

Regione
Puglia



Provincia di
Bari



Committente:

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

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

Titolo del Progetto:

PARCO EOLICO "ALTAMURA"

Elaborato:

Relazione geologica

CODICE PRATICA

TAI4HV3

PROGETTO	DISCIPLINA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	SCALA
E_ALT	A	-	RE	06	-

NOME FILE:

E-ALT-A-RE-06_Relazione_geologica.pdf

Progettazione:



Dott. Geol. Gian Vito Graziano

Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	GIUGNO 2024	PRIMA EMISSIONE	IRIDE	GEMSA PRO	ALTA WIND

Indice

1	Premesse	3
2	Considerazioni geologiche	7
3	Considerazioni geomorfologiche ed idrogeologiche.....	10
4	Indagini di sismica passiva a stazione singola.....	23
5	Caratteristiche sismiche del territorio	49
6	Caratteristiche litologiche dei terreni interessati	57
7.	Campagna indagini geognostiche e geotecni-che da eseguire in fase di progettazione esecutiva.....	59
8.	Conclusioni	60

1 PREMESSE

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

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

6.12. FATTIBILITÀ DI OPERE SU GRANDI AREE

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

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

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

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

- determinare la costituzione geologica dell'area interessata dal progetto;
- studiarne le caratteristiche geomorfologiche con particolare riguardo alle condizioni di stabilità dei versanti;

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

Lo studio è stato, quindi, articolato come segue:

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

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

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

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

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

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

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

Per la caratterizzazione della serie stratigrafica locale, per l'individuazione delle profondità del livello piezometrico e per la definizione delle problematiche sismiche delle aree in studio, in questa prima fase di lavoro, sono state realizzate le indagini di sismica passiva HVSR per definire le velocità delle onde sismiche Vs nei primi 30 m di profondità dal p.c. in corrispondenza degli aerogeneratori e della sottostazione.

I risultati sono visibili negli allegati riportati nei capitoli successivi.

Il presente progetto prevede la realizzazione di:

Parco eolico costituito da n. 10 aerogeneratori;

Cavidotto di collegamento tra gli aerogeneratori e la cabina di consegna;

Sottostazione elettrica.

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

- n. 1 carta geologica e idrogeologica eseguita in scala 1/10.000 (fuori testo);
- n. 1 carta geomorfologica eseguita in scala 1/10.000 (fuori testo);
- n. 1 carta relativa alla "Pericolosità e rischio geomorfologico" redatte dal "Piano di assetto idrogeologico (P.A.I.)" eseguita in scala 1/10.000 (fuori testo);
- n. 1 carta relativa alla "Pericolosità per fenomeni alluvionali" redatte dal "P.G.R.A. (Piano Gestione Rischio Alluvioni) eseguita in scala 1/10.000 (fuori testo);
- n. 1 carta relativa al "Rischio per fenomeni alluvionali" redatte dal "P.G.R.A. (Piano Gestione Rischio Alluvioni) eseguita in scala 1/10.000 (fuori testo);
- n. 1 carta relativa al "Rete idrografica superficiale" eseguita in scala 1/10.000 (fuori testo);
- le colonne stratigrafiche tipo, inserite nel testo;
- elaborati relativi ai sondaggi di sismica passiva a stazione singola (tromografia) denominati T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10 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 dove le strade in cui sarà interrato sono limitrofe a fenomeni geodinamici.

2 CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE

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

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

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

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

DEPOSTI ALLUVIONALI TERRAZZATI (Pleistocene): si tratta prevalentemente di rocce sciolte costituite da ghiaie e sabbie con giacitura sub-orizzontale. Interessano alcuni tratti di cavidotto.

CONGLOMERATO DI IRSINIA (Villafranchiano): si tratta prevalentemente di rocce costituite da puddinghe poligeniche ferrugino-rossastre, generalmente cementate, con ciottoli di varia litologia, anche di rocce cristalline, ed intercalazioni sabbiose giallo-rossastre. Costituiscono i terreni di sedime degli aerogeneratori AL2 ed AL6 ed alcuni tratti di cavidotto.

CALCARENITI DI MONTE CASTIGLIONE (Calabriano): si tratta prevalentemente di sabbie e calcareniti tenere con sporadici livelli sabbiosi, con stratificazione orizzontale. Costituiscono i terreni di sedime degli aerogeneratori AL8 ed AL4 ed alcuni tratti di cavidotto. Verranno intercettati dalle fondazioni degli aerogeneratori AL2 e AL6 qualora queste saranno progettate su pali

SABBIE DI MONTE MARANO (Calabriano): si tratta prevalentemente di rocce sciolte costituite da sabbie calcareo-quarzose di colore giallastro, a volte con livelli arenacei, lenti conglomeratiche con livelli fossiliferi. Interessano alcuni tratti di cavidotto.

ARGILLE DI GRAVINA (Calabriano): si tratta prevalentemente di rocce costituite da argille ed argille marnose più o meno siltose, grigio azzurre, fossilifere. Costituiscono i terreni di sedime degli aerogeneratori AL1, AL3, AL5, AL7, AL9 ed AL10 ed alcuni tratti di

cavidotto. Verranno intercettati dalle fondazioni degli aerogeneratori AL2, AL4, AL6 e AL8 qualora queste saranno progettate su pali

CALCARI DI ALTAMURA (Senoniano): si tratta di calcari e calcari dolomitici a rudiste, stratificati, alternati a livelli marnoso-calcarei ad Ophihamididae ed ostracodi. Interessano alcuni tratti di cavidotto e la SSE.

In particolare:

- 1) Le aree interessate dagli aerogeneratori AL2 ed AL6 sono caratterizzate dall'affioramento dei Conglomerati di Irsinia costituiti da conglomerati e puddinghe poligeniche in matrice sabbiosa con intercalazioni di sabbie giallo-rossastre. Hanno uno spessore variabile tra circa 7 m e 9 m e poggiano sui terreni riferibili alle Calcareniti di Monte Castiglione costituito da sabbie e calcareniti tenere con sporadici livelli sabbiosi, con stratificazione orizzontale di spessore pari a 5-6 m. Detti terreni ricoprono il Complesso Argilloso che si presenta alterato per uno spessore pari a 5 m (vedi Colonna stratigrafica Tipo 1 allegata).
- 2) Le aree interessate dagli aerogeneratori AL4 ed AL8 sono caratterizzate dall'affioramento delle Calcareniti di Monte Castiglione costituito da sabbie e calcareniti tenere con sporadici livelli sabbiosi, con stratificazione orizzontale. Hanno uno spessore variabile tra 8 e 10 m e poggiano sui terreni riferibili al Complesso Argilloso che si presenta alterato per uno spessore pari a 5 m (vedi Colonna stratigrafica Tipo 2 allegata).
- 3) Le aree interessate dagli aerogeneratori AL1, AL3, AL5, AL7, AL9 ed AL10 sono caratterizzate dall'affioramento delle Argille di Gravina, si tratta di argille ed argille marnose più o meno siltose grigio-azzurre da scarsamente a mediamente consistenti, di colore marrone chiaro quando alterate (spessore di alterazione variabile tra 5-7 m) mentre la frazione inalterata di colore grigio-azzurro si presenta consistente (vedi colonna stratigrafica Tipo 3 allegata).
- 4) L'area interessata dalla sottostazione è caratterizzata dall'affioramento dei Calcari di Altamura che si presenta costituito da calcari grigio-biancastri, spesso fortemente dolomitizzati, stratificati e fratturati (vedi Colonna stratigrafica Tipo 4 allegata).

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 cabina 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 si presenta con habitus geomorfologico piuttosto irregolare, caratterizzato da aree sub-pianeggianti dove affiorano le sabbie, le calcareniti ed i depositi alluvionali alternate a rilievi dolci fortemente incisi da corsi d'acqua a carattere torrentizio dove prevalgono i litotipi argillosi.

Per quanto riguarda i processi fluviali, il reticolato idrografico risulta avere un pattern poco articolato dove affiorano le litologie permeabili e prevalentemente coerenti, molto articolato dove affiorano i litotipi argillosi.

Per quanto concerne le forme di dissesto legate ai movimenti franosi presenti nei versanti interessati dalle opere in progetto, tramite i rilievi di superficie, integrati dallo studio delle fotografie aeree del territorio e dalle indagini geofisiche eseguite per il presente studio, in generale si evince che *i versanti dove sono ubicati gli aerogeneratori, la sottostazione ed i cavidotti interni ed esterni non sono interessati da fenomeni di instabilità.*

Ciò è confermato dal Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) e dall'I.F.F.I. (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) che esclude le aree interessate dalle opere in progetto da qualunque fenomenologia di dissesto e di rischio geomorfologico.

Si mette in evidenza che il P.A.I. indica n. 1 area con "Rischio R1 – Moderato" limitrofa all'aerogeneratore AL01 e che parzialmente interessano un tratto del tracciato del cavidotto tra l'AL01 e l'A05.

Dai rilievi eseguiti dal sottoscritto si sono osservati limitati movimenti lenti del terreno dello spessore superficiale pari a circa 1-3 m in ampliamento alle aree PAI che non interessano gli aerogeneratori ma si avvicinano all'aerogeneratore AL8.

Un movimento lento del versante si trova in prossimità della strada dove è prevista la realizzazione del cavidotto ma questo movimento non interessa la strada come visibile nelle foto seguenti.









A vantaggio della sicurezza, per preservare le piazzole degli aerogeneratori AL1 ed AL8 ed i tratti di viabilità interessati dai fenomeni gravitativi superficiali legati soprattutto alle acque meteoriche che si infiltrano nella coltre alterata superficiale dei terreni, verranno adottate tecniche di ingegneria naturalistica utili alla stabilizzazione della porzione più superficiale di suolo che oltre ad essere molto efficaci in simili situazioni geomorfologiche, hanno il vantaggio di essere molto elastiche e in grado di adattarsi all'habitus geomorfologico caratteristico del territorio in cui si opera, alle irregolarità del terreno ed a ulteriori movimenti di assestamento del terreno dopo la messa in opera.

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

Nel caso della strada le opere saranno realizzate di concerto con l'Ente Gestore dell'infrastruttura,

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.

