

Regione
Calabria



Comune di
Mesoraca



Committente:

ESC WIND S.R.L.
Piazza Europa, 14
87100 Cosenza - Italy
P.IVA: 03884610787

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

Titolo del Progetto:

PARCO EOLICO "MESORACA"

Elaborato:

Relazione geologica

PROGETTO	DISCIPLINA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	SCALA
E-MES	A	-	RE	5	-

NOME FILE: **E_MES_A_RE_5_Relazione _Geologica. pdf**

Progettazione:



Dott. Geol. Gian Vito Graziano

Rev:	Prima Emissione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	APRILE 2024	PRIMA EMISSIONE	GEMSA PRO	GEMSA PRO	ESC WIND S.R.L.

Indice

1. PREMESSE	3
2. CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE	7
4. INDAGINI DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA	19
5. CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO.....	53
6. LIQUEFAZIONE DEI TERRENI	56
7. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DEI TERRENI INTERESSATI.....	62
8. CAMPAGNA INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE DA ESEGUIRE IN FASE DI PROGETTAZIONE ESECUTIVA	64
9. CONCLUSIONI	65

1. PREMESSE

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

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

6.12. FATTIBILITÀ DI OPERE SU GRANDI AREE

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

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

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

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

- determinare la costituzione geologica dell'area interessata dal progetto;
- studiarne le caratteristiche geomorfologiche con particolare riguardo alle condizioni di stabilità dei versanti;
- definire l'assetto idrogeologico con riguardo alla circolazione idrica superficiale e sotterranea;
- individuare tutte le problematiche geologico-tecniche che possono interferire con le opere in progetto;
- indicare, in linea di prima approssimazione, eventuali opere di consolidamento o presidio per garantire la realizzazione ottimale delle opere in progetto;
- determinare, in linea di prima approssimazione, le caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni con maggiore interesse a quelle che più da vicino riguardano gli aspetti progettuali;
- verificare l'eventuale presenza di problematiche legate a fenomeni di liquefazione;
- indicare un programma di indagini geognostiche e geotecniche da eseguire nelle successive fasi di progettazione esecutiva.

Lo studio è stato, quindi, articolato come segue:

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

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

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

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

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

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

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

Per la caratterizzazione della serie stratigrafica locale, per l'individuazione delle profondità del livello piezometrico e per la definizione delle problematiche sismiche delle aree in studio, in questa prima fase di lavoro, sono 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. 14 aerogeneratori;
- b. **Cavidotto** di collegamento tra gli aerogeneratori e la cabina di consegna;
- c. **Sottostazione elettrica**.

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

- ✓ n. 2 carte geologiche ed idrogeologiche eseguita in scala 1/10.000 (fuori testo);
- ✓ n. 2 carte geomorfologiche eseguita in scala 1/10.000 (fuori testo);
- ✓ n. 2 carte dei dissesti "Piano di assetto idrogeologico (P.A.I.)" e "Inventario dei fenomeni franosi Italiani (IFFI)" in scala 1/10.000 (fuori testo);

- ✓ n. 2 carte relative alla Pericolosità da frana redatte dal "Piano di assetto idrogeologico (P.A.I.)" in scala 1/10.000 (fuori testo);
- ✓ n. 2 carte relative alla Pericolosità idraulica redatte dal "Piano di assetto idrogeologico (P.G.R.A.)" in scala 1/10.000 (fuori testo);
- ✓ n. 2 carte relative al Rischio idraulico redatte dal "Piano di assetto idrogeologico (P.G.R.A.)" in scala 1/10.000 (fuori testo);
- ✓ n. 2 carte relative al Rischio idraulico redatte dal "Piano di assetto idrogeologico (P.A.I.)" in scala 1/10.000 (fuori testo);
- ✓ le colonne stratigrafiche tipo inserite nel testo;
- ✓ elaborati relativi ai sondaggi di sismica passiva a stazione singola (tomografia) denominati T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, T13, T14 e Tsott.

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

Si ritiene, infatti, che in fase di progetto esecutivo e di calcolo delle strutture di fondazione si renderà necessario integrare le indagini ed i rilievi eseguiti in questa prima fase con la realizzazione di un sondaggio e relative prove geotecniche in situ ed in laboratorio in corrispondenza di ciascun aerogeneratore e della cabina di consegna nell'esatta posizione in cui, a valle dell'iter autorizzativo, saranno effettivamente realizzati ed alcune indagini in corrispondenza dei tracciati dei cavidotti, soprattutto nelle le strade 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 nell'area vasta ed in corrispondenza delle opere in progetto sono riferibili ad un ampio periodo di tempo e che distinguiamo dal più recente al più antico:

- ⇒ **DEPOSITI DI SOLIFLUSSIONE E DILAVAMENTO (Olocene):** si tratta prevalentemente di rocce sciolte costituite da limi, limi sabbiosi e sabbie limose da scarsamente consistenti e scarsamente addensate. Interessano l'aereogeneratore M10 ed alcuni tratti di cavidotto.
- ⇒ **DEPOSITI ALLUVIONALI (Olocene):** si tratta prevalentemente di rocce sciolte costituite da limi, silt, ghiaie, sabbie e sabbie limose con inclusi sporadici blocchi. Le sabbie presentano granulometria variabile da fine a grossolana. Le ghiaie sono caratterizzate da sporadici clasti calcarei arrotondati di dimensioni da millimetriche a decimetriche. Nella carta geologica sono stati suddivisi in depositi "mobili" presenti nell'alveo del Fiume Sant'Antonio e della Fiumara Mesoraca in quanto soggetti alle azioni erosive e di deposizione delle acque fluenti ed in depositi "fissi" presenti nelle aree di piana golenale, non interessata, normalmente, salvo eventi eccezionali, alle azioni delle acque fluenti. Interessano alcuni tratti di cavidotto.
- ⇒ **SABBIE DA FINI A GROSSOLANE, GHIAIE, CONGLOMERATI E SABBIONI (Pleistocene).** Non interessano le opere in progetto.
- ⇒ **DEPOSITI MARINI TERRAZZATI (Pleistocene inf.):** si tratta prevalentemente di conglomerati e sabbie con stratificazione orizzontale da poco addensati ad addensati, generalmente caratterizzati da granulometria

- grossolana. Sono molto eterogenei ed interessano gli aerogeneratori M1, M2, M5, M14 ed alcuni tratti di cavidotto.
- ⇒ **COMPLESSO SILTOSO PLEISTOCENICO (Pleistocene):** Silt e siltiti grigie e bruno-giallastro. Non interessa le opere in progetto.
 - ⇒ **COMPLESSO ARGILLOSO PLIOCENICO (Pliocene sup.):** Si tratta di argille e argille siltose grigio-chiare. Sono generalmente consistenti quando inalterate ma plastiche quando alterate. Interessa gli aerogeneratori M4, M6, M11, M12, M13, la sottostazione elettrica ed alcuni tratti di cavidotto.
 - ⇒ **COMPLESSO ARENACEO-SABBIOSO PLIOCENICO (Pliocene medio-sup.)** si tratta di un'alternanza di sabbie addensate ed arenarie tenere con stratificazione orizzontale. Interessa l'aerogeneratore M3, M7 ed M8 ed alcuni tratti di cavidotto.
 - ⇒ **COMPLESSO SILTOSO MIOCENICO (Miocene sup.):** Silt e silt sabbiosi grigi con un orizzonte di silt calcareo in sottili lamine. Non interessa le opere in progetto.
 - ⇒ **COMPLESSO CALCAREO (Miocene sup.):** Calcare evaporitico grigio chiaro o biancastro generalmente vacuolare. Non interessa le opere in progetto.
 - ⇒ **COMPLESSO CONGLOMERATICO (Miocenene sup.):** Conglomerati grossolani ben cementati. Non interessa le opere in progetto.
 - ⇒ **COMPLESSO ARGILLOSO MARNOSO (Miocene medio-sup.):** Argille marnose con sottili intercalazioni arenacee gradate. Non interessa le opere in progetto.
 - ⇒ **COMPLESSO ARGILLOSO MIOCENICO (Miocene medio-sup.):** si tratta di argille, argille siltose e silts. Detti terreno si presentano molto plastici quando alterati. Interessa alcuni tratti di cavidotto.
 - ⇒ **COMPLESSO CALCARENITICO-SABBIOSO MIOCENICO (Miocene medio-sup.):** si tratta prevalentemente di un'alternanza di arenarie con cemento calcareo e sabbie con intercalazioni di lenti conglomeratiche con stratificazione orizzontale. Interessa alcuni tratti di cavidotto.
 - ⇒ **COMPLESSO ARENACEO (Miocene medio-sup.):** Arenarie grossolane a cemento calcareo, da bruno-chiare a grigio-giallastre. Non interessa le opere in progetto.

⇒ **COMPLESSO ARGILLOSO-SABBIOSO (Miocene medio):** Argille marnose e siltose, in alternanza con arenarie. Non interessa le opere in progetto.

In definitiva:

- 1) L'area interessata dall'aerogeneratore M10 è caratterizzata dall'affioramento dei depositi di solifluzione e dilavamento, prevalentemente rocce sciolte costituite da limi, limi sabbiosi e sabbie limose, scarsamente consistenti e scarsamente addensate. Hanno uno spessore pari a circa 5 m e poggiano sui terreni riferibili al Complesso Argilloso Pliocenico che si presenta alterato per uno spessore pari a 5 m (vedi Colonna stratigrafica Tipo 1 allegata).
- 2) Le aree interessate dagli aerogeneratori M1, M2, M5 e M14 sono caratterizzate dall'affioramento dei depositi marini terrazzati costituiti da conglomerati e sabbie con stratificazione orizzontale. Hanno uno spessore variabile tra circa 15 m e 20 m e poggiano sui terreni riferibili al Complesso Argilloso Pliocenico che si presenta alterato per uno spessore pari a 5 m (vedi Colonna stratigrafica Tipo 2 allegata).
- 3) Le aree interessate dagli aerogeneratori M4, M6, M11, M12, M13 e la sottostazione elettrica sono caratterizzate dall'affioramento del Complesso Argilloso Pliocenico costituito da argille e argille siltose grigio-chiare da scarsamente a mediamente consistenti, plastiche e di colore grigio chiaro quando alterate (spessore di alterazione variabile tra 7-8 m) mentre la frazione inalterata si presenta consistente (vedi colonna stratigrafica Tipo 3 allegata).
- 4) Le aree interessate dagli aerogeneratori M3, M7, M8 e M9 sono caratterizzate dall'affioramento del Complesso Arenaceo-Sabbioso Pliocenico costituito da sabbie addensate ed arenarie tenere con stratificazione orizzontale. Hanno uno spessore maggiore di 30 m e poggiano sul Complesso Argilloso Pliocenico (vedi colonna stratigrafica Tipo 4 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.

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 in corrispondenza dei versanti conglomeratici e arenacei.

Si tratta di aree caratterizzate da elevata attività erosiva, da un reticolo idrografico estremamente complesso ed articolato, con impluvi molto incisi, con valli strette e spesso a carattere calanchivo.

Ciò a conferma che prevalgono nettamente i litotipi argillosi e sabbiosi.

La stabilità dei versanti è generalmente scarsa e sono stati individuati numerosi fenomeni geodinamici che compongono un habitus geomorfologico estremamente complesso.

Sono presenti zone stabili nei crinali e nelle zone di fondovalle dove affiorano i termini alluvionali caratterizzati dalla presenza di limi sabbiosi, sabbie e ghiaie

Sono essenzialmente i processi fluviali quelli che hanno esplicito e tutt'ora 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 da numerosissimi impluvi che drenano le acque verso i Fiumi Sant'Antonio, Tachina e Fiumara Mesoraca.

Per quanto concerne le forme di dissesto legate ai movimenti franosi lo studio ha approfondito in maniera significativa questa problematica al fine di ubicare gli aerogeneratori in posizione utile per avere le necessarie garanzie di stabilità.

Lo studio geomorfologico di dettaglio eseguito tramite i rilievi di superficie, integrati dallo studio delle fotografie aeree del territorio e dalle indagini geofisiche ci permette di dire che, in generale, ***i versanti dove sono ubicati gli aerogeneratori e la sottostazione non sono interessati da fenomeni di instabilità.***

Ciò è confermato dal Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeo-logico (P.A.I.) e l'Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani (IFFI) che escludono le aree interessate dalle opere in progetto da qualunque fenomenologia di dissesto e di rischio geomorfologico.

Dai sopralluoghi effettuati e dai rilievi geomorfologici eseguiti lungo i tracciati del cavidotto ed in alcune aree nelle vicinanze degli aerogeneratori sono stati individuati, però, numerosi dissesti riferibili ad "erosione accelerata e franosità diffusa".

Si tratta di aree interessate da un'attività geodinamica piuttosto spinta che si sviluppa gradualmente seguendo alcuni stadi: in un primo tempo si ha un'*erosione accelerata e*

diffusa, ad opera del velo d'acqua che bagna la superficie secondo la linea di massima pendenza; in seguito si genera la cosiddetta *erosione per rigagnoli*, in cui l'erosione si concentra nei solchi generati dalla precedente erosione ed in cui scorre l'acqua; infine si ha l'*erosione a solchi*, in cui l'acqua è riuscita a scavare nel terreno incisioni profonde.

Sono fenomeni geodinamici che non ostano la realizzazione delle opere ma che devono essere studiati approfonditamente in fase di progettazione esecutiva a valle dell'autorizzazione, tramite le indagini geognostiche e geotecniche descritte nei capitoli seguenti ma anche tramite rilievi topografici di dettaglio per verificare l'ubicazione delle fondazioni in relazione ai dissesti più vicini e per poter prevedere tutte quelle opere di ingegneria naturalistica, indicate di seguito, necessarie a mitigare ed annullare l'attività erosiva dei corsi d'acqua prossimi alle fondazioni e piazzole dei singoli aerogeneratori.

Per preservare i tratti di viabilità interessati dai fenomeni gravitativi superficiali legati soprattutto alle acque meteoriche che si infiltrano nella coltre alterata superficiale dei terreni, verranno adottate, di concerto con gli enti gestori dell'infrastruttura, tecniche utili alla stabilizzazione della porzione più superficiale di suolo che oltre ad essere molto efficaci in situazioni geomorfologiche, hanno il vantaggio di essere molto elastiche e in grado di adattarsi all'habitus geomorfologico caratteristico del territorio in cui si opera, alle irregolarità del terreno ed a ulteriori movimenti di assestamento del terreno dopo la messa in opera.

In tal modo il consolidamento ed il ripristino delle condizioni ambientali saranno raggiunti impiegando opere relativamente leggere per non sovraccaricare il terreno, assicurando la massima protezione antie-rosiva.

Nello specifico del nostro caso riteniamo di prevedere:

- ❖ ***Fascinate*** che consistono nella "messa a dimora di fascine vive di specie legnose con capacità di riproduzione vegetativa".

Le fascinate sono utilizzate negli interventi di sistemazione dei versanti con pendenza non superiore ai 30°-35°; con questo sistema si ottiene il rinverdimento ed il drenaggio superficiale dei pendii mediante la formazione di file di gradoni, disposti parallelamente alle curve di livello, nei quali sono sistemati delle fascine di astoni o ramaglia, possibilmente lunghi e dritti, prelevati da piante legnose con elevata capacità di diffusione vegetativa.

Le fascinate vive comprendono due tipologie costruttive differenziate in base al materiale vegetale impiegato:

- ⇒ fascinate vive con ramaglia;
- ⇒ fascinate vive con piantine.

Le fascinate vive con ramaglia comportano un ridotto movimento di terra; la loro realizzazione prevede lo scavo di solchi profondi da 0,3 a 0,5 m ed altrettanto larghi, dove si sistemano orizzontalmente le fascine di ramaglia, prelevate da specie legnose con buona capacità di propagazione vegetativa.

In ogni sezione trasversale della fascina, dovranno essere presenti 5 verghe di almeno 1 cm di diametro, con punti di legatura distanti 70 cm l'uno dall'altro.

La costruzione avviene fissando le fascine di ramaglia con paletti in legno vivo (pioppo o salici) o morto (castagno, larice etc) lunghi almeno 60-100 cm e diametro compreso tra 5 e 10 cm, infissi nel terreno attraverso la fascina o a valle di essa.

Lo scavo viene quindi ricoperto con un leggero strato di terreno proveniente dagli scavi dei fossi superiori.

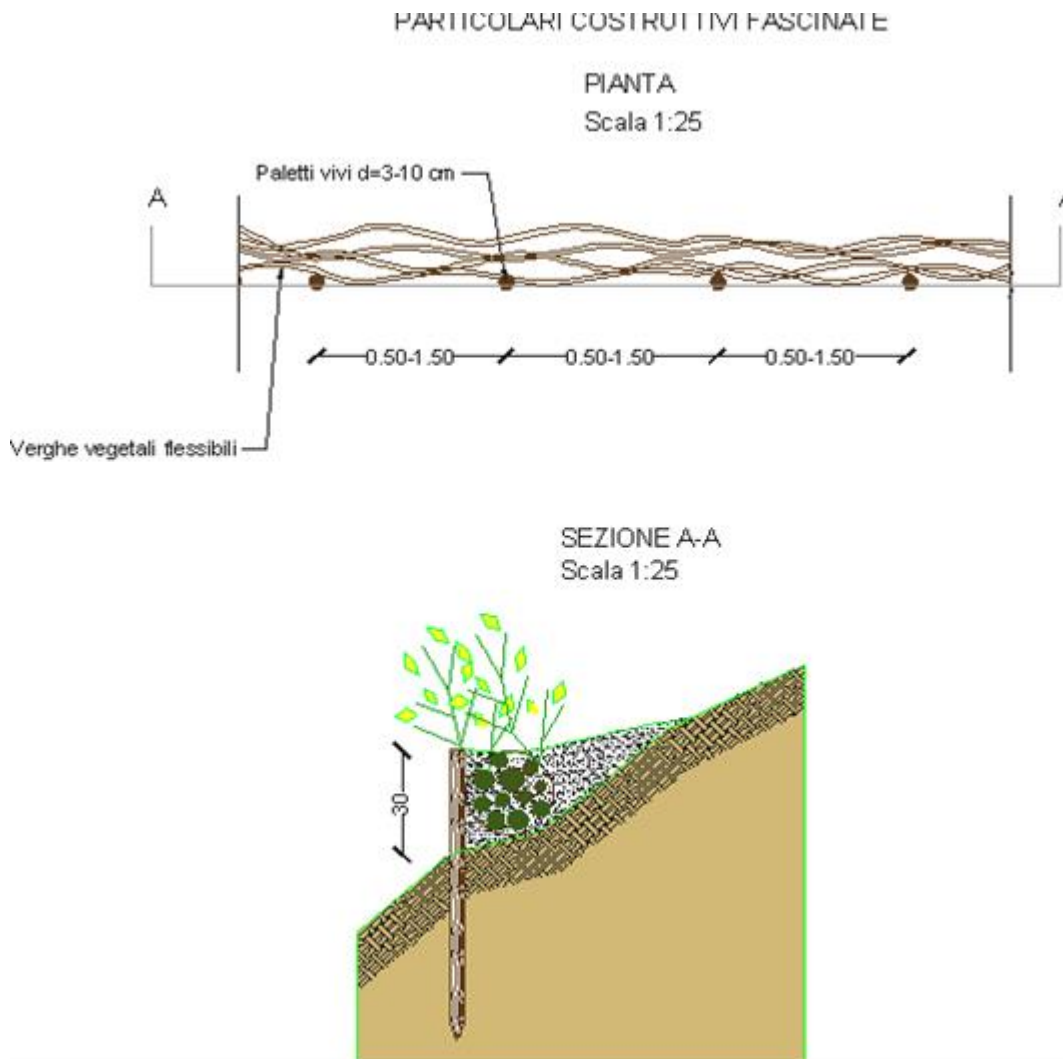
Le file di gradoni con le fascine di ramaglia sono eseguite orizzontalmente, secondo le curve di livello o con una leggera inclinazione obliqua rispetto al pendio per aumentare la capacità di deflusso delle acque superficiali e l'efficacia drenante del sistema.

La distanza fra file successive si aggira mediamente intorno a 1,5-2 m.

Una variante di questo sistema, applicata dove si richiede una maggiore efficacia consolidante dell'intervento, prevede l'associazione delle fascine con viminate.

Nel caso di fascinata viva con piantine radicate di specie arbustive, l'esecuzione dell'intervento comporta alcuni accorgimenti e procedure diverse da quelle della tecnica precedente. Infatti le fascine di ramaglia sono più leggere e con un numero inferiore di verghe (3-6), i solchi sono più larghi di circa 10-15 cm e le piantine radicate sono messe a dimora in numero di circa 1-2 esemplari per metro.

Il solco, dopo la messa a dimora delle fascine e delle piantine, è riempito con il terreno, eventualmente ammendato, proveniente dagli scavi. Le fascinate, come tutti gli altri interventi che impiegano materiali vivi, devono essere realizzate solo durante il periodo di riposo vegetativo.

