

REGIONE  
SICILIA



PROVINCIA DI  
AGRIGENTO



PROVINCIA DI  
PALERMO



Committente:

**Eni Plenitude Technical Services S.r.l.**  
Via Dismano 1280  
47522 Cesena (FC)

Documento:

**PROGETTO DEFINITIVO**

Titolo del Progetto:

**PARCO EOLICO "SAMBUCA"**

Elaborato:

**RELAZIONE GEOLOGICA**

PROGETTO	DISCIPLINA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	SCALA
<b>W-SAM</b>	<b>A</b>	<b>RE</b>	<b>--</b>	<b>07</b>	<b>---</b>
NOME FILE:	<b>W-SAM-A-RE-07_Relazione_geologica</b>				

**Progettazione:**



**Dott. Geol. Gian Vito Graziano**

Rev:	Prima Emissione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	12/2023	PRIMA EMISSIONE	IRIDE	GEMSA PRO	Eni Plenitude Technical Services S.r.l.

**REGIONE SICILIA**

**COMUNI DI SANTA MARGHERITA BELICE, SAMBUCA DI SICILIA  
(AG) E CONTESSA ENTELLINA (PA)**

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO  
“SAMBUCA”**

**RELAZIONE GEOLOGICA E DI COMPATIBILITA’  
GEOMORFOLOGICA**

**1. PREMESSE**

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

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

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

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

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

*h) bonifiche e sistemazione del territorio;*

*i) attività estrattive di materiali da costruzione.*

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

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

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

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

Lo studio è stato, quindi, articolato come segue:

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

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

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

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

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

Da quanto detto prima si evince che in una prima fase il nostro lavoro è stato organizzato eseguendo numerosi sopralluoghi finalizzati allo studio

di una zona più vasta rispetto a quella direttamente interessata dal progetto per inquadrare, in una più ampia visione geologica, la locale situazione geostrutturale.

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

Per la caratterizzazione della serie stratigrafica locale, per l'individuazione delle profondità del livello piezometrico e per la definizione delle problematiche sismiche delle aree in studio, in questa prima fase di lavoro, sono stati realizzati n. 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. 20 aerogeneratori;
- b. **Cavidotto** di collegamento tra gli aerogeneratori e la SET 30/150 kV;
- c. **SET 30/150 kV**.

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

- ✓ n. 2 carte geologica eseguita in scala 1/10.000 (fuori testo);
- ✓ n. 2 carte dei corpi idrici sotterranei e delle aree protette associate (ADB) in scala 1/10.000 (fuori testo);
- ✓ n. 2 carte dei corpi idrici superficiali e delle aree protette associate (ADB) in scala 1/10.000 (fuori testo);
- ✓ n. 8 carte, fuori testo, relative al piano di assetto idrogeologico (P.A.I.) ed al Piano Gestione Rischio Alluvioni (P.G.R.A.);

- ✓ le colonne stratigrafiche tipo, inserite nel testo;
- ✓ elaborati relativi ai sondaggi di sismica passiva a stazione singola (tomografia) denominati T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, T13, T14, T15, T16, T17, T18, T19, T20.

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

Si ritiene, infatti, che in fase di progetto esecutivo e di calcolo delle strutture di fondazione si renderà necessario integrare le indagini ed i rilievi eseguiti in questa prima fase con la realizzazione di un sondaggio e relative prove geotecniche in situ ed in laboratorio in corrispondenza di ciascun aerogeneratore e della SET 30/ 150 kV nell'esatta posizione in cui, a valle dell'iter autorizzativo, saranno effettivamente realizzati ed alcune indagini in corrispondenza dei tracciati dei cavidotti, soprattutto dove le strade in cui sarà interrato sono limitrofe a fenomeni geodinamici.

## **2. CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE**

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

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

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

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

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

⇒ **SINTEMA DEL FIUME CARBOJ (Pleistocene sup.):**

si tratta prevalentemente di conglomerati con matrice sabbioso-pelitica, coperti da coltri sabbioso-limose pedogenizzate. Interessano gli aerogeneratori S16 ed S20.

⇒ **FORMAZIONE AGRIGENTO (Santerniano):**

si tratta prevalentemente di sublitoareniti, biocalcareni e biocalciruditi contenenti ricche associazioni a molluschi. Interessano alcuni tratti di cavidotto.

- ⇒ **FORMAZIONE MARNOSO ARENACEA DEL BELICE (Piacenziano - Gelasiano):** Si tratta di argille ed argille marnose grigio-azzurre con foraminiferi planctonici con intercalazioni di sabbie, arenarie torbiditiche e biocalcareni a molluschi. Interessano gli aerogeneratori S14, S17, S18 ed S19 ed alcuni tratti di cavidotto.
- ⇒ **CALCARENITI AD AMPHISTEGINA (Piacenziano):** si tratta prevalentemente di biocalcareni con evidente stratificazione da piano-parallela a obliqua, contenenti intercalazioni di areniti fini mal classate e bioturbate. Interessano alcuni tratti di cavidotto.
- ⇒ **TRUBI (Zancleano - Piacenziano inf):** si tratta prevalentemente di marne e calcari marnosi bianchi a foraminiferi planctonici. Interessano alcuni tratti di cavidotto.
- ⇒ **MARNE DI SAN CIPIRELLO (Langhiano sup.-Tortoniano inf.):** si tratta di marne grigio-azzurrognole contenenti modesti tenori di sabbie quarzose. Interessano gli aerogeneratori S4, S6, S7, S8, S9, S12 ed alcuni tratti di cavidotto.
- ⇒ **CALCARENITI DI CORLEONE (Aquitano sup. - Langhiano inf.):** si tratta di biocalcareni ed arenarie quarzose glauconitiche alternate a marne e marne sabbiose bruno-verdastre contenenti foraminiferi planctonici. Interessano gli aerogeneratori S1, S2, S3, S5 ed alcuni tratti di cavidotto.
- ⇒ **FM. MARNE DI CARDELLIA (Oligocene sup. - Aquitano inf.):** è costituita da marne sabbiose grigio-verdastre. Interessano gli aerogeneratori S10, S11, S13 e S15;
- ⇒ **COMPLESSO CALCAREO-MARNOSO (Oligocene medio – superiore):** si tratta di calcari marnosi e marne bianche con intercalati



livelli di biocalcareni nummulitiche e biocalciruditi risedimentate.

Interessano la SET 30/150 di consegna e alcuni tratti di cavidotto;

⇒ **SCAGLIA** (Eocene): si tratta di calcilutiti marnose bianche "Scaglia" con liste di selce e sottili intercalazioni di marne verdastre. Interessano alcuni tratti di cavidotto.

⇒ **FORMAZIONE LATTIMUSA** (Titoniano sup. - Valanginiano): si tratta di calcilutiti bianche a volte rosate, con liste e noduli di selce e sottili intercalazioni di marne grigio-verdastre a calpionelle e radiolari. Interessano alcuni tratti di cavidotto.

⇒ **COMPLESSO-CARBONATICO-DOLOMITICO** (Lias inferiore -medio): si tratta di calcari grigio-biancastri a megalodontidi, spesso fortemente dolomitizzati, con stratificazione massiva o indistinta, passanti verso l'alto a calcari bianchi. Interessano alcuni tratti di cavidotto.

In particolare:

1) Le aree interessate dagli aerogeneratori S16 ed S20 sono caratterizzate dall'affioramento del Sintema del Fiume Carboj costituito da conglomerati con matrice sabbioso-pelitica, coperti da coltri sabbio-limose pedogenizzate di spessore pari a circa 3 m. I conglomerati hanno uno spessore pari a circa 20 m in corrispondenza dell'aerogeneratore S16 e di circa 30 m in corrispondenza dell'aerogeneratore S20 e poggiano sui terreni della Formazione Marnoso Arenacea del Belice.

2) Le aree interessate dagli aerogeneratori S14, S17, S19 ed S18 sono caratterizzate dall'affioramento della Formazione Marnoso Arenacea del Belice formata da argille e argille marnose da scarsamente a mediamente consistente e di colore marrone chiaro quando alterate (spessore di alterazione variabile tra 5-8

- m) mentre la frazione inalterata di colore grigio si presenta consistente. Si riscontrano sporadiche intercalazioni di sabbie e arenarie.
- 3) Le aree interessate dagli aerogeneratori S4, S6, S7, S8, S9 ed S12 sono caratterizzate dall'affioramento delle Marne di San Cipirello costituite da marne grigio-azzurrognole talora sabbiose da scarsamente a mediamente consistente e di colore marrone chiaro quando alterate (spessore di alterazione variabile tra 6-8 m) mentre la frazione inalterata di colore grigio-azzurro si presenta consistente.
- 4) Le aree interessate dagli aerogeneratori S1, S2, S3 ed S5 sono caratterizzate dall'affioramento delle Calcareniti di Corleone formate da calcareniti ed arenarie quarzose glauconitiche alternate a marne e marne sabbiose bruno-verdastre contenenti foraminiferi planctonici.
- 5) Le aree interessate dagli aerogeneratori S10, S11, S13 ed S15 sono caratterizzate dall'affioramento della Marne di Cardellia formate da marne ed argille marnose da scarsamente a mediamente consistente e di colore marrone chiaro quando alterate di spessore variabile tra 6-9 m, mentre la frazione inalterata di colore grigio-verdastro si presenta consistente.

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 il cavidotto esterno al parco e di collegamento alla SET 30/150 kV di consegna verrà realizzato esclusivamente su strade asfaltate e, vista la limitata profondità di scavo pari a circa 1.20 m, interesserà esclusivamente la fondazione/rilevato stradale e non interferisce con i terreni in posto sottostanti.

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

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

- ⇒ un settore ad habitus geomorfologico irregolare, caratterizzato versanti da media e alta pendenza dove prevalgono i litotipi litoidi con rotture di pendenza;
- ⇒ un settore ad habitus geomorfologico irregolare, caratterizzato da un'alternanza di aree sub-pianeggianti a rilievi dolci, intercalati ad aree ad elevata attività erosiva con impluvi molto incisi con valli strette e spesso a carattere calanchivo, dove prevalgono i litotipi argillosi e sabbiosi;
- ⇒ una zona di fondovalle stabile dove affiorano i termini alluvionali caratterizzati dalla presenza di limi sabbiosi, sabbie e ghiaie.

Per quanto concerne le forme di dissesto legate ai movimenti franosi presenti nei versanti interessati dalle opere in progetto si mette in evidenza che tramite i rilievi di superficie, integrati dallo studio delle fotografie aeree del territorio, sono state individuate in corrispondenza di alcuni tratti di cavidotto alcune aree coinvolte da fenomeni di instabilità riconducibili prevalentemente al tipo “franosità diffusa” attiva.

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 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.

In particolare i tratti di cavidotto interessati sono:

- ✓ tra gli aerogeneratori S1 ed S2;
- ✓ tra gli aerogeneratori S4 ed S5;
- ✓ tra lo svincolo della SS264 e la SP44.

Di contro le aree interessate dagli aerogeneratori non sono interessate da “Aree a franosità diffusa” ma i versanti a valle degli stessi sono spesso di natura argillosa ed in condizioni evolutive. In particolare in corrispondenza dell’aerogeneratore S8, S4 ed S2 alcuni fenomeni geodinamici risultano essere limitrofi e, quindi, bisogna tenere nella dovuta considerazione la scelta delle fondazioni al fine di evitare che l’evoluzione retrogressiva dei suddetti fenomeni possa in futuro interferire con le stesse.

Si tratta di fenomeni geodinamici che non ostano la realizzazione degli aerogeneratori ma che devono essere studiati approfonditamente in fase di progettazione esecutiva a valle dell’autorizzazione per poter prevedere tutte quelle opere di ingegneria naturalistica, indicate di seguito, necessarie a mitigare ed annullare l’attività erosiva che ha causato i suddetti fenomeni.

Si mette in evidenza che gli aerogeneratori non sono interessati da dissesti indicati dal P.A.I. come a rischio e pericolosità geomorfologica ed idraulica, mentre il cavidotto, attraversa alcune aree interessate da dissesti indicati dal P.A.I. come:

- 6) “Erosione concentrata o diffusa” in corrispondenza di 3 tratti in vicini agli aerogeneratori S18, S19, S20 e in due tratti di Via Giacheria verso la Stazione Elettrica;
- 7) “Franosità diffusa” in corrispondenza di 2 tratti tra gli aerogeneratori S8 ed S6.

Anche in questo caso si tratta di fenomeni che non ostano la realizzazione dell’opera ma nella progettazione esecutiva delle opere

accessorie (viabilità, cavidotto e piazzole) si dovrà prevedere qualche intervento di ingegneria naturalistica o l'attraversamento tramite TOC al fine di evitare che un'eventuale evoluzione dei fenomeni geodinamici possa in futuro danneggiare il cavidotto, piazzole e la viabilità e, tenendo conto che, nelle vicinanze degli aerogeneratori, della piazzola e della viabilità di accesso, tali fenomenologie geodinamiche coinvolgono prevalentemente la coltre alterata superficiale.

Come accennato, verranno adottate tecniche utili alla stabilizzazione della porzione più superficiale di suolo che hanno il vantaggio di essere molto elastiche e in grado di adattarsi all'habitus geomorfologico, alle irregolarità del terreno ed a ulteriori movimenti di assestamento del terreno dopo la messa in opera.

Dal punto di vista idrogeologico l'area in studio è caratterizzata dall'affioramento di terreni diversi che, da un punto di vista idrogeologico, abbiamo suddiviso in 4 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 limosa mentre tende ad aumentare nei livelli sabbiosi grossolani e ghiaiosi. Rientrano in questo complesso i terreni afferenti ai depositi alluvionali, al Sintema del fiume Carboj, alla Formazione Agrigento, alle Calcareniti ad Amphistegina ed alle Calcareniti di Corleone.
- ❖ **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. Si mette in evidenza, però, che l'acqua, riuscendo a permeare

la frazione alterata superficiale ed aumentare le pressioni neutre, tende a destrutturare la frazione alterata azzerando la coesione e rendendola soggetta a possibili movimenti gravitativi lungo i versanti. Rientrano in questo complesso i terreni afferenti alla frazione argillosa e marnosa della Formazione Marnoso Arenacea del Belice ed alle Marne di San Cipirello.

❖ **Rocce poco permeabili per porosità e fratturazione:** Sono i Trubi. Si tratta di rocce che presentano fratture e pori di piccole dimensioni in cui l'infiltrazione si esplica lentamente da essere considerate con permeabilità bassa per porosità e fratturazione. Questi terreni possono essere interessati da falde idriche a carattere stagionale che si riscontrano soltanto nelle coltri superficiali alterate.

❖ **Rocce permeabili per fratturazione e carsismo:** Questa categoria comprende quelle rocce caratterizzate da una bassa o nulla porosità primaria ma che acquistano una permeabilità notevole a causa della fratturazione secondaria piuttosto articolata e dei fenomeni carsici per dissoluzione. Appartengono a questa categoria i litotipi afferenti al Complesso Calcereo-Marnoso, alla Scaglia, alla Formazione Lattiminusa e al Complesso Carbonatico-dolomitico.

Nello specifico, le aree interessate dalla realizzazione degli aerogeneratori sono costituite prevalentemente da litotipi argillosi e, quindi, prive di falde freatiche, mentre dove osserviamo l'affioramento prevalente di terreni permeabili poggianti su un substrato impermeabile ciò consente la formazione una falda freatica il cui livello freatico si trova alla profondità pari a circa 40-50 m dal p.c. come si evince dai pochi pozzi presenti in zona.

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

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

Infine, si mette in evidenza che le piazzole e gli aerogeneratori non interessano zona di protezione dei corpi idrici sotterranei, né zone di riserva dei corpi idrici sotterranei né zone vulnerabili ai nitrati e sono esterni alle fasce di rispetto delle Risorse idriche vincolate.

Un tratto di cavidotto verrà realizzato all'interno di zone vulnerabili ai nitrati ed alle fasce di rispetto delle Risorse idriche vincolate ma vista la limitatissima profondità di scavo (massimo 1.2 m), che interesserà la fondazione stradale esistente ed il fatto che non produce emissioni in suolo/sottosuolo/falda di sostanze inquinanti di nessun tipo, ***si ritiene che non ci sarà nessun tipo di interferenza.***

#### **4. OPERE DI MIGLIORAMENTO DELLE CONDIZIONI DI STABILITA' E MITIGAZIONE DEGLI IMPATTI**

Per preservare i siti dove si realizzeranno i tratti di cavidotto interessati da fenomeni gravitativi superficiali, legati soprattutto alle acque meteoriche che si infiltrano nella coltre alterata, verranno adottate tecniche di ingegneria naturalistica utili alla stabilizzazione della porzione più superficiale di suolo che hanno il vantaggio di essere molto elastiche e in grado di adattarsi all'habitus geomorfologico, alle irregolarità del terreno ed a ulteriori movimenti di assestamento del terreno dopo la messa in opera.

In tal modo il ripristino delle condizioni ambientali e di stabilità sarà raggiunto impiegando opere relativamente leggere per non sovraccaricare il terreno, assicurando la massima protezione antierosiva.

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.

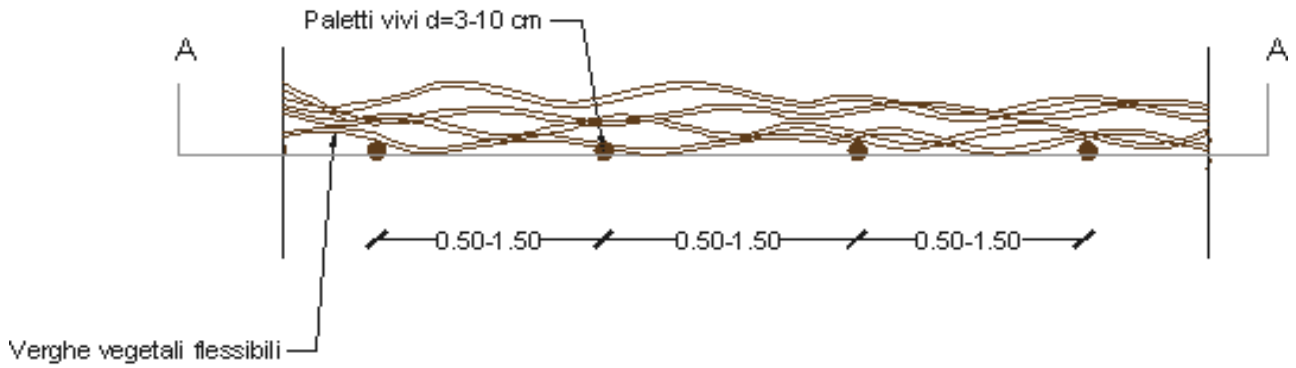
Nel caso di fascinata viva con piantine radicate di specie arbustive, l'esecuzione dell'intervento comporta alcuni accorgimenti e procedure diverse da quelle della tecnica precedente. Infatti le fascine di ramaglia sono più leggere e con un numero inferiore di verghe (3-6), i solchi sono più larghi di 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.

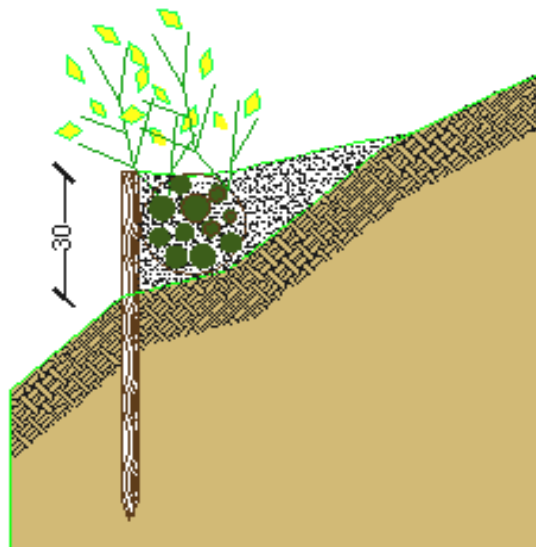
Le fascinate, come tutti gli altri interventi che impiegano materiali vivi, devono essere realizzate solo durante il periodo di riposo vegetativo.

PARTICOLARI COSTRUTTIVI FASCINATE

PIANTA  
Scala 1:25



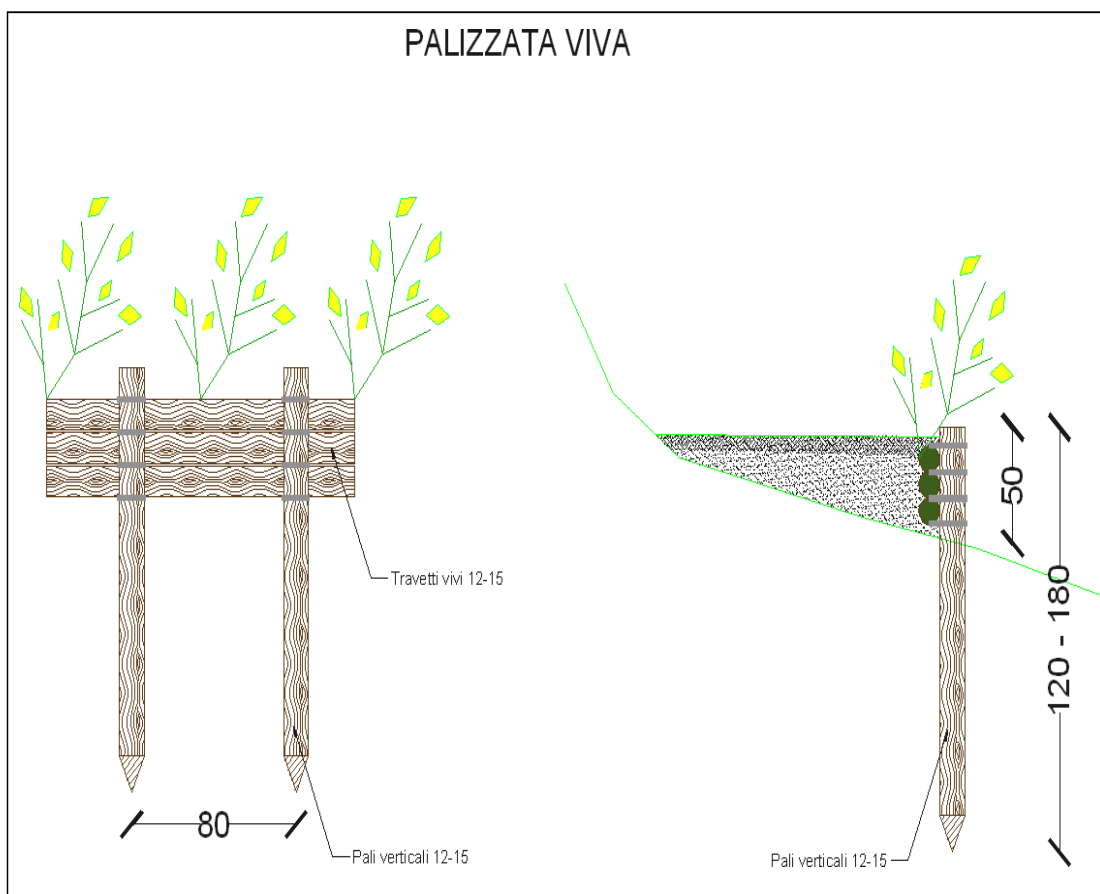
SEZIONE A-A  
Scala 1:25



❖ **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.

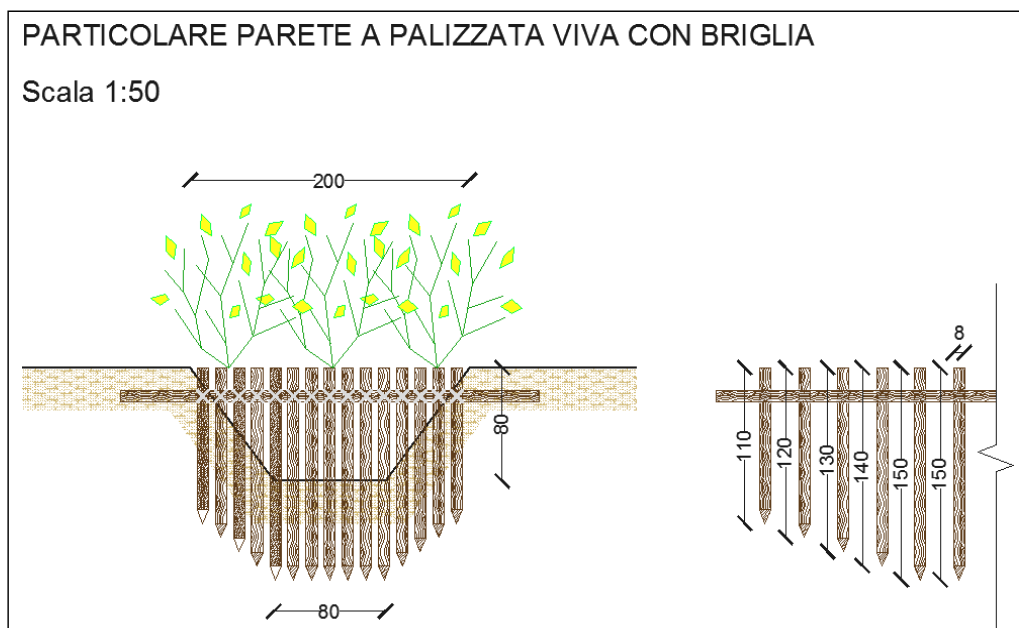
Le piante, una volta che la vegetazione si sarà sviluppata, garantiranno un consolidamento del terreno con l'apparato radicale e una resistenza all'erosione superficiale, con la loro parte epigea.



❖ **Palizzate vive a formare briglie:** E' possibile combinare le palizzate vive con briglie in legname, ottenendo particolari opere idrauliche in grado di garantire la stabilizzazione e la correzione del profilo del fondo (cioè della linea che individua l'andamento altimetrico del fondo) in impluvi, riducendo la pendenza media del corso d'acqua con l'inserimento di salti per rallentare la corrente; la trattenuta di materiale solido o legnoso trasportato dalle acque.

Le briglie vengono predisponendo un cassone di contenimento mediante incastellatura di pali in legno scortecciato, idoneo e durabile di latifoglia; hanno in genere una tipica sagoma a trapezio rovesciato, con la parte centrale ribassata rispetto alle parti laterali, per convogliare il deflussodelle acque da monte a valle del salto.

Presentano buona adattabilità agli assestamenti dovuti a movimenti delle sponde e possono essere messe in opera anche in luoghi di difficile accesso.

