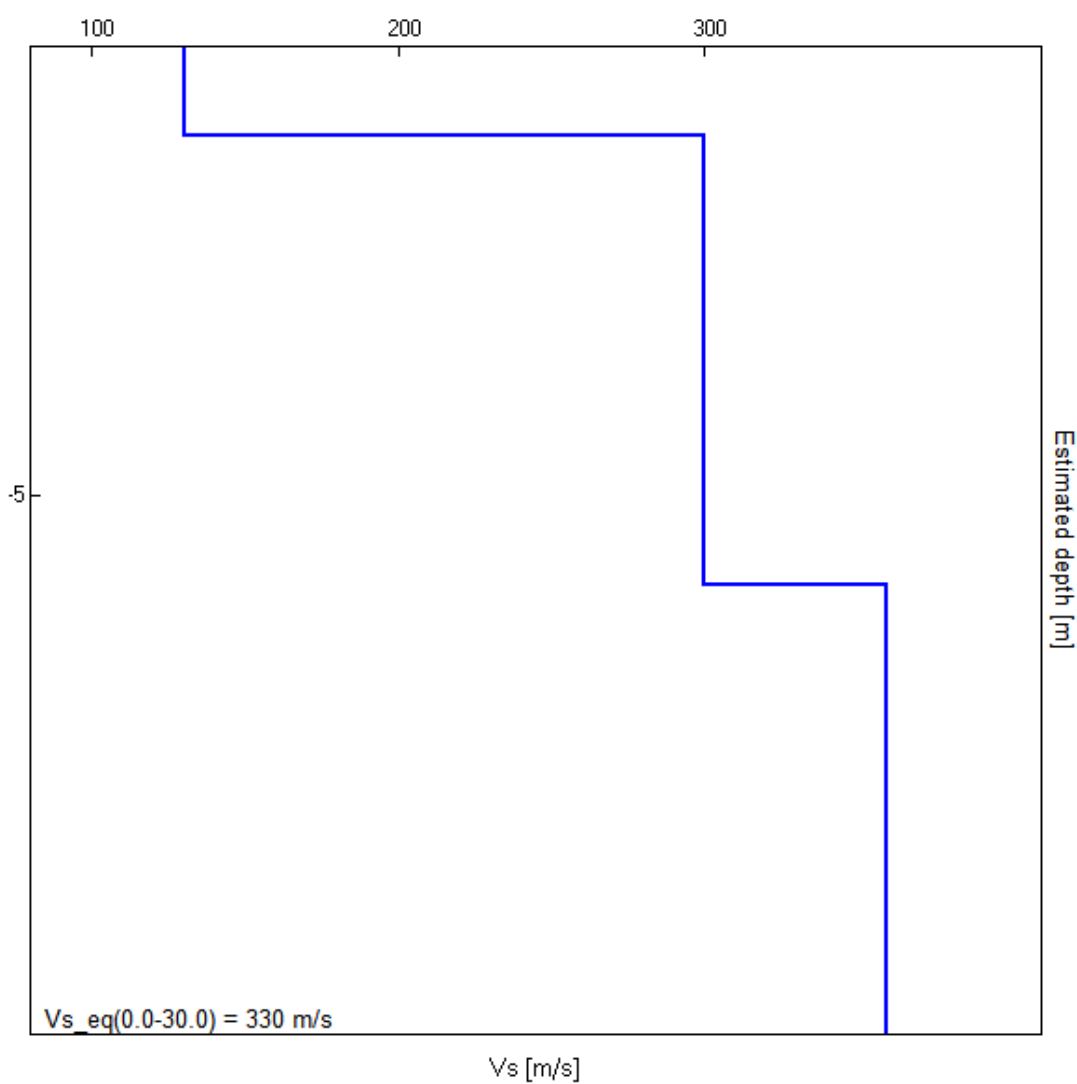
Interpretazione sondaggio tromografico T1

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00-1.00	120	C	C (Vs,eq = 308 m/s)
1.00-6.00	280	C	
6.00-30.0	340	C	



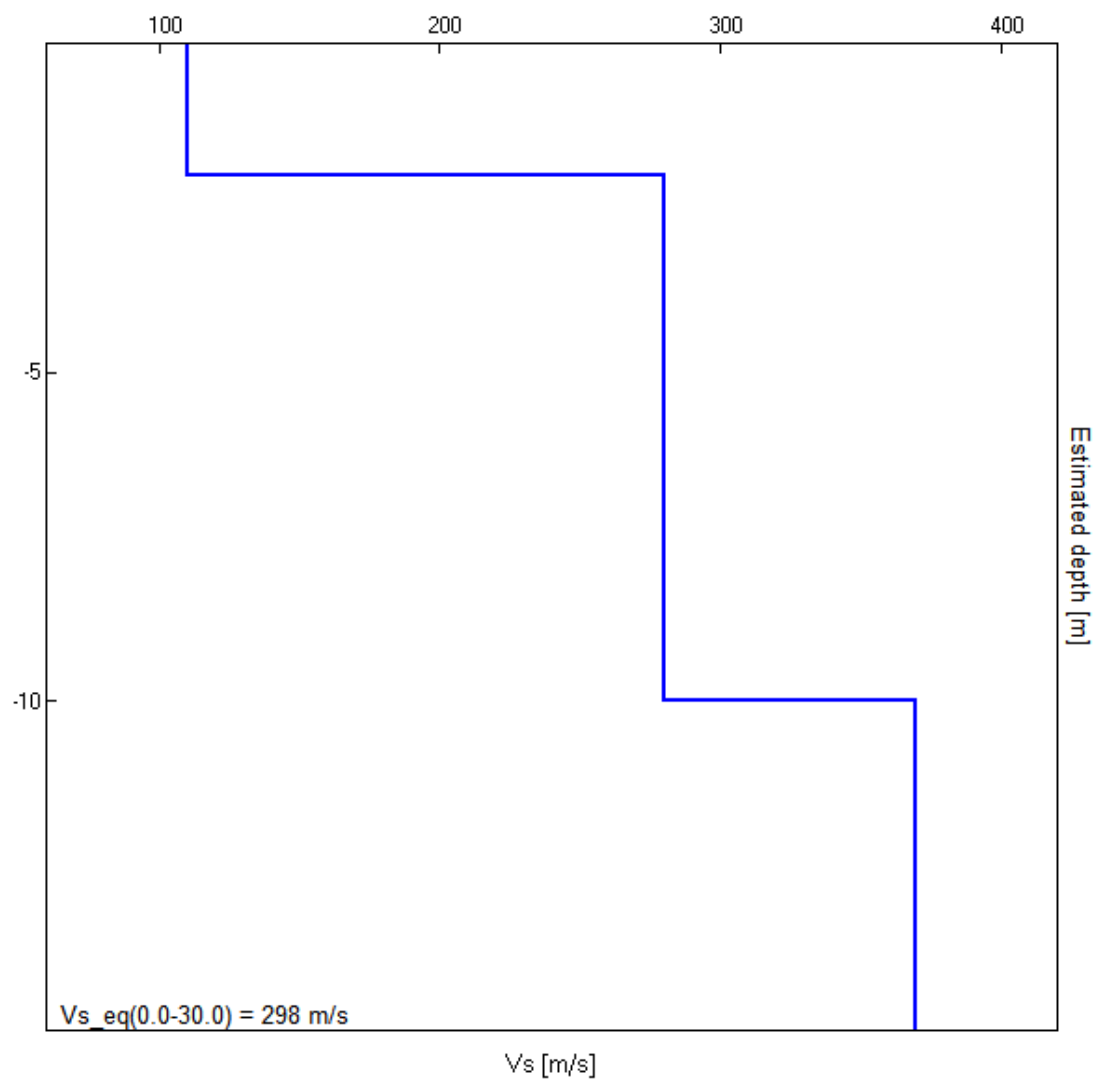
Interpretazione sondaggio tromografico T2

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00-1.00	130	C	C (Vs,eq = 330 m/s)
1.00-5.00	300	C	
5.00-30.00	360	C	