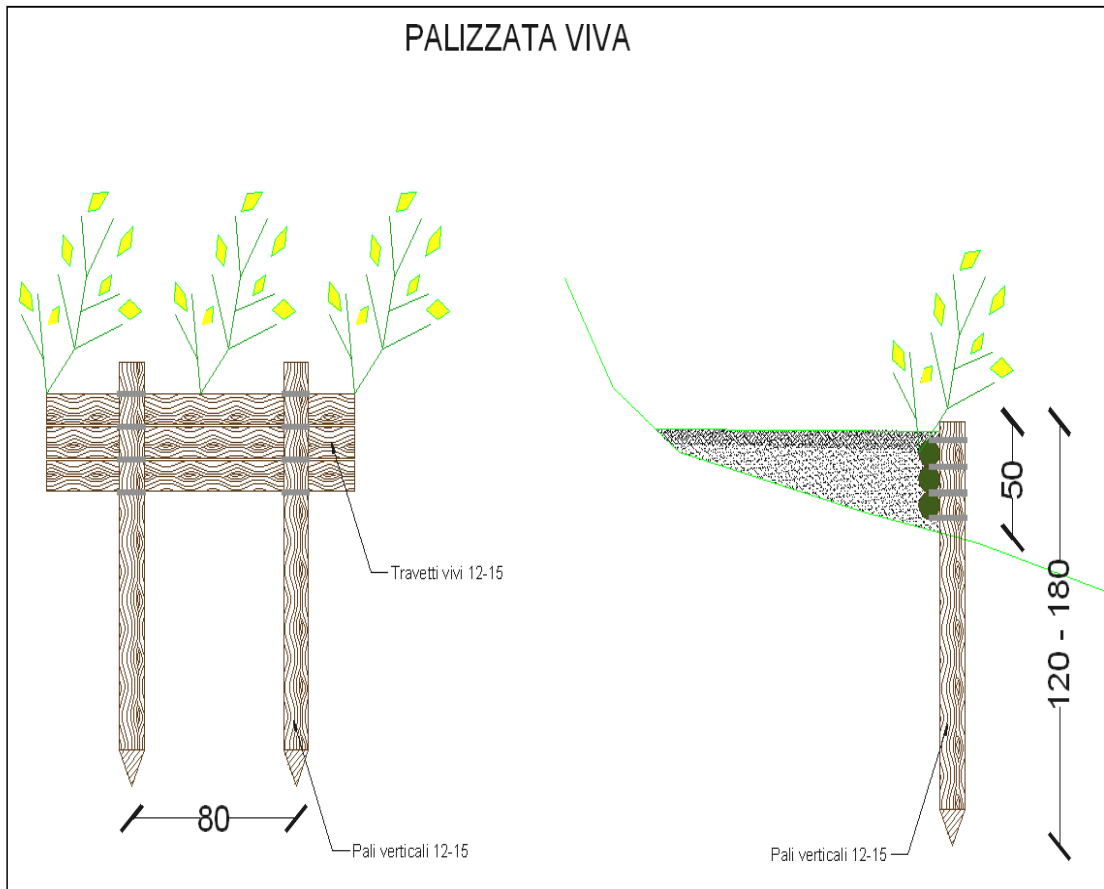


❖ ***Palizzate vive***

La tecnica della palizzata in legname con talee e/o piantine unisce l'impiego di talee con strutture fisse in legno per la stabilizzazione di pendii e scarpate, naturali o artificiali.

Con questo sistema si tende a rinverdire le scarpate attraverso la formazione di piccoli gradoni lineari, sostenuti dalle strutture di legno, che corrono lungo le curve di livello del pendio e dove, a monte, si raccoglie del materiale terroso.

Le piante, una volta che la vegetazione si sar  sviluppata, garan-tiranno un consolidamento del terreno con l'apparato radicale e una resistenza all'erosione superficiale, con la loro parte epigea.



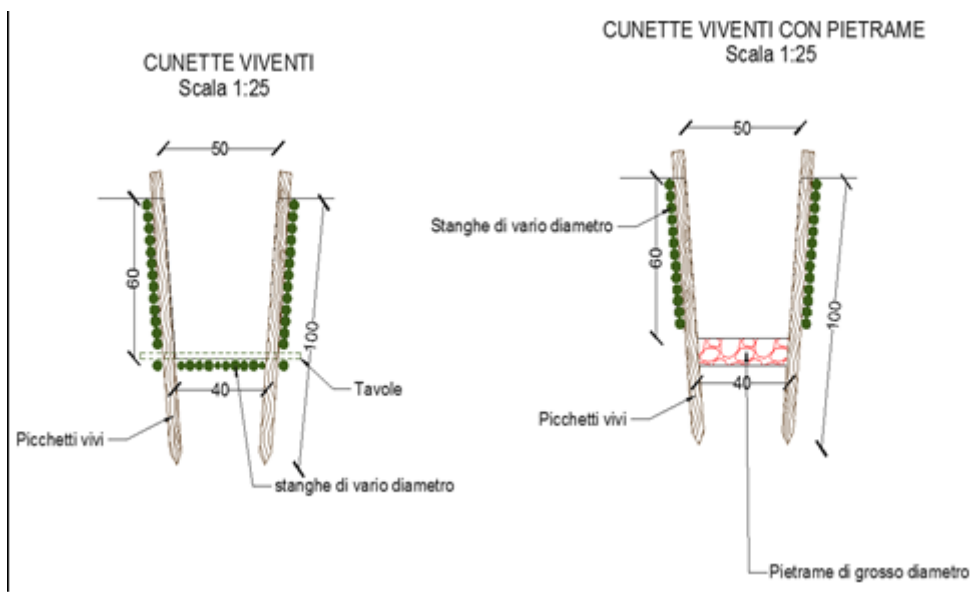
❖ **Cunetta vivente**

Le cunette sono di norma pensate in terra. E' per  importante sottolineare che nei tratti di maggiore pendenza l'acqua pu  destabilizzare la cunetta e con essa la strada. Pertanto si suggerisce l'adozione di cosiddette cunette viventi, maggiormente resistenti all'azione erosiva dell'acqua.

Sar  la fase cantieristica ed anche osservazionale ad indicare i tratti ove   opportuno realizzarle cunette "vive" al posto delle cunette in terra.

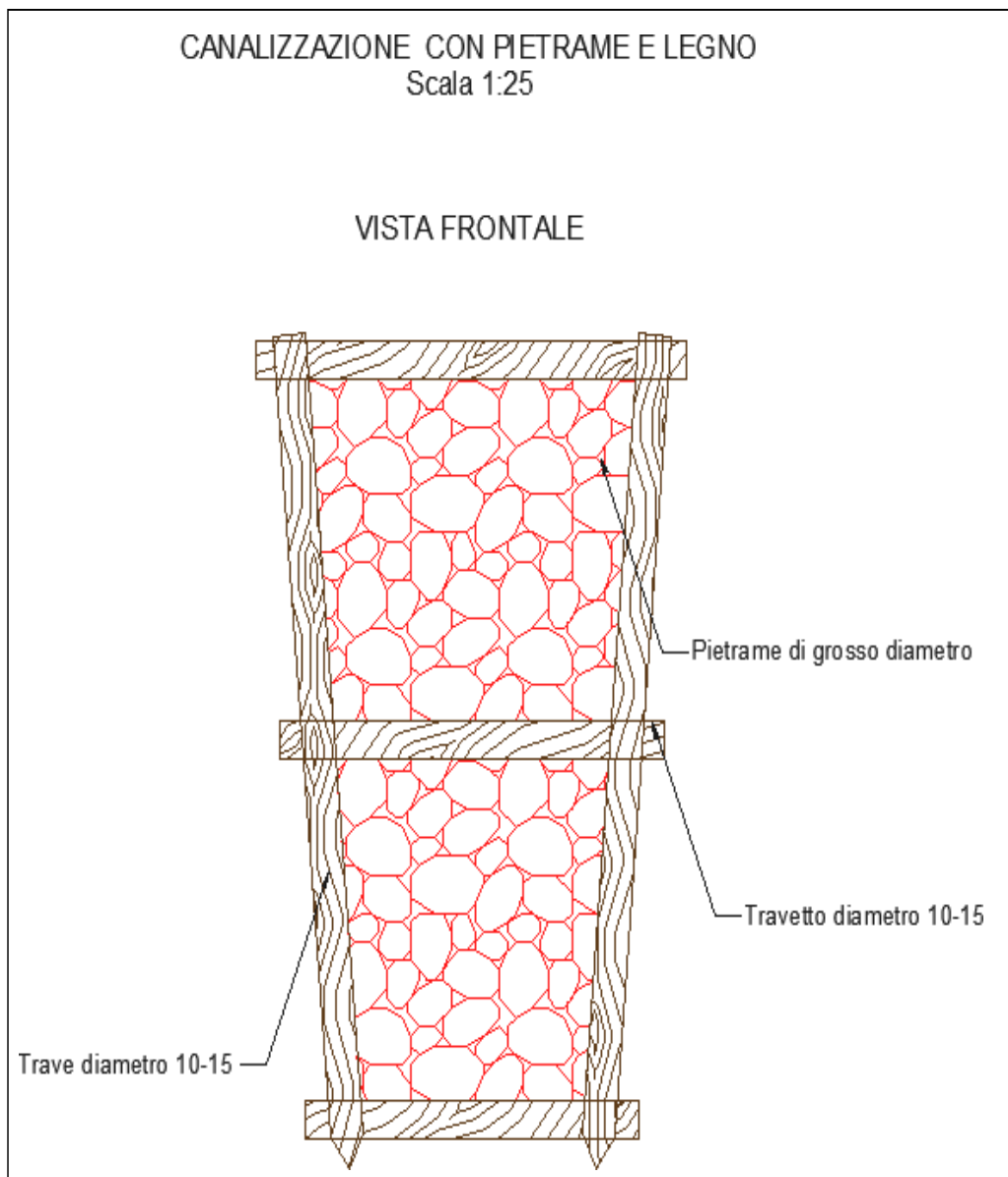
Esecuzione del lavoro: in un fosso a sezione trapezoidale vengono sistemati sul letto e sulle pareti del fosso, uno accanto all'altro, dei rami o delle stanghe vive in modo serrato, tenendoli fermi con pali vivi infissi nel terreno, ad intervalli da 2 a 4 m per mezzo di sagome in legno preparate in precedenza, oppure ad intervalli da 0,5 m fino ad 1 m uno dall'altro posti lungo le pareti del fosso.

Nel caso di portata idrica permanente si pu  consolidare il letto e la parte inferiore della parete del fosso con tavoloni.



❖ **Canalizzazioni in pietrame e legno:**

Nei casi di piccoli impluvi naturali che intercettano la viabilit  di progetto causando spesso solchi ed erosione puntuale si pu  prevedere la costruzione di canalizzazioni in legname e pietrame, di sezione trapezia avente lo scopo di convogliare le acque nei punti di recapito.



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

- ⇒ **Rocce permeabili per porosit **: Si tratta di rocce incoerenti e coerenti caratterizzate da una permeabilit  per porosit  che varia al variare del grado di cementazione e delle dimensioni granulometriche dei terreni presenti. In particolare la permeabilit  risulta essere media nella frazione sabbiosa fine mentre tende ad aumentare nei livelli sabbiosi grossolani e ghiaiosi. Rientrano in questo complesso i terreni afferenti ai Depositi di solifluzione e

dilavamento, Depositi alluvionali, Depositi marini terrazzati, Complesso calcarenitico-sabbioso ed il Complesso Arenaceo.

- ⇒ **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 ai Complessi argillosi.

Nello specifico, l'affioramento prevalente di terreni argillosi impermeabili e la limitata estensione degli affioramenti dei terreni permeabili in corrispondenza degli aerogeneratori M1, M2, M3, M5, M7, M8 e M14 non consente la formazione di falde freatiche di interesse.

Non sono presenti né pozzi né sorgenti nell'intorno di 500 m dagli aerogeneratori e quelli presenti ad Ovest degli aerogeneratori M01 e M03 non potranno mai essere interferiti per l'elevata distanza.

Anche il punto di prelievo di acqua potabile presente in prossimità della SS 190 ter, che utilizza la falda di sub alveo del Fiume Tacina, non potrà essere interferito dal cavidotto in quanto in questo tratto la strada si presenta su rilevato di spessore superiore a quanto previsto dagli scavi previsti per la posa del cavidotto. Ovviamente, per le sue caratteristiche idrogeologiche (falda di subalveo) e per la notevole distanza e differenza di quota dagli aerogeneratori non è neanche pensabile un'interferenza delle fondazioni degli aerogeneratori.

In corrispondenza del Complesso Arenaceo-Sabbioso Pliocenico (M3, M7, M8 e M9) sono presenti modesti livelli idrici sospesi evidenziati da una serie di sorgentelle stagionali di scarsa potenzialità e comunque afferenti a bacini di alimentazione esterni alle aree di ubicazione delle fondazioni degli aerogeneratori.

Nello specifico, come si evince dall'assenza di sorgenti nelle vicinanze delle fondazioni e dal fatto che le aree degli aerogeneratori sono ubicate sempre nella cresta dei versanti, in una posizione tale che le acque sotterranee vengono drenate rapidamente verso valle, non sono ipotizzabili effetti negativi dalla realizzazione delle opere in progetto sulla risorsa idrica.

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 30 metri. L'area in cui verrà realizzata la sottostazione è caratterizzata dalla presenza del Complesso argilloso e, quindi, non è presente una vera e propria falda freatica. Solo livelli idrici a carattere stagionale si possono formare nella coltre superficiale alterata.

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 gli aerogeneratori in progetto non interferiscono con il rischio idraulico del PAI né con la pericolosità e rischio idraulico indicati dal PGRA.

Si mette in evidenza, invece, che alcuni tratti di cavidotto attraversano "Aree di attenzione" del PAI ed aree a pericolosità/rischio individuate dal P.G.R.A. con livello "Alto" e con Rischio "R1" ed "R3".

In corrispondenza di questi tratti il cavidotto 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 A STAZIONE SINGOLA

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

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

Di seguito vengono riportati alcuni cenni riguardo la metodologia utilizzata.

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

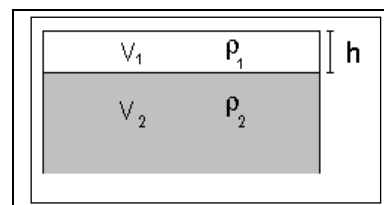
I primi studi su questa tecnica sono da attribuire a Kanai (1957) e da allora diversi metodi sono stati proposti per estrarre utili informazioni sul sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in sito.

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

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

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

Considerando lo schema illustrato nella figura sotto riportata si osserva che sono presenti due strati (1 e 2) che si differenziano per le densità (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 velocit  delle tre componenti del moto sono state ottenute dopo l'analisi con gli stessi parametri sopra riportati.

Le profondit  H delle discontinuit  sismiche sono state ricavate tramite la formula sotto riportata, in cui:

- ✓ V_0   la velocit  al tetto dello strato;
- ✓ ad un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.);
- ✓ ν la frequenza fondamentale di risonanza.

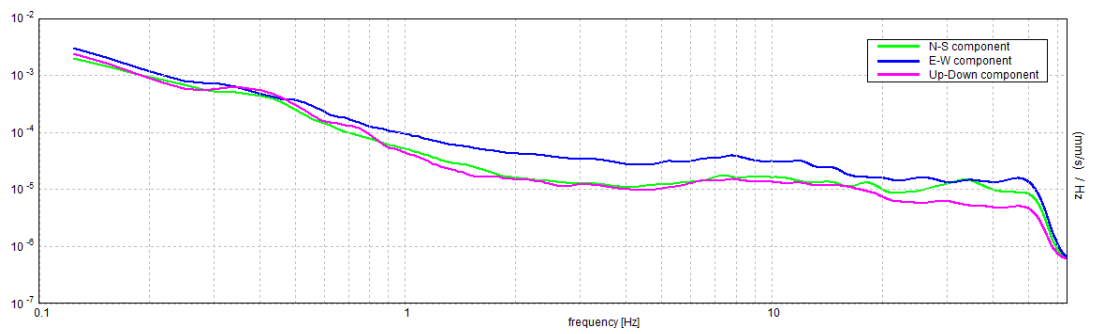
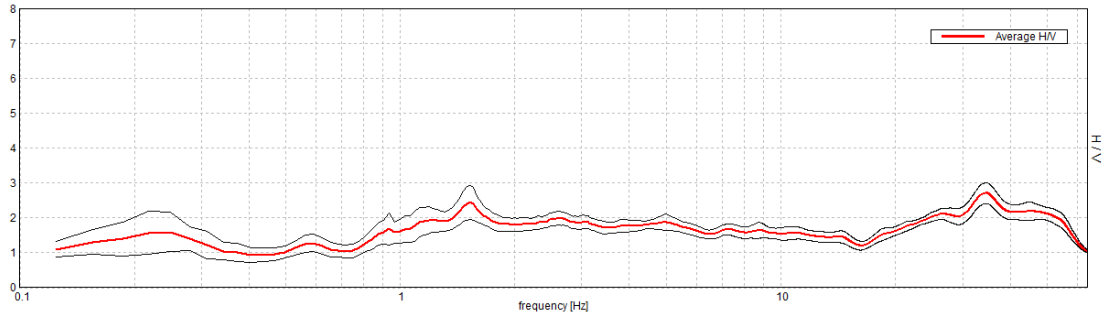
$$H = \left[\frac{V_0(1-\alpha)}{4\nu} + 1 \right]^{1/(1-\alpha)} - 1$$

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.

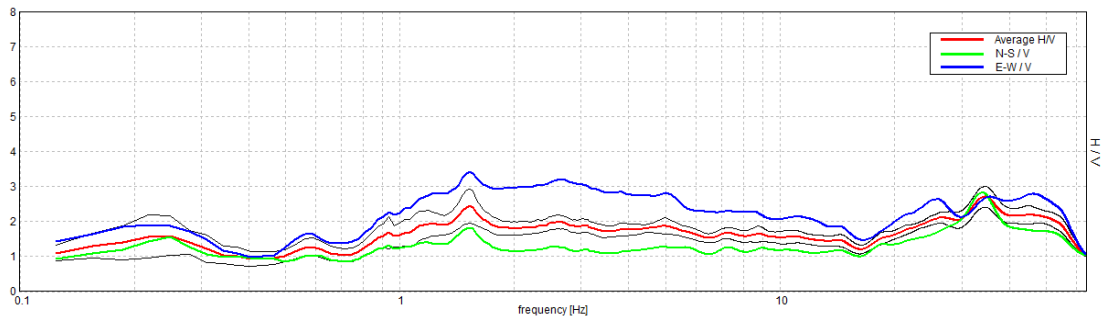
I dati sperimentali ricavate dalle indagini di sismica passiva a stazione singola permettono di ricavare una stima delle velocit  delle onde di taglio V_s .