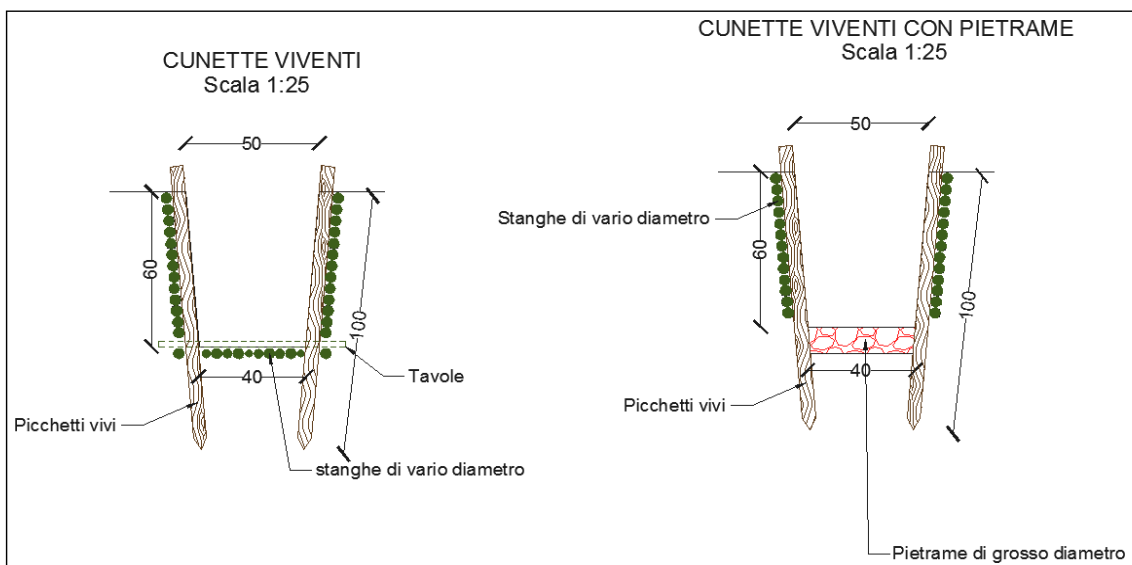


❖ **Cunetta vivente** Le cunette sono di norma pensate in terra. E' però importante sottolineare che nei tratti di maggiore pendenza l'acqua può destabilizzare la cunetta e con essa la strada. Pertanto si suggerisce l'adozione di cosiddette cunette viventi, maggiormente resistenti all'azione erosiva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

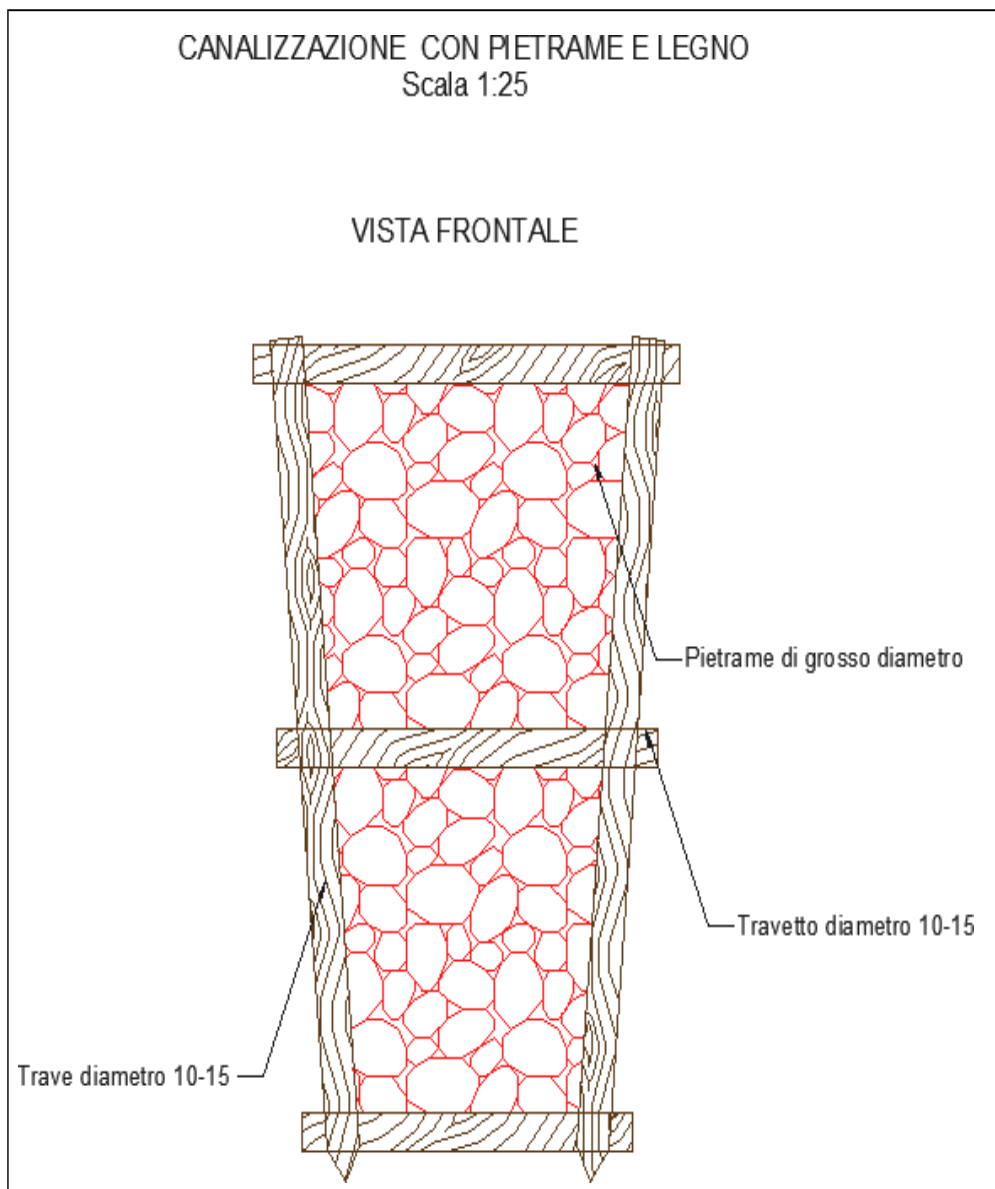
Sarà la fase cantieristica ed anche osservazionale ad indicare i tratti ove è opportuno realizzare le cunette "vive" al posto delle cunette in terra.

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 può 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 viabilità di progetto causando spesso solchi ed erosione puntuale si può prevedere la costruzione di canalizzazioni in legname e pietrame, di sezione trapezia avente lo scopo di convogliare le acque nei punti di recapito.



## **5. 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. 20 misure di microtremore ambientale, con un tomografo digitale progettato specificatamente per l'acquisizione del rumore sismico.

Di seguito vengono riportati alcuni cenni riguardo la metodologia utilizzata.

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

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

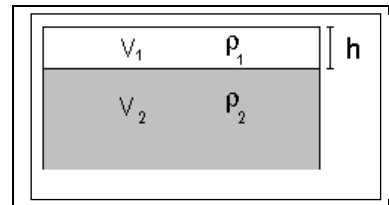
Tra questi la tecnica che si è maggiormente consolidata è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSR), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970).

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

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



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



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

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

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

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

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

mentre quella relativa alle onde S è

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

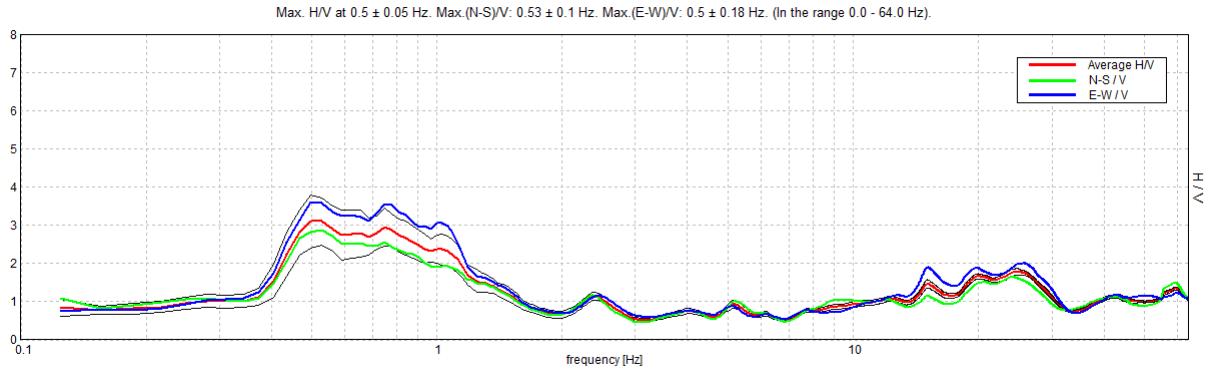
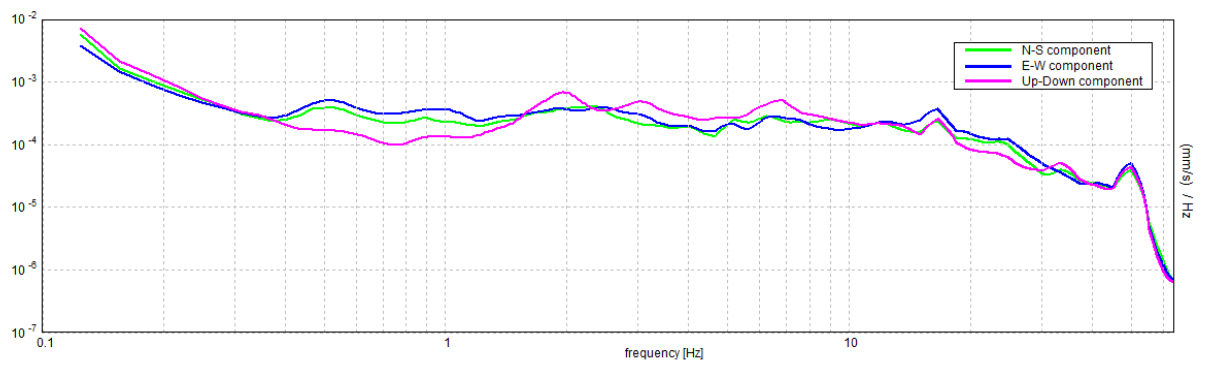
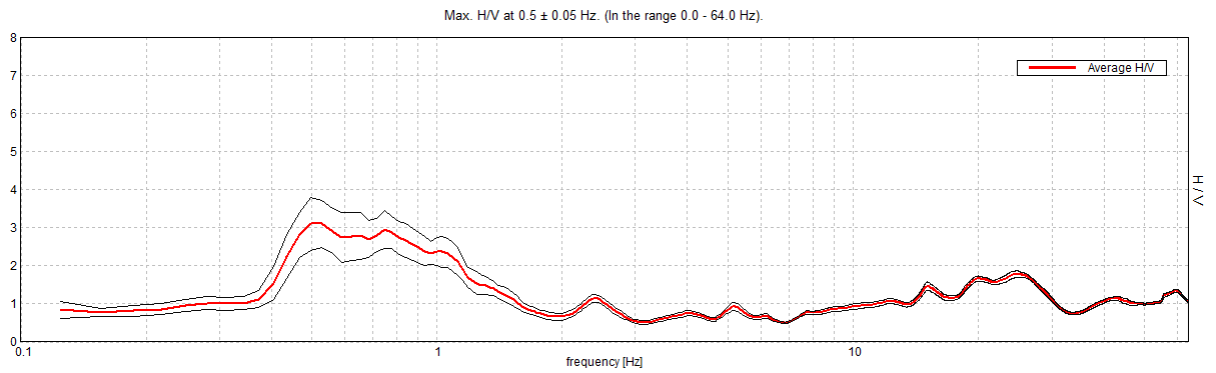
- ✓  $V_0$  è la velocità al tetto dello strato;
- ✓ ad un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.);
- ✓  $\nu$  la frequenza fondamentale di risonanza.

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

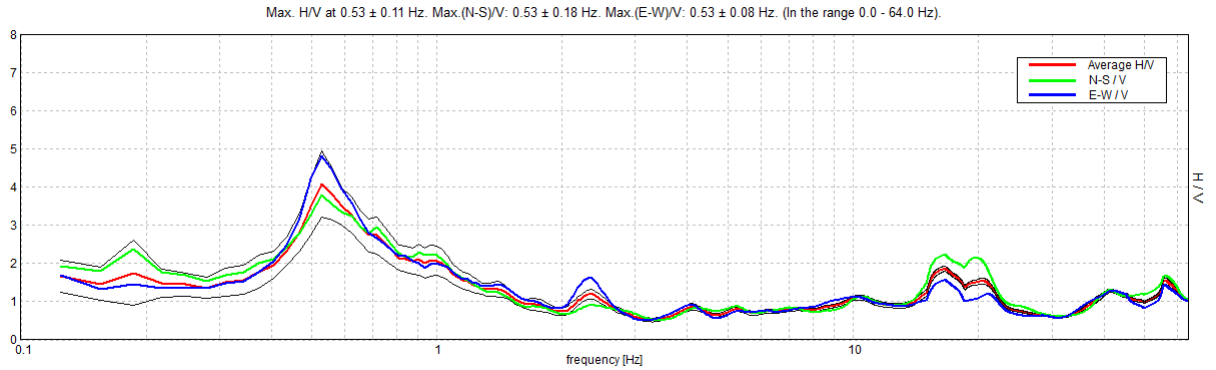
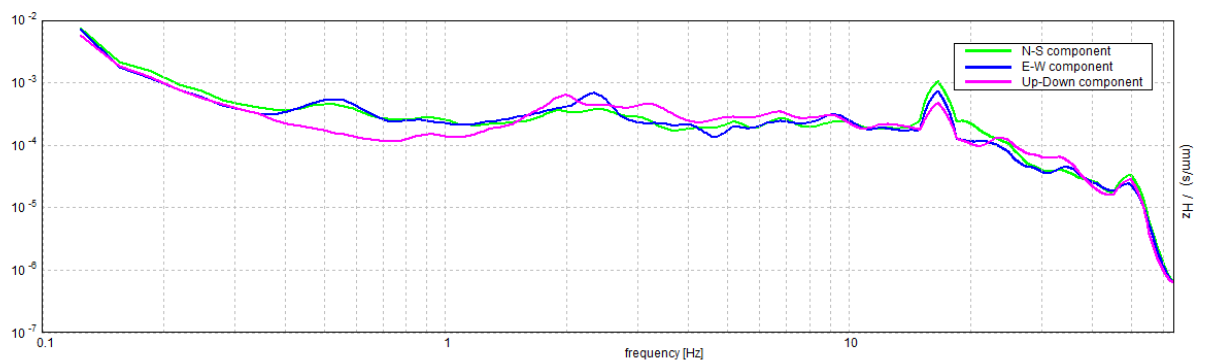
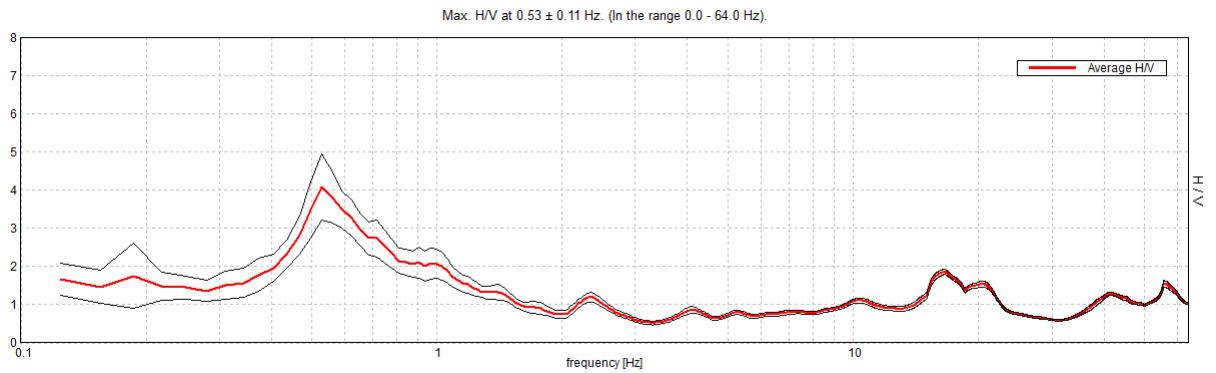
Le ubicazioni dei sondaggi che sono stati eseguiti sono visibili nelle planimetrie allegate mentre di seguito sono riportate, in dettaglio, le interpretazioni dei dati sperimentali ottenuti.

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

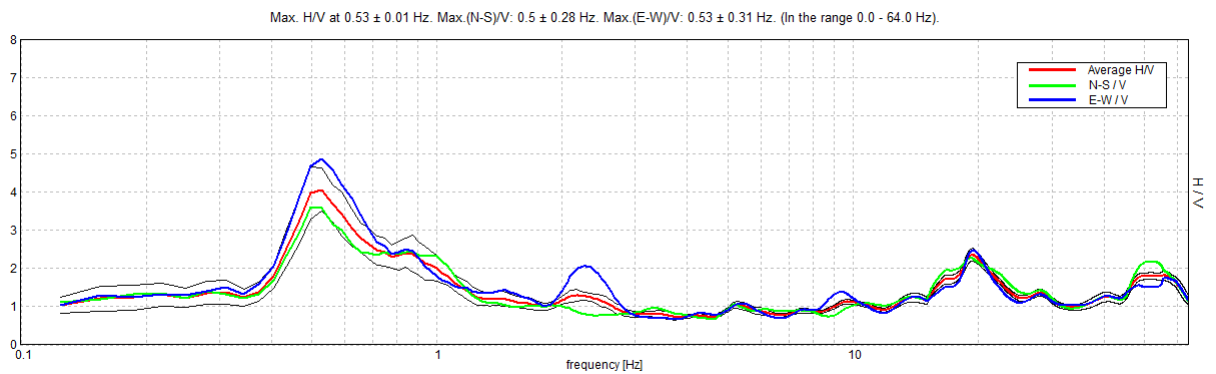
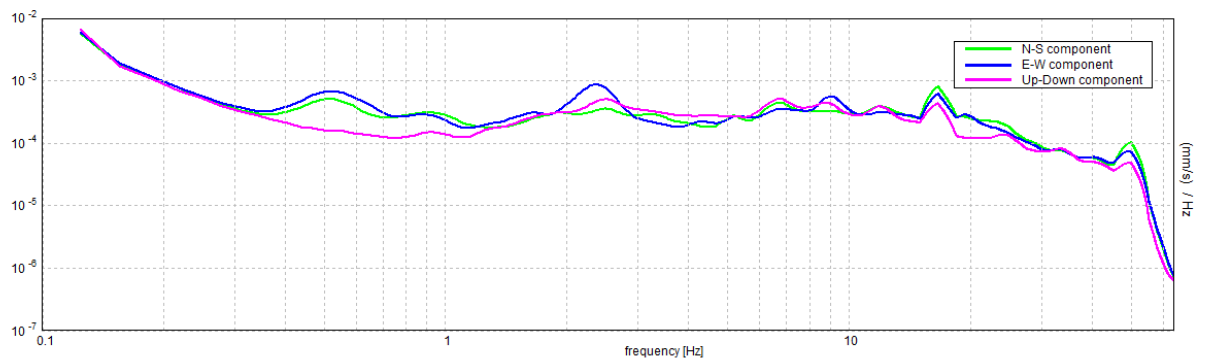
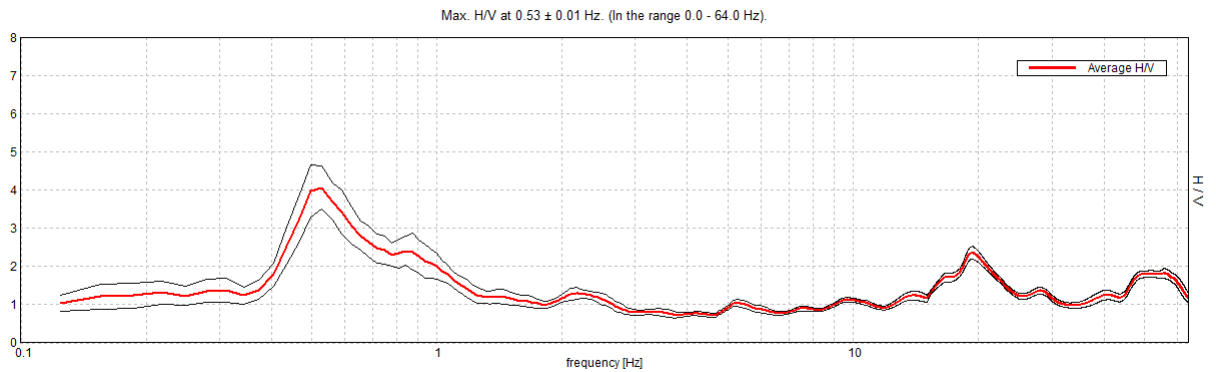
**Sondaggio tromografico T1**



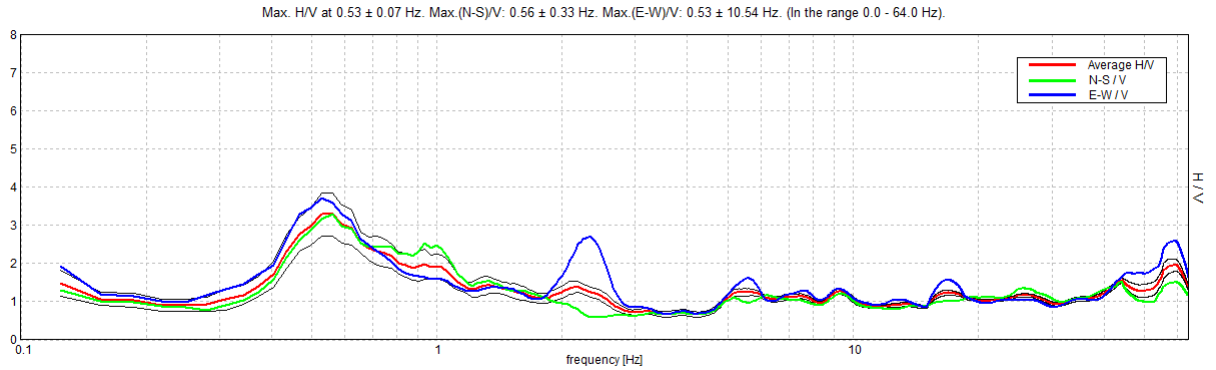
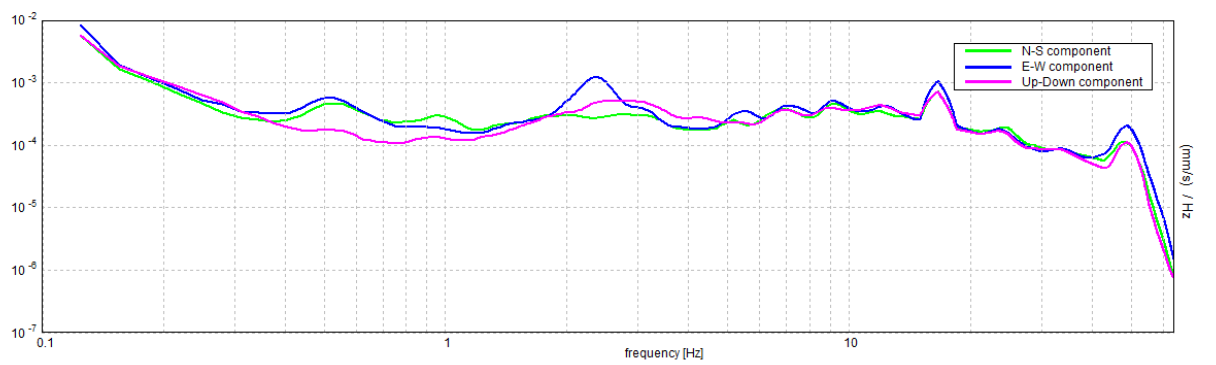
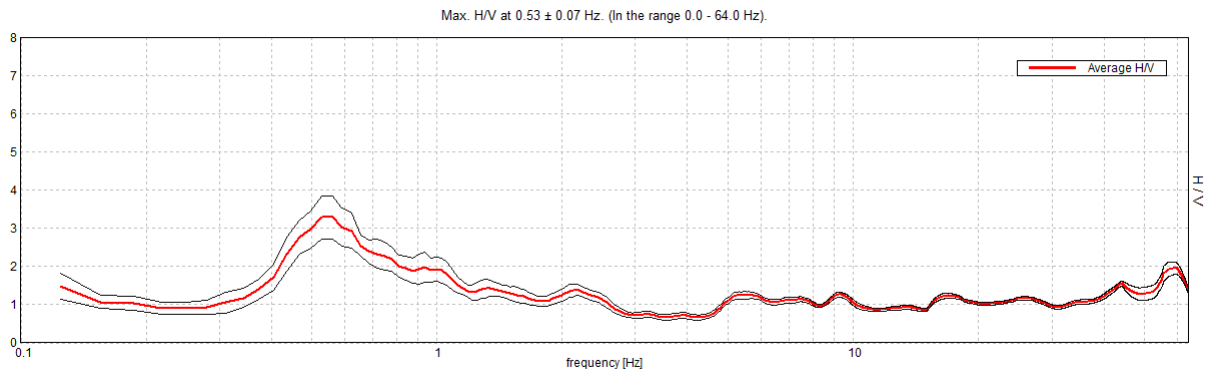
### Sondaggio tromografico T2



