

Comune
di Monterenzio



Regione Emilia-Romagna



Città Metropolitana di
Bologna



CITTÀ
METROPOLITANA
DI BOLOGNA

Committente:

RWE

RWE RENEWABLES ITALIA S.R.L.
via Andrea Doria, 41/G - 00192 Roma
P.IVA/C.F. 06400370968

Titolo del Progetto:

PARCO LION STONE

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

N° Documento:

PELI-S05

ID PROGETTO:	PELI-P	DISCIPLINA:		TIPOLOGIA:	R	FORMATO:	A4
--------------	--------	-------------	--	------------	---	----------	----

Elaborato:

Relazione geologica

FOGLIO:	1 di 1	SCALA:	-	Nome file:	PELI-S05-0
---------	--------	--------	---	------------	------------

Progettazione:



Hydro Engineering s.s.
di Damiano e Mariano Galbo
via Rossotti, 39
91011 Alcamo (TP) Italy



Dott. Geol. Gualtiero Bellomo
Dott.ssa Maria Antonietta Marino
Dott. Geol. Massimo Perniciaro
Ing. Giacomo Pettinelli
Dott.ssa Irene De Sapiro
Arch. Paesaggista Ermelinda Cosenza

Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	Febbraio/2024	PRIMA EMISSIONE	VAMIRGEOIND	VAMIRGEOIND	RWE RENEWABLES ITALIA S.R.L.

INDICE

1. PREMESSE	1
2. CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE	6
3. CONSIDERAZIONI GEOMORFOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE	12
4. OPERE DI CONSOLIDAMENTO E MITIGAZIONE DEGLI IMPATTI	21
5. INDAGINI DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA	28
6. CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO	49
7. LIQUEFAZIONE DEI TERRENI	52
8. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DEI TERRENI INTERESSATI	59
9. CAMPAGNA INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE DA ESEGUIRE IN FASE DI PROGETTAZIONE ESECUTIVA	63
10. CONCLUSIONI	65

REGIONE EMILIA ROMAGNA

COMUNI DI MONTERENZIO (BO) E CASALFIUMANESE (BO)

**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI
ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA NEL COMUNE DI
MONTERENZIO (BO) CON OPERE DI ADEGUAMENTO DELLA
VIABILITÀ ESISTENTE NEL COMUNE DI CASALFIUMANESE
(BO)**

**RELAZIONE GEOLOGICA E DI COMPATIBILITÀ
GEOMORFOLOGICA**

1. PREMESSE

Su incarico di RWE Renewables Italia S.r.l. è stato eseguito il presente studio geologico-tecnico e di compatibilità geomorfologica per il progetto definitivo indicato in epigrafe, in ossequio a quanto descritto nelle normative vigenti in materia (D.M. 17/01/2018) ed in particolare il cap. 6 comma 12 e 12.1 che così testualmente recitano:

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. 8 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 cabina di consegna, e della sottostazione Terna 36/380kV.

I risultati sono visibili negli allegati riportati nei capitoli successivi.

Il presente progetto prevede la realizzazione di:

- a. **Parco eolico** costituito da n. 7 aerogeneratori;
- b. **Cavidotto** di collegamento tra gli aerogeneratori e la sottostazione elettrica;
- c. **Cabina di consegna**.

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

- ✓ carta geologica ed idrogeologica eseguita in scala 1/10.000;

- ✓ carta dei bacini idrografici significativi (PTA) in scala 1/10.000;
- ✓ carta, fuori testo relative al piano di assetto idrogeologico (P.A.I.) ed al Piano Gestione Rischio Alluvioni (P.G.R.A.);
- ✓ elaborati relativi ai sondaggi di sismica passiva a stazione singola (tromografia) denominati T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 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 nei tratti limitrofi o in quelli che interessano 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 unico complesso descritto di seguito:

- **UNITA' DI MODENA (Olocene):** in generale si tratta di un complesso costituito da ghiaie e ghiaie sabbiose o da sabbie con livelli e lenti di ghiaie ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, in contesti di conoide alluvionale, canale fluviale e piana alluvionale intravalliva.
Detti terreni interessano la sottostazione elettrica e alcuni tratti di cavidotto.
- **FORMAZIONE PANTANO (Burdigaliano sup.–Langhiano):** in generale si tratta di un complesso costituito da areniti fini grigio chiare, fossilifere. Detti terreni interessano alcuni tratti di cavidotto.
- **FORMAZIONE ANTOGNOLA (Rupeliano-Burdigaliano):** in generale si tratta di un complesso costituito da marne siltose e siltoso-arenacee grigio-verdi a frattura da scheggiosa a conoide, con patine manganesifere scure e rare intercalazioni di livelli

arenitici sottili e medi a grana finissima, si segnalano locali sottili orizzonti vulcanoclastici giallastri.

Detti terreni interessano l'aerogeneratore PELI06.

- **MEMBRO DI ANCONELLA (Rupeliano sup. – Burdigaliano inf.):** in generale si tratta di un complesso costituito da areniti quarzoso-feldspatiche grigio-giallastre da fini a molto grossolane, generalmente poco cementate, in strati da medio-sottili a spessi, raramente banchi, talvolta amalgamati. Sono presenti subordinate peliti nerastre e marne argillose grigio-verdi. Detti terreni interessano alcuni tratti di cavidotto.

FORMAZIONE DI CONTIGNACO (Aquitano sup. – Burdigaliano): in generale si tratta di un complesso costituito da marne siltose grigio cenere, localmente silicee, a frattura scheggiata, con patine scure manganesifere e intercalazioni di areniti fini grigie in strati gradati da sottili a spessi. Sono caratteristici della formazione alcuni livelli tripolacei chiari. Detti terreni interessano l'aerogeneratore PELI05 e alcuni tratti di cavidotto.

- **BRECCE ARGILLOSE DELLA VAL TIEPIDO-CANOSSA (Chattiano – Aquitano):** in generale si tratta di un complesso costituito da argille grigie, che inglobano frammenti e clasti lapidei, di dimensioni variabili (in genere decimetriche o più piccole), costituiti da calcilutiti grigio chiare, e da areniti fini e finissime, micacee. Detti terreni interessano alcuni tratti di cavidotto.
- **MARNE DI MONTE PIANO (Luteziano sup. - Rupeliano inf.):** in generale si tratta di un complesso costituito da marne

argillose rossastre e rosate, recanti strati sottili di arenarie feldspatiche. Detti terreni interessano alcuni tratti di cavidotto.

- **ARGILLE VARICOLORI DELLA VAL SAMOGGIA (Hauteriviano sup. - Eocene inf.):** in generale si tratta di un complesso costituito da argilliti, talora siltose, grigio scure e nerastre a bande rosso scure e verdastre, con sottili intercalazioni di siltiti brune, arenarie fini e medie grigio scuro-violacee e calcari micritici silicizzati grigio-verdastri a patine manganesifere. Detti terreni interessano alcuni tratti di cavidotto.
- **ARGILLE VARICOLORI DELLA VAL SAMOGGIA – LITOFACIES ARENACEA (Maastrichtiano sup. - Paleocene sup):** in generale si tratta di un complesso costituito da alternanze di argilliti, talora siltose, grigio scure e nerastre a bande rosso scure e verdastre e arenarie feldspatiche. Detti terreni interessano l'aerogeneratore PELI03 e alcuni tratti di cavidotto.
- **FORMAZIONE DI MONGHIDORO (Eocene superio-re-Tortoniano):** si tratta della litofacies marnosa costituita da marne calcaree. Detti terreni interessano l'aerogeneratore PELI07 e alcuni tratti di cavidotto.
- **ARGILLE VARICOLORI DI GRIZZANA MORANDI (Cenomaniano sup. - Santoniano sup.):** in generale si tratta di un complesso costituito da argilliti a focature rosso-violacee, verdastre e grigio-scure, con intercalazioni di arenarie e siltiti brune in strati sottili e molto sottili e di calcilutiti verdastre o grigio chiare e marne biancastre in strati sottili e medi. Detti terreni interessano alcuni tratti di cavidotto.

- **ARGILLE VARICOLORI DI GRIZZANA MORANDI – LITOFACIES ARENITICA (Cenomaniano sup. - Santoniano sup.):** si tratta della litofacies arenitica costituita da arenarie fini grigio-verdastre in strati sottili, alternate a peliti fissili nerastre o debolmente varicolorate. Detti terreni interessano alcuni tratti di cavidotto.
- **ARGILLE A PALOMBINI (Berriasiano - Turoniano):** in generale si tratta di un complesso costituito da argilliti siltose grigio scure e grigio-azzurrognole intercalate a calcilutiti silicizzate grigio chiare e grigio-verdi in strati da medi a spessi, talora a base arenitica media, fratturate. Locali intercalazioni di calcari marnosi grigi. Detti terreni interessano l'aerogeneratore PELI02 e alcuni tratti di cavidotto.
- **ARGILLE A PALOMBINI - LITOFACIES ARGILLITICA CON CALCARI BUDINATI (Berriasiano - Turoniano):** si tratta della litofacies argillitica costituita da argilliti varicolorate recanti blocchi budinati pluridecimetrici di calcilutiti biancastre. Detti terreni interessano gli aerogeneratori PELI01 e PELI04 e alcuni tratti di cavidotto.
- **ARGILLE A PALOMBINI - LITOFACIES A BRECCHE OFIOLITICHE E DIASPRI (Berriasiano - Turoniano):** in generale si tratta della litofacies a breccie ofiolitiche e diaspri costituita da Argilliti varicolorate con blocchi budinati pluridecimetrici di calcilutiti biancastre, associate a corpi eterometrici costituiti da breccie ofiolitiche e diaspri. Sono presenti locali intercalazioni da decimetriche a metriche di breccie poligeniche a matrice argillosa. Detti terreni interessano alcuni tratti di cavidotto.

- **DIASPRI (Oxfordiano – Kimmeridgiano):** si tratta di I diaspri che costituiti da quarzo micro e criptocristallino granulare, in certi casi anche fibroso, combinato a volte a piccole quantità di silice opalina. Detti terreni interessano alcuni tratti di cavidotto.

In definitiva, dall'analisi della carta geologica e dai rilievi eseguiti in campagna, nonché dalle indagini sismiche eseguite per il presente studio sono state ricostruite i contatti stratigrafici descritti di seguito in corrispondenza degli aerogeneratori e della sottostazione.

In particolare, sono descritti di seguito, per ciascun aerogeneratore e per la cabina di consegna i terreni interessati dalle fondazioni:

- ❖ PELI01: argille varicolori con inclusi blocchi di calcilutiti biancastre. La frazione alterata, di spessore variabile tra 2-3 m, è costituita da limi argillosi, da scarsamente a mediamente consistenti, con inclusi sporadici elementi lapidei di natura calcarea di dimensioni centimetriche;
- ❖ PELI02: argilliti siltose grigio azzurre intercalate a calcilutiti silicizzate grigio chiare. La frazione alterata, di spessore variabile tra 3-4 m, è costituita da argille limose, da scarsamente a mediamente consistenti, con inclusi sporadici elementi lapidei di natura calcarea di dimensioni centimetriche;
- ❖ PELI03: argilliti scagliettate, talora siltose, grigio scure con intercalazioni di arenarie. La frazione alterata, di spessore variabile tra 2-3 m, è costituita da argille limose, da scarsamente a mediamente consistenti, con inclusi sporadici elementi lapidei di natura arenacea di dimensioni centimetriche;
- ❖ PELI04: argille varicolori con inclusi blocchi di calcilutiti biancastre. La frazione alterata, di spessore variabile tra 3-4 m, è costituita da limi

argillosi, da scarsamente a mediamente consistenti, con inclusi sporadici elementi lapidei di natura calcarea di dimensioni centimetriche;

- ❖ PELI05: marne siltose grigio cenere, localmente silicee, con intercalazioni di strati arenitici. La frazione alterata, di spessore variabile tra 2-3 m, è costituita da limi, da scarsamente a mediamente consistenti, con inclusi sporadici elementi lapidei di natura arenacea di dimensioni centimetriche.
- ❖ PELI06: marne siltose consistenti di colore grigio-verde. La frazione alterata, di spessore variabile tra 3-4 m, è costituita da limi argillosi, da scarsamente a mediamente consistenti, con inclusi sporadici elementi lapidei di natura arenacea di dimensioni centimetriche.
- ❖ PELI07: marne calcaree consistenti. La frazione alterata, di spessore variabile tra 3-4 m, è costituita da argille marnose, da scarsamente a mediamente consistenti, con inclusi sporadici elementi lapidei di natura calcarea di dimensioni centimetriche.
- ❖ Sottostazione elettrica: ghiaie e ghiaie sabbiose scarsamente addensate.

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

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 e numerosi fenomeni geodinamici attivi e/o quiescenti.

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

Sono presenti delle zone di fondovalle stabili dove affiorano i termini alluvionali caratterizzati dalla presenza prevalente di 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 prevalentemente da numerosi impluvi che drenano le acque sui torrenti principali Idice e Sillaro.

Da un punto di vista geomorfologico, si mette in evidenza che, tramite i rilievi di superficie, integrati dallo studio delle fotografie aeree eseguite con il drone, le aree strettamente interessate dagli aerogeneratori e dalla sottostazione elettrica si presentano stabili e quanto è confermato dal PAI e dalla Carta geologica in scala 1/50.000 redatta dal CARG, che non includono dette aree all'interno di quelle interessate da dissesti, mentre per quanto riguarda il tracciato del cavidotto sia il nostro studio che il PAI, che il CARG indicano alcuni dissesti come indicato di seguito:

- n. 5 tratti di cavidotto all'interno di "Zona 1" (Aree in dissesto) lungo la via Sassonero tra la SP35 e SP21 ed alcuni tratti all'interno

di aree individuate come “Zona 4” (Aree da sottoporre a verifica) e “Zona 5” (Aree di influenza sull’evoluzione del dissesto). In questo tratto di cavidotto anche la “carta geologica ufficiale indica n. 3 aree, coincidenti in parte con quelle del PAI, come A1 (Frana in evoluzione) ovvero “Accumuli gravitativi caotici di materiale eterogeneo ed eterometrico con evidenze in atto”.

Di seguito sono visibili alcune immagini da cui si evince che in questi tratti la viabilità non presenta segni di dissesto, dovuto probabilmente al fatto che l’Ente responsabile della manutenzione della strada ha realizzato le opportune opere di regimentazione idraulica e consolidamento a difesa della stessa.

Non sussistono, quindi, problemi geomorfologici alla realizzazione del cavidotto.



*VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica – Progetto per la realizzazione di un impianto per la produzione di
energia elettrica da fonte eolica nel comune di Monterenzio (BO), con opere di adeguamento
della viabilità esistente nel comune di Casalfiumanese (BO).*



*VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica – Progetto per la realizzazione di un impianto per la produzione di
energia elettrica da fonte eolica nel comune di Monterenzio (BO), con opere di adeguamento
della viabilità esistente nel comune di Casalfiumanese (BO).*



- n. 1 limitato tratto di cavidotto, tra gli aerogeneratori PELI07 e PELI06, all'interno di “Zona 1” (Aree in dissesto) e di “Zona 4” (Aree da sottoporre a verifica). Sempre, in questo tratto la Carta geologica del CARG indica n. 3 limitati tratti come A1 (Frana in evoluzione – Accumuli gravitativi caotici di materiale eterogeneo ed eterometrico con evidenze in atto).

Come visibile dalle foto acquisite con il drone, detti dissesti sono riferibili a “Movimenti superficiali lenti” legati esclusivamente all’azione delle acque ed alla pendenza medio-alta dei versanti in quanto la coltre superficiale, di modesto spessore, si imbibisce durante i periodi di piogge prolungate e tende a muoversi sia pure con movimenti di massa superficiale lenti.





Si mette in evidenza che, trattandosi di movimenti franosi che coinvolgono spessori modesti consolidabili con le classiche opere di ingegneria naturalistica, nelle successive fasi di progettazione si eseguiranno le opportune indagini geognostiche e geotecniche che serviranno alla progettazione delle stesse per la protezione ed il completo

consolidamento dei fenomeni geodinamici che interessano il cavidotto in studio.

Nell'eventualità che le indagini programmate dovessero evidenziare spessori più elevati di quelli oggi indicati dai risultati delle indagini geofisiche eseguite in questa fase, le opere di ingegneria naturalistica saranno accompagnate da opere di consolidamento tradizionali o si ricorrerà alla tecnologia TOC per il loro attraversamento.

Per preservare il sito da fenomeni di erosione superficiale verranno adottati tecniche utili alla stabilizzazione della porzione più superficiale di suolo che hanno il vantaggio di essere molto elastiche e in grado di adattarsi 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.

Dal punto di vista idrogeologico le aree in studio sono caratterizzate dall'affioramento di terreni diversi che abbiamo suddiviso in 3 tipi di permeabilità prevalente:

⇒ **Rocce permeabili per porosità:** Si tratta di rocce incoerenti e coerenti caratterizzate da una permeabilità per porosità che varia al variare del grado di cementazione e delle dimensioni granulometriche dei terreni presenti. In particolare la permeabilità risulta essere media nella frazione sabbiosa fine mentre tende ad aumentare nei livelli sabbiosi grossolani e ghiaiosi. Rientrano in questo complesso i terreni afferenti all'Unità di Modena, alla Formazione di Pantano, Formazione Antognola – Membro di Anconella, alla frazione arenacea delle Argille varicolori della Val Samoggia ed alla frazione arenacea delle Argille varicolori di Grizzana Morandi .

⇒ **Rocce impermeabili:** Si tratta di rocce che presentano fessure o pori di piccole dimensioni in cui l'infiltrazione si esplica tanto lentamente da essere considerate praticamente impermeabili. Rientrano in questo complesso i terreni afferenti alle Breccie argillose della Val Tiepido-Canossa, alle Argille varicolori della Val Samoggia, alle Argille varicolori di Grizzana Morandi ed alle Argille a Palombini.

⇒ **Rocce permeabili per poco permeabili per fratturazione:** Si tratta di rocce coerenti caratterizzate da una permeabilità bassa per fratturazione dovuta alla tettonizzazione. Rientrano in questo complesso i terreni afferenti alla Formazione Antognola, Formazione di Contignaco, Marne di Monte Piano, Formazione di Monghidoro e i Diaspri.

Nello specifico, le aree interessate dagli aerogeneratori in progetto, non sono interessate da falde freatiche sia in corrispondenza dell'affioramento prevalente di terreni impermeabili sia in corrispondenza dell'affioramento prevalente di terreni permeabili in quanto, trovandosi in zone di “cresta”, le acque piovane che si infiltrano drenano velocemente verso valle. ***Ciò è confermato dalla assenza in zona di pozzi e di sorgenti.***

In corrispondenza della cabina di consegna è, invece, presente una falda freatica che interessa i terreni prevalentemente ghiaiosi dell'Unità di Modena il cui livello si attesta alla profondità di circa 4 m dal p.c.

La profondità è tale da non essere interferita dalle fondazioni della cabina di consegna che avrà fondazioni superficiali a circa 1 metro di profondità.

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

Da un punto di vista idraulico le aree a pericolosità/rischio individuate dal P.A.I. e dal P.G.R.A. queste non interferiscono con gli aerogeneratori e la cabina di consegna in progetto.

4. OPERE DI CONSOLIDAMENTO E MITIGAZIONE DEGLI IMPATTI

Come indicato nel paragrafo precedente, per preservare i siti dove si realizzeranno i tratti di cavidotto interessati dai limitati fenomeni gravitativi superficiali legati soprattutto alle acque meteoriche che si infiltrano nella coltre alterata, 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.

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.

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.

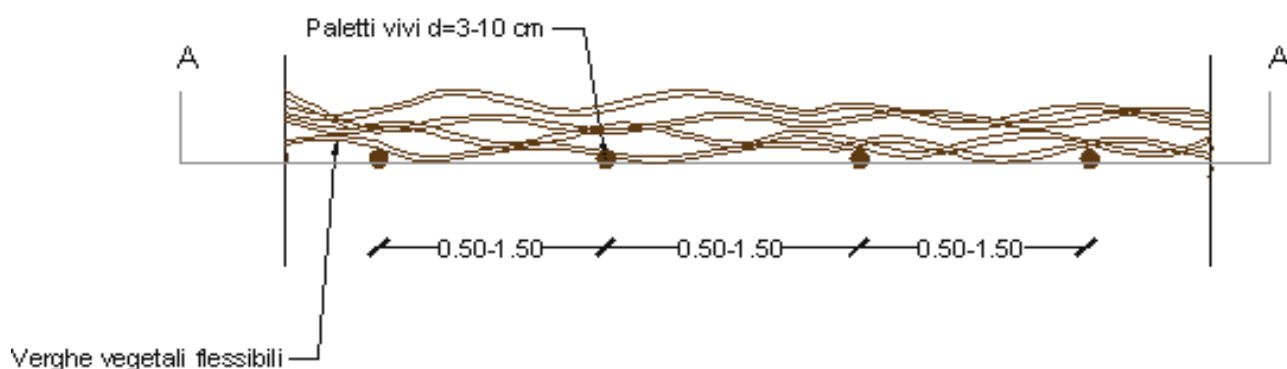
Nel caso di fascinata viva con piantine radicate di specie arbustive, l'esecuzione dell'intervento comporta alcuni accorgimenti e procedure diverse da quelle della tecnica precedente. Infatti le fascine di ramaglia sono più leggere e con un numero inferiore di verghe (3-6), i solchi sono più larghi di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

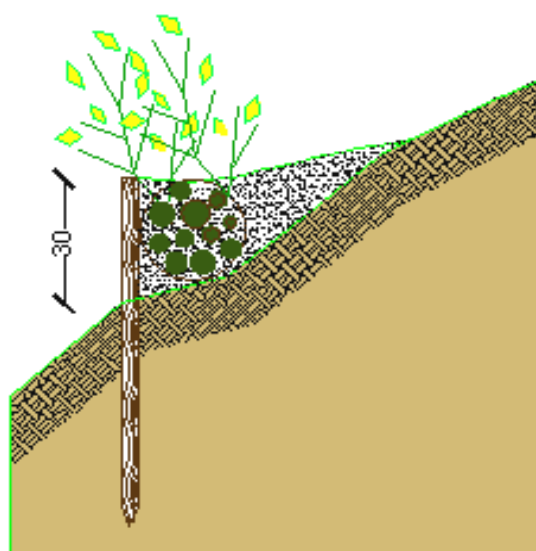
Le fascinate, come tutti gli altri interventi che impiegano materiali vivi, devono essere realizzate solo durante il periodo di riposo vegetativo.

PARTICOLARI COSTRUTTIVI FASCINATE

PIANTA
Scala 1:25



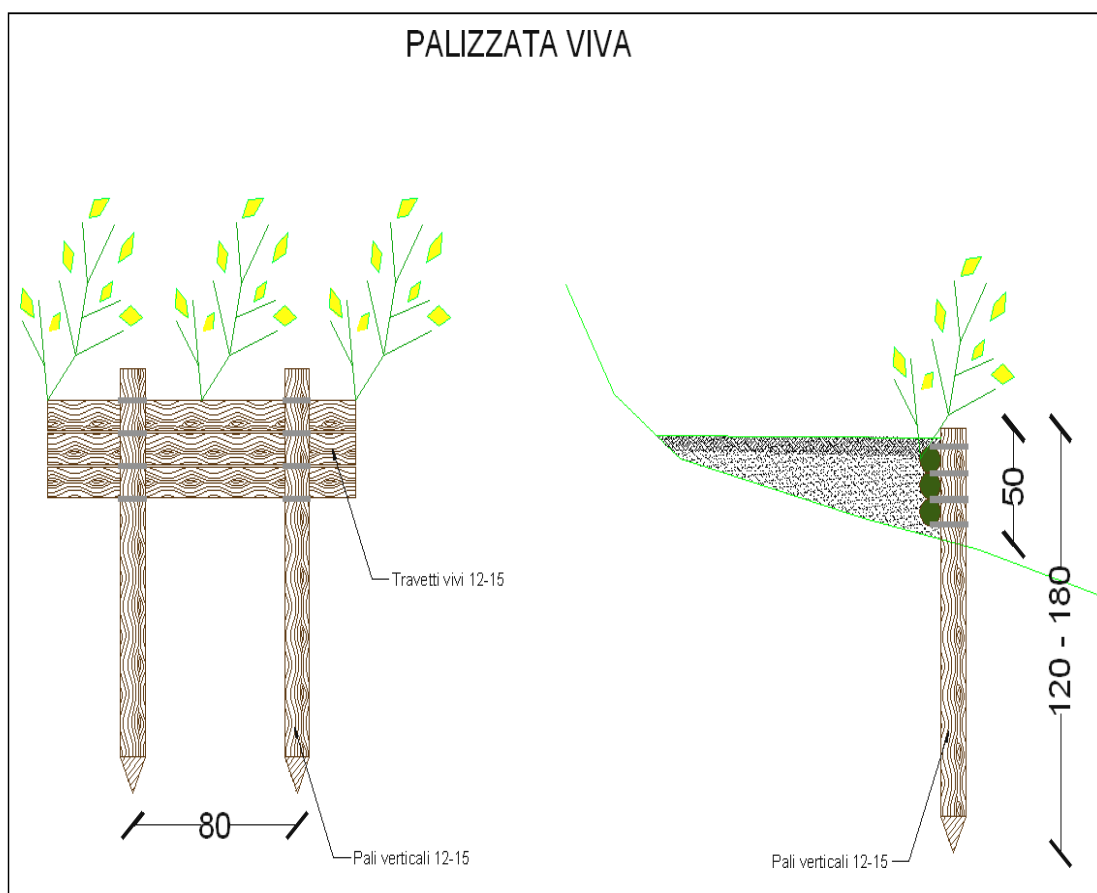
SEZIONE A-A
Scala 1:25



❖ **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 raccolgono del materiale terroso.

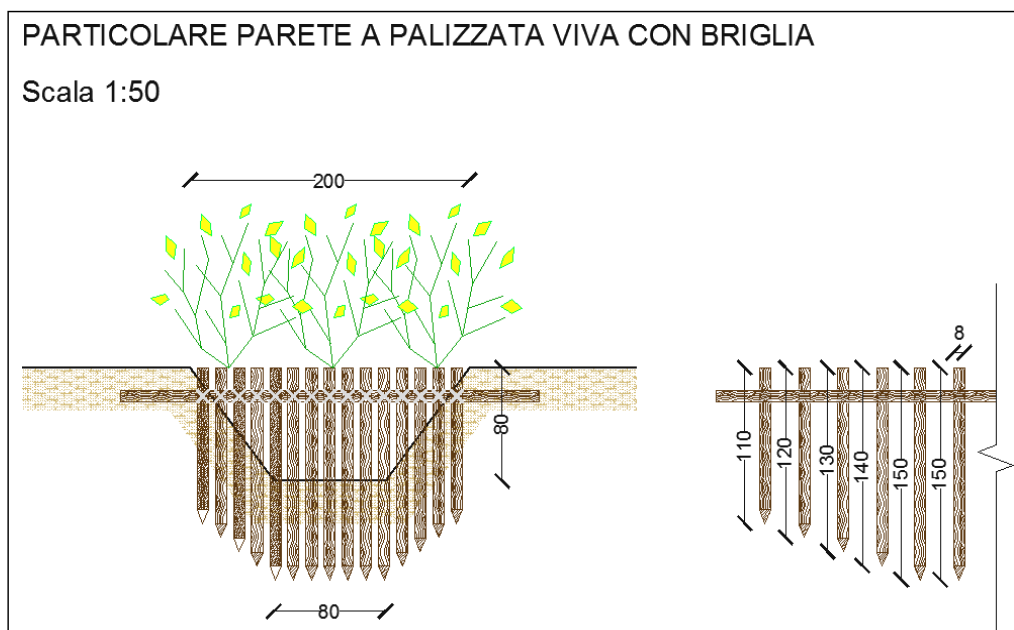
Le piante, una volta che la vegetazione si sarà sviluppata, garantiranno un consolidamento del terreno con l'apparato radicale e una resistenza all'erosione superficiale, con la loro parte epigea.



❖ **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 trapeziorovesciato, con la parte centrale ribassata rispetto alle parti laterali, per convogliare il deflusso delle acque da monte a valle del salto.