Sondaggio tromografico T1

Max. H/V at 34.66 ± 15.83 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

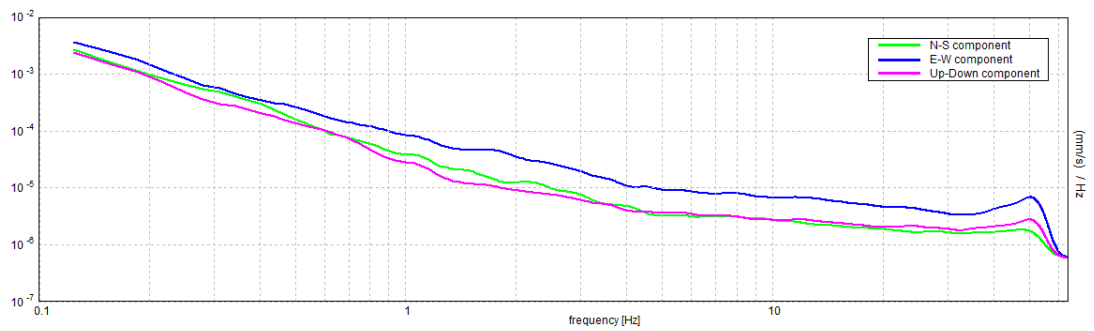
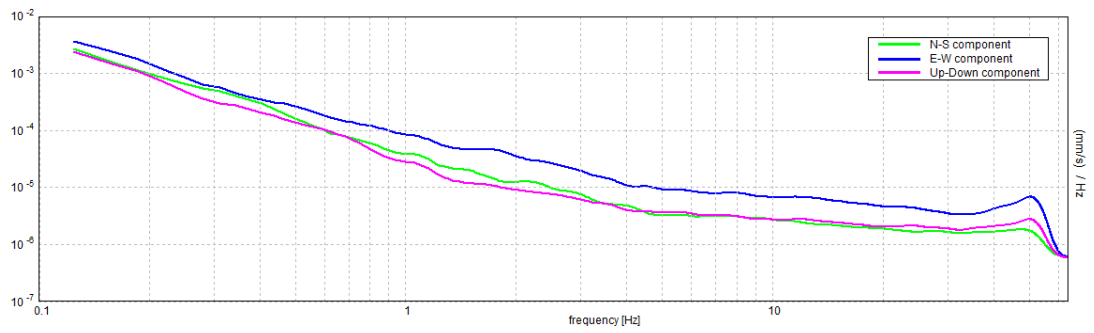
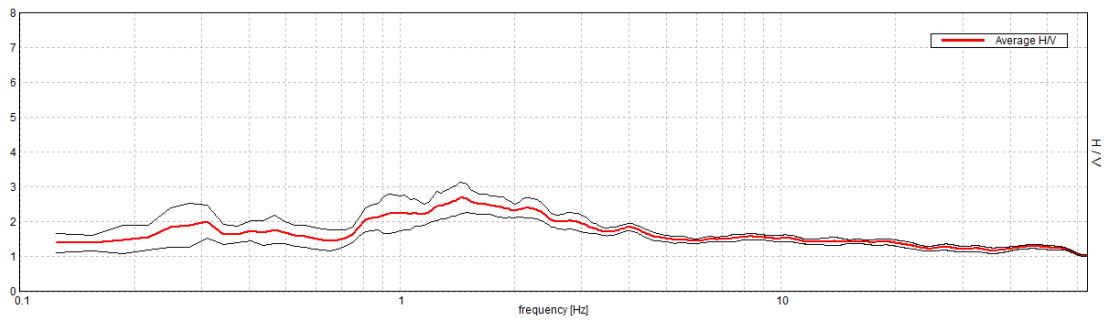


Max. H/V at 34.66 ± 15.83 Hz. Max.(N-S)/V: 34.06 ± 12.06 Hz. Max.(E-W)/V: 1.53 ± 0.38 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

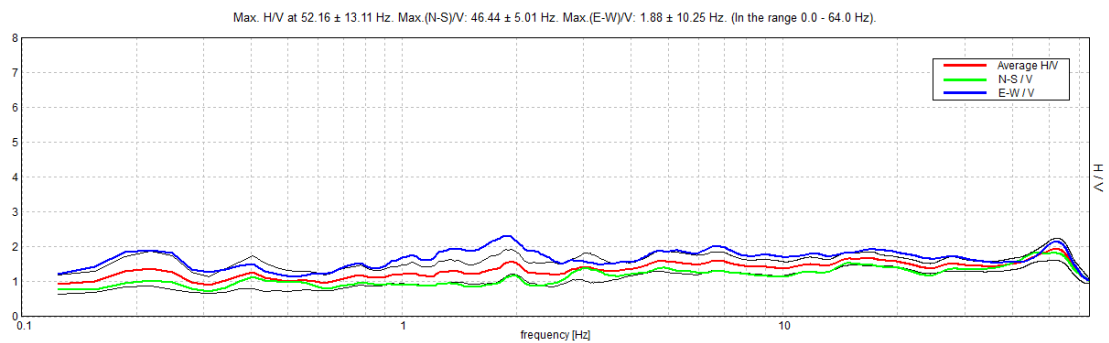
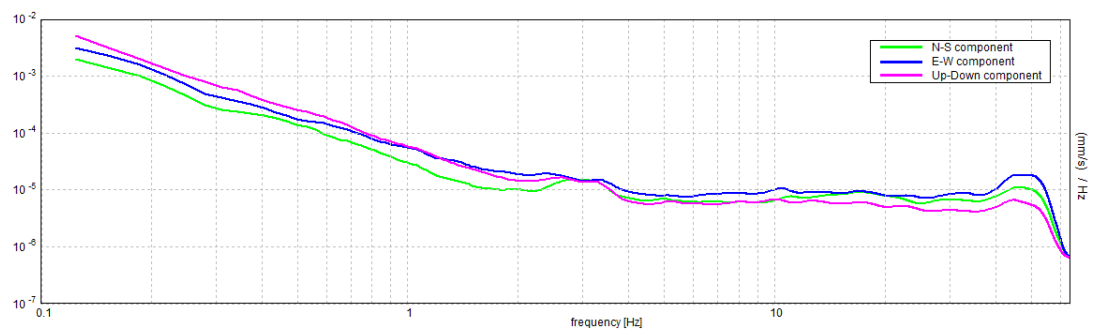
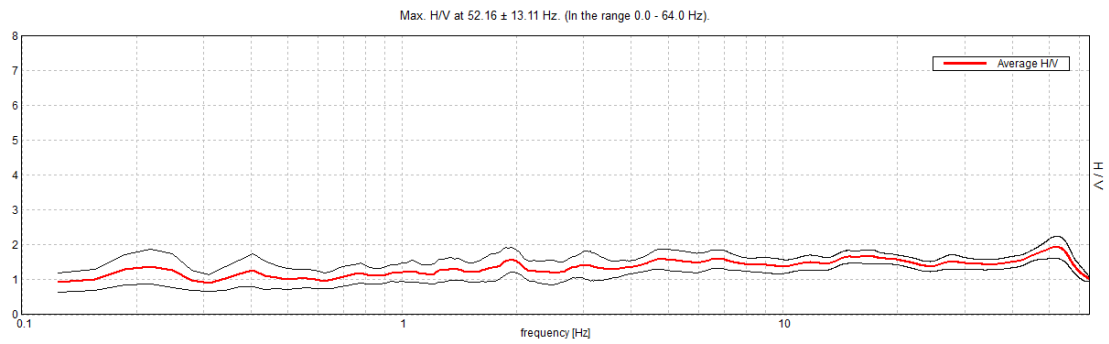


Sondaggio tomografico T2

Max. HVV at 1.47 ± 0.25 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

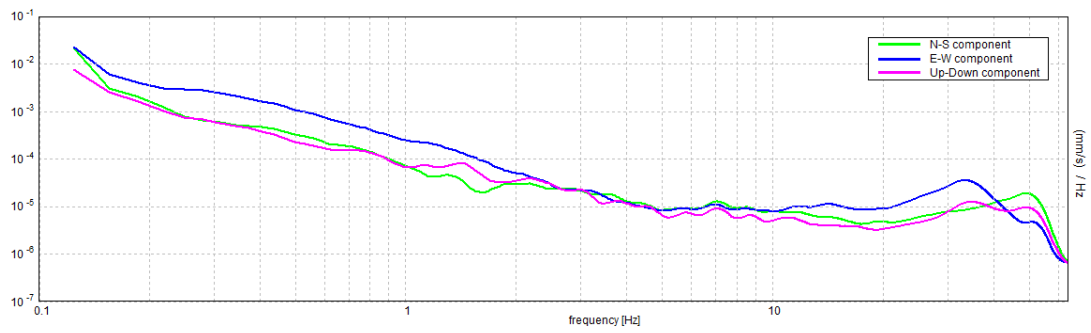
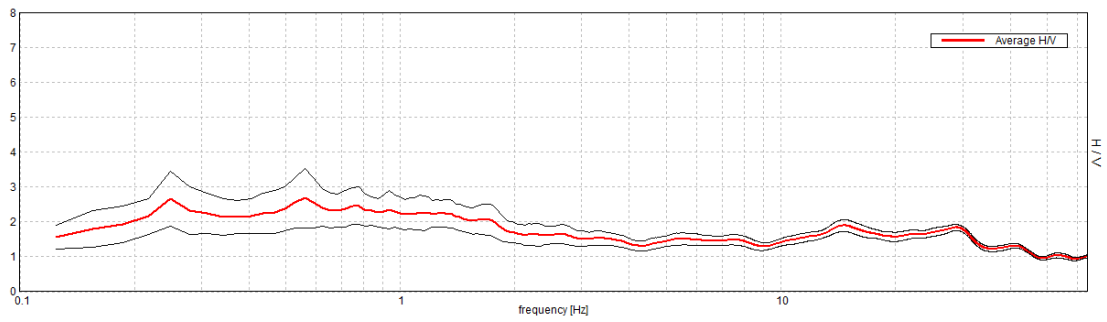


Sondaggio tromografico T3

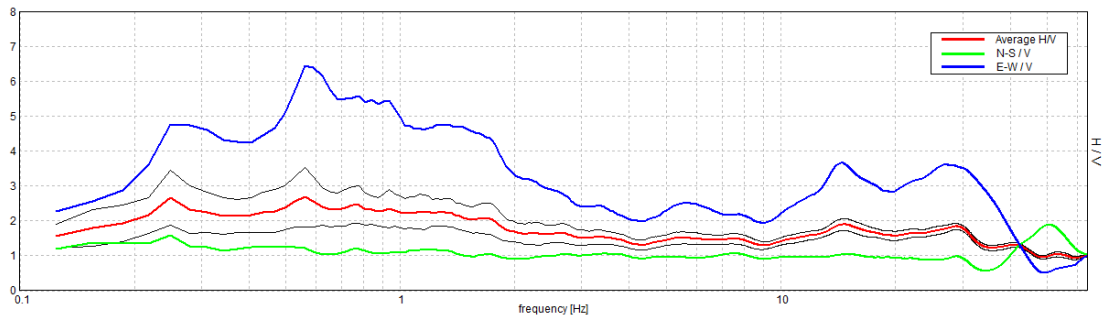


Sondaggio tomografico T4

Max. H/V at 0.56 ± 0.09 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

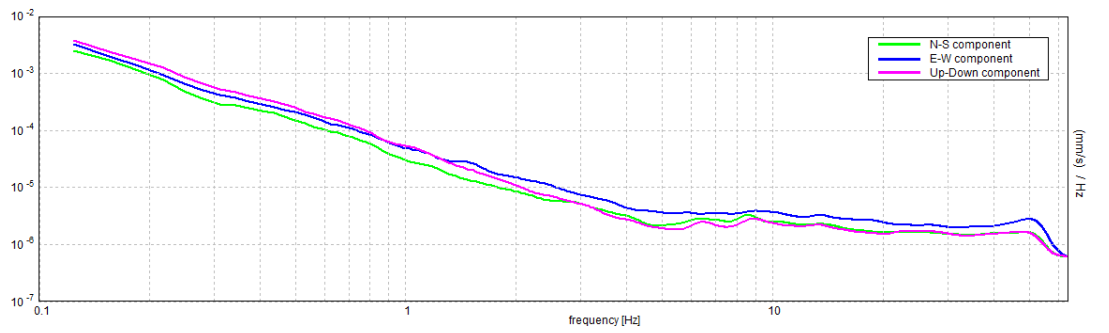
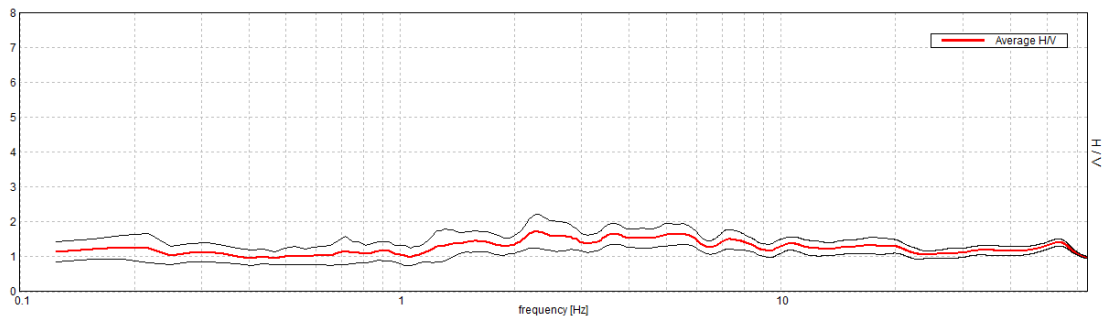


Max. H/V at 0.56 ± 0.09 Hz. Max (N-S)/V: 50.63 ± 28.96 Hz. Max (E-W)/V: 0.56 ± 0.17 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz)

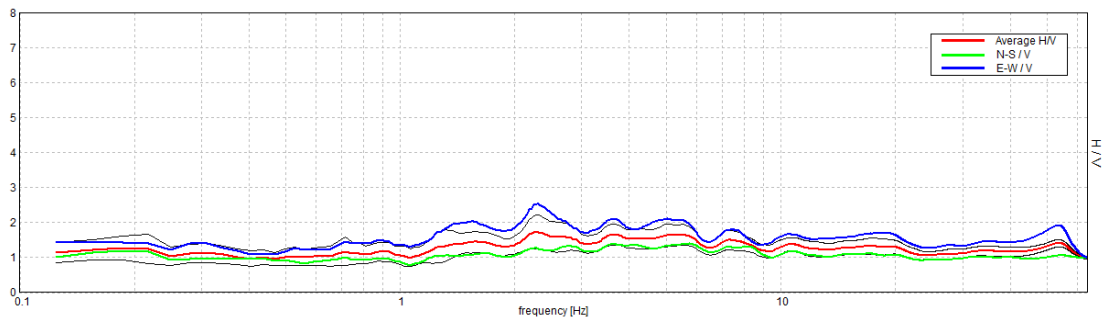


Sondaggio tomografico T5

Max. H/V at 2.28 ± 34.25 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

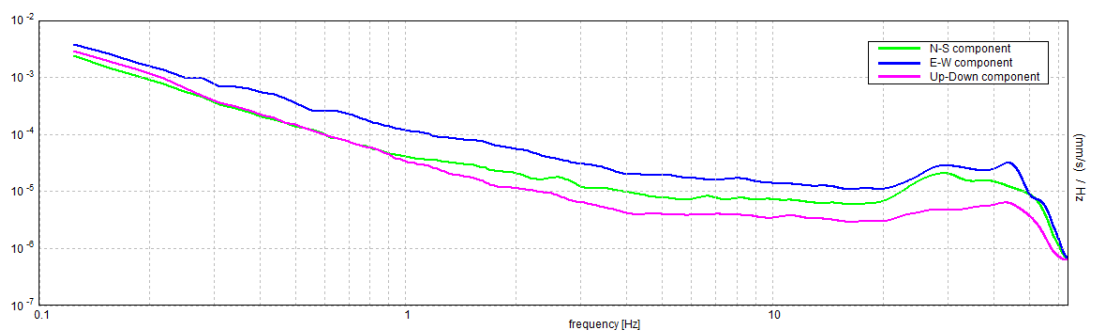
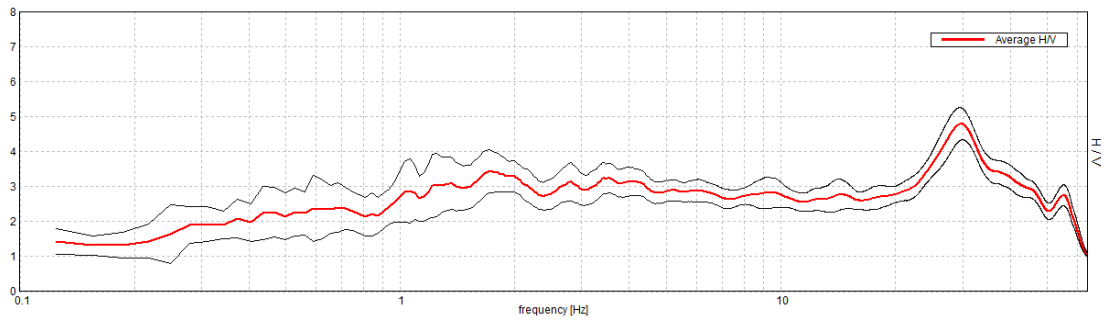


Max. H/V at 2.28 ± 34.25 Hz. Max. (N-S)/V: 5.72 ± 12.83 Hz. Max. (E-W)/V: 2.28 ± 32.71 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

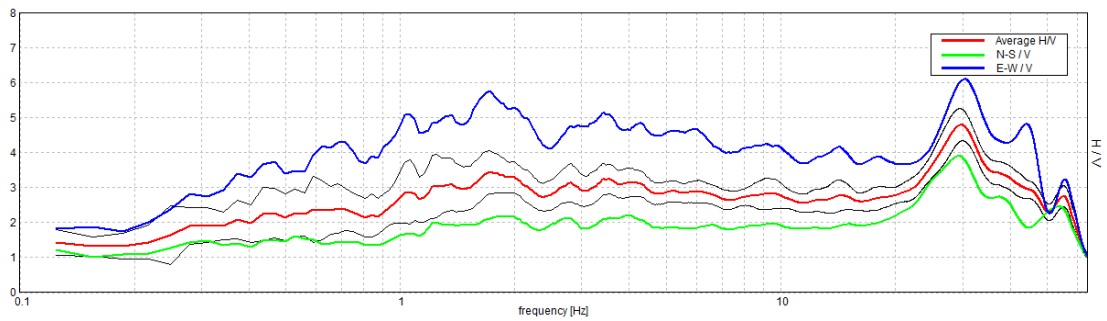


Sondaggio tomografico T6

Max. H/V at 29.69 ± 2.49 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

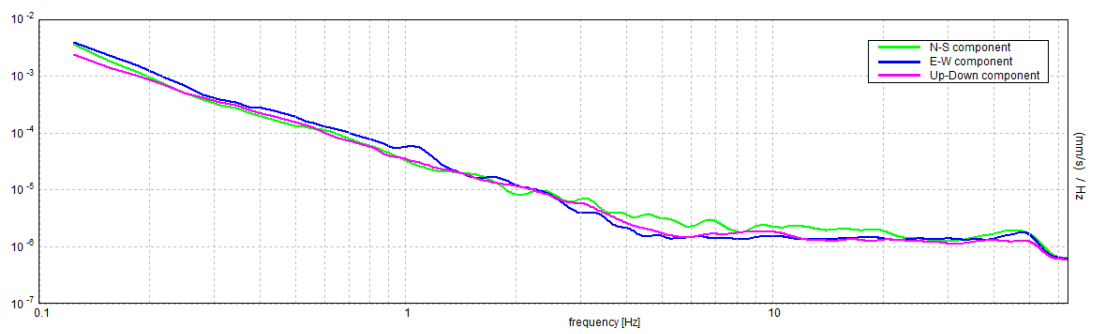
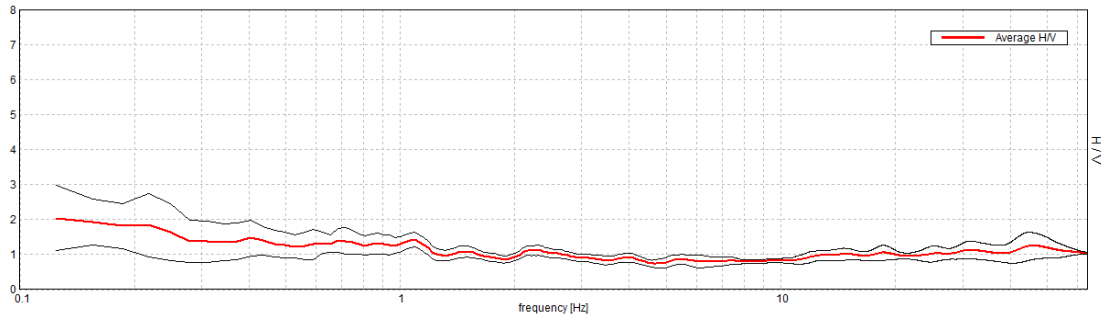


Max. H/V at 29.69 ± 2.49 Hz. Max.(N-S)/V: 29.06 ± 2.31 Hz. Max.(E-W)/V: 30.5 ± 2.54 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