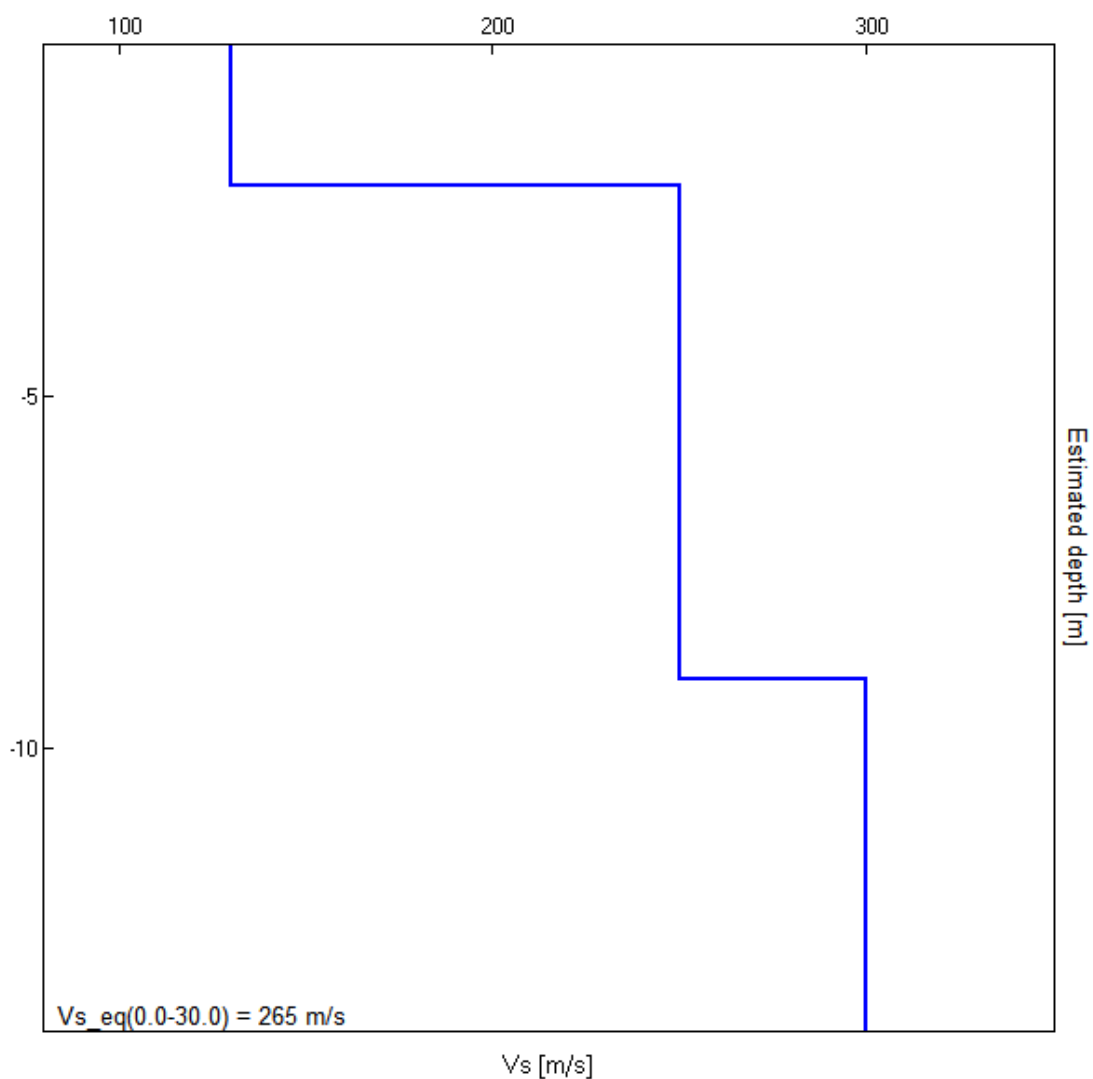
Interpretazione sondaggio tromografico T3

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00-2.00	110	C	C (Vs,eq = 298 m/s)
2.00-10.00	280	C	
10.00-30.00	370	B	



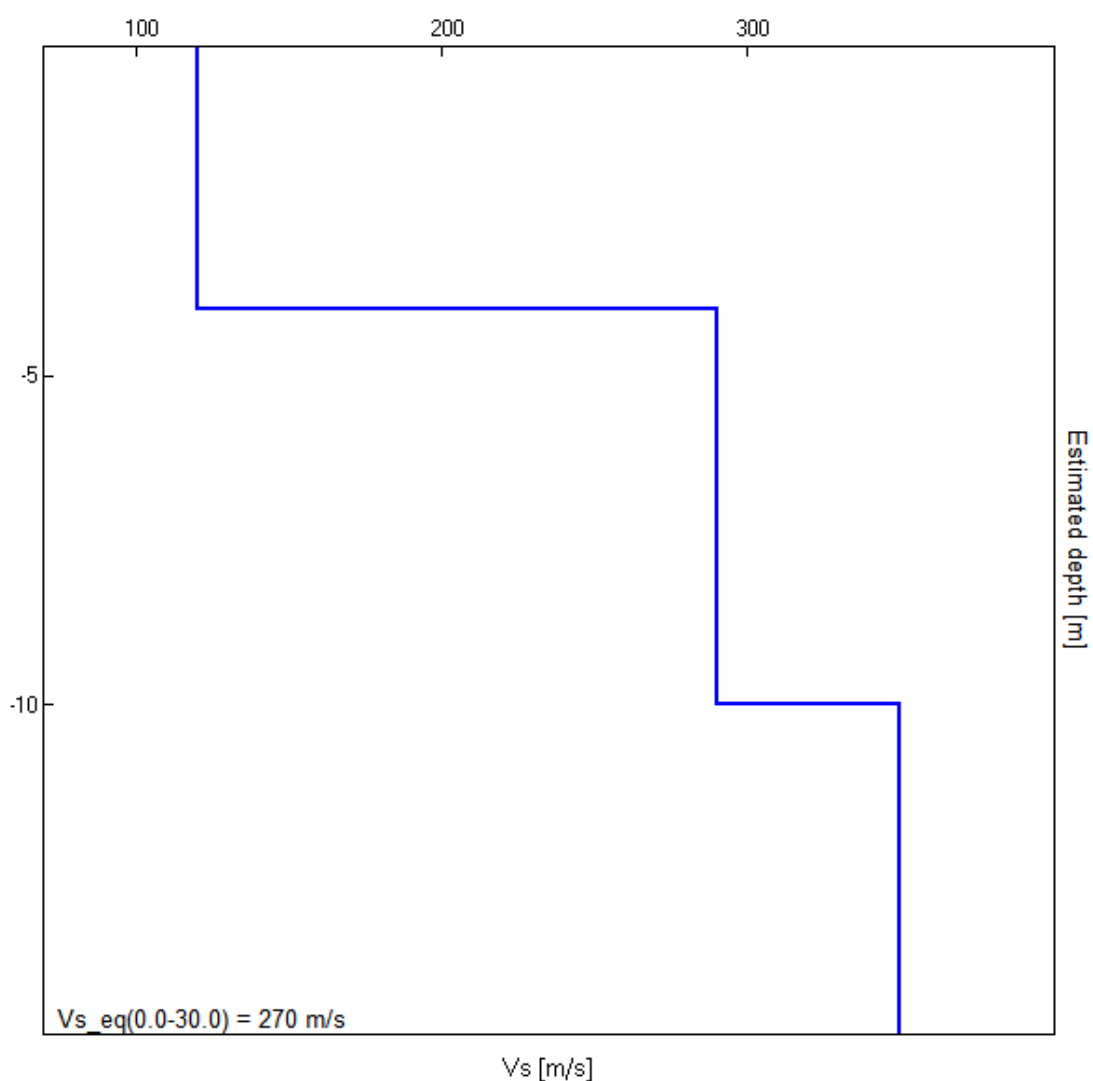
Interpretazione sondaggio tromografico T4

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00-2.00	130	C	C (Vs,eq = 265 m/s)
2.00-9.00	250	C	
9.00-30.00	300	C	