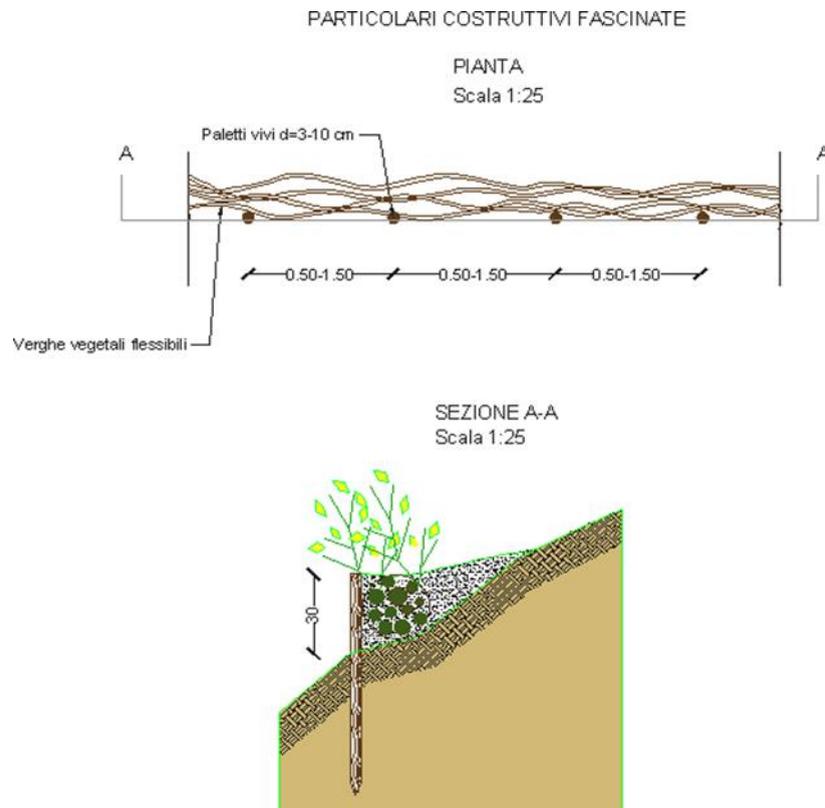
Le file di gradoni con le fascine di ramaglia sono eseguite orizzontalmente, secondo le curve di livello o con una leggera inclinazione obliqua rispetto al pendio per aumentare la capacità di deflusso delle acque superficiali e l'efficacia drenante del sistema.

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 vimate.

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

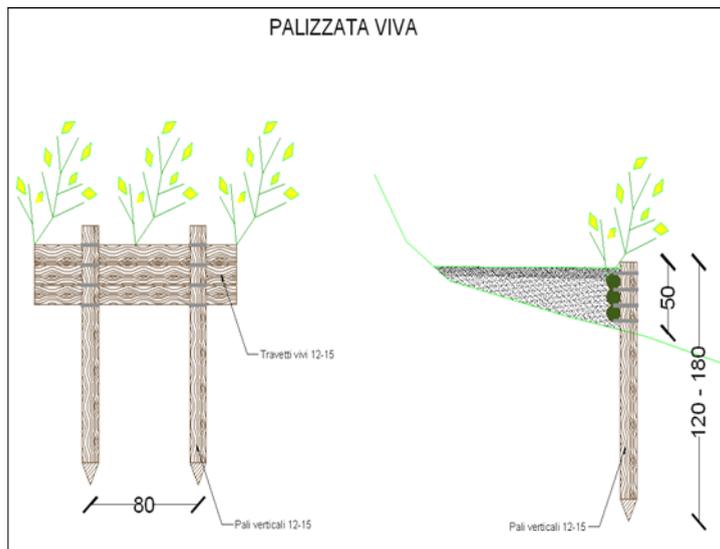
Il solco, dopo la messa a dimora delle fascine e delle piantine, è riempito con il terreno, eventualmente ammendato, proveniente dagli scavi. Le fascinate, come tutti gli altri interventi che impiegano materiali vivi, devono essere realizzate solo durante il periodo di riposo vegetativo.



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

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

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

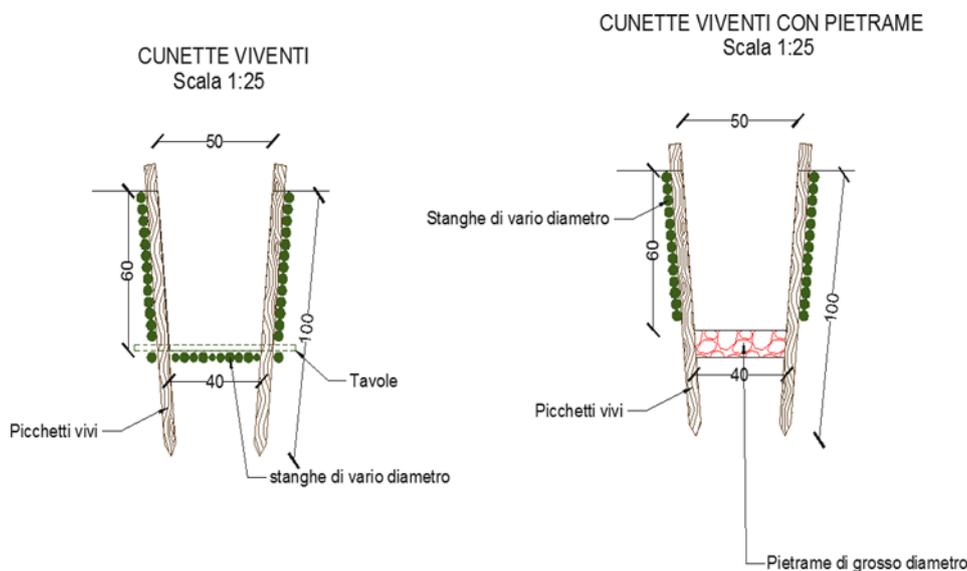


Cunetta vivente: *Le cunette sono di norma pensate in terra. E' però importante sottolineare che nei tratti di maggiore pendenza l'acqua può destabilizzare la cunetta e con essa la strada. Pertanto si suggerisce l'adozione di cosiddette cunette viventi, maggiormente resistenti all'azione erosiva dell'acqua.*

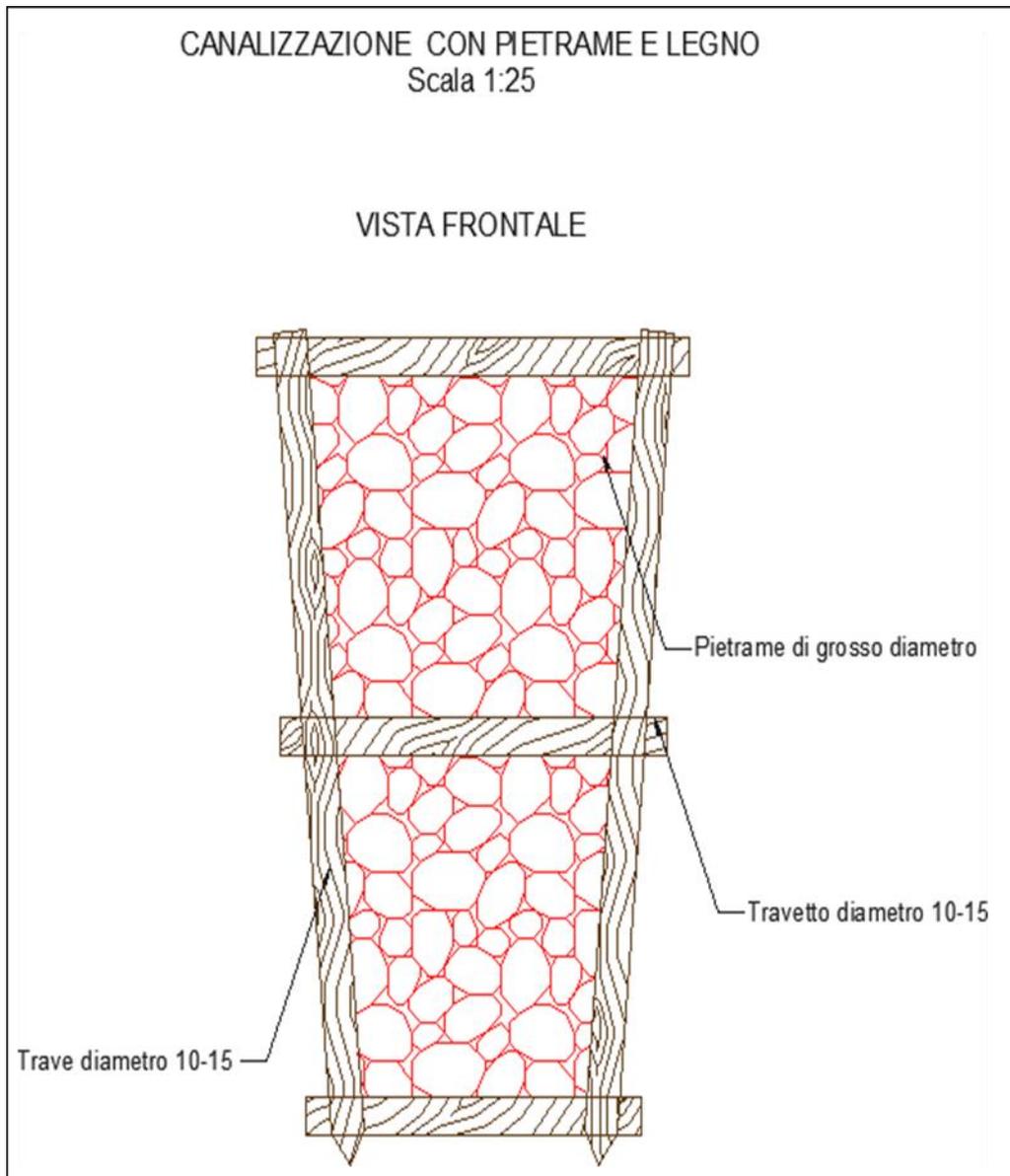
Sarà la fase cantieristica ed anche osservazionale ad indicare i tratti ove è opportuno realizzare le cunette "vive" al posto delle cunette in terra.

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.*



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 della granulometria 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 ai Depositi alluvionali recenti,

ai Depositi alluvionali terrazzati, ai Conglomerati di Irsinia, alle Calcareniti di M. Castiglione ed alle Sabbie di Monte Marano.

Rocce impermeabili: Questo complesso è costituito dalle argille che presentano fessure o pori di piccole dimensioni in cui l'infiltrazione si esplica tanto lentamente da essere considerate praticamente impermeabili. Appartengono a questa categoria i litotipi afferenti alle Argille di Gravina.

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 ai Calcari di Altamura.

Nello specifico, le aree interessate dalla realizzazione degli aerogeneratori dove affiorano i litotipi argillosi AL01, AL03, AL05, AL07, AL09 e AL10, non sono interessate da una vera e propria falda freatica ma solo livelli idrici a carattere stagionale si possono formare nella coltre superficiale alterata.

Mentre dove osserviamo l'affioramento di terreni permeabili poggianti su un substrato impermeabile è presente una falda freatica superficiale il cui livello freatico si trova alla profondità pari a circa 4-5 m dal p.c. come si evince dai numerosi pozzi di piccolo e grande diametro scavati a mano presenti in zona utilizzati esclusivamente a scopi agricoli.







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 idraulico.

Durante i sopralluoghi in campo non sono state individuate sorgenti nell'intorno di 300 m dagli aerogeneratori né lungo il cavidotto.

L'unica sorgente presente, la cui ubicazione è visibile nelle arte allegate, si trova a distanza superiore a 200 m dal cavidotto che non potrà mai interferire con lo stesso in

quanto sarà realizzato interamente all'interno del rilevato stradale di altezza superiore a 4 m dal p.c. lungo la strada SS99.



4 INDAGINI DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA

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

In particolare sono state eseguite n. 11 misure di microtremore ambientale, con un tromografo digitale progettato specificatamente per l'acquisizione del rumore sismico.

Di seguito vengono riportati alcuni cenni riguardo la metodologia utilizzata.