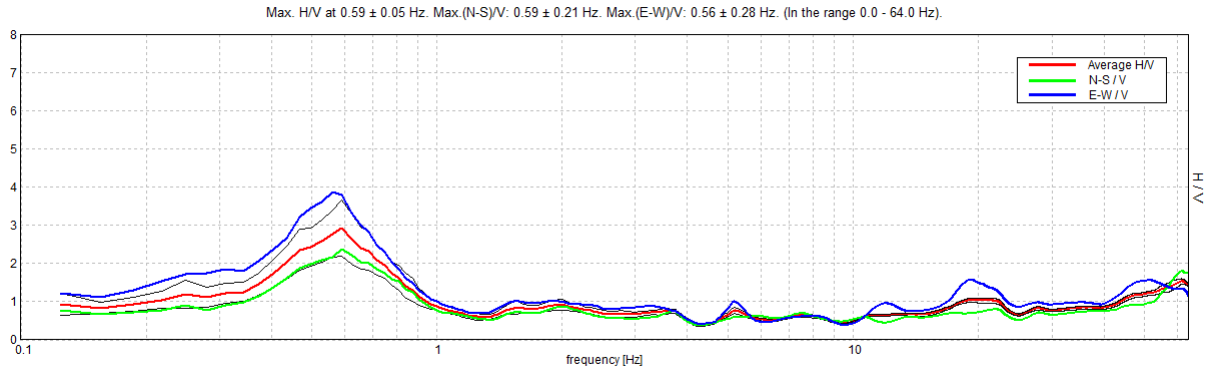
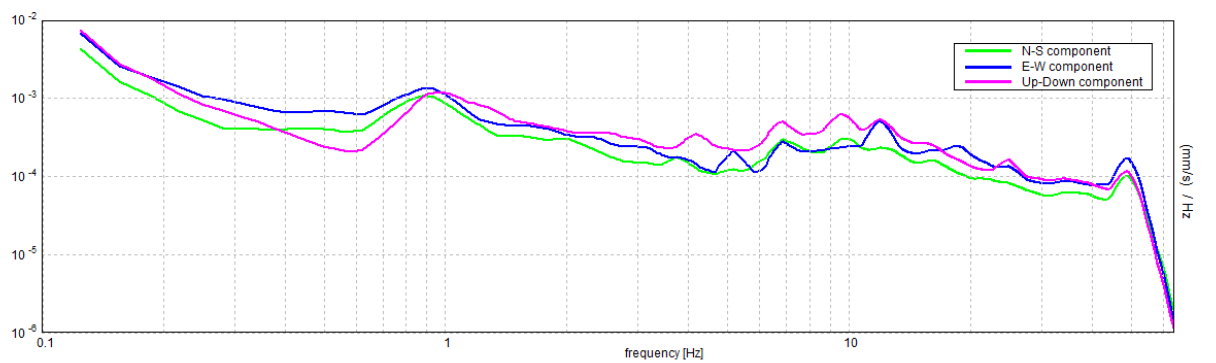
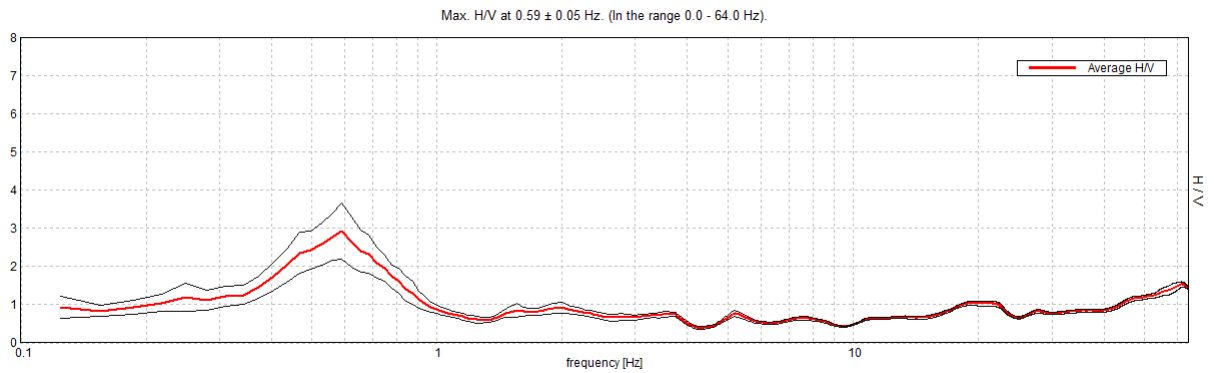
**Sondaggio tromografico T3**



**Sondaggio tromografico T4**

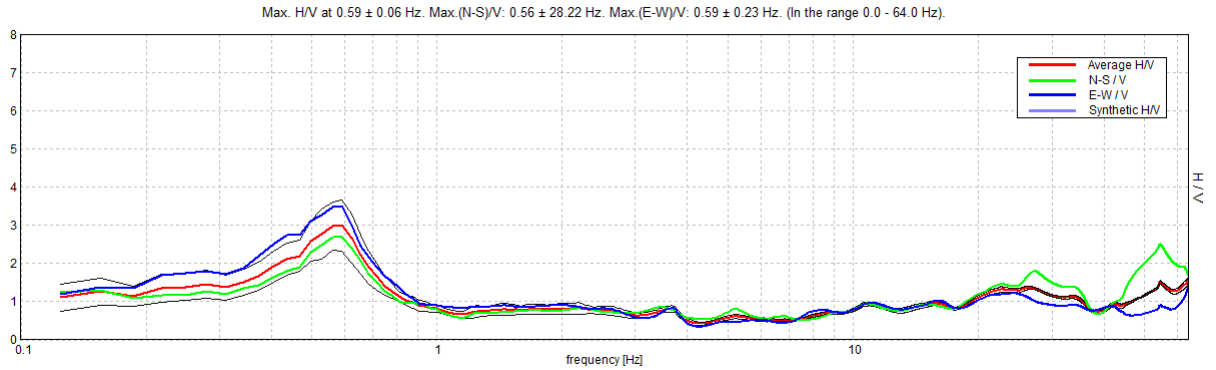
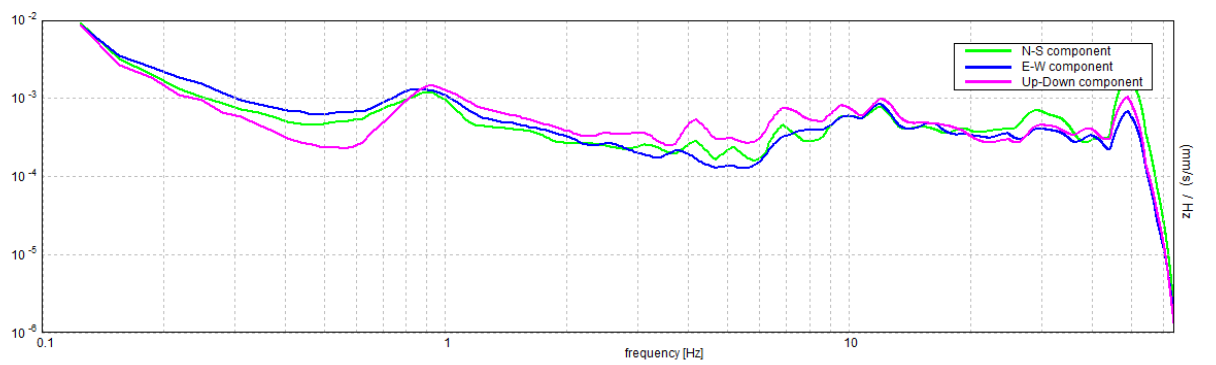
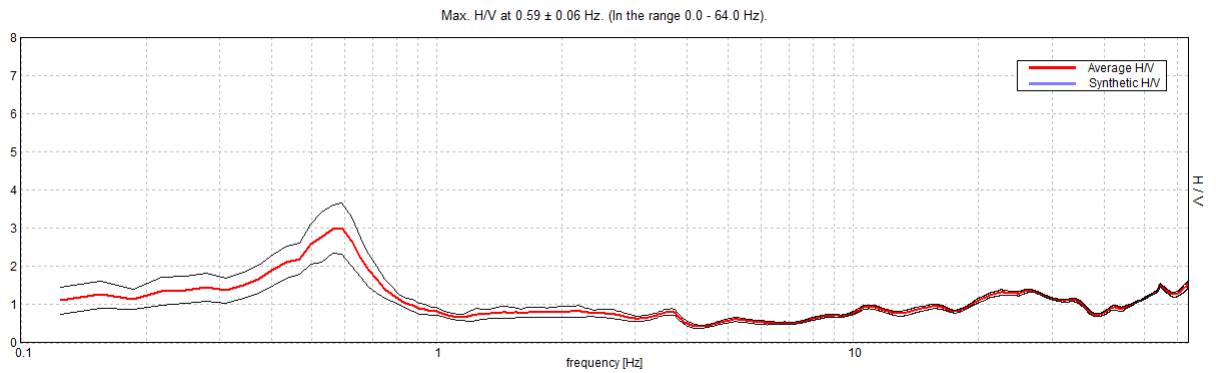


**Sondaggio tromografico T5**

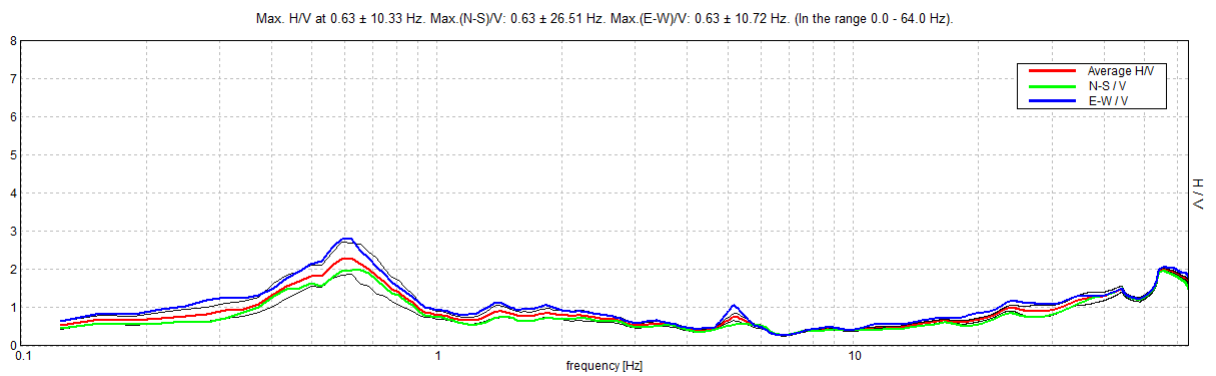
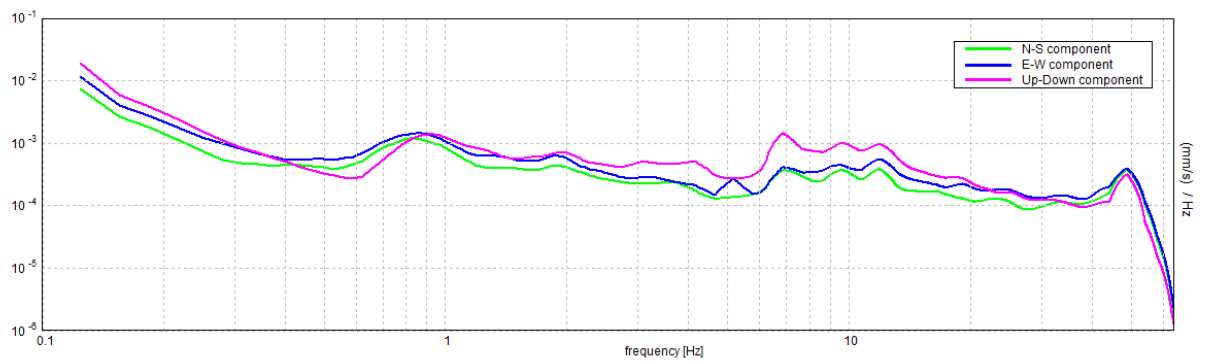
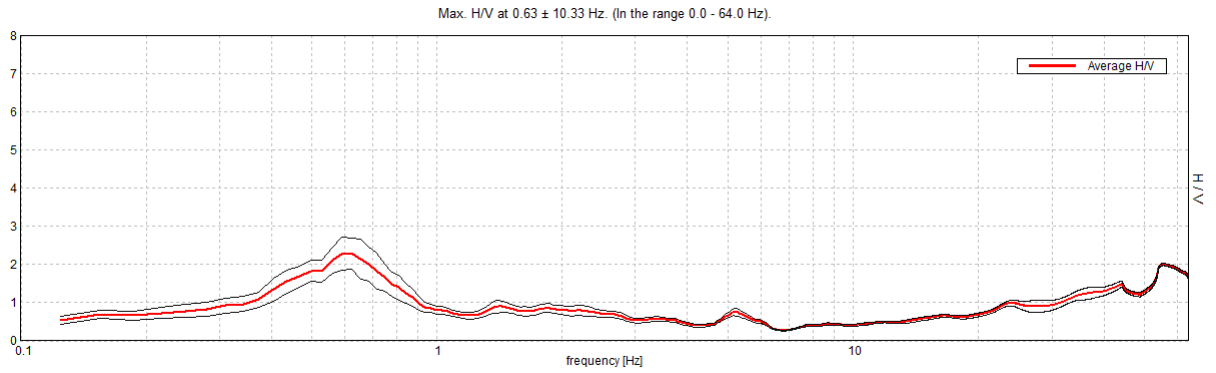




**Sondaggio tromografico T6**

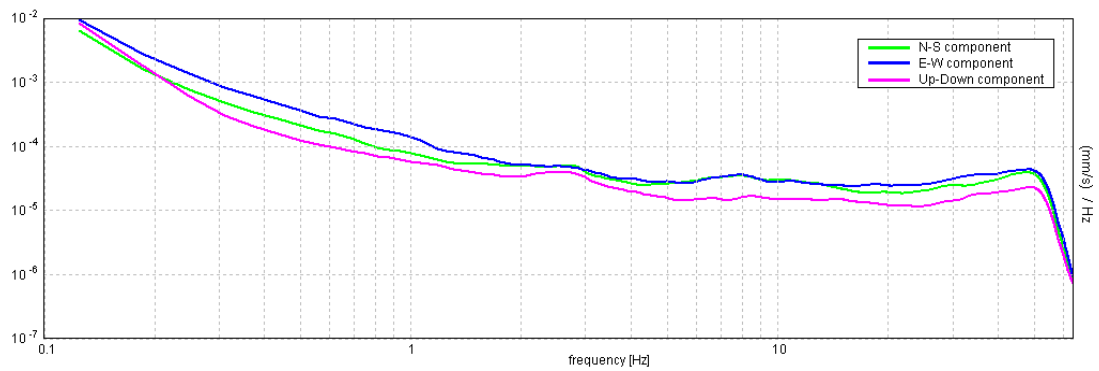
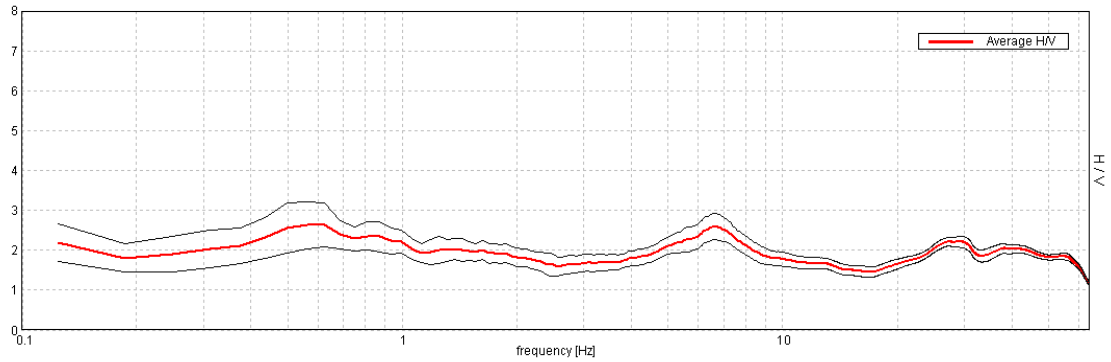


**Sondaggio tromografico T7**

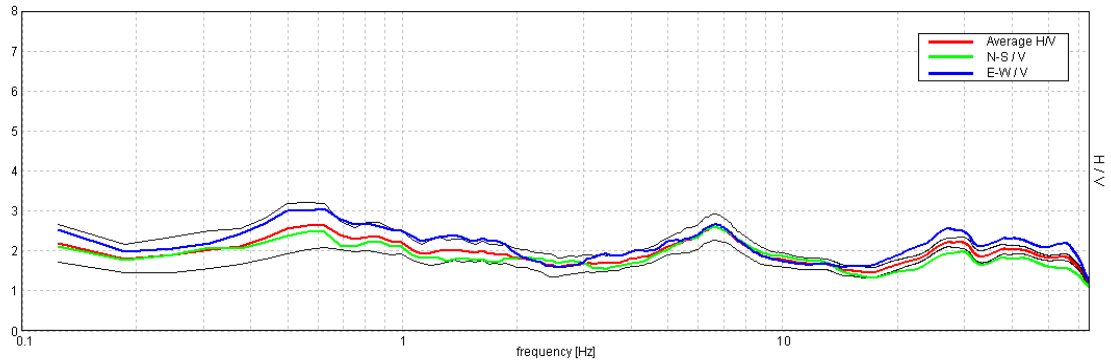


**Sondaggio tromografico T8**

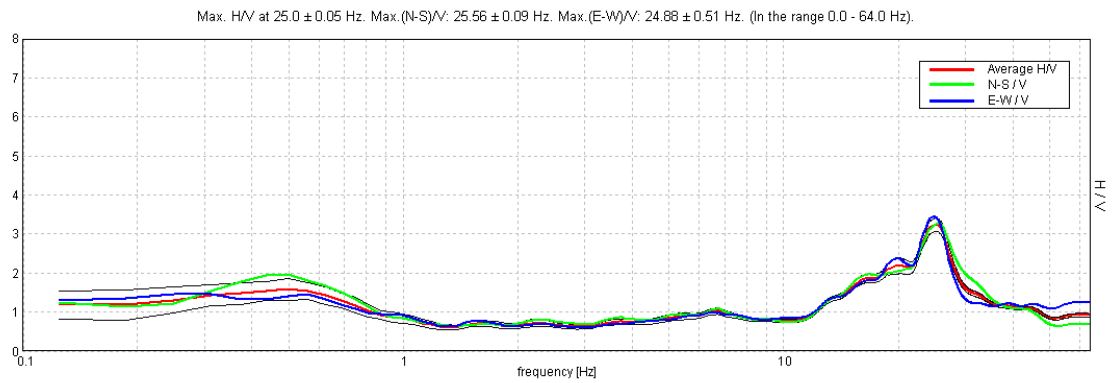
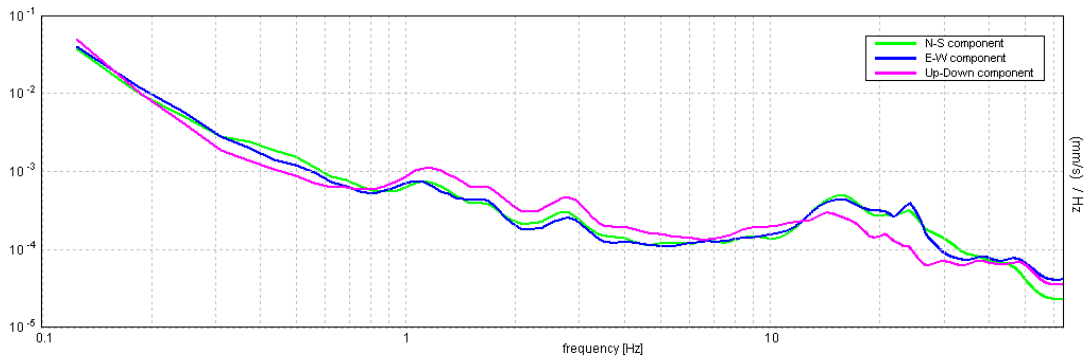
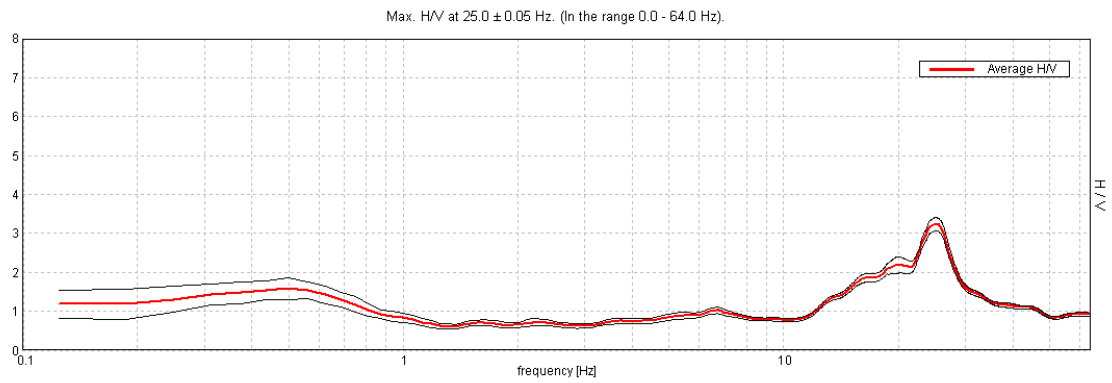
Max. HV at  $0.63 \pm 3.79$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



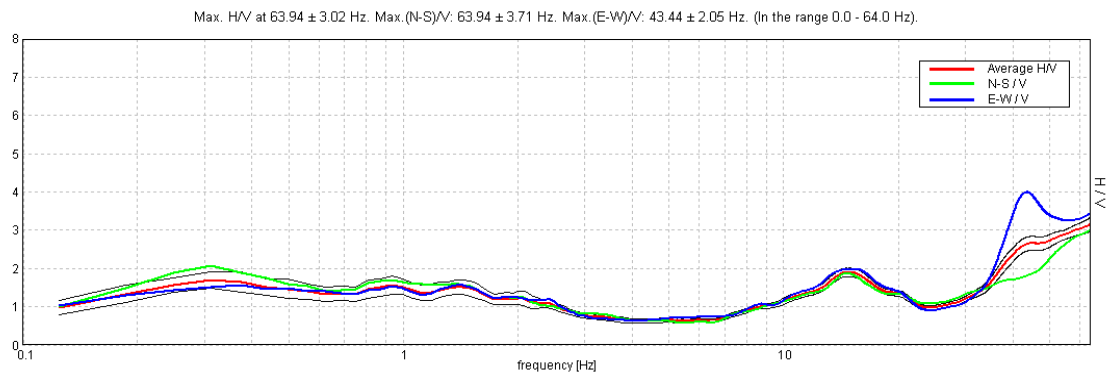
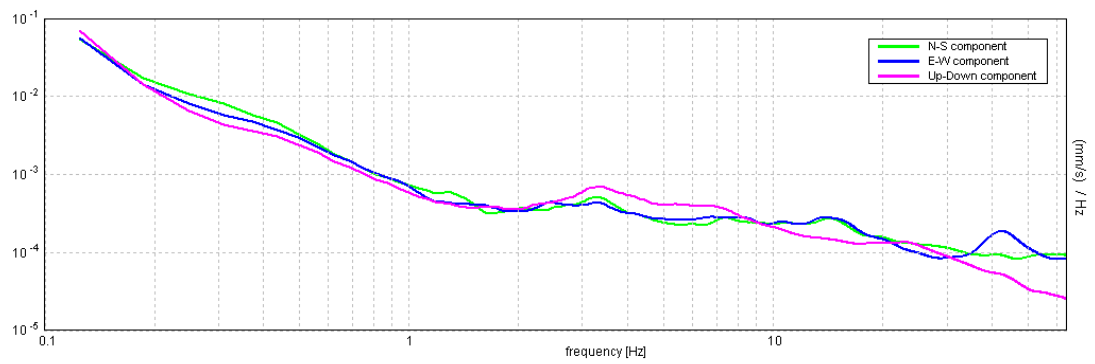
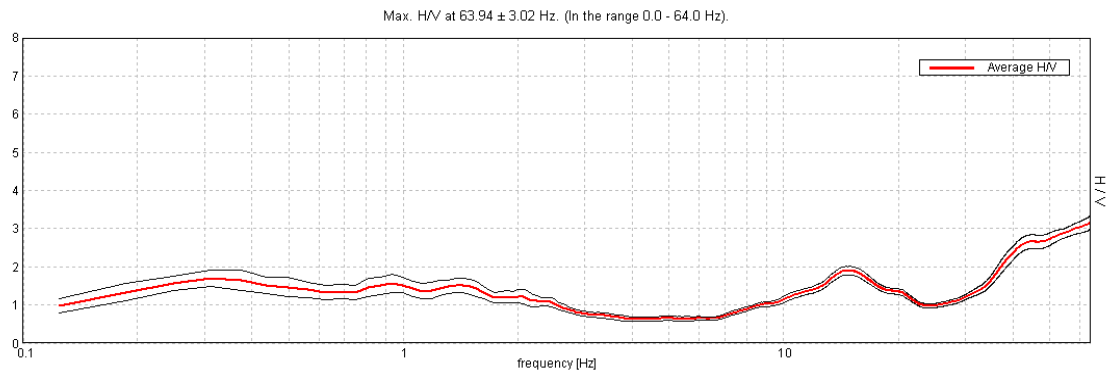
Max. HV at  $0.63 \pm 3.79$  Hz. Max.(N-S)/V:  $6.56 \pm 3.59$  Hz. Max.(E-W)/V:  $0.63 \pm 2.11$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



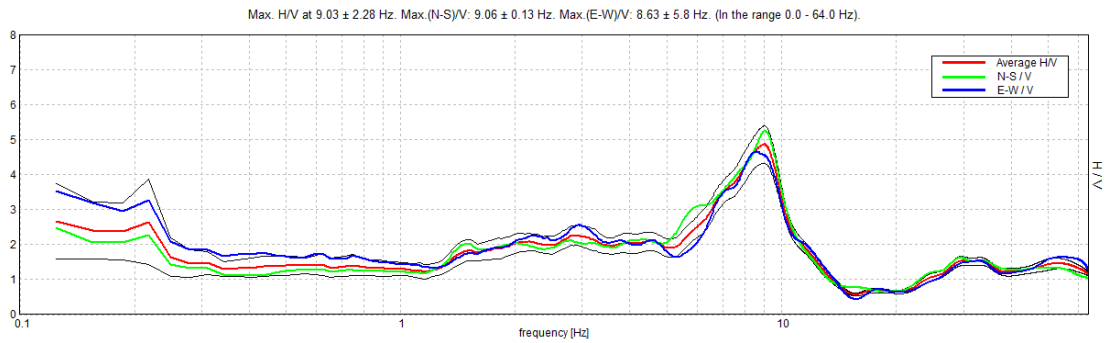
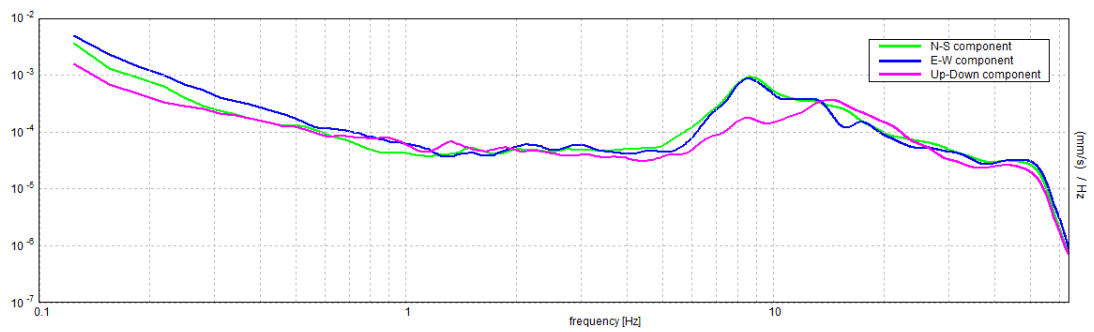
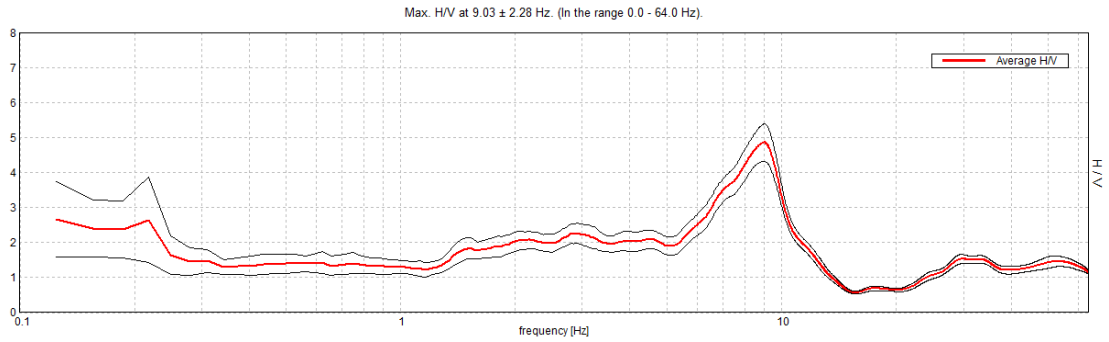
**Sondaggio tromografico T9**