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

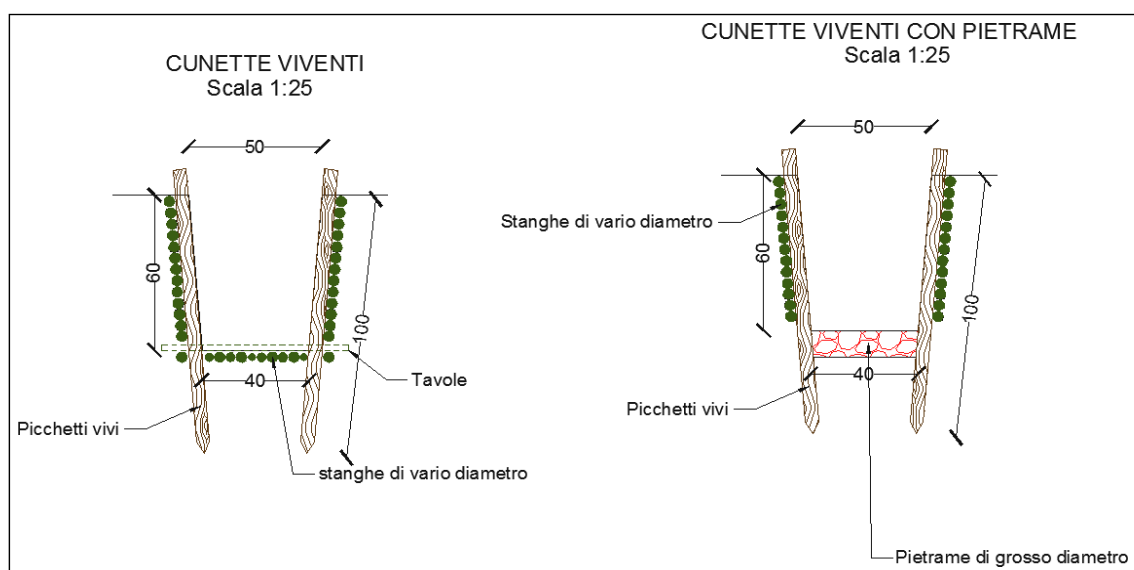


❖ **Cunetta vivente** Le cunette sono di norma pensate in terra. E' però importante sottolineare che nei tratti di maggiore pendenza l'acqua può destabilizzare la cunetta e con essa la strada. Pertanto si suggerisce l'adozione di cosiddette cunette viventi, maggiormente resistenti all'azione erosiva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

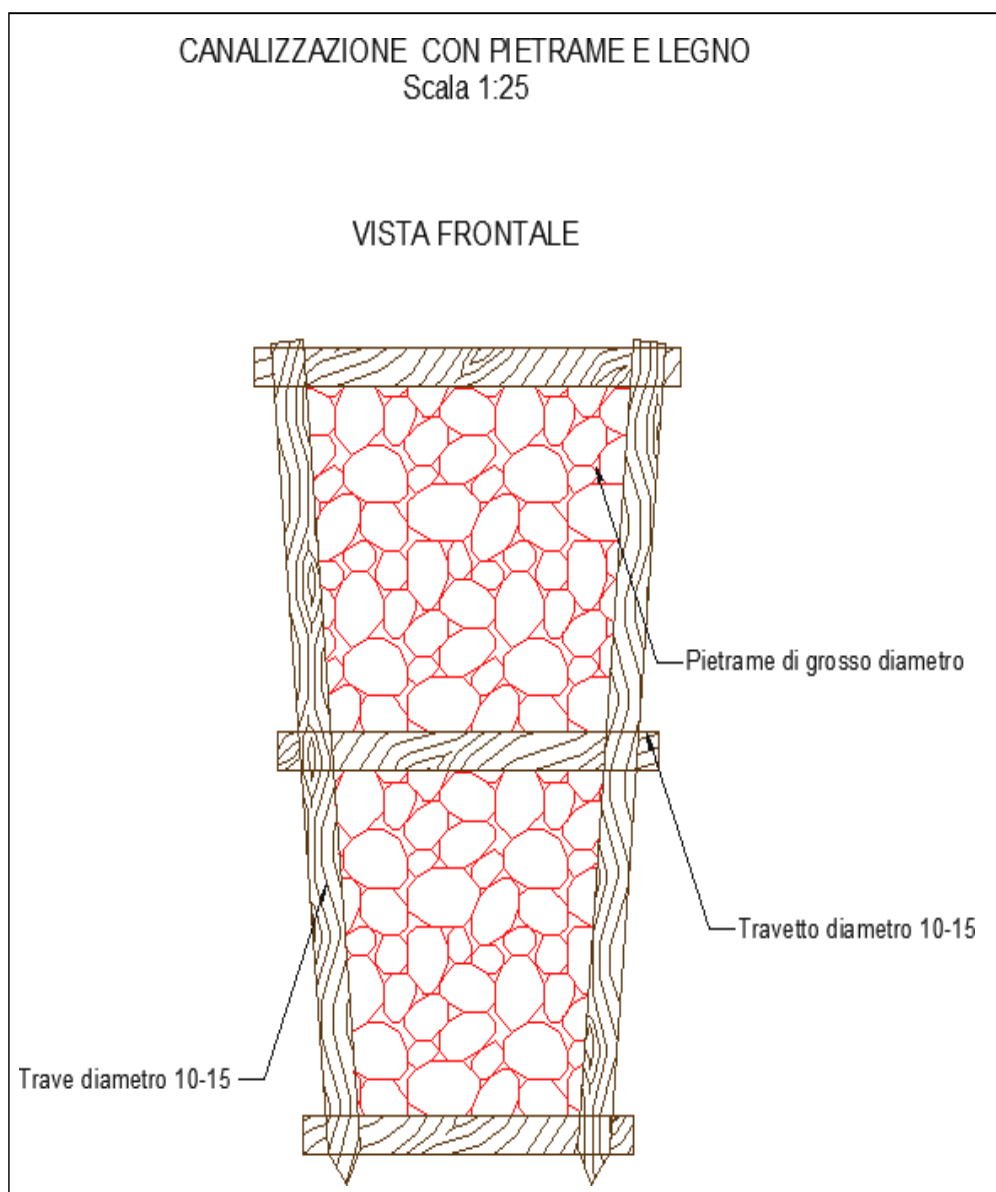
Sarà la fase cantieristica ed anche osservazionale ad indicare i tratti ove è opportuno realizzare le cunette "vive" al posto delle cunette in terra.

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, in corrispondenza di ciascun aerogeneratore e della cabina di consegna n. 8 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.

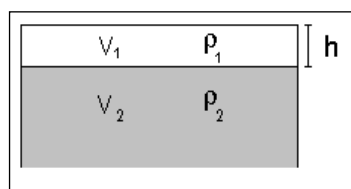
I primi studi su questa tecnica sono da attribuire a Kanai (1957) e da allora diversi metodi sono stati proposti per estrarre utili informazioni sul sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in sito.

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:

$$f_r = VP1/(4 H) \quad [1]$$

mentre quella relativa alle onde S è

$$f_r = VS1/(4 H). \quad [2]$$

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:

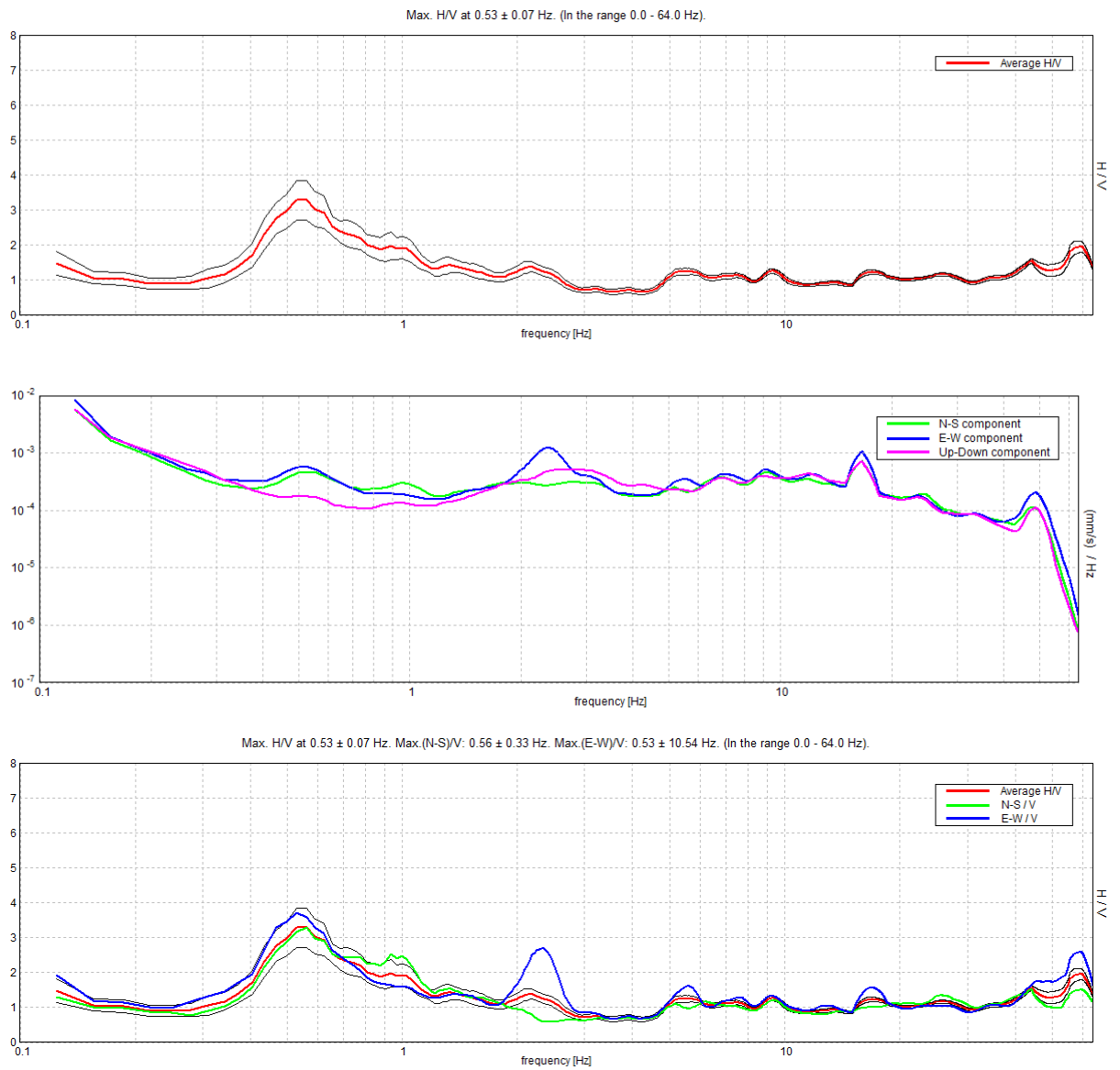
- ✓ V_0 è la velocità al tetto dello strato;
- ✓ ad un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.);
- ✓ ν la frequenza fondamentale di risonanza.

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

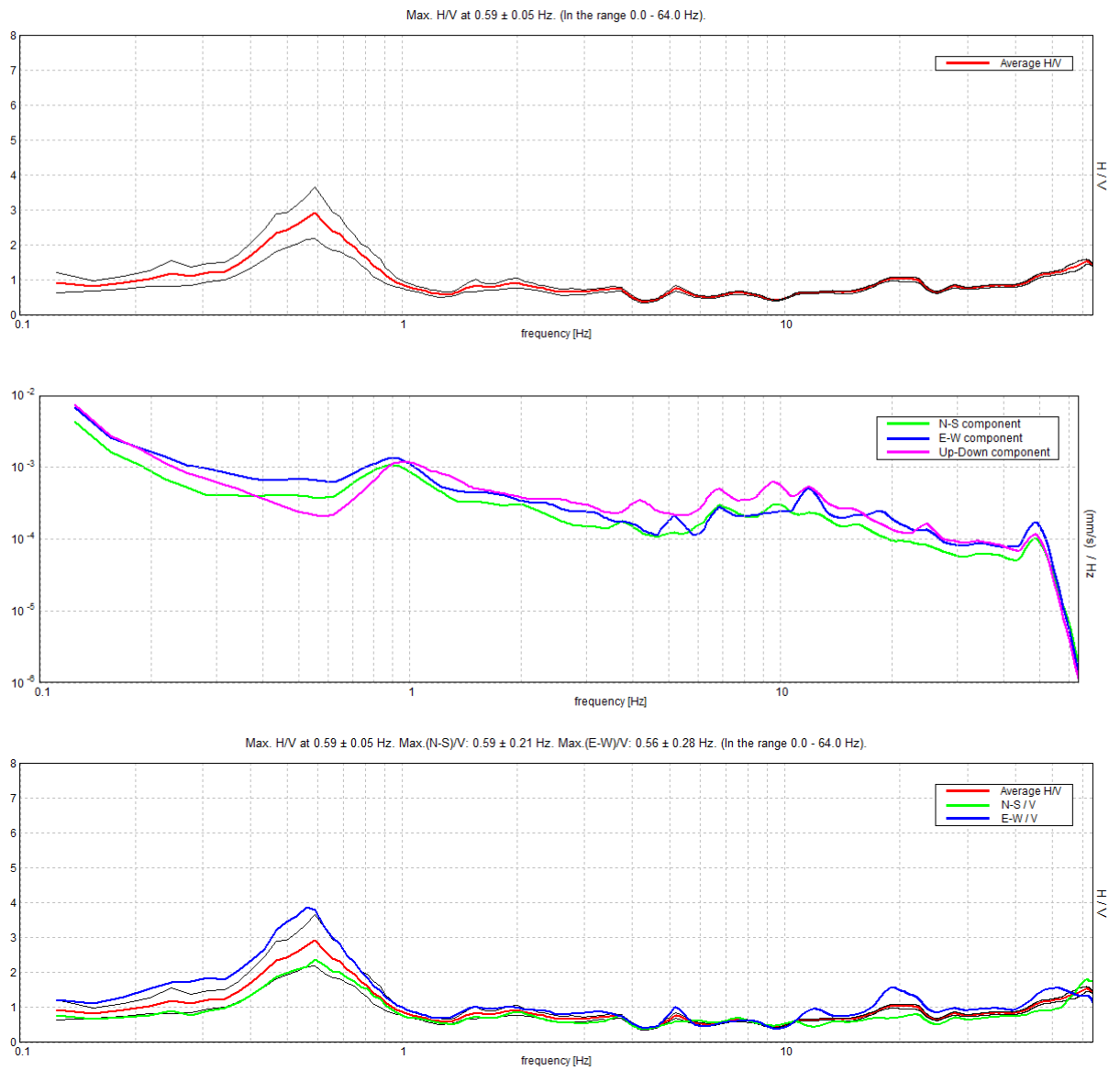
Le ubicazioni dei sondaggi che sono stati eseguiti sono visibili nelle planimetrie allegate mentre di seguito sono riportate, in dettaglio, le interpretazioni dei dati sperimentali ottenuti.

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 .