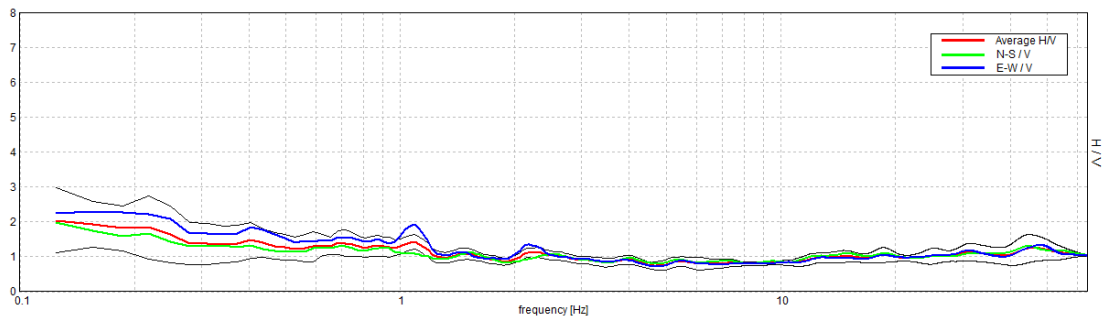


Sondaggio tromografico T7

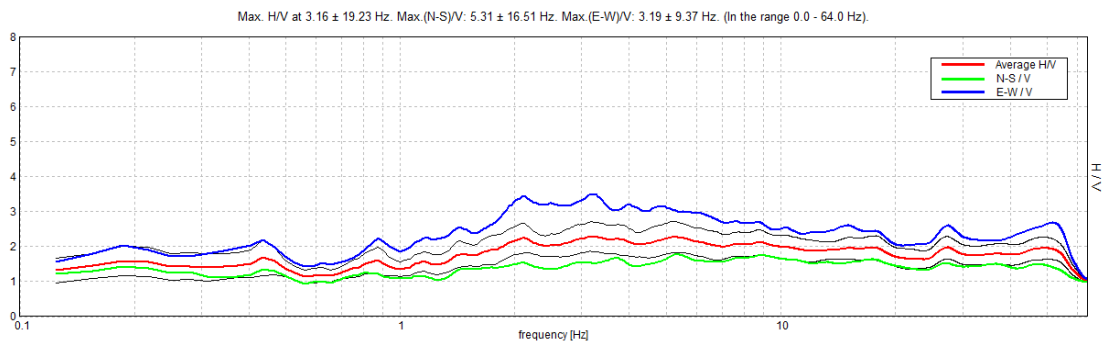
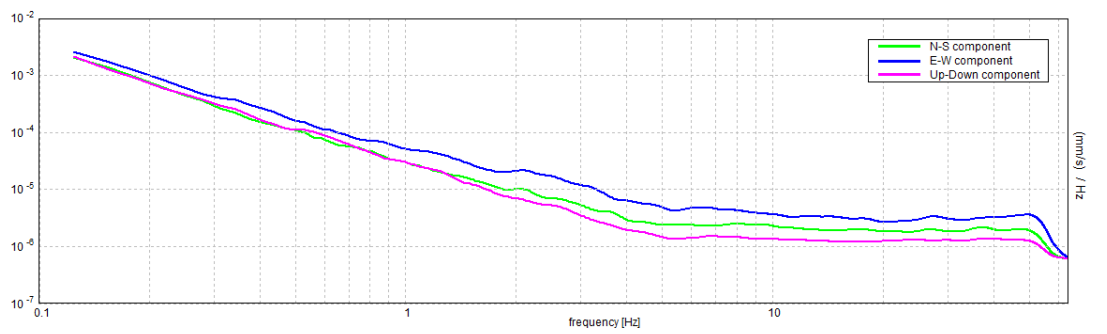
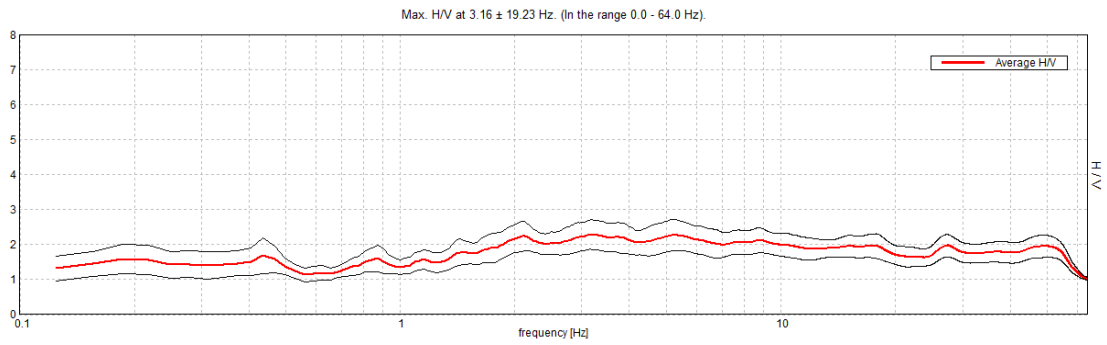
Max. H/V at 0.13 ± 0.02 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



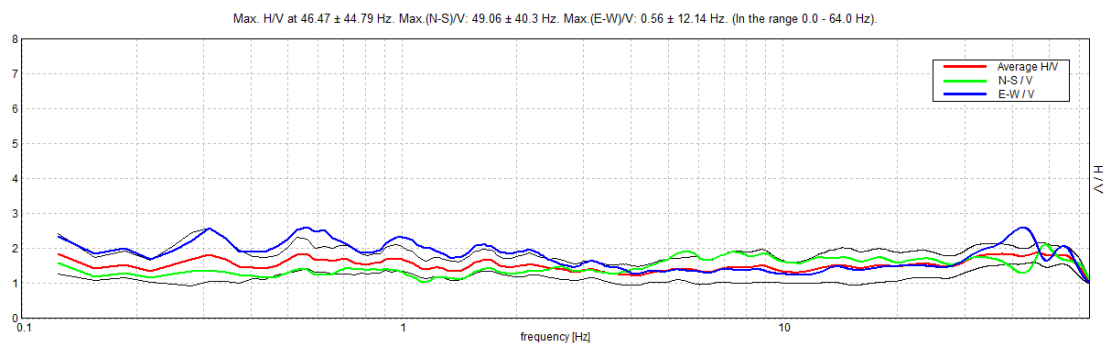
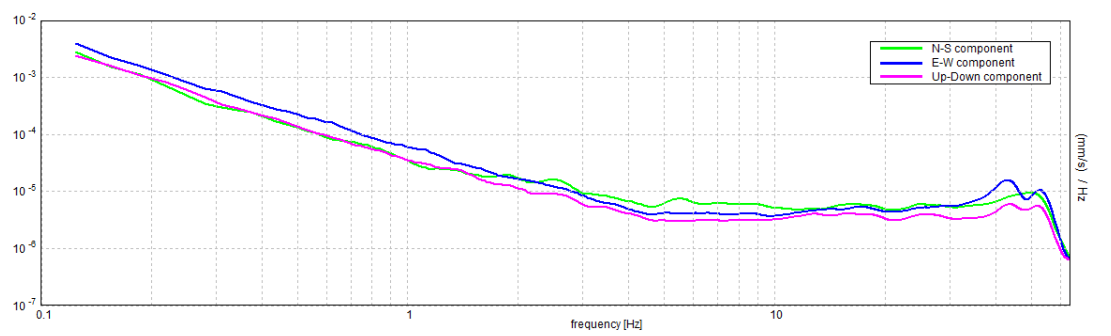
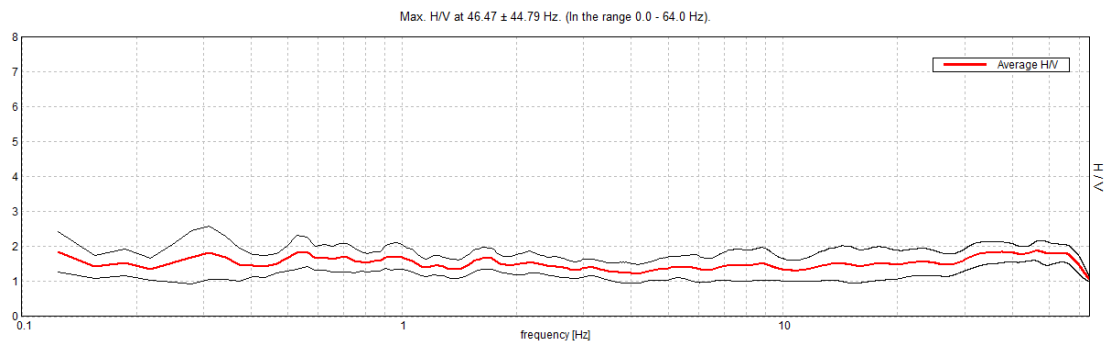
Max. H/V at 0.13 ± 0.02 Hz. Max.(N-S)/V: 0.13 ± 0.11 Hz. Max.(E-W)/V: 0.16 ± 0.12 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



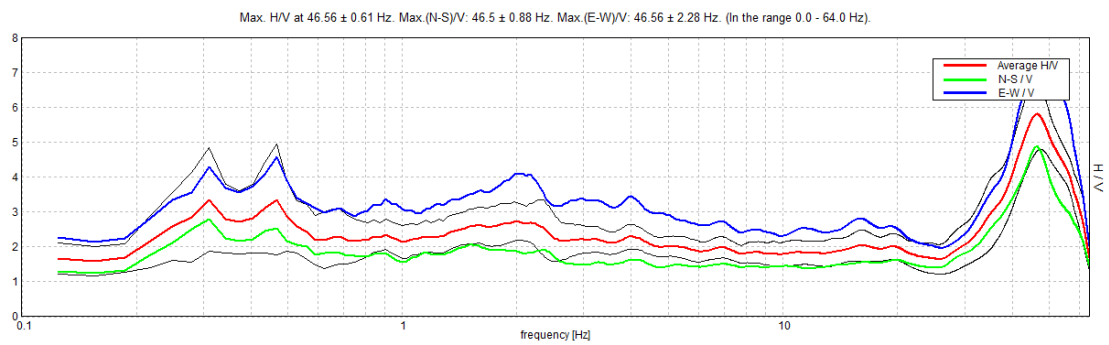
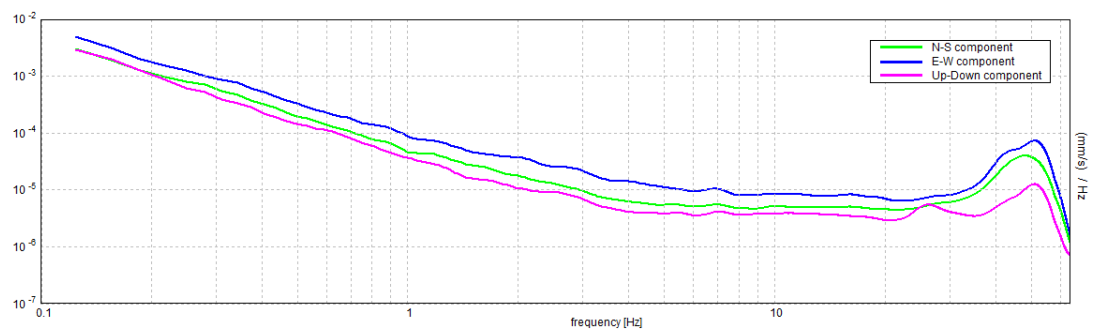
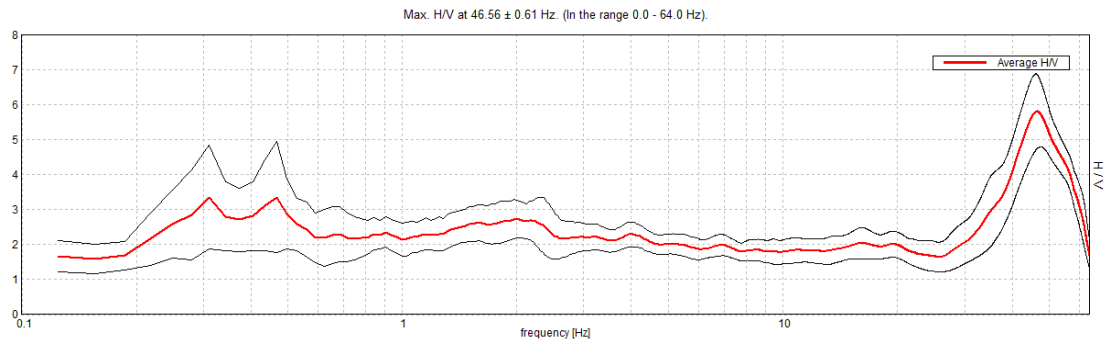
Sondaggio tomografico T8



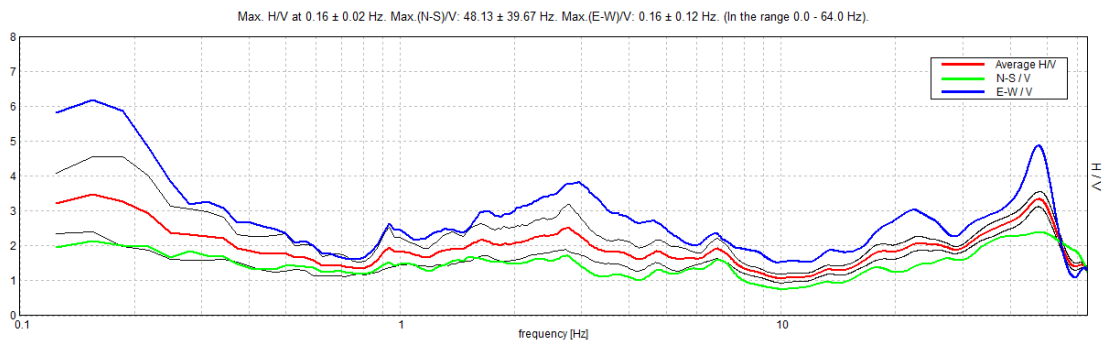
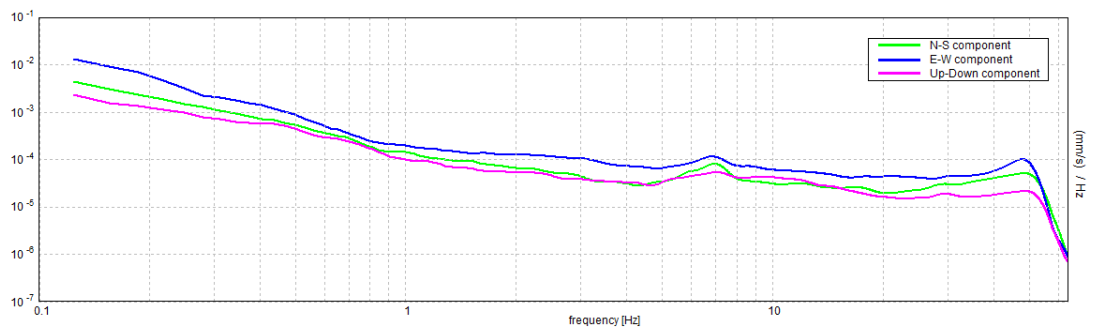
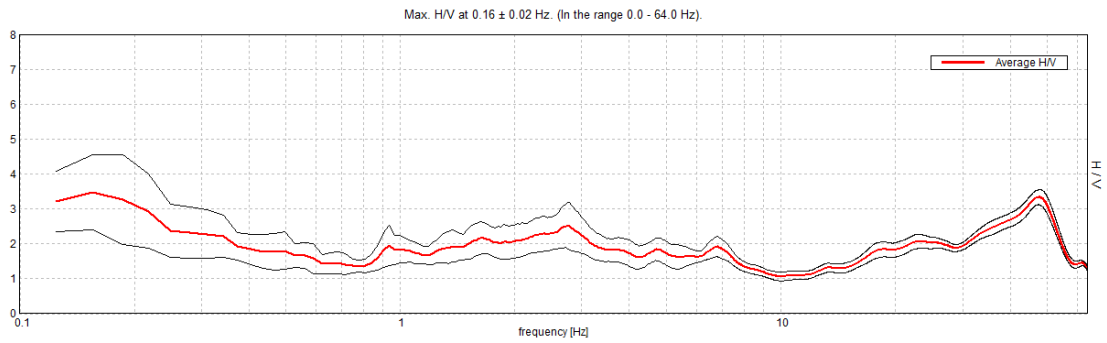
Sondaggio tomografico T9



Sondaggio tromografico T10

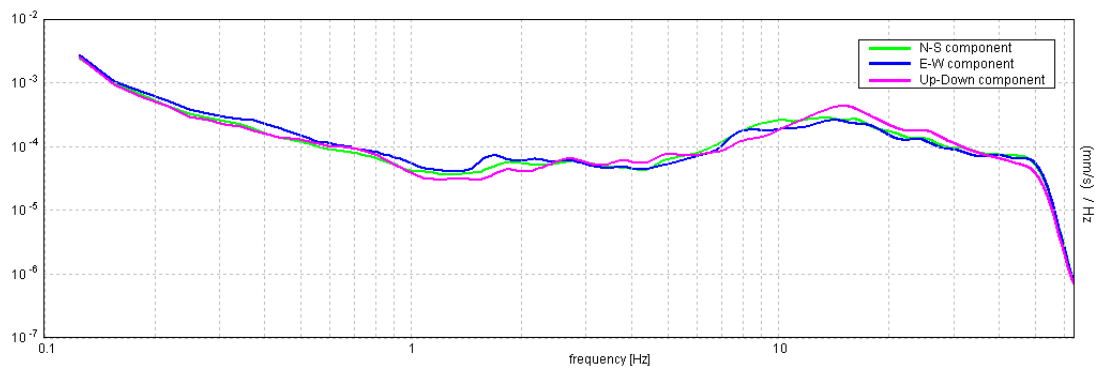
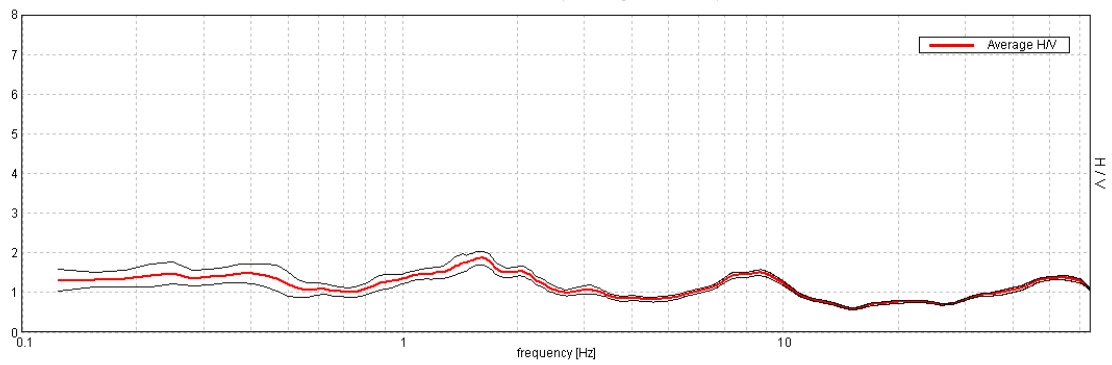


Sondaggio tomografico T11

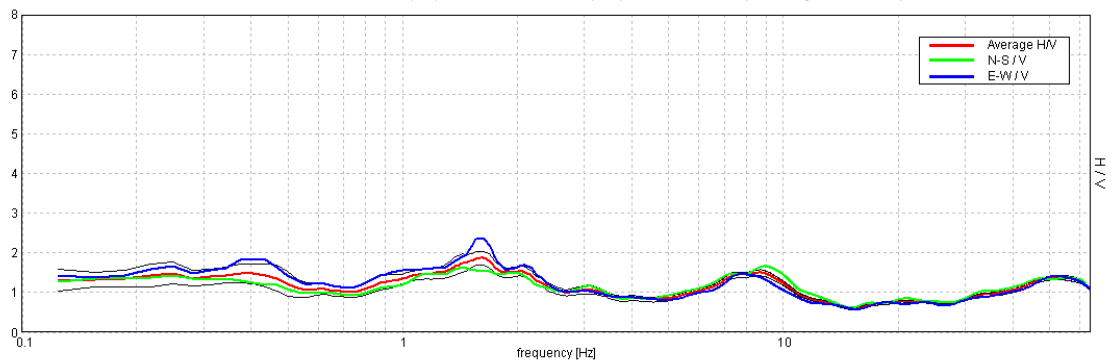


Sondaggio tromografico T12

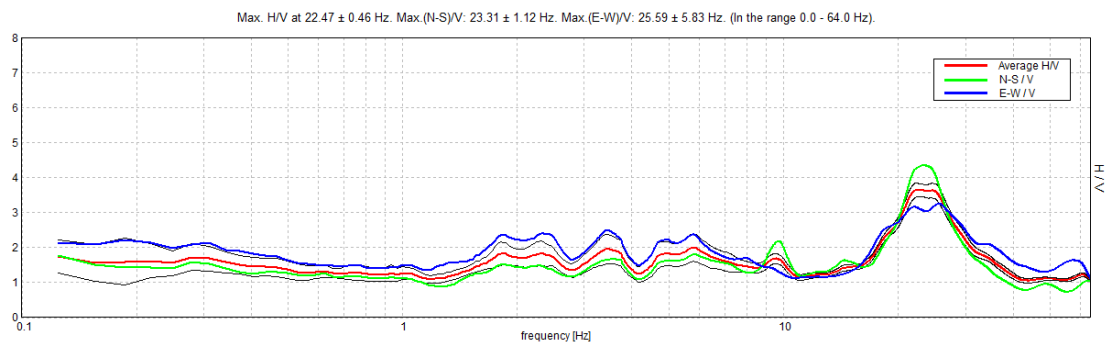
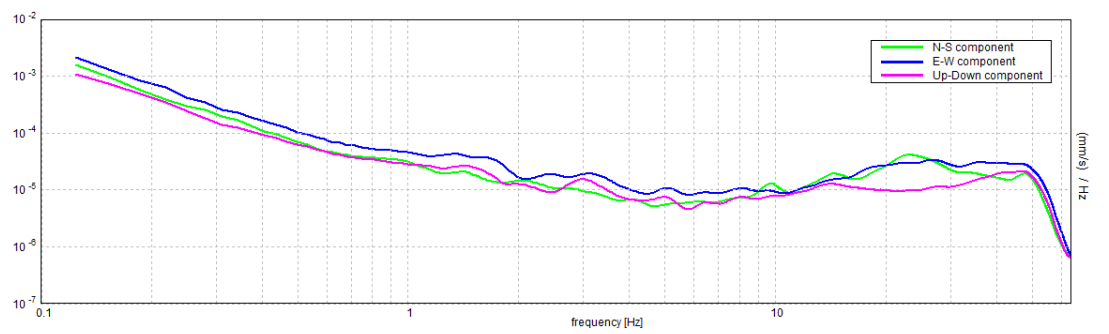
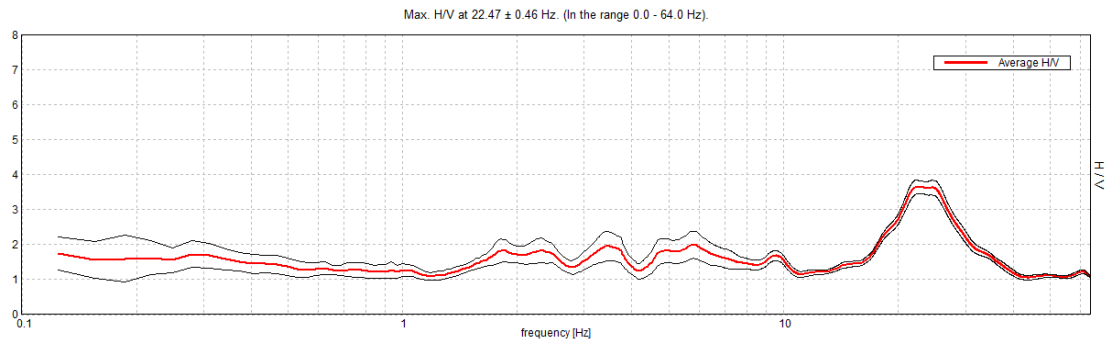
Max. HV at 1.63 ± 0.49 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Max. HV at 1.63 ± 0.49 Hz. Max.(N-S)/V: 8.94 ± 7.54 Hz. Max.(E-W)/V: 1.63 ± 0.41 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