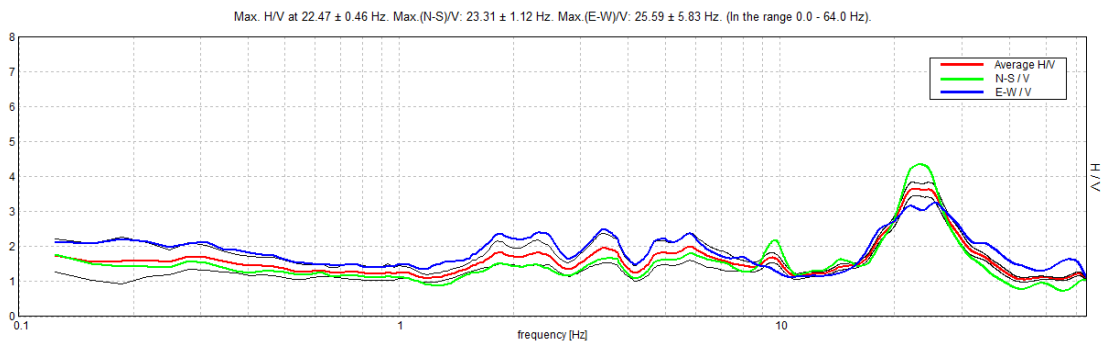
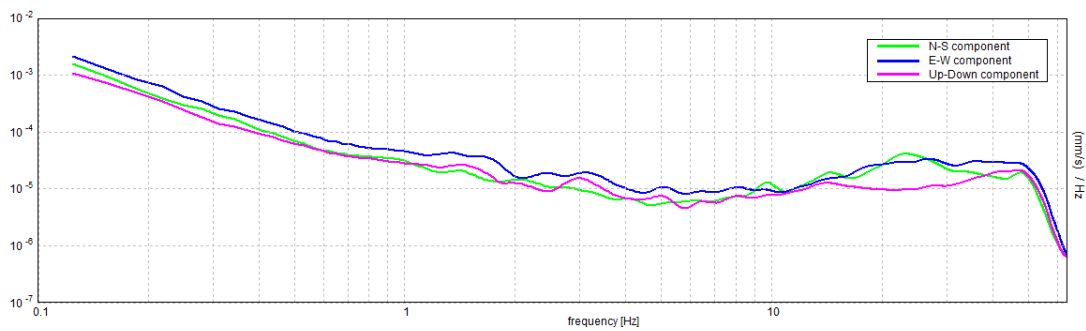
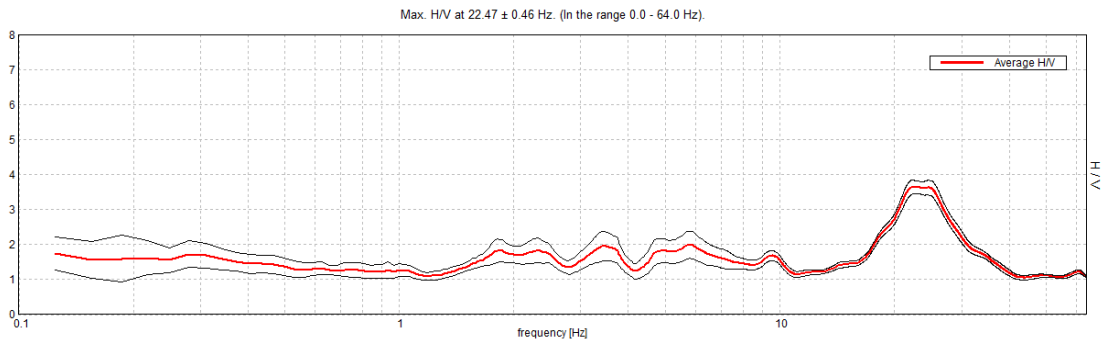
**Sondaggio tromografico T10**



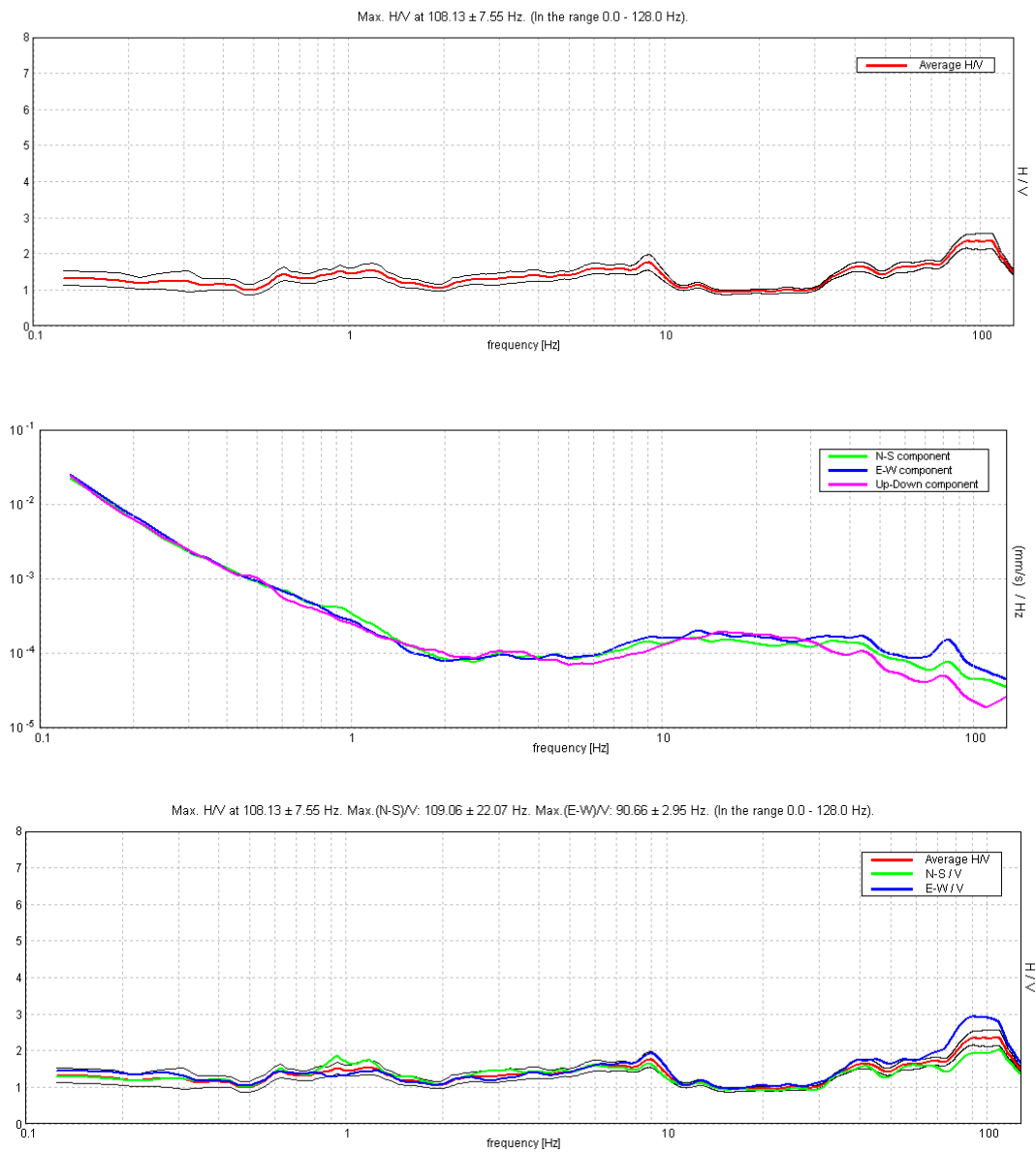
**Sondaggio tromografico T11**



**Sondaggio tromografico T12**

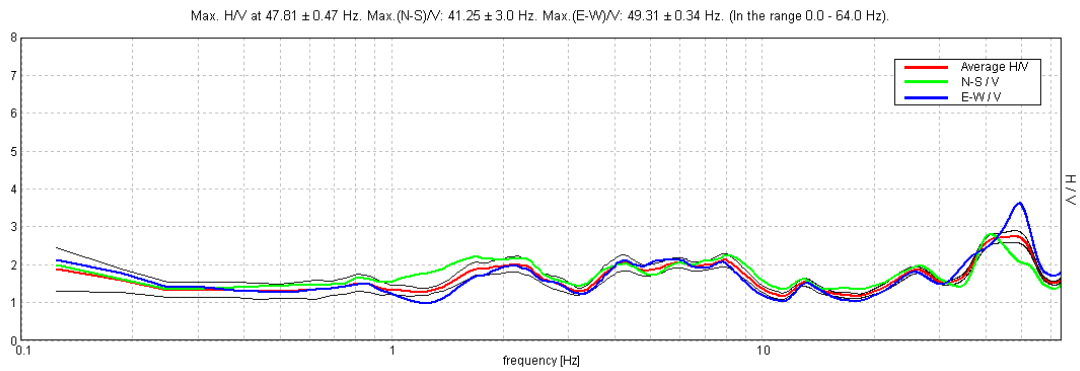
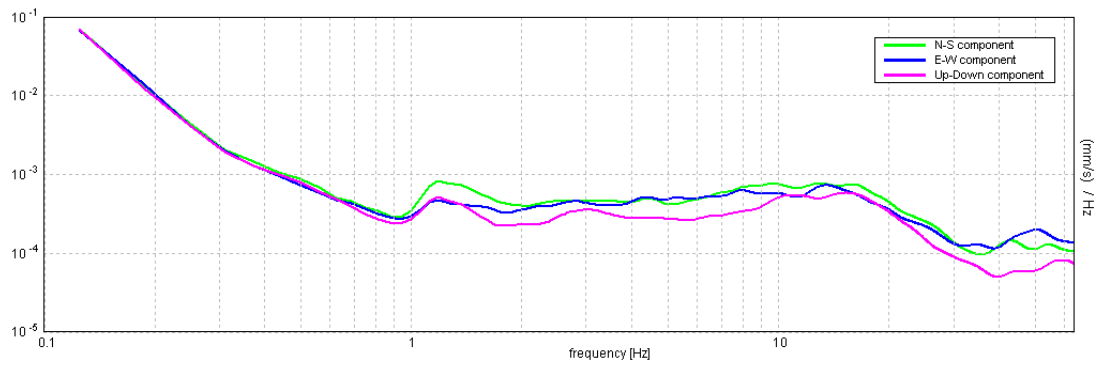
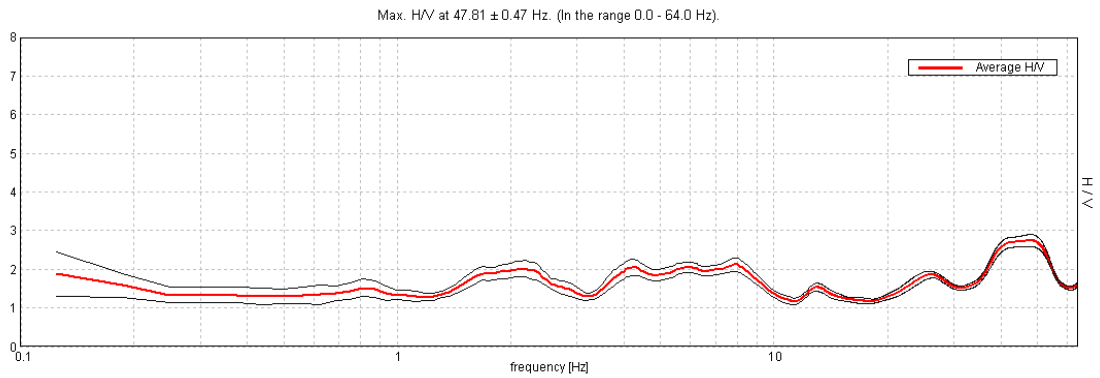


**Sondaggio tromografico T13**

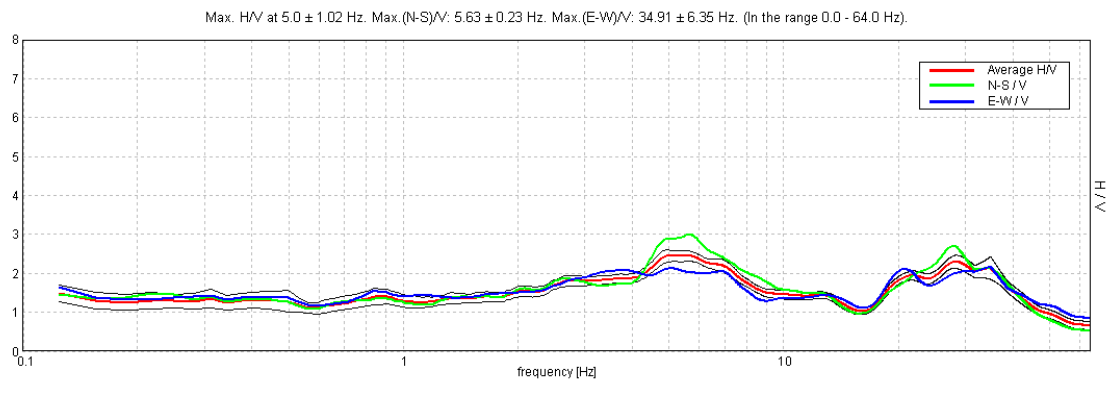
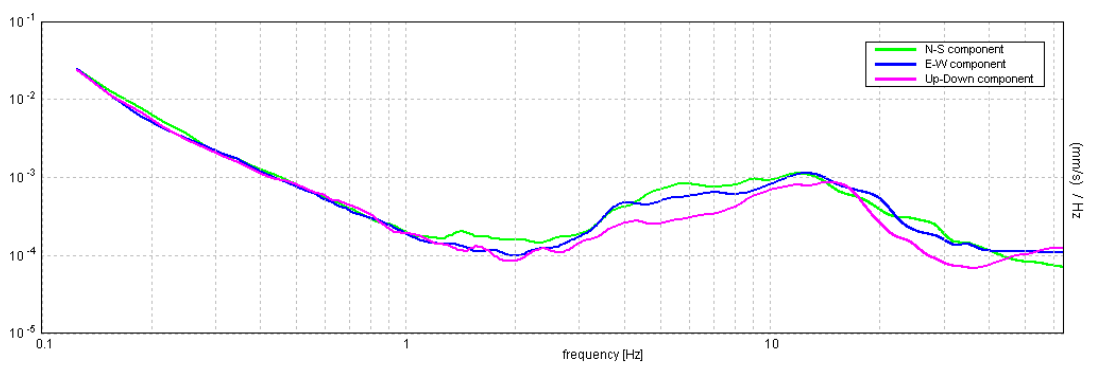
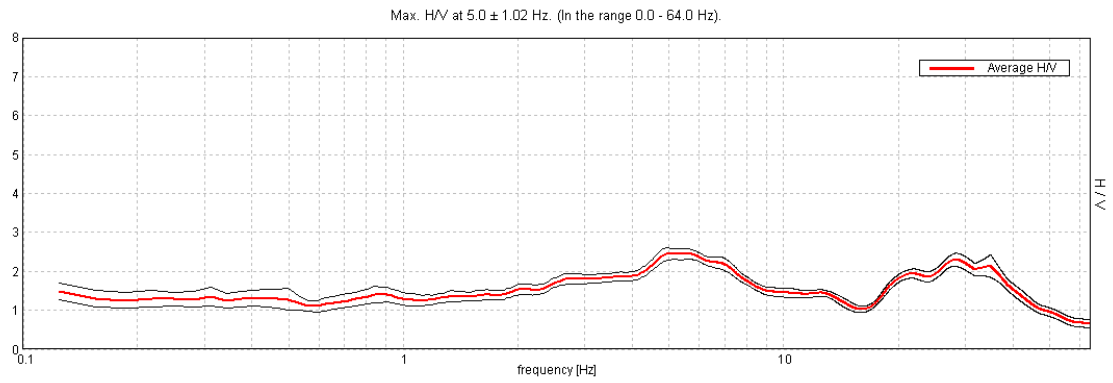




**Sondaggio tromografico T14**

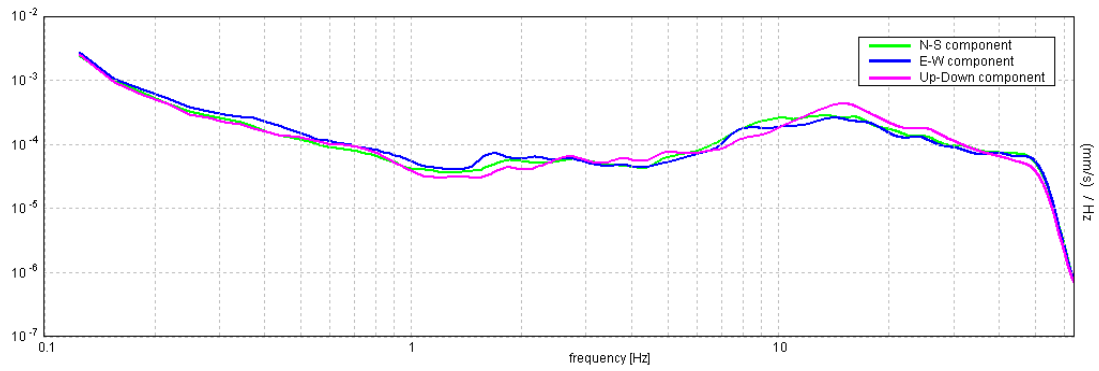
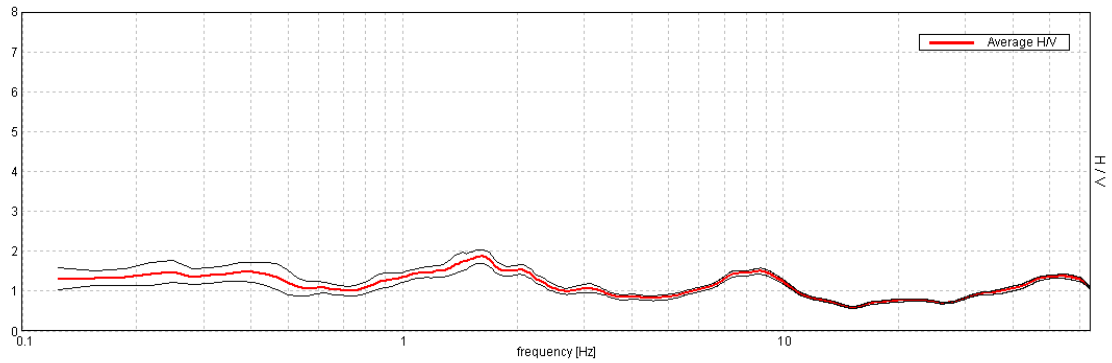


**Sondaggio tromografico T15**

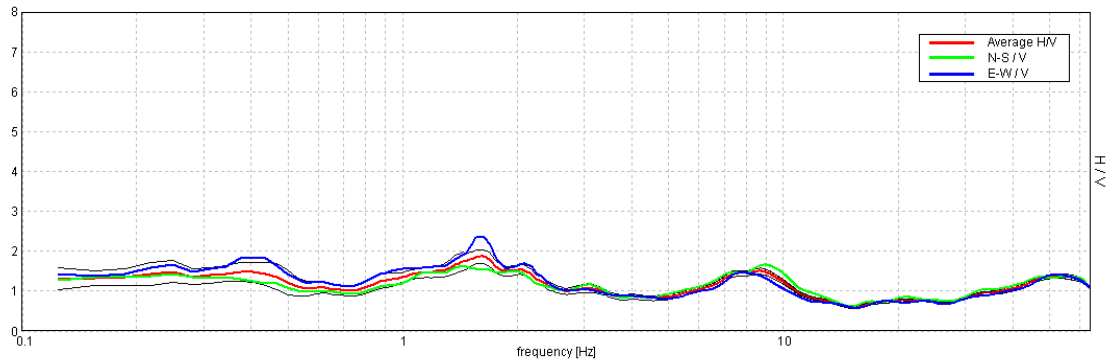


**Sondaggio tromografico T16**

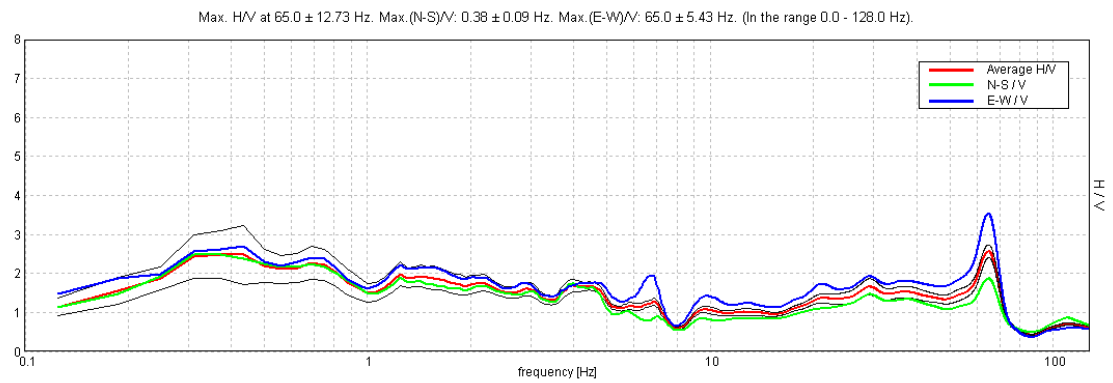
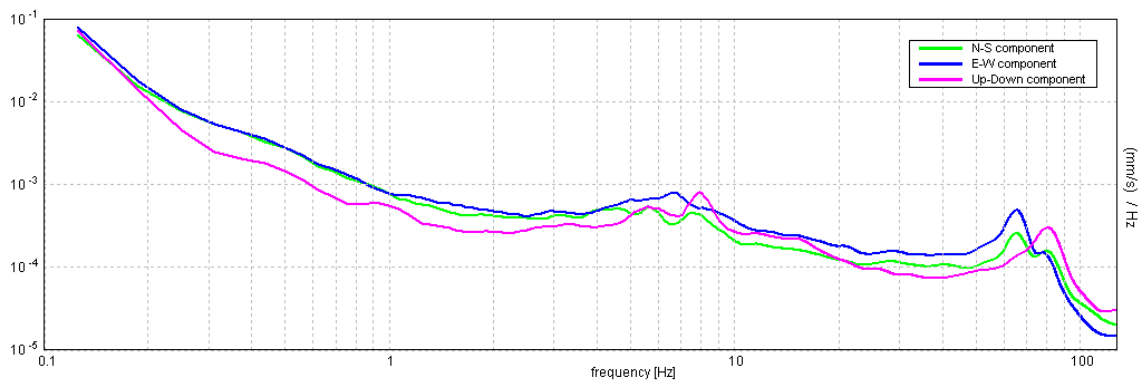
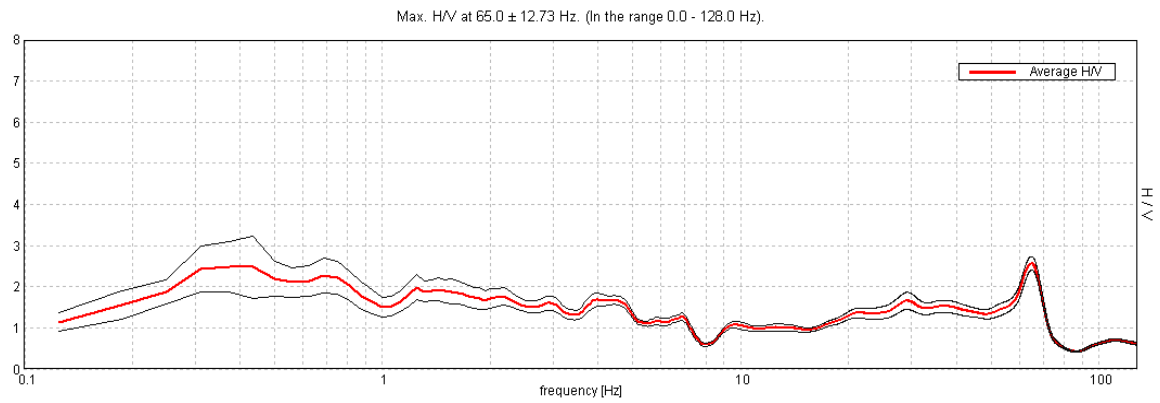
Max. HV at  $1.63 \pm 0.49$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