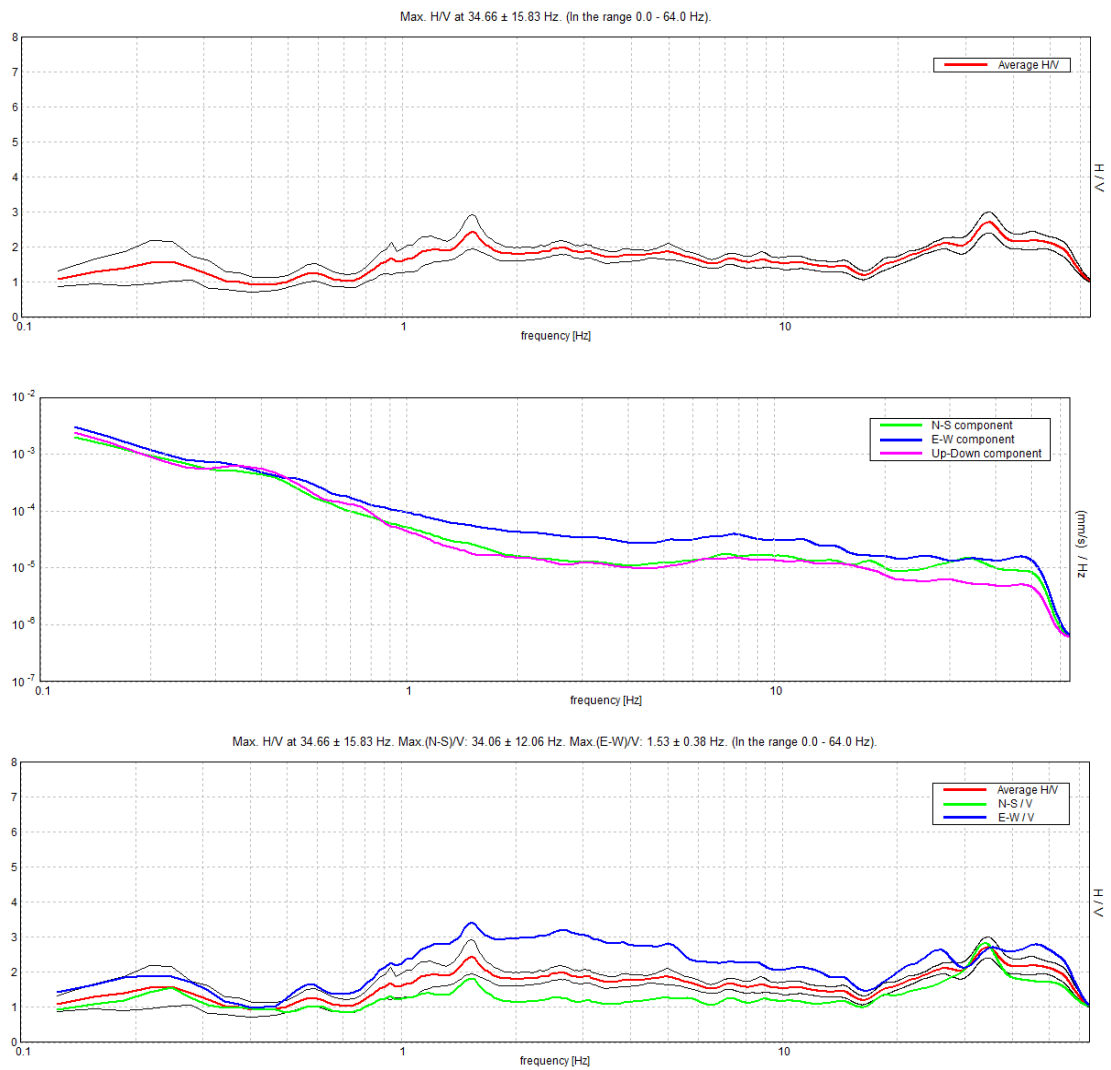
Sondaggio tromografico T1



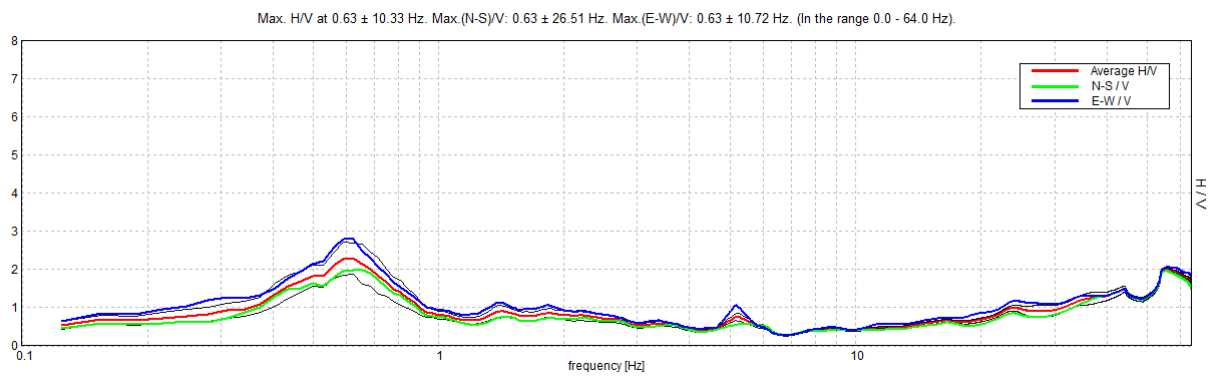
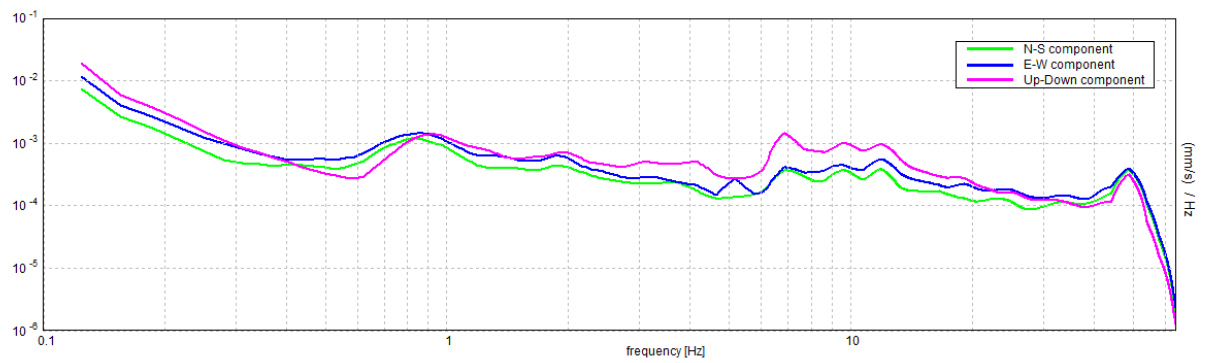
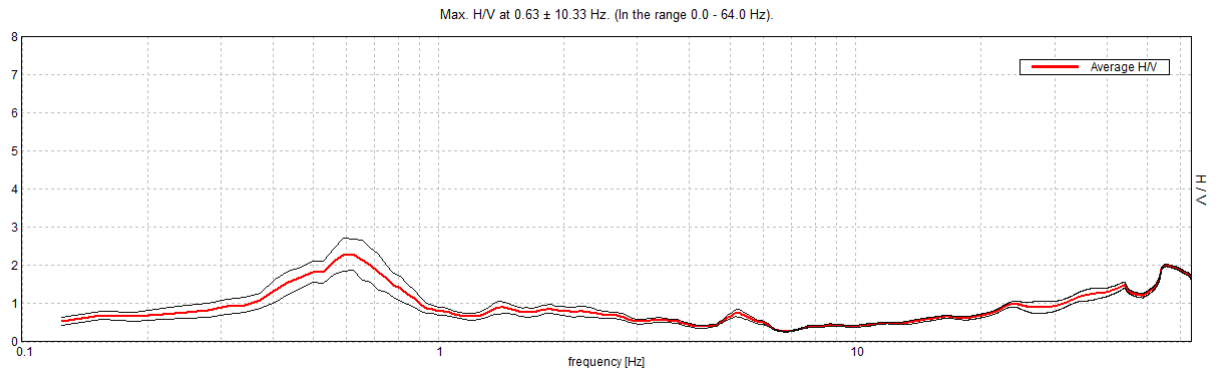
Sondaggio tromografico T2



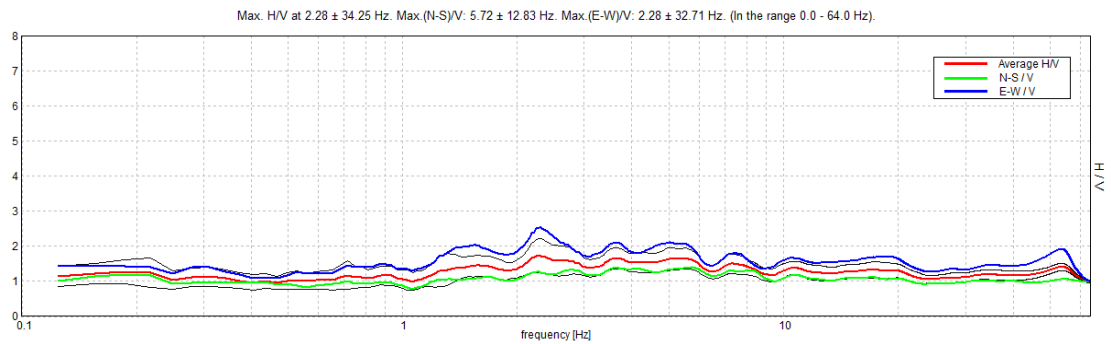
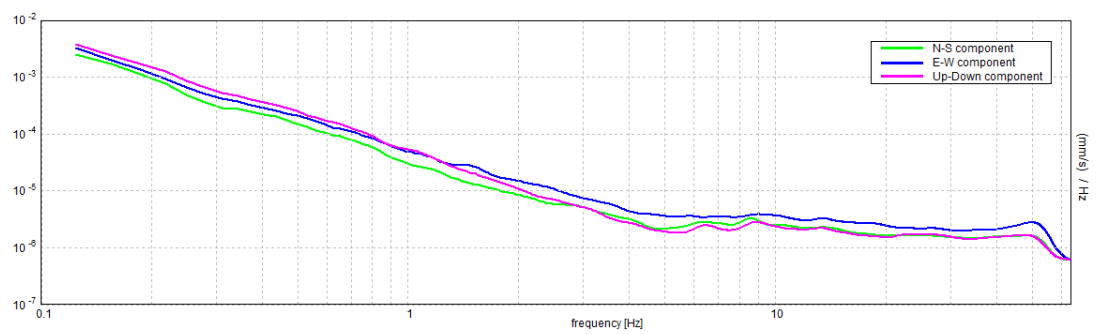
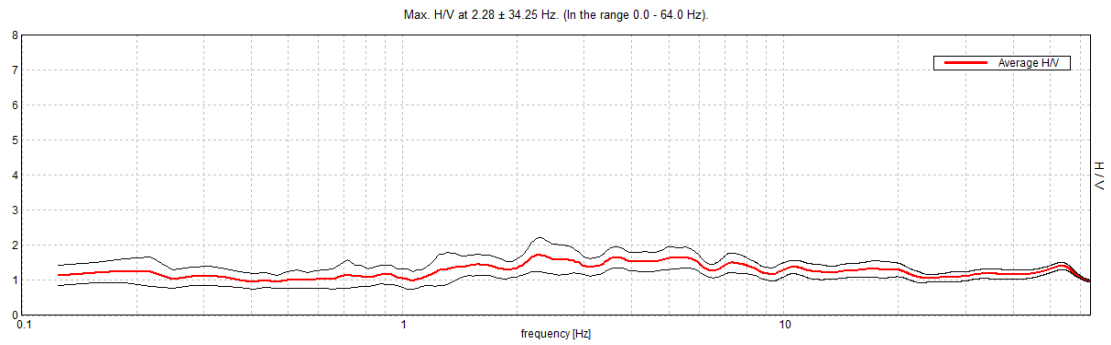
Sondaggio tromografico T3



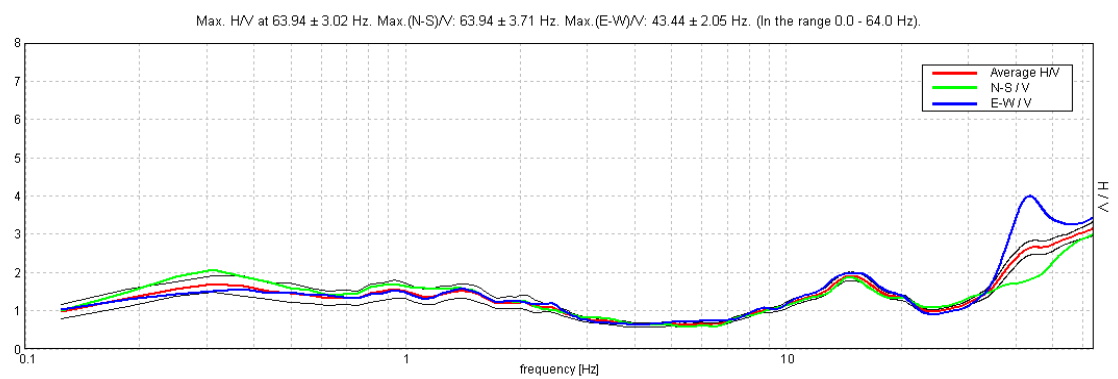
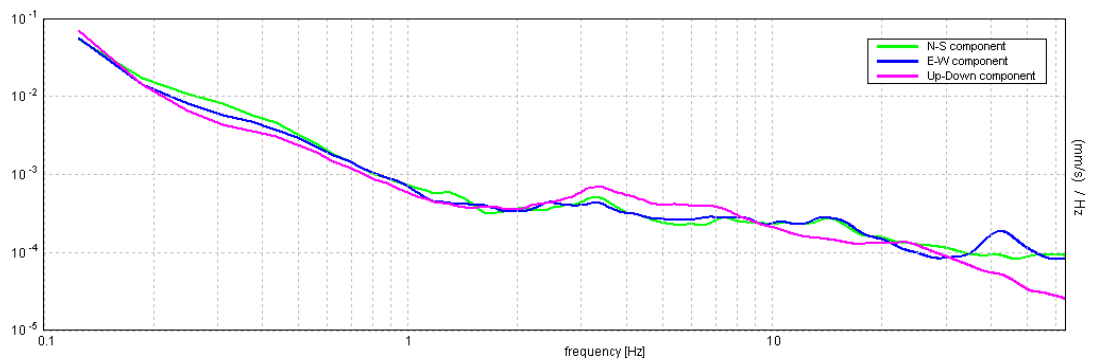
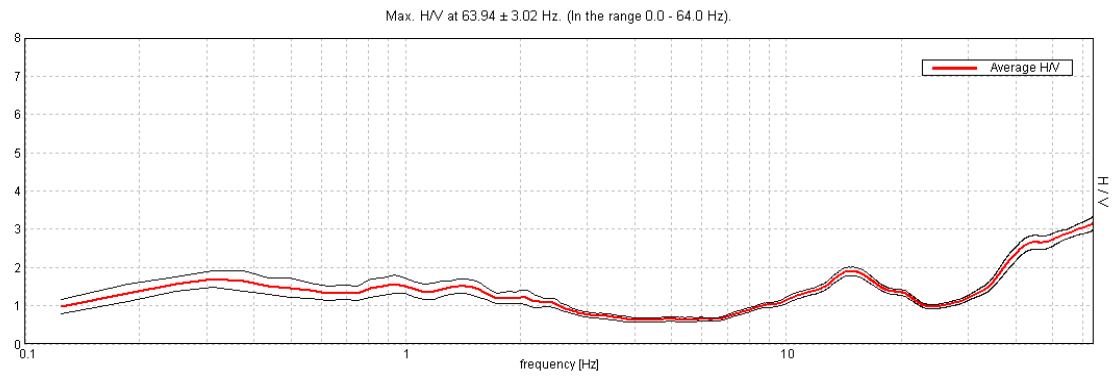
Sondaggio tromografico T4