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

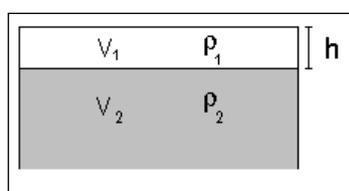
I primi studi su questa tecnica sono da attribuire a Kanai (1957) e da allora diversi metodi sono stati proposti per estrarre utili informazioni sul sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in sito.

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

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

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

Considerando lo schema illustrato nella figura sotto riportata si osserva che sono presenti due strati (1 e 2) che si differenziano per le densità (ρ_1 e ρ_2) e le velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2).



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

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

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

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

$$f_r = VP_1/(4 H) \quad [1]$$

mentre quella relativa alle onde S è

$$f_r = VS_1/(4 H). \quad [2]$$

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.);

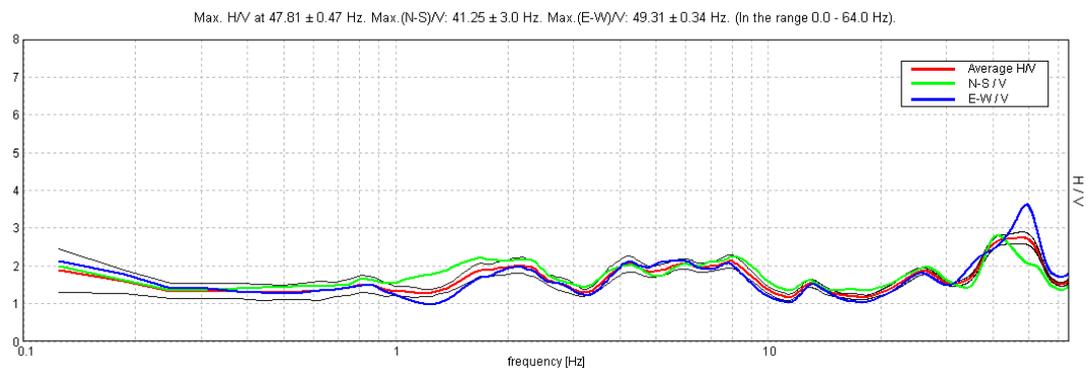
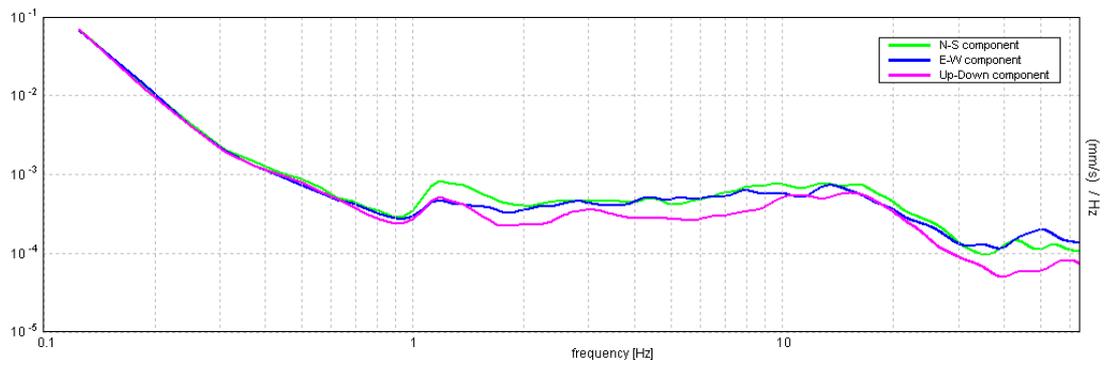
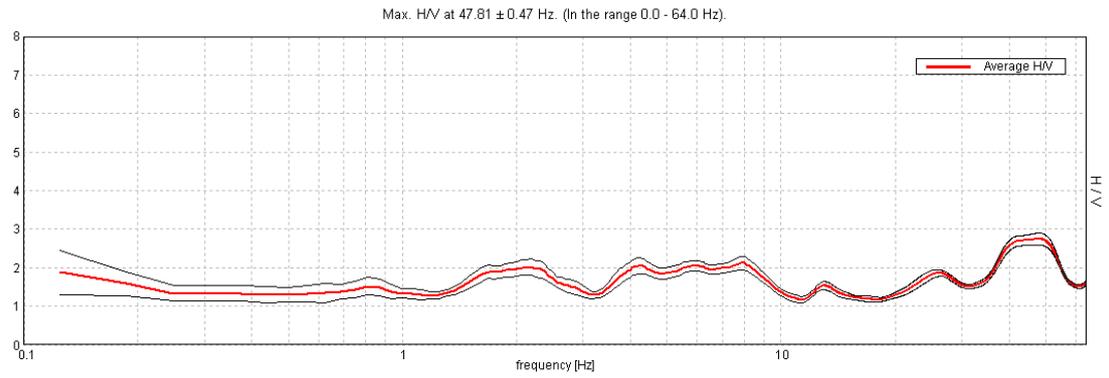
ν la frequenza fondamentale di risonanza.

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

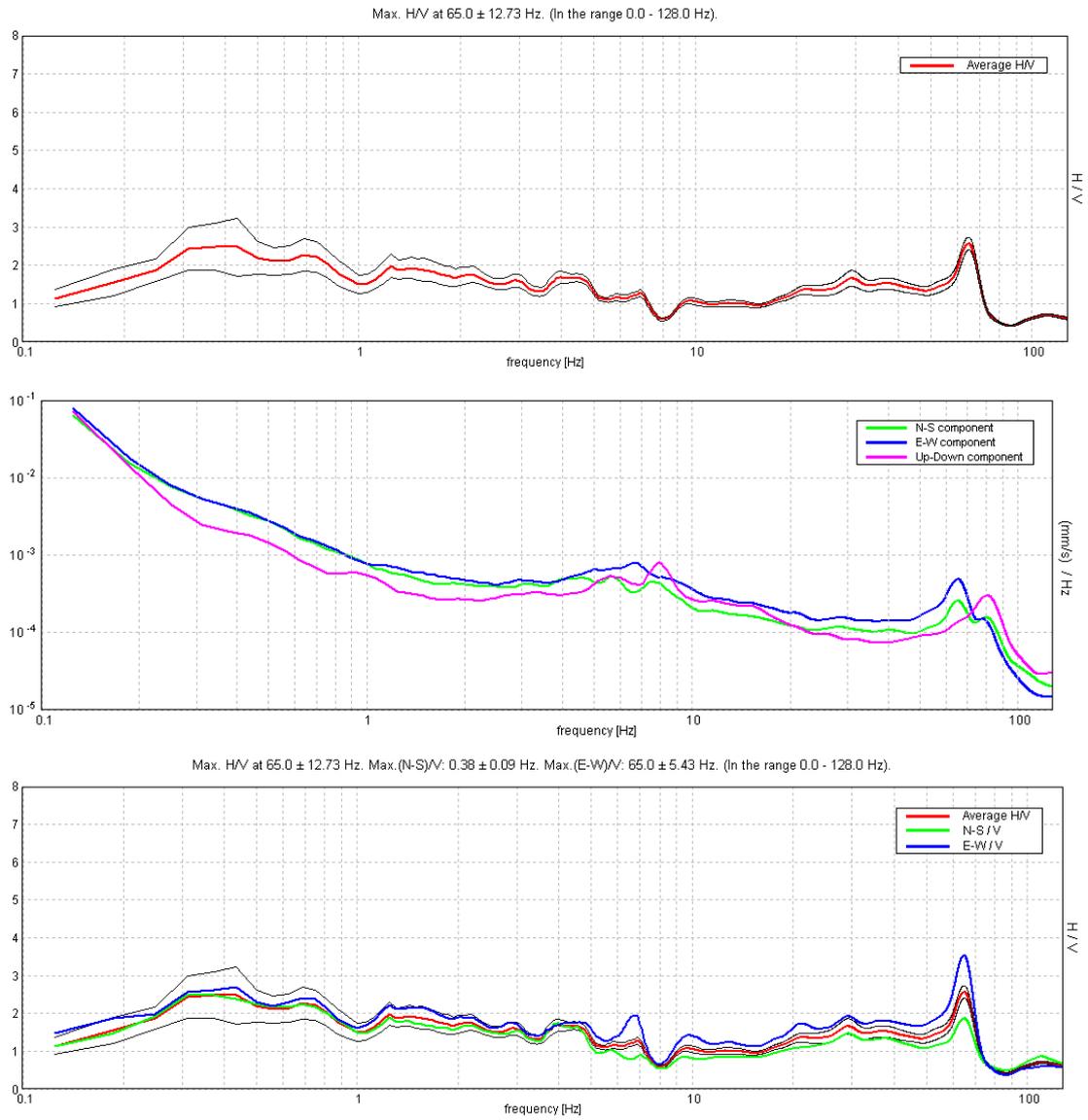
Le ubicazioni dei sondaggi che sono stati eseguiti sono visibili nelle planimetrie allegate mentre di seguito sono riportate, in dettaglio, le interpretazioni dei dati sperimentali ottenuti.

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

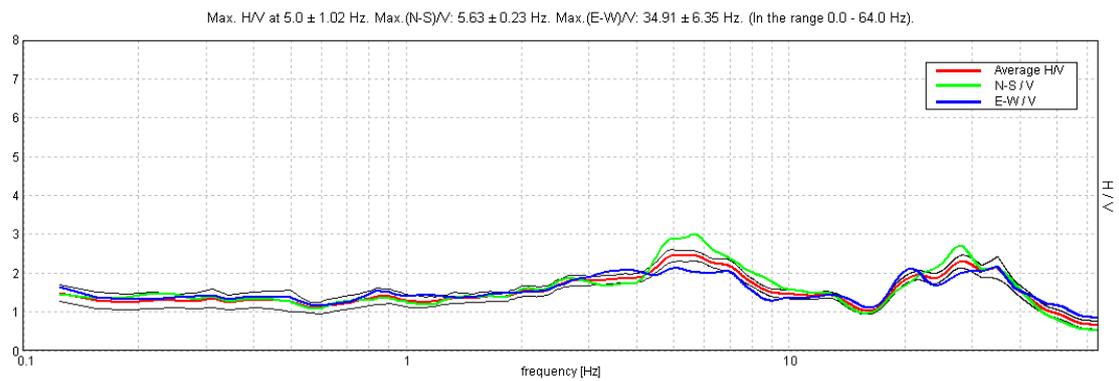
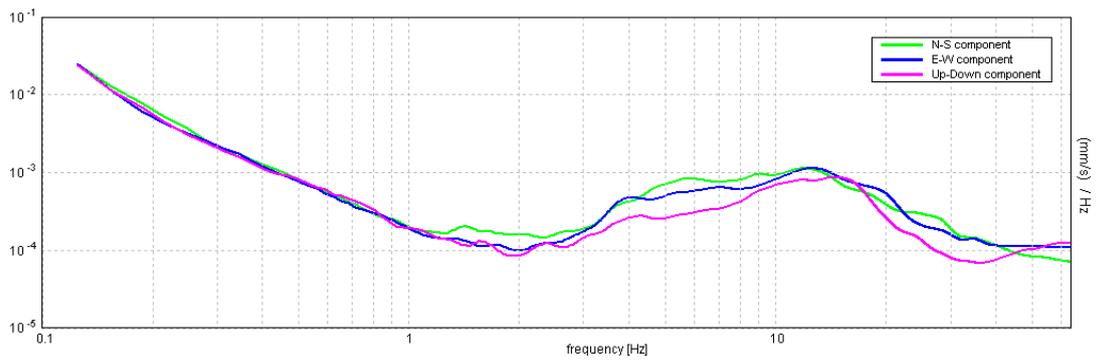
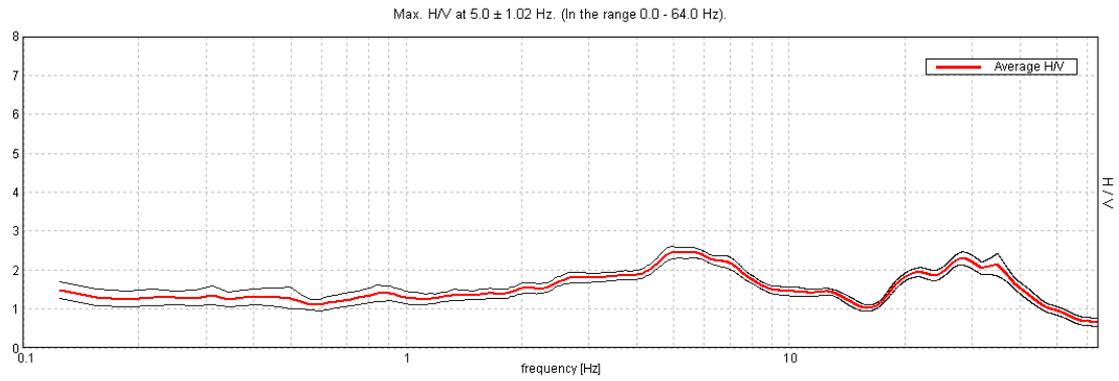
Sondaggio tomografico T1