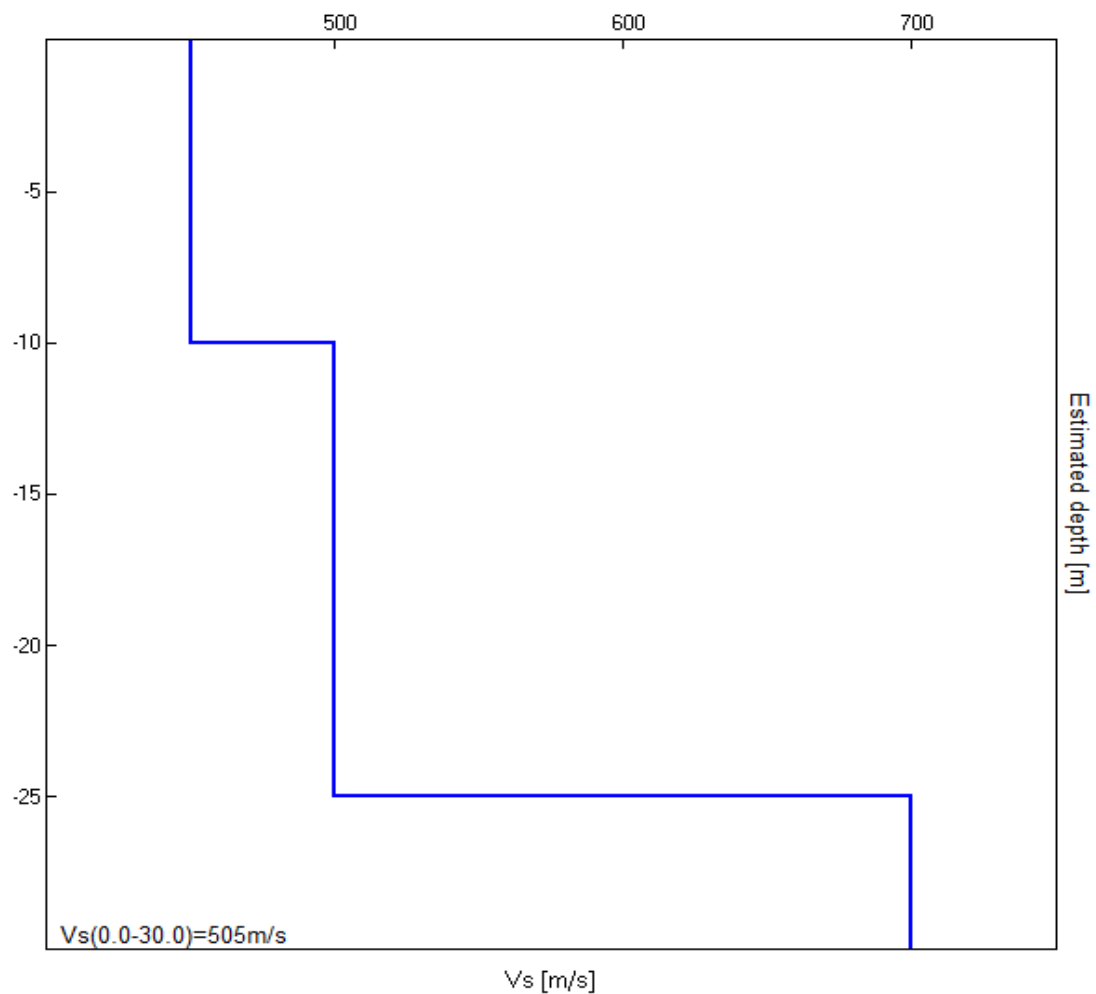
Interpretazione sondaggio tromografico T5

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00-4.00	120	C	C (Vs,eq = 270 m/s)
4.00-10.00	290	C	
10.00-30.00	350	C	



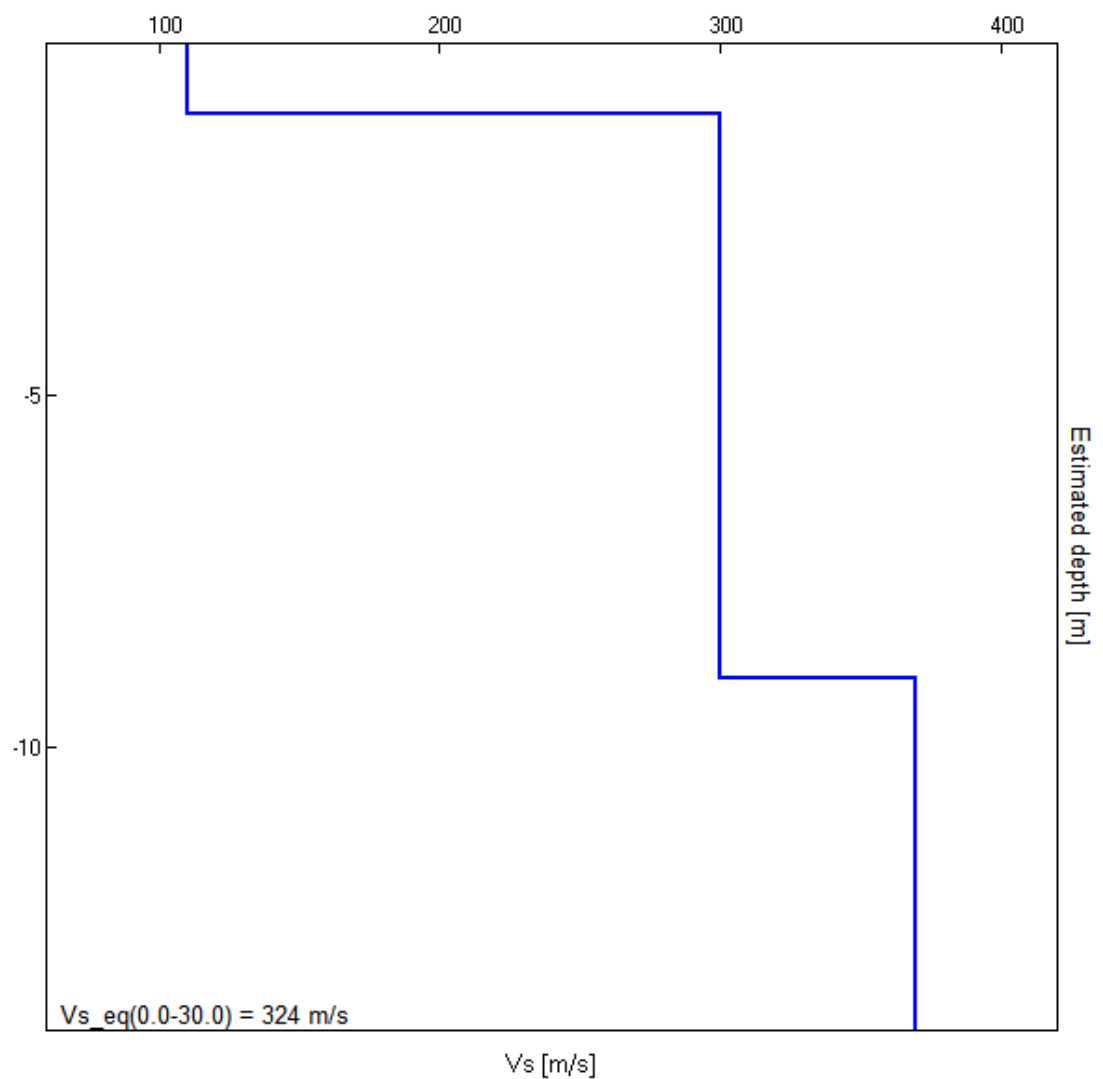
Interpretazione sondaggio tromografico T6

Profondità (m)	V _s (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 10.00	450	B	B (V _{s,eq} =505 m/s)
10.00 – 25.00	500	B	
25.00 – 30.00	700	B	