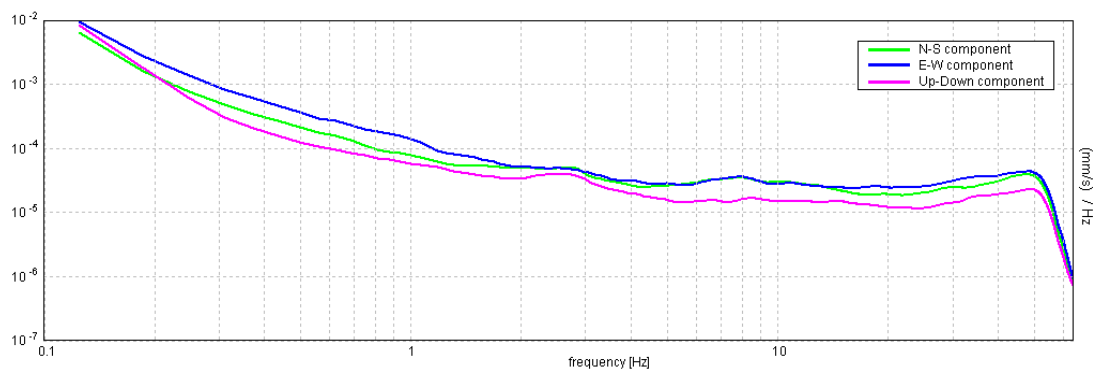
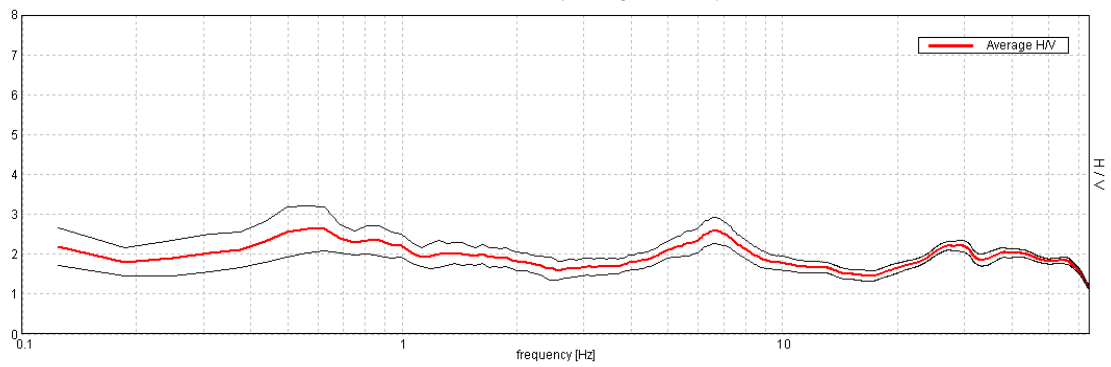


Sondaggio tromografico T13

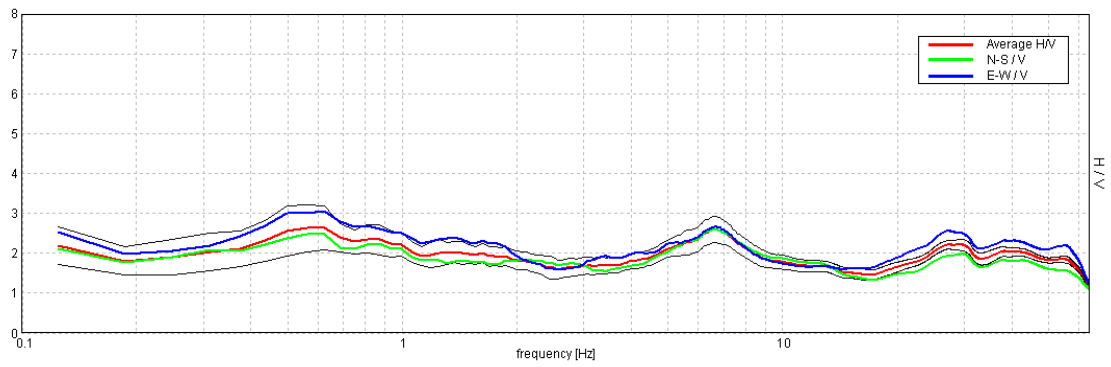


Sondaggio tomografico T14

Max. HVV at 0.63 ± 3.79 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

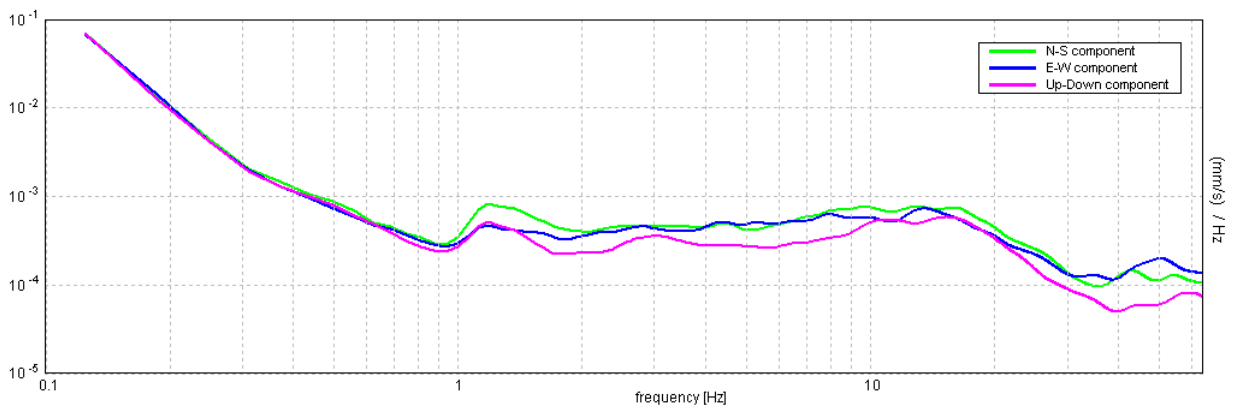
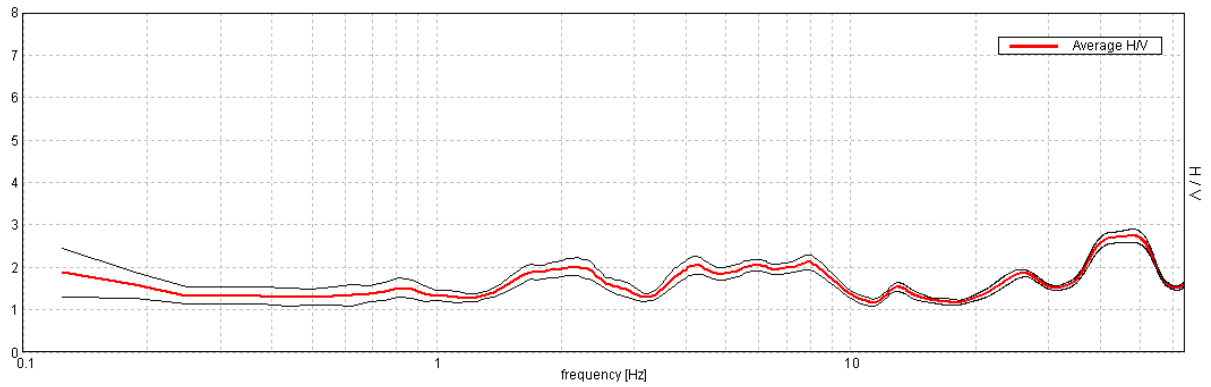


Max. HVV at 0.63 ± 3.79 Hz. Max. (N-S)V: 6.56 ± 3.59 Hz. Max. (E-W)V: 0.63 ± 2.11 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

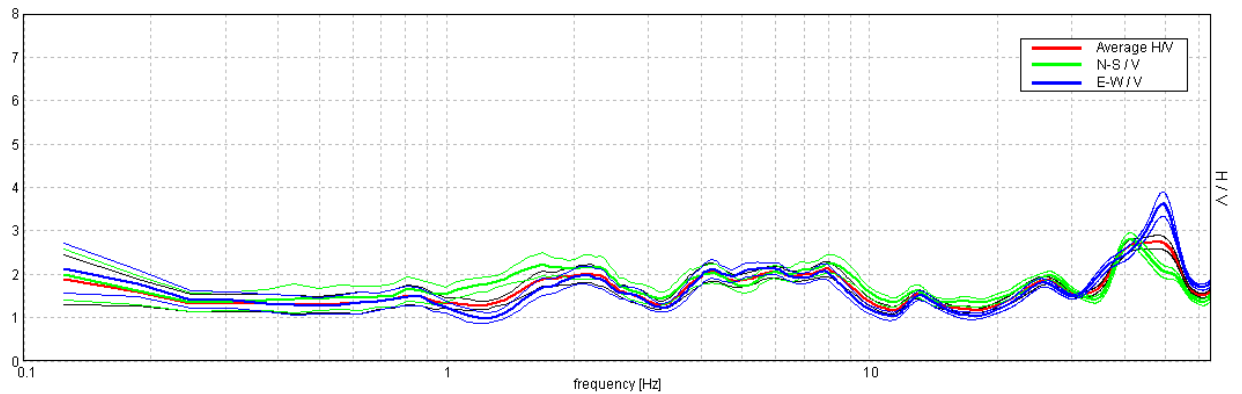


Sondaggio tromografico Tsott

Max. H/V at 47.81 ± 0.47 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Max. H/V at 47.81 ± 0.47 Hz. Max. (N-S)/V: 41.25 ± 3.0 Hz. Max. (E-W)/V: 49.31 ± 0.34 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