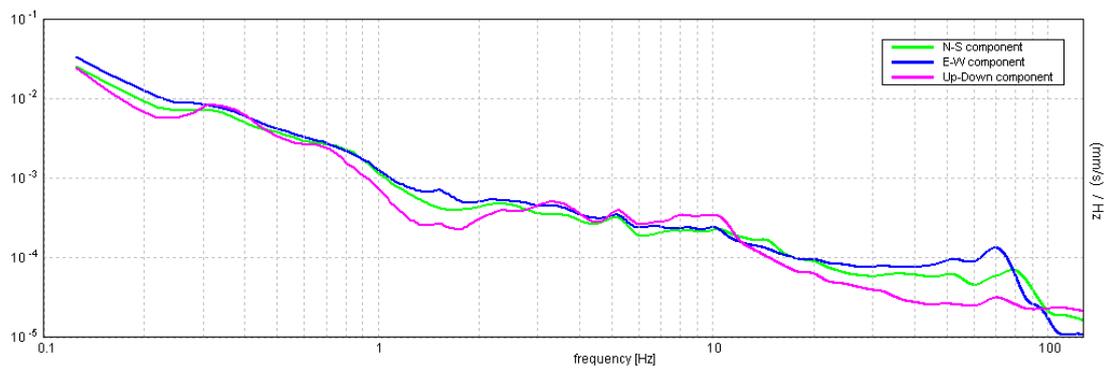
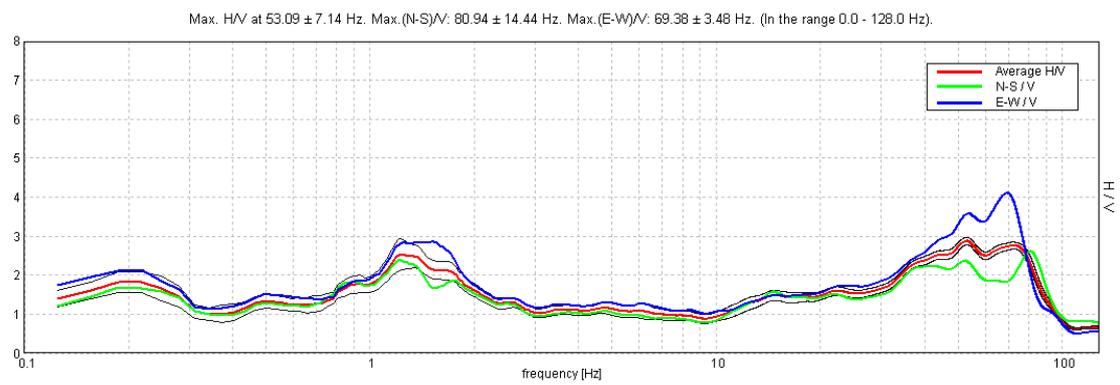
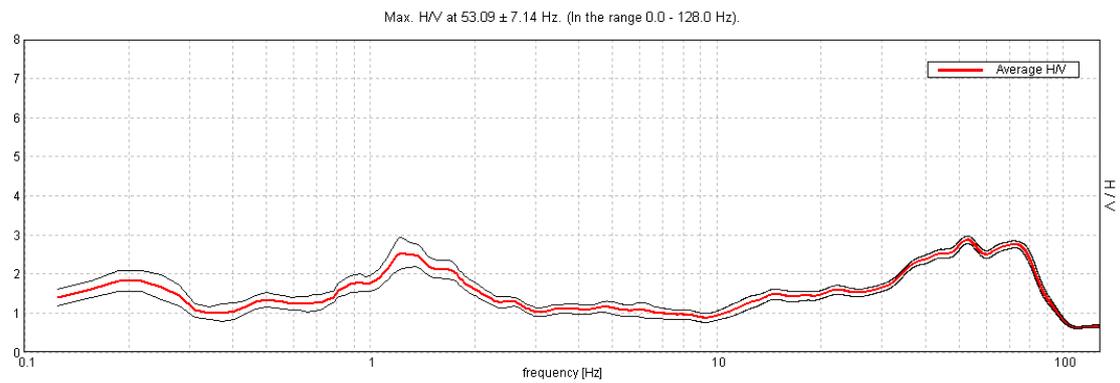
Sondaggio tromografico T2



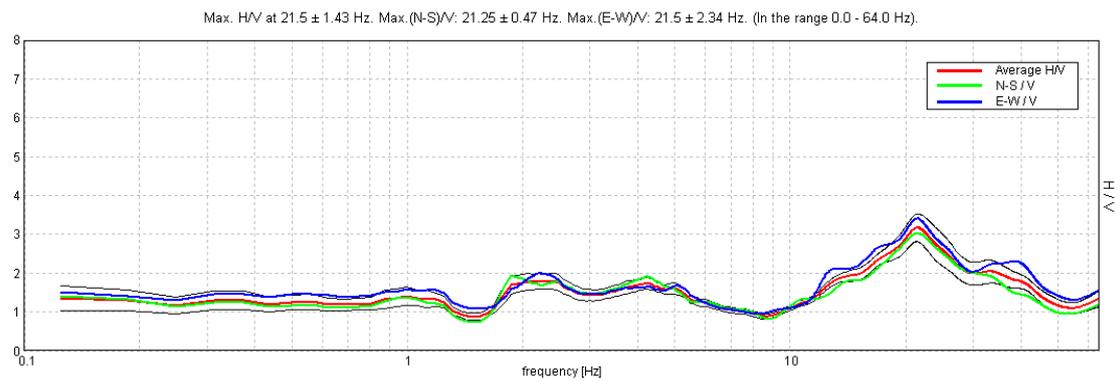
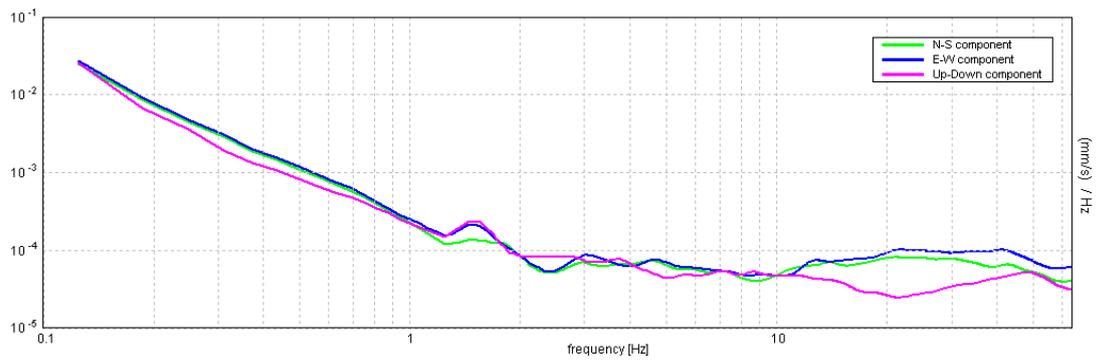
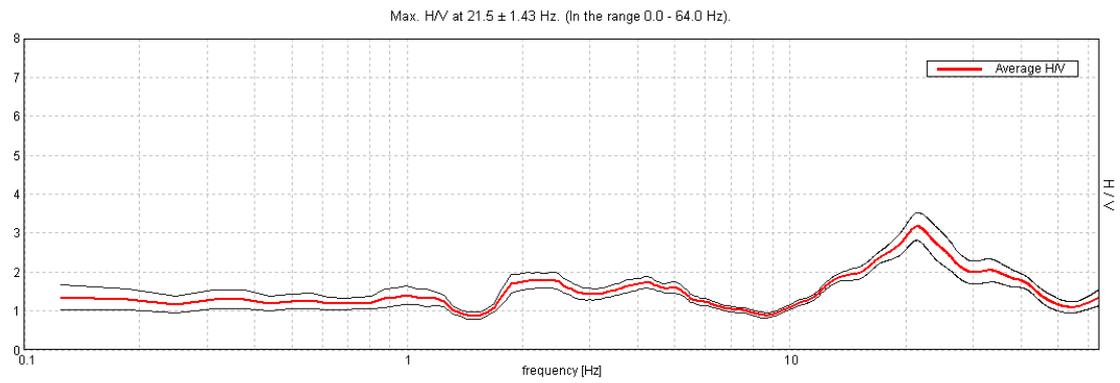
Sondaggio tromografico T3



