

Regione Autonoma
della Sardegna



Provincia Sud Sardegna



Comune di Mandas (SU)



Comune di Serri (SU)



Comune di Escolca (SU)



Comune di Isili (SU)



Comune di Nuragus (SU)



Comune di Genoni (SU)



Committente:

RWE

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

Titolo del Progetto:

PARCO EOLICO "LOBADAS"

- Comuni di Mandas, Serri, Escolca, Isili, Nuragus e Genoni(SU) -

Documento:

STUDI AMBIENTALI

N° Documento:

PELOB-RP13

ID PROGETTO:

PELOB

SEZIONE:

A

TIPOLOGIA:

T

FORMATO:

A4

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

FOGLIO:

SCALA:

Nome file: PELOB-RP13 - Relazione geologica

A cura di:

iat CONSULENZA
E PROGETTI
www.iatprogetti.it



ORDINE INGEGNERI
PROVINCIA CAGLIARI
N. 3453 Dott. Ing. Giuseppe Frongia

I.A.T. Consulenza e progetti S.r.l.
Dott. Ing. Giuseppe Frongia

Gruppo di progettazione:

Ing. Giuseppe Frongia
(coordinatore e responsabile)
Ing. Marianna Barbarino
Ing. Enrica Batzella
Pian. Terr. Andrea Cappai
Ing. Gianfranco Corda
Ing. Paolo Desogus
Pian. Terr. Veronica Fais
Ing. Gianluca Melis
Ing. Fabrizio Murru
Ing. Andrea Onnis
Pian. Terr. Eleonora Re
Ing. Elisa Roych
Ing. Marco Utzeri

Contributi specialistici:

Ing. Antonio Dedoni (Acustica)
Dott.ssa Alice Nozza (Archeologia)
Dott. Matteo Tatti (Archeologia)

**Studi geologici, agronomici e
ambientali a cura di:**



Redattori Studi Ambientali:

Dott.ssa Biol. Maria Antonietta Marino
Dott. Geol. Gualtiero Bellomo
Dott. Agr. Fabio Interrante
Dott. Geol. Massimo Pernicari

VAMIRGEOIND
AMBIENTE GEOLOGIA E GEOPISICA s.r.l.
Il Direttore Tecnico
Dott.ssa MARINO MARIA ANTONIETTA

Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
0	15/11/2023	Prima emissione	VAMIRGEOIND	GF	RWE

REGIONE SARDEGNA

COMUNI DI ISILI, SERRI, ESCOLCA E MANDAS (SU)

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO

DENOMINATO LOBADAS

Committente: RWE RENEWABLES ITALIA S.R.L.

**RELAZIONE GEOLOGICA E DI COMPATIBILITÀ
GEOMORFOLOGICA**

SOMMARIO

1. PREMESSE.....	2
2. CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE	9
2.1. GEOLOGIA ED IDROGEOLOGIA DELL' AREA VASTA (SARDEGNA CENTRO MERIDIONALE)	9
2.2. GEOLOGIA ED IDROGEOLOGIA DELL' AREA INTERES-SATA DAL PROGETTO	13
2.3. CONSIDERAZIONI GEOMORFOLOGICHE	31
3. INDAGINI ESEGUITE	39
3.1. INDAGINI GEOGNOSTICHE	40
3.2. INDAGINI SPT	42
3.3. PROVE DI LABORATORIO	52
3.4. INDAGINI DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA (TROMOGRAFIA)	55
4. CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO.....	87
5. LIQUEFAZIONE DEI TERRENI	89
6. CARATTERIZZAZIONE LITOLOGICHE DEI TERRENI INTERESSATI DALLE OPERE IN PROGETTO	96
7. CAMPAGNA INDAGINI GEOGNOSTICHE, SISMICHE E GEOTECNICHE DA ESEGUIRE IN FASE DI PROGETTA-ZIONE ESECUTIVA	99
8. CONCLUSIONI.....	100

1. PREMESSE

Su incarico di RWE Renewables Italia S.r.l. è stato eseguito il presente studio geologico-tecnico per il progetto definitivo indicato in epigrafe che, 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).

Nello specifico il presente studio ha previsto l'analisi critica dei dati acquisiti nell'ambito di altri lavori redatti dal sottoscritto e da altri colleghi nelle vicinanze, le pubblicazioni scientifiche relative all'area vasta, nonché l'esecuzione di specifici rilievi di superficie ed indagini geognostiche e geofisiche, finalizzate a:

- 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 particolare, sono stati realizzati/installati.

- ⇒ n. 1 sondaggio meccanico a carotaggio continuo denominato "S1" di profondità pari a 30 mt. in corrispondenza dell'aerogeneratore WTG01;
- ⇒ n. 1 sondaggio meccanico a carotaggio continuo denominato "S6" di profondità pari a 30 mt. in corrispondenza dell'aerogeneratore WTG06;
- ⇒ n. 1 piezometro a tubo aperto in corrispondenza dell'aerogeneratore WTG01;
- ⇒ n. 1 piezometro a tubo aperto in corrispondenza dell'aerogeneratore WTG06;
- ⇒ n. 13 sondaggi di sismica passiva (tomografia) per definire le velocità delle onde sismiche V_s nei primi 30 m di profondità dal p.c. in corrispondenza degli aerogeneratori WTG01, WTG02, WTG03, WTG04, WTG05, WTG06, WTG08, WTG09, WTG10, WTG11, WTG12, WTG13 e della sottostazione utente.

Per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni sono state, inoltre, eseguite prove in laboratorio su n. 11 campioni rimaneggiati prelevati all'interno delle sabbie con locali livelli di bio-calcareni, scarsamente addensate e conglomerati poligenici eterometrici e sulle arenarie cementate, e n. 7 prove penetrometriche "SPT" in situ.

I risultati sono visibili negli allegati riportati nei capitoli successivi.

Il presente progetto prevede la realizzazione di:

- a. Parco eolico** costituito da n. 12 aerogeneratori;
- b. Cavidotto** di collegamento tra gli aerogeneratori;
- c. Sottostazione elettrica.**

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

- ✓ corografia con l'ubicazione delle opere in progetto in scala 1/25.000;
- ✓ n. 3 carte geologiche, in scala 1/10.000 (fuori testo);
- ✓ n. 4 carte geomorfologiche di dettaglio eseguite in corrispondenza delle aree indicate dal PAI ed interferenti con le piazzole degli aerogeneratori, con l'ubicazione delle opere di ingegneria naturalistica da eseguire per annullare qualunque impatto sulla componente Territorio e migliorando le condizioni di stabilità dei versanti;
- ✓ n. 3 carte della pericolosità da frana – PAI (fuori testo);
- ✓ n. 3 carte del rischio da frana – PAI (fuori testo);
- ✓ n. 3 carte della pericolosità idraulica – PAI (fuori testo);
- ✓ n. 3 carte della pericolosità da alluvione – aree cleopatra – PGRA (fuori testo);
- ✓ n. 3 carte del rischio di alluvione – PGRA (fuori testo);
- ✓ n. 3 carte PSFF – PAI (fuori testo);
- ✓ n. 3 carte della rete idrografica (fuori testo);
- ✓ colonne stratigrafiche dei sondaggi geognostici S1 ed S6 con relativa documentazione fotografica;
- ✓ elaborati delle prove geotecniche eseguite sui campioni prelevati;

- ✓ elaborati interpretativi delle prove S.P.T.;
- ✓ elaborati relativi ai sondaggi di sismica passiva a stazione singola (tromografia) denominati T1, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, T10, T11, T12, T13 e Tsott e relativa documentazione fotografica.

I risultati ed i dati delle indagini e dei sopralluoghi eseguiti sono certamente esaustivi per la verifica della fattibilità del progetto e per valutare in piena scienza e coscienza tutti gli impatti che le opere possono imporre alle componenti ambientali coinvolte.

Nella fase di progettazione esecutiva e di calcolo delle strutture in cemento armato, attività che impongono un approfondimento di carattere geologico-tecnico di maggiore dettaglio, si prevede l'esecuzione delle indagini indicate nell'apposito capitolo.

Si ritiene, infatti, che in fase di progetto esecutivo e di calcolo delle strutture di fondazione si renderà necessario integrare le indagini con la realizzazione di un sondaggio e relative prove geotecniche in situ ed in laboratorio in corrispondenza di ciascun aerogeneratore nell'esatta posizione in cui, a valle dell'iter autorizzativo, saranno effettivamente realizzati ed alcuni pozzetti esplorativi in corrispondenza dei tracciati dei cavidotti.

Ciò al solo scopo di poter progettare con il necessario dettaglio le strutture in c.a. non già perché le suddette indagini potranno fornire indicazioni sulla componente ambientale diverse da quelle che sono oggi in nostro possesso ai fini della valutazione degli impatti ambientali.

A tal proposito si evidenzia che le indagini in nostro possesso (geologiche, geognostiche, geosismiche e geotecniche) forniscono un quadro esaustivo e completo delle problematiche ambientali relative agli aspetti geologici, geomorfologici ed idrogeologici, permettendo di avere ampia e

sufficiente conoscenza delle componenti ambientali, coerentemente alle Linee Guida SNPA del 2020 sulla redazione degli studi di impatto ambientale, che, come è noto, prevede la realizzazione di un numero di indagini sufficienti per delineare i connotati della componente ambientale ma non chiede certamente un dettaglio da spingere fino alle conoscenze utili per la calcolo delle strutture in cemento armato, tanto che per la procedura di VIA il progetto allegato è del livello pari alla progettazione di fattibilità tecnico-economica.

2. CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE

2.1.GEOLOGIA ED IDROGEOLOGIA DELL'AREA VASTA (SARDEGNA CENTRO MERIDIONALE)

L'area interessata dalle opere è ubicata nella Sardegna Centro-Meridionale, all'interno dei territori comunali di Isili, Serri, Escolca e Mandas; l'impianto eolico in progetto ricade, in particolare, nella regione storica del Sarcidano e in quella della Trexenta, all'interno di quello che viene definito sub-bacino Flumendosa-Campidano-Cixerri, che si estende per 5.960 km², pari al 24,8% del territorio regionale.

E' l'area più antropizzata della Sardegna ed il sistema idrografico è interessato da diciassette opere di regolazione in esercizio e otto opere di derivazione.

I bacini idrografici di maggior estensione sono costituiti dal Flumendosa, dal Flumini Mannu, dal Cixerri, dal Picocca e dal Corr'e Pruna; numerosi bacini minori risultano compresi tra questi e la costa.

I principali corsi d'acqua che delimitano il territorio in esame sono il Fiume Flumendosa, ad est, e i suoi affluenti in ripa destra come il Riu Mulargia che delimita l'area di impianto a sud-est e si sviluppa inizialmente in direzione sud-ovest per poi virare verso sud-est e formare il Lago di Mulargia; il Flumini Mannu, ad ovest, e i suoi affluenti che delimitano l'area di impianto a nord, con il Riu Corrigas che dal Lago di San Sebastiano si sviluppa in direzione sud-est verso l'area di impianto, e ad ovest con il Riu Murera che attraversa il territorio in direzione est-ovest sino a Serra Monte Maiori, a nord di WTG10.

L'assetto geologico della porzione definita dal *Piano per l'Assetto Idrogeologico della Regione Autonoma della Sardegna* come sub-bacino

Flumendosa-Campidano-Cixerri, che più direttamente interessa il sito di progetto, può essere suddiviso in cinque grandi aree geologiche in parte coincidenti con i bacini idrografici dei corsi d'acqua principali che ad esso danno nome:

- 1) **Sarrabus-Gerrei-Barbagie**: la geologia del Sarrabus-Gerrei è varia e complessa, sia per i rapporti litologici e stratigrafici fra le diverse formazioni, sia per l'insieme delle deformazioni tettoniche che le rocce che vi si trovano hanno subito. La morfologia attuale è prevalentemente accidentata e montuosa; molti elementi del rilievo sono totalmente o in parte impostati secondo direttrici tettoniche erciniche. La gran parte dei corsi d'acqua del settore settentrionale sono isorientati secondo NNW–SSE;
- 2) **Sarcidano-Marmilla**: le metamorfite paleozoiche costituiscono il termine più antico che affiora nell'area. I sedimenti marini miocenici costituiscono la maggior parte dei terreni affioranti (facies arenacee e marnose e, subordinatamente, calcaree, con spessore fino a circa 1500 m). Nel Plio-Quaternario la ripresa dell'attività tettonica, che ha determinato la formazione del graben Campidanese, è stata seguita da un nuovo ciclo vulcanico durante il quale sono state depositate le lave basaltiche, che costituiscono il pianoro sommitale della Giara di Gesturi, della Giara di Siddi e di quella di Serri, prossime all'area in esame. Durante il Quaternario, l'attività erosiva ha prodotto il materiale detritico che ha colmato la fossa campidanese;
- 3) **Campidano**: il cui assetto geologico non è particolarmente vario e coinvolge una serie di formazioni geologiche appartenenti ad un arco temporale ristretto che va dall'Oligocene sino al quaternario

recente: alluvioni antiche terrazzate (rappresentano la base di tutte le formazioni sedimentarie quaternarie del Campidano settentrionale); alluvioni medie rimaneggiate (derivate dal disfacimento delle alluvioni antiche cementate); suoli argillosi e palustri recenti ed attuali delle aree palustri bonificate testimonianza della presenza ormai quasi cancellata di una serie di specchi d'acqua interni costituenti talvolta bacini areici e talvolta veri e propri laghi oggi totalmente prosciugati (p.e. "stagno" di Sanluri); alluvioni attuali. Nella fascia campidanese del Sub_Bacino Flumendosa-Campidano-Cixerri, dal punto di vista geomorfologico, si possono distinguere il paesaggio delle "conoidi" tipico nel sistema Campidano dei settori occidentali; il paesaggio delle "alluvioni terrazzate" attorno agli abitati di Guspini, di Sardara e di Sanluri; il paesaggio della "pianura" ormai modificato dalle attività agricole e dalle opere di bonifica.

4) ***Linis-Sulcis***: è costituito da 3 grandi unità omogenee:

⇒ l'area valliva del Cixerri e delle fasce pedemontane: le fasi di sedimentazione possono essere distinte in quella pre-pliocenica collegata all'apertura della "Fossa sarda" (il bacino terziario è stato colmato da oltre 500 m di sedimenti alternati a vulcaniti calco-alcaline) e quella sintettonica plio-quaternaria legata all'apertura del graben campidanese (oltre 800 m di sedimenti marini e continentali alternati a vulcaniti alcaline);

⇒ i rilievi vulcanici del castello dell'Acquafredda ed altri rilievi vulcanici;

⇒ le metamorfite e le intrusioni paleozoiche (lo zoccolo scistoso, affiorante solo sporadicamente caratterizza le pendici montane).

- 5) ***Sulcis e coste del golfo***: l'attuale conformazione geo-strutturale deriva da una serie di complesse vicende geologiche, orogenesi antiche, fasi d'immersione ed emersione, fasi tettoniche compressive e distensive, attività vulcanica e fasi di erosione e sedimentazione, susseguitesì nel tempo. L'area è caratterizzata da un paesaggio ondulato con rilievi collinari, e forme prevalentemente dolci e arrotondate. Essa costituisce una piccola porzione del settore meridionale della grossa struttura tettonica oligo-miocenica, nota come "Fossa sarda". Ai suoi margini meridionali, le forme più aspre legate alla presenza delle formazioni calcaree organogene emergono dalla piana per una serie di eventi tettonici e di modellazione morfologica che sono autrici dell'attuale paesaggio.

2.2. GEOLOGIA ED IDROGEOLOGIA DELL'AREA INTERESSATA DAL PROGETTO

Entrando nello specifico dell'area vasta intorno al sito di progetto (vedi carta geologica allegata fuori testo), sono affioranti numerose formazioni, soprattutto di origine vulcanica.

Di seguito sono elencate quelle che non sono interessate dalle opere in progetto e che descriviamo per completezza di studio.

In particolare:

- ✓ *BASALTI DELLE GIARE* (Pliocene medio-sup): si tratta di basalti, da alcalini a sub-alcalini, in espandimenti e colate. Intercalate a breccie scoriacee prossimali ai centri eruttivi e rari dicchi.
- ✓ *FORMAZIONE DELLA MARMILLA* (Aquitaniense - Burdigaliano inf.): marne siltose alternate a livelli arenacei da mediamente grossolani a fini, talvolta con materiale vulcanico rimaneggiato.
- ✓ *CALCARI DI VILLAGRECA* (Aquitaniense inf.): calcari bioclastici e biocostruiti (bioherme a coralli -Porites- e briozoi, e biostromi ad alghe - Lithothamnium- e molluschi - *Ostrea edulis lamellosa*).
- ✓ *FORMAZIONE DI USSANA* (Oligocene-Aquitaniense): conglomerati e breccie, grossolani, eterometrici, prevalentemente a spese di basamento cristallino paleozoico, carbonati giurassici, vulcaniti oligomioceniche; livelli argilloso-arenacei rossastri talora prevalenti nella base, intercalati a (USSe) rare vulcaniti oligoceniche e (USSg) calcari con fauna limnicola.
- ✓ *FORMAZIONE DI DORGALI* (Dogger-Malm): si tratta di dolomie, dolomie arenacee, calcari dolomitici, da litorali a circalitorali, con foraminiferi e alghe calcaree.

- ✓ *FORMAZIONE DI GENNA SELOLE* (Dogger): conglomerati quarzosi e quarzoareniti molto mature; alla base livelli carboniosi e argille.
- ✓ *BUNTSANDSTEIN AUCT.* (Anisico): Alternanza di arenarie, argilliti, siltiti, livelli marnosi con gesso e conglomerati poligenici alla base ("Verrucano" *sensu* Gasperi & Gelmini, 1979).
- ✓ *FORMAZIONE DI RIO SU LUDA*: caratterizzata da tre litofacies, alla base, conglomerati e micro-conglomerati in matrice arenacea fortemente arrossata (LUDa). Sedimenti clastici da grossolani a medio fini, con importante componente vulcanica con intercalazione di tufi, marne e calcari con rare selci lacustri (LUDb). Siltiti e argilliti laminari nere, con abbondanti resti di piante, sporomorfi e pollini; rari livelli di arenarie e conglomerati (LUDc).
- ✓ *UNITÀ INTRUSIVA DI PUNTA TREMPU* (Carbonifero sup.): granodioriti biotitiche talora biotitico-anfiboliche, grigie, a grana grossa, tendenzialmente equigranulari, tessitura anisotropa; spesso disposte in corpi allungati con giacitura subverticale.
- ✓ *METARCOSE DI GENNA MESA* (Ordoviciano sup.): metarcese e metagrovacche arcosiche, metaquarzoareniti e metaconglomerati quarzosi, in grossi banchi o massivi.
- ✓ *FORMAZIONE DI ORROELEDU* (Ordoviciano sup.): alternanze irregolari di metarenarie, metarenarie quarzose talora grossolane, filladi e metasiltiti talora fossilifere, con intercalazioni di metaconglomerati minuti in strati decimetrici. Si rinvengono alternate a (ORRa) livelli di metarcese e metagrovacche arcosiche, quarziti e metaconglomerati quarzosi, in grossi banchi o massivi.

- ✓ *METACONGLOMERATI DI MURAVERA* (Ordoviciano): metaconglomerati eterometrici poligenici, grossolani, con clasti arrotondati di quarzoareniti e di arenarie listate, in matrice filladica, alternati a metasiltiti e metarenarie di colore verde, talora grigio scuro.
- ✓ *PORFIROIDI AUCT.* (Ordoviciano medio): metarioliti e metariodaciti con struttura occhiadina, metaepiclastiti.
- ✓ *FORMAZIONE DI MONTE SANTA VITTORIA* (Ordoviciano medio): metavulcaniti a chimismo intermedio e basico, metaepiclastiti, metarenarie feldspatiche e metaconglomerati con componente vulcanica. Intercalate (MSVa) metaepiclastiti: metaepiclastiti a matrice vulcanica, metaquarzogrovacche e metarenarie, metaconglomerati a prevalenti componenti di vulcaniti acide ("formazione di Manixeddu" Auct.), (MSVb) metagrovacche vulcaniche e metavulcaniti; probabili originarie piroclastiti a chimismo intermedio-basico ("formazione di Serra Tonnai" Auct.) e (MSVc) metavulcaniti di colore bianco-giallastro, spesso afanitiche, con foliazione tettonica pervasiva, talvolta porfiriche per fenocristalli di Qtz e Pl, a chimismo rioidacitico.
- ✓ *ARENARIE DI SAN VITO* (Cambriano medio - Ordoviciano inf): alternanze irregolari, da decimetriche a metriche, di metarenarie micacee, quarziti e metasiltiti, e livelli di metaconglomerati minuti quarzosi nella parte alta. Intercalati (SVIb) livelli di metacalcari.

Dette formazioni sono parzialmente ricoperte da:

- ❖ *Depositi antropici*;
- ❖ *Depositi di versante* costituiti da detriti con clasti angolosi, talora parzialmente cementati (Olocene);
- ❖ *Depositi alluvionali* che comprendono i depositi ubicati lungo gli alvei dei corsi d'acqua. Si tratta di rocce prevalentemente sciolte costituite da ghiaie, sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi con intercalazioni di sabbie grossolane e ghiaie (Olocene).
- ❖ *Depositi alluvionali terrazzati*: prevalentemente costituiti da ghiaie, sabbie con subordinati limi e argille (Olocene).
- ❖ *Travertini*. Depositi carbonatici stratificati, da compatti a porosi, con tracce di resti vegetali e gusci di invertebrati. Derivano in parte da acque termali (Olocene).
- ❖ *Coltri eluvio-colluviali* costituiti da detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica (Olocene).
- ❖ *Ghiaie alluvionali terrazzate* da medie a grossolane, con subordinate sabbie (Pleistocene sup.).

Per quanto riguarda, invece, la specifica area interessata dalla realizzazione del progetto, 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 e la campagna di rilievi effettuati per il presente studio.

Entrando nel particolare, le formazioni geologiche interferenti con le opere in progetto sono dall'alto verso il basso:

⇒ **MARNE DI GESTURI (Burdigaliano sup. – Langhiano**

medio): marne arenacee e siltitiche giallastre con intercalazioni di arenarie e calcareniti contenenti faune a pteropodi, molluschi, foraminiferi, nannoplancton, frammenti ittiolitici, frustoli vegetali; interessa direttamente la WTG 3 e la WTG 10 e sono ricoperte da una coltre di qualche decimetro di terreno vegetale. In corrispondenza della WTG1 si presenta sotto forma di livelli di arenarie bioclastiche e calcareniti a litotamni (GSTb), al di sotto di una copertura di circa 2 m di limi e limi sabbiosi e sabbie di colore beige, scarsamente consistenti con inclusi elementi lapidei di dimensioni centimentriche. Le arenarie grossolane e conglomerati (GSTc) si rinvergono, invece, in corrispondenza delle WTG2, WTG4, WTG5 e WTG8 e sono ricoperte da uno spessore variabile da 1 a 4 m di sabbie e limi sabbiosi con inclusi elementi lapidei eterometrici.