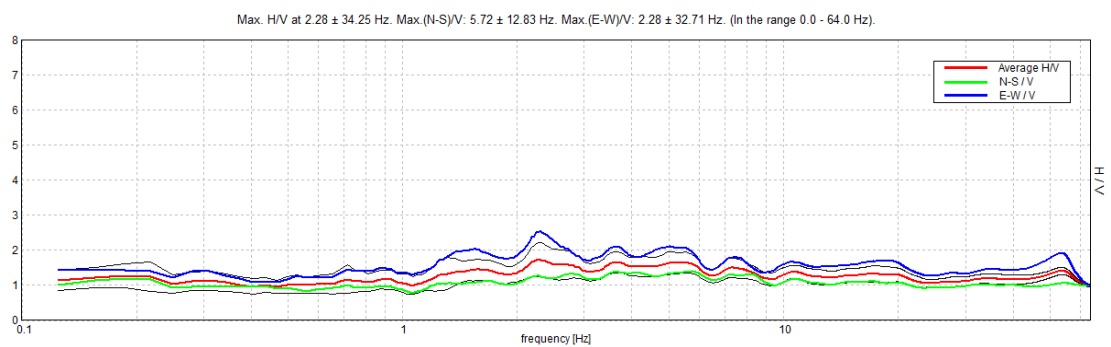
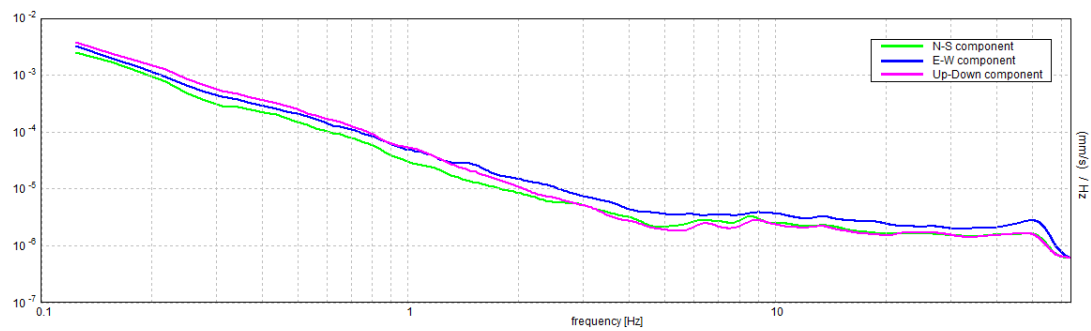
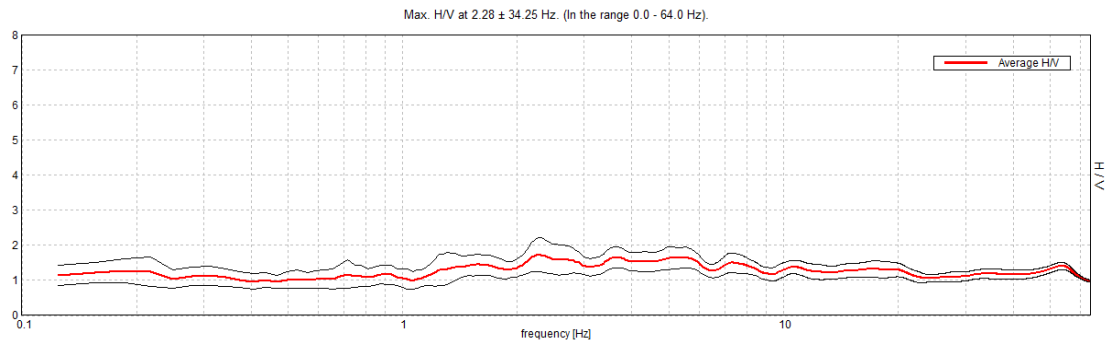
Sondaggio tomografico T5



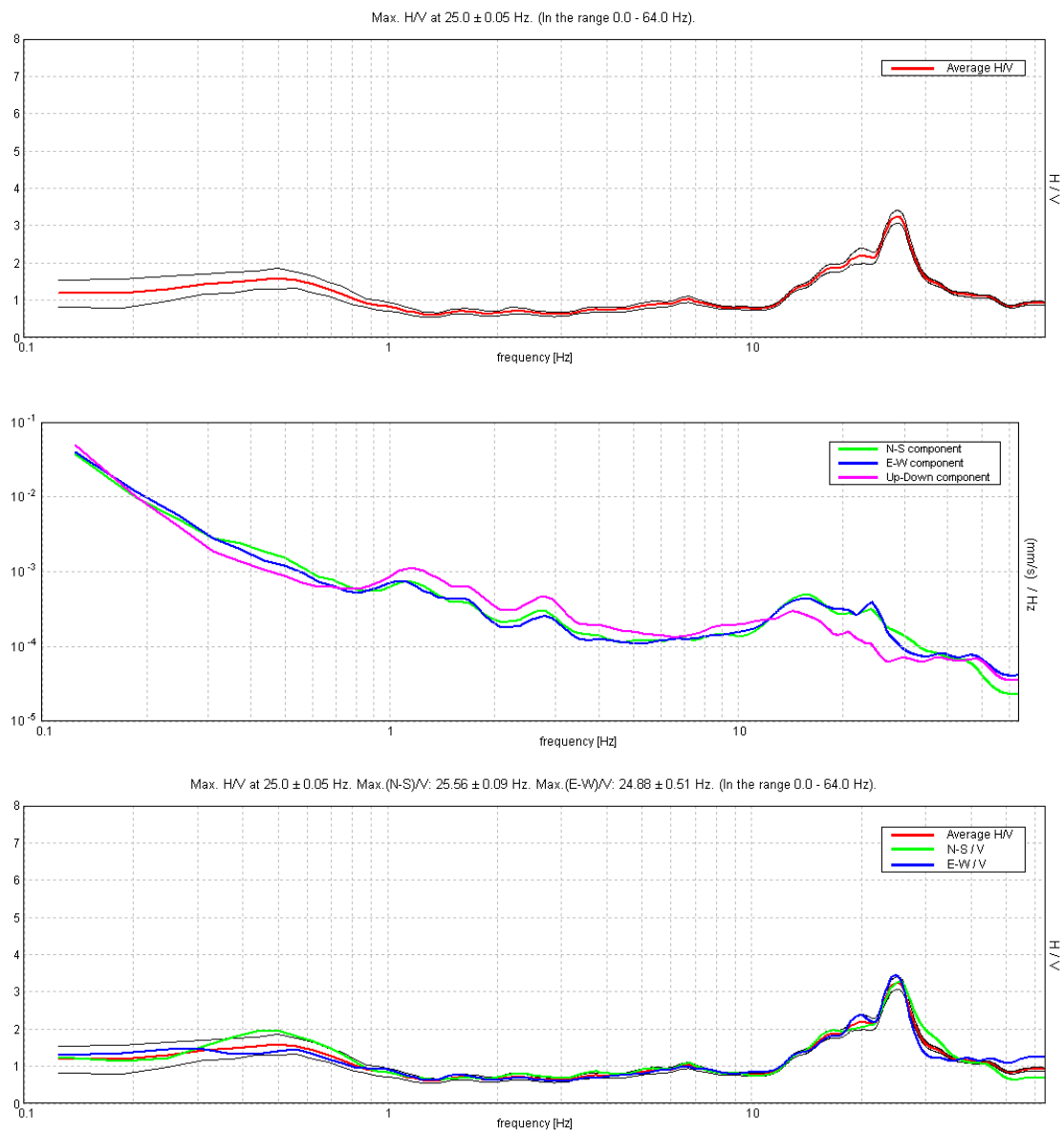
Sondaggio tromografico T6



Sondaggio tromografico T7



Sondaggio tromografico TSOTT



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

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

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

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

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

e

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

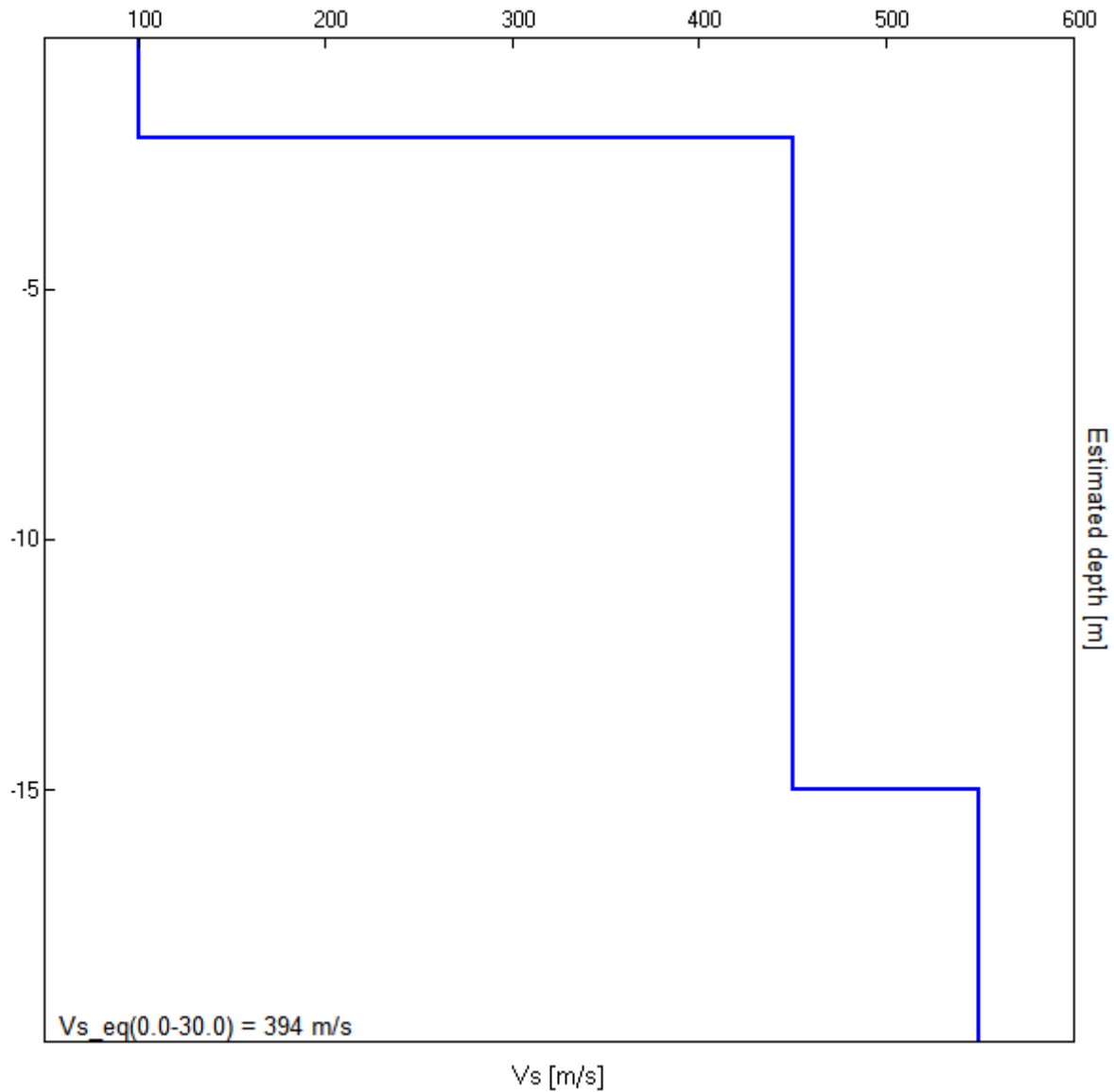
da cui si ricava

$$V = 4 f_r h$$

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

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica – Progetto per la realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica nel comune di Monterenzio (BO), con opere di adeguamento della viabilità esistente nel comune di Casalfiumanese (BO).