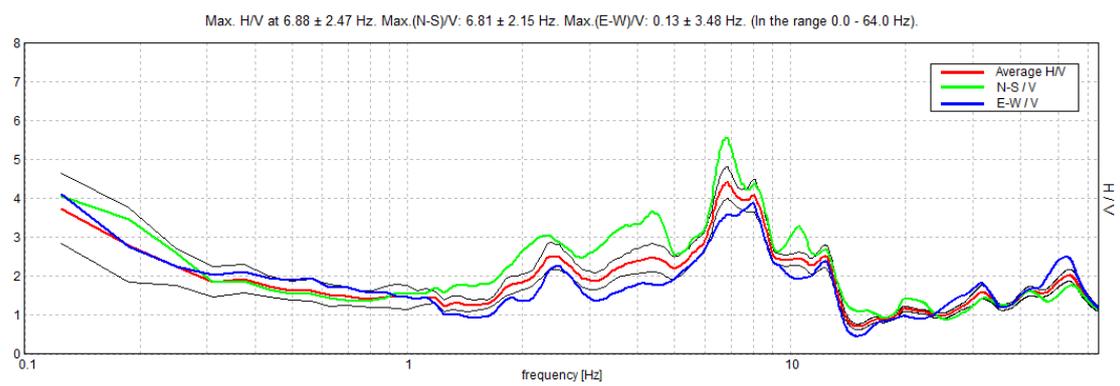
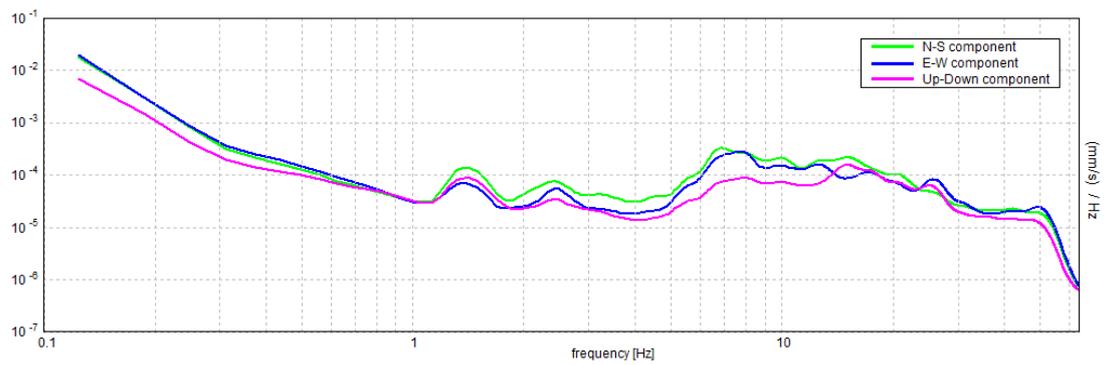
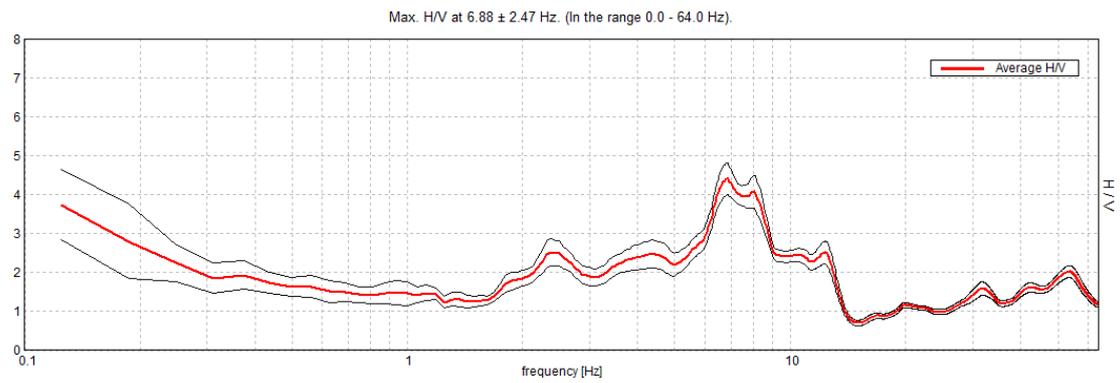
Sondaggio tromografico T4



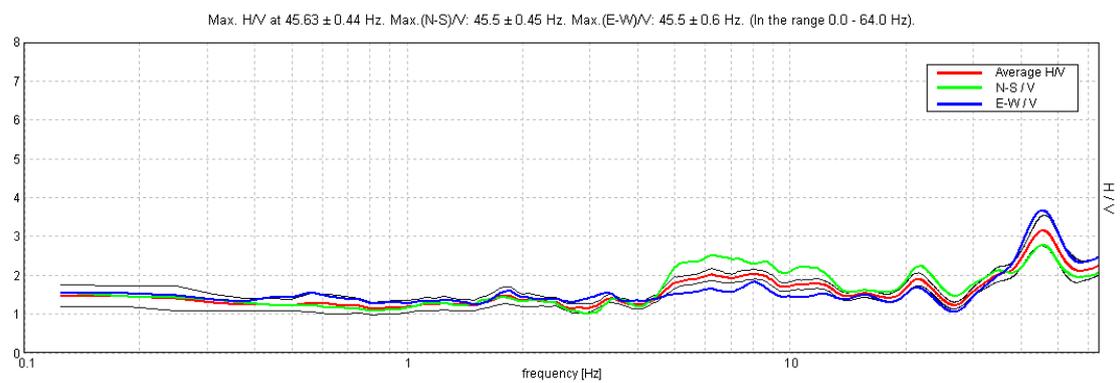
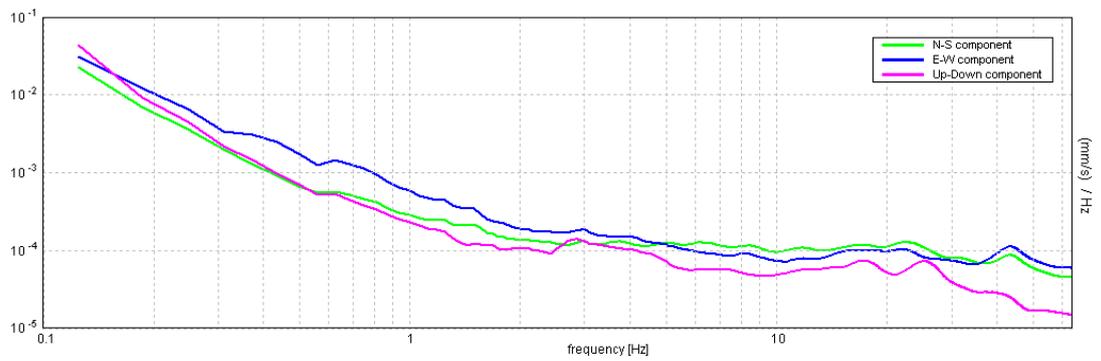
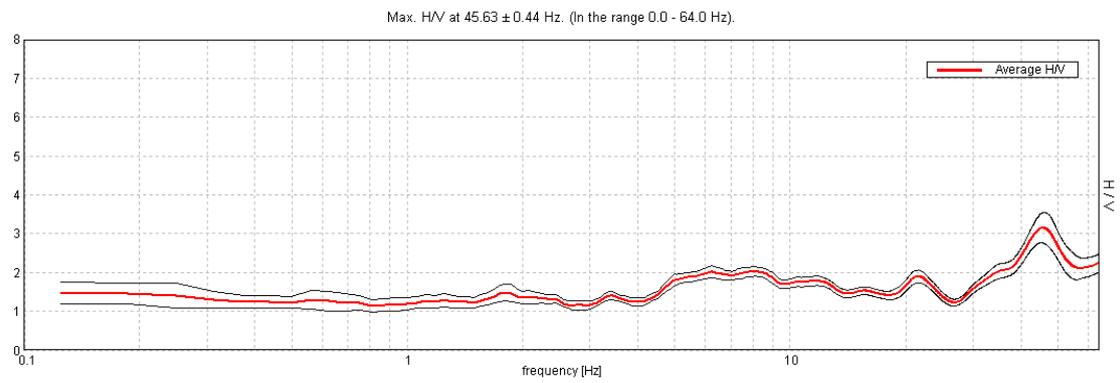
Sondaggio tromografico T5



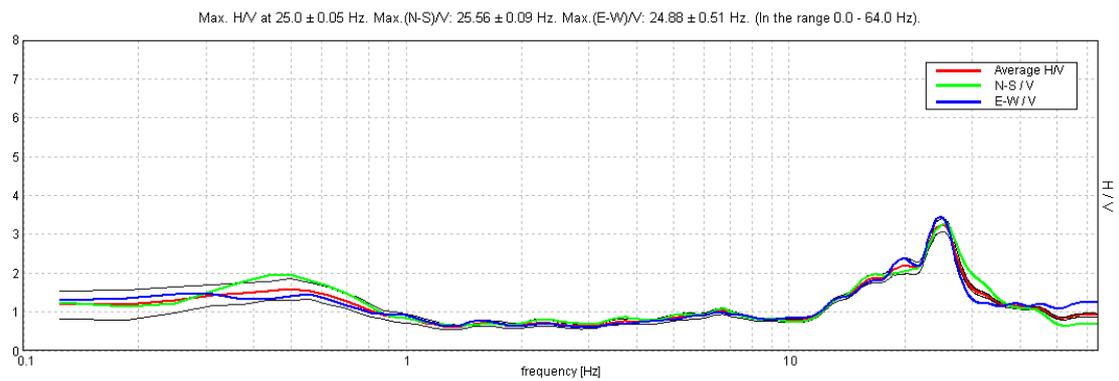
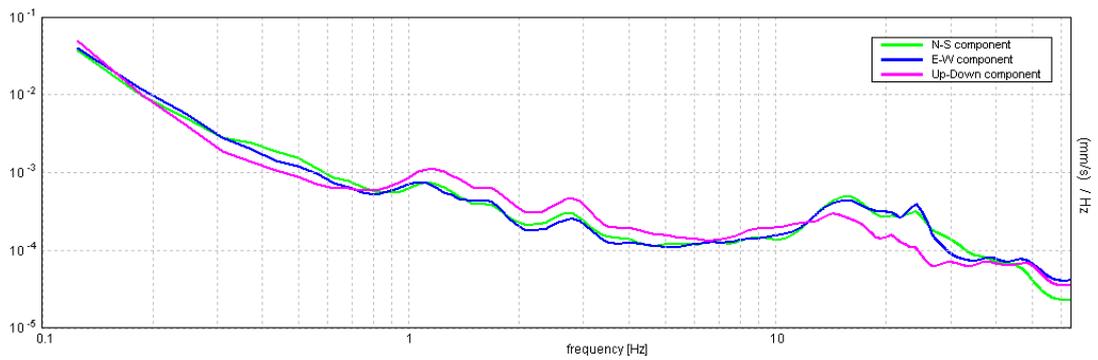
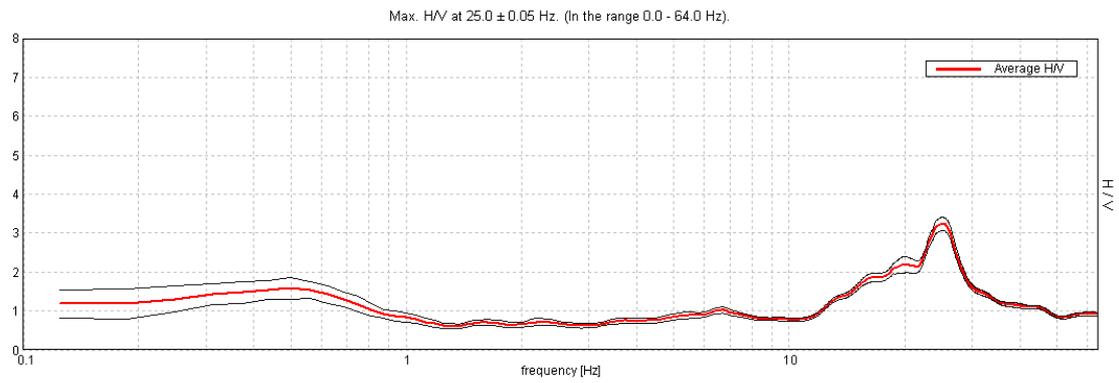
Sondaggio tromografico T6