⇒ **FORMAZIONE DI NURALLAO (Oligocene sup. – Burdigaliano)**

liano): questa formazione geologica è suddivisa in due membri: il membro NLL1 costituito da conglomerati di Duidduru, e da un'alternanza di sabbie con locali livelli di bio-calcareniti, scarsamente addensate e conglomerati poligenici eterometrici cementati e fratturati di colore grigio; interessa la WTG6 al di sotto di uno strato di qualche decimetro di terreno vegetale.

Il membro NLL2 – NLL2a è costituito dalle arenarie di Serra Longa, conglomerati poligenici eterometrici e sabbie con locali livelli di biocalcareniti ed arenarie da grossolane a micro-conglomeratiche, con intercalazioni di arenarie siltose;

interessano le WTG9 e WTG11 al di sotto di uno strato di qualche decimetro di terreno vegetale.

⇒ **FORMAZIONE DI PALA MANNA (Carbonifero inf.):** alternanze di metasiltiti e metarenarie micacee, metaquarzoareniti, intercalate a (PMNa) metaconglomerati e metabrecce a liditi e (PMNb) metaquarzoareniti grossolane di colore scuro; interessa la WTG13 al di sotto di uno strato di qualche decimetro di terreno vegetale.

⇒ **SCISTI A GRAPTOLITI AUCT. (Siluriano - Devoniano medio):** metapeliti carboniose e metasiltiti con livelli di diaspri neri (liditi) e (SGAa) metacalcari scuri e metacalcari nodulari fossiliferi, con abbondanti crinoidi e ortoceratidi; interessa la WTG12 al di sotto di uno strato di qualche decimetro di terreno vegetale.

Per maggiori dettagli si rimanda alle stratigrafie allegate.

Dal punto di vista idrogeologico l'area direttamente interessata dallo studio è caratterizzata dall'affioramento di terreni diversi che, da un punto di vista idrogeologico, abbiamo suddiviso in 2 tipi di permeabilità prevalente:

❖ **Rocce permeabili per porosità:** Si tratta di rocce incoerenti caratterizzate da una permeabilità per porosità che varia al variare delle dimensioni granulometriche dei terreni presenti. In particolare, la permeabilità risulta essere medio-bassa nella frazione limosa mentre tende ad aumentare nei livelli sabbiosi. Di conseguenza la circolazione idrica sotterranea è discontinua con livelli acquiferi sospesi. Rientrano in questo complesso i terreni afferenti alle sabbie, ai conglomerati e alle arenarie sciolte.

❖ **Rocce permeabili per fessurazione e fratturazione:** Si tratta di rocce coerenti che presentano un sistema di fessurazioni e fratture di dimensioni tali da rappresentare vie di veloce infiltrazione per le acque meteoriche. Sono compresi in questa categoria le calcareniti, le metareniti, i metacalcari, le metasiltiti, le metaquarzoareniti e le areniti cementate. In generale il grado di permeabilità è medio alto.

Si mette in evidenza, infine, che il territorio direttamente interessato dal progetto non è significativamente ricco di corsi d'acqua e sono tutti a carattere torrentizio, con consistenti quantità di acque nei brevi periodi di piogge e scarsi d'acqua o pressoché asciutti nel restante periodo dell'anno.

Il sistema idrografico nella zona nord-occidentale è caratterizzato dalle aste idrografiche di primo e secondo ordine che confluiscono nel fiume San Sebastino e da qui nel Flumini Mannu ed il relativo bacino idrografico; nella zona sud-orientale è caratterizzato dalle aste idrografiche di primo e secondo ordine del Riu Mulargia e da qui al limitrofo lago di Mulargia

Per quanto riguarda invece gli acquiferi sotterranei, il Piano di Tutela delle Acque individua 37 acquiferi per tutta la Sardegna, con caratteristiche idrogeologiche omogenee.

Il sito di progetto è ubicato a cavallo delle Unità Idrografiche Omogenee del Flumini Mannu e del Flumendosa, nell'ambito del vasto areale dell'Acquifero Detritico-Carbonatico Oligo-Miocenico del Campidano Orientale.

Nell'ambito di tale acquifero si registra una notevole presenza di manifestazioni sorgentizie, generalmente di modesta portata, non sempre continua, spesso di carattere stagionale.

Soltanto una sorgente di queste, infatti, si trova nell'ambito dell'areale interessato dalle opere in progetto (200 m dagli aerogeneratori)

e non potrà essere interferita dalle opere in progetto perché il cavidotto necessita di scavi modestissimi, poco superiori al metro, e gli aerogeneratori che sono ubicati nelle rocce arenitiche e calcarenitiche saranno fondati su tipologia diretta tramite platea e, quindi, interessano solo i primi metri dal p.c.

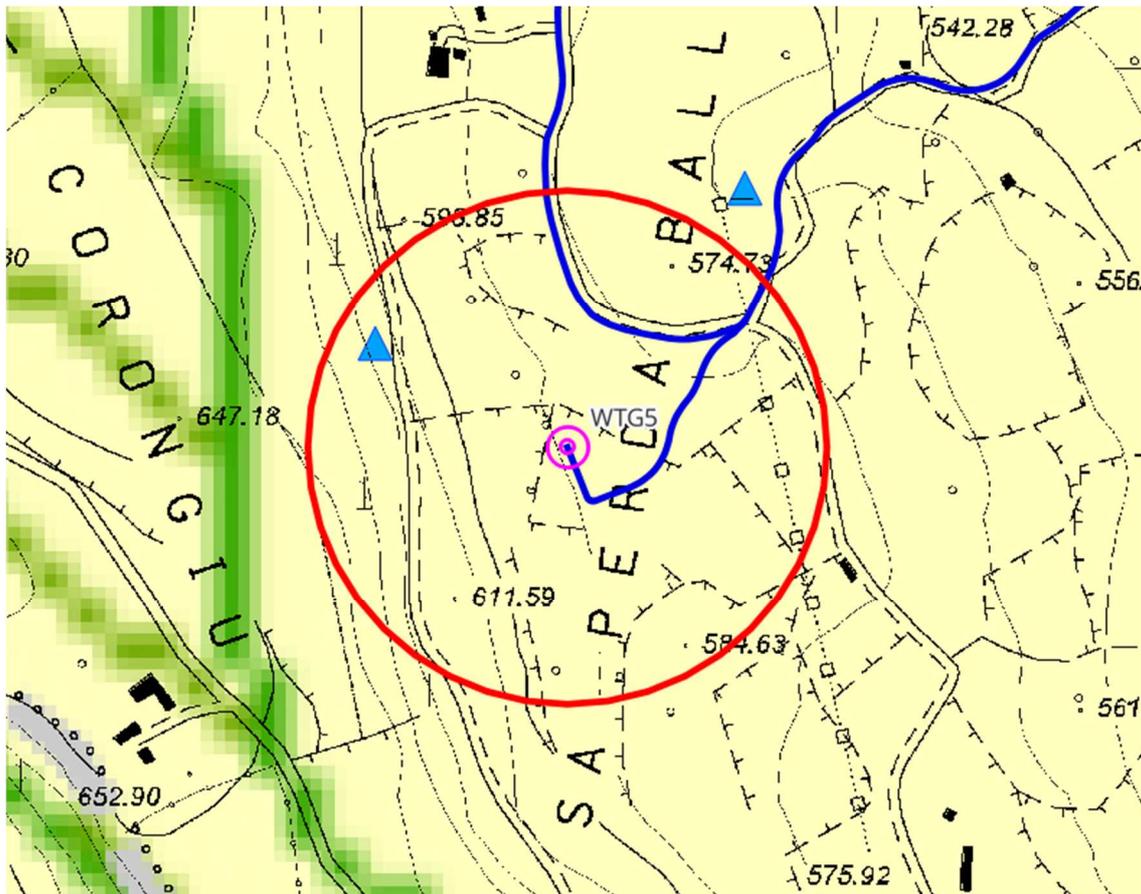
Gli aerogeneratori che saranno fondati su pali sono solo quelli che interessano i terreni sabbiosi nei quali, comunque, la falda freatica non si rinviene alle profondità interessate dai pali, come si evidenzia dai sondaggi geognostici eseguiti che in un caso (WTG1) non ha intercettato alcuna falda freatica sino a 30 metri di profondità, mentre nel secondo caso (WTG6) ha intercettato la falda a -23 metri dal p.c. e, quindi a profondità decisamente superiori alle fondazioni anche di tipo indiretto che sono previste di lunghezza 16 metri.

Sono state censite, tramite rilievi in situ e ricerca bibliografica, altre sorgenti molto più modeste non rientranti né nell'ambito del PTA, né nel Piano Regolatore degli Acquedotti ma che abbiamo ritenuto di riportare nelle cartografie geologiche fuori testo perché di interesse ai fini delle valutazioni ambientali ed indicative di un acquifero caratterizzato da tante piccole falde superficiali, *spesso a carattere stagionale, legate alla notevole variabilità della permeabilità anche all'interno della stessa formazione.*

Sono tutte sorgenti abbastanza distanti dai siti dove si realizzeranno gli aerogeneratori e, quindi, nessuna interferenza è possibile.

Una sola sorgente, di quelle censite, si trova entro i 200 m di distanza dalla WTG5 (a 165 m) ma essa si trova in un bacino idrogeologico diverso ed ad una quota di circa 30 m più alta rispetto a quella dell'area di ubicazione delle fondazioni della WTG5 che, quindi, non possono generare alcun impatto sulla sorgente stessa.

Anche un'altra modestissima sorgente, che si trova a distanza superiore a 200 mt, visibile nella carta sotto allegata si trova nelle stesse condizioni idrogeologiche della prima e, quindi, non sarà interferita dalla realizzazione delle opere.



In conclusione, si evince che la realizzazione del Parco Eolico non ha impatto sull'assetto idrico sotterraneo ma, a vantaggio della sicurezza, in fase di progettazione esecutiva si ritiene monitorare la risorsa idrica con periodici prelievi dalle due sorgenti sopra evidenziate e con l'istallazione di ben 13 piezometri per la misura del livello freatico e della qualità delle acque e del controllo sulla qualità delle acque nelle sorgenti vicine (vedi Carta dei punti di Monitoraggio Ambientale)

La realizzazione del cavidotto impegna spessori modestissimi ed è del

tutto impossibile interferire il livello freatico con gli scavi.

In conclusione, dallo studio idrogeologico si evince che:

- ❖ l'ubicazione degli aerogeneratori è stata scelta proprio in modo da non interferire con gli acquiferi e sono stati posti ad una certa distanza dalle polle sorgentizie;
- ❖ nei siti di installazione nei quali ricorre la presenza delle arenarie, delle metaquarzoareniti e dei metacalcari è stata progettata una fondazione diretta, con spessore massimo pari a circa 5,00 metri, che non potrà interferire con eventuali acquiferi presenti;
- ❖ nei siti di installazione nei quali ricorre la presenza delle sabbie fini o delle alluvioni è stata progettata una fondazione profonda su pali di 16 m; e questi non potranno interferire con la falda presente poiché, come risulta dai sondaggi effettuati, la stessa o non è stata rinvenuta nei primi 30 metri dal p.c. (Sondaggio 1) o è stata rinvenuta ad una profondità di 23 al di sotto del piano di campagna (S6);
- ❖ gli aerogeneratori e loro piazzole non interferiscono con il reticolato idrografico superficiale;
- ❖ le opere in progetto non producono emissioni di sostanze inquinanti né nel suolo, né nel sottosuolo, né nel reticolato idrografico superficiale, né in falda.

In definitiva non sussistono criticità di carattere idrogeologico che possano ostare la realizzazione delle opere in progetto nella più ampia sicurezza e salvaguardia della risorsa naturale "Acqua".

In ogni caso il Piano di Monitoraggio Ambientale, per maggiore cautela, ha previsto di tenere sotto osservazione ante operam, in operam ed in fase di esercizio la qualità e le portate delle sorgenti più vicine e la

realizzazione di un piezometro per ogni aerogeneratore (vedi elaborato denominato Piano di Monitoraggio Ambientale).

Di seguito si riportano le stratigrafie dei sondaggi geognostici eseguiti (WTG1) e (WTG6), nonché le stratigrafie tipo in corrispondenza degli altri aerogeneratori desunti dalle indagini geofisiche e dai rilievi geologici eseguiti, nonché dalla bibliografia scientifica a disposizione.

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di
un parco eolico denominato "Lobadas" nei territori comunali di Isili, Serri, Escolca e
Mandas (SU)

Sondaggio N°		Rapporto di Prova n.		Oggetto: Sondaggi e installazione di strumentazione geotecnica.			
WTG1		Cantiera: Impianto fotovoltaico Lobadas		Località: Isili (SU)			
TIPO I		Committente: Vamirgeoind srl					
Pagina n° 1 di 1		da metri 0,00 a metri 30,00		Profondità del Sondaggio m 30,00		Coordinate WGS84 N: E= Hi=	
Allegati: Documentazione Fotografica n° 4 Pag		Prelievo di Campioni n° 5		Prove SPT n° /		Prove permeabilità n° /	
Prove / n° /		Prove / n° /		Prove / n° /		Prove / n° /	
Prove (n°)	Spessore	Descrizione e Classificazione del Terreno AGI 77 Cap. 4		Recupero Carota %		R.Q.D. %	
Stratigrafica AGI 77							
Prove (n°)	Spessore						
Stratigrafica AGI 77							
2,00	2,00	Limi e limi sabbiosi e sabbie di colore beige, scarsamente consistenti con inclusi elementi lapidei di dimensioni centimetriche (b2) $\phi' = 22^\circ, C' = 1,0 \text{ T/m}^2, \gamma = 1,8 \text{ T/m}^3$.		[Stratigrafic pattern]		[R.Q.D. pattern]	
25,00	23,00	Arenarie blockistiche e calcarenite a litodomi, di colore grigio, cementate e fratturate (G5Tb). $\phi' = 30^\circ, C' = 2,0 \text{ T/m}^2, \gamma = 2,0 \text{ T/m}^3$.		[Stratigrafic pattern]		[R.Q.D. pattern]	
30,00		Sabbie fini e sabbie fini debolmente limose mediamente addensate (G5Tb). $\phi' = 28^\circ, C' = 00,0 \text{ T/m}^2, \gamma = 1,9 \text{ T/m}^3$.		[Stratigrafic pattern]		[R.Q.D. pattern]	
		-Fine Sondaggio -		[Stratigrafic pattern]		[R.Q.D. pattern]	
				1 2 3 4 5 6		127	
						Tubo Piezometrico in PVC 3"	
						Note Installato tubo piezometrico in PVC così composto: -Da 0,0 a 3,0 metri cieco. -Da 3,0-30,0 metri fenestrato.	

Colonna stratigrafica del sondaggio WTG1

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di
un parco eolico denominato "Lobadas" nei territori comunali di Isili, Serri, Escolca e
Mandas (SU)

Sondaggio N° WTG		Rapporto di Prova n. _____		Oggetto: Sondaggi e installazione di strumentazione geotecnica.									
TIPO 3		Cantiere: Impianto fotovoltaico Lobadas		Località: Isili (SU)									
Pagina n° 1 di 1 da metri 0,00 a metri 30,00		Profondità del Sondaggio m 30,00		Coordinate WGS84 N° _____ E° _____		WTG 3,10							
Allegati: Documentazione Fotografica n° / Pag _____		Prelievi di Campioni n° / _____		Prove SPT n° / _____		Prove permeabilità n° / _____							
Profondità m	Spessore m	Stratigrafico AGI 77	Descrizione e Classificazione del Terreno AGI 77 Cap. 4	Recupero Carota %	R.Q.D. %	Cone m	Gilette m ² /m	Cune mm	Inclinazione m	Indice Tensione	P.d.b.	Prova m	Note
-0,30	0,30		Terreno vegetale.										
			<p>Marne arenacee e siltitiche giallastre con intercalazioni di arenarie e calcareniti (GST - Marne di Gesturi).</p> <p>MARNE-E: $\phi' = 28^\circ$, $C' = 2,5 \text{ T/m}^2$, $\gamma = 2,0 \text{ T/m}^3$.</p> <p>ARENARIE-E: $\phi' = 30^\circ$, $C' = 2,0 \text{ T/m}^2$, $\gamma = 2,0 \text{ T/m}^3$.</p>										
-30,00			-Fine Sondaggio -										
Responsabile Sito: Dott. Ing. Alessandro Alba				Il Direttore del Laboratorio: Dott. Geol. Giuseppe Alba				Data Inizio _____		Data Fine _____			
Attrezzatura: Fisherly, D'Urbanis, D'Urbanis, C. Capa, A. Alfini, Carotiere.				Attrezzatura: S. P. T. (Punte A/Aperta C/Chiusa)				Tipo attrezzatura: E6T MD 600					

Colonna stratigrafica tipo relativa alle WTG3 e WTG10

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di
un parco eolico denominato "Lobadas" nei territori comunali di Isili, Serri, Escolca e
Mandas (SU)

WTG		Rapporto di Prova n. _____		Oggetto: Sondaggi e installazione di strumentazione geotecnica.		VAMIRGEOIND <small>Consulenza ambientale, geologica e geofisica</small>	
TIPO 7		Cantiere: Impianto fotovoltaico Lobadas		Località: Isili (SU)			
Pagina n° 1 di 1 da metri 0,00 a metri 30,00		Profondità del Sondaggio m 30,00		Coordinate WGS84 N: _____ E: _____		WTG 12	
Allegati: documentazione Fotografica n° / Fog. _____		Prelievi di Campioni n° / _____		Prove SPT n° / _____		Prove permeabilità n° / _____	
Profondità m	Spessore m	Stratigrafica AGI 77	Descrizione e Classificazione del Terreno AGI 77 Cap. 4		Recupero Carota %	R.Q.D. %	Note
0,50	0,50	[Pattern]	Terreno vegetale.		30 20 10 0	30 20 10 0	
		[Pattern]	Metacalcarei scuri e metacalcarei nodulari. $\varphi = 30^\circ, C = 2,0 \text{ T/m}^2, \gamma = 2,0 \text{ T/m}^3$.		30 20 10 0	30 20 10 0	
30,00			-Fine Sondaggio -				
Responsabile Sito: Dott. Ing. Alessandro Alba		Il Direttore del Laboratorio: Dott. Geol. Giuseppe Alba		Data Inizio _____		Data Fine _____	
<small> Abbreviazioni: F=Shelby; D=Denison; O=Osterberg; C=Cripa; A=Altri Carotiere. A=Assoluto (Ingegno) E= Ambientale C=Altri Metodo di Perforazione: CC=Carotaggio Continuo DN=Distruzione di Nucleo Corona W=Wilda D=Diamante S.P.T. Punta A=Aperta C=Chiusa </small>				Tipo attrezzatura: E6T MD 500			

Colonna stratigrafica tipo relativa alla WTG12

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di
un parco eolico denominato "Lobadas" nei territori comunali di Isili, Serri, Escolca e
Mandas (SU)

Sondaggio N° WTG		Rapporto di Prova n. _____		Oggetto: Sondaggi e installazione di strumentazione geotecnica.									
TIPO 6		Cantiere: Impianto fotovoltaico Lobadas		Località: Isili (SU)									
Pagina n° 1 di 1 da metri 0,00 a metri 30,00		Profondità del Sondaggio m 30,00		Coordinate WGS84 N: _____ E: _____		WTG 13							
Allegati: Documentazione Fotografica n° / Fog. _____		Prelievi di Campioni n° / _____		Prove SPT n° / _____		Prove permeabilità n° / _____							
Profilo m	Spessore m	Stratigrafica AGI 77	Descrizione e Classificazione del Terreno AGI 77 Cap. 4	Recupero Carota %	R.Q.D. %	Campioni	Gisette	Curve Metodo Elva Carota	Deformazione in situ	Indice Frac. Tensione	P.d.b.	Prova in situ	Note
-0,50	0,50		Terreno vegetale.										
			Metaquarzeniti grossolane di colore scuro (PMNb). $e' = 35\%, C' = 3,0 T/m^2, \gamma = 2,2 T/m^3.$										
			-Fine Sondaggio -										
		Responsabile Sito: Dott. Ing. Alessandro Alba		Il Direttore del Laboratorio: Dott. Geol. Giuseppe Alba		Data Inizio _____		Data Fine _____					
		Attrezzatura: Probelby, D'Onofrio, D'Usterberg, C.C. S.p.A. A'Altri Carotiere.		Attrezzatura: S.P.T. Punta A'Aperta C'Chissà		Tipo attrezzatura: E&T MD 600							

Colonna stratigrafica tipo relativa alla WTG13

2.3. CONSIDERAZIONI GEOMORFOLOGICHE

L'area vasta è caratterizzata da un ampio settore sub-pianeggiante che costituisce la spianata sommitale di una dorsale morfologica con generale blanda pendenza verso S-O ed andamento NO-SE, che agisce da spartiacque tra diversi bacini e sottobacini idrografici.

Oltre il margine dell'area sono presenti modesti rilievi mentre all'interno prevalgono morfologie pianeggianti e settori a debole pendenza.

La spianata sommitale della dorsale morfologica entro cui è compresa l'area fa parte dell'estesa superficie di spianamento, caratteristica di questo settore della Sardegna, che interessa indifferentemente tutte le unità pre-basaltiche, la cui continuità è interrotta dalle incisioni vallive principali più recenti.

Nella zona in esame non sono stati rilevati indizi instabilità geomorfologica né aree potenzialmente inondabili.

L'habitus geomorfologico è piuttosto regolare e costituito da un paesaggio contraddistinto da versanti con limitate pendenze caratterizzati dall'affioramento sia dei depositi marnoso arenacei sia quelli afferenti alla frazione granulometricamente riferibili alle sabbie, sia alla frazione argillificata, mentre le ignimbriti saldate e tenaci e le lave danno luogo a versanti più acclivi caratterizzati da rotture di pendenze più accentuate.

Infatti, da un lato le litologie di tipo incoerente e/o pseudocoerente, rappresentate dai termini sabbiosi e/o argillificati, affiorano in corrispondenza di rilievi dall'andamento dolce, dall'altro quelle coerenti, ovvero le litologie piroclastiche tenaci e laviche, danno luogo a rilievi mediamente acclivi.

Questa marcata differenziazione di origine “strutturale” viene ulteriormente accentuata dalla cosiddetta “erosione selettiva”, ossia dalla differente risposta dei terreni agli agenti morfogenetici, che nel sistema morfoclimatico attuale sono dati essenzialmente dalle acque di precipitazione meteorica e da quelle di scorrimento superficiale.

Le litologie più coerenti vengono erose in misura più ridotta e tendono, quindi, a risaltare nei confronti delle circostanti litologie pseudo-coerenti o incoerenti.