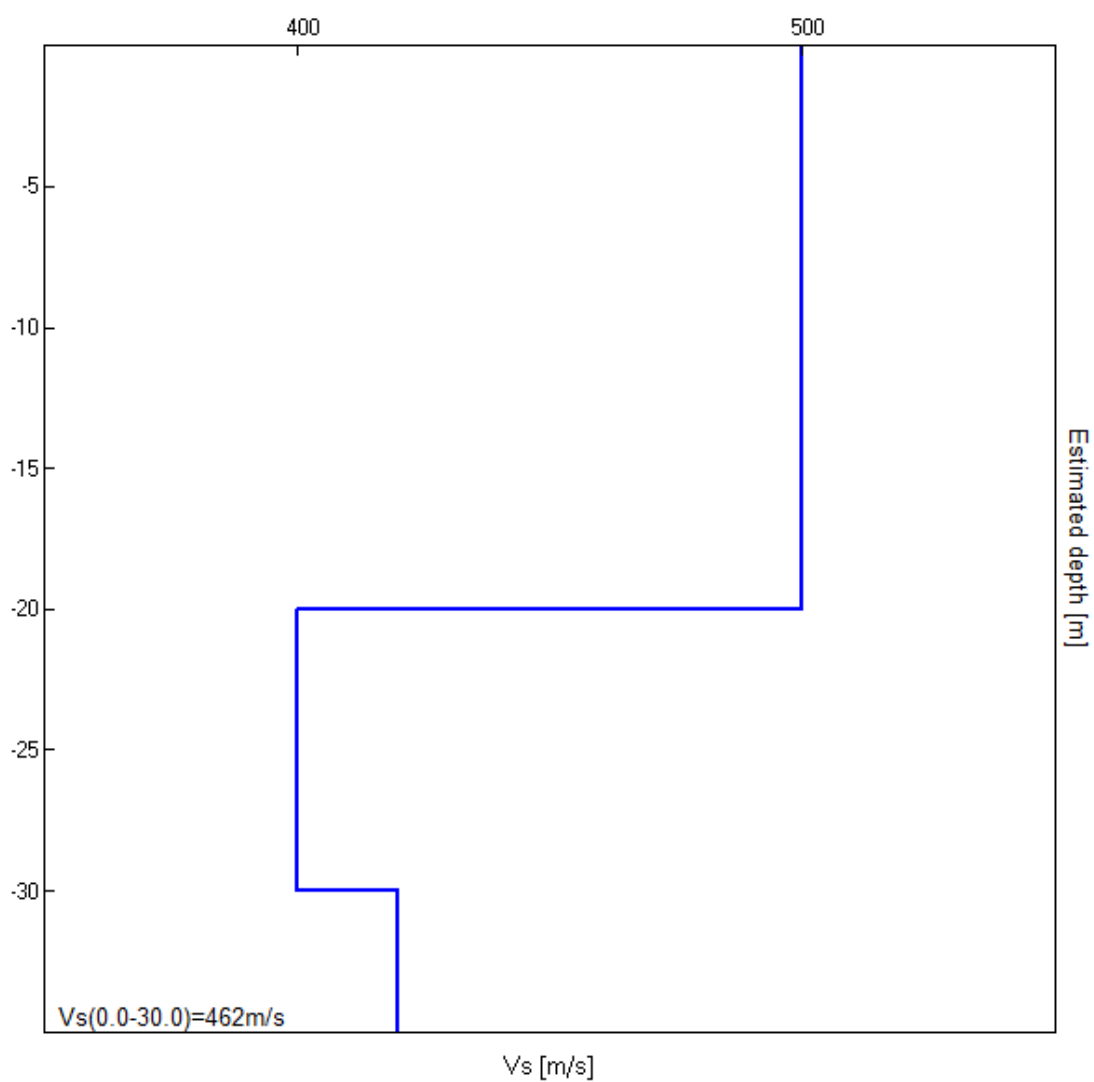
Interpretazione sondaggio tromografico T7

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00-1.00	110	C	C (Vs,eq = 324 m/s)
1.00-9.00	300	C	
9.00-30.00	370	B	



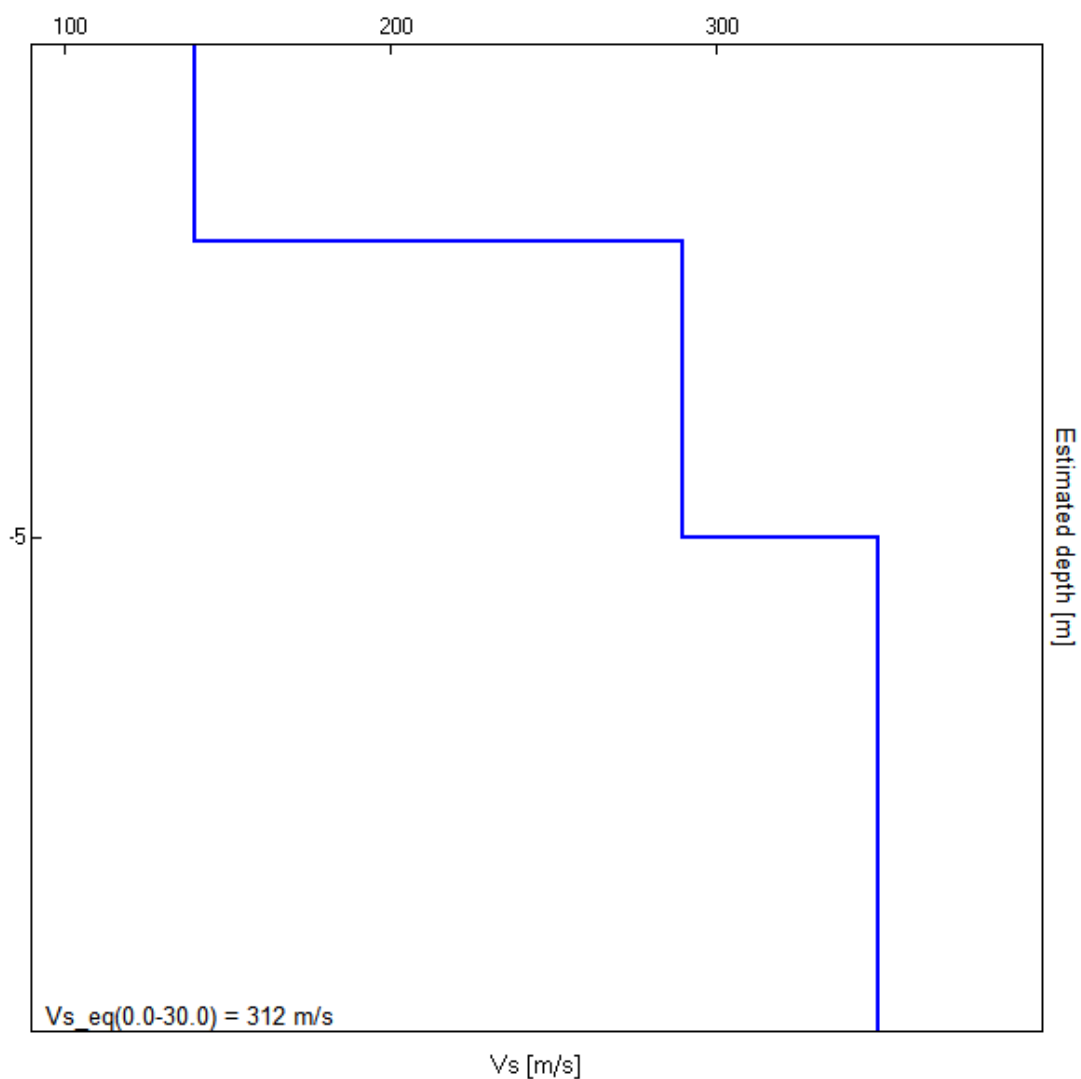
Interpretazione sondaggio tromografico T8

Profondità (m)	Vs (m/s)	<i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</i>	
0.00 – 20.00	500	B	B (V _{s,eq} =462 m/s)
20.00 – 30.00	400	B	
30.00 – 40.00	420	B	



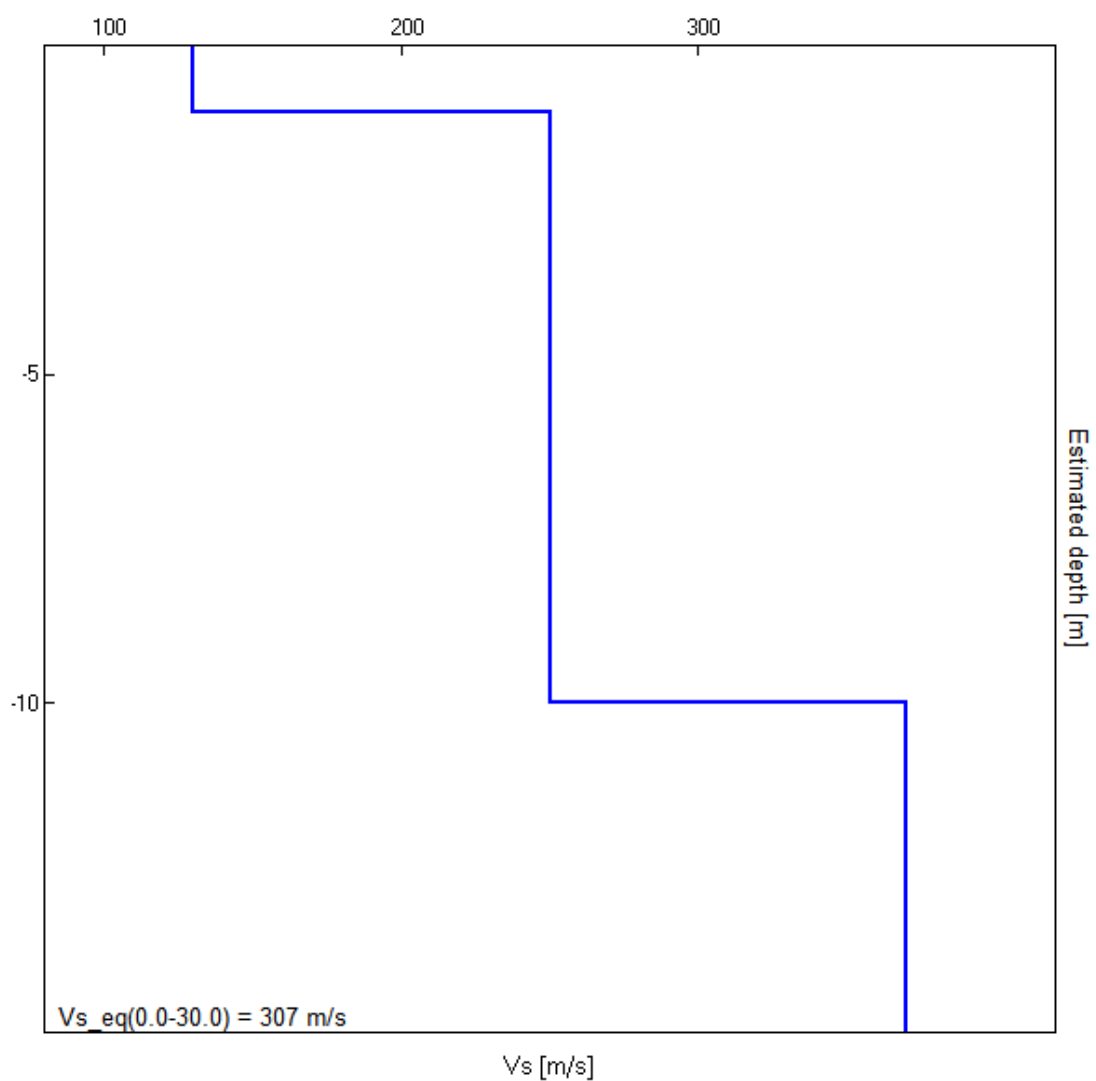
Interpretazione sondaggio tromografico T9