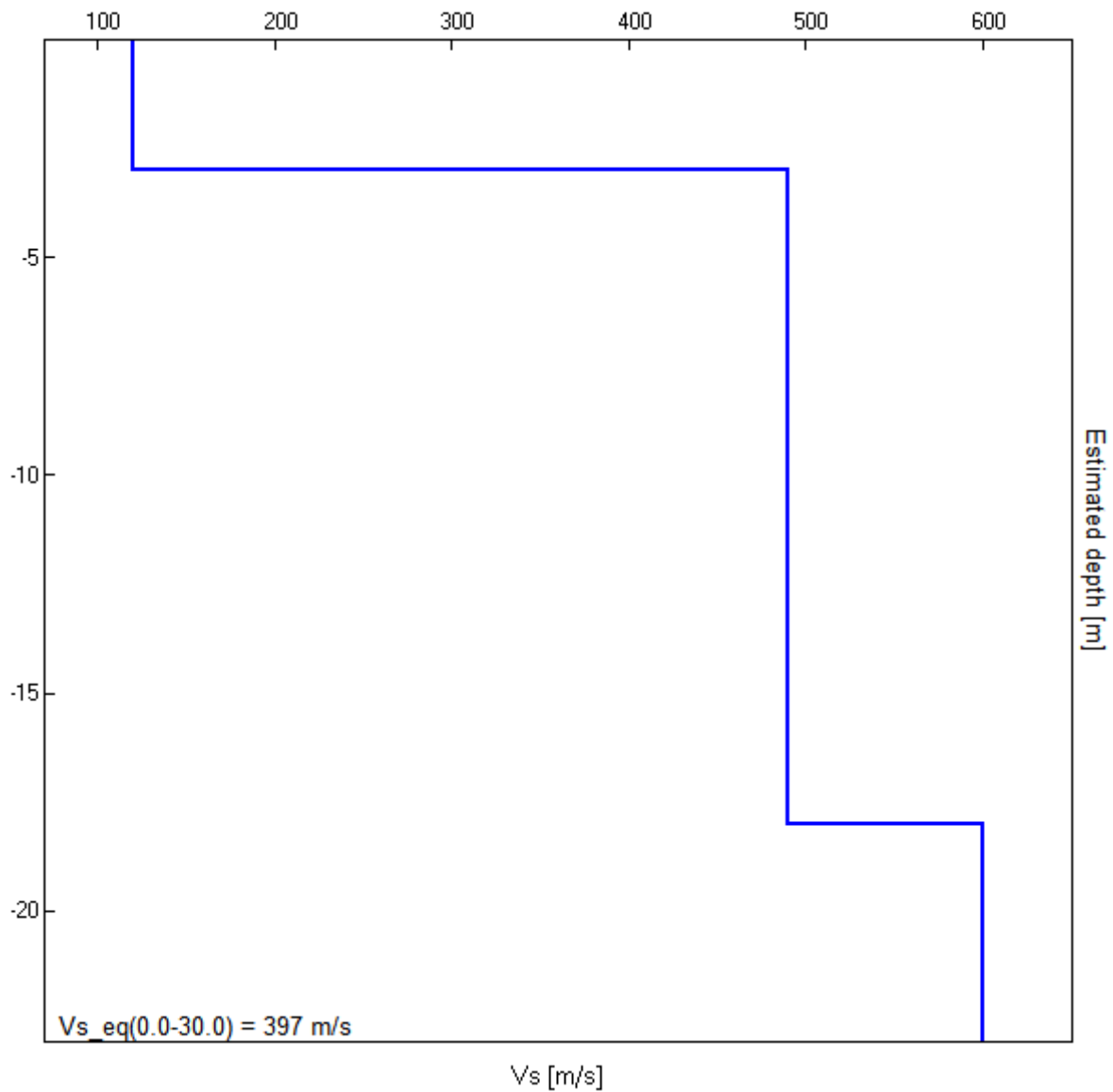
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-2.00	100	B (Vs,eq = 394 m/s)
2.00-15.00	450	
15.00-30.00	550	



Interpretazione sondaggio tromografico T1

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica – Progetto per la realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica nel comune di Monterenzio (BO), con opere di adeguamento della viabilità esistente nel comune di Casalfiumanese (BO).

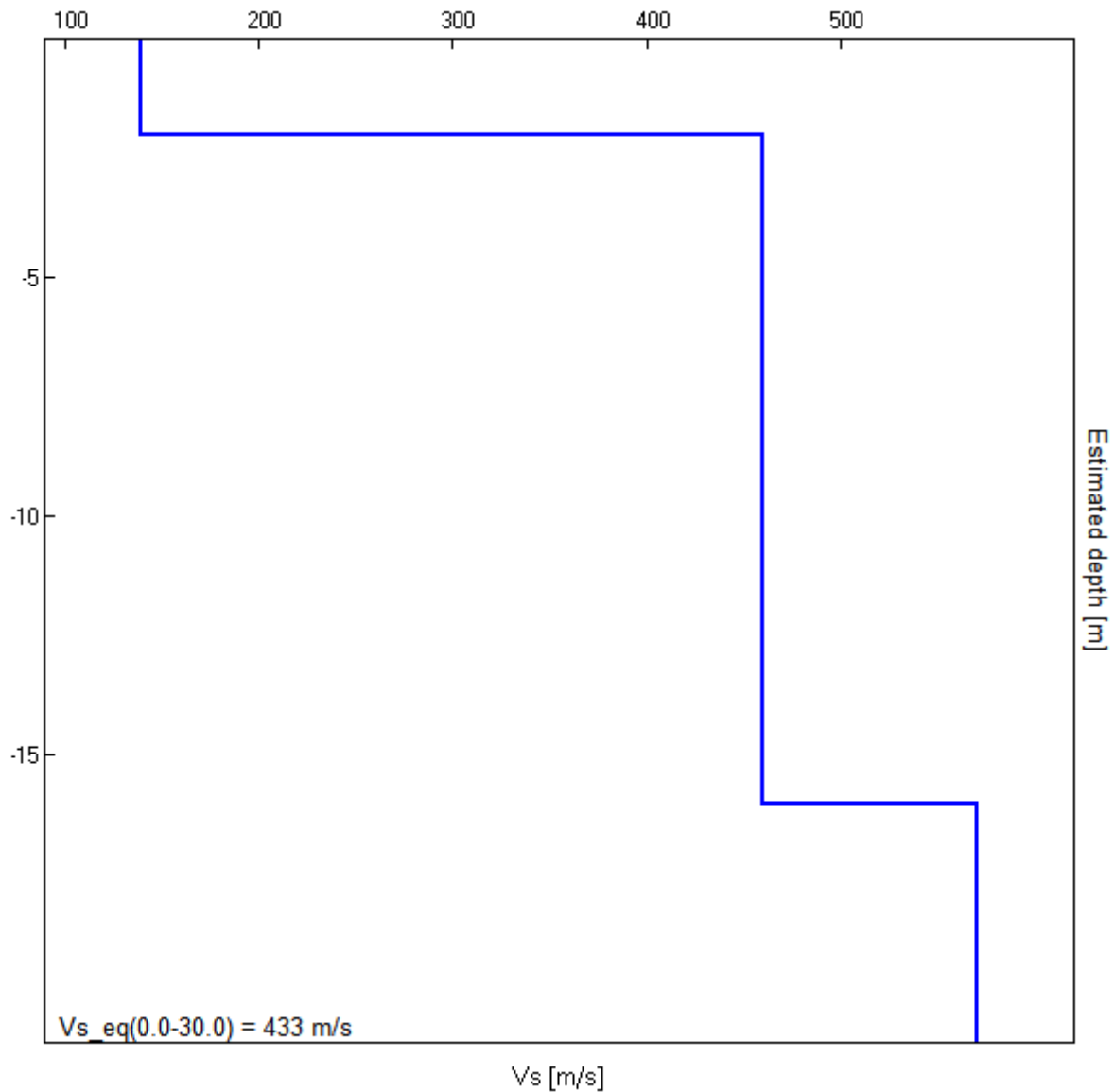
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-3.00	120	B (Vs,eq = 397 m/s)
3.00-18.00	490	
18.00-30.00	600	



Interpretazione sondaggio tomografico T2

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica – Progetto per la realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica nel comune di Monterenzio (BO), con opere di adeguamento della viabilità esistente nel comune di Casalfiumanese (BO).

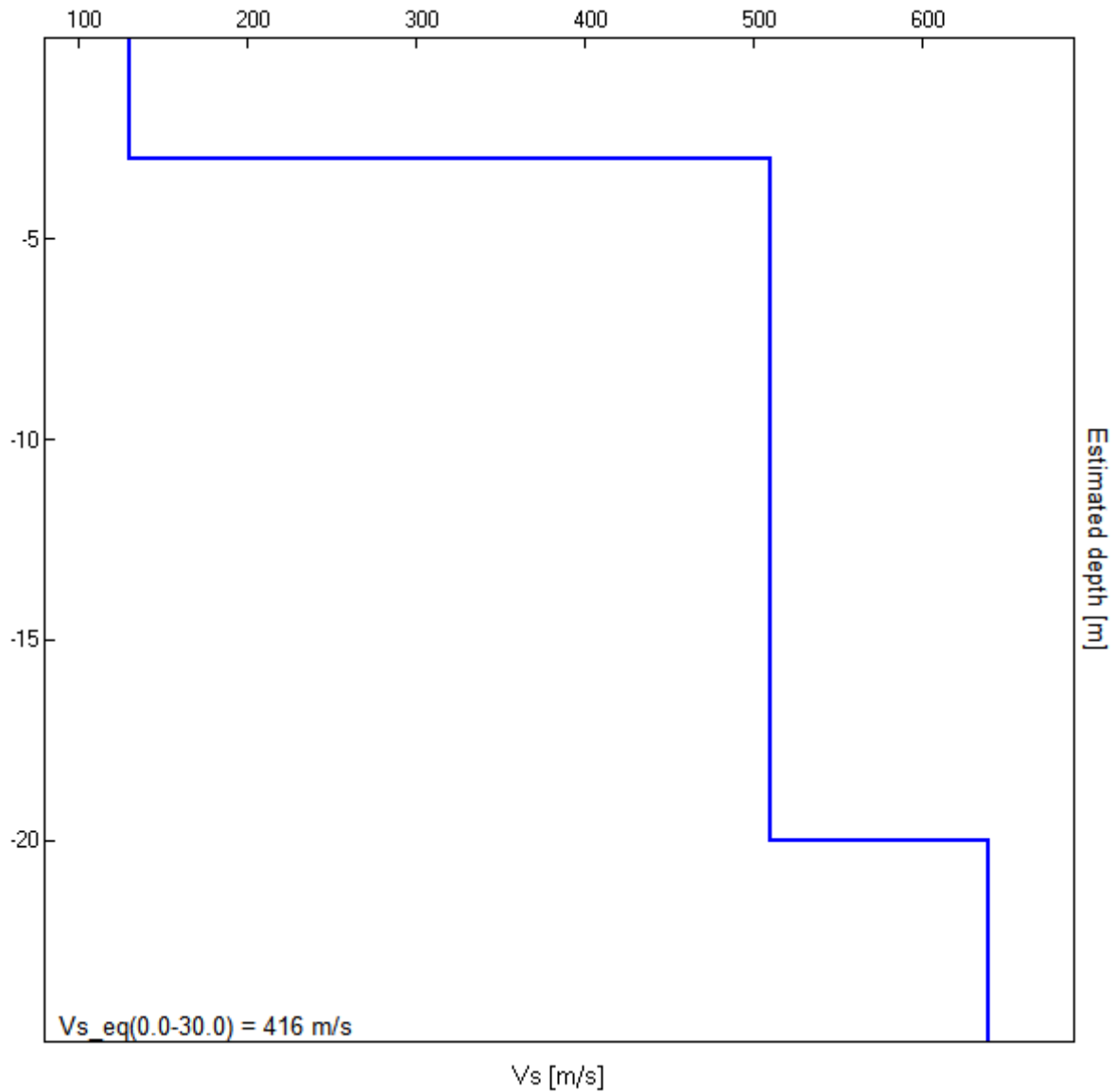
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-2.00	140	B (Vs,eq =433 m/s)
2.00-16.00	460	
16.00-30.00	570	



Interpretazione sondaggio tomografico T3

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica – Progetto per la realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica nel comune di Monterenzio (BO), con opere di adeguamento della viabilità esistente nel comune di Casalfiumanese (BO).

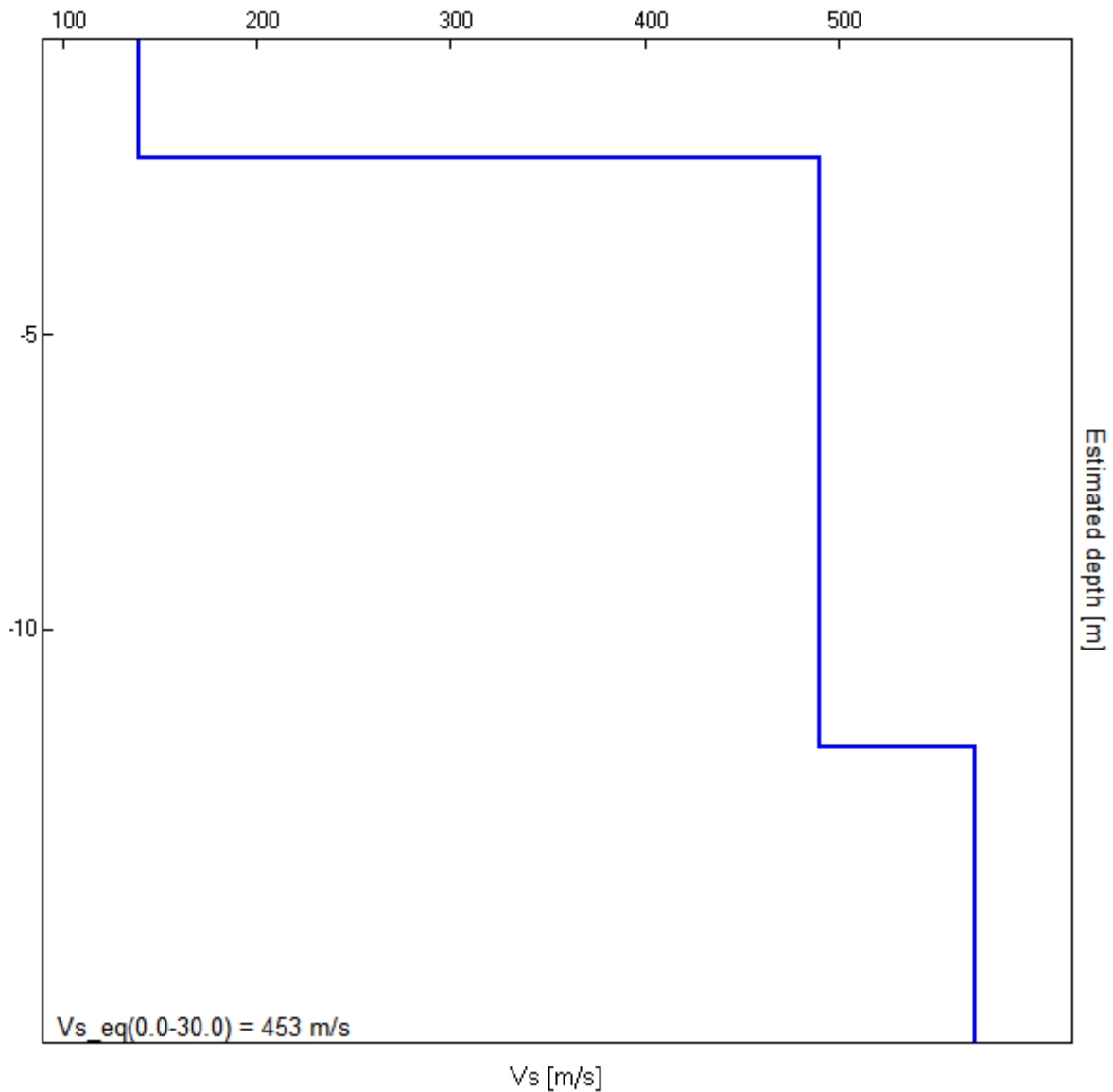
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-3.00	130	B (Vs,eq = 416 m/s)
3.00-20.00	510	
20.00-30.00	640	



Interpretazione sondaggio tomografico T4

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica – Progetto per la realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica nel comune di Monterenzio (BO), con opere di adeguamento della viabilità esistente nel comune di Casalfiumanese (BO).