Le condizioni di stabilità delle aree interessate dalla realizzazione degli aerogeneratori sono ottime in relazione alla favorevole giacitura dei terreni presenti, nonché alla mancanza assoluta di agenti geodinamici che possano in futuro turbare il presente equilibrio.

Non si ritiene, quindi, in questa fase, di eseguire verifiche di stabilità poiché, essendo le aree totalmente esenti da qualunque fenomenologia che possa modificare l'attuale habitus geomorfologico, non è possibile l'instaurarsi di alcun movimento franoso e, quindi, i calcoli farebbero registrare valori del coefficiente di sicurezza decisamente superiori ai minimi previsti dalla legge.

In relazione al PAI, per una migliore lettura delle carte allegate, di seguito sono riportate le definizioni di aree a differente pericolosità e rischio da frana in cui sono descritti i criteri di attribuzione alle singole classi, ovvero una sintesi di quanto previsto dalla "Relazione Generale e dalle Norme di Attuazione del PAI".

In particolare, le classi relative alla pericolosità da frana sono:

- ⇒ Hg0 - Aree non soggette a potenziali fenomeni franosi;
- ⇒ Hg1 - Aree a pericolosità da frana moderata;
- ⇒ Hg2 - Aree a pericolosità da frana media;

⇒ *Hg3 - Aree a pericolosità da frana elevata;*

⇒ *Aree a pericolosità da frana molto elevata.*

Mentre, le classi relative al rischio da frana sono:

❖ *Rg0 - Aree a rischio nullo;*

❖ *Rg1 - Aree a rischio moderato;*

❖ *Rg2 - Aree a rischio elevato;*

❖ *Rg3 - Aree a rischio molto elevato.*

Quanto detto prima sulla stabilità delle aree scelte per la realizzazione degli aerogeneratori è confermato dal Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) che esclude, a meno di qualche modesta interferenza con aree Hg1 e Hg2, le aree interessate dalle opere di produzione di energia da qualunque fenomenologia di dissesto.

Premesso che nelle aree PAI che interferiscono con le opere un attento rilevamento geomorfologico ha messo in evidenza la totale assenza di fenomeni geomorfologici attivi e l'assenza di agenti geodinamici che possano nel futuro modificare l'attuale habitus geomorfologico, le ipotizzate interferenze del PAI con le aree degli aerogeneratori in progetto riguardano:

- I siti di progetto della WTG8, WTG9, WTG10 e WTG11 che sono interessate da rischio da frana Rg1 (Moderato) con una pericolosità da frana Hg1 (moderata) e Hg2 (media);

Al riguardo, le NTA del PAI così recitano per le aree Hg1 2 Hg2:

“Disciplina delle aree di pericolosità media da frana (Hg2)

- 1. Fermo restando quanto stabilito negli articoli 23 e 25, nelle aree di pericolosità media da frana sono consentiti tutti gli interventi, le opere e le attività ammessi nelle aree di pericolosità molto*

elevata ed elevata da frana, alle medesime condizioni stabilite negli articoli 31 e 32.

2. *In materia di patrimonio edilizio sono inoltre consentiti esclusivamente:*

- a. gli interventi di ristrutturazione edilizia;*
- b. gli ampliamenti e le nuove costruzioni nei lotti interclusi dei centri edificati definiti ai sensi della normativa regionale o ai sensi dell'articolo 18 della legge n. 865/1971;*
- c. gli ampliamenti e le nuove costruzioni nelle aree libere di frangia dei centri edificati, con esclusione delle sole aree situate a monte delle costruzioni esistenti alle quote più alte dei versanti esposti alle frane;*
- d. i cambiamenti di destinazione d'uso nei centri edificati, nelle zone residenziali e nelle zone di verde privato, anche relativi ai fabbricati rurali esuberanti per la conduzione dell'azienda agricola, purché compatibili con le caratteristiche formali e strutturali preesistenti degli edifici;*
- e. i cambiamenti di destinazione d'uso al di fuori delle zone di cui alla precedente lettera d., con eventuali aumenti di superficie o volume e di carico urbanistico non superiori al 20%, a condizione di essere finalizzati a servizi pubblici e di pubblica utilità o ad attività terziarie ed attività diverse compatibili con le condizioni di pericolosità media da frana;*

- f. *in tutte le zone territoriali omogenee, con esclusione delle aree con vincoli di tutela ambientale e paesistica, i recuperi a fini residenziali, esclusivamente per le necessità dei conduttori dei fondi agricoli, di edifici ed annessi rustici esistenti alla data di approvazione del PAI e divenuti non idonei alla conduzione degli stessi fondi;*
 - g. *la realizzazione di fabbricati e impianti delle aziende agricole, pastorali e selvicolturali, nel rispetto delle norme urbanistiche vigenti per le zone agricole¹²⁷;*
 - h. *l'ampliamento degli immobili destinati ad esercizi alberghieri o di somministrazione di pasti e bevande;*
 - i. *gli ampliamenti e le nuove realizzazioni di insediamenti produttivi, commerciali e di servizi.*
3. *In materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico nelle aree di pericolosità media da frana sono inoltre consentiti esclusivamente:*
- a. *gli ampliamenti, le ristrutturazioni e le nuove realizzazioni di infrastrutture riferibili a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili o non delocalizzabili, a condizione che non esistano alternative tecnicamente ed economicamente sostenibili, che tali interventi siano coerenti con i piani di protezione civile, e che ove necessario siano realizzate preventivamente o contestualmente opere di mitigazione dei rischi specifici;*
 - b. *l'adeguamento degli impianti esistenti di depurazione delle acque e di smaltimento dei rifiuti;*
 - c. *gli interventi di edilizia cimiteriale.*

3bis All'interno delle aree estrattive, è inoltre consentito, negli ampliamenti e nelle nuove realizzazioni di impianti di lavorazione degli sfridi delle attività estrattive, anche il trattamento, smaltimento e recupero dei rifiuti derivanti da prospezione, estrazione da miniera o cava, nonché del trattamento fisico o chimico di minerali (CER 01) e dei rifiuti da costruzione e demolizione (CER 17).

4. Nelle aree di pericolosità media da frana resta comunque sempre vietato realizzare nuovi impianti di trattamento, smaltimento e recupero dei rifiuti. Tale divieto non opera per gli impianti di cui al precedente comma 3bis.

5. Lo studio di compatibilità geologica e geotecnica di cui all'articolo 25:

a. è richiesto per gli interventi di cui al comma 2 lettere a., b., c., e., g., h., i. Per gli interventi di cui al comma 2 lettera d., l'Autorità Idraulica potrà richiedere, a suo insindacabile giudizio, lo studio di compatibilità geologica e geotecnica o parte di esso, in relazione alla peculiarità e entità dell'intervento;

b. è richiesto per gli interventi di cui al comma 3, lettere a., b., c;

c. è richiesto per gli interventi di cui al comma 3 bis.

6. Le modifiche e gli ampliamenti relativi agli stabilimenti soggetti agli obblighi di cui agli articoli 6, 7 e 8 del decreto legislativo 17.8.1999, n. 334, "Attuazione della direttiva 96/82/CE relativa al controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose", eventualmente ubicati nelle

aree di pericolosità media da frana, sono decise secondo il criterio di precauzione applicando le modalità di valutazione di cui al punto 6.3 dell'Allegato al decreto del Ministro dei lavori pubblici 9.5.2001 "Requisiti minimi di sicurezza in materia di pianificazione urbanistica e territoriale per le zone interessate da stabilimenti a rischio di incidente rilevante"

Disciplina delle aree di pericolosità moderata da frana (Hg1)

- 1. Fermo restando quanto stabilito negli articoli 23 e 25, nelle aree di pericolosità moderata da frana compete agli strumenti urbanistici, ai regolamenti edilizi ed ai piani di settore vigenti disciplinare l'uso del territorio e delle risorse naturali, ed in particolare le opere sul patrimonio edilizio esistente, i mutamenti di destinazione, le nuove costruzioni, la realizzazione di nuovi impianti, opere ed infrastrutture a rete e puntuali pubbliche o di interesse pubblico, i nuovi insediamenti produttivi commerciali e di servizi, le ristrutturazioni urbanistiche e tutti gli altri interventi di trasformazione urbanistica ed edilizia, salvo in ogni caso l'impiego di tipologie e tecniche costruttive capaci di ridurre la pericolosità ed i rischi.*

Anche se, come detto prima, dai rilievi eseguiti durante i numerosi sopralluoghi effettuati non sono stati individuati all'interno di dette aree segni di fenomeni geodinamici di alcun tipo che possano far pensare alla presenza di dissesti, né alla possibilità di riattivazione di fenomeni morfogenetici quiescenti, né ad elementi di instabilità, ***il progetto prevederà la realizzazione di mirati interventi di ingegneria naturalistica nell'ambito areale di questi aerogeneratori al fine di migliorare comunque le***

condizioni di stabilità dei versanti circostanti, vedi planimetrie geomorfologiche di dettaglio sotto allegate.

Sono, inoltre, presenti modeste interferenze di aree a pericolosità di frana con il tracciato del cavidotto MT; ***a tal riguardo si specifica che il cavidotto, nei tratti interessati dalle aree PAI, corre lungo la strada esistente che non manifesta alcun segno di dissesto perché la realizzazione della strada con i suoi interventi ha reso del tutto stabile la sede stradale e, quindi, la realizzazione di questi brevi tratti di cavidotto non necessita la previsione di alcuna opera di consolidamento, né interferisce con il regolare e naturale deflusso idrico superficiale;*** in fase di progettazione esecutiva, per migliorare le condizioni della sede stradale, qualora l'Ente titolare dell'infrastruttura, lo riterrà utile si potranno concordare, come opera di compensazione, alcuni puntuali interventi di ingegneria naturalistica.

Da quanto detto sopra si evince che non ci sono elementi geomorfologici ostativi alla realizzazione dell'impianto ed il progetto è coerente con il PAI.

3. INDAGINI ESEGUITE

Come accennato nelle premesse, 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/installati:

- ⇒ n. 1 sondaggio meccanico a carotaggio continuo denominato "WTG1" di profondità pari a 30 mt. in corrispondenza dell'aerogeneratore WTG01;
- ⇒ n. 1 sondaggio meccanico a carotaggio continuo denominato "WTG6" di profondità pari a 30 mt. in corrispondenza dell'aerogeneratore WTG06;
- ⇒ n. 1 piezometro a tubo aperto in corrispondenza dell'aerogeneratore WTG01;
- ⇒ n. 1 piezometro a tubo aperto in corrispondenza dell'aerogeneratore WTG06;
- ⇒ n. 7 prove S.P.T. in foro;
- ⇒ n. 13 sondaggi di sismica passiva (tomografia) per definire le velocità delle onde sismiche V_s nei primi 30 m di profondità dal p.c. in corrispondenza degli aerogeneratori WTG01, WTG02, WTG03, WTG04, WTG05, WTG06, WTG08, WTG09, WTG10, WTG11, WTG12, WTG13 e della sottostazione di utenza.

3.1.INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le campagne geognostiche indicate nel capitolo precedente legate alla realizzazione del parco Lobadas, si sono sviluppate nel modo seguente:

- ❖ n. 2 sondaggi meccanici a carotaggio continuo della profondità pari a m. 30;
- ❖ n. 2 piezometri a tubo aperto;
- ❖ prelievo di 11 campioni rimaneggiati;
- ❖ n. 7 prove dinamiche discontinue (SPT) in foro.

Le carote estratte durante le perforazioni sono state alloggiare in apposite cassette catalogatrici e conservate in aree di proprietà del Committente.

Vengono di seguito riportati in dettaglio i dati emersi nel corso dei lavori e le caratteristiche dei mezzi impiegati.

Le campagne d'indagini geognostiche sono finalizzate a:

- ricostruire la stratigrafia di dettaglio;
- definire l'assetto geologico profondo della zona di progetto;
- accertare l'eventuale presenza di falde freatiche nei terreni interessati;
- caratterizzare da un punto di vista geologico-tecnico il substrato interessato delle opere di progetto.

Le perforazioni sono state eseguite mediante macchine perforatrici munite di centralina integrata ed operanti a rotazione ed avanzamento oleodinamico, aventi le seguenti caratteristiche:

Perforatrice Idraulica EGT Mod. MD 710.3:

- 1) *Coppia testa di rotazione 1500 Kgm;*
- 2) *Giri testa di rotazione 0 ÷ 360 min.;*

3) Tiro – Spinta 6.000 Kg.

Le perforazioni sono state eseguite adottando la tecnica della conservazione del nucleo per tutto lo spessore indagato, con l'ausilio di tubi carotieri semplici, doppi e con corone diamantate aventi diametro esterno pari 101,6 mm e diametro interno pari a 88,8 mm con lunghezza di 2,00 e 3,00 metri; tutte le manovre sono state eseguite con l'ausilio di aste di perforazione di diametro 76 mm, lunghezza 1,50 metri.

La stabilizzazione delle pareti del foro è stata ottenuta mediante l'uso di tubazione di rivestimento di acciaio di spessore standard.

Tutti i dati relativi a ciascuno dei sondaggi geognostici eseguiti sono riportati in dettaglio, in moduli stratigrafici, contenenti i seguenti dati:

- ❖ profondità;
- ❖ scala di rappresentazione;
- ❖ spessore degli strati;
- ❖ simbolo grafico;
- ❖ descrizione stratigrafica;
- ❖ profondità di prelievo dei campioni;
- ❖ profondità delle prove SPT;
- ❖ profondità del livello piezometrico;
- ❖ rappresentazione schematica del piezometro.

3.2.INDAGINI SPT

Nel corso dei sondaggi geognostici eseguiti ed utilizzati, sono state esperite, per la caratterizzazione geotecnica numerose prove dinamiche discontinue S.P.T. in foro, alle profondità indicate nei moduli stratigrafici.

Normativa di riferimento

Le prove sono state eseguite in avanzamento, facendo riferimento alla normativa ASTM n° D. 1586/68 (Standard Penetration and Split-Barrel Sampling of Soil).

Attrezzatura utilizzata

Le caratteristiche dell'attrezzatura utilizzata, in conformità alla normativa sopra richiamata, sono le seguenti:

- campionatore tipo Raymond, apribile longitudinalmente, diametro Φ est 50.0 mm e Φ int 35.0 mm, lunghezza utile 630 mm, munito di valvola a sfera alla sommità e con utensile di avanzamento costituito da scarpa o da punta conica, in funzione della composizione granulometrica dei livelli attraversati;
- massa battente di peso pari 63.5 Kg, con l'altezza di caduta uguale a 762 mm, munita di dispositivo automatico di sganciamento;
- aste collegate al campionatore aventi peso pari a 6.5 Kg/ml;
- centratore di guida e di irrigidimento installato tra la testa di battuta in sommità e il piano di campagna;
- differenza fra il diametro esterno delle aste e il diametro della tubazione di rivestimento non superiore a 60 mm.

Metodologia di esecuzione

Le prove SPT consistono nell'infliggere nel terreno alla base del preforo il campionatore per tre tratti consecutivi, ciascuno pari a 15 cm, rilevando il numero di colpi necessario per la penetrazione di ciascun tratto.

Il valore N, utile ai fini della parametrizzazione geotecnica, è dato dalla somma dei colpi impiegati per il 2° e il 3° tratto.

La prova può essere sospesa quando il numero dei colpi, per un tratto di 15 cm, superi il valore 50 (Rifiuto): in tale caso si annota la penetrazione in centimetri ottenuta con 50 colpi.

Prima di eseguire ciascuna prova è stata controllata la quota del fondo, confrontandola con quella raggiunta con la manovra di perforazione precedentemente effettuata.

Per evitare che l'attrito tra il terreno e le aste inserite all'interno del foro potesse influenzare il numero reale dei colpi utili per l'infissione, falsando l'interpretazione dei risultati, si è proceduto ad inserire progressivamente i tubi di rivestimento.

Negli appositi spazi dei moduli stratigrafici presentate di seguito sono riportati per esteso i risultati di tutte le prove S.P.T. eseguite.

Interpretazione dei risultati ottenuti

La prova penetrometrica dinamica consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di un apposito utensile di dimensioni e caratteristiche standard, fatto avanzare nei terreni per mezzo di un dispositivo a percussione.

Durante l'infissione viene registrato il numero di colpi N necessario per ottenere un determinato avanzamento del campionatore.

La prova consiste nell'infiggere nel terreno l'utensile per tratti consecutivi, rilevando il numero di colpi (N) necessario per la penetrazione di ciascun tratto di 15 cm.

Il valore di NSPT è dato dalla somma dei colpi ottenuti per due tratti (N30).

La prova viene sospesa quando il numero di colpi N, per un tratto di 15 cm, supera 50. In tal caso si annota la penetrazione (in cm) ottenuta con i 50 colpi.

Per poter poi correlare opportunamente i valori forniti dalle prove ai parametri geotecnici dei terreni occorre tenere in debita considerazione fattori (quali granulometria del terreno, la presenza dell'acqua, le tensioni efficaci in sito) che influenzano i valori della resistenza della penetrazione.

Per quanto riguarda gli aspetti relativi alle tensioni efficaci in sito si è ritenuto fin dagli anni Cinquanta (Terzaghi e Peck, 1948; Meyerhof, 1956) che le tensioni citostatiche fossero distrutte dalle azioni dinamiche create dalle prove e che pertanto i valori di NSPT non fossero influenzati dalla profondità della prova.

Successivamente evidenze sperimentali in sito (Lacroix e Horn, 1973) e in laboratorio (Gibbs e Holtz, 1957; Schultze, 1965; Bienagousky e Marcuson, 1976) hanno confermato che le tensioni efficaci hanno un'influenza fondamentale sul valore di NSPT.

Infatti, da prove penetrometriche SPT eseguite (Jamiolkowski e Pasqualini, 1974) dal piano di campagna sono stati ottenuti i valori di NSPT superiori a quelli ottenuti sullo stesso sito dopo aver eseguito uno scavo di circa 8 m; i valori inferiori di quest'ultimo sono dovuti all'effetto della diminuzione delle tensioni efficaci.

Peck e Bazaraa sulla base di correlazione dei risultati di un numero notevole di prove SPT e di prove di carico su piastra hanno suggerito di correggere i valori sperimentali NSPT mediante le seguenti espressioni:

$$N'SPT = 4 N SPT/1 + 4,097 \sigma \text{ per } \sigma \geq 0,732 \text{ kg/cmq}$$

$$N'SPT = 4 N SPT/3,25 + 1,024 \sigma \text{ per } \sigma < 0,732 \text{ Kg/cmq}$$

in seguito, Peck (1974) ha apportato delle modifiche, suggerendo di tenere conto delle influenze delle tensioni efficaci attraverso il coefficiente di correzione C_n ; per cui si ha:

$$N' SPT = C_n N SPT$$

$$\text{con } C_n = 0,77 \log 20/\sigma$$

σ = la tensione efficace agente alla profondità alla quale è eseguita la prova.

Nella figura sono riportate le correlazioni suggerite nel "Design Manual for soil Mechanics, Foundations and Earth Structures", cui sono sovrapposti i risultati di correlazioni fatte da Houston (1960), Fletcher (1965), Shioi e Fukuni (1982).

I parametri di deformabilità possono ricavarsi da correlazioni suggerite da Mitchell e Gardner (1975) riportate nei grafici allegati ove sono confrontati i valori del modulo confinato (M_o) con i valori $N' SPT$.

Deuver (1982) osserva che il modulo di Young E e il valore di $N SPT$ sono legati da una relazione espressa dall'equazione:

$$E = S1 + N' SPT + S2$$

ove i valori $S1$ ed $S2$, costanti, sono riportati nella Tabella con riferimento a diversi tipi di terreno.

Per quanto riguarda il problema dell'influenza della presenza della falda d'acqua sui valori di NSPT, questo è stato affrontato da diversi autori (Schultze e Menzenbach, 1961; Schultze e Melzer, 1965; Gibbs e Holtz,

1957; Terzaghi e Peck, 1948; Peck e Bazaraa, 1969) con molta disparità di risultati e di giustificazione teoriche.

Prove eseguite in laboratorio (Gibbs e Holtz, 1957; Schultze e Melzer, 1965) conducono al risultato che la presenza dell'acqua fa diminuire i valori di NSPT (a parità di densità relativa, tensioni di confinamento e granulometria) e tale diminuzione è più risentita nelle sabbie grossolane che nelle sabbie fini. Tuttavia, gli stessi Gibbs e Holtz sembrano molto perplessi sulla credibilità di questi risultati.

Conclusioni analoghe, anche se in misura molto meno pronunciata, sono ottenute da Schultze e Menzenbach, 1961, dall'analisi di prove condotte in situ.

Terzaghi e Peck ritengono che gli unici tipi di sabbie che risentono della presenza della falda d'acqua siano quelle fine e/o limose molto compatte e per esse quando il valore di NSPT misurato risulta superiore a 15, consigliano la seguente espressione correttiva:

$$N' = 15 + 0,5 (NSPT - 15) \text{ con } NSPT \geq 15,$$

il che equivale a prendere, come rappresentativi del terreno di fondazione, valori minimi di quelli misurati.

L'indagine "in situ" più sistematica per lo studio degli effetti dell'immersione delle sabbie molto fini (si intendono per sabbie molto fini quelli aventi diametro effettivo compreso tra 0,1 e 0,05 mm) e/o limose sui valori di NSPT è quella di Bazaraa (1967) e Peck e Bazaraa (1969) che hanno studiato i risultati ottenuti in fori di sondaggi situati in 11 differenti zone, mediando i valori di NSPT per una profondità di circa 1 metro sopra e sotto il livello della falda.

Risulta che, mediamente, il valore di NSPT sotto la falda è circa 1,7 volte superiore a quello ottenuto sopra di essa e che l'aumento è più

pronunciato nel caso di sabbie sciolte che nel caso di sabbie dense. Tali autori suggeriscono che la densità relativa di sabbie molto fini e/o limose immerse, in cui sia stato misurato il valore di NSPT, possa essere uguale a quella di una sabbia asciutta la cui resistenza alla penetrazione è data da:

$$N' = 0,6 \text{ NSPT per NSPT qualunque.}$$

In generale, la maggior parte degli autori sono concordi nel trascurare l'effetto sui valori di NSPT della presenza della falda d'acqua nelle sabbie fini, medie e grossolane e di tenerne invece conto tramite la (1) nelle sabbie molto fini e/o limose compatte.