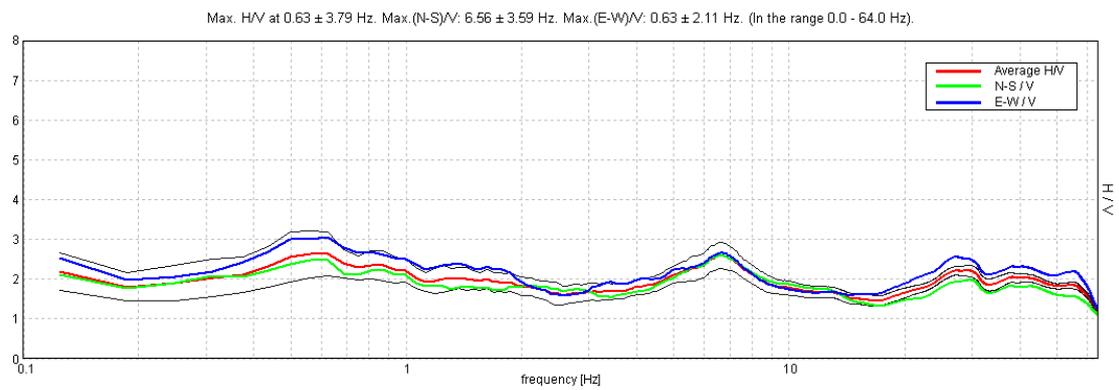
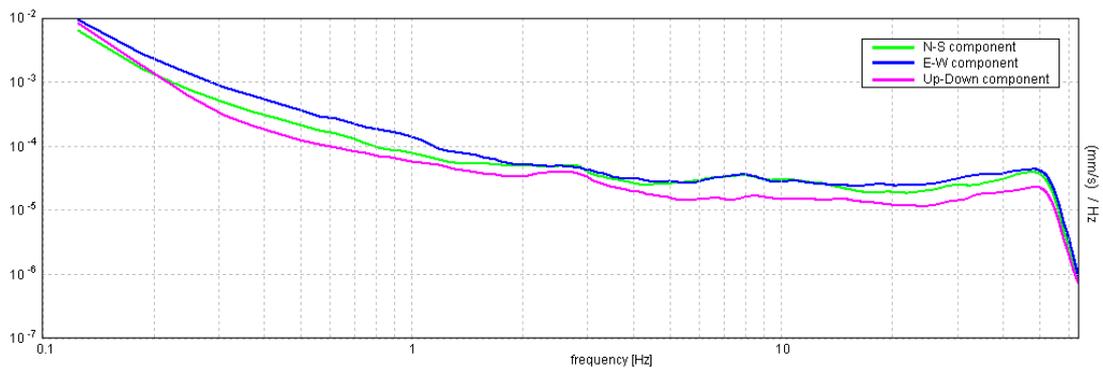
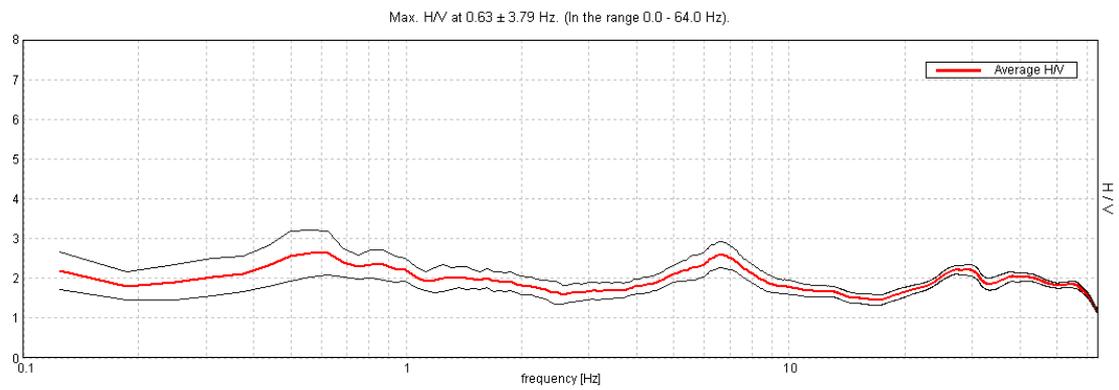
Sondaggio tromografico T7



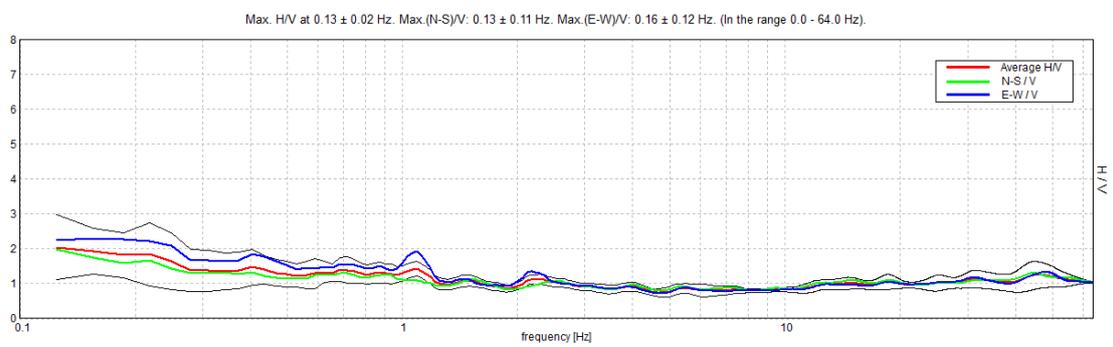
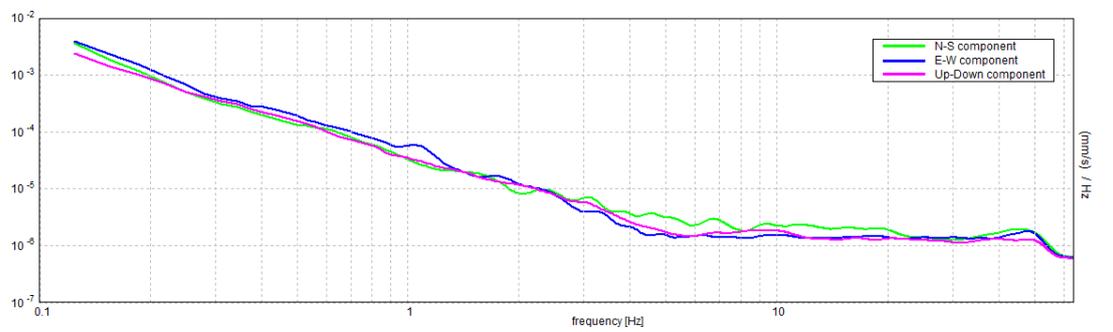
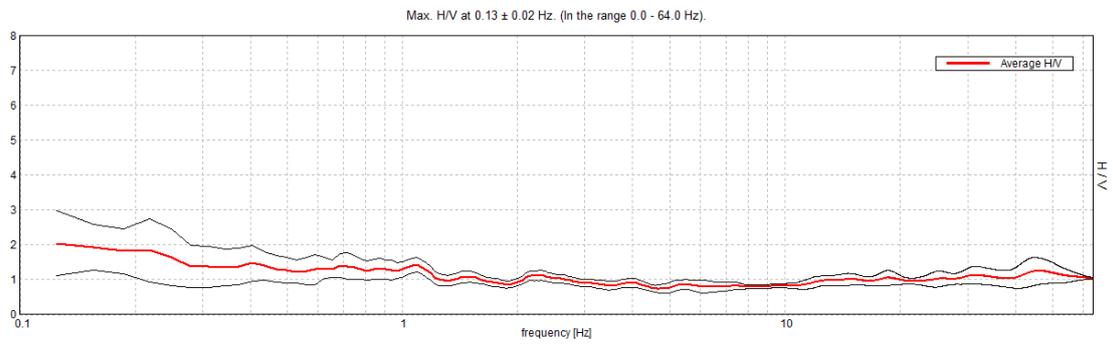
Sondaggio tromografico T9



Sondaggio tromografico T10



Sondaggio tromografico Tsott



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

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

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

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

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

e

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

da cui si ricava

$$V = 4 f_r h$$

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

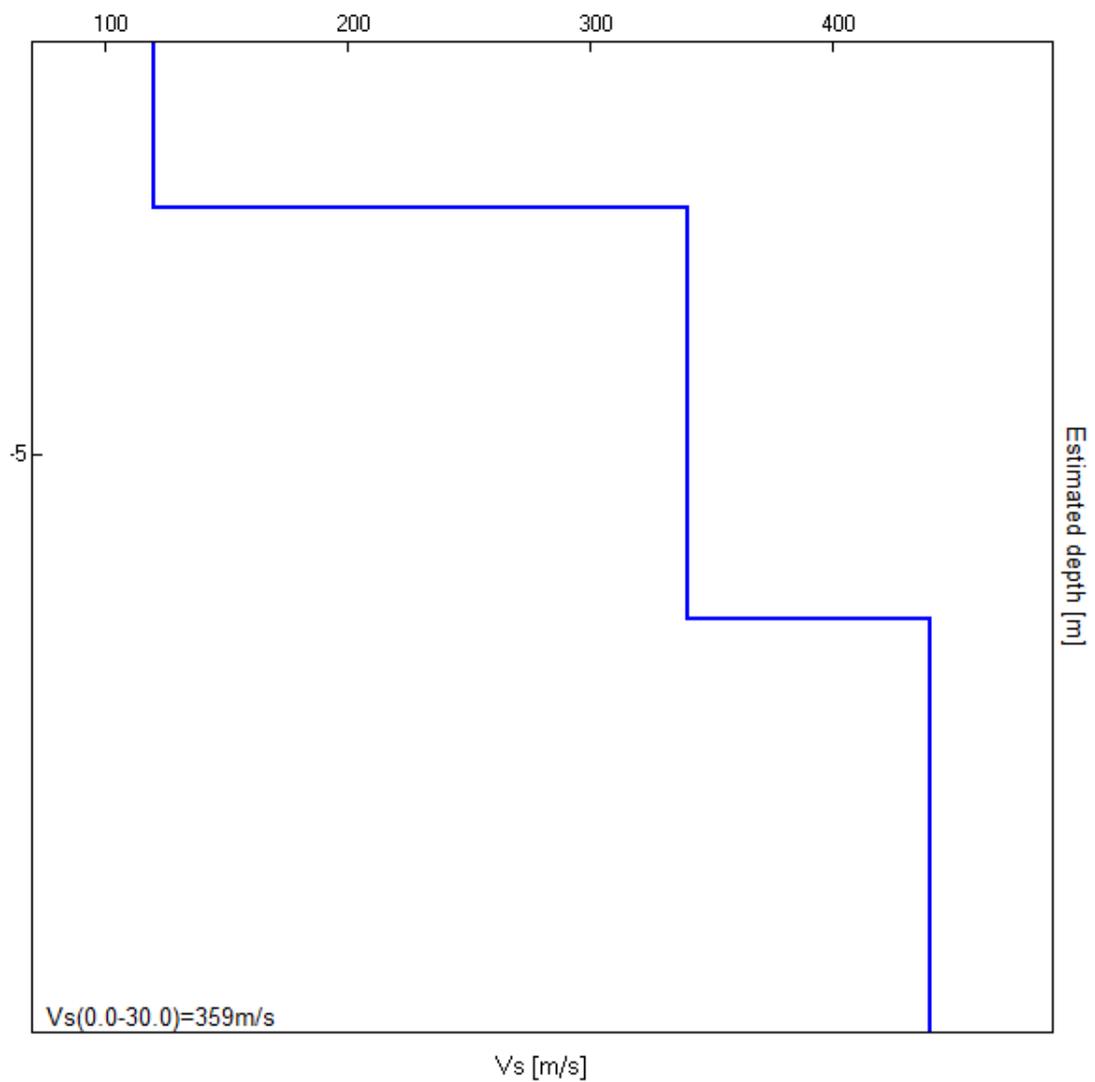
Sondaggio tromografico T1

Profondit� (m)	Vs (m/s)	<i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</i>	
0.00 – 2.00	120	C	C (Vs,eq=301 m/s)
2.00 – 5.00	260	C	
5.00 – 30.00	360	C	