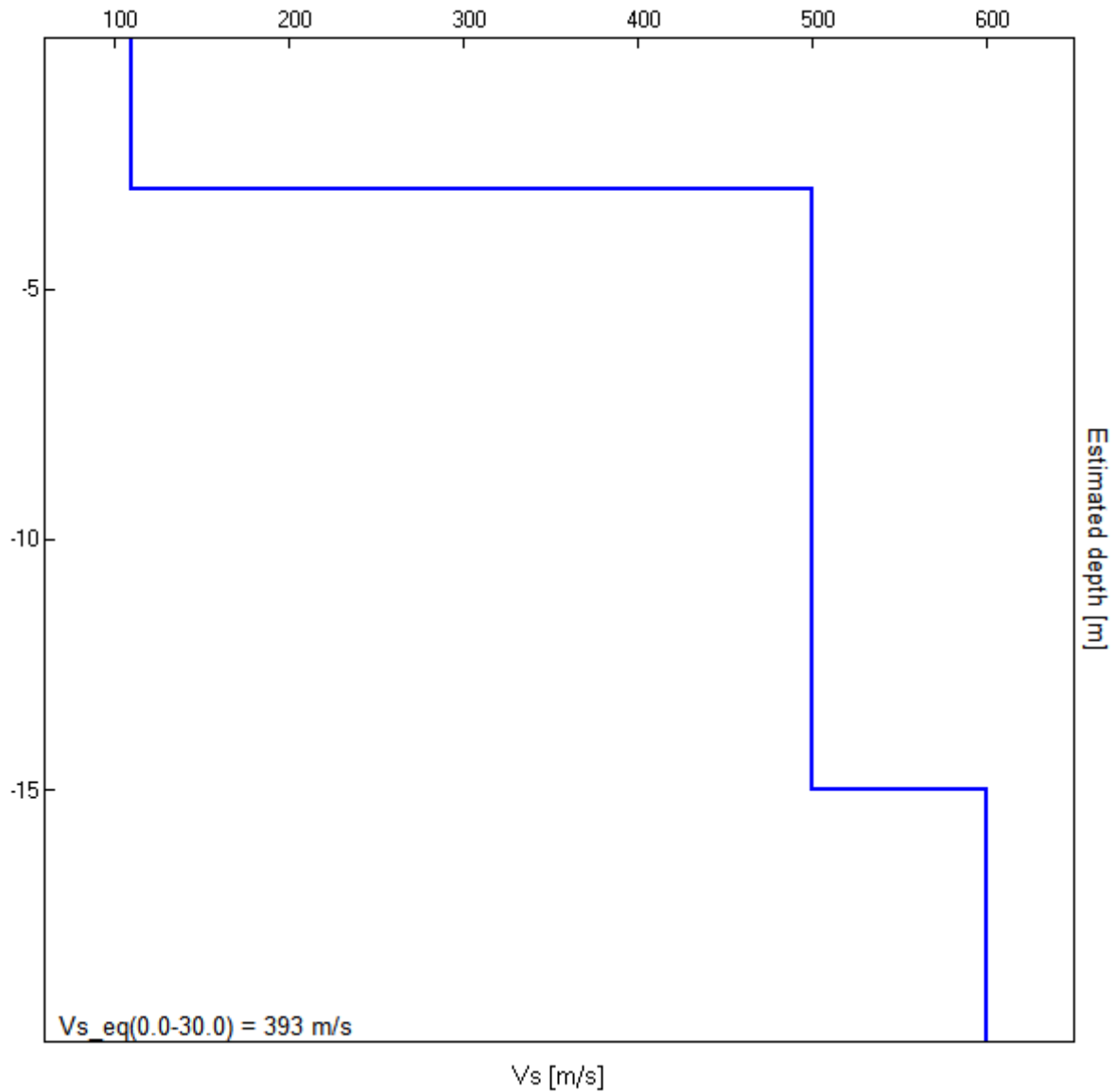
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-2.00	140	B (Vs,eq = 453 m/s)
2.00-12.00	490	
12.00-30.00	570	



Interpretazione sondaggio tomografico T5

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica – Progetto per la realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica nel comune di Monterenzio (BO), con opere di adeguamento della viabilità esistente nel comune di Casalfiumanese (BO).

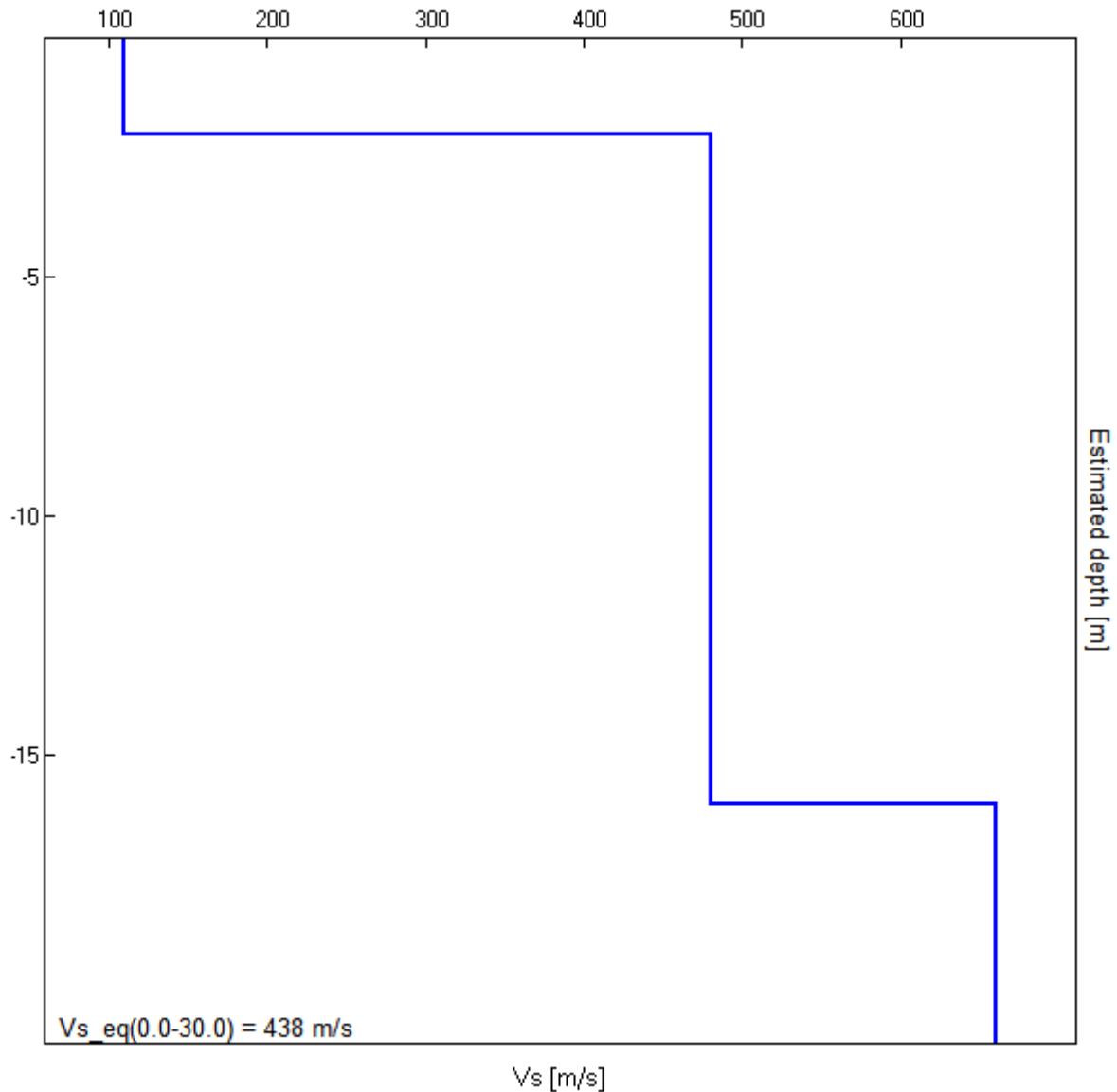
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-3.00	110	B (Vs,eq = 393 m/s)
3.00-15.00	500	
15.00-30.00	600	



Interpretazione sondaggio tomografico T6

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica – Progetto per la realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica nel comune di Monterenzio (BO), con opere di adeguamento della viabilità esistente nel comune di Casalfiumanese (BO).

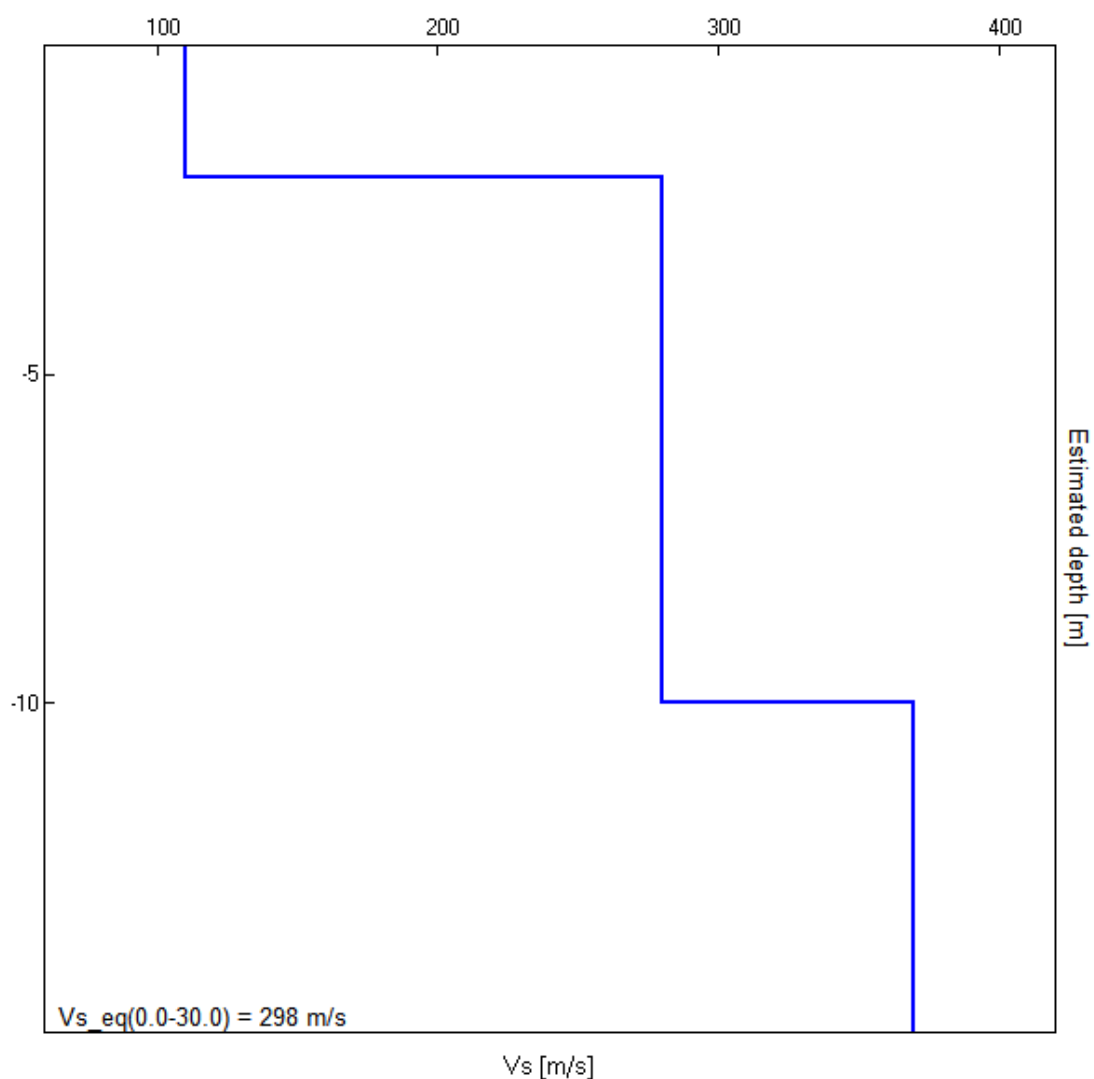
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-3.00	110	B (Vs,eq = 438 m/s)
3.00-17.00	480	
17.00-30.00	660	



Interpretazione sondaggio tomografico T7

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica – Progetto per la realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica nel comune di Monterenzio (BO), con opere di adeguamento della viabilità esistente nel comune di Casalfiumanese (BO).

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



Interpretazione sondaggio tomografico Tsott

6. CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO

I comuni in cui si trovano le aree oggetto di intervento progettuale, ai sensi della “Classificazione sismica del 31/03/2023” (Recepimento con DGR n. 143/23 della Regione Emilia Romagna, dell’OPCM 20/03/2003 n. 3274 e dell’OPCM 28 Aprile 2006 n. 3519) ricadono in zona sismica 2.

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

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica – Progetto per la realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica nel comune di Monterenzio (BO), con opere di adeguamento della viabilità esistente nel comune di Casalfiumanese (BO).

OPERA	Categoria di suolo ai sensi delle NTC 2018
AEROGENERATORE PELI1	B
AEROGENERATORE PELI 2	B
AEROGENERATORE PELI 3	B
AEROGENERATORE PELI 4	B
AEROGENERATORE PELI 5	B
AEROGENERATORE PELI 6	B
AEROGENERATORE PELI 7	B
CABINA DI CONSEGNA	C

7. 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 V_{s30} .