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

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

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

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

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

e

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

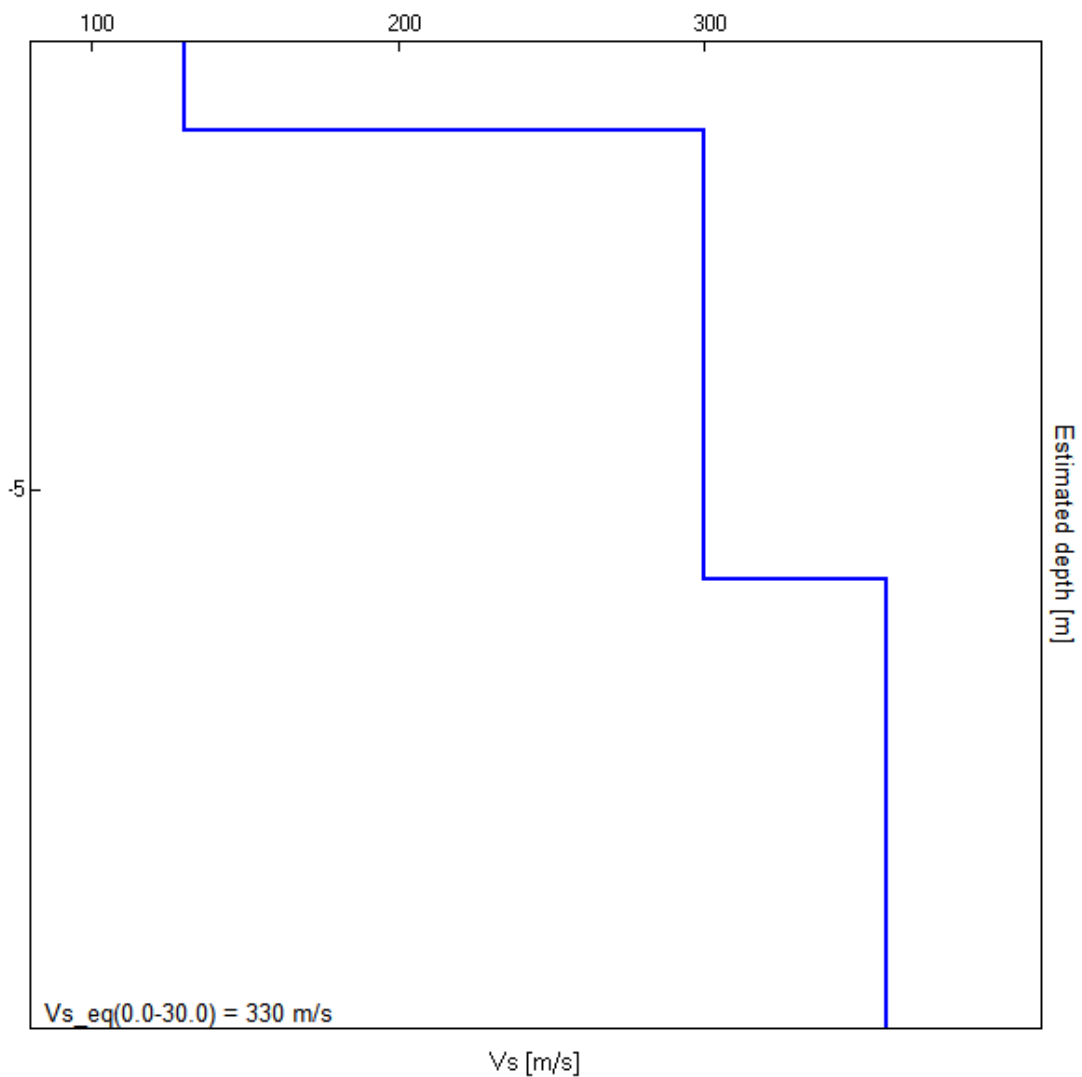
da cui si ricava

$$V = 4 f_r h$$

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

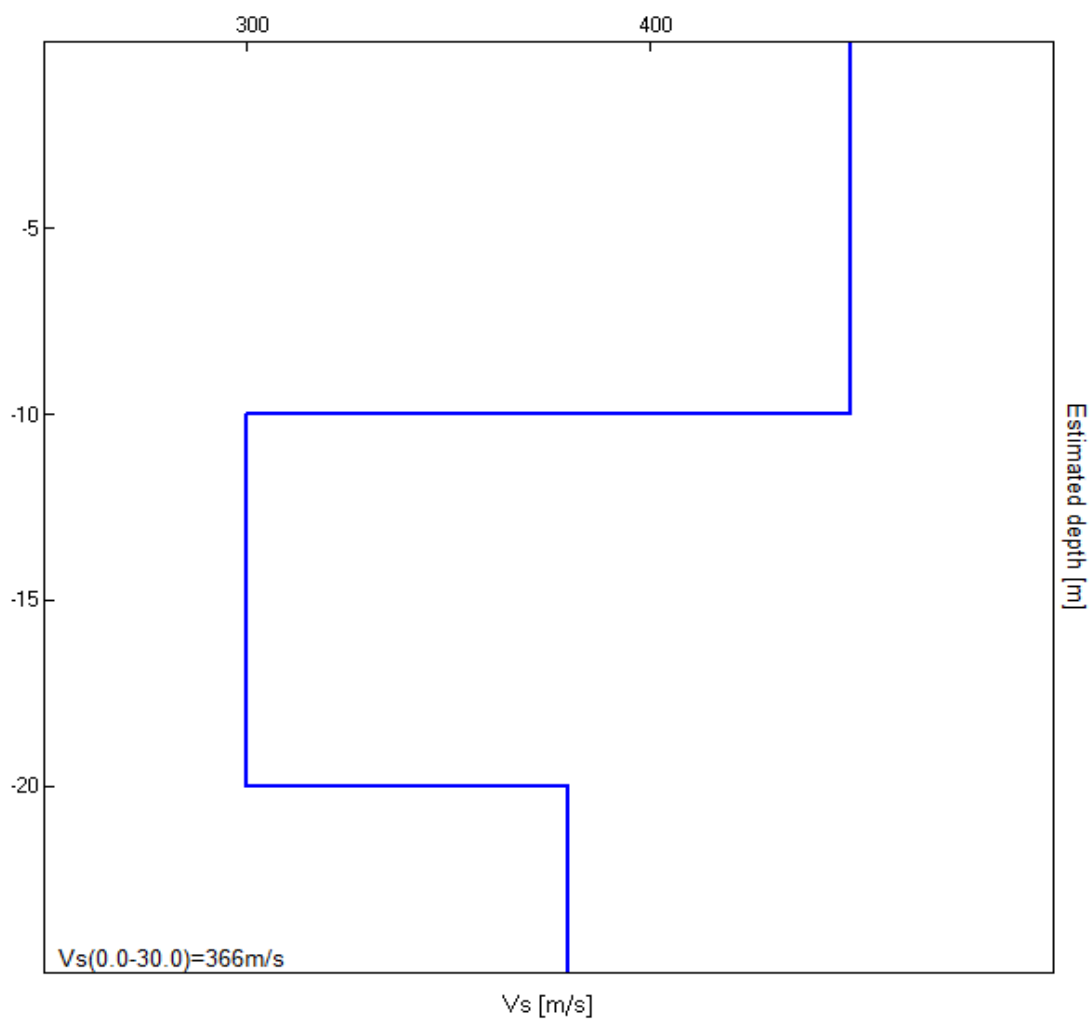
Sondaggio tomografico T1

Profondit� (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	



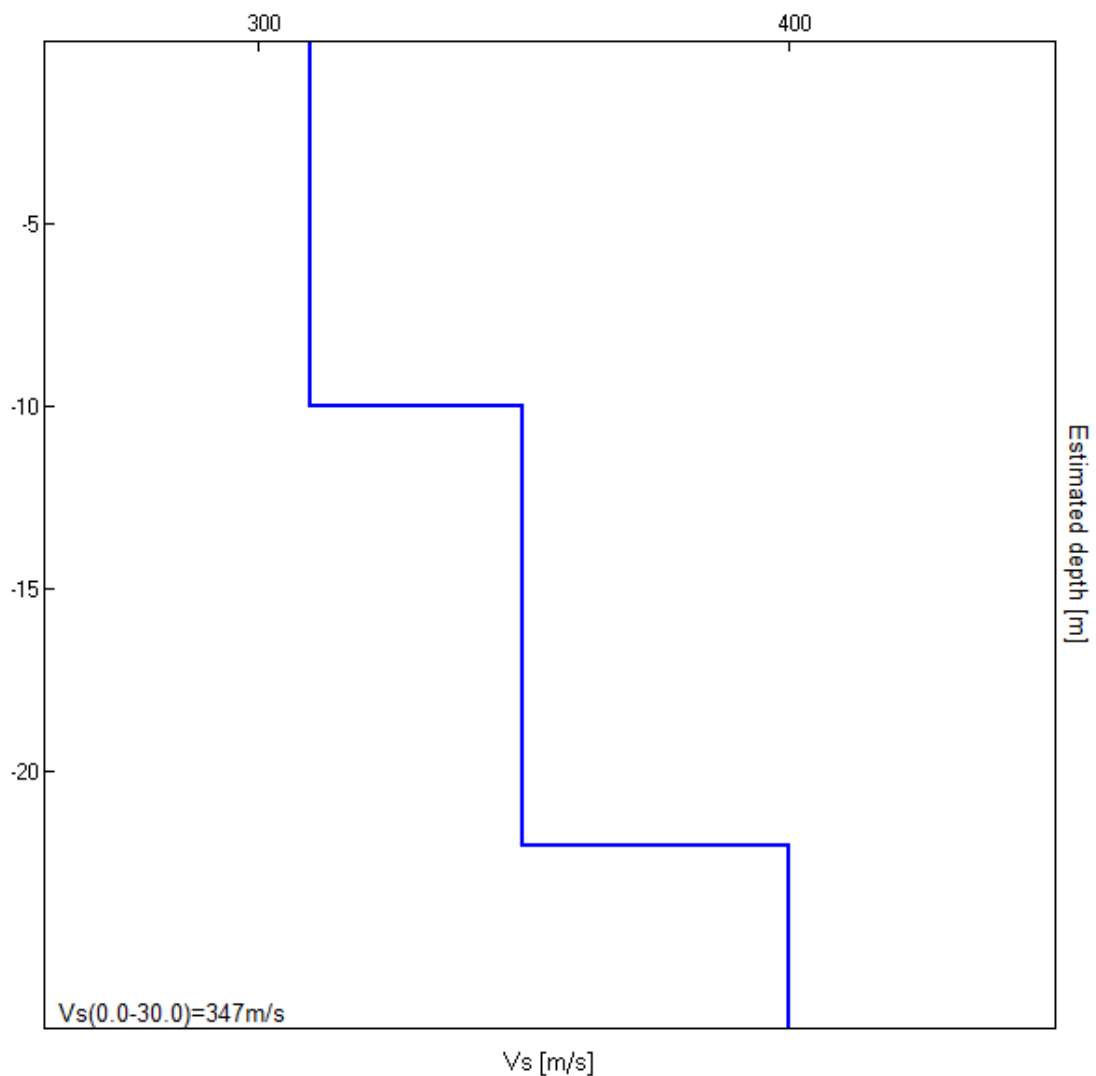
Sondaggio tomografico T2

Profondit� (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	



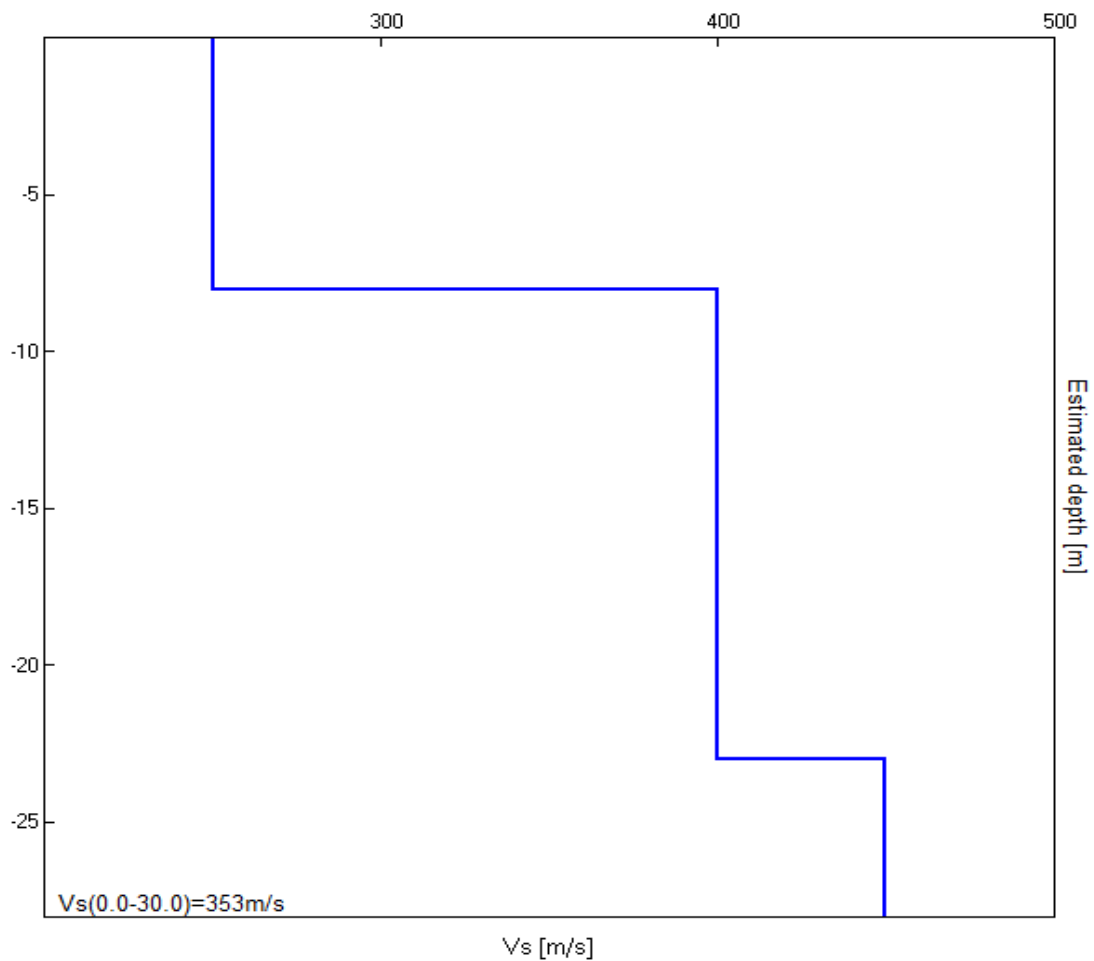
Sondaggio tromografico T3

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



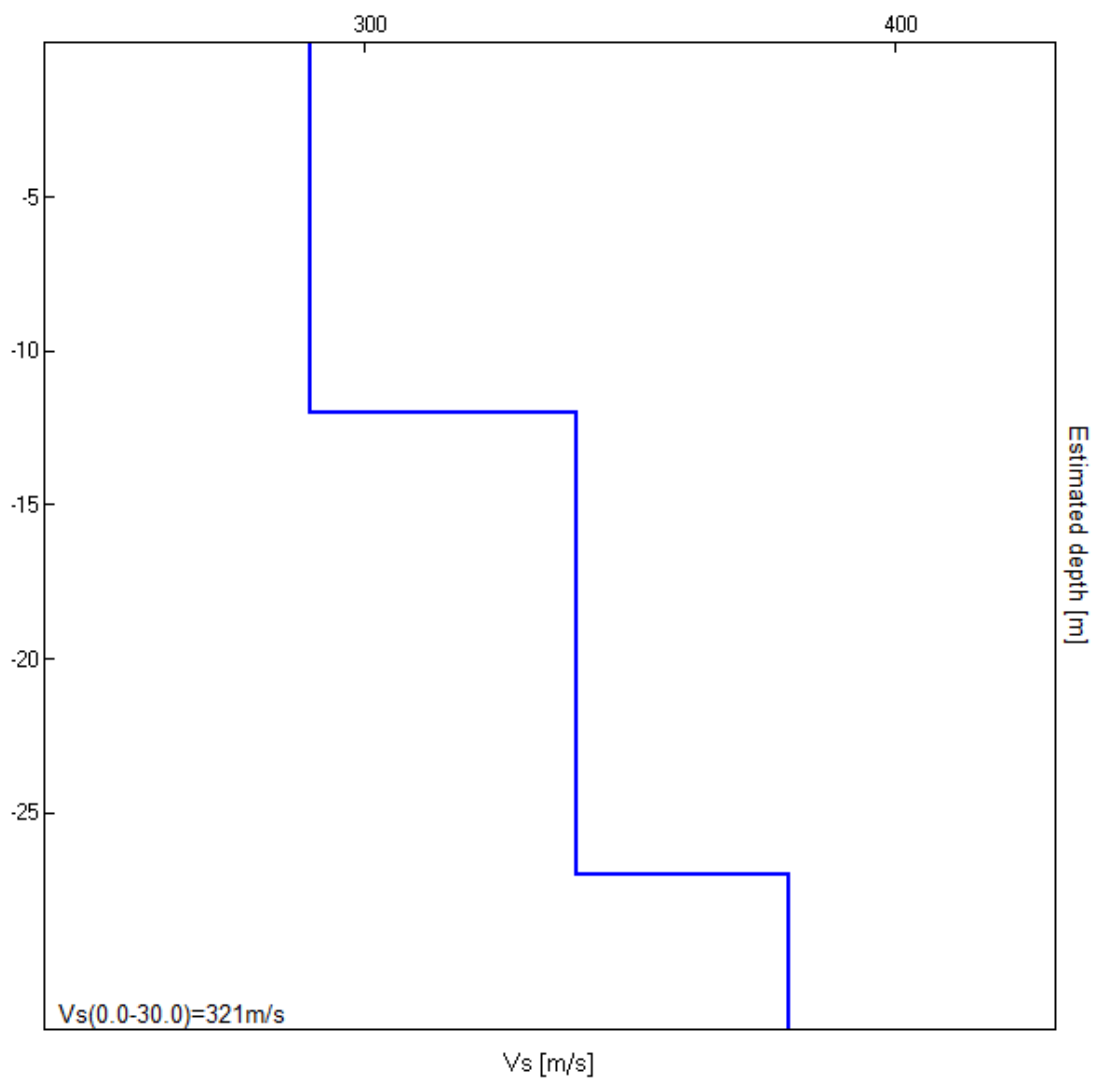
Sondaggio tromografico T4

Profondit� (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 8.00	250	C	C (Vs,eq =353 m/s)
8.00 – 23.00	400	B	
23.00 – 30.00	450	B	



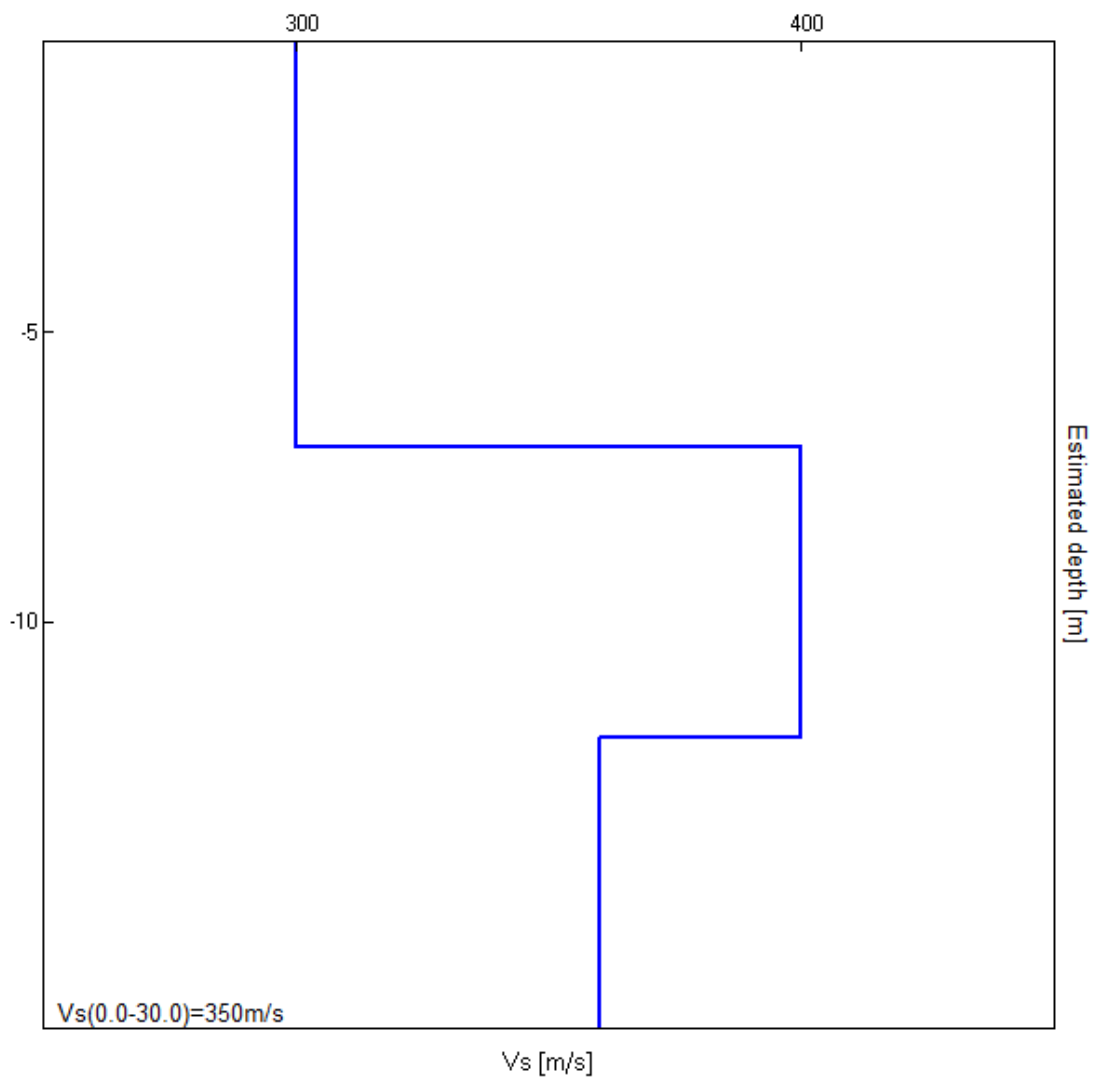
Sondaggio tomografico T5

Profondit� (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 12.00	290	C	C (Vs,eq =321 m/s)
12.00 -27.00	340	C	
27.00 – 30.00	380	B	



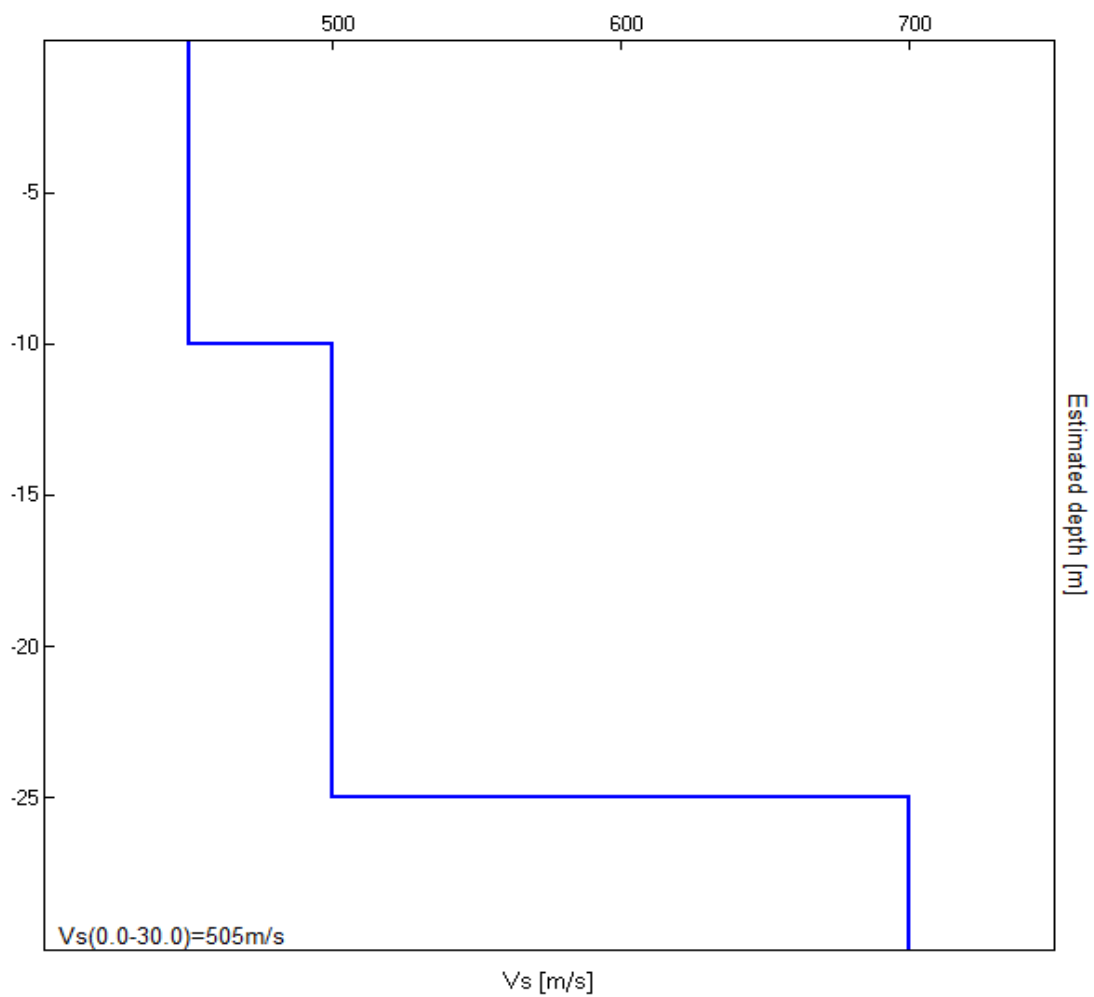
Sondaggio tomografico T6

Profondit� (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 7.00	300	C	C (Vs,eq =350 m/s)
7.00 – 12.00	400	B	
12.00 – 30.00	360	B	



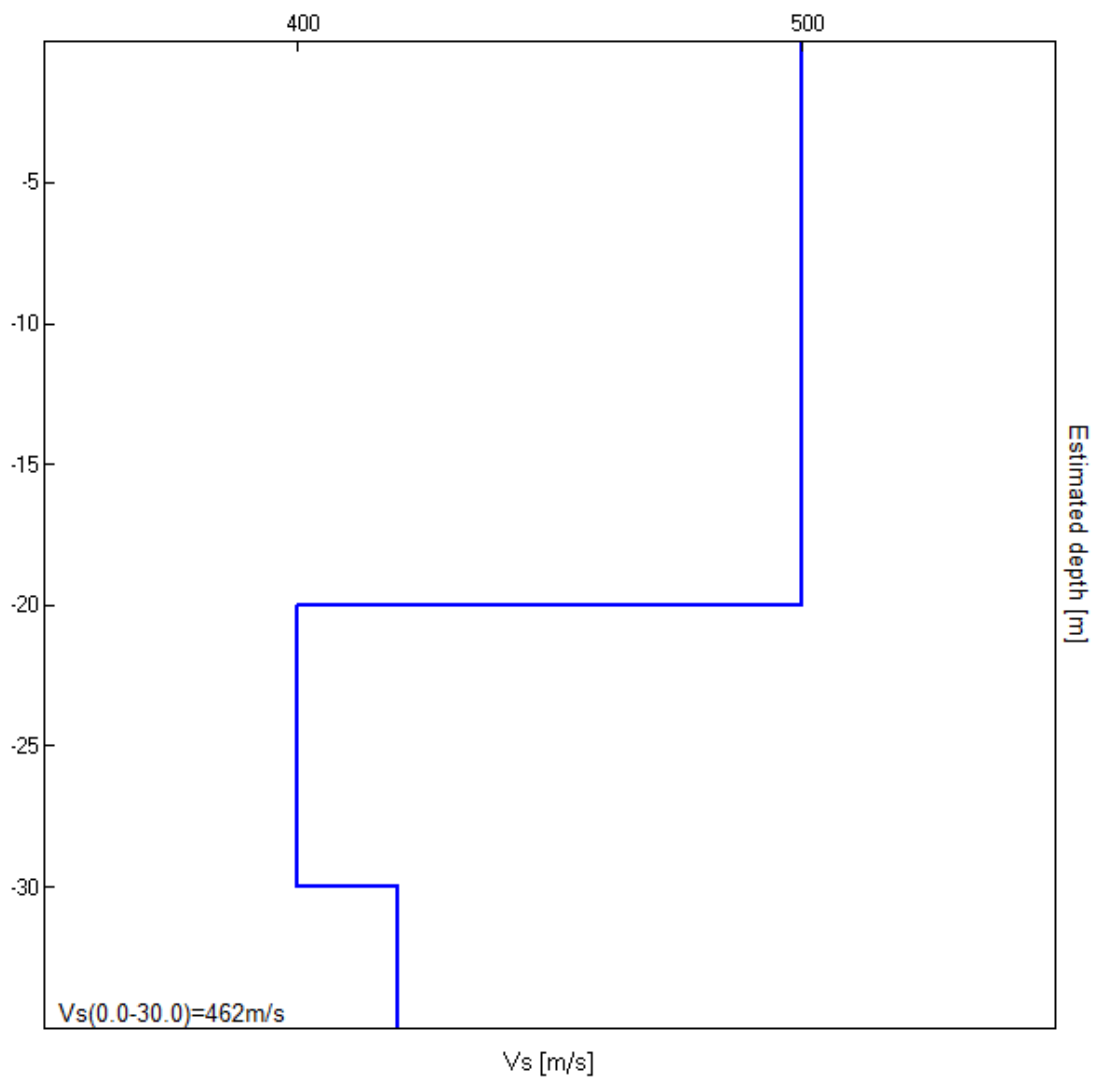
Sondaggio tomografico T7

Profondit� (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 10.00	450	B	B (Vs,eq =505 m/s)
10.00 – 25.00	500	B	
25.00 – 30.00	700	B	