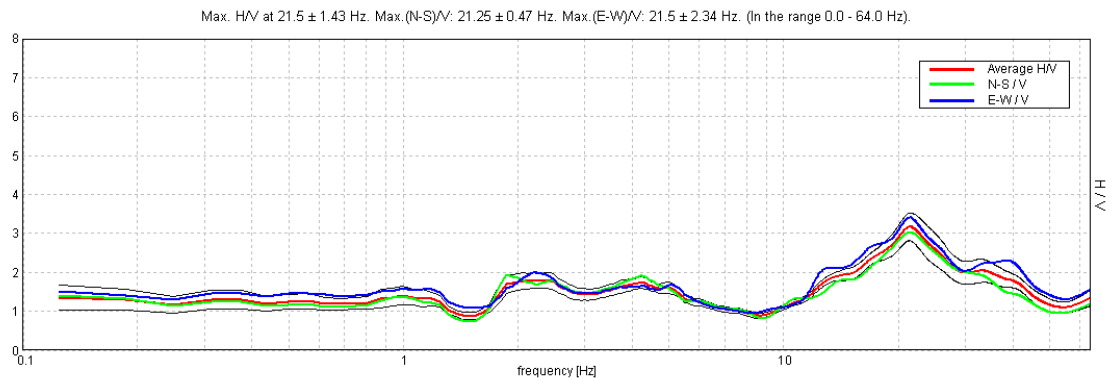
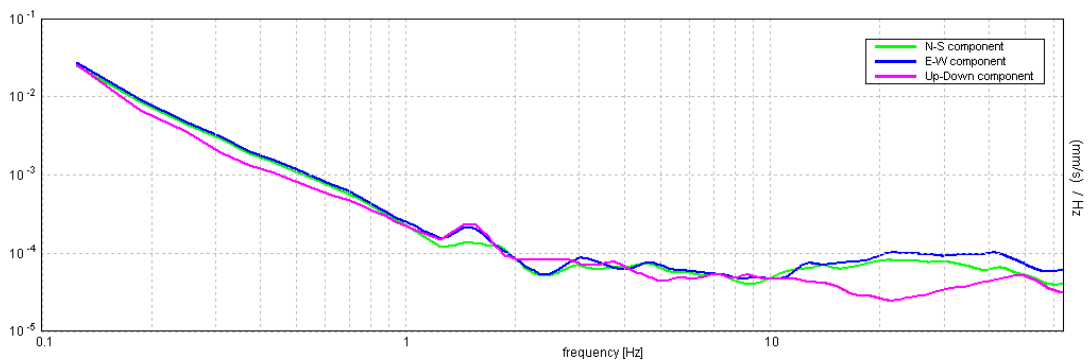
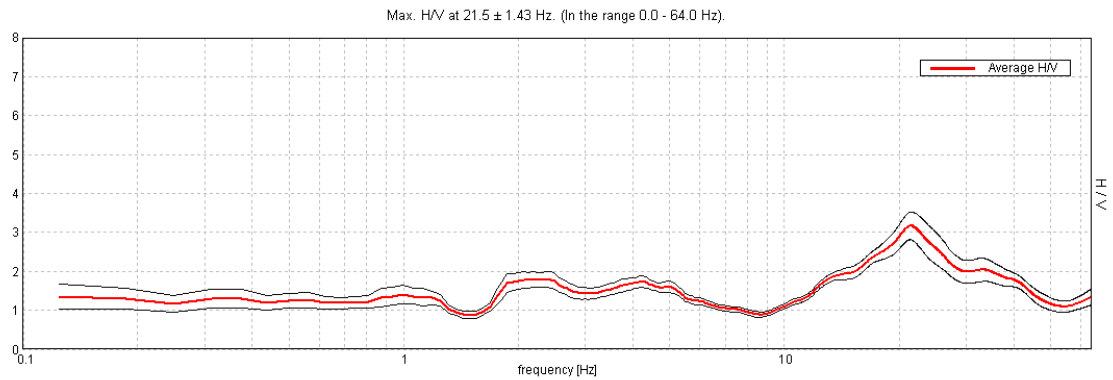
Max. HV at  $1.63 \pm 0.49$  Hz. Max. (N-S)/V:  $8.94 \pm 7.54$  Hz. Max. (E-W)/V:  $1.63 \pm 0.41$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



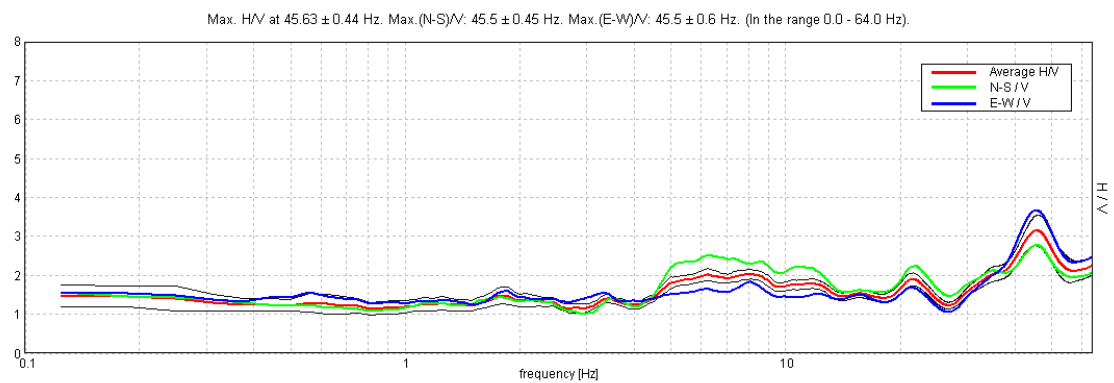
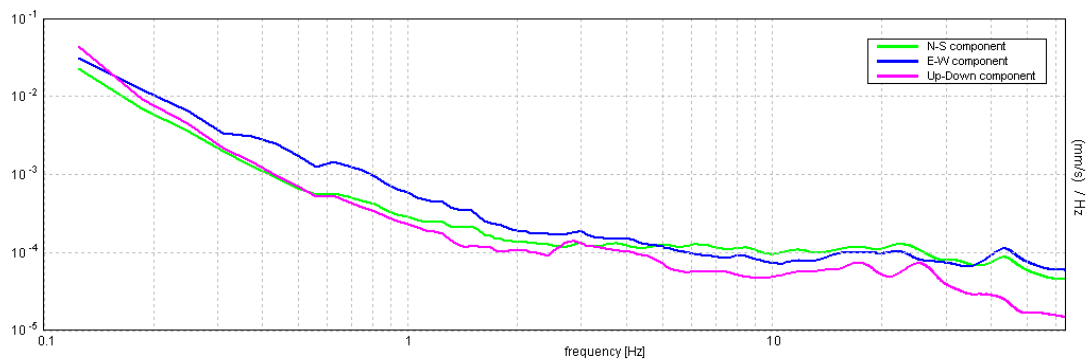
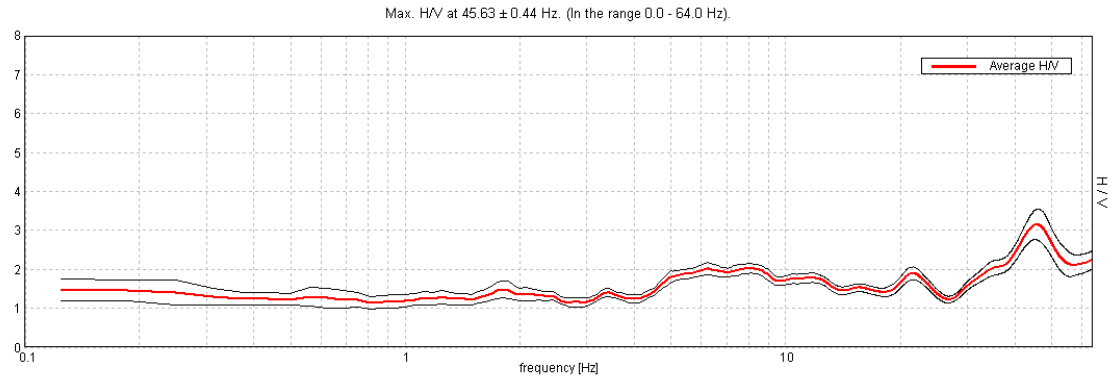
**Sondaggio tromografico T17**



**Sondaggio tromografico T18**

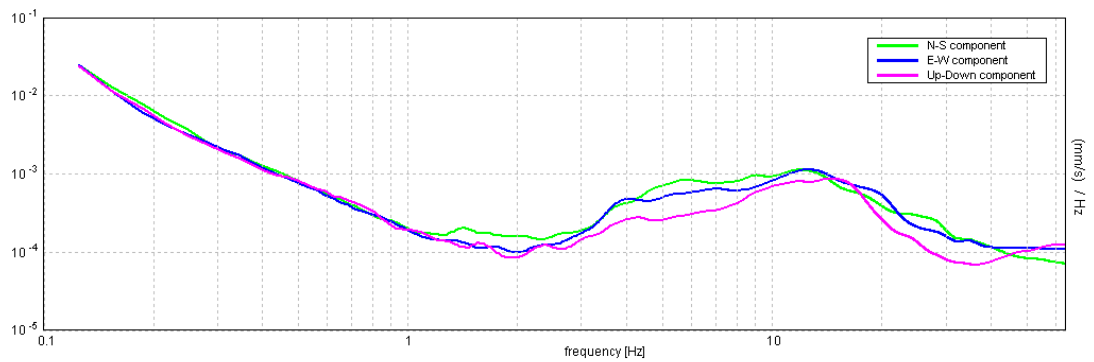
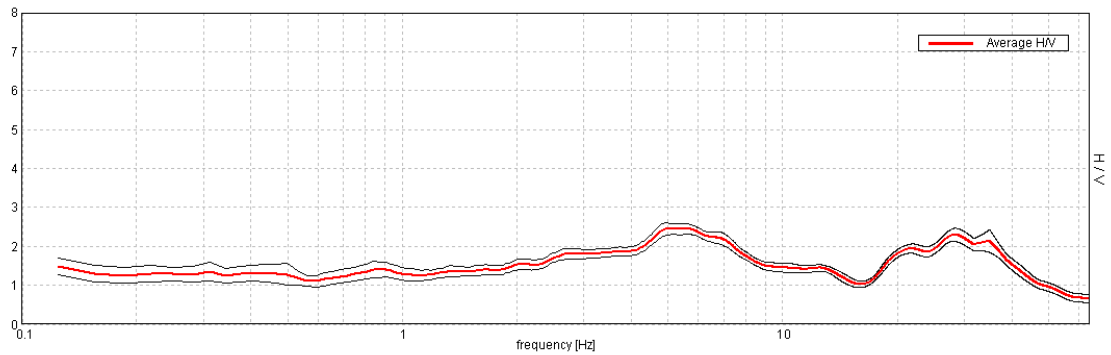


**Sondaggio tromografico T19**

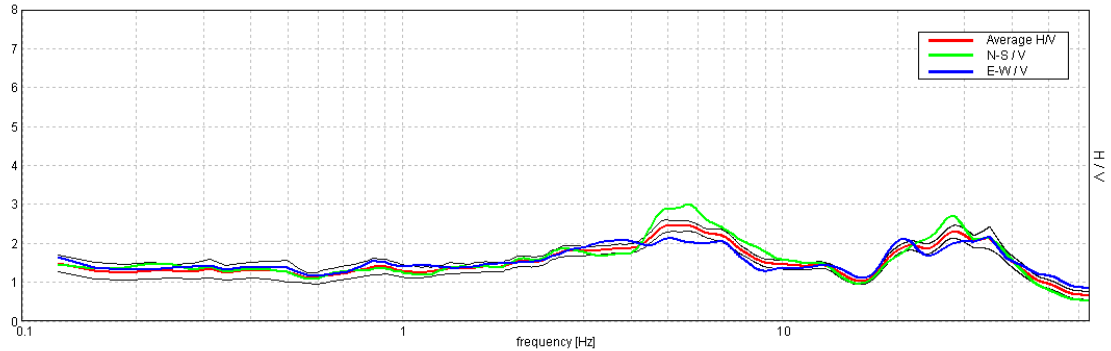


**Sondaggio tromografico T20**

Max. HV at  $5.0 \pm 1.02$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Max. HV at  $5.0 \pm 1.02$  Hz. Max. (N-S)/V:  $5.63 \pm 0.23$  Hz. Max. (E-W)/V:  $34.91 \pm 6.35$  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

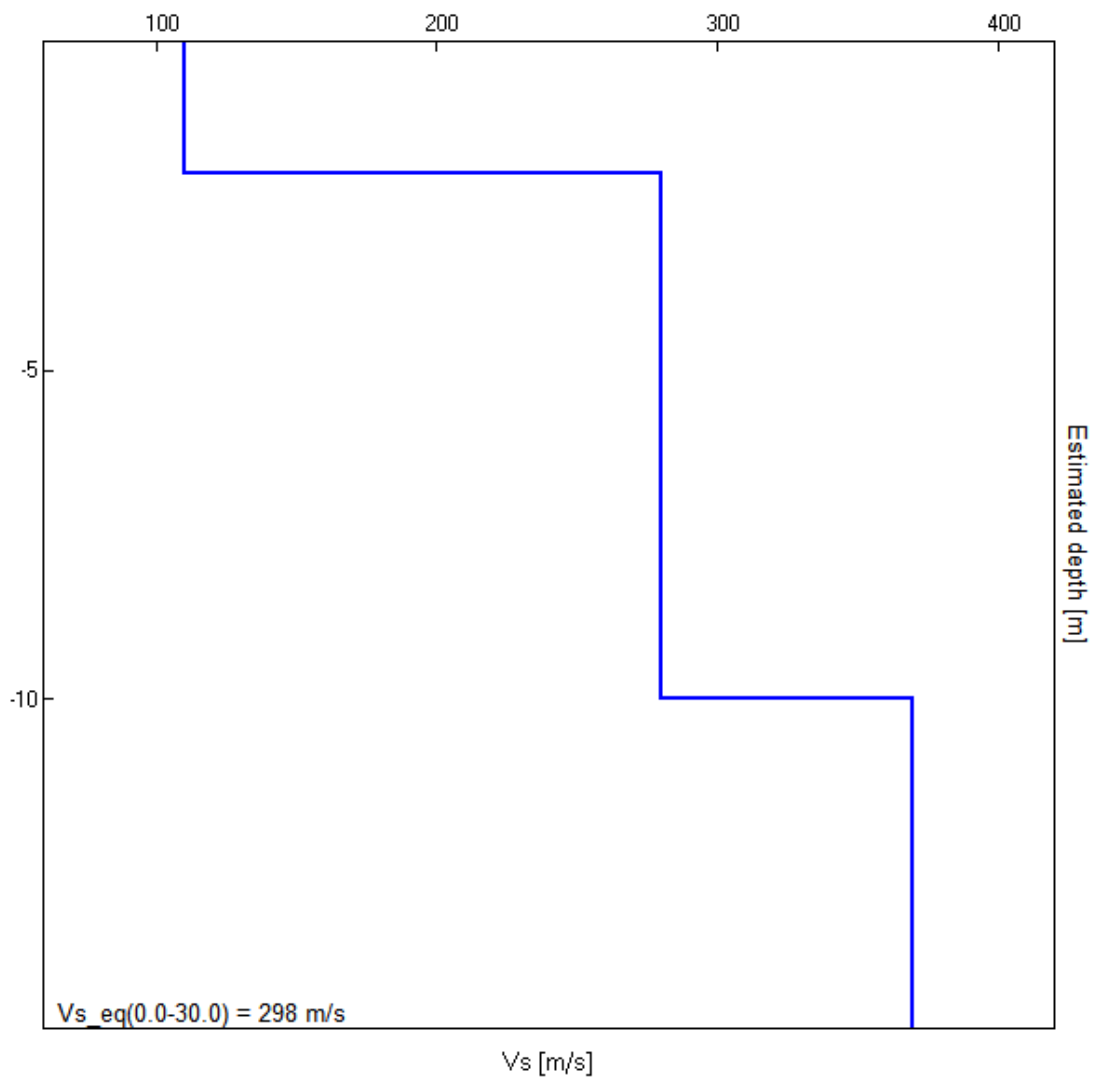
$$V = 4 f_r h$$

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



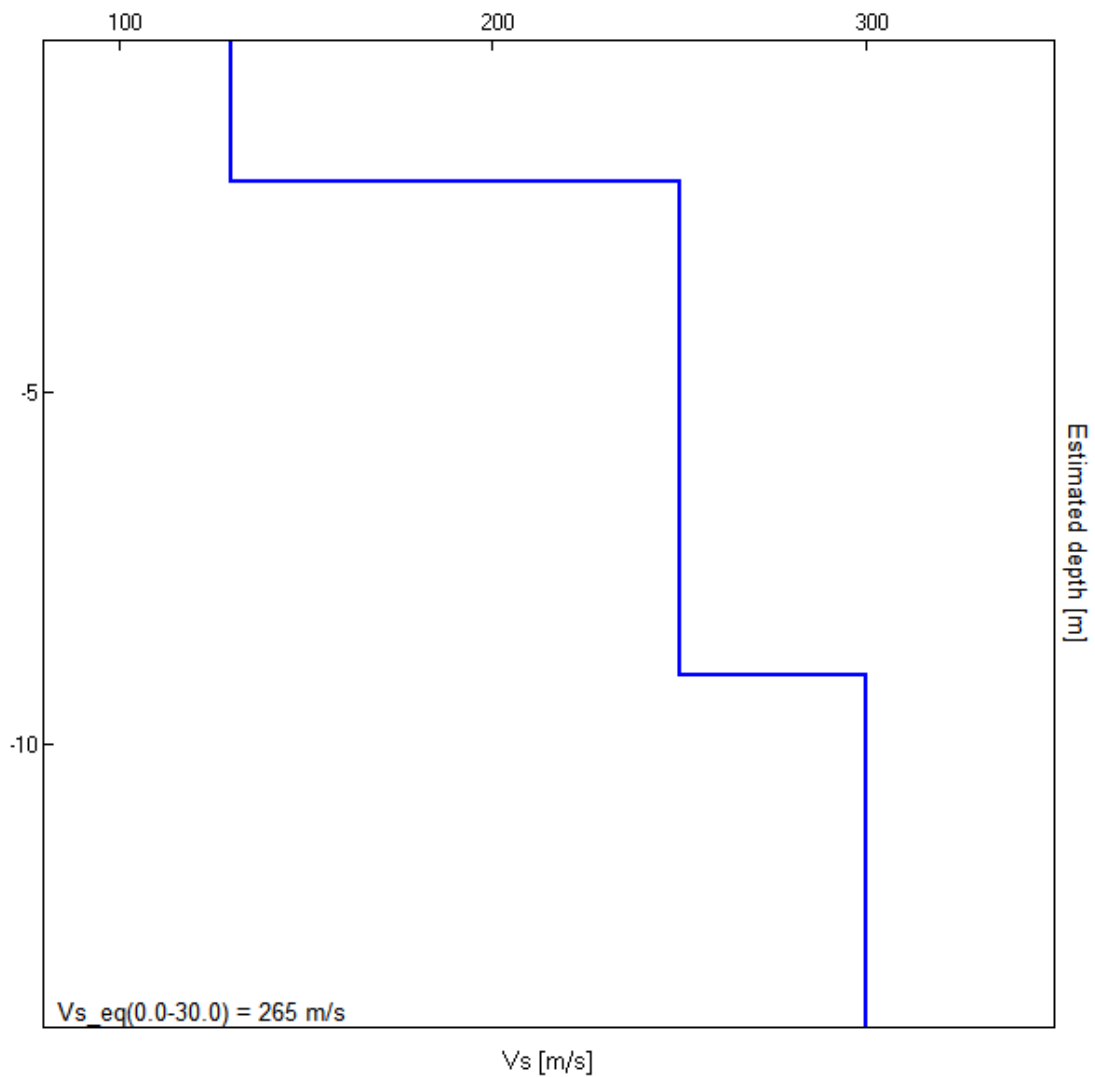
**Interpretazione sondaggio tromografico T1**

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



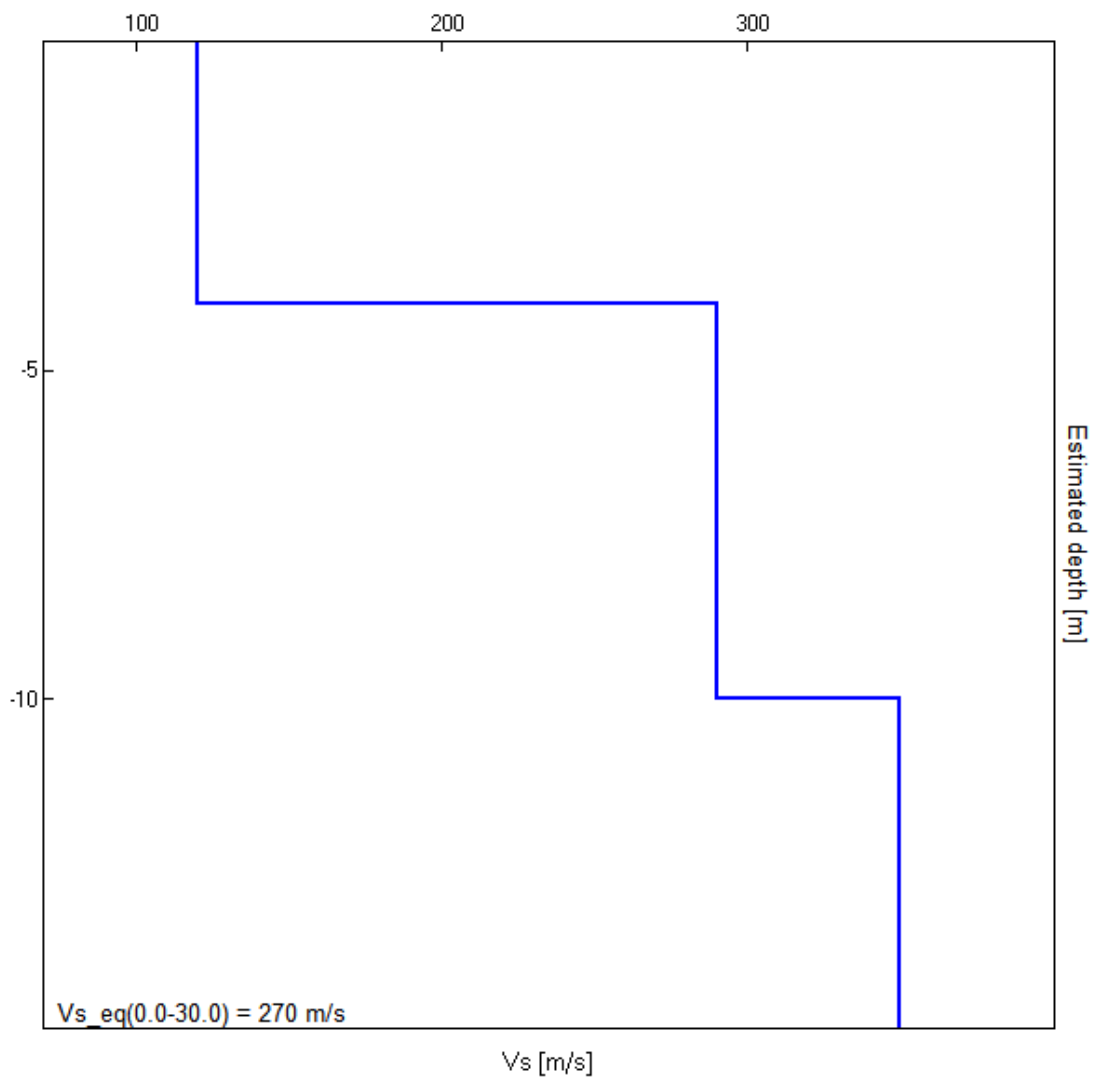
**Interpretazione sondaggio tromografico T2**

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



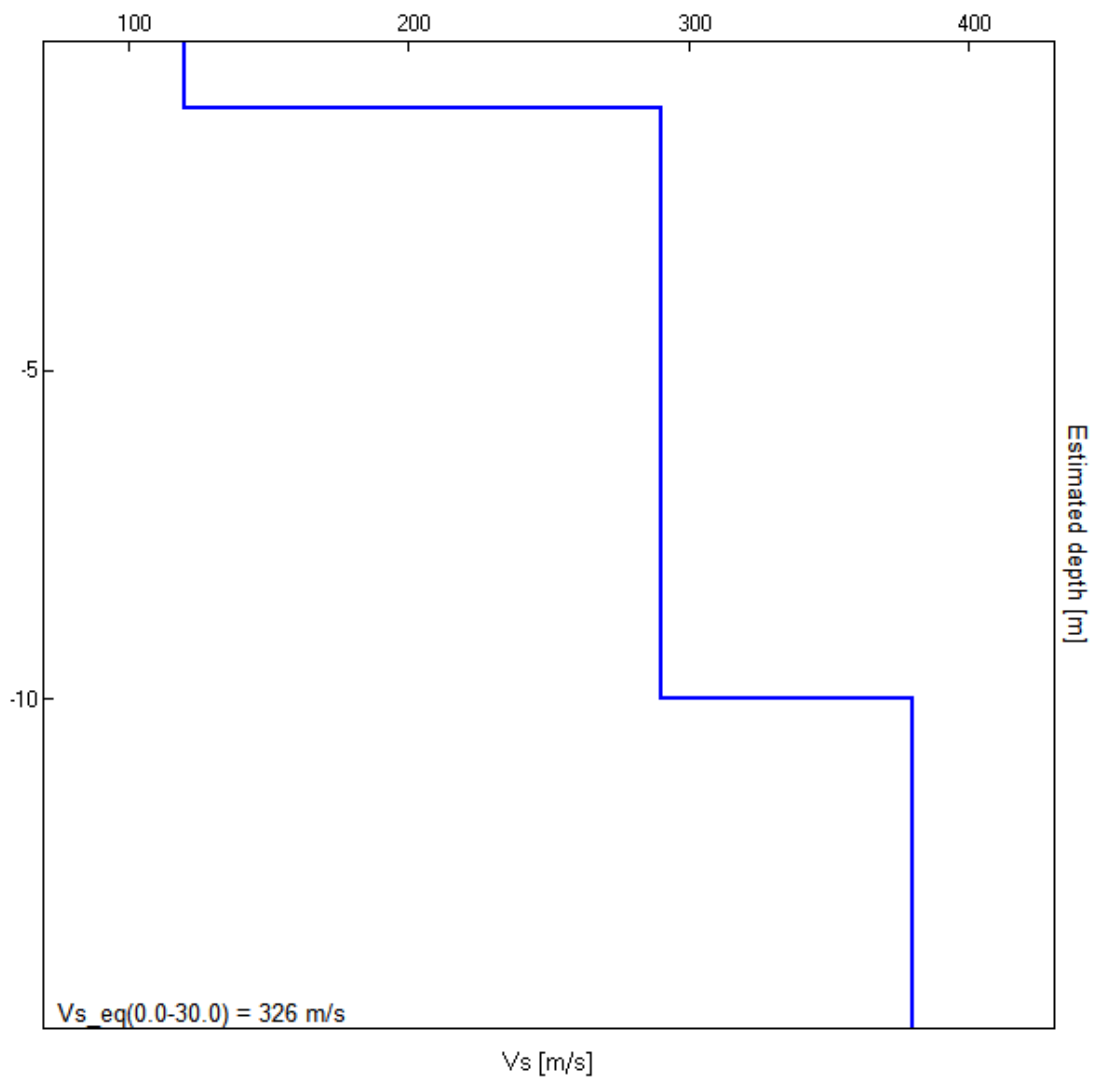
**Interpretazione sondaggio tromografico T3**