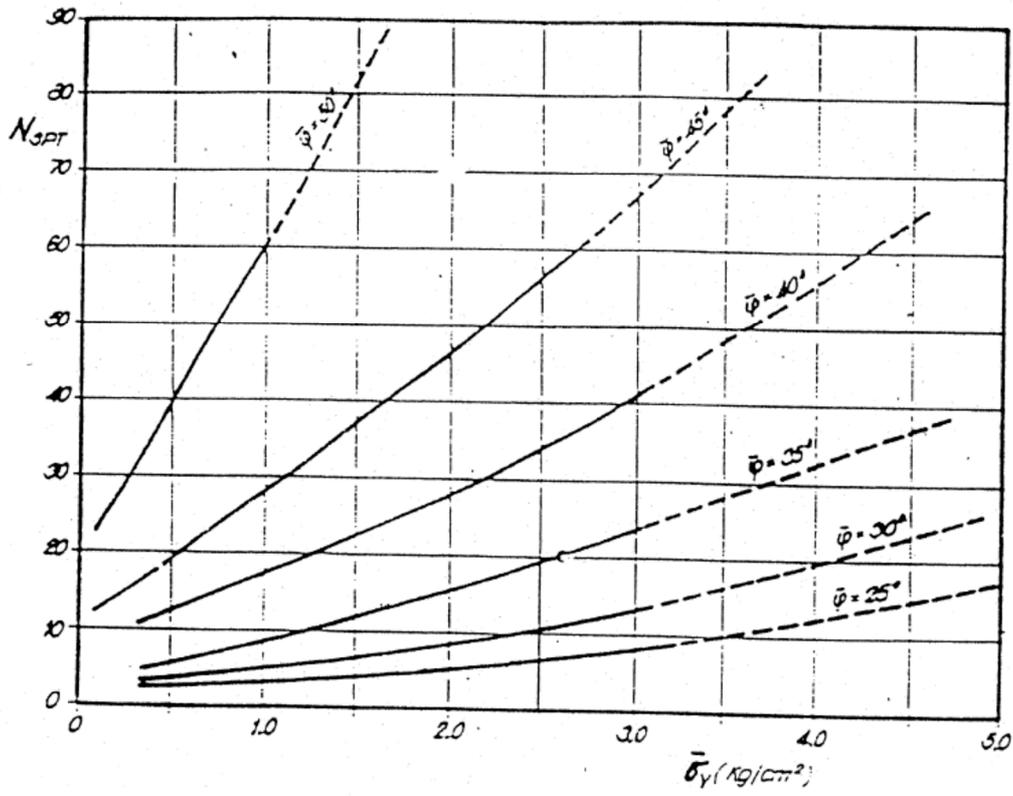
Per la valutazione della densità relativa "Dr" si può fare riferimento alle correlazioni empiriche di Terzaghi-Peck, riportate in grafico.

L'angolo d'attrito interno si può stimare tramite altre correlazioni empiriche come, ad esempio, quella di Peck-Hanson-Thorborn o di Meyerof riportate anche esse in grafico.

Una ulteriore correlazione tra i risultati delle prove penetrometriche dinamiche e le caratteristiche di resistenza meccanica dei terreni è stata proposta da De Mello (1973).

<i>Sondaggio</i>	<i>da m a m</i>	<i>N1</i>	<i>N2</i>	<i>N3</i>
WTG6	7.00 - 7.45	27	35	43
//	8.50 - 8.95	36	47	R
//	12.00 - 12.45	36	45	46
//	21.00 - 21.45	22	27	33
//	24.00 - 24.45	25	25	28
//	27.00 - 27.45	23	29	33
//	30.00 - 30.45	29	36	39

Tabella Riepilogativa delle prove S.P.T.

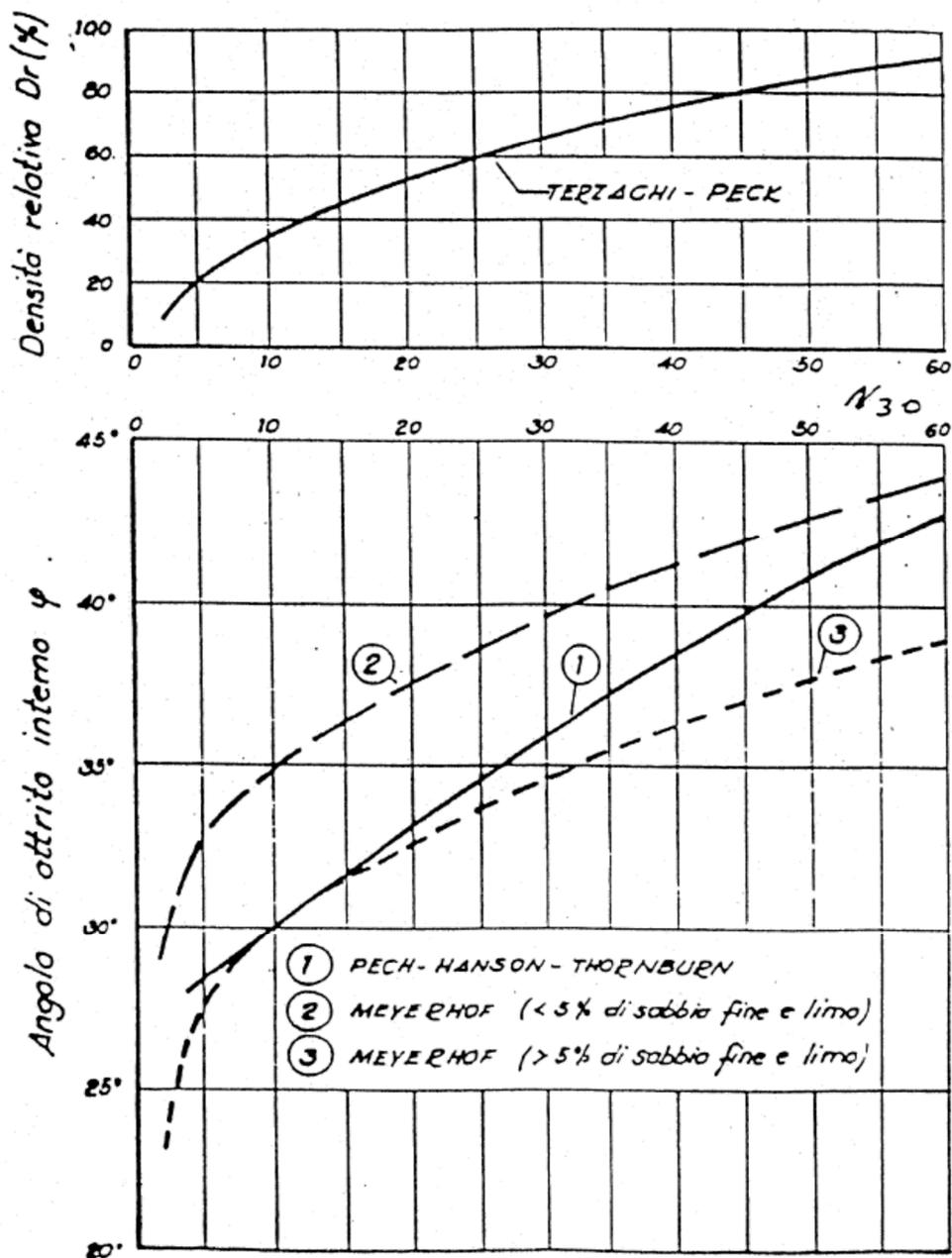


- CORRELAZIONE $\bar{\varphi} = f(N_{SPT}, \bar{\sigma}_\gamma)$
SECONDO DE MELLO (1971)

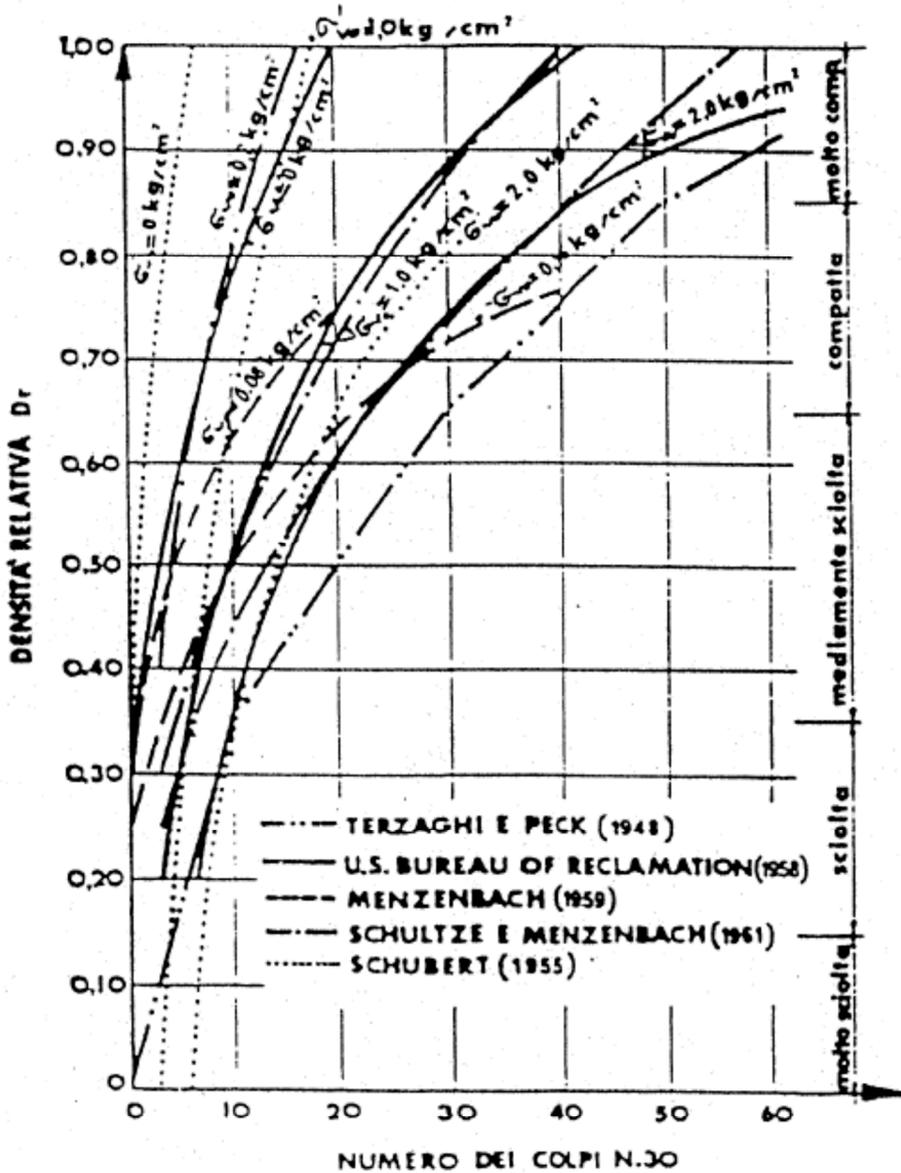
Correlazione secondo De Mello

STANDARD PENETRATION TEST

CORRELAZIONI FRA N, DENSITA' RELATIVA E ANGOLO D'ATTRITO
(TERRENI SABBIOSI)



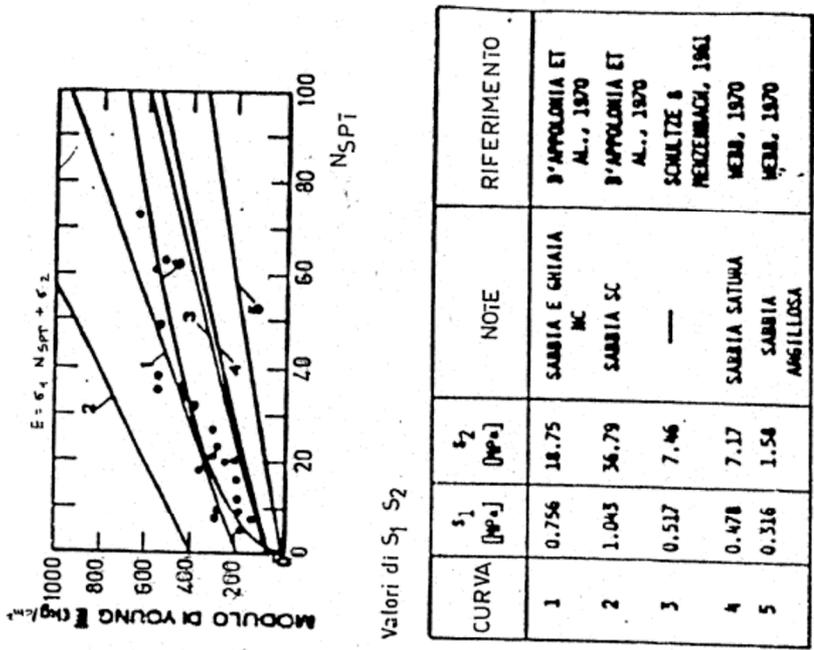
Correlazioni fra densità relativa e angolo d'attrito



G_0 - tensione naturale efficace

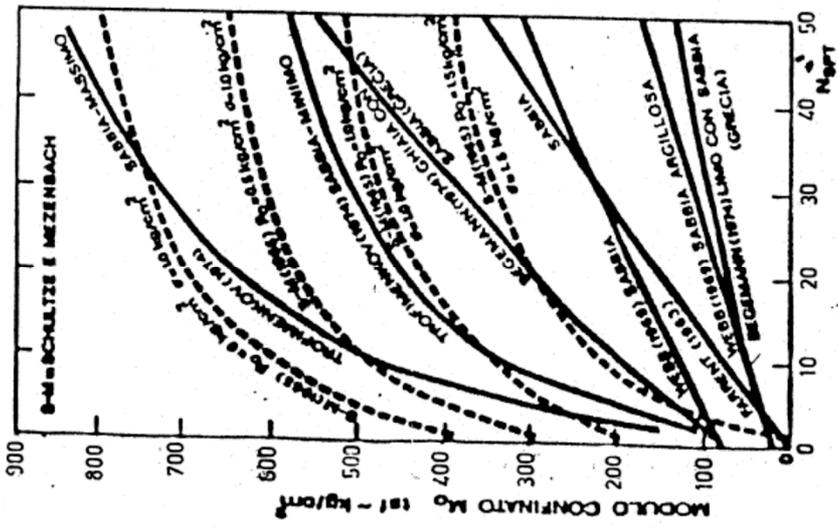
- Densità relativa in funzione del numero di colpi del S.P.T. (Schültze).

Densità relativa in funzione del numero di colpi di S.P.T.



Valori di s_1 s_2

b) RELAZIONI $E-N_{5PT}$ (DENVER, 1962)



c) RELAZIONI M_0-N_{30} (MITCHELL E GARDNER, 1975)

Correlazione fra N_{30} e il modulo confinato M_0 ed il modulo di Young

-Correlazione tra N_{30} e il modulo confinato M_0 e il modulo di young E

3.3.PROVE DI LABORATORIO

Sui campioni inviati al laboratorio sono state effettuate le analisi e le prove di laboratorio necessarie per definire sia i parametri fisici che quelli meccanici.

Nello specifico sono state svolte le seguenti prove:

- ❖ Descrizione macroscopica del campione;
- ❖ Determinazione del contenuto d'acqua naturale per essiccamento in stufa;
- ❖ Determinazione del Peso dell'Unità di Volume mediante fustella tarata di diametro pari a 38 mm;
- ❖ Determinazione della composizione granulometrica mediante stacciatura per via umida del materiale trattenuto allo staccio n° 200 della serie ASTM ($\varnothing=0,075$ mm); per il passante è stata eseguita la determinazione tramite il metodo del densimetro;
- ❖ Prova di compressione monoassiale, su 7 campioni;
- ❖ Prova di taglio diretto del tipo consolidata drenata (CD), su n. 2 campioni (CR1 e CR3);
- ❖ Prova di compressione edometrica (CE), su un campione (CR1).

La determinazione del contenuto d'acqua (**W_n**) è stata realizzata secondo una media effettuata su tre prove, sottoponendo una quantità nota del campione ad essiccamento in stufa a 110°.

La normativa di riferimento è la ASTM D-2216 e CNR-UNI 10008.

Il Peso di Volume è stato calcolato mediante una fustella di acciaio a volume noto, secondo una media effettuata su tre prove. La normativa di riferimento è la BS 1377: 1990. Per i campioni di roccia è stato calcolato come rapporto tra la massa ed il volume del provino. Questo è stato ricavato,

in seguito a rettifica e spianatura dei provini, mediante misura delle lunghezze a volume noto (Norma BS 1377: 1990 - Part.2 - Racc. ISRM 1972);

L'analisi granulometrica è stata realizzata tramite vagliatura meccanica per la porzione di terra avente grana di dimensione superiore a 0.075 mm, invece per il materiale avente diametro inferiore viene riservata l'analisi per sedimentazione con il metodo del densimetro.

La serie di setacci utilizzata è ASTM D 422 ed UNI 8520.

Per il materiale fine è stata eseguita una procedura per via umida secondo la normativa ASTM D 2217 - Metodo A, seguendo le indicazioni di Bowles (1978).

La prova di compressione monoassiale è stata eseguita utilizzando una pressa oleodinamica da 250 kN. È stata eseguita senza determinazione delle deformazioni. Non sono stati determinati i moduli di Poisson e di Young, secondo la normativa ASTM D 7012-10; Racc. ISRM 1972;

La prova di taglio è stata realizzata con l'apparecchio di Casagrande su tre provini quadrati aventi altezza di 2 cm e diametro di 6 cm; la fase di consolidazione si è protratta per 24 h, sino al raggiungimento della consolidazione secondaria.

La velocità di rottura è stata scelta tenendo conto del tempo di consolidazione del materiale di prova; sono stati analizzati i tempi relativi al 50% ed al 100% della consolidazione, valori che hanno permesso di risalire alla velocità necessaria per raggiungere la rottura utilizzando le formule proposte da Bowles (1970), Ladd (1971) e Gibson ed Henkel (1954).

I carichi applicati durante la fase di consolidazione sono stati compresi tra circa 98 e circa 389 KN/m² (= tra circa 1 e 4 Kg/cm²).

La normativa di riferimento è la ASTM D 3080-72.

La prova edometrica CE é stata realizzata su un provino cilindrico avente altezza pari a 2 cm e diametro di 5 cm. I carichi sono stati applicati eseguendo sette gradini di carico e tre di scarico protratti per un numero massimo di 24 ore, fino ad una pressione massima di circa 1568 KN/m² (= 16 Kg/cm²).

I dati ottenuti sono stati riportati in diagrammi Cedimenti (Δ/l_0) / log Tempo (T); Indice dei vuoti (e)/log Pressione effettiva (s).

La normativa di riferimento é la ASTM D-2435.

Nel capitolo relativo alle caratteristiche litotecniche dei terreni, le sono state riportate le seguenti tabelle riassuntive:

- ⇒ tabella riepilogativa delle caratteristiche fisiche dei campioni;
- ⇒ tabella riepilogativa delle caratteristiche meccaniche dei campioni.

3.4. INDAGINI DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA (TROMOGRAFIA)

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

In particolare, sono state eseguite n. 13 misure di microtremore ambientale, con un tromografo digitale progettato specificatamente per l'acquisizione del rumore sismico.

Di seguito vengono riportati alcuni cenni riguardo la metodologia utilizzata.

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

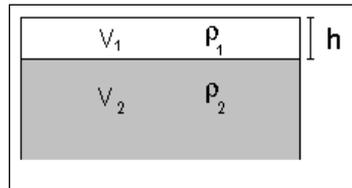
I primi studi su questa tecnica sono da attribuire a Kanai (1957) e da allora diversi metodi sono stati proposti per estrarre utili informazioni sul sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in sito.

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

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

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

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



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

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

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

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

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

mentre quella relativa alle onde S è

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

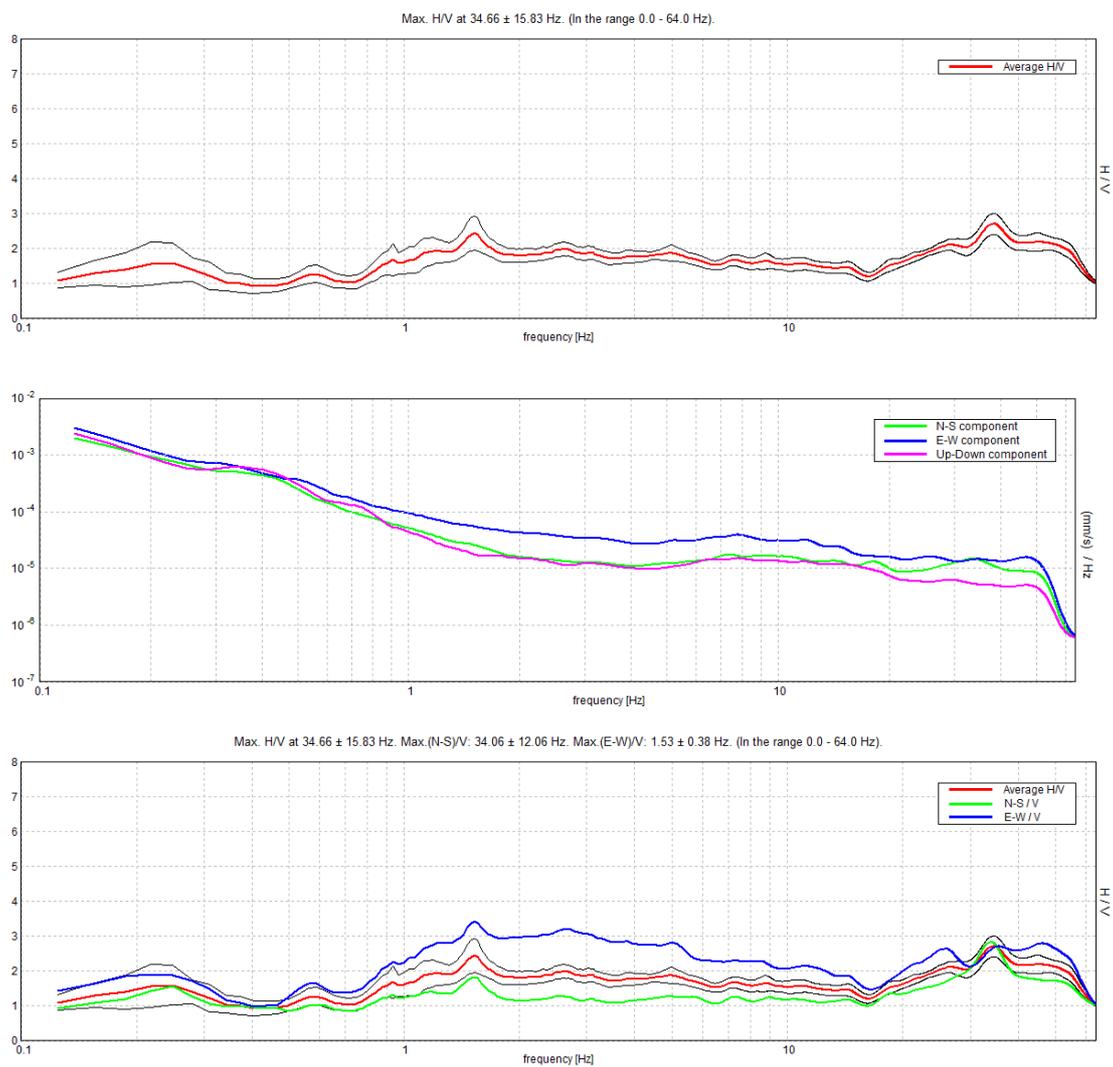
- ✓ V_0 è la velocità al tetto dello strato;
- ✓ ad un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.);
- ✓ ν la frequenza fondamentale di risonanza.