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00-2.00	140	C	C (Vs,eq = 312 m/s)
2.00-5.00	290	C	
5.00-30.00	350	C	



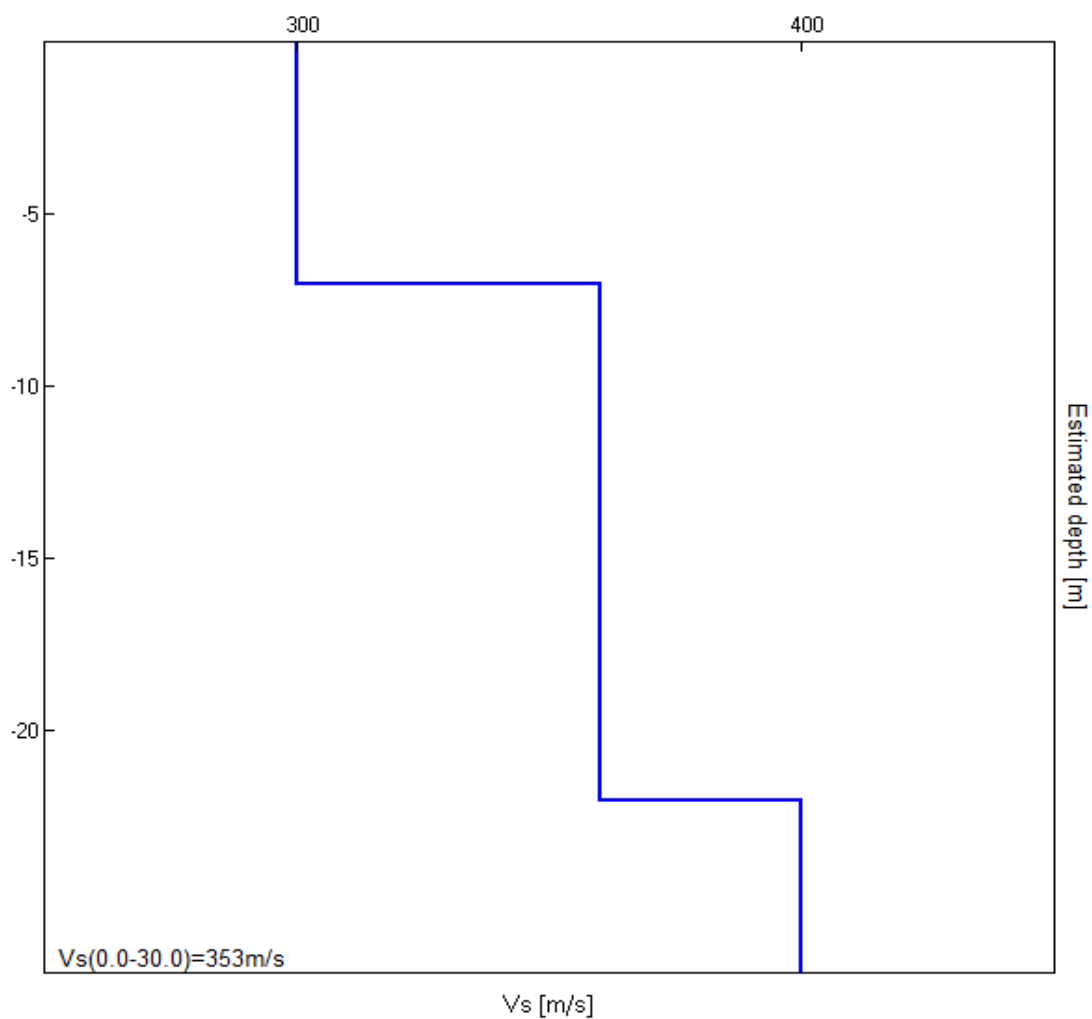
Interpretazione sondaggio tromografico T10

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00-1.00	110	C	C (Vs,eq = 307 m/s)
1.00-10.00	270	C	
10.00-30.00	370	B	



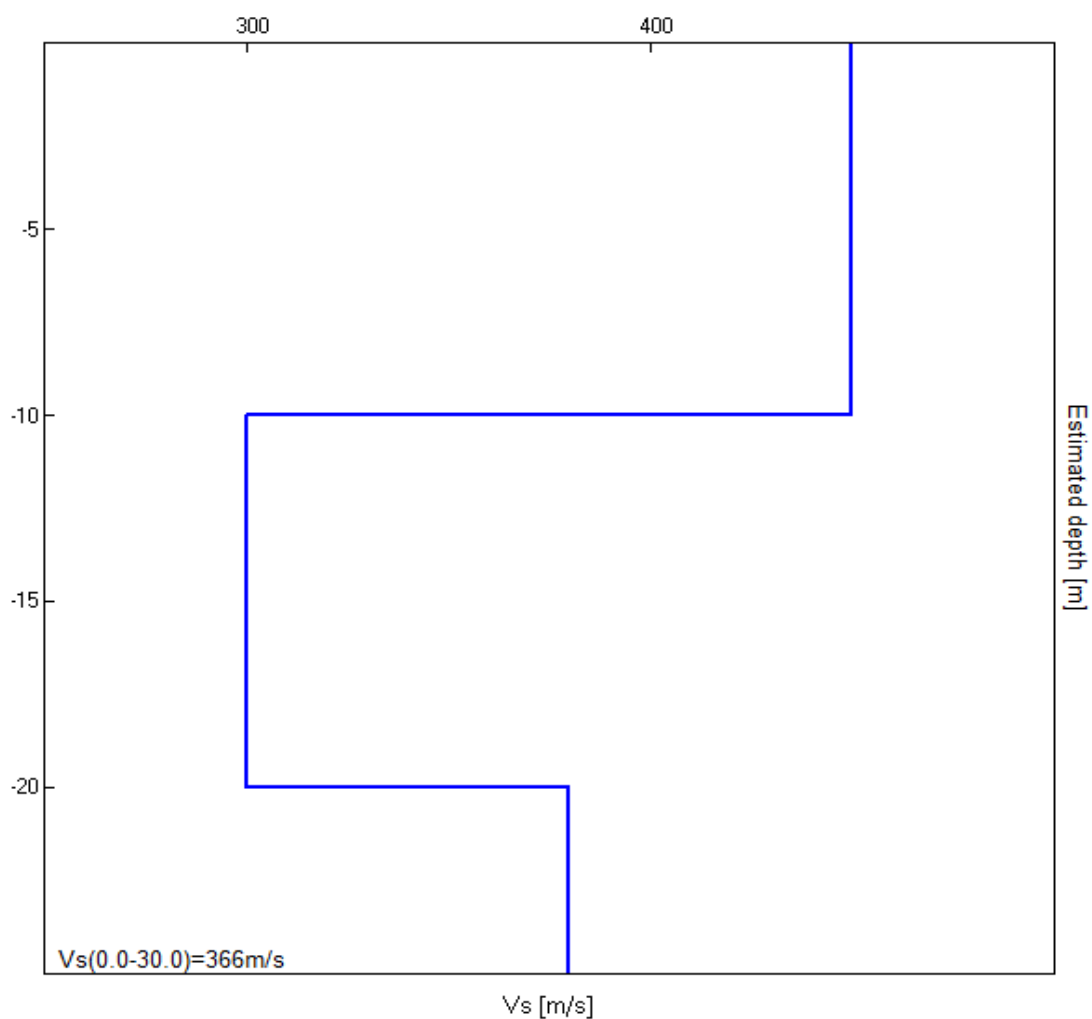
Interpretazione sondaggio tromografico T11