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



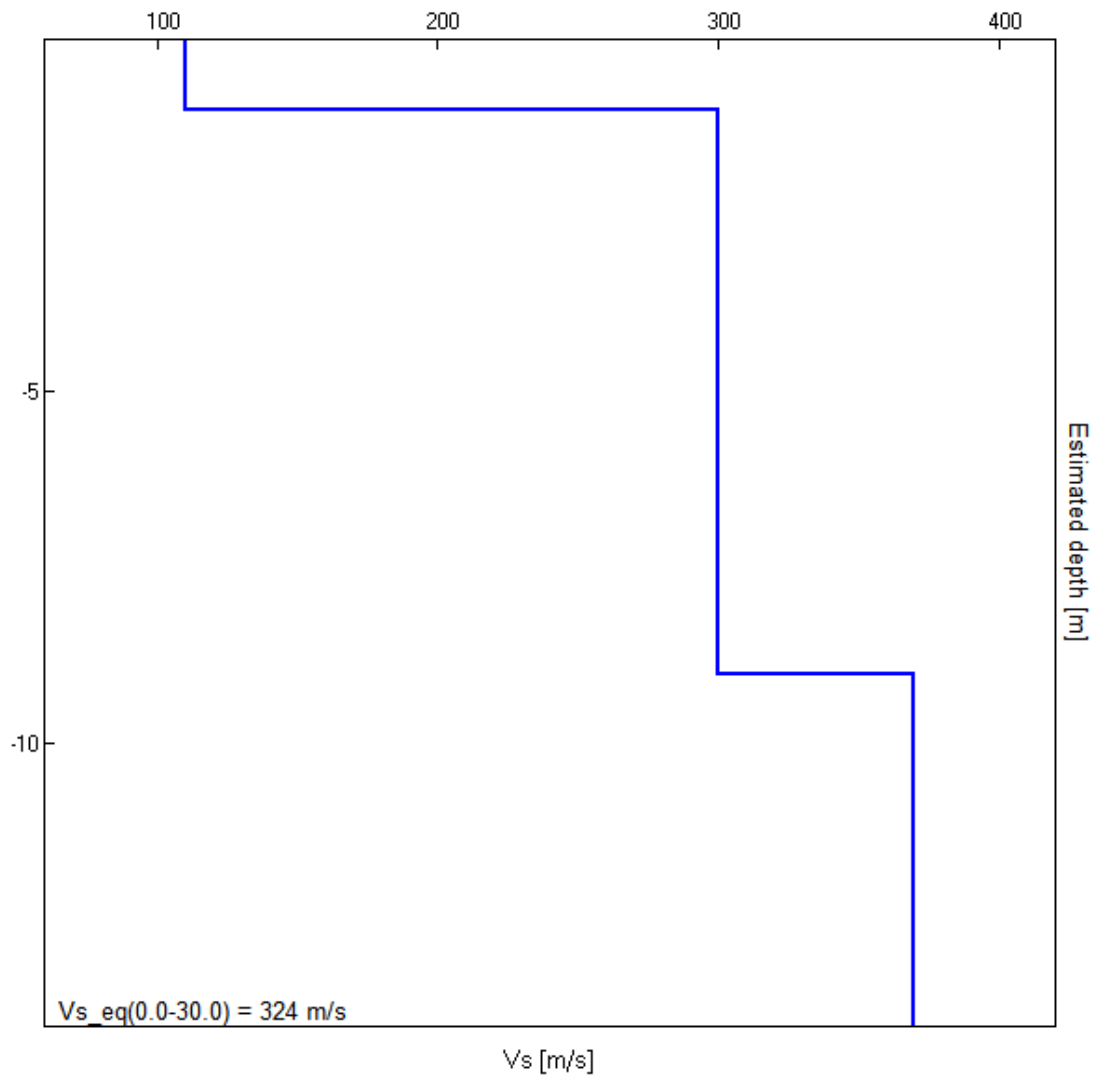
**Interpretazione sondaggio tromografico T4**

<b>Profondità (m)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	<b>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</b>	
0.00-1.00	120	C	<b>C</b> (Vs,eq = 326 m/s)
1.00-10.00	290	C	
10.00-30.00	380	B	



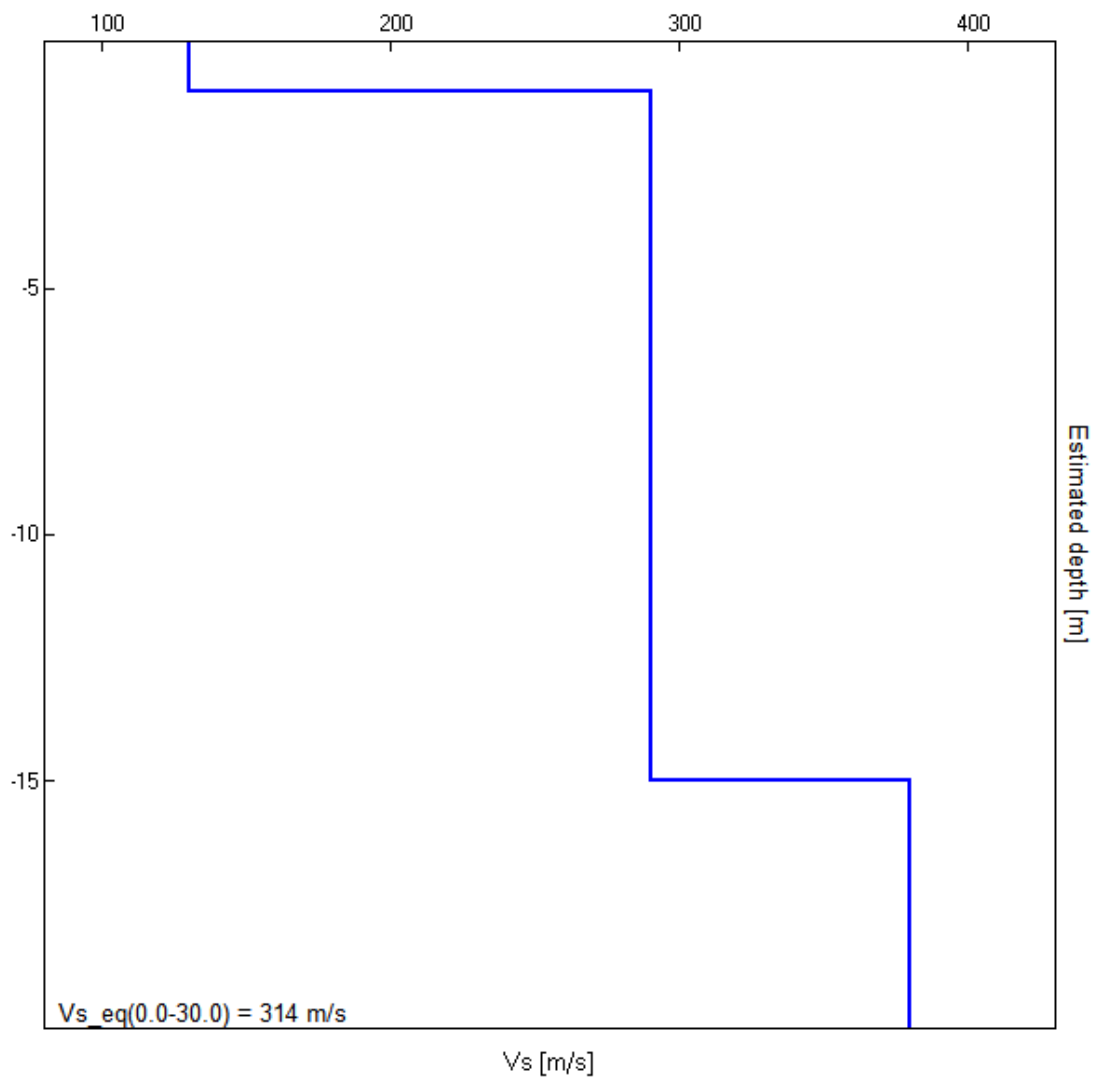
**Interpretazione sondaggio tromografico T5**

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



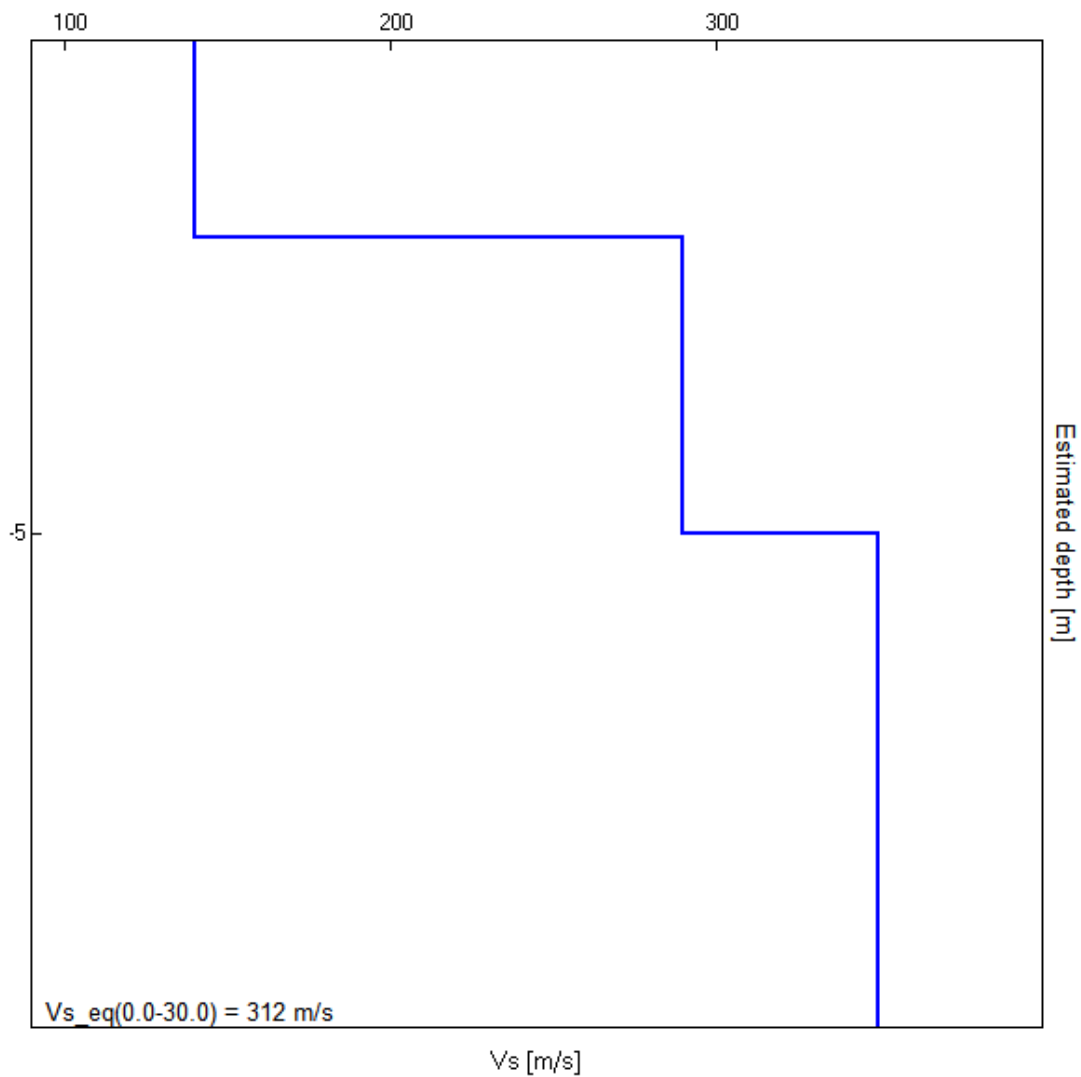
**Interpretazione sondaggio tromografico T6**

<b>Profondità (m)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	<b>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</b>	
0.00-1.00	130	C	<b>C</b> (Vs,eq = 314 m/s)
1.00-15.00	290	C	
15.00-30.00	380	B	



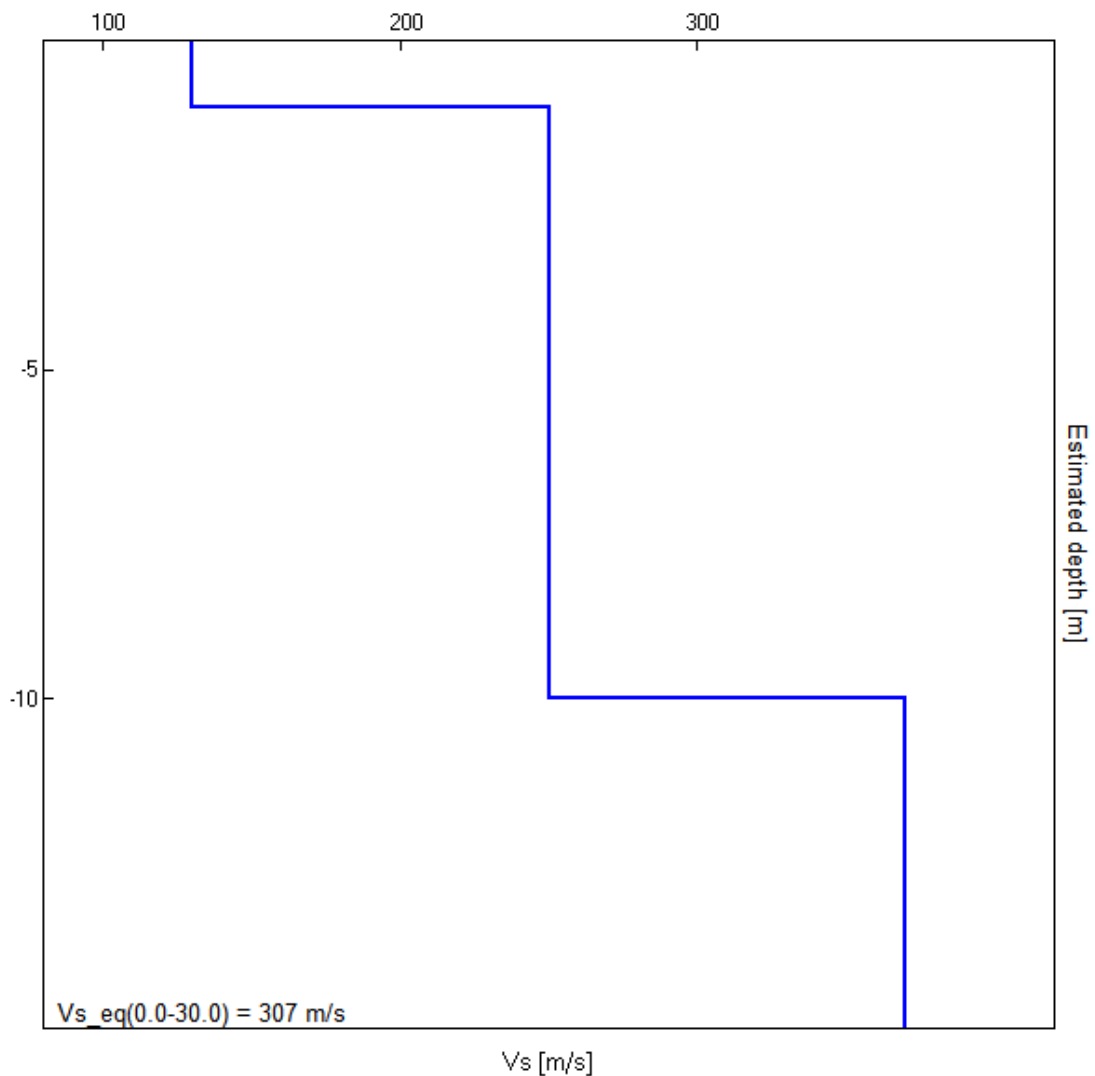
**Interpretazione sondaggio tromografico T7**

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



**Interpretazione sondaggio tromografico T8**

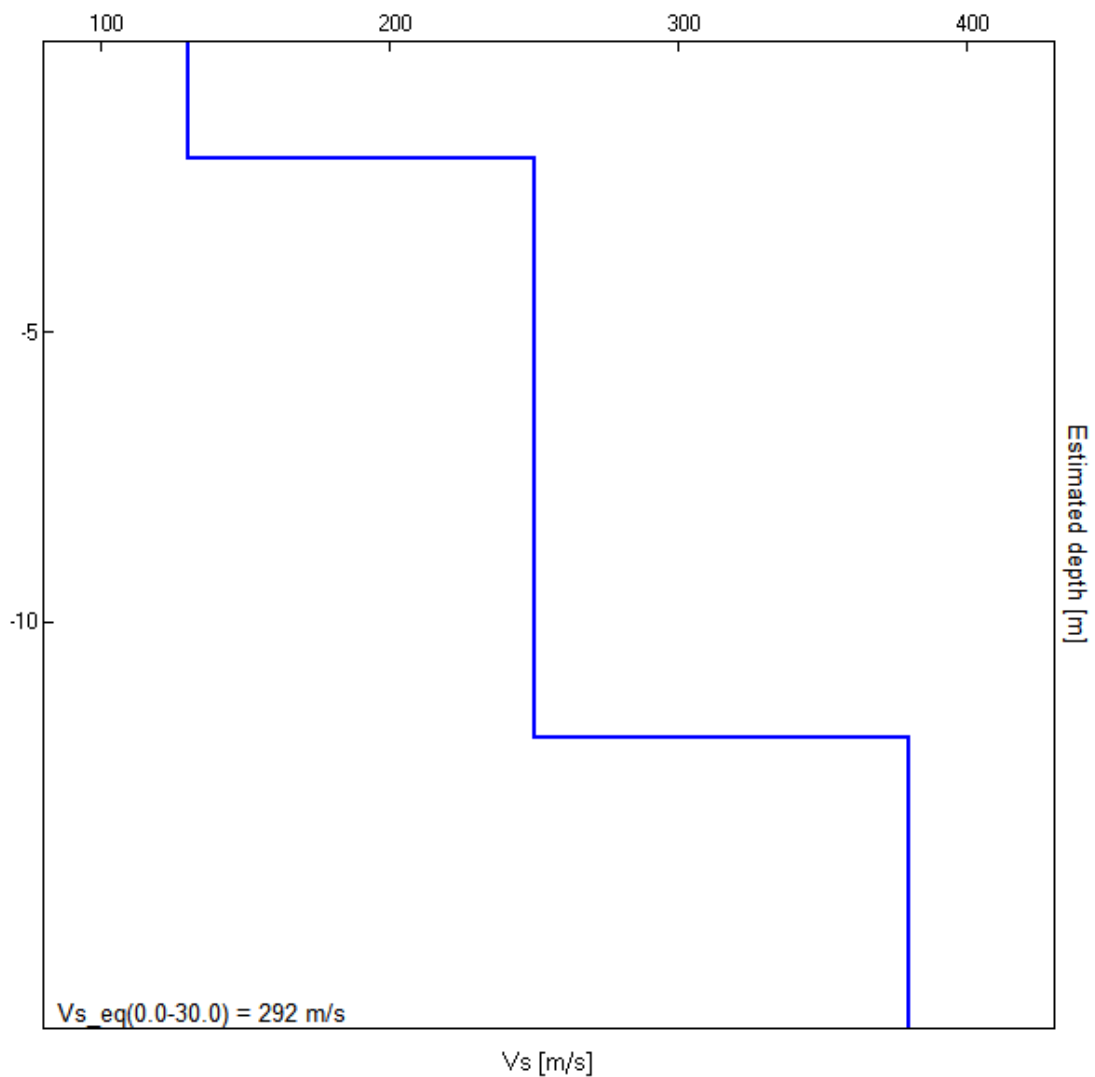
<b>Profondità (m)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	<b>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</b>	
0.00-1.00	110	C	<b>C</b> (Vs,eq = 307 m/s)
1.00-10.00	270	C	
10.00-30.00	370	B	





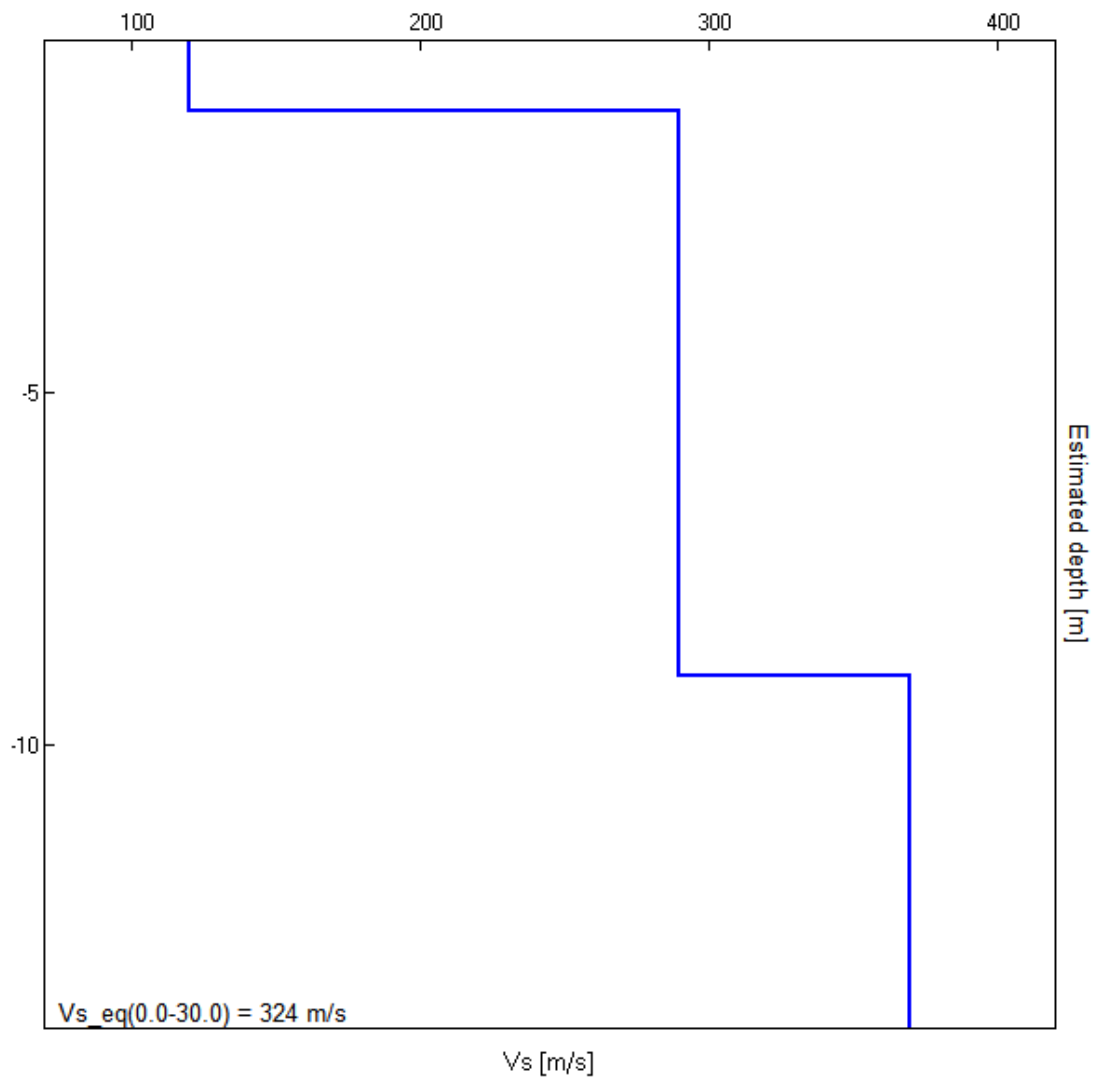
**Interpretazione sondaggio tromografico T9**

<b>Profondità (m)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	<b>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</b>	
0.00-2.00	130	C	<b>C</b> (Vs,eq = 292 m/s)
2.00-12.00	250	C	
12.00-30.00	380	B	



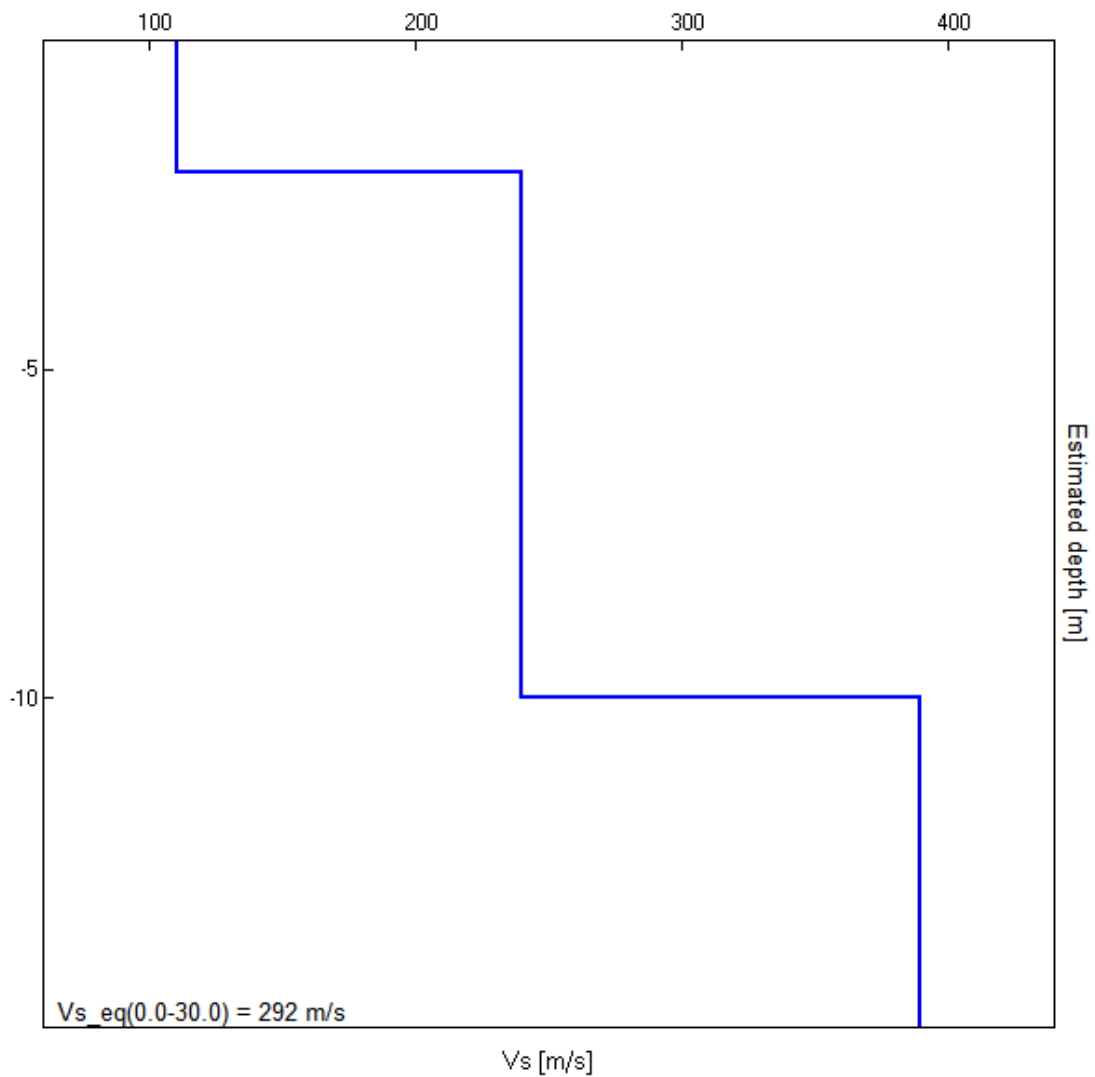
**Interpretazione sondaggio tromografico T10**