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

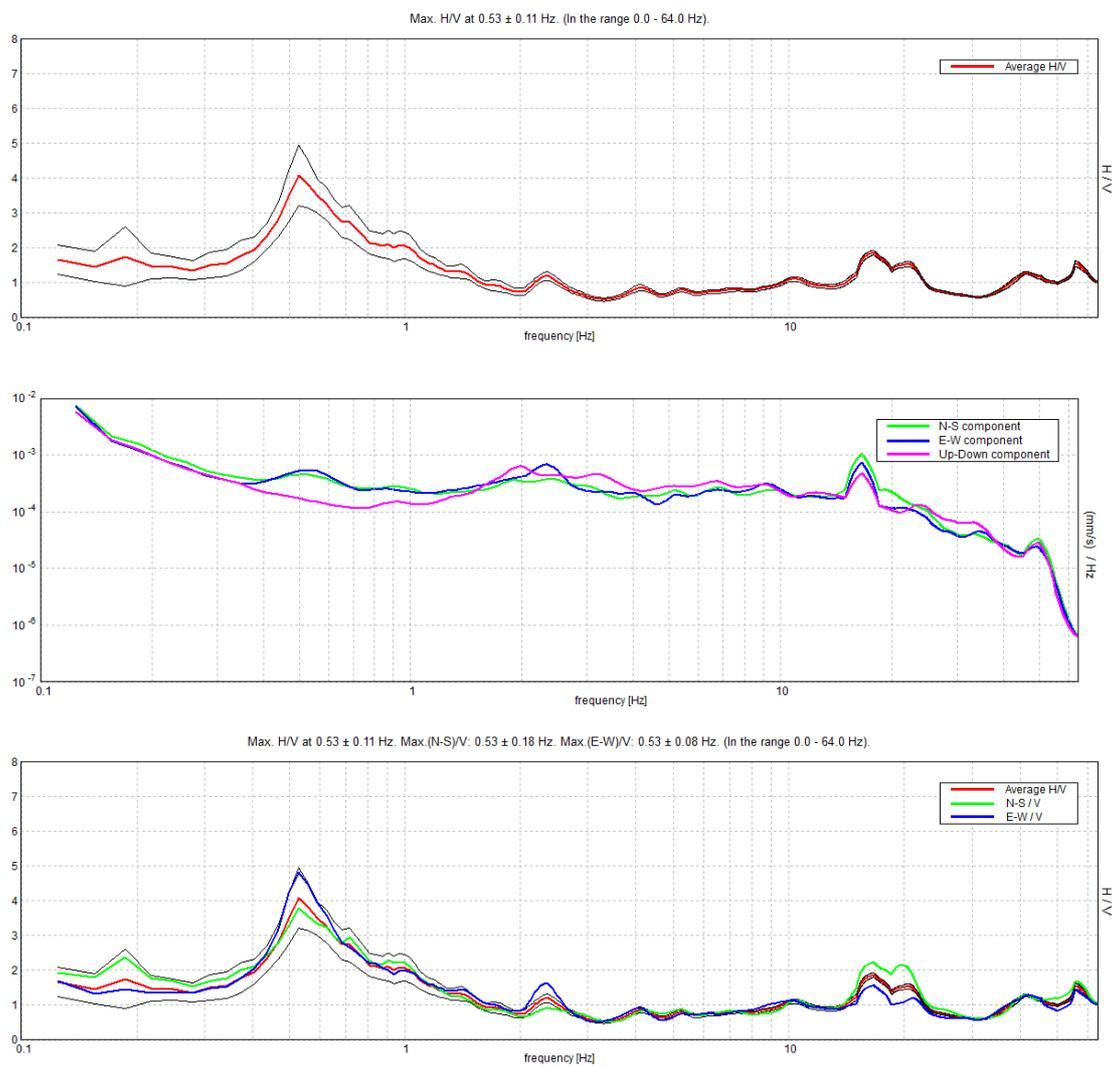
Le ubicazioni dei sondaggi che sono stati eseguiti sono visibili nelle planimetrie allegate mentre di seguito sono riportate, in dettaglio, le interpretazioni dei dati sperimentali ottenuti.

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 .

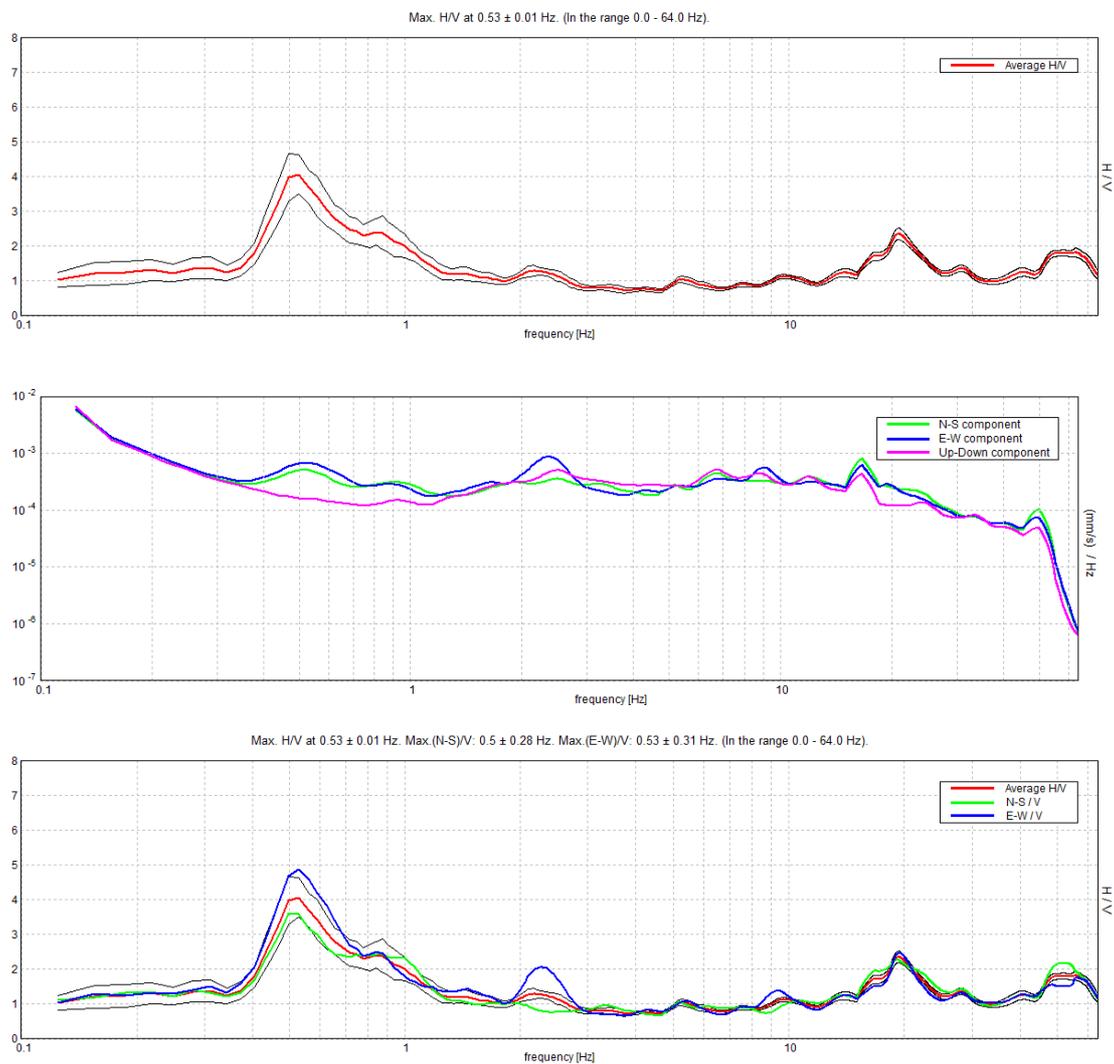
Sondaggio tromografico T1



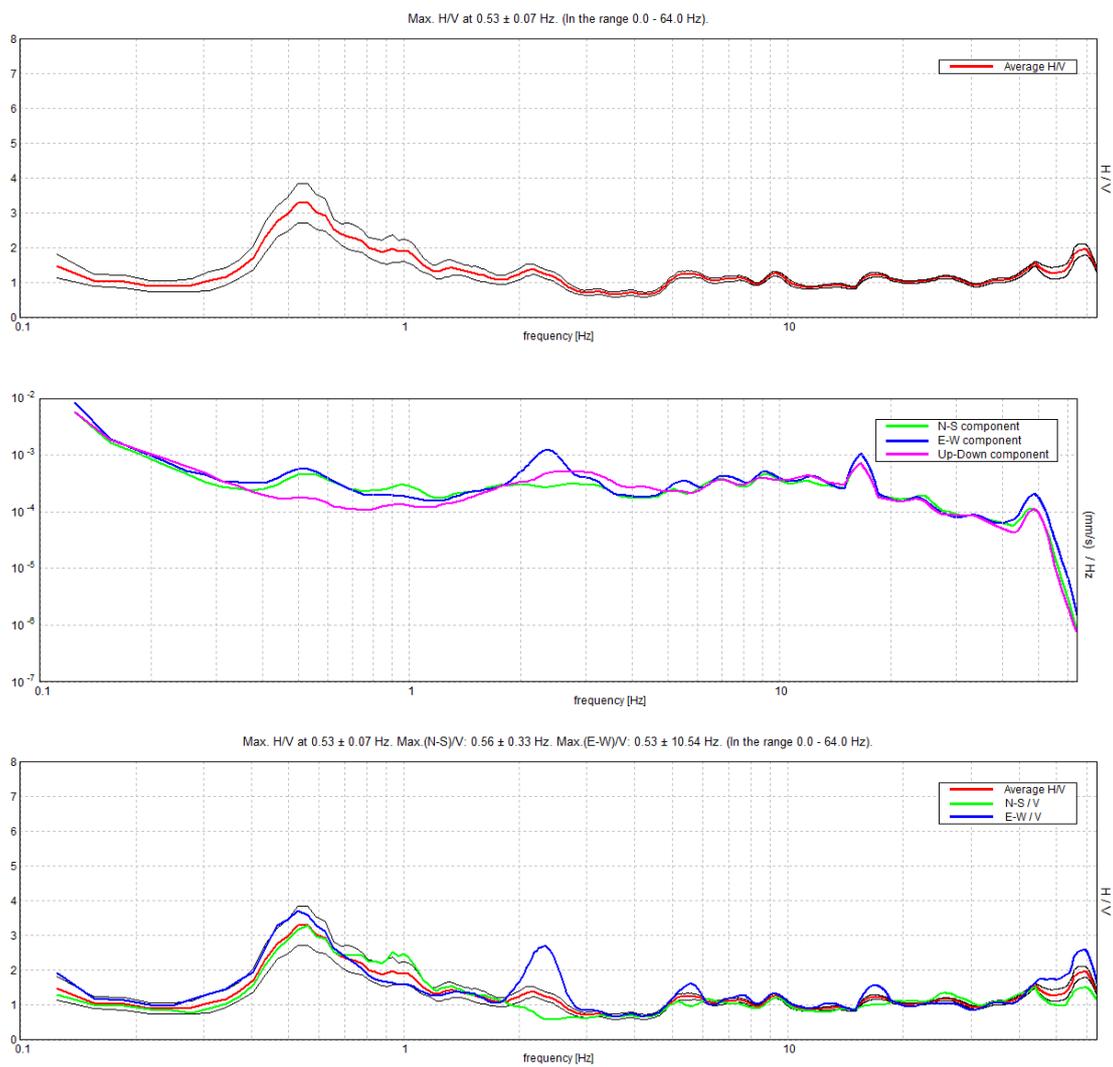
Sondaggio tromografico T2



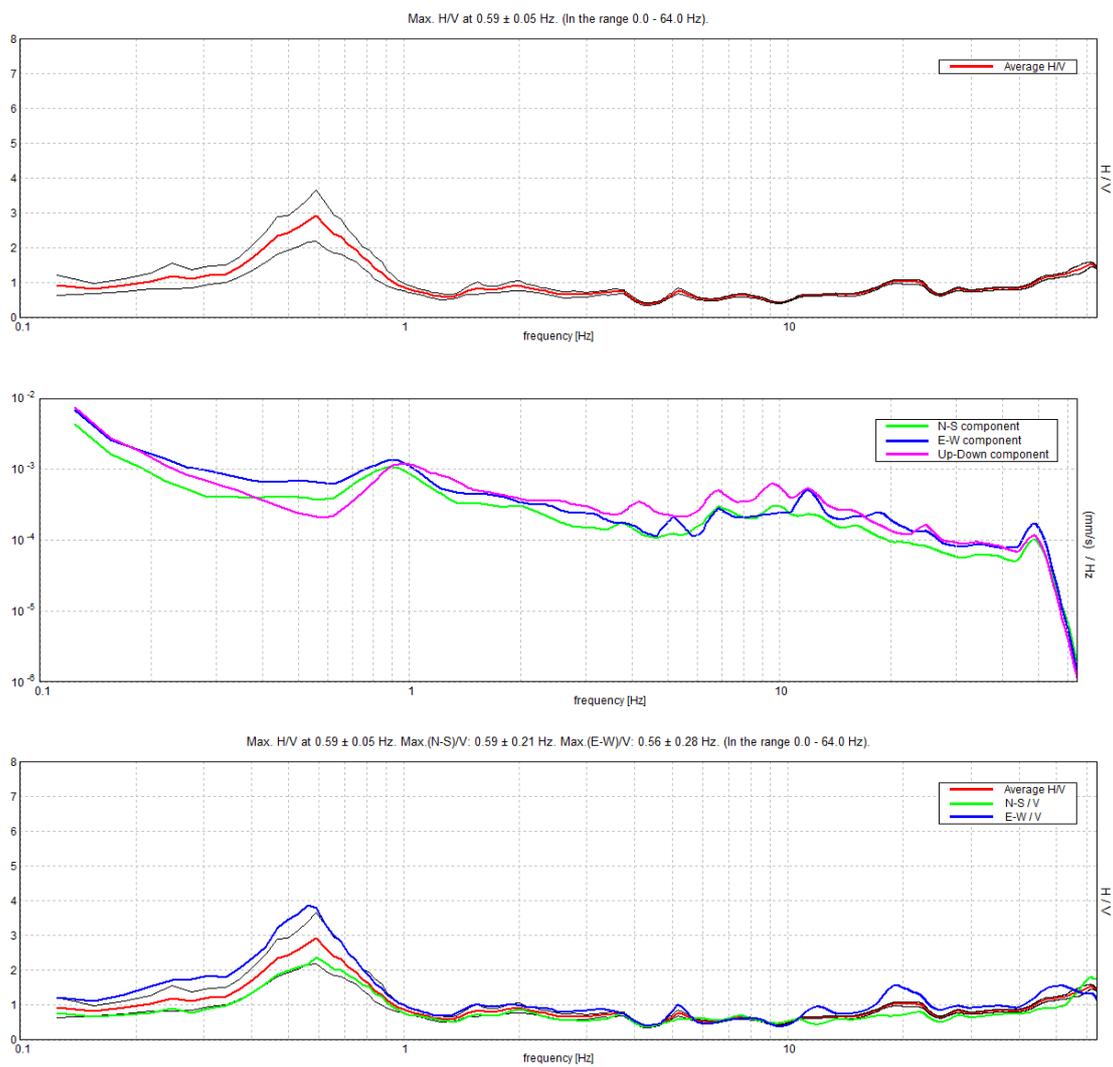
Sondaggio tromografico T3



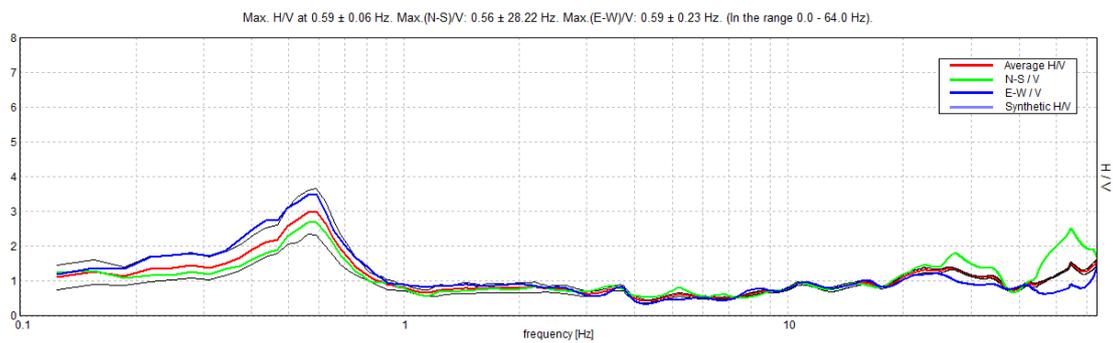
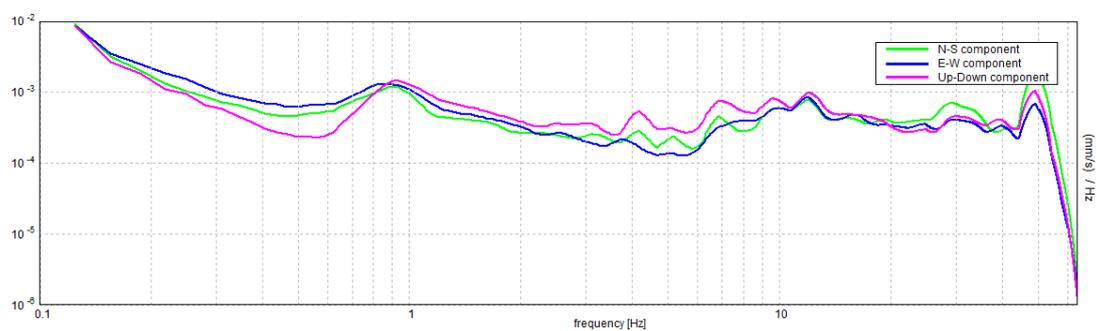
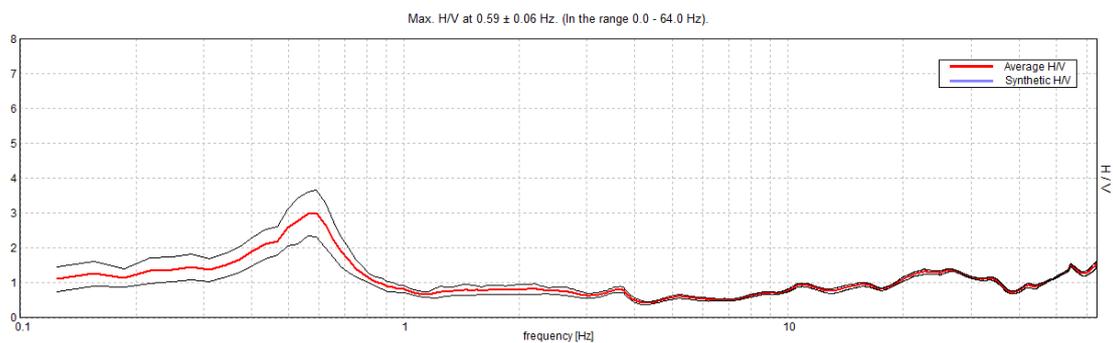
Sondaggio tromografico T4



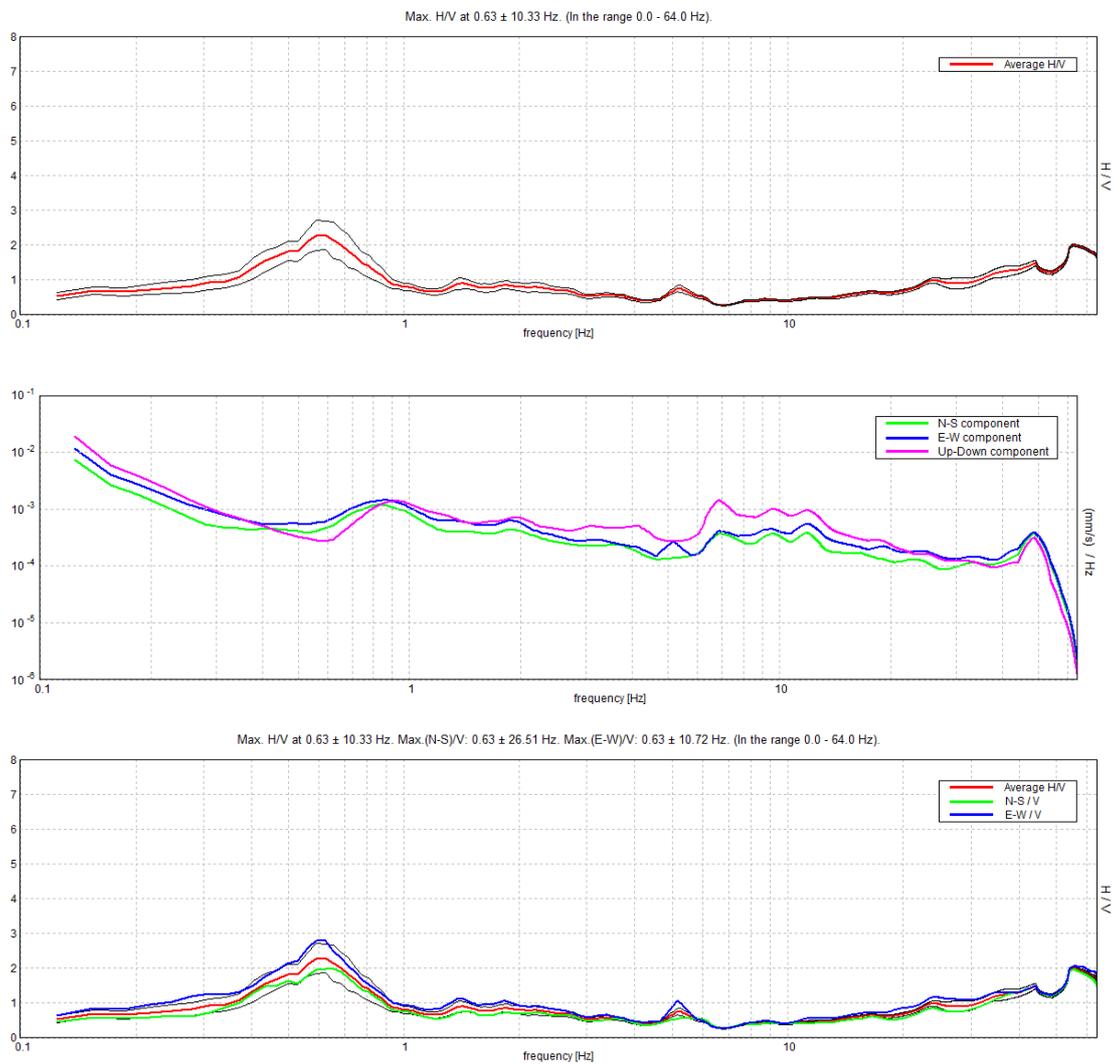
Sondaggio tromografico T5



Sondaggio tromografico T6

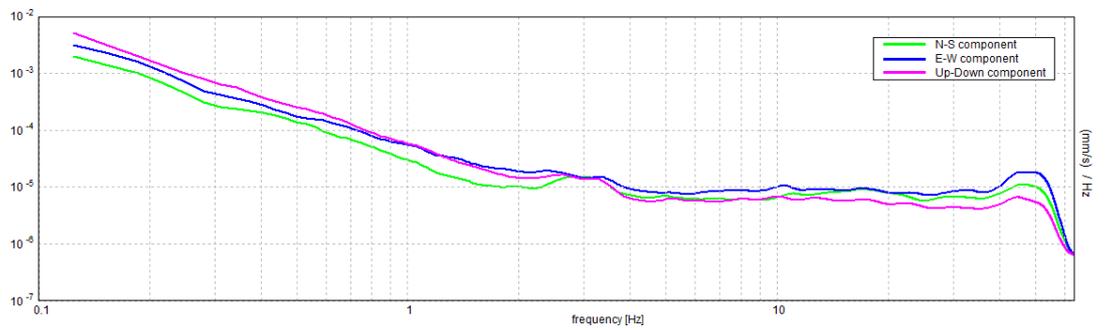
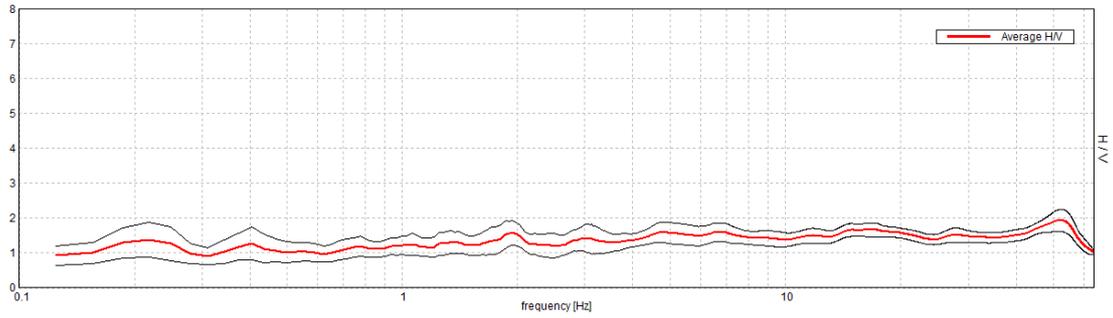