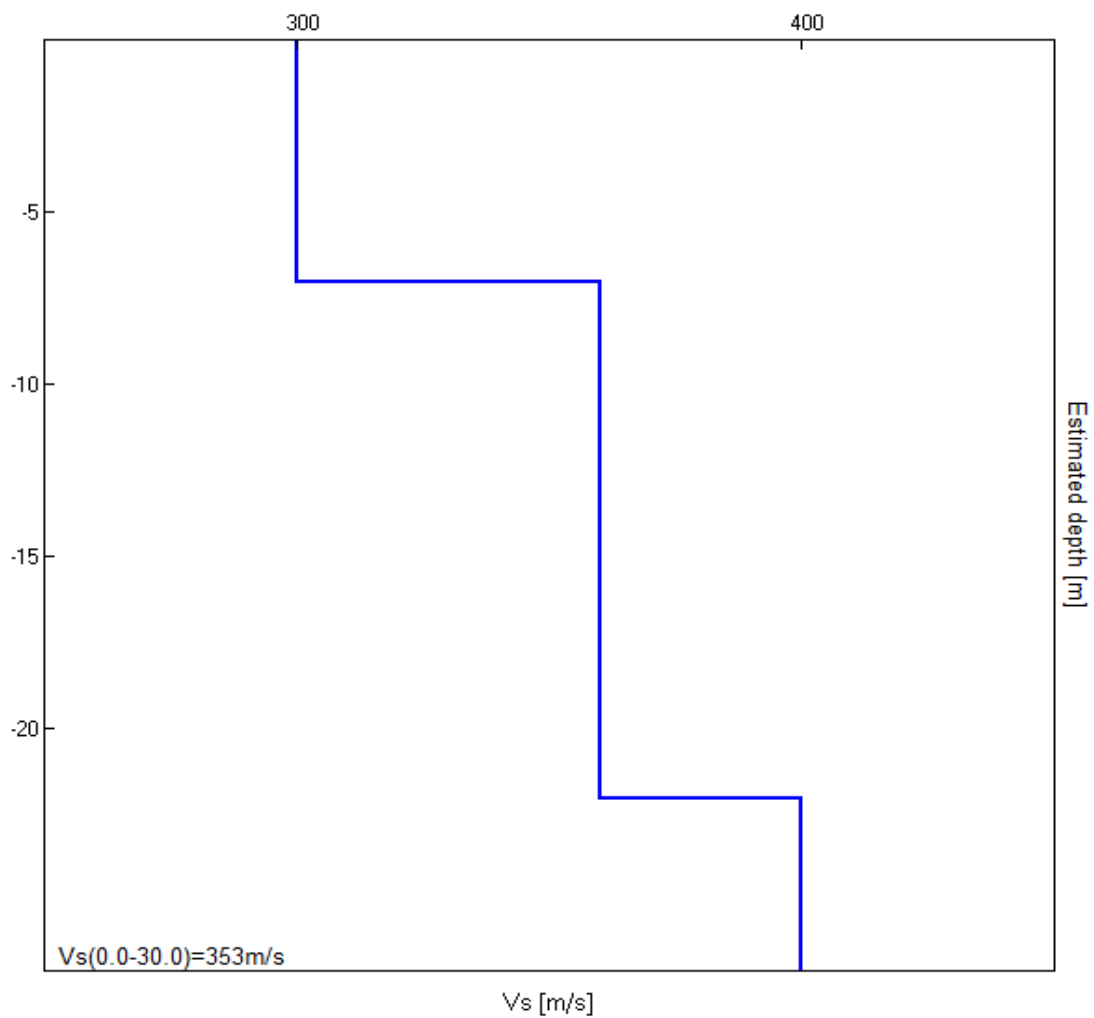
Sondaggio tomografico T8

Profondit� (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 20.00	500	B	B (Vs,eq =462 m/s)
20.00 – 30.00	400	B	
30.00 – 40.00	420	B	



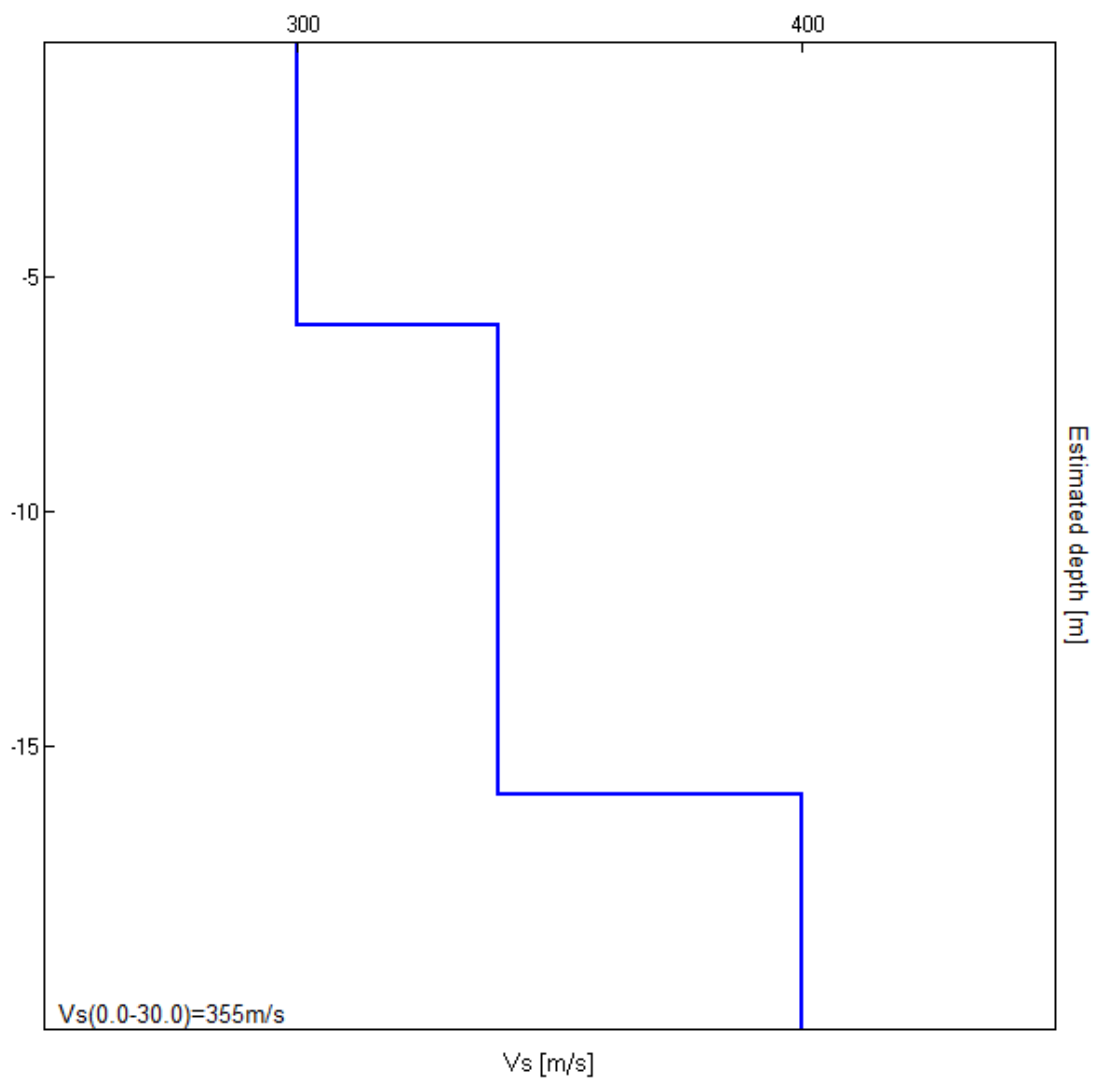
Sondaggio tomografico T9

Profondit� (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 12.00	450	B	B (Vs,eq =479 m/s)
12.00 – 30.00	500	B	
30.00 – 40.00	600	B	



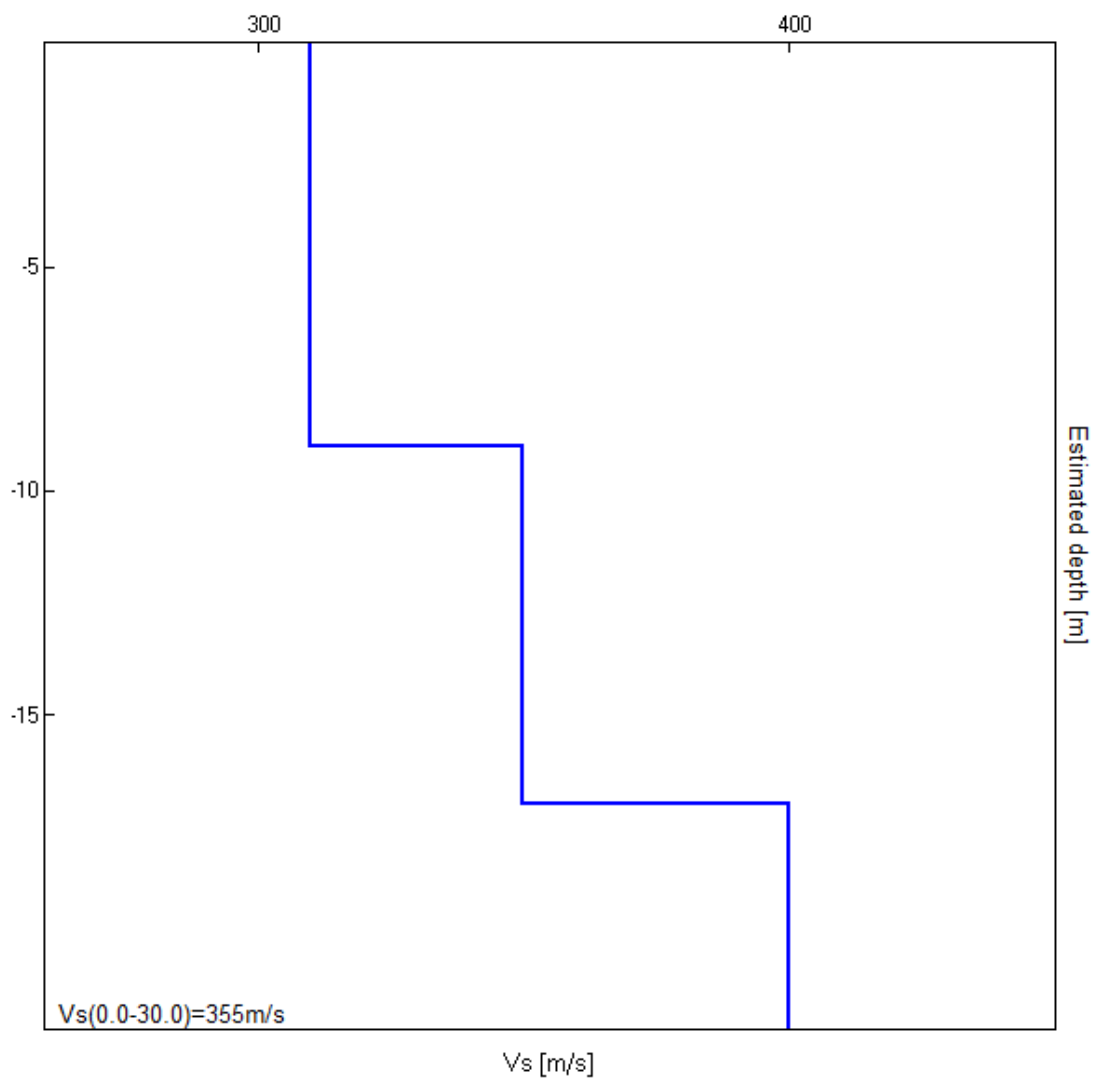
Sondaggio tomografico T10

Profondit� (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 6.00	300	C	C (Vs,eq =355 m/s)
6.00 – 16.00	340	C	
16.00 – 30.00	400	B	



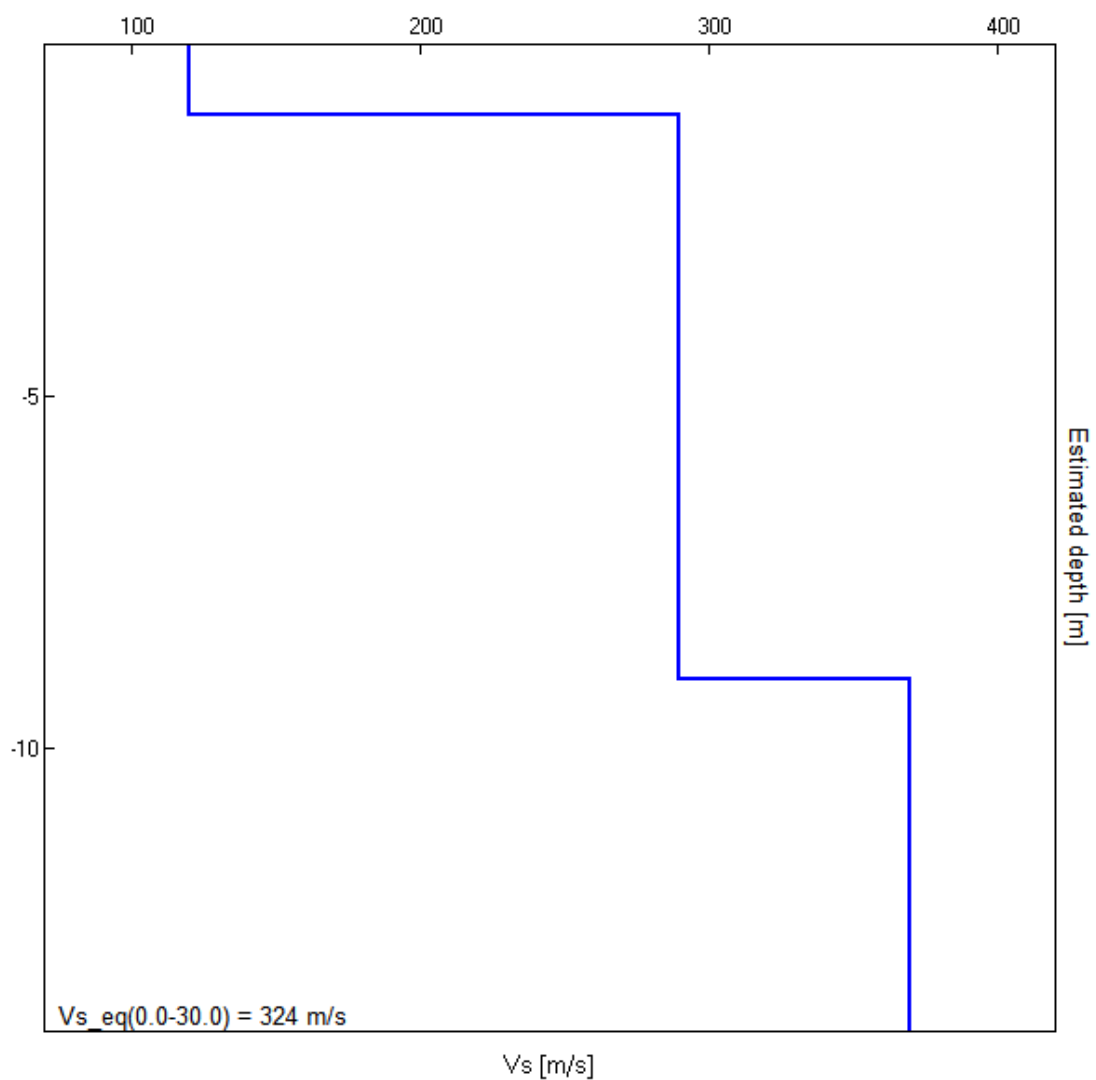
Sondaggio tomografico T11

Profondit� (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 9.00	310	C	C (Vs,eq =355 m/s)
9.00 – 17.00	350	C	
17.00 – 30.00	400	B	



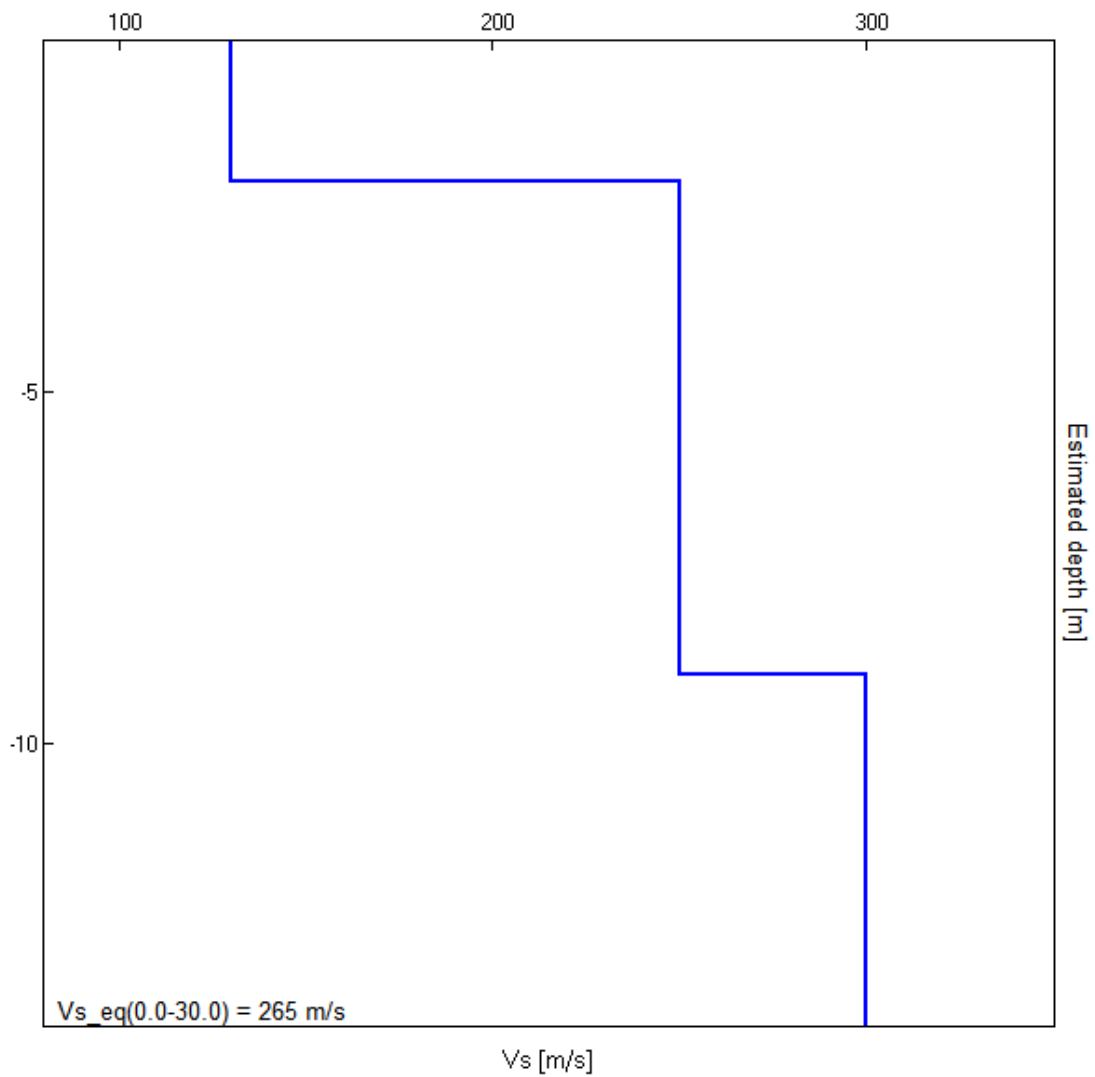
Sondaggio tomografico T12

Profondit� (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00-1.00	120	C	C (Vs,eq = 324 m/s)
1.00-9.00	290	C	
9.00-30.00	370	B	