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



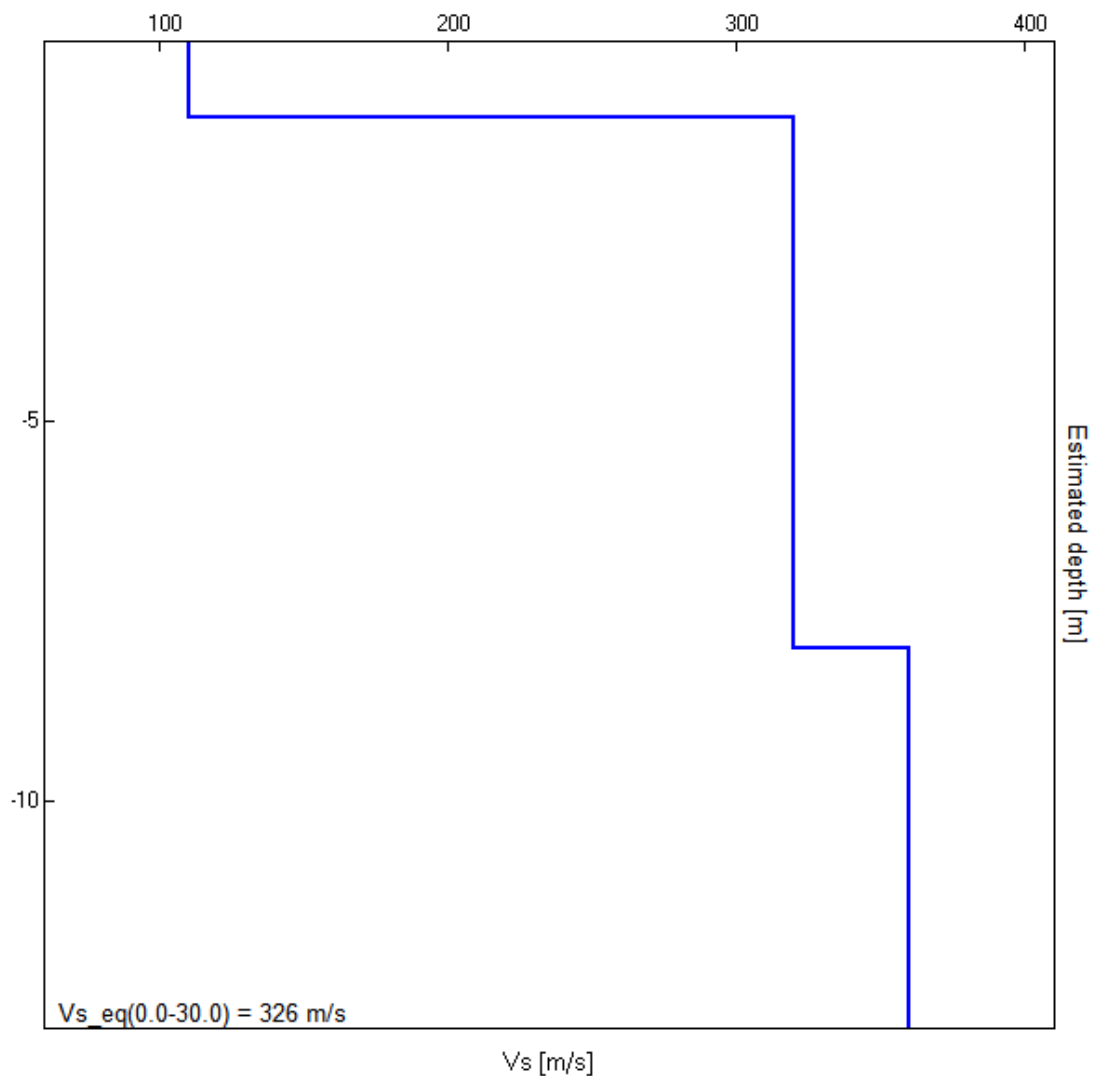
***Interpretazione sondaggio tromografico T11***

<b><i>Profondità (m)</i></b>	<b><i>Vs (m/s)</i></b>	<b><i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</i></b>	
0.00-2.00	110	C	<b>C</b> (Vs,eq = 292 m/s)
2.00-10.00	240	C	
10.00-30.00	390	B	



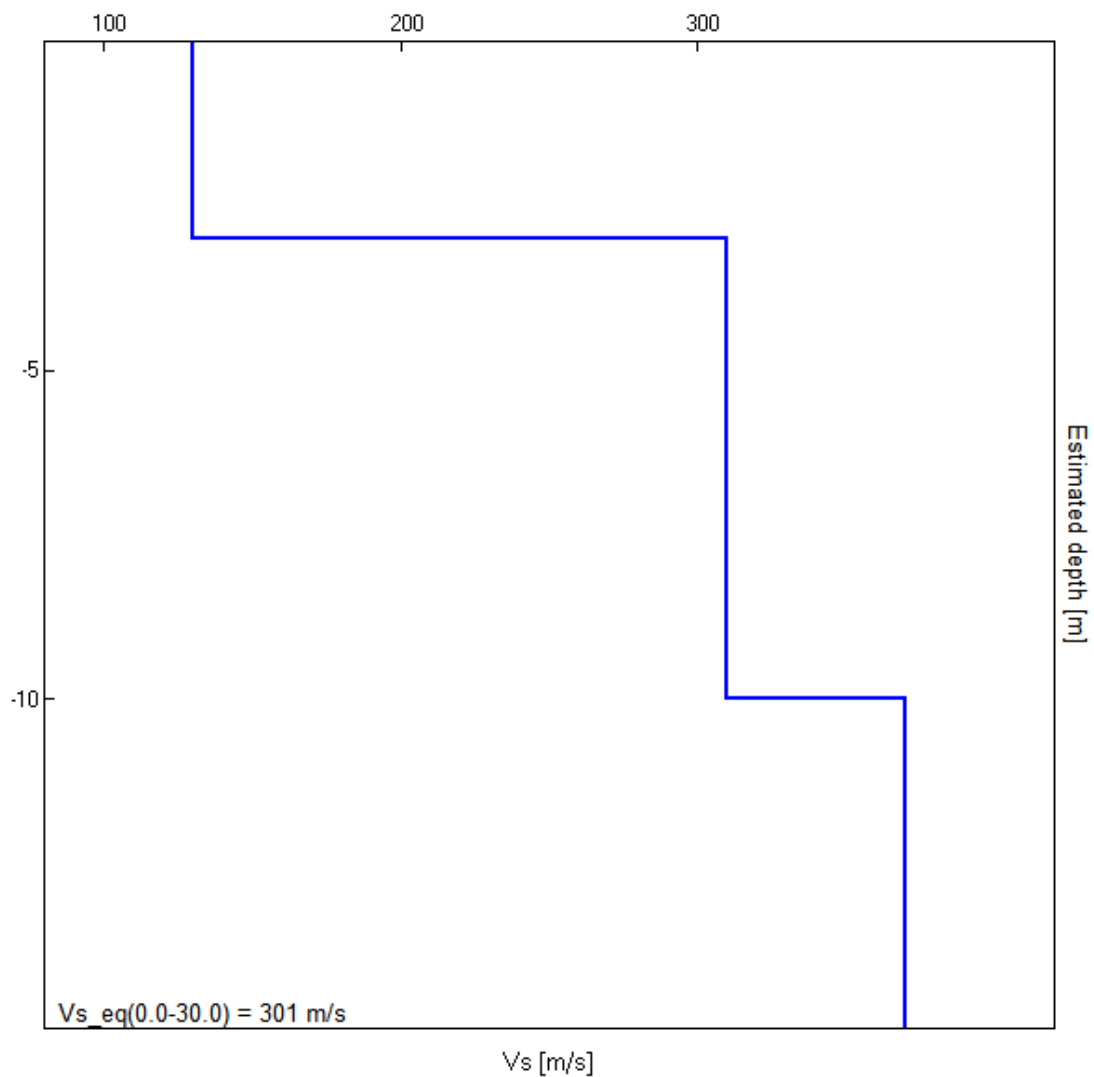
### **Interpretazione sondaggio tomografico T12**

<b>Profondità (m)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	<b>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</b>	
0.00-1.00	110	C	<b>C</b> (Vs,eq = 326 m/s)
1.00-8.00	320	C	
8.00-30.0	360	C	



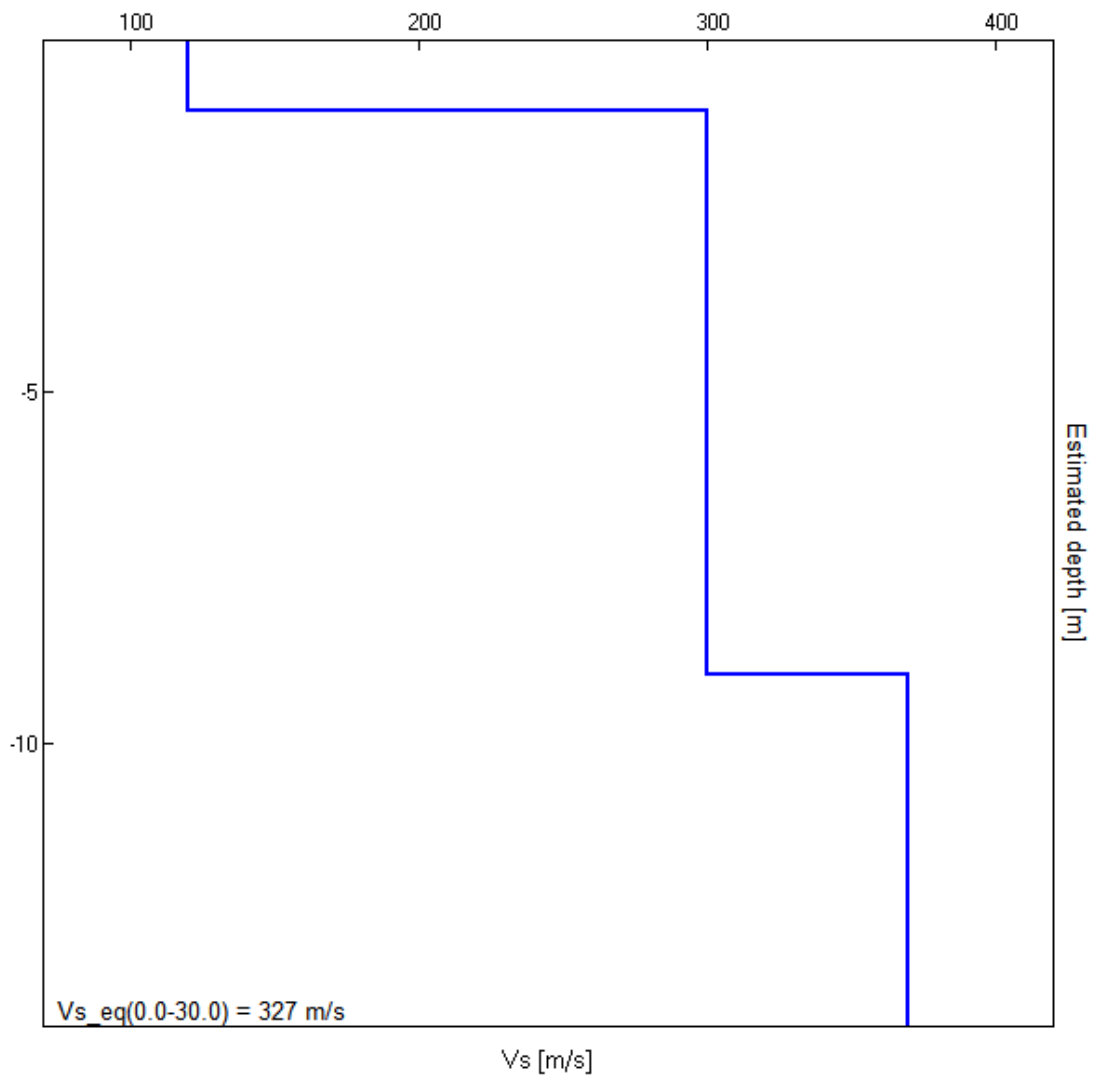
### **Interpretazione sondaggio tomografico T13**

<b>Profondità (m)</b>	<b><i>V<sub>s</sub></i> (m/s)</b>	<b>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</b>	
0.00-3.00	130	C	<b>C</b> ( <i>V<sub>s,eq</sub></i> = 301 m/s)
3.00-10.00	310	C	
10.00-30.00	370	B	



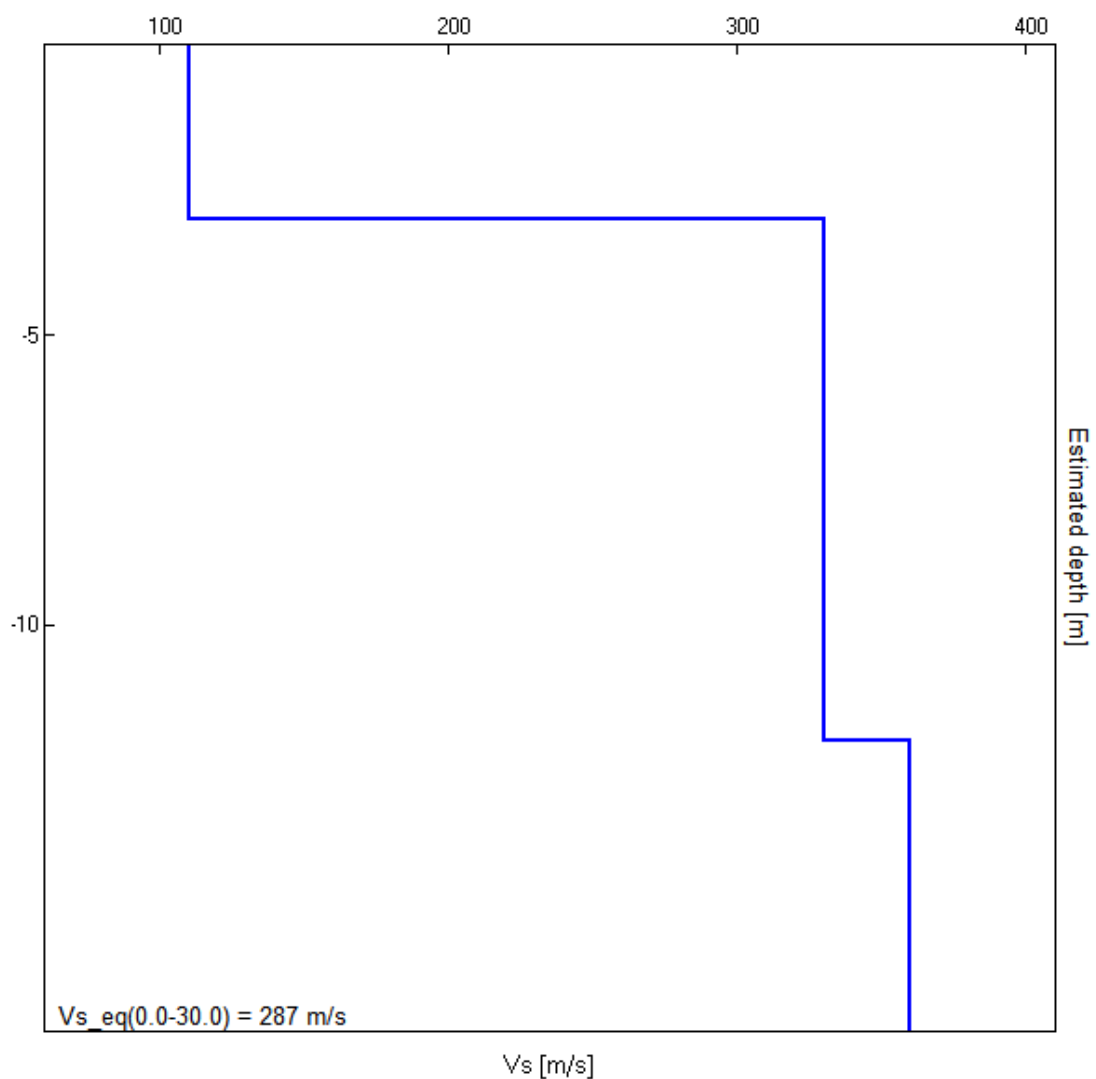
### **Interpretazione sondaggio tomografico T14**

<b>Profondità (m)</b>	<b><i>V</i><sub>s</sub> (m/s)</b>	<b>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</b>	
0.00-1.00	120	C	<b>C</b> ( <i>V</i> <sub>s,eq</sub> = 327 m/s)
1.00-9.00	300	C	
10.00-30.00	370	B	



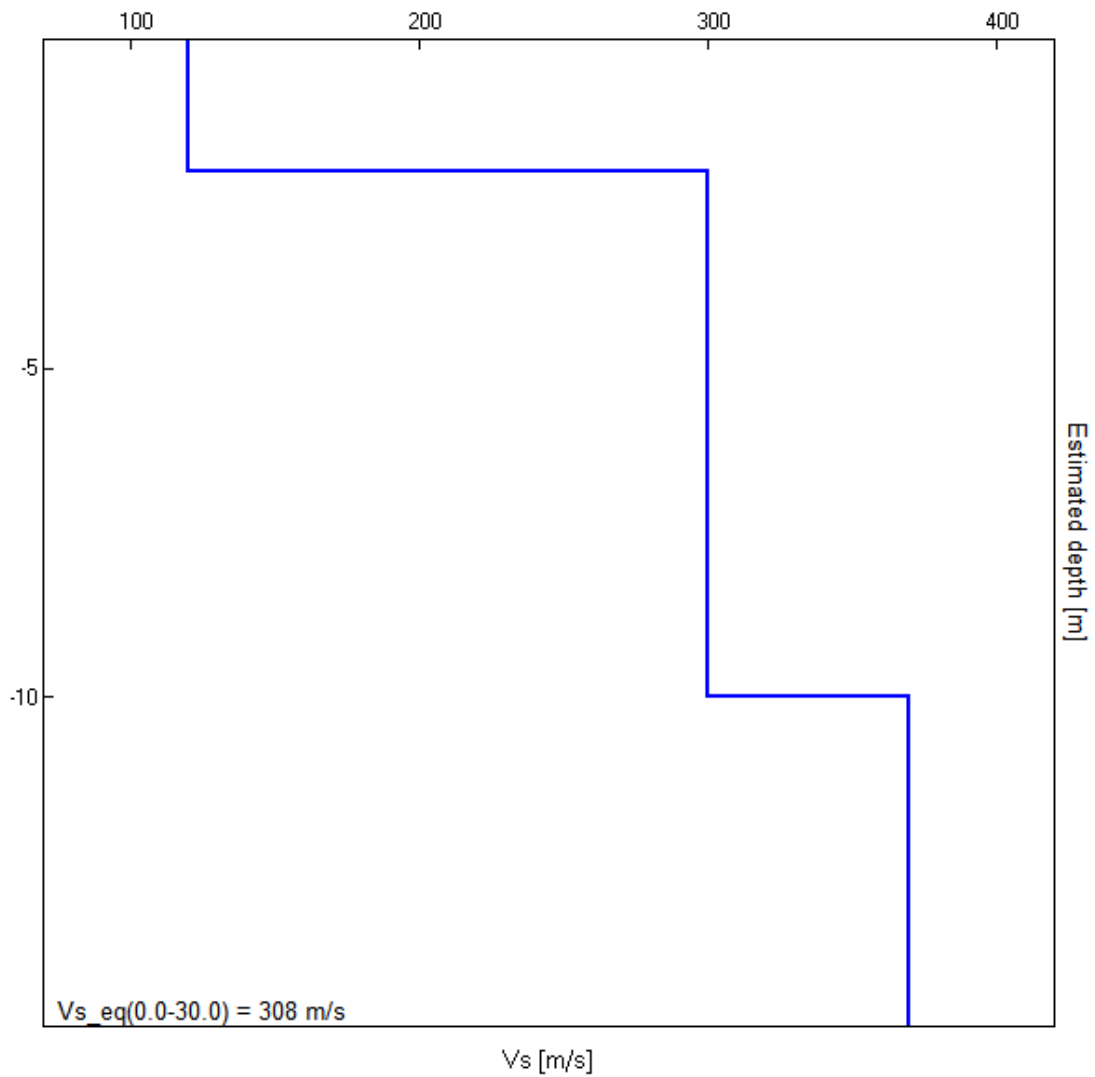
### **Interpretazione sondaggio tomografico T15**

<i>Profondità (m)</i>	<i>Vs (m/s)</i>	<i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</i>	
0.00-3.00	110	C	<b>C</b> (Vs,eq = 287 m/s)
3.00-12.00	330	C	
12.00-30.00	360	C	



### **Interpretazione sondaggio tomografico T16**

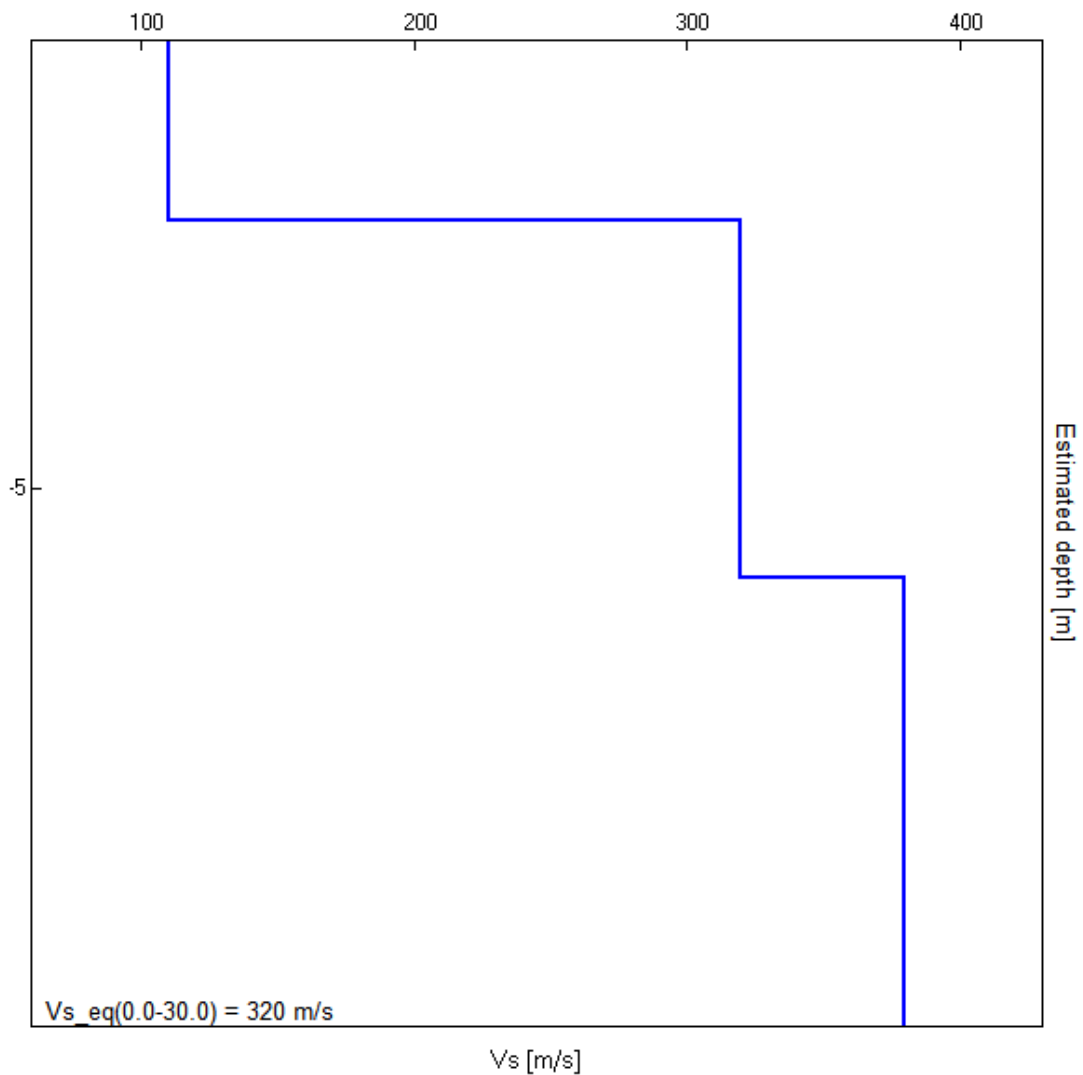
<b>Profondità (m)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	<b>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</b>	
0.00-2.00	120	C	<b>C</b> (Vs,eq = 308 m/s)
2.00-10.00	300	C	
10.00-30.00	370	B	