Sondaggio tromografico T7

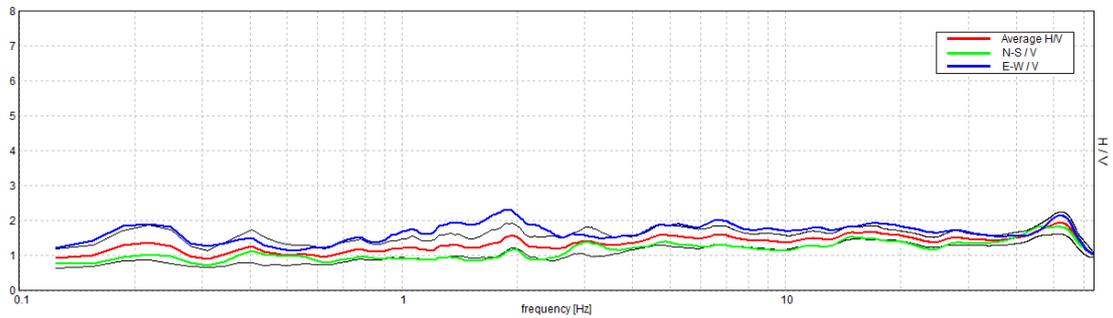


Sondaggio tromografico T8

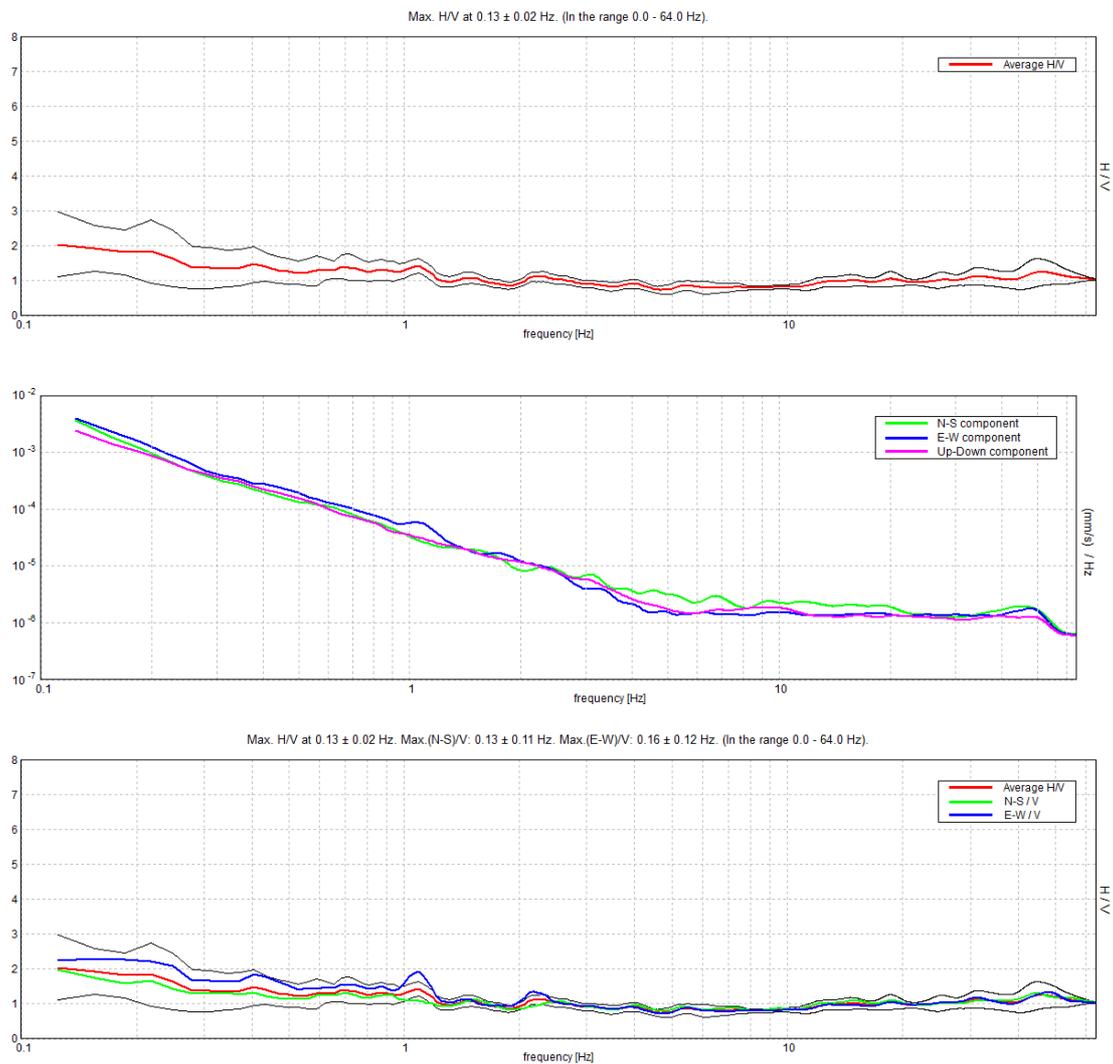
Max. HV at 52.16 ± 13.11 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



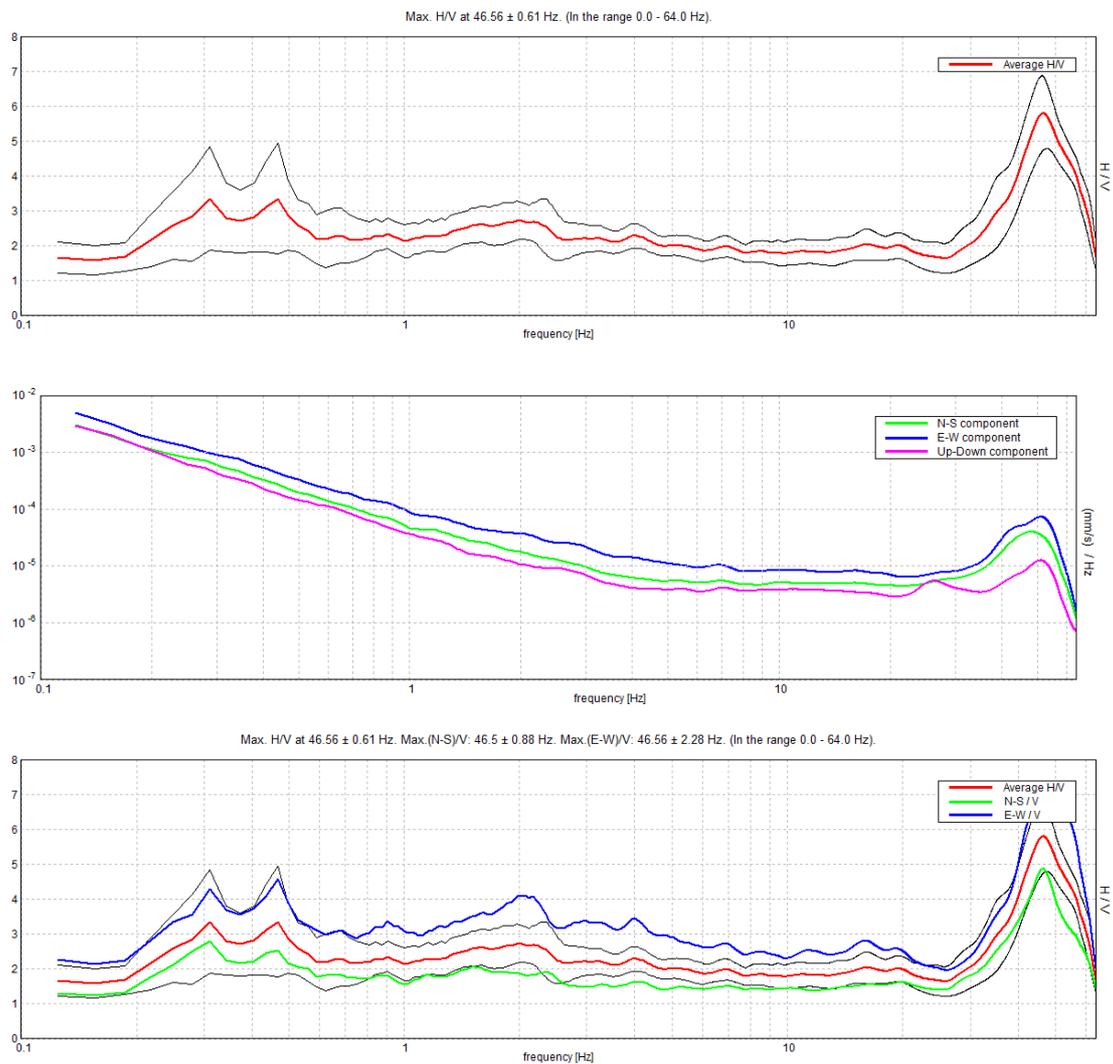
Max. HV at 52.16 ± 13.11 Hz. Max.(N-S)/V: 46.44 ± 5.01 Hz. Max.(E-W)/V: 1.88 ± 10.25 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



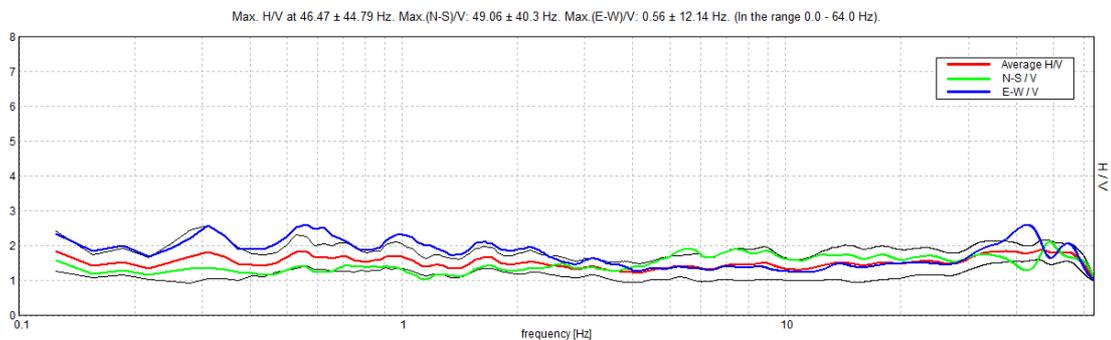
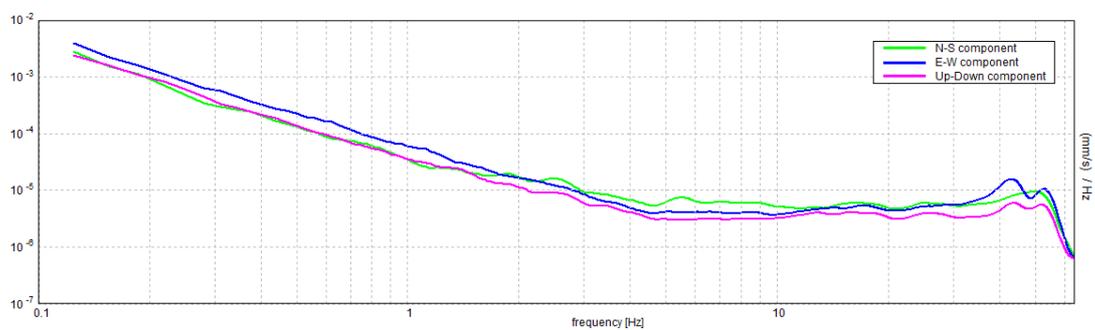
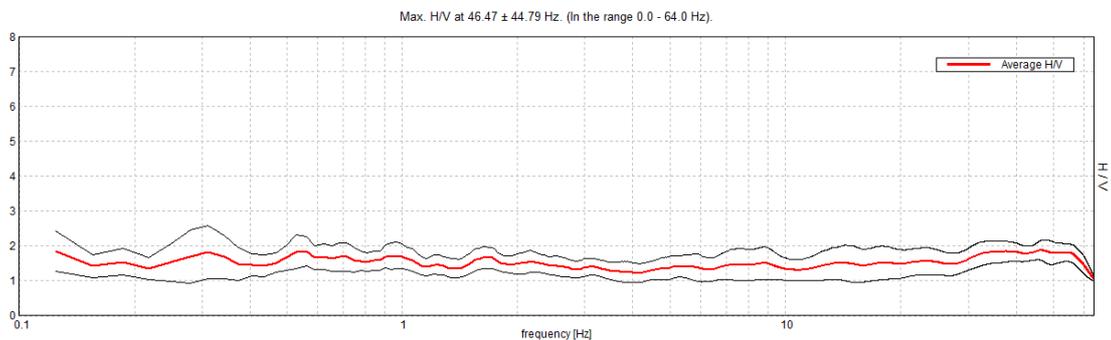
Sondaggio tromografico T9



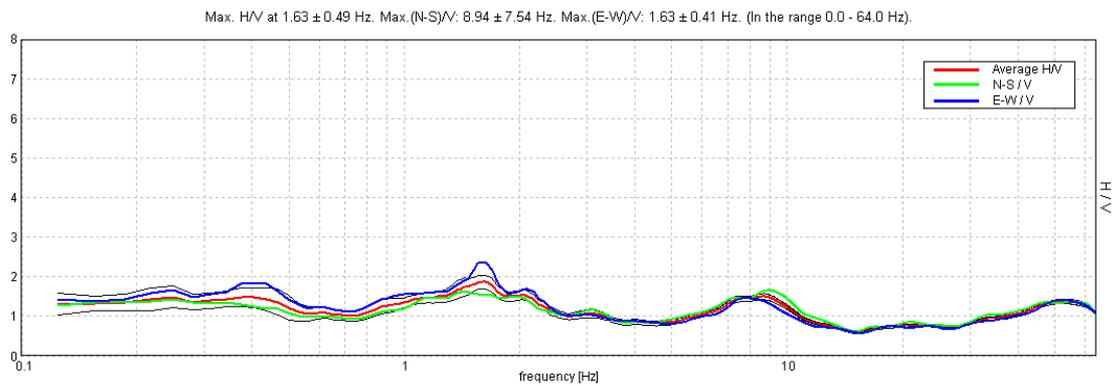
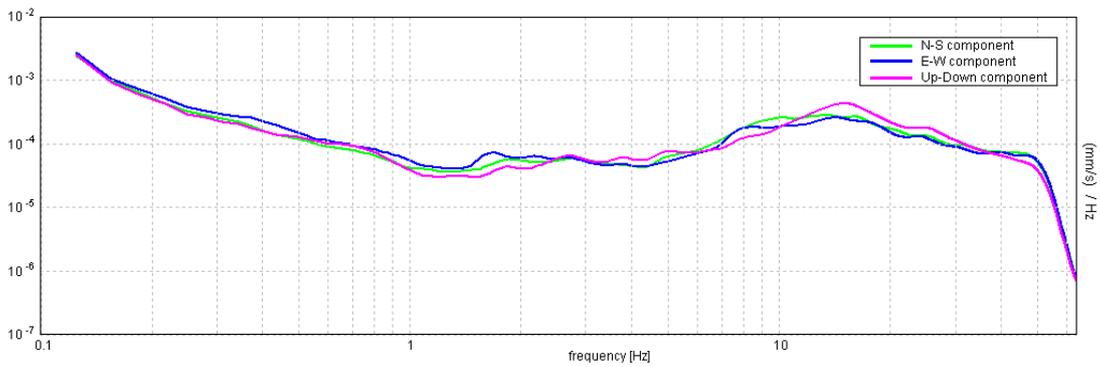
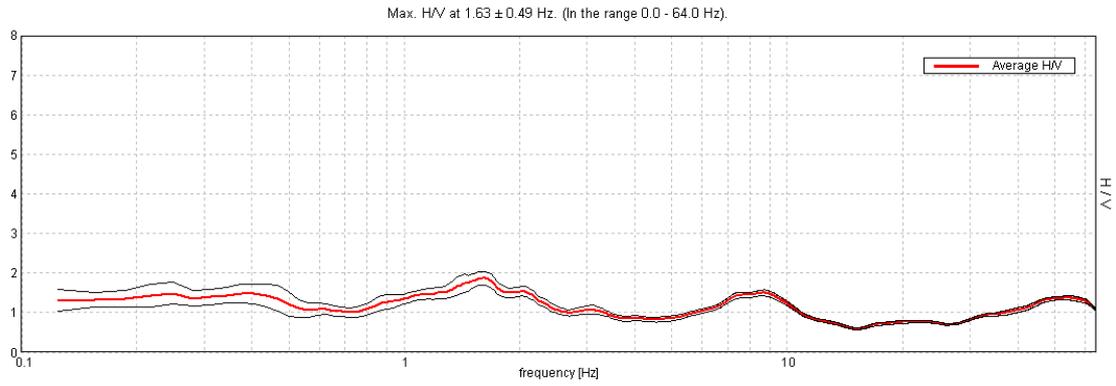
Sondaggio tromografico T10



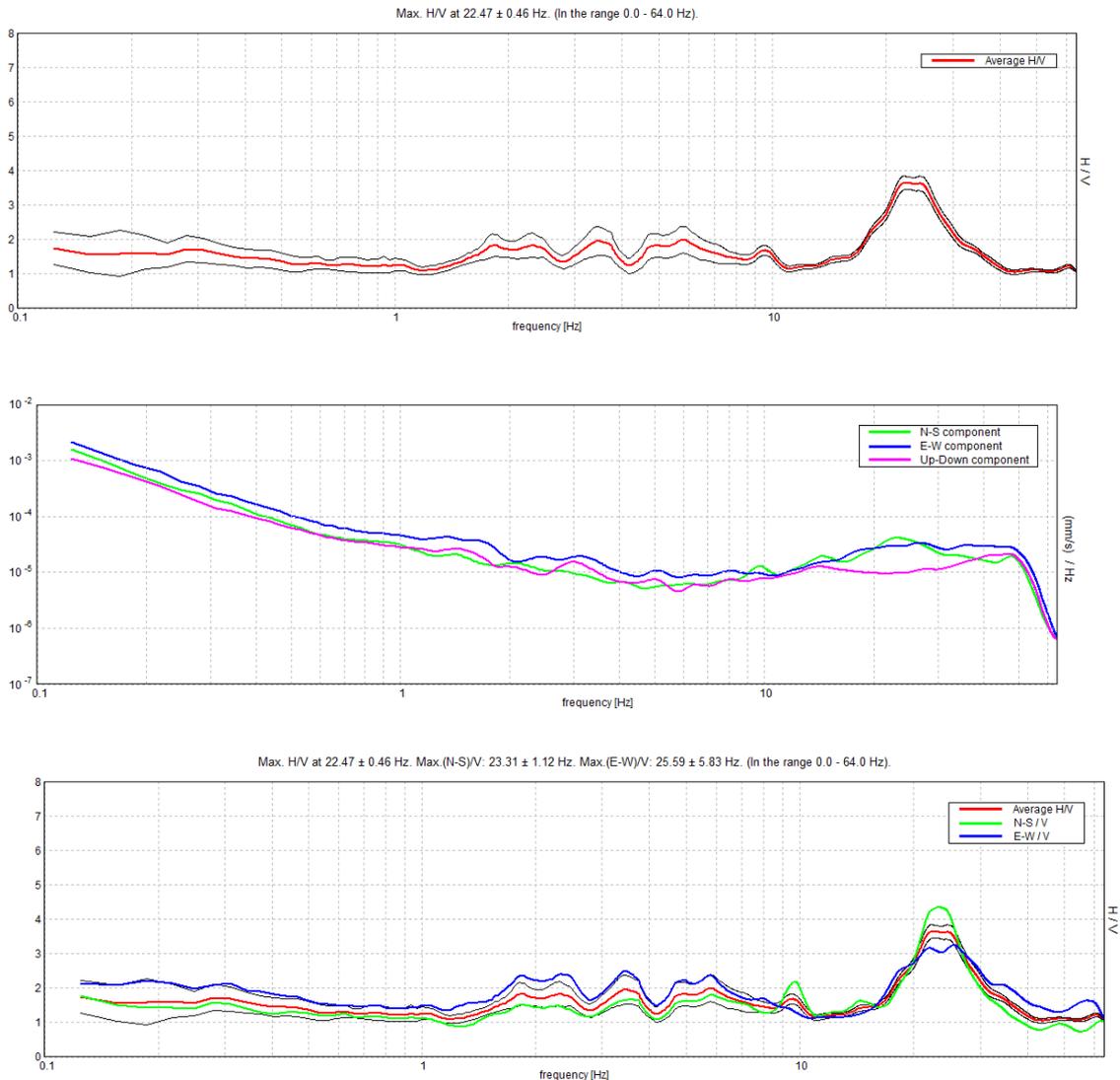
Sondaggio tromografico T11



Sondaggio tromografico T12



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.