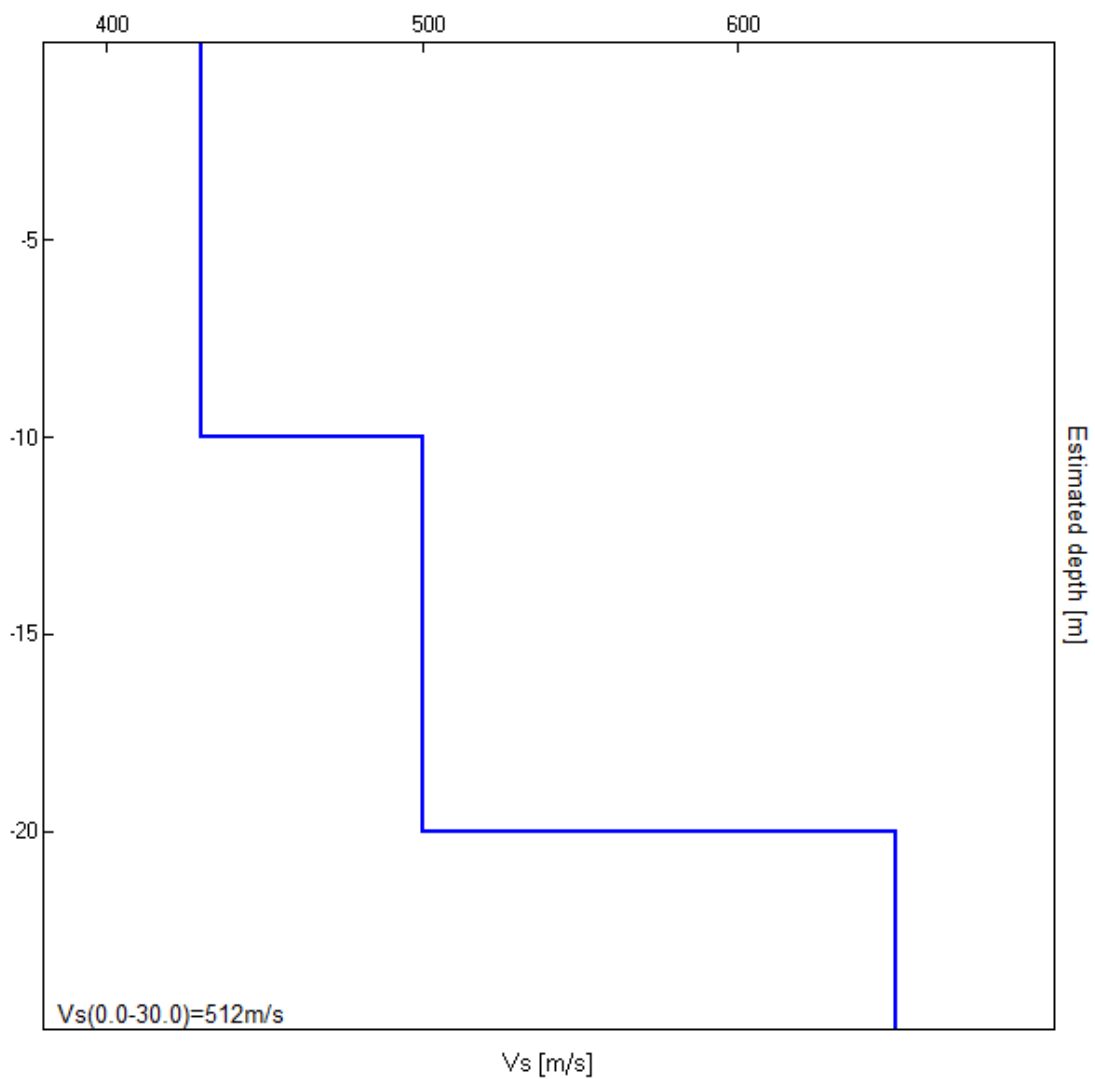
Sondaggio tomografico T13

Profondit� (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	



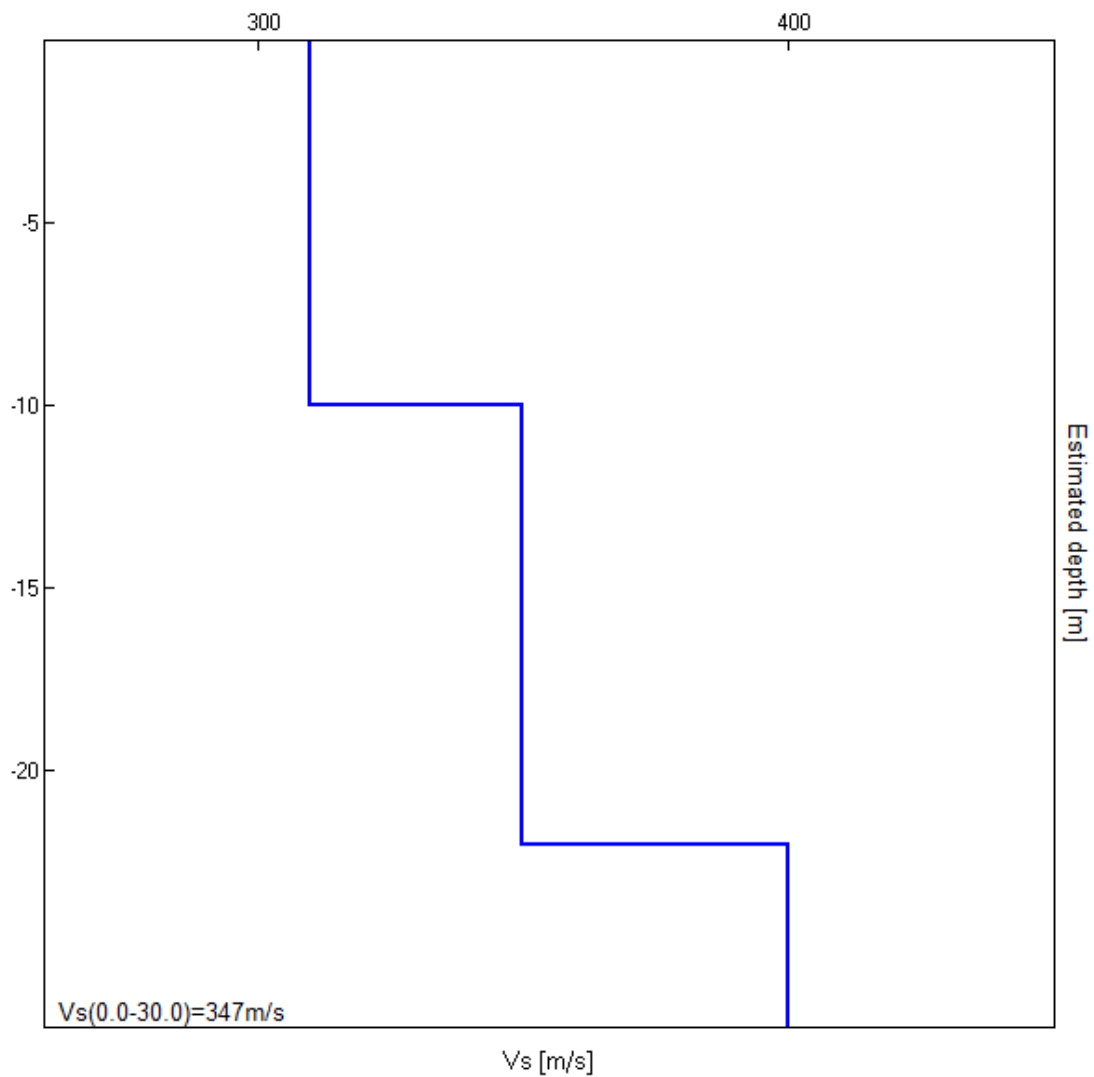
Sondaggio tomografico T14

Profondit� (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 10.00	430	B	B (Vs,eq =512 m/s)
10.00 – 20.00	500	B	
20.00 – 30.00	650	B	



Sondaggio tomografico Tsott

Profondit� (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 10.00	310	C	C (Vs,eq =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 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 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 M01	C
AEROGENERATORE M02	B
AEROGENERATORE M03	B
AEROGENERATORE M04	C
AEROGENERATORE M05	B
AEROGENERATORE M06	C
AEROGENERATORE M07	B
AEROGENERATORE M08	B
AEROGENERATORE M09	B
AEROGENERATORE M10	C

AEROGENERATORE M11	C
AEROGENERATORE M12	C
AEROGENERATORE M13	C
AEROGENERATORE M14	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 pi  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   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 perci  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   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 Cort  (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 pu  escludere pericolo di liquefazione per i terreni sabbiosi saturi che si trovano a profondit  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 plasticit  > 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   soddisfatta, *la suscettibilit  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**   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   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 $N_{1,60}$   la normalizzazione dei valori misurati dell'indice N_m (ridotti del 25% per profondit  < 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%, cio :

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

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

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

dove ER   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 $5\% < FC \leq 35\%$
$\beta = 1,2$	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.

Poich , come dimostrato,   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 velocit  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)   meno accurata e non fornisce proposte di metodologie per valutare il potenziale di liquefazione.

La normativa richiede che il controllo della possibilit  di liquefazione venga effettuato quando la falda freatica si trova in prossimit  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   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 probabilit  di liquefazione P_L , invece,   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".

Nello specifico del nostro lavoro e dai dati in nostro possesso, si evince che in corrispondenza degli aerogeneratori M4, M6, M10, M11, M12, M13 e la Sottostazione 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 i Depositi Terrazzati Marini (prevalentemente conglomeratico) ed il complesso Arenaceo sia per le caratteristiche fisico-meccaniche degli stessi, sia per la presenza di strati teneri e cementati intercalati, sia infine in considerazione che il livello freatico è, presumibilmente, localizzato a profondità superiori di 15 m dal p.c.

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

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) Terreno vegetale; b) Depositi di soliflussione e dilavamento; c) Depositi marini terrazzati; d) Complesso argilloso; e) Complesso Arenaceo.**

Ne descriviamo singolarmente le caratteristiche litologiche e meccaniche cos  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 sar  necessario integrare le indagini eseguite di questa fase come descritto in premessa.

a) Terreno vegetale: si tratta prevalentemente di rocce sciolte costituite da limi e limi sabbiosi scarsamente consistenti, scarsamente addensati e plastici di spessore variabile tra circa 1.00 e 3.00 m. Per la caratterizzazione fisico-meccanica di tale complesso, il progettista pu  fare riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, all'esperienza maturata su questi terreni e alle sperimentazioni scientifiche, tenendo conto che non sono terreni idonei come sedime delle opere in progetto: $\varphi' = 17^\circ$, $c' = 0.0 \text{ t/mq}$, $\gamma = 1.7 \text{ t/mc}$.

b) Depositi di soliflussione e dilavamento: si tratta prevalentemente di rocce sciolte, eterogenee, costituite da limi, limi sabbiosi e sabbie limose da scarsamente consistenti e scarsamente addensate. Per la caratterizzazione fisico-meccanica di tale complesso, il progettista pu  fare riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, all'esperienza maturata su questi terreni e alle sperimentazioni scientifiche, tenendo conto che non sono terreni idonei come sedime delle opere in progetto: $\varphi' = 22^\circ$; $c' = 10,0 \text{ kN/m}^2$; $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$.

c) Depositi marini terrazzati: si tratta di conglomerati e sabbie con stratificazione orizzontale addensate e a luoghi tenere. Per la caratterizzazione fisico-meccanica di tale complesso, il progettista pu  fare riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, all'esperienza maturata su questi terreni e alle sperimentazioni scientifiche: $\varphi' = 30^\circ$; $c' = 00,0 \text{ kN/m}^2$; $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$.

d) Complesso argilloso: argille e argille siltose grigio-chiare da scarsamente e plastiche, di colore grigio chiaro quando alterate (spessore di alterazione variabile tra 7-8 m) mentre la frazione inalterata 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: $\varphi' = 20^\circ$; $c' = 15 \text{ kN/m}^2$; $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$.

Frazione inalterata: $\varphi' = 24^\circ$; $c' = 20 \text{ kN/m}^2$; $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$.

e) Complesso Arenaceo: 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: $\varphi' = 32^\circ$; $c' = 00,0 \text{ kN/m}^2$; $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$.

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:

- ⇒ L'area interessata dall'aerogeneratore M10 è caratterizzata dall'affioramento dei depositi di solifusione e dilavamento, prevalentemente rocce sciolte costituite da limi, limi sabbiosi e sabbie limose, scarsamente consistenti e scarsamente addensate. Hanno uno spessore pari a circa 5 m e poggiano sui terreni riferibili al Complesso Argilloso Pliocenico che si presenta alterato per uno spessore pari a 5 m (vedi Colonna stratigrafica Tipo 1 allegata).
- ⇒ Le aree interessate dagli aerogeneratori M1, M2, M5 e M14 sono caratterizzate dall'affioramento dei depositi marini terrazzati costituiti da conglomerati e sabbie con stratificazione orizzontale. Hanno uno spessore variabile tra circa 15 m e 20 m e poggiano sui terreni riferibili al Complesso Argilloso Pliocenico che si presenta alterato per uno spessore pari a 5 m (vedi Colonna stratigrafica Tipo 2 allegata).
- ⇒ Le aree interessate dagli aerogeneratori M4, M6, M11, M12, M13 e la sottostazione elettrica sono caratterizzate dall'affioramento del Complesso Argilloso Pliocenico costituito da argille e argille siltose grigio-chiare da scarsamente a mediamente consistenti, plastiche e di colore grigio chiaro quando alterate (spessore di alterazione variabile tra 7-8 m) mentre la frazione inalterata si presenta consistente (vedi colonna stratigrafica Tipo 3 allegata).
- ⇒ Le aree interessate dagli aerogeneratori M3, M7, M8 e M9 sono caratterizzate dall'affioramento del Complesso Arenaceo-Sabbioso Pliocenico costituito da sabbie addensate ed arenarie tenere con stratificazione orizzontale. Hanno uno spessore maggiore di 30 m e poggiano sul Complesso Argilloso Pliocenico (vedi colonna stratigrafica Tipo 4 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.
- ⇒ Lo studio geomorfologico di dettaglio eseguito tramite i rilievi di superficie, integrati dallo studio delle fotografie aeree del territorio e dalle indagini

geofisiche ci permette di dire che, in generale, ***i versanti dove sono ubicati gli aerogeneratori e la sottostazione non sono interessati da fenomeni di instabilità.***

- ⇒ Ciò è confermato dal Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) e l'Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani (IFFI) che escludono le aree interessate dalle opere in progetto da qualunque fenomenologia di dissesto e di rischio geomorfologico.
- ⇒ Dai sopralluoghi effettuati e dai rilievi geomorfologici eseguiti lungo i tracciati del cavidotto ed in alcune aree nelle vicinanze degli aerogeneratori sono stati individuati, però, numerosi dissesti riferibili ad "erosione accelerata e franosità diffusa".
- ⇒ Si tratta di aree interessate da un'attività geodinamica piuttosto spinta che si sviluppa gradualmente seguendo alcuni stadi: in un primo tempo si ha un'*erosione accelerata e diffusa*, ad opera del velo d'acqua che bagna la superficie secondo la linea di massima pendenza; in seguito si genera la cosiddetta *erosione per rigagnoli*, in cui l'erosione si concentra nei solchi generati dalla precedente erosione ed in cui scorre l'acqua; infine si ha l'*erosione a solchi*, in cui l'acqua è riuscita a scavare nel terreno incisioni profonde.
- ⇒ Sono fenomeni geodinamici che non ostano la realizzazione delle opere ma che devono essere studiati approfonditamente in fase di progettazione esecutiva a valle dell'autorizzazione, tramite le indagini geognostiche e geotecniche descritte nei capitoli seguenti ma anche tramite rilievi topografici di dettaglio per verificare l'ubicazione delle fondazioni in relazione ai dissesti più vicini e per poter prevedere tutte quelle opere di ingegneria naturalistica, indicate di seguito, necessarie a mitigare ed annullare l'attività erosiva dei corsi d'acqua prossimi alle fondazioni e piazzole dei singoli aerogeneratori.
- ⇒ Per preservare i tratti di viabilità interessati dai fenomeni gravitativi superficiali legati soprattutto alle acque meteoriche che si infiltrano nella coltre alterata superficiale dei terreni, verranno adottate, di concerto con gli enti gestori dell'infrastruttura, tecniche utili alla stabilizzazione della porzione più superficiale di suolo che oltre ad essere molto efficaci in situazioni geomorfologiche, hanno il vantaggio di essere molto elastiche e in grado di

adattarsi all'habitus geomorfologico caratteristico del territorio in cui si opera, alle irregolarità del terreno ed a ulteriori movimenti di assestamento del terreno dopo la messa in opera.

- ⇒ In tal modo il consolidamento ed il ripristino delle condizioni ambientali saranno raggiunti impiegando opere relativamente leggere per non sovraccaricare il terreno, assicurando la massima protezione antierosiva.
- ⇒ L'affioramento prevalente di terreni argillosi impermeabili e la limitata estensione degli affioramenti dei terreni permeabili in corrispondenza degli aerogeneratori M1, M2, M3, M5, M7, M8 e M14 non consente la formazione di falde freatiche di interesse.
- ⇒ Non sono presenti né pozzi né sorgenti nell'intorno di 500 m dagli aerogeneratori e quelli presenti ad Ovest degli aerogeneratori M01 e M03 non potranno mai essere interferiti per l'elevata distanza.
- ⇒ Il punto di prelievo di acqua potabile presente in prossimità della SS 190 ter, che utilizza la falda di sub alveo del Fiume Tacina, non potrà essere interferito dal cavidotto in quanto in questo tratto la strada si presenta su rilevato di spessore superiore a quanto previsto dagli scavi previsti per la posa del cavidotto. Ovviamente, per le sue caratteristiche idrogeologiche (falda di subalveo) e per la notevole distanza e differenza di quota dagli aerogeneratori non è neanche pensabile un'interferenza delle fondazioni degli aerogeneratori.
- ⇒ In corrispondenza del Complesso Arenaceo-Sabbioso Pliocenico (M3, M7, M8 e M9) sono presenti modesti livelli idrici sospesi evidenziati da una serie di sorgentelle stagionali di scarsa potenzialità e comunque afferenti a bacini di alimentazione esterni alle aree di ubicazione delle fondazioni degli aerogeneratori.
- ⇒ Come si evince dall'assenza di sorgenti nelle vicinanze delle fondazioni e dal fatto che le aree degli aerogeneratori sono ubicate sempre nella cresta dei versanti, in una posizione tale che le acque sotterranee vengono drenate rapidamente verso valle, non sono ipotizzabili effetti negativi dalla realizzazione delle opere in progetto sulla risorsa idrica.
- ⇒ 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 30 metri.

- ⇒ L'area in cui verrà realizzata la sottostazione è caratterizzata dalla presenza del Complesso argilloso e, quindi, non è presente una vera e propria falda freatica. Solo livelli idrici a carattere stagionale si possono formare nella coltre superficiale alterata.
- ⇒ 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".

OPERA	Categoria di suolo ai sensi delle NTC 2018
AEROGENERATORE M01	C
AEROGENERATORE M02	B
AEROGENERATORE M03	B
AEROGENERATORE M04	C
AEROGENERATORE M05	B
AEROGENERATORE M06	C
AEROGENERATORE M07	B
AEROGENERATORE M08	B

AEROGENERATORE M09	B
AEROGENERATORE M10	C
AEROGENERATORE M11	C
AEROGENERATORE M12	C
AEROGENERATORE M13	C
AEROGENERATORE M14	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   perfettamente compatibile con il territorio in esame. In particolare, le indagini e gli studi hanno caratterizzato la zona di interesse in termini vulnerabilit  ambientale, per processi geodinamici interni (sismicit , vulcanismo,...) ed esterni (stabilit  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   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, descritte nel capitolo precedente, che venga eseguito un rilievo topografico di dettaglio delle aree interessate dalle opere anche quelle provvisoriale e delle aree in frana pi  vicine e che il geologo sia sempre presente durante la realizzazione delle fondazioni degli aerogeneratori.



COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 1 (AEROGENERATORE M10)

Stratigrafia	Profondita'	Descrizione
		Terreno vegetale (spessore variabile tra 1.00 - 3.00 m) $\varphi' = 17^\circ, C' = 0,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$
		Limi, limi sabbiosi e sabbie limose - Depositi di solifluzione e dilavamento (spessore pari a circa 5 m) $\varphi' = 22^\circ, C' = 1,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,8 \text{ t/m}^3$
		Argille ed argille siltose - Frazione alterata - Complesso Argilloso pliocenico (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 pliocenico $\varphi' = 24^\circ, C' = 2,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 2,0 \text{ t/m}^3$



COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 2 (AEROGENERATORI M1, M2, M5, M14)

Stratigrafia	Profondità	Descrizione
		Terreno vegetale (spessore variabile tra 1.00 - 2.00 m) $\varphi' = 17^\circ, C' = 0,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$
		Conglomerati e sabbie con giacitura sub-orizzontale - Depositi marini terrazzati (spessore variabile tra 15 e 20 m) $\varphi' = 30^\circ, C' = 0,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,9 \text{ t/m}^3$
		Argille ed argille siltose - Frazione alterata - Complesso Argilloso pliocenico (spessore variabile tra 7-8 m) $\varphi' = 20^\circ, C' = 1,5 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,9 \text{ t/m}^3$
		Argille ed argille siltose - Frazione inalterata - Complesso Argilloso pliocenico $\varphi' = 24^\circ, C' = 2,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 2,0 \text{ t/m}^3$



COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 3 (AEROGENERATORI M4, M6, M11, M12, M13)

Stratigrafia	Profondita'	Descrizione
		<p>Terreno vegetale (spessore variabile tra 1.00 - 2.00 m) $\varphi' = 17^\circ, C' = 0,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$</p>
		<p>Argille ed argille siltose - Frazione alterata - Complesso Argilloso pliocenico (spessore variabile tra 7-8 m)</p> <p style="text-align: center;">$\varphi' = 20^\circ, C' = 1,5 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,9 \text{ t/m}^3$</p>
		<p>Argille ed argille siltose - Frazione inalterata - Complesso Argilloso pliocenico</p> <p style="text-align: center;">$\varphi' = 24^\circ, C' = 2,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 2,0 \text{ t/m}^3$</p>



COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 4 (AEROGENERATORE M3, M7, M8, M9)

Stratigrafia	Profondita'	Descrizione
		Terreno vegetale (spessore variabile tra 1.00 - 3.00 m) $\varphi' = 17^\circ, C' = 0,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$
		Sabbie addensate ed arenarie tenere - Complesso arenaceo-sabbioso pliocenico (spessore variabile tra 30 e 40 m) $\varphi' = 32^\circ, C' = 0,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,9 \text{ t/m}^3$