Vs [m/s]

Sondaggio tromografico T2

Profondit� (m)	Vs (m/s)	<i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</i>	
0.00-2.00	120	D	C (Vs,eq =359 m/s)
2.00-7.00	340	C	
7.00-30.00	440	B	



Sondaggio tomografico T3

Profondità (m)	Vs (m/s)	<i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</i>	
0.00 - 1.00	110	D	C (Vs,eq=353 m/s)
1.00 - 6.00	350	C	
6.00 - 30.00	390	B	

Vs [m/s]

Sondaggio tromografico T4

Profondit� (m)	Vs (m/s)	<i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</i>	
0.00 – 5.00	180	C	C (Vs,eq=342 m/s)
5.00 – 10.00	250	C	
10.00 – 30.00	500	B	

Vs [m/s]

Sondaggio tomografico T5

Profondit� (m)	Vs (m/s)	<i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</i>	
0.00 – 6.00	180	C	C (Vs,eq=268 m/s)
6.00 -10.00	250	C	
10.00 – 30.00	320	C	

Vs [m/s]

Sondaggio tromografico T6

Profondit� (m)	Vs (m/s)	<i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</i>	
0.00 – 2.00	140	C	C (Vs,eq=308 m/s)
2.00 – 7.00	220	C	
7.00 – 30.00	380	B	

Vs [m/s]

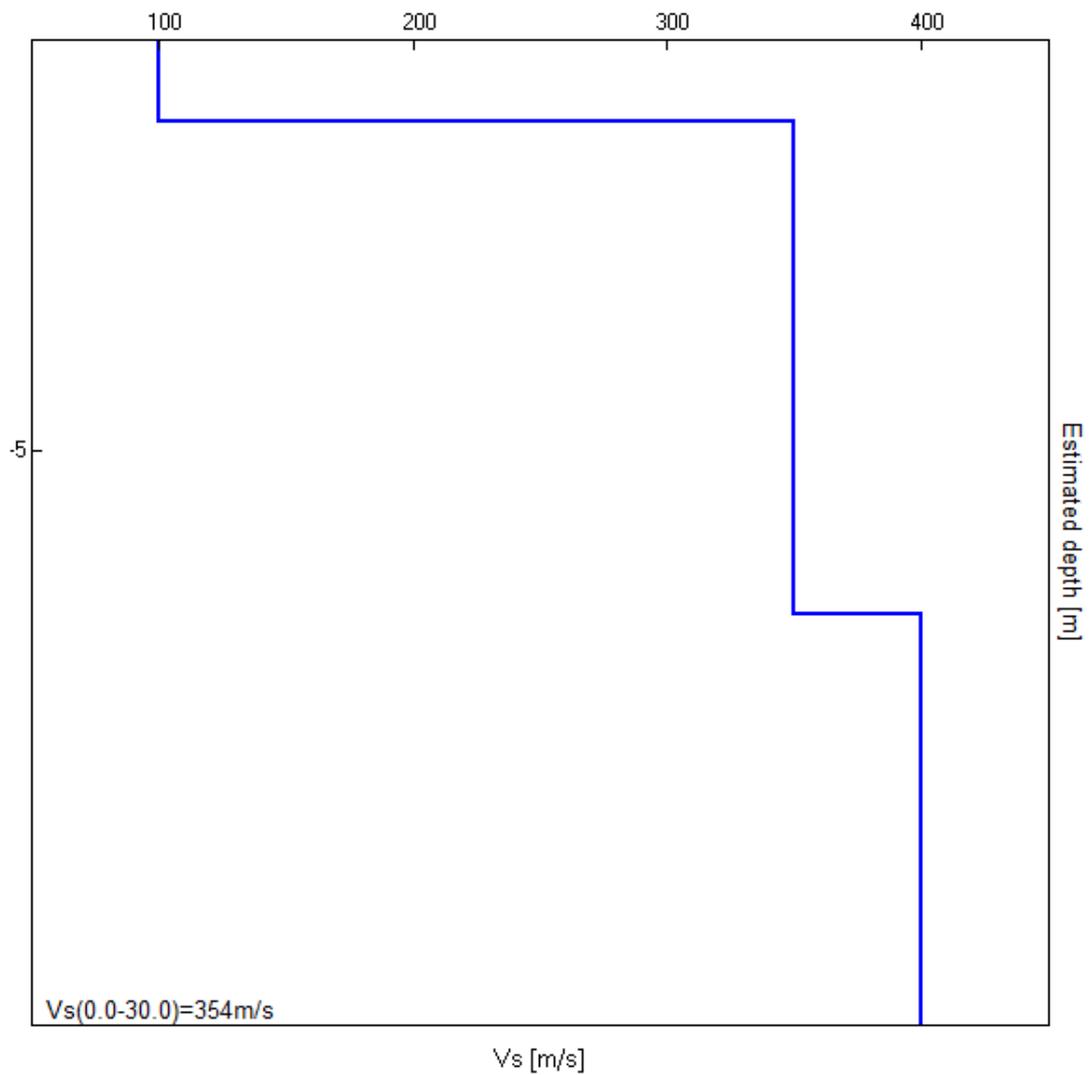
Sondaggio tomografico T7

<i>Profondit� (m)</i>	<i>Vs (m/s)</i>	<i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</i>	
0.00 – 6.00	240	C	C (Vs,eq = 340 m/s)
6.00 – 10.00	430	B	
10.00 – 30.00	370	B	

Vs [m/s]

Sondaggio tromografico T8

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 14/01/2008	
0.00-1.00	100	D	C (Vs,eq =354 m/s)
1.00-7.00	350	C	
7.00-30.00	400	B	



Sondaggio tomografico T9

<i>Profondit� (m)</i>	<i>Vs (m/s)</i>	<i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</i>	
0.00-1.00	120	D	C (Vs,eq=357 m/s)
1.00 - 7.00	330	B	
17.00 - 22.00	390	C	
33.00 - 30.00	420	B	

Vs [m/s]

Sondaggio tomografico T10

Profondit� (m)	Vs (m/s)	<i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</i>	
0.00 – 2.00	130	C	C (Vs,eq=293 m/s)
2.00 – 7.00	200	C	
6.00 – 30.00	370	B	

Vs [m/s]

Sondaggio tomografico Tsott

Profondità (m)	Vs (m/s)	<i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</i>	
0.00-1.00	200	C	B (Vs,eq =703 m/s)
1.00-11.00	750	B	
11.00-30.00	780	B	

Vs [m/s]

5 CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO

Ai fini sismici il territorio interessato è incluso nell'elenco delle località sismiche con un livello di pericolosità 3.

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

In questo quadro trova conferma la classificazione sismica dell'area e la necessità di studiare le eventuali modificazioni che dovessero subire le sollecitazioni sismiche ad opera dei fattori morfologici, strutturali e litologici.

Tali studi, eseguiti anche in Italia nelle zone dell'Irpinia, del Friuli, dell'Umbria e più recentemente di Palermo e del Molise, hanno evidenziato notevoli differenze di effetti da zona a zona nell'ambito di brevi distanze, associate a differenti morfologie dei siti o a differenti situazioni geologiche e geotecniche dei terreni.

In tal senso sembra opportuno soffermarsi su alcuni aspetti di carattere generale riguardanti la tematica in oggetto, utili all'inquadramento del "problema sismico".

La propagazione delle onde sismiche verso la superficie è influenzata dalla deformabilità dei terreni attraversati. Per tale ragione gli accelerogrammi registrati sui terreni di superficie possono differire notevolmente da quelli registrati al tetto della formazione di base, convenzionalmente definita come substrato nel quale le onde di taglio, che rappresentano la principale causa di trasmissione degli effetti delle azioni sismiche verso la superficie, si propagano con velocità maggiori o uguali a 1.000 m/sec.

Si può osservare in generale che nel caso in cui la "formazione di base" sia ricoperta da materiali poco deformabili e approssimativamente omogenei gli accelerogrammi che si registrano al tetto della formazione di base non differiscono notevolmente da quelli registrati in superficie: inoltre in tale caso lo spessore dei terreni superficiali non influenza significativamente la risposta dinamica locale.

Nel caso in cui la formazione di base è ricoperta da materiali deformabili, gli accelerogrammi registrati sulla formazione ed in superficie possono differire notevolmente, in particolare le caratteristiche delle onde sismiche vengono modificate in misura maggiore all'aumentare della deformabilità dei terreni.

La trasmissione di energia dal bedrock verso la superficie subisce trasformazioni tanto più accentuate quanto più deformabili sono i terreni attraversati; all'aumentare della deformabilità alle alte frequenze di propagazione corrispondono livelli di energia più bassi e viceversa a frequenze più basse corrispondono livelli di energia più alti.

Il valore del periodo corrispondente alla massima accelerazione cresce quanto la rigidità dei terreni diminuisce; nel caso di rocce sciolte tale valore aumenta anche all'aumentare della potenza dello strato di terreno.

Di particolare importanza è, inoltre, lo studio dei contatti stratigrafici in affioramento soprattutto tra terreni a risposta sismica differenziata.

Ai sensi del D.M. 17/01/2018, dai dati delle indagini sismiche eseguite i terreni presenti in corrispondenza degli aerogeneratori 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*" mentre in corrispondenza della sottostazione 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*".

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

6. LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

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

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

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

Ricordando la relazione di un terreno incoerente saturo:

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

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

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

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

La presenza dell'acqua pone le sabbie, sottoposte a rapide alternanze di carico, in situazione analoga a quella delle argille sature sottoposte rapidamente a carichi statici; infatti la velocità con la quale si producono le variazioni di volume è talmente elevata che, nonostante la forte permeabilità dello scheletro granulare della sabbia, l'acqua non riesce a sfuggire mentre avviene la riduzione di volume del tessuto e, quindi, le pressioni interstiziali annullano la resistenza di attrito.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Metodo di Seed e Idriss (1982);

Metodo di Iwasaki et al. (1978; 1984);

Metodo di Tokimatsu e Yoshimi (1983);

Metodo di Finn (1985);

Metodo di Cortè (1985);

Metodo di Robertson e Wride modificato (1997);

Metodo di Andrus e Stokoe (1998);

Metodi basati sull'Eurocodice 8 (ENV 1998-5);

Metodo basato sull'NTC 2008.