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

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

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

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

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

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

e

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

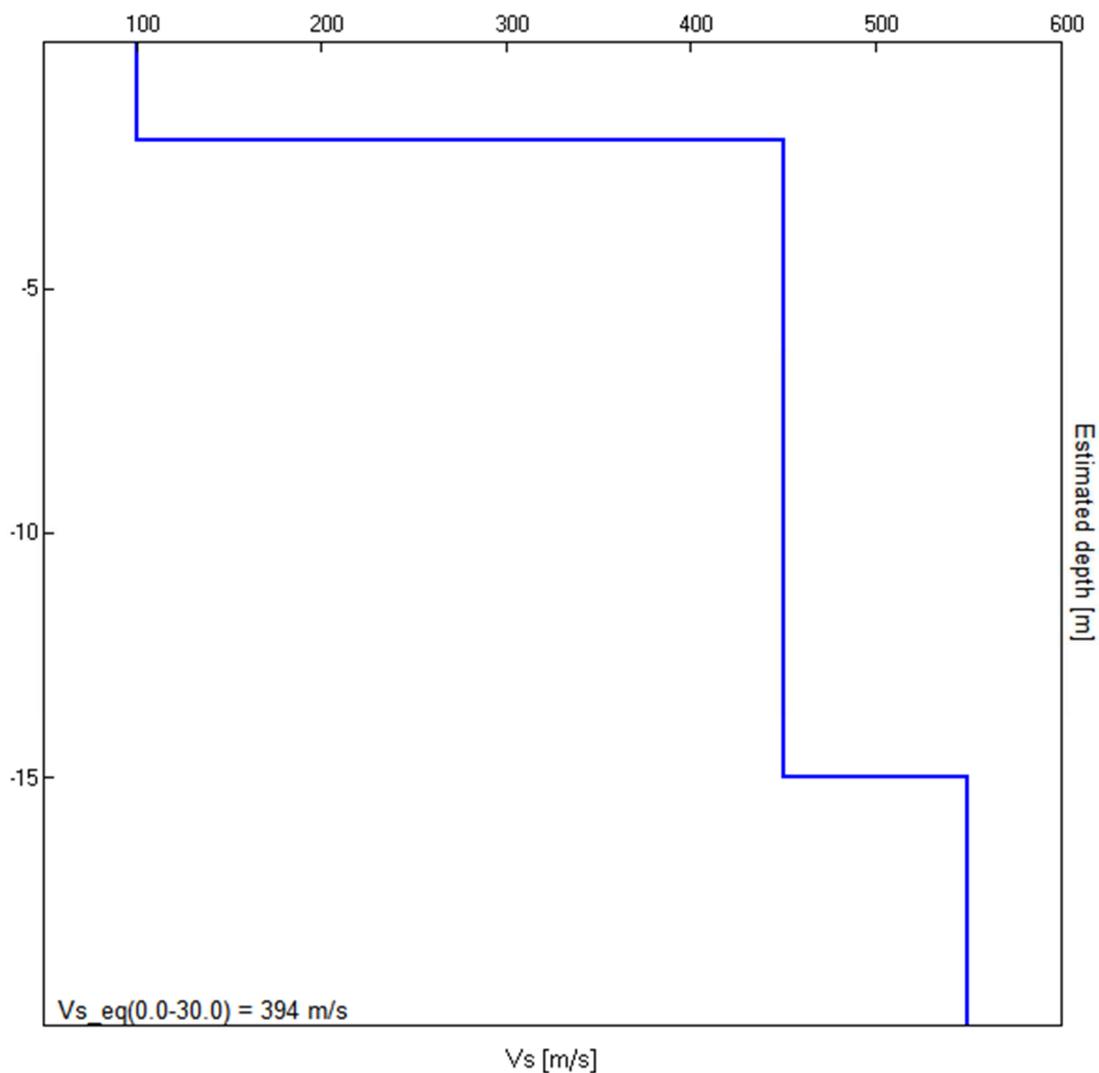
da cui si ricava

$$V = 4 f_r h$$

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

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di
un parco eolico denominato "Lobadas" nei territori comunali di Isili, Serri, Escolca e
Mandas (SU)

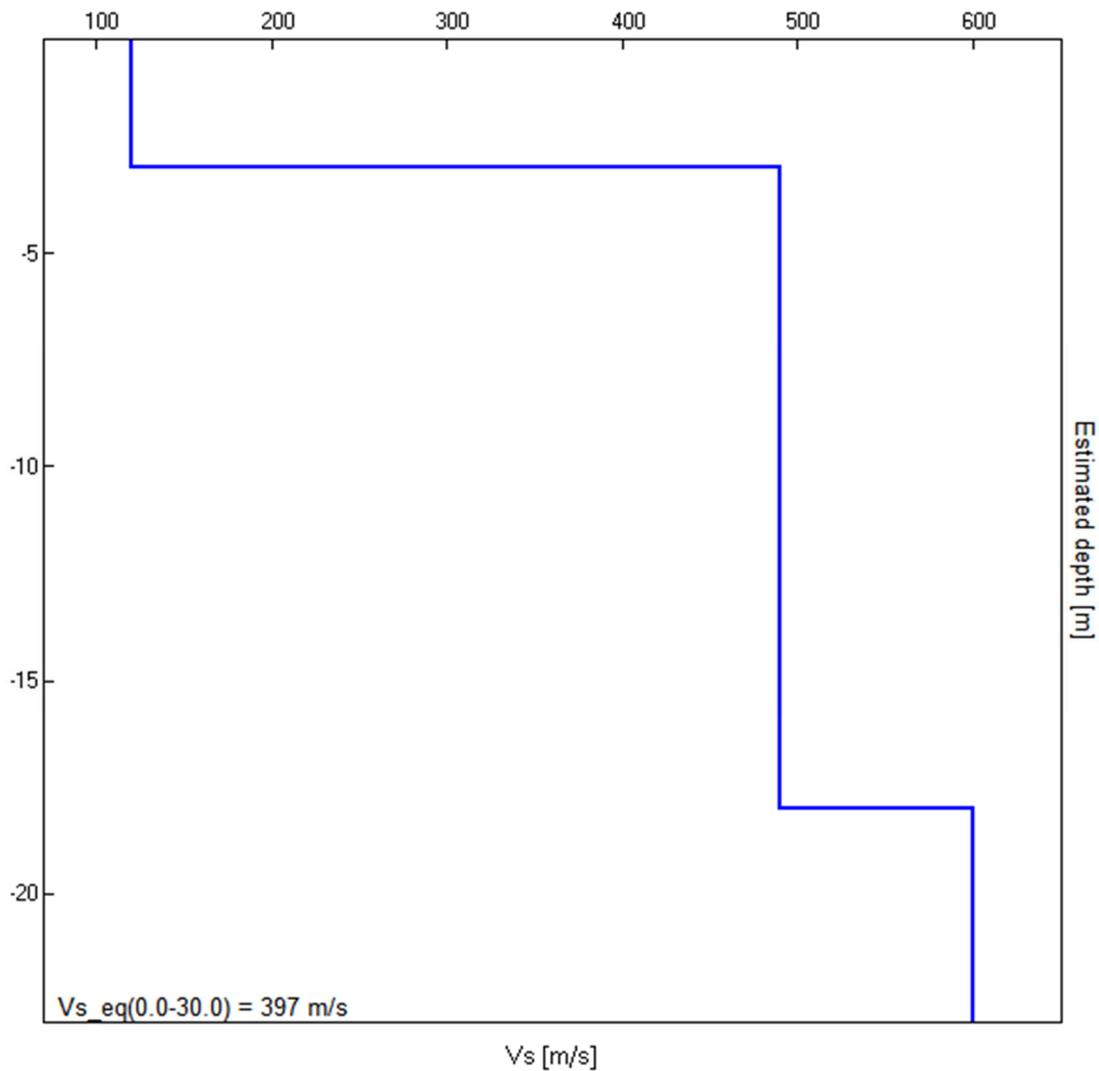
Profondità (m)	Vs (m/s)	<i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</i>
0.00-2.00	100	B (Vs,eq = 394 m/s)
2.00-15.00	450	
15.00-30.00	550	



Interpretazione sondaggio tromografico T1

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di
un parco eolico denominato "Lobadas" nei territori comunali di Isili, Serri, Escolca e
Mandas (SU)

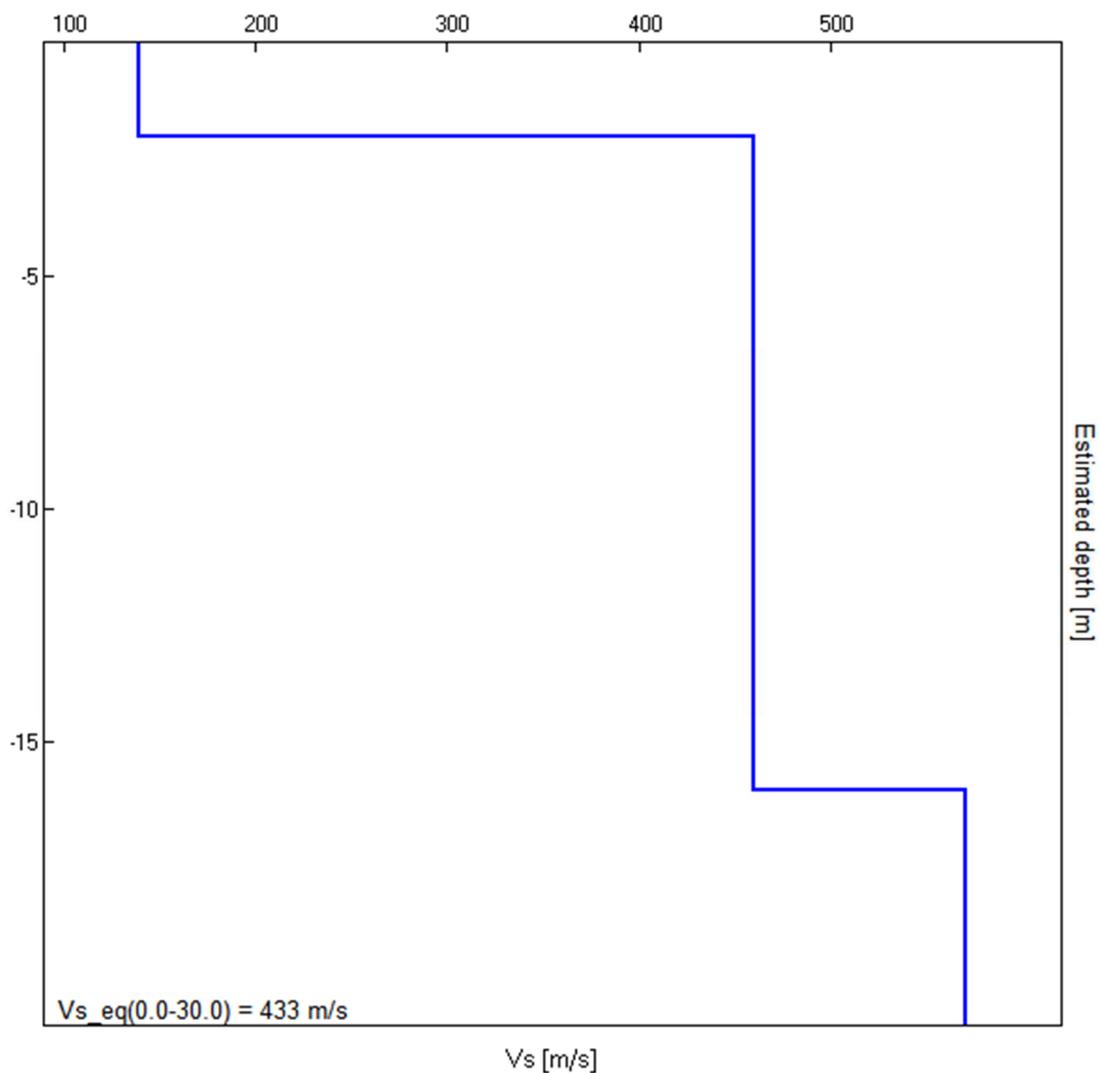
Profondità (m)	Vs (m/s)	<i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</i>
0.00-3.00	120	B (Vs,eq = 397 m/s)
3.00-18.00	490	
18.00-30.00	600	



Interpretazione sondaggio tromografico T2

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di
un parco eolico denominato "Lobadas" nei territori comunali di Isili, Serri, Escolca e
Mandas (SU)

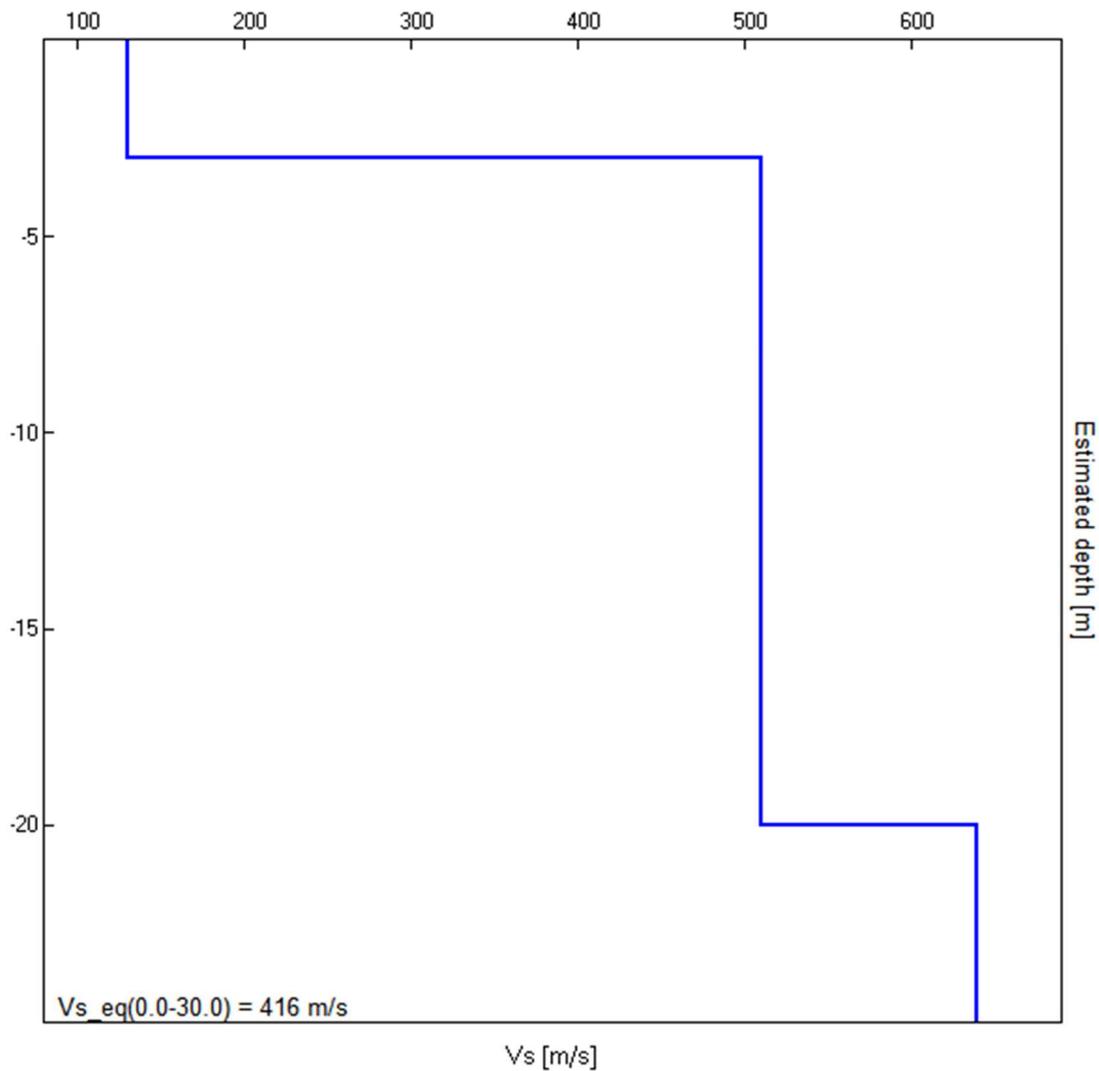
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-2.00	140	B (Vs,eq =433 m/s)
2.00-16.00	460	
16.00-30.00	570	



Interpretazione sondaggio tromografico T3

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di
un parco eolico denominato "Lobadas" nei territori comunali di Isili, Serri, Escolca e
Mandas (SU)

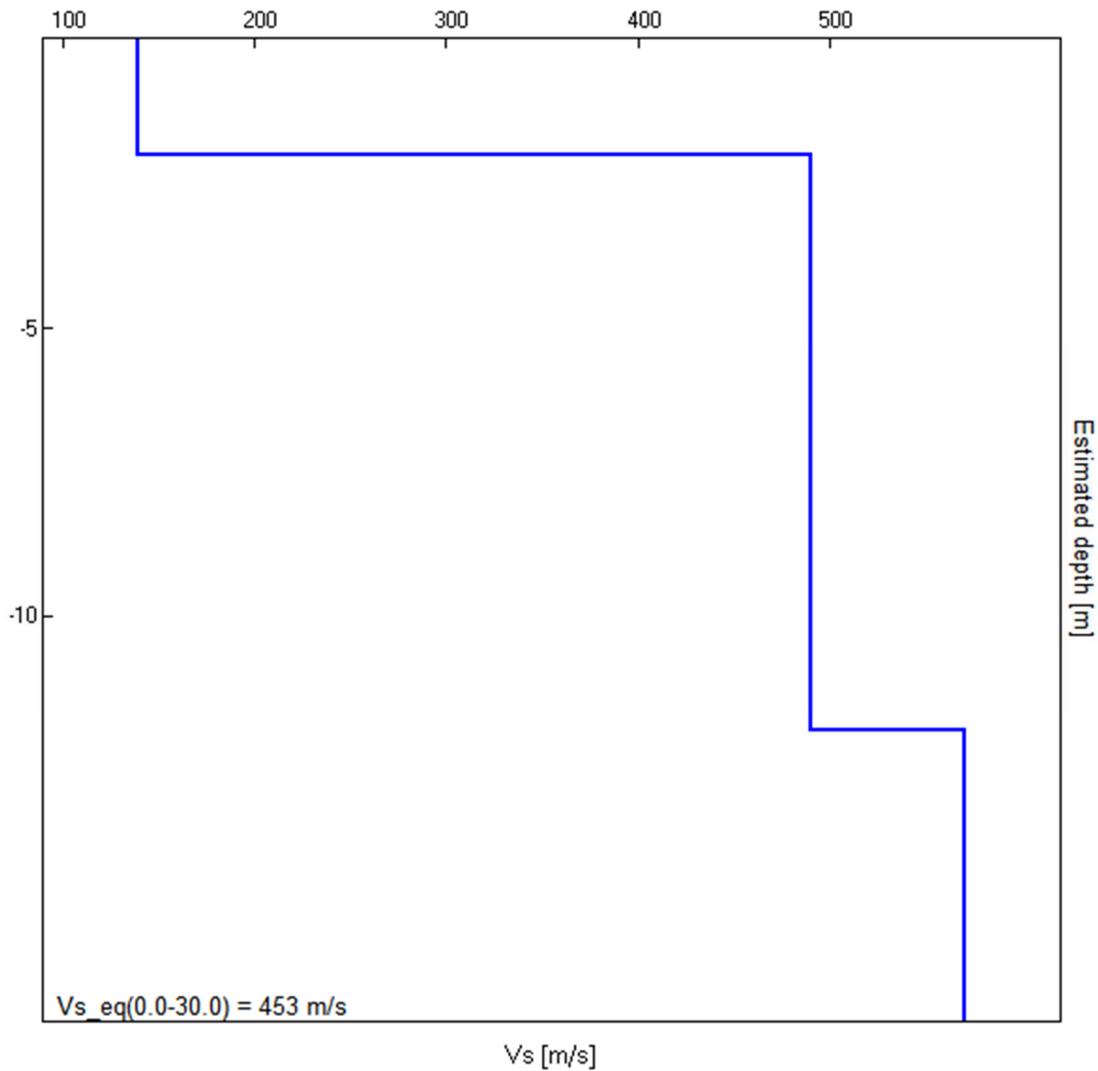
Profondità (m)	Vs (m/s)	<i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</i>
0.00-3.00	130	B (Vs,eq = 416 m/s)
3.00-20.00	510	
20.00-30.00	640	



Interpretazione sondaggio tromografico T4

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di
un parco eolico denominato "Lobadas" nei territori comunali di Isili, Serri, Escolca e
Mandas (SU)