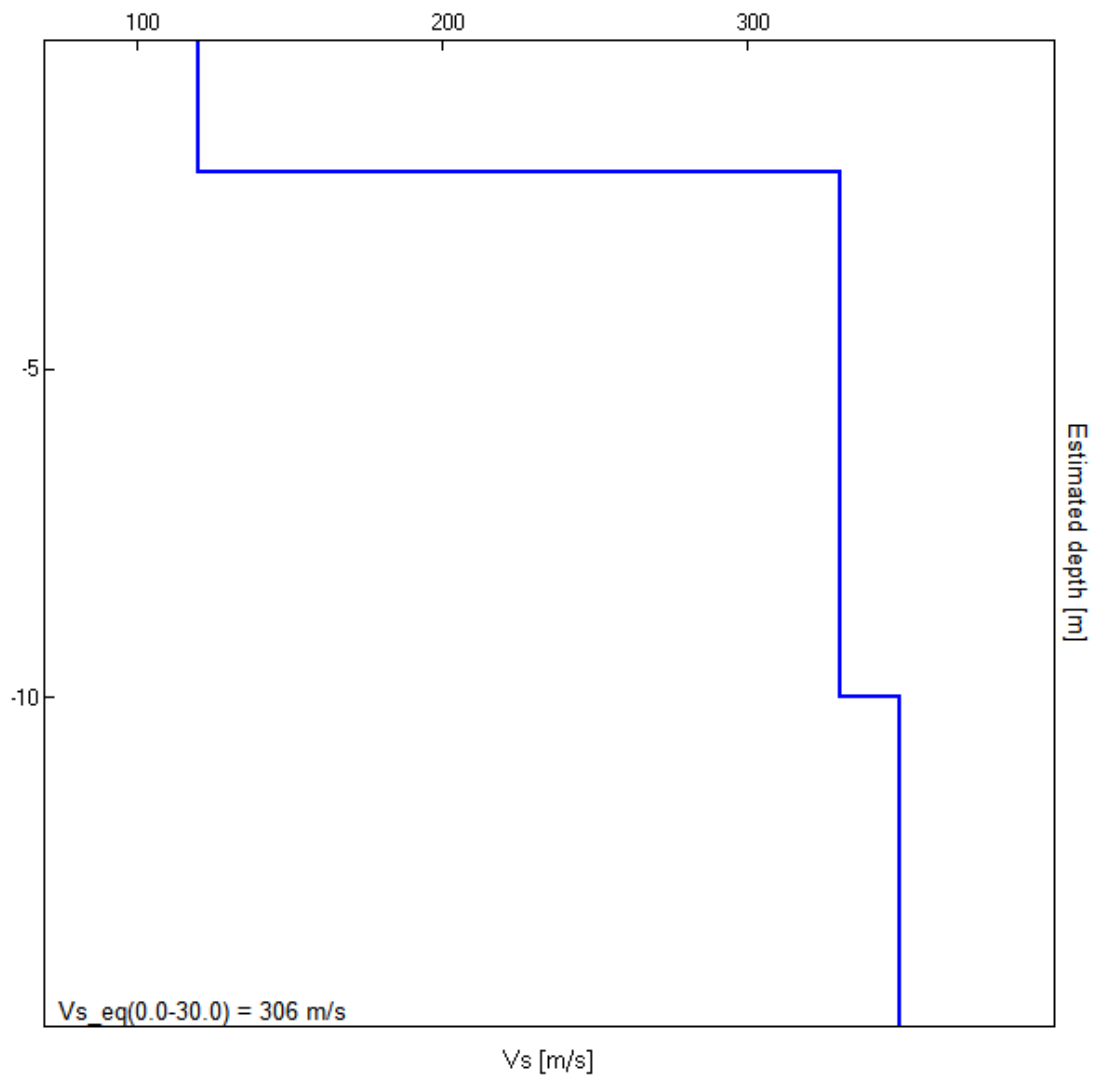
### **Interpretazione sondaggio tomografico T17**

<b>Profondità (m)</b>	<b><i>V<sub>s</sub></i> (m/s)</b>	<b>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</b>	
0.00-2.00	110	C	<b>C</b> ( <i>V<sub>s,eq</sub></i> = 320 m/s)
2.00-6.00	320	C	
6.00-30.00	380	B	



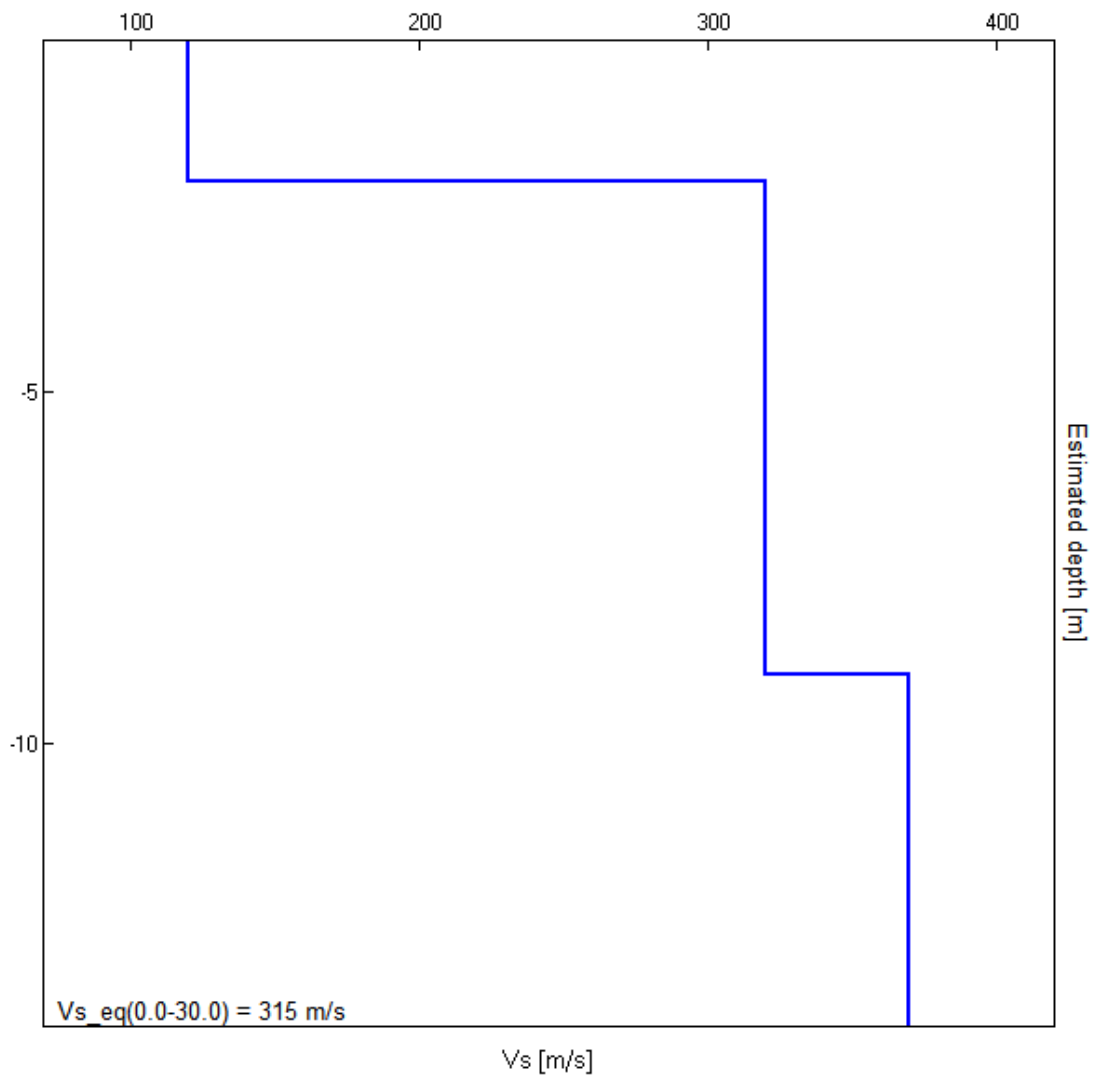
### **Interpretazione sondaggio tomografico T18**

<b>Profondità (m)</b>	<b><i>V<sub>s</sub></i> (m/s)</b>	<b>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</b>	
0.00-2.00	120	C	<b>C</b> ( <i>V<sub>s,eq</sub></i> = 306 m/s)
2.00-10.00	330	C	
10.00-30.00	350	C	



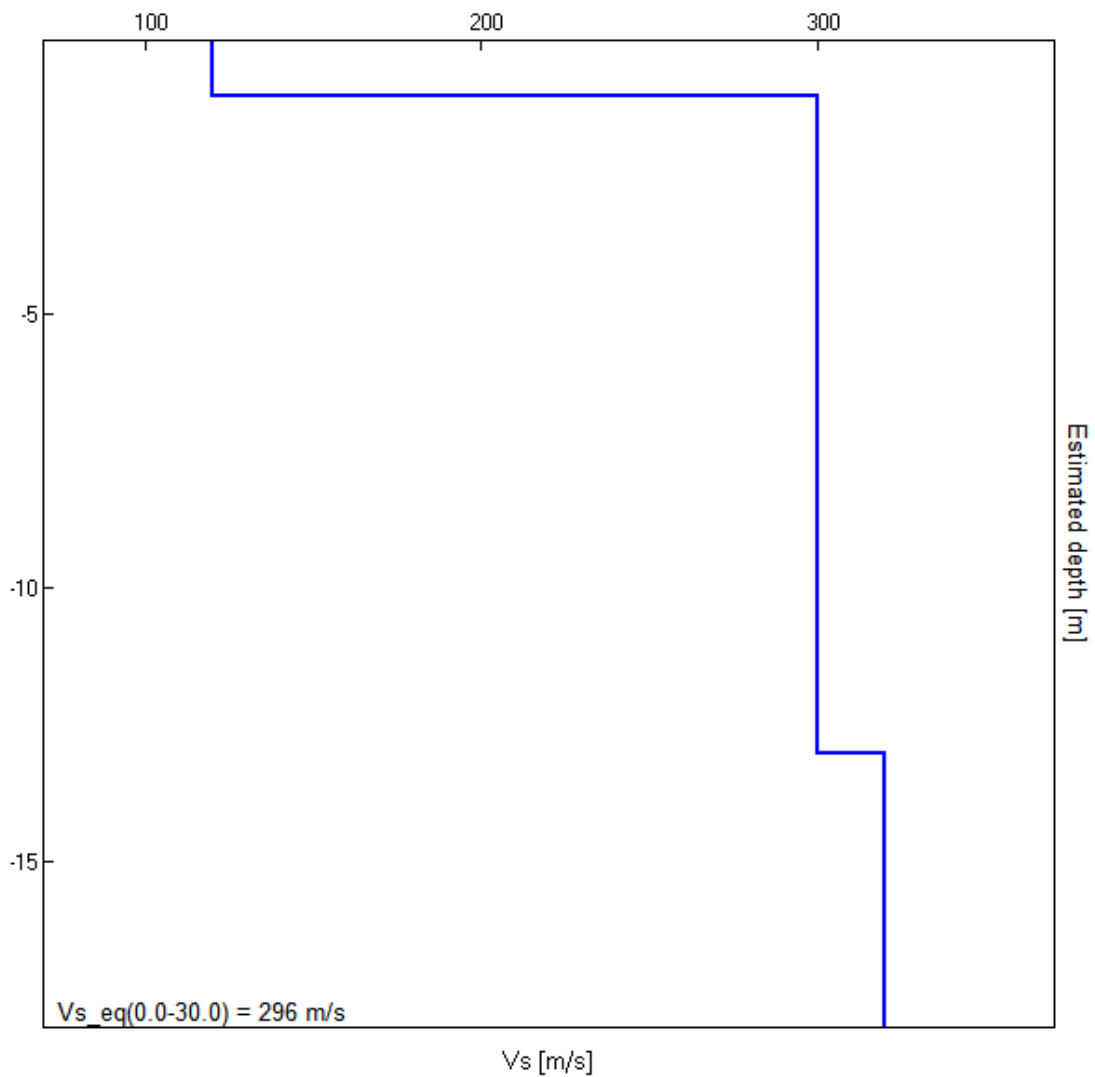
### **Interpretazione sondaggio tomografico T19**

<b>Profondità (m)</b>	<b><math>V_s</math> (m/s)</b>	<b>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</b>	
0.00-2.00	120	C	<b>C</b> ( $V_{s,eq} = 315$ m/s)
2.00-9.00	320	C	
9.00-30.00	370	B	



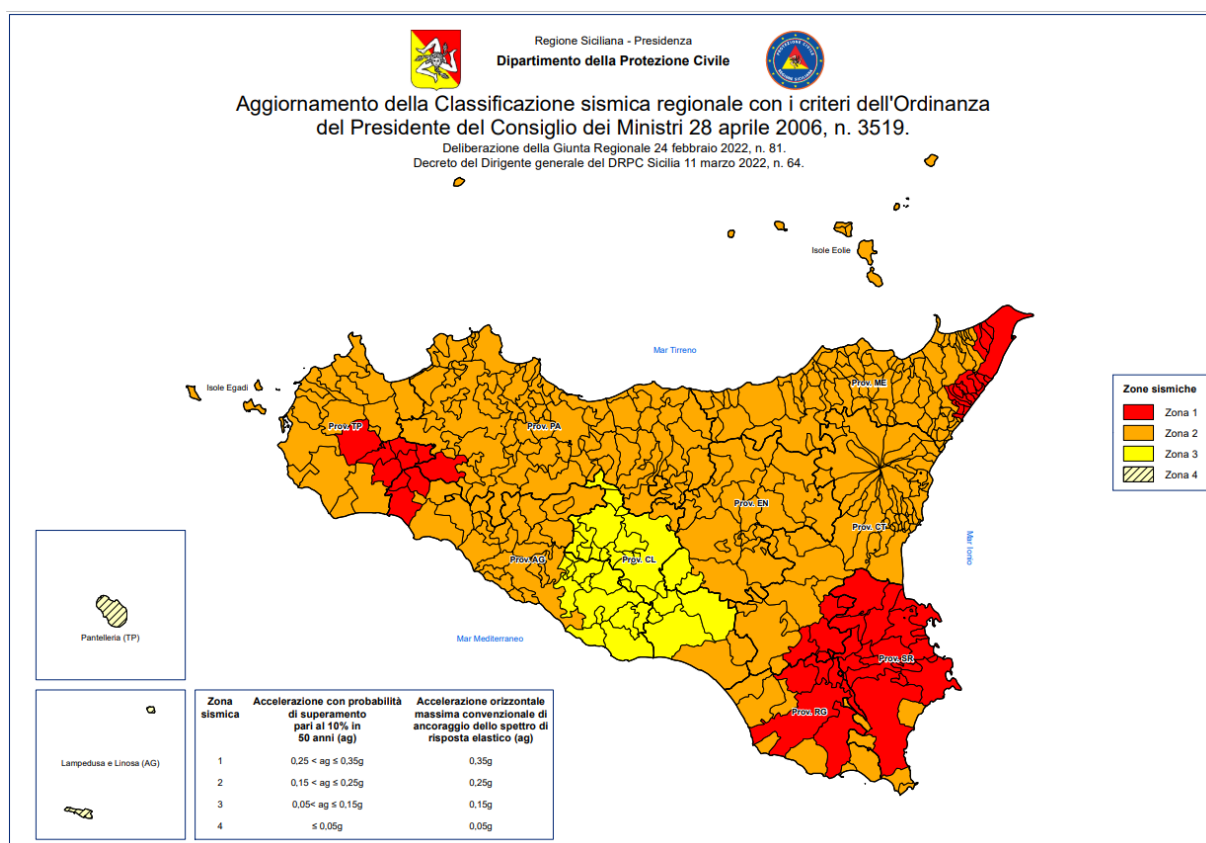
### **Interpretazione sondaggio tomografico T20**

<b>Profondità (m)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	<b>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</b>	
0.00-1.00	120	C	<b>C</b> (Vs,eq = 296 m/s)
1.00-13.00	300	C	
13.00-30.00	320	C	



## **5. CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO**

Il territorio dei Comuni di Santa Margherita Belice, Sambuca di Sicilia e Contessa Entellina in cui si trovano le aree oggetto di intervento progettuale, a seguito di aggiornamento della classificazione sismica del territorio regionale della Sicilia con Decreto del Dirigente Generale del DRPC Sicilia dell'11 marzo 2022, n. 64 ricadono in zona sismica 2 (Sambuca di Sicilia) e 1 (Contessa Entellina e Santa Margherita Belice).



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 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*”.

## **6. LIQUEFAZIONE DEI TERRENI**

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

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

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

Ricordando la relazione di un terreno incoerente saturo:

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(a)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Poiché, come dimostrato, è possibile assumere:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Nello specifico del nostro lavoro e dai dati in nostro possesso, si evince che in corrispondenza degli aerogeneratori sono presenti i litotipi conglomeratici, argillosi, marnosi, calcarenitici e calciruditici che non consentono la formazione di fenomeni di liquefazione.

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.

## **8. 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) Sintema del Fiume Carboj; b) Fm. Marnoso Arenacea del Fiume Belice (Frazione Argillosa); c) Marne di San Cipirello; d) Calcareniti di Corleone; e) Marne di Cardellia.**

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

**a) Sintema del Fiume Carboj:** si tratta di conglomerati con matrice sabbioso-pelitica, coperti da coltri sabbioso-limose pedogenizzate di spessore pari a circa 3 m. Per la caratterizzazione fisico-meccanica di tale complesso, il progettista può fare riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, all'esperienza maturata su questi terreni e alle sperimentazioni scientifiche:  $\varphi' = 30^\circ$ ;  $c' = 00,0 \text{ kN/m}^2$ ;  $\gamma = 1,9 \text{ kN/m}^3$ .

**b) Fm. Marnoso Arenacea del Fiume Belice (Frazione argillosa):** si tratta di argille e argille marnose da scarsamente a mediamente consistente e di colore marrone chiaro quando alterate (spessore di alterazione variabile tra 5-8 m) mentre la frazione inalterata di colore grigio 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:

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

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

**c) Marne di San Cipirello:** Si tratta di marne grigio-azzurrognole talora sabbiose da scarsamente a mediamente consistente e di colore marrone chiaro quando alterate (spessore di alterazione variabile tra 6-8 m) mentre la frazione inalterata di colore grigio-azzurre 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:

$$\text{Frazione alterata: } \varphi' = 21^\circ, c' = 1 \text{ t/mq}, \gamma = 1,9 \text{ t/mc}$$

$$\text{Frazione inalterata: } \varphi' = 25^\circ, c' = 2 \text{ t/mq}, \gamma = 2,0 \text{ t/mc}$$

**d) Calcareniti di Corleone:** si tratta di calcareniti ed arenarie quarzose glauconitiche alternate a marne e marne sabbiose bruno-verdastre contenenti foraminiferi planctonici. Per la caratterizzazione fisico-meccanica di tale complesso, il progettista può fare riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, all'esperienza maturata su questi terreni e alle sperimentazioni scientifiche:  $\varphi' = 30-35^\circ$ ;  $c' = 0,00-1,0 \text{ kN/m}^2$ ;  $\gamma = 1,9 \text{ kN/m}^3$ .

**e) Marne di Cardellia:** si tratta di marne ed argille marnose da scarsamente a mediamente consistente e di colore marrone chiaro



quando alterate (spessore di alterazione variabile tra 6-9 m) mentre la frazione inalterata di colore grigio-verdastro si presenta consistente. Per la caratterizzazione fisico-meccanica di tale complesso, il progettista può fare riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, all'esperienza maturata su questi terreni e alle sperimentazioni scientifiche:

*Frazione alterata:  $\varphi' = 20^\circ$ ,  $c' = 1,0 \text{ t/mq}$ ,  $\gamma = 1,9 \text{ t/mc}$*

*Frazione inalterata:  $\varphi' = 25^\circ$ ,  $c' = 2,0 \text{ t/mq}$ ,  $\gamma = 2,0 \text{ t/mc}$*

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

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

In corrispondenza di ciascun aerogeneratore:

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

In corrispondenza della 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.

## **8. CONCLUSIONI**

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

- le aree interessate dagli aerogeneratori S16 ed S20 sono caratterizzate dall'affioramento del Sintema del Fiume Carboj costituito da conglomerati con matrice sabbioso-pelitica, coperti da coltri sabbioso-limose pedogenizzate di spessore pari a circa 3 m. Detti presentano uno spessore pari a circa 20 m in corrispondenza dell'aerogeneratore S16 e di circa 30 m in corrispondenza dell'S20 e poggiano sui terreni della Formazione Marnoso Arenacea del Belice.
- le aree interessate dagli aerogeneratori S14, S17, S19 ed S18 sono caratterizzate dall'affioramento della Formazione Marnoso Arenacea del Belice formata da argille e argille marnose da scarsamente a mediamente consistente e di colore marrone chiaro quando alterate (spessore di alterazione variabile tra 5-8 m) mentre la frazione inalterata di colore grigio si presenta consistente. Si riscontrano sporadiche intercalazioni di sabbie e arenarie.
- le aree interessate dagli aerogeneratori S4, S6, S7, S8, S9 ed S12 sono caratterizzate dall'affioramento delle Marne di San Cipirello costituite da marne grigio-azzurrognole talora sabbiose da scarsamente a mediamente consistente e di colore marrone chiaro quando alterate (spessore di alterazione variabile tra 6-8 m) mentre la frazione inalterata di colore grigio-azzurre si presenta consistente.
- le aree interessate dagli aerogeneratori S1, S2, S3 ed S5 sono caratterizzate dall'affioramento delle Calcareniti di Corleone formate

da calcareniti ed arenarie quarzose glauconitiche alternate a marne e marne sabbiose bruno-verdastre contenenti foraminiferi planctonici.

- le aree interessate dagli aerogeneratori S10, S11, S13 ed S15 sono caratterizzate dall'affioramento della Marne di Cardellia formate da marne ed argille marnose da scarsamente a mediamente consistente e di colore marrone chiaro quando alterate (spessore di alterazione variabile tra 6-9 m) mentre la frazione inalterata di colore grigio-verdastro si presenta consistente.
- 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 il cavidotto esterno al parco e di collegamento alla sottostazione verrà realizzato esclusivamente su strade asfaltate e, vista la limitata profondità di scavo pari a circa 1.20 m, interesserà esclusivamente la fondazione/rilevato stradale e non interferisce con i terreni in posto sottostanti.
- per quanto concerne le forme di dissesto legate ai movimenti franosi presenti nei versanti interessati dalle opere in progetto si mette in evidenza che tramite i rilievi di superficie, integrati dallo studio delle fotografie aeree del territorio e dall'analisi del PAI, sono state individuate in corrispondenza di alcuni tratti di cavidotto e nelle vicinanze di alcuni aerogeneratori alcune aree coinvolte da fenomeni di instabilità riconducibili prevalentemente al tipo “franosità diffusa” attiva.

In particolare i tratti di cavidotto interessati sono:

- ✓ tra gli aerogeneratori S1 ed S2;
- ✓ tra gli aerogeneratori S4 ed S5;

- ✓ tra lo svincolo della SS264 e la SP44.
- Altri tratti di cavidotto attraversano alcune aree interessate da dissesti indicati dal P.A.I. come “Erosione concentrata o diffusa”. In particolare in corrispondenza di 3 tratti in vicini agli aerogeneratori S18, S19, S20 e in due tratti di Via Giacheria verso la Stazione Elettrica e “Franosità diffusa” in corrispondenza di 2 tratti tra gli aerogeneratori S8 ed S6.
- Di contro le aree interessate dagli aerogeneratori non sono interessate da “Aree a franosità diffusa” ma i versanti a valle degli stessi sono spesso di natura argillosa ed in condizioni evolutive. In particolare in corrispondenza dell’aerogeneratore S8, S4 ed S2 alcuni fenomeni geodinamici risultano essere limitrofi e, quindi, bisogna tenere nella dovuta considerazione la scelta delle fondazioni al fine di evitare che l’evoluzione retrogressiva dei suddetti fenomeni possa in futuro interferire con le stesse. Si tratta di fenomeni geodinamici che non ostano la realizzazione degli aerogeneratori ma che devono essere studiati approfonditamente in fase di progettazione esecutiva a valle dell’autorizzazione per poter prevedere tutte quelle opere di ingegneria naturalistica, indicate di seguito, necessarie a mitigare ed annullare l’attività erosiva che ha causato i suddetti fenomeni.
- Da un punto di vista idraulico il P.A.I. ed il P.G.R.A. non inseriscono le opere in progetto all’interno di aree identificate con pericolosità e/o rischio.
- Le piazzole e gli aerogeneratori non interessano zona di protezione dei corpi idrici sotterranei, né zone di riserva dei corpi idrici sotterranei né zone vulnerabili ai nitrati e sono esterni alle fasce di rispetto delle Risorse idriche vincolate. Un tratto di cavidotto verrà

realizzato all'interno di zone vulnerabili ai nitrati ed alle fasce di rispetto delle Risorse idriche vincolate ma vista la limitatissima profondità di scavo (massimo 1.2 m), che interesserà la fondazione stradale esistente ed il fatto che non produce emissioni in suolo/sottosuolo/falda sostanze inquinanti di nessun tipo si ritiene che non ci sarà nessun tipo di interferenza.

- 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”*.
- In definitiva in ordine alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e tecniche del sito si evince che, coerentemente con il D.M. 17/01/2018 cap. 6 comma 12 e 12.1, gli studi geologici e la caratterizzazione geotecnica sono stati estesi a tutta la zona di possibile influenza degli interventi previsti ed idonei ad accertare che la destinazione d'uso è perfettamente compatibile con il territorio in esame. In particolare, le indagini e gli studi hanno caratterizzato la zona di interesse in termini vulnerabilità ambientale, per processi geodinamici interni (sismicità, vulcanismo,...) ed esterni (stabilità dei pendii, erosione, subsidenza,...) ed hanno consentito di individuare l'assenza di limiti imposti al progetto (ad esempio: modifiche del regime delle acque superficiali e sotterranee,

subsidenza per emungimento di fluido dal sottosuolo) ed in particolare:

- ✓ la destinazione d'uso è compatibile con il territorio in esame;
  - ✓ non ci sono problemi di subsidenza per emungimento di fluido dal sottosuolo;
  - ✓ non si impongono modifiche del regime delle acque superficiali e sotterranee.
- Si ritiene, comunque, indispensabile che in fase di progettazione esecutiva e di calcolo delle strutture in c.a. si eseguano le indagini di verifica delle su esposte ipotesi geologiche e che il geologo sia sempre presente durante la realizzazione delle fondazioni degli aerogeneratori.