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

contenuto in argilla superiore al 20%, con indice di plasticità > 10 ;

contenuto di limo superiore al 10% e resistenza $N_{1,60} > 20$;

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

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

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

semplificata:

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

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   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:

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

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

$$C_N = \left(\frac{100}{\sigma'_v} \right)^{C_E} N_m$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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:

$$\frac{q_{c1N}}{(N_{1,60})_{cs}} = 3$$

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:

$$v_{s1} = v_s \left(\frac{\sigma'_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,25}$$

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

$$R_{L1} = \left(\frac{v_s}{100} \right)^2 \left[\frac{1}{(v_{s1})_{cs}} - \frac{1}{v_{s1}} \right]$$

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):

$$P_L = \frac{1}{1 + \left(\frac{0,72}{\sigma'_v}\right)^2}$$

Nello specifico del nostro lavoro e dai dati in nostro possesso, si evince che in corrispondenza degli aerogeneratori in progetto sono presenti terreni ghiaiosi, conglomeratici, calcarenitici afferenti al Conglomerato di Irsinia e alle Calcareniti di Monte Castiglione che poggiano sul Complesso argilloso delle Argille di Gravina, mentre in corrispondenza della sottostazione sono presenti i Calcari di Altamura.

Detti terreni, vista la granulometria non consentono la formazione di fenomeni di liquefazione.

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

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

Si ritiene, comunque, indispensabile che in fase di progettazione esecutiva e di calcolo delle strutture in c.a. si eseguano le indagini di verifica delle su esposte ipotesi geologiche descritte nel capitolo "Campagna indagini geognostiche e geotecniche da eseguire in fase di progettazione esecutiva".

6 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) Conglomerati di Irsinia; b) Calcareniti di Monte Castiglione; c) Argille di Gravina; d) Calcari di Altamura.

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.

Conglomerato di Irsinia: si tratta conglomerati e puddinghe poligeniche in matrice sabbiosa con intercalazioni di sabbie giallo-rossastre. 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: $\varphi' = 30^\circ$; $c' = 00,0 \text{ kN/m}^2$; $\gamma = 1,9 \text{ kN/m}^3$.

Calcareniti di Monte Castiglione: si tratta di sabbie e calcareniti tenere con sporadici livelli sabbiosi, con stratificazione orizzontale. Per la caratterizzazione fisico-meccanica di tale complesso, il progettista può fare riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, all'esperienza maturata su questi terreni e alle sperimentazioni scientifiche: $\varphi' = 33^\circ$; $c' = 15,0 \text{ kN/m}^2$; $\gamma = 2,0 \text{ kN/m}^3$.

Argille di Gravina: si tratta di argille ed argille marnose più o meno siltose grigio-azzurre da scarsamente a mediamente consistenti, di colore marrone chiaro quando alterate (spessore di alterazione variabile tra 5-7 m) mentre la frazione inalterata di colore grigio-azzurro si presenta consistente. Per la caratterizzazione fisico-meccanica di tale complesso, il progettista può fare riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, all'esperienza maturata su questi terreni e alle sperimentazioni scientifiche:

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

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

Calcari di Altamura: Si tratta di calcari grigio-biancastri, spesso fortemente dolomitizzati, stratificati e fratturati. Per la caratterizzazione fisico-meccanica di tale complesso, il progettista può fare riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, all'esperienza maturata su questi terreni e alle sperimentazioni scientifiche:

$\varphi' = 45^\circ$, $c' = 5 \text{ t/mq}$, $\gamma = 2,5 \text{ t/mc}$

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

Fermo restando che il piano di indagini sotto indicato sar  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 profondit  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 profondit  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 AL2 ed AL6 sono caratterizzate dall'affioramento dei Conglomerati di Irsinia costituiti da conglomerati e puddinghe poligeniche in matrice sabbiosa con intercalazioni di sabbie giallo-rossastre. Hanno uno spessore variabile tra circa 7 m e 9 m e poggiano sui terreni riferibili alle Calcareniti di Monte Castiglione costituito da sabbie e calcareniti tenere con sporadici livelli sabbiosi, con stratificazione orizzontale di spessore pari a 5-6 m. detti terreni ricoprono il Complesso Argilloso che si presenta alterato per uno spessore pari a 5 m (vedi Colonna stratigrafica Tipo 1 allegata).

Le aree interessate dagli aerogeneratori AL4 ed AL8 sono caratterizzate dall'affioramento delle Calcareniti di Monte Castiglione costituito da sabbie e calcareniti tenere con sporadici livelli sabbiosi, con stratificazione orizzontale. Hanno uno spessore variabile tra 8 e 10 m e poggiano sui terreni riferibili al Complesso Argilloso che si presenta alterato per uno spessore pari a 5 m (vedi Colonna stratigrafica Tipo 2 allegata).

Le aree interessate dagli aerogeneratori AL1, AL3, AL5, AL7, AL9 ed AL10 sono caratterizzate dall'affioramento delle Argille di Gravina costituito da argille ed argille marnose più o meno siltose grigio-azzurre da scarsamente a mediamente consistenti, di colore marrone chiaro quando alterate (spessore di alterazione variabile tra 5-7 m) mentre la frazione inalterata di colore grigio-azzurro si presenta consistente (vedi colonna stratigrafica Tipo 3 allegata).

L'area interessata dalla sottostazione è caratterizzata dall'affioramento dei Calcari di Altamura che si presenta costituito da calcari grigio-biancastri, spesso fortemente dolomitizzati, stratificati e fratturati (vedi Colonna stratigrafica Tipo 4 allegata).

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, tramite i rilievi di superficie, integrati dallo studio delle fotografie aeree del territorio e dalle indagini geofisiche eseguite per il presente studio, in generale si evince che *i versanti dove sono ubicati gli aerogeneratori, la sottostazione ed i cavidotti interni ed esterni non sono interessati da fenomeni di instabilità*. Ciò è

confermato dal Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) e dall'I. F.F.I. (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) che esclude le aree interessate dalle opere in progetto da qualunque fenomenologia di dissesto e di rischio geomorfologico.

Si mette in evidenza che il P.A.I. indica alcune aree con "Rischio R1 – Moderato" che sono limitrofi all'AL01 ed interessano parzialmente un tratto del tracciato del cavidotto tra l'AL01 e l'A05. Dai rilievi eseguiti le aree PAI sono state allargate lungo versanti che hanno le stesse caratteristiche geomorfologiche ed un movimento lento rilevato in questa fase è limitrofo all'aerogeneratore AL8. Gli spessori sono limitati e pari a circa 1-3 m.

Per preservare i versanti limitrofi agli aerogeneratori AL1 e AL8 ed i tratti di viabilità limitrofi ai fenomeni gravitativi superficiali legati soprattutto alle acque meteoriche che si infiltrano nella coltre alterata superficiale dei terreni, verranno adottate tecniche di ingegneria naturalistica utili allastabilizzazione della porzione più superficiale di suolo che oltre ad essere molto efficaci in simili situazioni geomorfologiche, hanno il vantaggio di essere molto elastiche e in grado di adattarsi all'habitus geomorfologico caratteristico del territorio in cui si opera, alle irregolarità del terreno ed a ulteriori movimenti di assestamento del terreno dopo la messa in opera.

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 idraulico;

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*" mentre i terreni che interessano la sottostazione 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*".

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

la destinazione d'uso è compatibile con il territorio in esame;

non ci sono problemi di subsidenza per emungimento di fluido dal sottosuolo;

non si impongono modifiche del regime delle acque superficiali e sotterranee.

Si ritiene, comunque, indispensabile che in fase di progettazione esecutiva e di calcolo delle strutture in c.a. si eseguano le indagini di verifica delle su esposte ipotesi geologiche e che il geologo sia sempre presente durante la realizzazione delle fondazioni degli aerogeneratori.



COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 1 (AEROGENERATORI AL2 - AL6)

Stratigrafia	Profondita'	Descrizione
↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓		Terreno vegetale (spessore variabile tra 1.00 - 2.00 m) $\varphi' = 17^\circ, C' = 0,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$
		Conglomerati e puddinghe in matrice sabbiosa - Conglomerato di Irsinia (spessore variabile tra 7-9 m) $\varphi' = 30^\circ, C' = 0,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,9 \text{ t/m}^3$
		Sabbie e calcareniti tenere - Calcareniti di M. Castiglione (spessore pari a circa 5-6 m) $\varphi' = 33^\circ, C' = 1,5 \text{ t/m}^2, \gamma = 2,0 \text{ t/m}^3$
		Argille ed argille marnose - Frazione alterata - Argille di Gravina (spessore pari a circa 5 m) $\varphi' = 20^\circ, C' = 1,5 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,9 \text{ t/m}^3$
		Argille ed argille marnose - Frazione inalterata - Argille di Gravina $\varphi' = 24^\circ, C' = 2,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 2,0 \text{ t/m}^3$



COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 2 (AEROGENERATORI AL4 - AL8)

Stratigrafia	Profondita'	Descrizione
		Terreno vegetale (spessore variabile tra 1.00 - 2.00 m) $\varphi' = 17^\circ, C' = 0,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$
		Sabbie e calcareniti tenere - Calcareniti di M. Castiglione (spessore pari a circa 8-10 m) $\varphi' = 33^\circ, C' = 1,5 \text{ t/m}^2, \gamma = 2,0 \text{ t/m}^3$
		Argille ed argille marnose - Frazione alterata - Argille di Gravina (spessore pari a circa 5 m) $\varphi' = 20^\circ, C' = 1,5 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,9 \text{ t/m}^3$
		Argille ed argille marnose - Frazione inalterata - Argille di Gravina $\varphi' = 24^\circ, C' = 2,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 2,0 \text{ t/m}^3$



COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 3 (AEROGENERATORI AL1,AL3, AL5, AL7, AL9, AL10)

Stratigrafia	Profondita'	Descrizione
		Terreno vegetale (spessore variabile tra 1.00 - 2.00 m) $\varphi' = 17^\circ, C' = 0,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$
		Argille ed argille marnose - Frazione alterata - Argille di Gravina (spessore pari a circa 5 m) $\varphi' = 20^\circ, C' = 1,5 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,9 \text{ t/m}^3$
		Argille ed argille marnose - Frazione inalterata - Argille di Gravina $\varphi' = 24^\circ, C' = 2,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 2,0 \text{ t/m}^3$



COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 4 (SOTTOSTAZIONE)

Stratigrafia	Profondita'	Descrizione
		Terreno vegetale (spessore variabile tra 1.00 - 2.00 m) $\varphi' = 17^\circ, C' = 0,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$
		Calcari grigio biancastri fratturati e stratificati - Calcari di Altamura $\varphi' = 45^\circ, C' = 5,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 2,5 \text{ t/m}^3$