Profondità (m)	V _s (m/s)	<i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</i>	
0.00 – 12.00	450	B	B (V _{s,eq} =479 m/s)
12.00 – 30.00	500	B	
30.00 – 40.00	600	B	



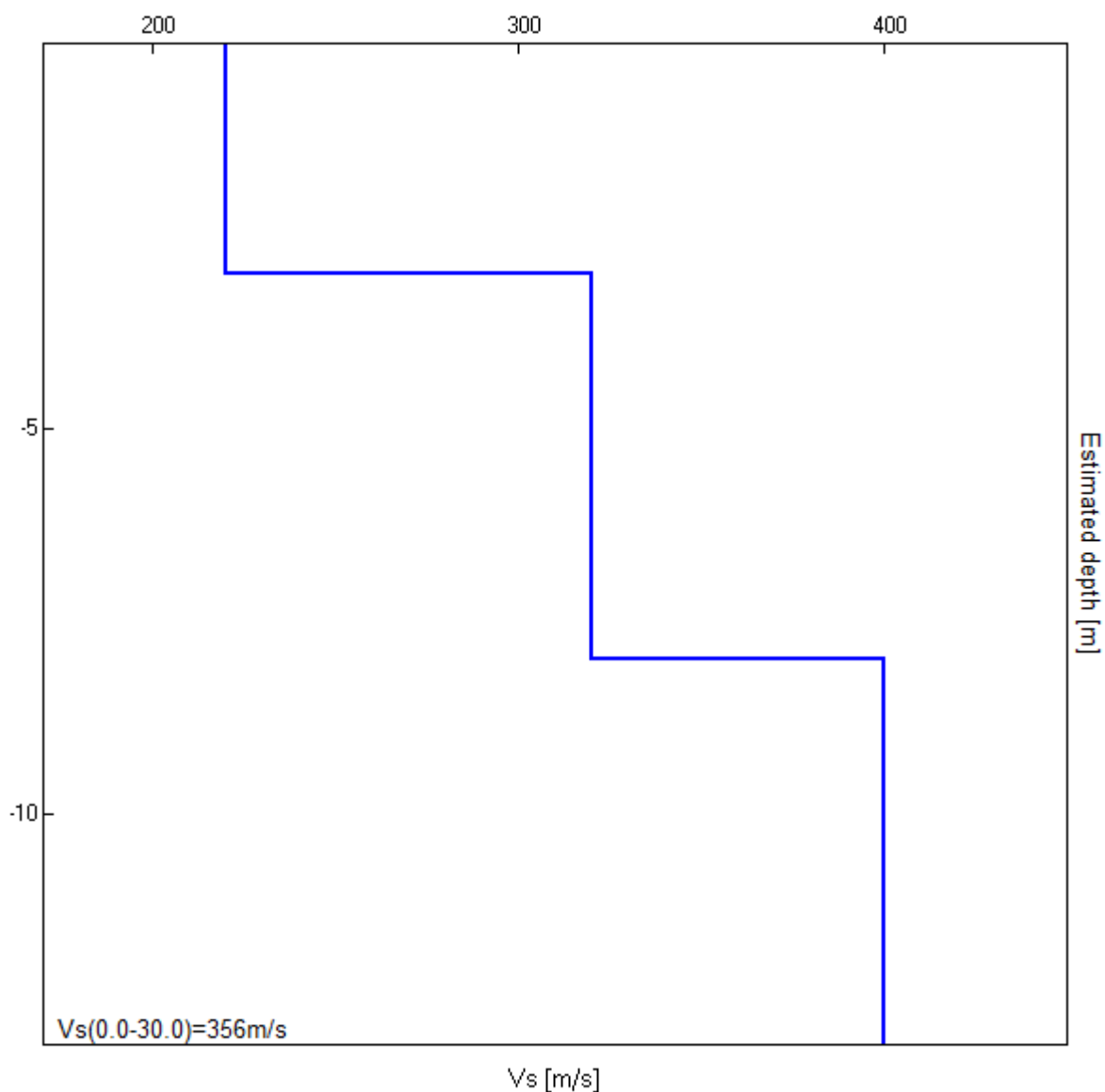
Interpretazione sondaggio tromografico T12

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



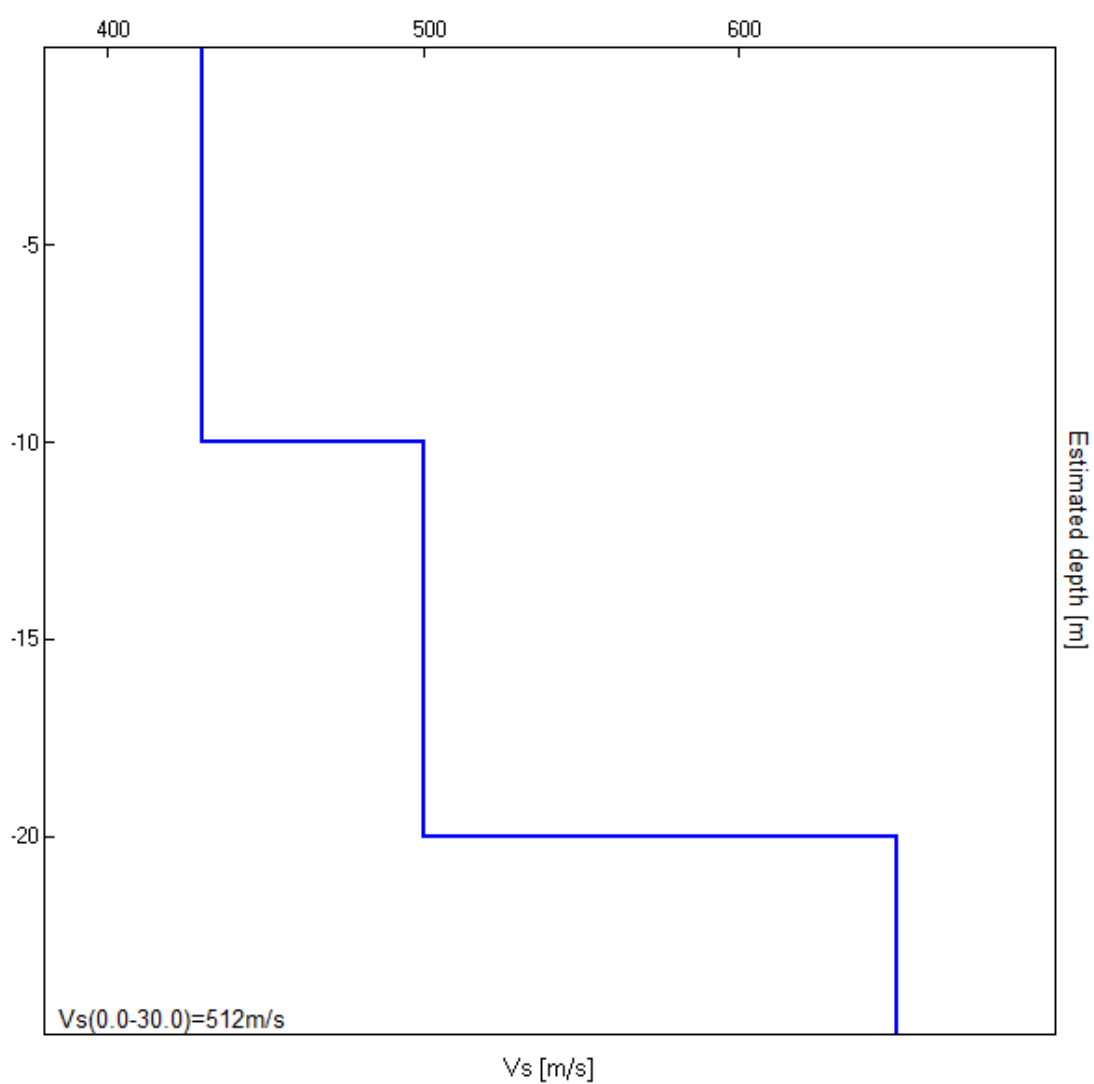
Sondaggio tromografico T13

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 3.00	220	C	C (Vs,eq =356 m/s)
3.00 – 8.00	320	C	
8.00 – 30.00	400	B	