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:

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

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

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

(a)

$$CRR = \frac{0,04844 - 0,004721 (N_{1,60})_{cs} + 0,0006136 [(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,00001673 [(N_{1,60})_{cs}]^3}{1 - 0,1248 (N_{1,60})_{cs} + 0,009578 [(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,0003285 [(N_{1,60})_{cs}]^3 + 0,00000371 4 [(N_{1,60})_{cs}]^4}$$

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

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

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

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

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

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

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

Attrezzatura	C_E
Safety Hammer	0,7 – 1,2
Donut Hammer (USA)	0,5 – 1,0
Donut Hammer (Giappone)	1,1 – 1,4
Automatico-Trip Hammer (Tipo Donut o Safety)	0,8 – 1,4

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

$\alpha = 0$	per $FC \leq 5\%$
$\alpha = \exp[1,76 - (190 / FC^2)]$	per $5\% < FC \leq 35\%$
$\alpha = 5$	per $FC > 35\%$
$\beta = 1,0$	per $FC \leq 5\%$
$\beta = [0,99 + (FC^{1,5} / 1000)]$	per $5\% < FC \leq 35\%$

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

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 si evince che:

- 1) in corrispondenza degli aerogeneratori non è presente una falda freatica di conseguenza può essere esclusa la possibilità che avvengano fenomeni di liquefazione dei terreni;
- 2) in corrispondenza della cabina di consegna dove affiora l'Unità di Modena prevalentemente costituita da ghiaie il problema non sembra esserci vista la granulometria dei litotipi.

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 tali ipotesi.

8. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DEI TERRENI INTERESSATI

I dati in nostro possesso hanno messo in evidenza che nell'area direttamente interessata dagli aerogeneratori e dalla cabina di consegna è presente uno spessore variabile da 1.0 e 2.0 m di terreno vegetale che ricopre vari complessi litologici ed è costituito da limi e limi sabbiosi di colore marrone, scarsamente consistenti e plastici.

Per la caratterizzazione fisico-meccanica del terreno vegetale, può farsi riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, ai seguenti parametri desunti dall'esperienza maturata su questi terreni:

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

Si mette in evidenza che sarà totalmente asportato in fase di realizzazione.

Ne descriviamo singolarmente le caratteristiche litologiche per ciascun aerogeneratore e per la cabina di consegna.

- ❖ PELI01: argille varicolori con inclusi blocchi di calcilutiti biancastre. La frazione alterata, di spessore variabile tra 2-3 m è costituita da limi argillosi, da scarsamente a mediamente consistenti con inclusi sporadici elementi lapidei di natura calcarea di dimensioni centimetriche. Per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni sopra citati, può farsi riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, ai seguenti parametri desunti dall'esperienza maturata su questi terreni:

$$\text{Frazione alterata: } \varphi' = 20^\circ, c' = 0.5 \text{ t/mq}, \gamma = 1.8 \text{ t/mc.}$$

$$\text{Frazione inalterata: } \varphi' = 25^\circ, c' = 1.0 \text{ t/mq}, \gamma = 1.9 \text{ t/mc.}$$

- ❖ PELI02: argilliti siltose grigio azzurro intercalate a calcilutiti silicizzate grigio chiare. La frazione alterata, di spessore variabile tra 3-4 m è costituita da argille limose, da scarsamente a mediamente consistenti con inclusi sporadici elementi lapidei di natura calcarea di dimensioni centimetriche. Per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni sopra citati, può farsi riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, ai seguenti parametri desunti dall'esperienza maturata su questi terreni:

Frazione alterata: $\varphi' = 20^\circ$, $c' = 0.5 \text{ t/mq}$, $\gamma = 1.8 \text{ t/mc}$.

Frazione inalterata: $\varphi' = 28^\circ$, $c' = 2.0 \text{ t/mq}$, $\gamma = 2.0 \text{ t/mc}$.

- ❖ PELI03: argilliti scagliettate, talora siltose, grigio scure con intercalazioni di arenarie. La frazione alterata, di spessore variabile tra 2-3 m è costituita da argille limose, da scarsamente a mediamente consistenti con inclusi sporadici elementi lapidei di natura arenacea di dimensioni centimetriche. Per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni sopra citati, può farsi riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, ai seguenti parametri desunti dall'esperienza maturata su questi terreni:

Frazione alterata: $\varphi' = 20^\circ$, $c' = 0.5 \text{ t/mq}$, $\gamma = 1.8 \text{ t/mc}$.

Frazione inalterata: $\varphi' = 25^\circ$, $c' = 1.0 \text{ t/mq}$, $\gamma = 1.9 \text{ t/mc}$.

- ❖ PELI04: argille varicolori con inclusi blocchi di calcilutiti biancastre. La frazione alterata, di spessore variabile tra 3-4 m è costituita da limi argillosi, da scarsamente a mediamente consistenti con inclusi sporadici elementi lapidei di natura calcarea di dimensioni centimetriche. Per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni

sopra citati, può farsi riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, ai seguenti parametri desunti dall'esperienza maturata su questi terreni:

Frazione alterata: $\varphi' = 20^\circ$, $c' = 0.5 \text{ t/mq}$, $\gamma = 1.8 \text{ t/mc}$.

Frazione inalterata: $\varphi' = 25^\circ$, $c' = 1.0 \text{ t/mq}$, $\gamma = 1.9 \text{ t/mc}$.

- ❖ PELI05: marne siltose grigio cenere, localmente silicee, con intercalazioni di strati arenitici. La frazione alterata, di spessore variabile tra 2-3 m è costituita da limi, da scarsamente a mediamente consistenti con inclusi sporadici elementi lapidei di natura arenacea di dimensioni centimetriche. Per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni sopra citati, può farsi riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, ai seguenti parametri desunti dall'esperienza maturata su questi terreni:

Frazione alterata: $\varphi' = 25^\circ$, $c' = 0.2 \text{ t/mq}$, $\gamma = 1.8 \text{ t/mc}$.

Frazione inalterata: $\varphi' = 30^\circ$, $c' = 3.0 \text{ t/mq}$, $\gamma = 2.1 \text{ t/mc}$.

- ❖ PELI06: marne siltose consistenti di colore grigio-verde. La frazione alterata, di spessore variabile tra 3-4 m è costituita da limi argillosi, da scarsamente a mediamente consistenti con inclusi sporadici elementi lapidei di natura arenacea di dimensioni centimetriche. Per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni sopra citati, può farsi riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, ai seguenti parametri desunti dall'esperienza maturata su questi terreni:

Frazione alterata: $\varphi' = 25^\circ$, $c' = 0.2 \text{ t/mq}$, $\gamma = 1.8 \text{ t/mc}$.

Frazione inalterata: $\varphi' = 30^\circ$, $c' = 3.0 \text{ t/mq}$, $\gamma = 2.1 \text{ t/mc}$.

- ❖ PELI07: marne calcaree consistenti. La frazione alterata, di spessore variabile tra 3-4 m è costituita da argille marnose, da scarsamente a

mediamente consistenti con inclusi sporadici elementi lapidei di natura calcarea di dimensioni centimetriche.

Per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni sopra citati, può farsi riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, ai seguenti parametri desunti dall'esperienza maturata su questi terreni:

Frazione alterata: $\varphi' = 25^\circ$, $c' = 0.2 \text{ t/mq}$, $\gamma = 1.8 \text{ t/mc}$.

Frazione inalterata: $\varphi' = 30^\circ$, $c' = 3.0 \text{ t/mq}$, $\gamma = 2.1 \text{ t/mc}$.

❖ Cabina di consegna: ghiaie e ghiaie sabbiose scarsamente addensate.

Per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni sopra citati, può farsi riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, ai seguenti parametri desunti dall'esperienza maturata su questi terreni:

$\varphi' = 28^\circ$, $c' = 0.0 \text{ t/mq}$, $\gamma = 1.8 \text{ t/mc}$.

9. CAMPAGNA INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE DA ESEGUIRE IN FASE DI PROGETTAZIONE ESECUTIVA

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

In corrispondenza di ciascun aerogeneratore:

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

In corrispondenza della sottostazione:

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

In corrispondenza dei tratti di cavidotto che interessano potenziali aree in dissesto:

- ✓ n. 1 sondaggio a carotaggio continuo di profondità pari a 15 mt. dal p.c. con installazione di piezometro a tubo aperto;

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica – Progetto per la realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica nel comune di Monterenzio (BO), con opere di adeguamento della viabilità esistente nel comune di Casalfiumanese (BO).

- ✓ prelievo di n. 2 campioni indisturbati sui quali eseguire le prove geotecniche in laboratorio per la caratterizzazione fisico-meccanica;
- ✓ n. 4 S.P.T. in foro.

10. CONCLUSIONI

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

- le aree interessate dagli aerogeneratori, della cabina di consegna e del cavidotto sono caratterizzate dall'affioramento di varie tipologie litologiche di seguito descritte:
 - ❖ PELI01: argille varicolori con inclusi blocchi di calcilutiti biancastre. La frazione alterata, di spessore variabile tra 2-3 m, è costituita da limi argillosi, da scarsamente a mediamente consistenti, con inclusi sporadici elementi lapidei di natura calcarea di dimensioni centimetriche.
 - ❖ PELI02: argilliti siltose grigio azzurro intercalate a calcilutiti silicizzate grigio chiare. La frazione alterata, di spessore variabile tra 3-4 m, è costituita da argille limose, da scarsamente a mediamente consistenti, con inclusi sporadici elementi lapidei di natura calcarea di dimensioni centimetriche.
 - ❖ PELI03: argilliti scagliettate, talora siltose, grigio scure con intercalazioni di arenarie. La frazione alterata, di spessore variabile tra 2-3 m, è costituita da argille limose, da scarsamente a mediamente consistenti, con inclusi sporadici elementi lapidei di natura arenacea di dimensioni centimetriche.
 - ❖ PELI04: argille varicolori con inclusi blocchi di calcilutiti biancastre. La frazione alterata, di spessore variabile tra 3-4 m, è costituita da limi argillosi, da scarsamente a mediamente

consistenti, con inclusi sporadici elementi lapidei di natura calcarea di dimensioni centimetriche.

- ❖ PELI05: marne siltose grigio cenere, localmente silicee, con intercalazioni di strati arenitici. La frazione alterata, di spessore variabile tra 2-3 m, è costituita da limi, da scarsamente a mediamente consistenti, con inclusi sporadici elementi lapidei di natura arenacea di dimensioni centimetriche.
- ❖ PELI06: marne siltose consistenti di colore grigio-verde. La frazione alterata, di spessore variabile tra 3-4 m, è costituita da limi argillosi, da scarsamente a mediamente consistenti, con inclusi sporadici elementi lapidei di natura arenacea di dimensioni centimetriche.
- ❖ PELI07: marne calcaree consistenti. La frazione alterata, di spessore variabile tra 3-4 m, è costituita da argille marnose, da scarsamente a mediamente consistenti, con inclusi sporadici elementi lapidei di natura calcarea di dimensioni centimetriche.
- ❖ Cabina di consegna: ghiaie e ghiaie sabbiose scarsamente addensate.

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

- Da un punto di vista geomorfologico, si mette in evidenza che, tramite i rilievi di superficie, integrati dallo studio delle fotografie aeree eseguite con il drone, le aree strettamente interessate dagli aerogeneratori e dalla sottostazione elettrica si presentano stabili.
- Relativamente agli aerogeneratori e alla sottostazione, quanto detto sopra è confermato dal PAI e dalla Carta geologica in scala 1/50.000 redatta dal CARG, che non includono dette aree all'interno di aree interessate da dissesti mentre per quanto riguarda il tracciato del cavidotto indicano alcuni dissesti.
- Dai rilievi in situ eseguiti si evince che lungo la via Sassonero tra la SP35 e SP21 la viabilità non presenta segni di dissesto. ***Quanto detto è dovuto probabilmente al fatto che l'Ente responsabile della manutenzione ha realizzato le opportune opere di regimentazione idraulica a difesa della stessa.***
- Nel tratto di cavidotto tra la PELI7 e PELI6 sono presenti alcuni limitati dissesti riconducibili "Movimenti superficiali lenti" legati esclusivamente all'azione delle acque ed alla pendenza medio-alta dei versanti in quanto la coltre superficiale si imbibisce durante i periodi di piogge prolungate e tende a muoversi sia pure con movimenti di massa superficiale lenti.

Nelle successive fasi di progettazione si eseguiranno le opportune indagini geognostiche e geotecniche che serviranno alla progettazione delle opere di ingegneria naturalistica per la protezione ed il completo consolidamento dei fenomeni geodinamici che interessano i versanti limitrofi ai tratti di cavidotto in studio. Nell'eventualità che le indagini programmate dovessero evidenziare spessori più elevati di quelli oggi indicati dai risultati delle indagini geofisiche eseguite in questa fase,

le opere di ingegneria naturalistica saranno accompagnate da opere di consolidamento tradizionali o si ricorrerà alla tecnologia TOC per il loro attraversamento.

- Per preservare il sito da fenomeni di erosione superficiale verranno adottati 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 alle irregolarità del terreno ed a ulteriori movimenti di assestamento del terreno dopo la messa in opera.
- Da un punto di vista idrogeologico, le aree interessate dagli aerogeneratori in progetto, non sono interessate da falde freatiche né in corrispondenza dell’affioramento prevalente di terreni impermeabili né in corrispondenza dell’affioramento prevalente di terreni permeabili in quanto, trovandosi in zone di “cresta”, le acque piovane che si infiltrano drenano velocemente verso valle. ***Ciò è confermato dalla assenza in zona di pozzi e di sorgenti.***
- In corrispondenza della cabina di consegna, è presente una falda freatica che interessa i terreni prevalentemente ghiaiosi della dell’Unità di Modena il cui livello si attesta alla profondità di circa 4 m dal p.c. che non sarà interferita dalle fondazioni che hanno profondità limitata ad un metro circa essendo fondazioni di tipo diretto.
- si evidenzia che l’impianto in fase di esercizio e cantiere non produce emissioni in suolo/sottosuolo/falda sostanze inquinanti di nessun tipo.
- Da un punto di vista idraulico le aree a pericolosità/rischio individuate dal P.A.I. e dal P.G.R.A. queste non interferiscono con gli aerogeneratori e la cabina di consegna in progetto.

- ai sensi del D.M. 17/01/2018, dai dati delle indagini sismiche eseguite i terreni presenti in corrispondenza degli aerogeneratori appartengono alla *Categoria B - “Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s”* mentre in corrispondenza della cabina 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;

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica – Progetto per la realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica nel comune di Monterenzio (BO), con opere di adeguamento della viabilità esistente nel comune di Casalfiumanese (BO).

- ✓ 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.

Il Geologo

Dr. Bellomo Gualtiero