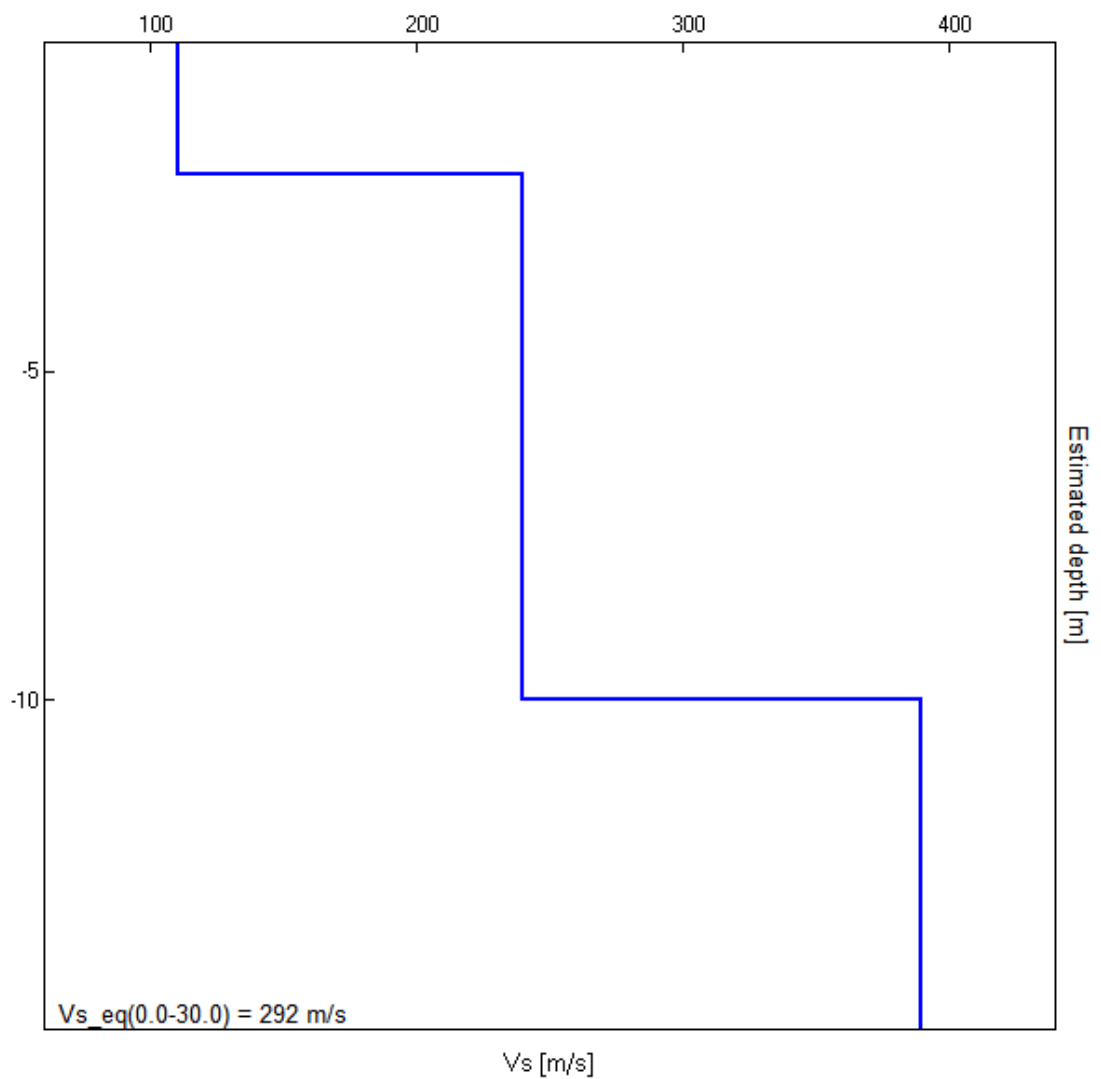
Sondaggio tromografico T14

Profondità (m)	V _s (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 10.00	430	B	B (V _{s,eq} =512 m/s)
10.00 – 20.00	500	B	
20.00 – 30.00	650	B	



Interpretazione sondaggio tromografico TSott

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00-2.00	110	C	C (Vs,eq = 292 m/s)
2.00-10.00	240	C	
10.00-30.00	390	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 Calabria (DGR 10/02/2004, n. 47).

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 rigidezza 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 delle opere in progetto appartengono alle categorie indicate nella tabella seguente.

OPERA	Categoria di suolo ai sensi delle NTC 2018
AEROGENERATORE UBR1	C
AEROGENERATORE UBR2	C
AEROGENERATORE UBR3	C
AEROGENERATORE UBR4	C
AEROGENERATORE UBR5	C
AEROGENERATORE UBR6	B
AEROGENERATORE UBR7	C
AEROGENERATORE UBR8	B
AEROGENERATORE UBR9	C
AEROGENERATORE UBR10	C
AEROGENERATORE UBR11	B
AEROGENERATORE UBR12	B
AEROGENERATORE UBR13	C
AEROGENERATORE UBR14	B
SOTTOSTAZIONE	C

Ai fini della corretta valutazione sito-specifica della categoria sismica di suolo si ritiene indispensabile che il geologo incaricato nelle successive fasi di progettazione esegua specifiche indagini sismiche per ogni singolo sub parco ai sensi del D.M. 17/01/2018.

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.

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 α e β , invece, dipendono dalla frazione fine (FC):

$\alpha = 0$	per $FC \leq 5\%$
$\alpha = \exp[1,76 - (190 / FC^2)]$	per $5\% < FC \leq 35\%$
$\alpha = 5$	per $FC > 35\%$
$\beta = 1,0$	per $FC \leq 5\%$
$\beta = [0,99 + (FC^{1,5} / 1000)]$	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 degli aerogeneratori UBR1, UBR2, UBR3, UBR5, UBR10 e UBR13 sono presenti i litotipi argillosi per cui non è possibile la formazione di fenomeni di liquefazione.

Lo stesso si può affermare in corrispondenza degli altri aerogeneratori che interferiscono con il complesso Conglomeratico e Calcarenitico-sabbioso sia per le caratteristiche fisico-meccaniche degli stessi, sia per la presenza di strati cementati intercalati, sia infine in considerazione che il livello freatico è, presumibilmente, localizzato a profondità superiori di 15 m dal p.c.

In corrispondenza della sottostazione dove affiorano le alluvioni il problema non sembra esserci vista l'eterogeneità del litotipo.

I primi calcoli preliminari sulla liquefazione ci confermano tale ipotesi, avvalorata anche dal fatto che il sito non è stato interessato, nel passato, da fenomeni di liquefazione anche in presenza di terremoti piuttosto importanti.

In ogni caso si è prevista una campagna di indagini esecutiva che servirà a confermare tale ipotesi.

7. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DEI TERRENI INTERESSATI

Le aree interessate dagli aerogeneratori UBR1, UBR2, UBR3, UBR5, UBR10 e UBR13 sono caratterizzate dall'affioramento del Complesso Argilloso Miocenico formato da argille ed argille marnose da scarsamente a mediamente consistenti quando alterate di spessore pari a circa 5-7 m mentre la frazione inalterata di colore grigio si presenta generalmente più consistente.

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:

Frazione alterata: $\phi' = 22^\circ$, $c' = 1.0 \text{ t/mq}$, $\gamma = 1.8 \text{ t/mc}$.

Frazione inalterata: $\phi' = 24^\circ$, $c' = 2.0 \text{ t/mq}$, $\gamma = 2.0 \text{ t/mc}$.

Le aree interessate dagli aerogeneratori UBR6 e UBR8 sono afferenti al Complesso Calcarenitico-Sabbioso costituito da arenarie tenere e sabbie grossolane da scarsamente a mediamente addensate quando alterate di spessore pari a circa 5-7 m di colore da bruno-chiaro mentre la frazione inalterata è costituita da sabbie addensate e livelli e strati calcarenitici cementati. 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:

Frazione alterata: $\phi' = 25^\circ$, $c' = 0.5 \text{ t/mq}$, $\gamma = 1.8 \text{ t/mc}$.

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

Nelle aree interessate dagli aerogeneratori UBR4, UBR7, UBR9, UBR11, UBR12, UBR14 affiora il Complesso Sabbioso-Argilloso costituito da un'alternanza di arenarie tenere e sabbie grossolane di colore

da bruno da scarsamente a mediamente addensate quando alterate di spessore pari a circa 6-8 m di colore da bruno-chiaro mentre la frazione inalterata è costituita da sabbie addensate e livelli e strati calcarenitici cementati. All'interno del complesso sono presenti intercalazioni di argille, argille siltose e silt consistenti.

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:

Frazione alterata: $\varphi' = 22^\circ$, $c' = 1.0 \text{ t/mq}$, $\gamma = 1.8 \text{ t/mc}$.

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

Frazione argillosa inalterata: 24° , $c' = 2.0 \text{ t/mq}$, $\gamma = 2.0 \text{ t/mc}$.

La sottostazione è ubicata in un'area dove affiorano i Depositi Alluvionali costituiti da ghiaie, sabbie e sabbie limose addensate con intercalati livelli e strati di limi torbosi e con giacitura sub-orizzontale.

Le sabbie presentano granulometria variabile da fine a grossolana.

Le ghiaie sono caratterizzate da clasti calcarei arrotondati di dimensioni da millimetriche a decimetriche in matrice sabbiosa.

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:

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

Tutti i suddetti terreni sono ricoperti da uno spessore variabile tra circa 1.00 e 2.00 m di terreno vegetale poco consistente e scarsamente addensato. 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:

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

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 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.

9. CONCLUSIONI

Da quanto sopra esposto in relazione alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e tecniche del sito si evince che:

- ❖ Le aree interessate dagli aerogeneratori UBR1, UBR2, UBR3, UBR5, UBR10 e UBR13 sono caratterizzate dall'affioramento del Complesso Argilloso Miocenico formato da argille ed argille marnose da scarsamente a mediamente consistente quando alterate di spessore pari a circa 5-7 m mentre la frazione inalterata di colore grigio si presenta generalmente più consistente.
- ❖ Le aree interessate dagli aerogeneratori UBR6 e UBR8 sono afferenti al Complesso Calcarenitico-Sabbioso costituito da arenarie tenere e sabbie grossolane da scarsamente a mediamente addensate quando alterate di spessore pari a circa 5-7 m di colore da bruno-chiaro mentre la frazione inalterata è costituita da sabbie addensate e livelli e strati calcarenitici cementati.
- ❖ Nelle aree interessate dagli aerogeneratori UBR4, UBR7, UBR9, UBR11, UBR12, UBR14 affiora il Complesso Sabbioso-Argilloso costituito da un'alternanza di arenarie tenere e sabbie grossolane di colore da bruno da scarsamente a mediamente addensate quando alterate di spessore pari a circa 6-8 m di colore da bruno-chiaro mentre la frazione inalterata è costituita da sabbie addensate e livelli e strati calcarenitici cementati. All'interno del complesso sono presenti intercalazioni di argille, argille siltose e silt consistenti.

- ❖ La sottostazione è ubicata in un’area dove affiorano i Depositi Alluvionali costituiti da ghiaie, sabbie e sabbie limose addensate con intercalati livelli e strati di limi torbosi e con giacitura sub-orizzontale. Le sabbie presentano granulometria variabile da fine a grossolana. Le ghiaie sono caratterizzate da clasti calcarei arrotondati di dimensioni da millimetriche a decimetriche in matrice sabbiosa.
- ❖ Tutti i suddetti terreni sono ricoperti da uno spessore variabile tra circa 1.00 e 2.00 m di terreno vegetale poco consistente e scarsamente addensato.
- ❖ L’affioramento prevalente di terreni argillosi impermeabili e la limitata estensione degli affioramenti dei terreni permeabili in corrispondenza degli aerogeneratori UBR1, UBR2, UBR3, UBR5, UBR10 ed UBR13 non consente la formazione di falde freatiche di interesse.
- ❖ In corrispondenza del complesso Sabbioso-Argilloso (UBR4, UBR 7, UBR9, UBR11, UBR12 e UBR14) sono presenti modesti livelli idrici sospesi evidenziati da una serie di sorgentelle stagionali di scarsa potenzialità, di cui una vicina all’aerogeneratore UBR4. Nello specifico, come si evince dai pochi pozzi presenti in zona e dal fatto che le aree degli aerogeneratori sono ubicate sempre nella cresta della collina ed in una posizione tale che le acque sotterranee vengono drenate verso valle non sono ipotizzabili effetti negativi dalla realizzazione delle opere in progetto sulla risorsa idrica.
- ❖ Anche se non è ipotizzabile che la realizzazione delle fondazioni degli aerogeneratori né tantomeno la realizzazione del cavidotto

possano incidere sulla potenzialità e qualità delle acque delle suddette sorgentelle in fase ante, in e post operam queste saranno tenute costantemente sotto monitoraggio al fine di verificare tale ipotesi di progetto.

- ❖ Si mette in evidenza che in ogni caso anche dove i terreni permeabili poggiano su un substrato impermeabile la falda freatica che si forma ha un livello freatico che si trova a profondità variabile in funzione dello spessore del complesso permeabile ma comunque, in corrispondenza degli aerogeneratori, generalmente superiore a 15 metri.
- ❖ L'area in cui verrà realizzata la sottostazione è invece caratterizzata dalla presenza di una falda freatica il cui livello si attesta a circa 3-4 m dal p.c. comunque non interferita dalle fondazioni della stessa.
- ❖ 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.G.R.A. non interferiscono con le opere in progetto eccetto che limitati tratti di cavidotto con pericolosità “Alta” e con Rischio “R1” ed “R3”.
- ❖ In corrispondenza di questi tratti sarà interrato utilizzando la tecnica T.O.C., ed a profondità tale da non interferire con il naturale deflusso idrico superficiale e con il vincolo idraulico presente.
- ❖ 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 e la sottostazione non sono interessati da fenomeni di instabilità ma molti fenomeni geodinamici sono presenti nell'area vasta e nelle vicinanze degli aerogeneratori ed in particolare tre si rinvencono in prossimità degli aerogeneratori UBR4, UBR8 ed UBR12 (vedi carta dei dissesti).

- ❖ Per quanto riguarda il cavidotto si mette in evidenza che è limitrofo ed in alcuni tratti intercetta aree in dissesto come visibile nella “Carta dei dissesti” allegata.
- ❖ Tali condizioni, non ostative alla realizzazione degli aerogeneratori e del cavidotto, presuppongono la necessità di prevedere, una volta che l'AU ha individuato con precisione la posizione degli aerogeneratori ed eseguite le necessarie indagini geognostiche e geotecniche, opere di ingegneria naturalistica atte a consolidare i fenomeni franosi in atto ed ad evitare che l'evoluzione geodinamica di tali fenomenologia possa, eventualmente, interferire in un futuro con il sedime degli aerogeneratori e i tratti di strada dove viene collocato il cavidotto.
- ❖ E' possibile che in corrispondenza degli aerogeneratori UBR4, UBR8 ed UBR 12 sia necessaria qualche opera di consolidamento più impegnativa vista la vicinanza dei fenomeni geodinamici.

- ❖ Da evidenziare che il Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico (P.A.I.) esclude le aree interessate dalle opere in progetto da qualunque fenomenologia di dissesto e di rischio geomorfologico.
- ❖ Da un punto di vista sismico i terreni di sedime delle opere in progetto sono:

OPERA	Categoria di suolo ai sensi delle NTC 2018
AEROGENERATORE UBR1	C
AEROGENERATORE UBR2	C
AEROGENERATORE UBR3	C
AEROGENERATORE UBR4	C
AEROGENERATORE UBR5	C
AEROGENERATORE UBR6	B
AEROGENERATORE UBR7	C
AEROGENERATORE UBR8	B
AEROGENERATORE UBR9	C
AEROGENERATORE UBR10	C
AEROGENERATORE UBR11	B
AEROGENERATORE UBR12	B
AEROGENERATORE UBR13	C
AEROGENERATORE UBR14	B
SOTTOSTAZIONE	C

- ❖ Si ritiene indispensabile che in fase di progettazione esecutiva si realizzi il programma di indagini sopra descritto e che il geologo venga coinvolto fattivamente in fase di realizzazione delle fondazioni degli aerogeneratori e delle opere di consolidamento.
- ❖ In definitiva, gli studi geologici e la caratterizzazione geotecnica sono stati estesi a tutta la zona di possibile influenza degli interventi previsti, al fine di accertare che la destinazione d’uso è compatibile con il territorio in esame sia in termini di vulnerabilità ambientale, sia in relazione ai processi geodinamici presenti (sismicità, vulcanismo, stabilità dei pendii, erosione, subsidenza).