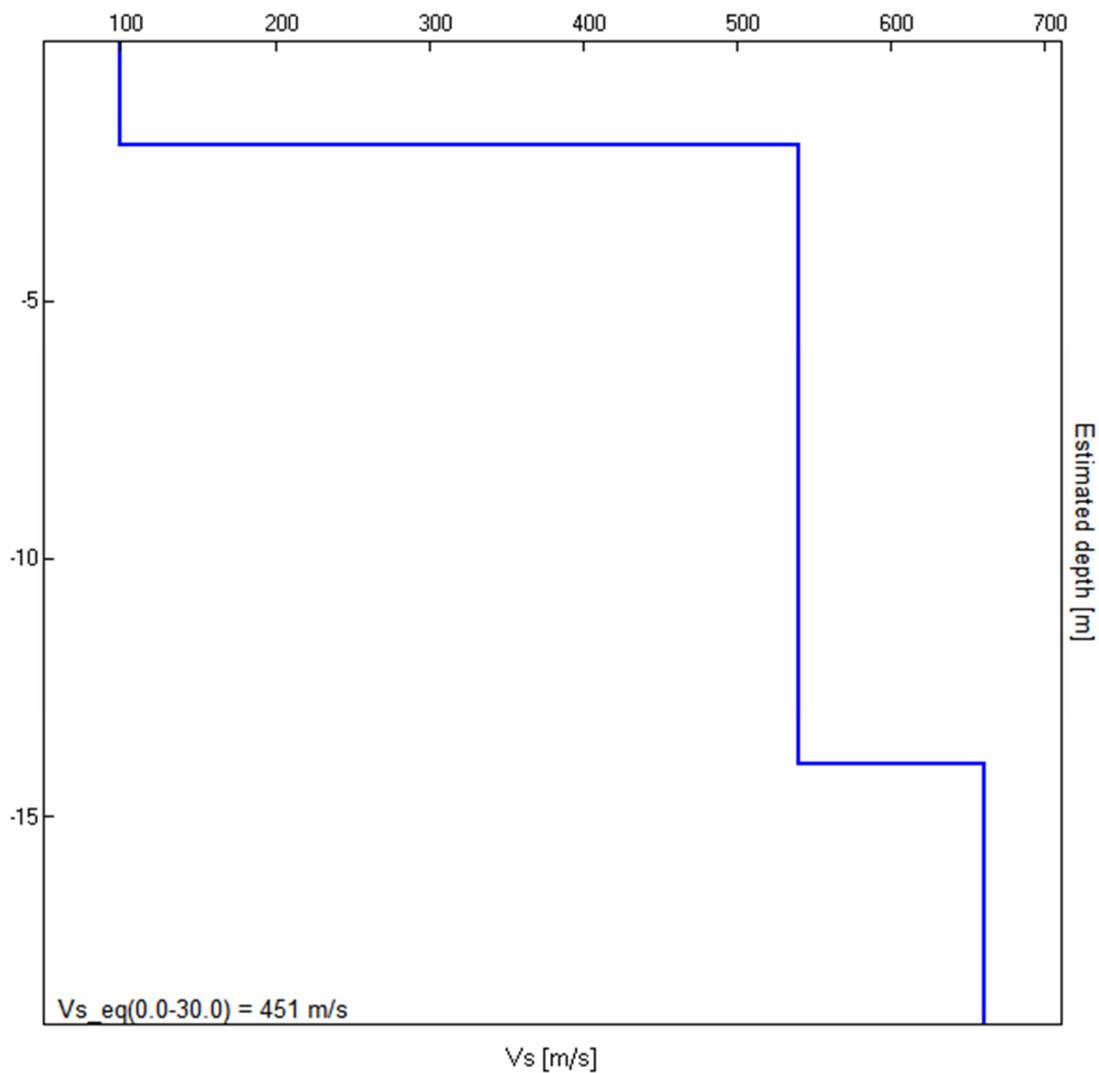
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-2.00	140	B (Vs,eq = 453 m/s)
2.00-12.00	490	
12.00-30.00	570	



Interpretazione sondaggio tomografico T5

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di
un parco eolico denominato "Lobadas" nei territori comunali di Isili, Serri, Escolca e
Mandas (SU)

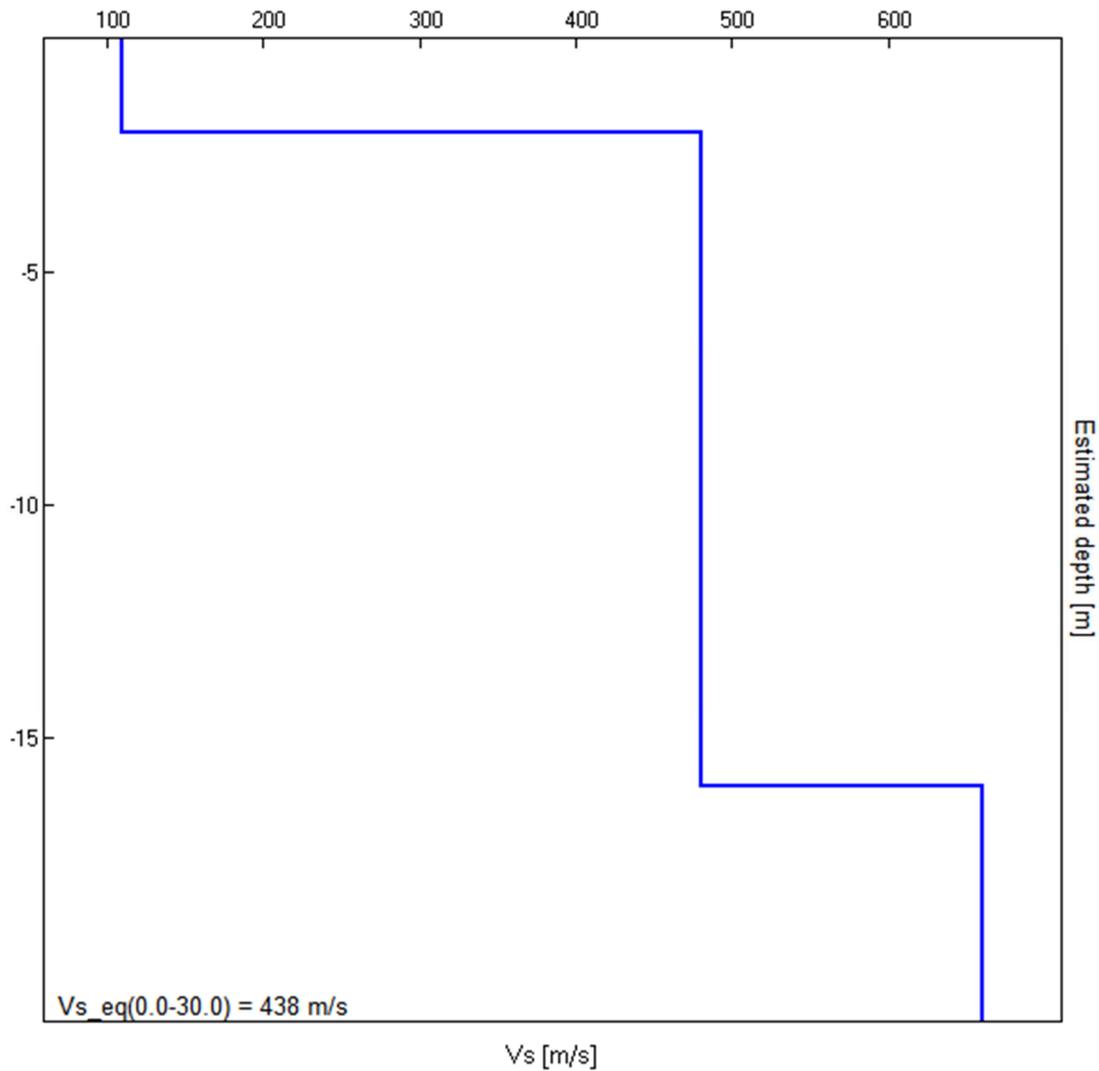
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-2.00	100	B (Vs,eq = 451 m/s)
2.00-14.00	540	
14.00-30.00	660	



Interpretazione sondaggio tomografico T6

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di
un parco eolico denominato "Lobadas" nei territori comunali di Isili, Serri, Escolca e
Mandas (SU)

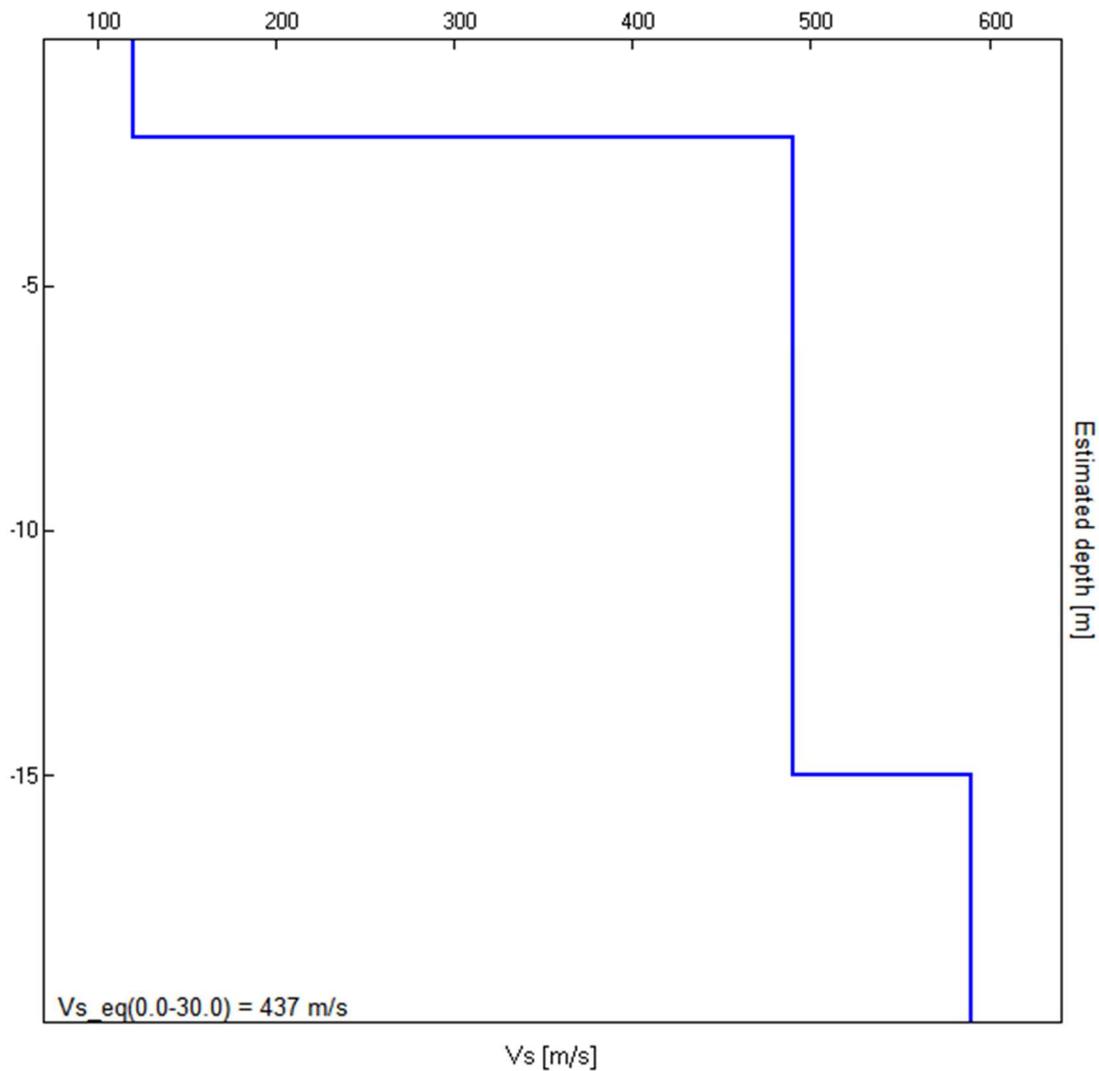
Profondità (m)	Vs (m/s)	<i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</i>
0.00-3.00	110	B (Vs,eq = 438 m/s)
3.00-17.00	480	
17.00-30.00	660	



Interpretazione sondaggio tomografico T7

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di
un parco eolico denominato "Lobadas" nei territori comunali di Isili, Serri, Escolca e
Mandas (SU)

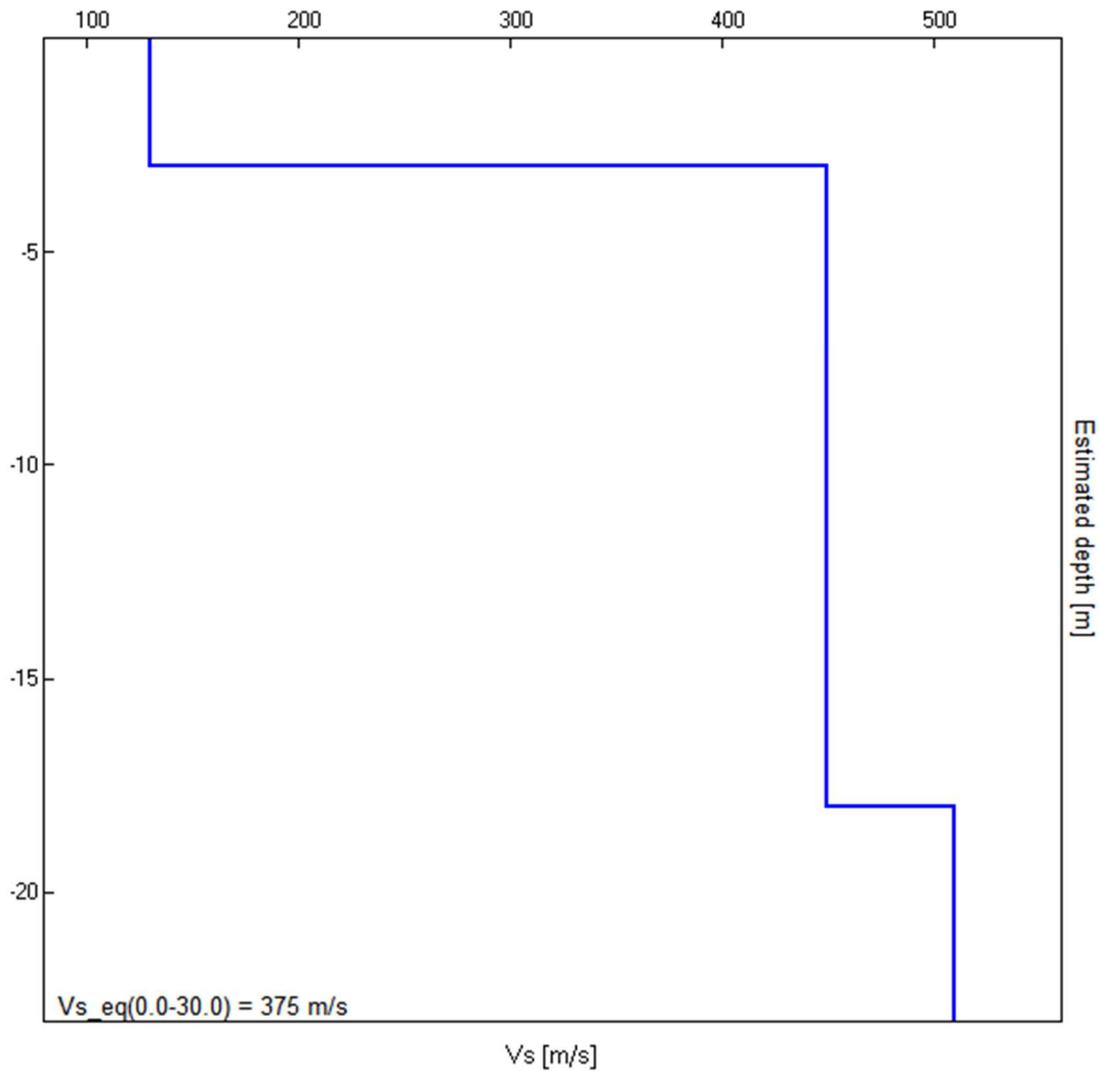
Profondità (m)	Vs (m/s)	<i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</i>
0.00-2.00	120	B (Vs,eq = 437 m/s)
2.00-15.00	490	
15.00-30.00	590	



Interpretazione sondaggio tomografico T8

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di
un parco eolico denominato "Lobadas" nei territori comunali di Isili, Serri, Escolca e
Mandas (SU)

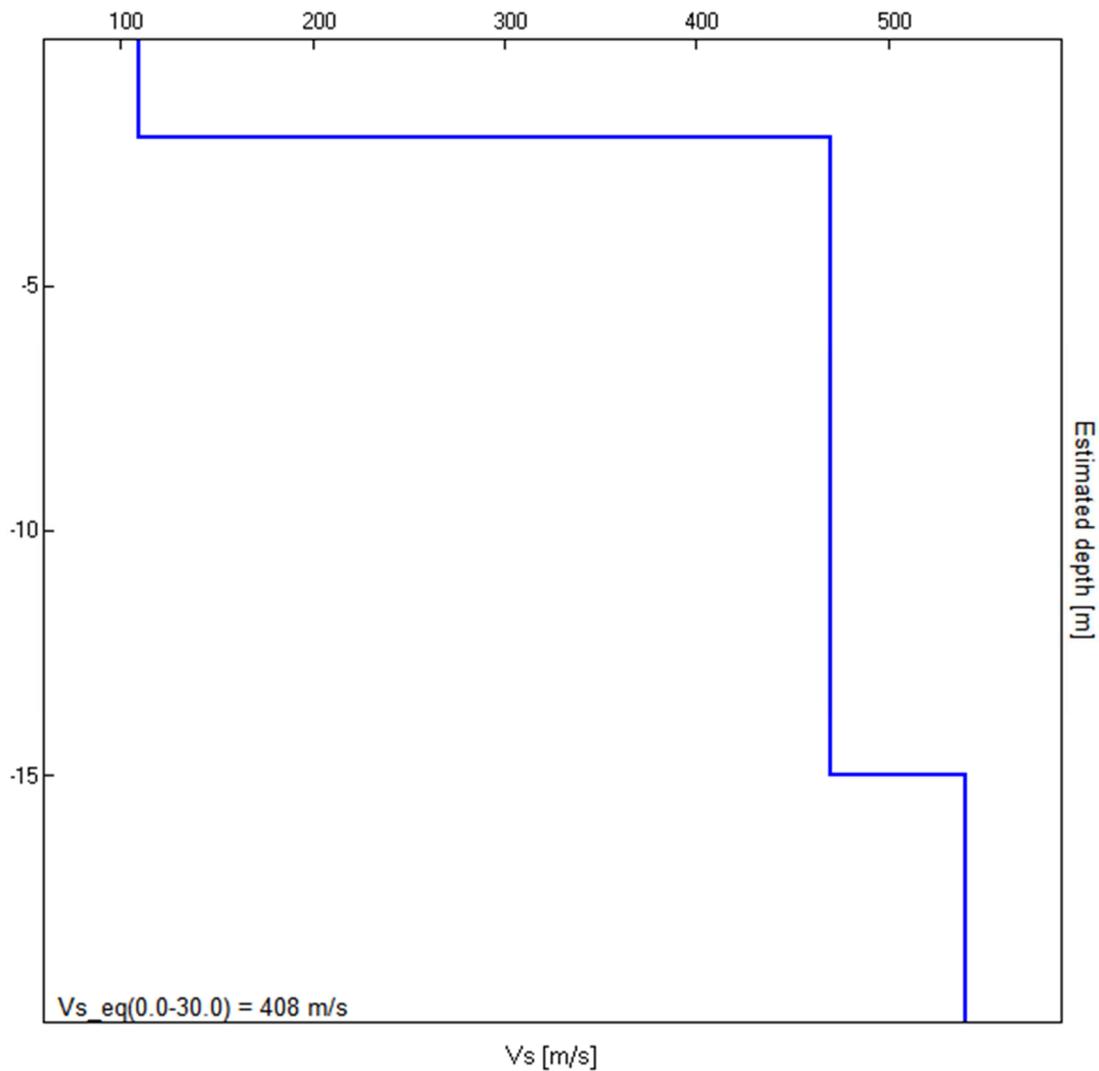
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-3.00	130	B (Vs,eq = 375 m/s)
3.00-18.00	450	
18.00-30.00	510	



Interpretazione sondaggio tomografico T9

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di
un parco eolico denominato "Lobadas" nei territori comunali di Isili, Serri, Escolca e
Mandas (SU)

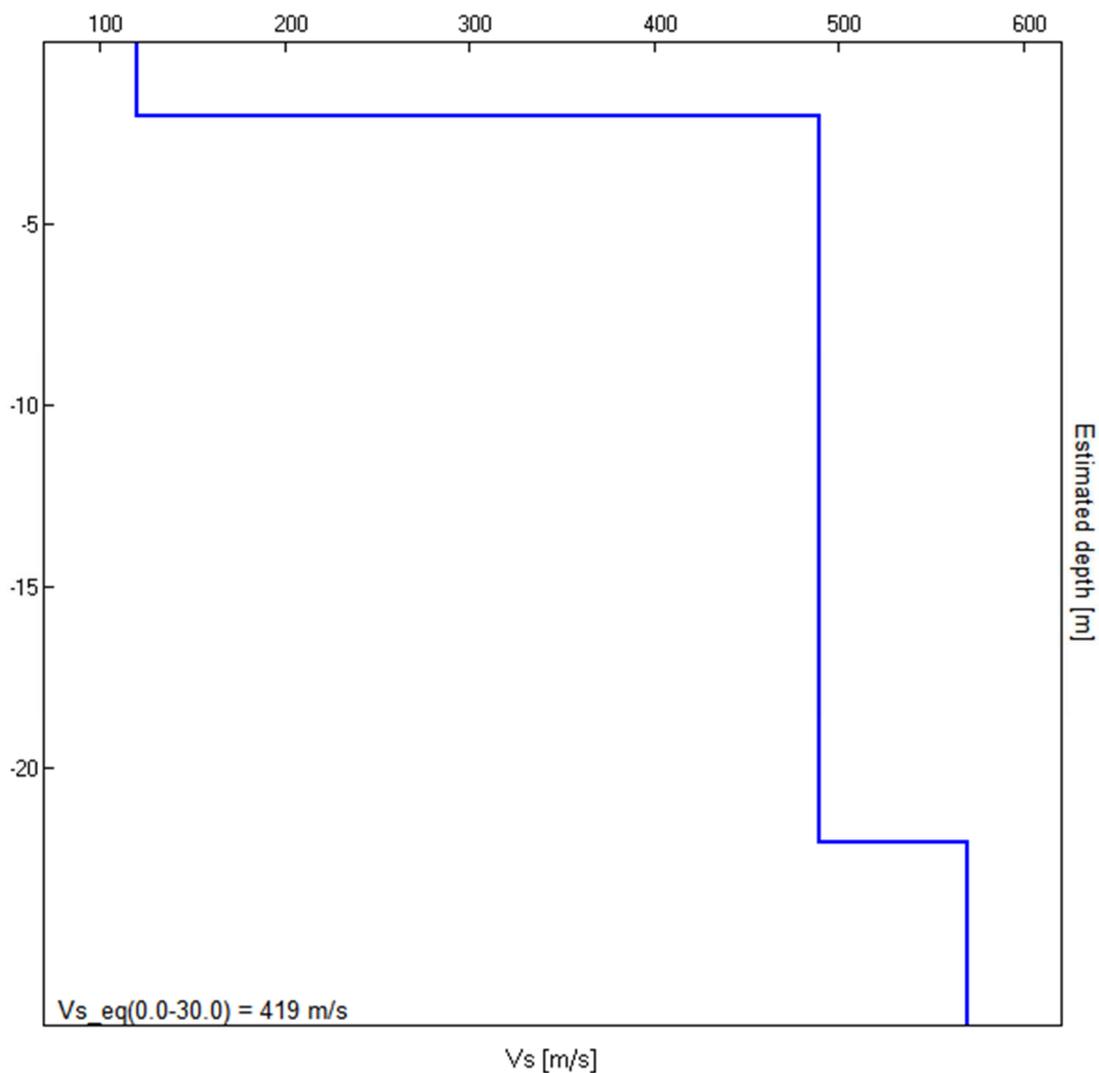
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-2.00	110	B (Vs,eq = 408 m/s)
2.00-15.00	470	
15.00-30.00	540	



Interpretazione sondaggio tromografico T10

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di
un parco eolico denominato "Lobadas" nei territori comunali di Isili, Serri, Escolca e
Mandas (SU)

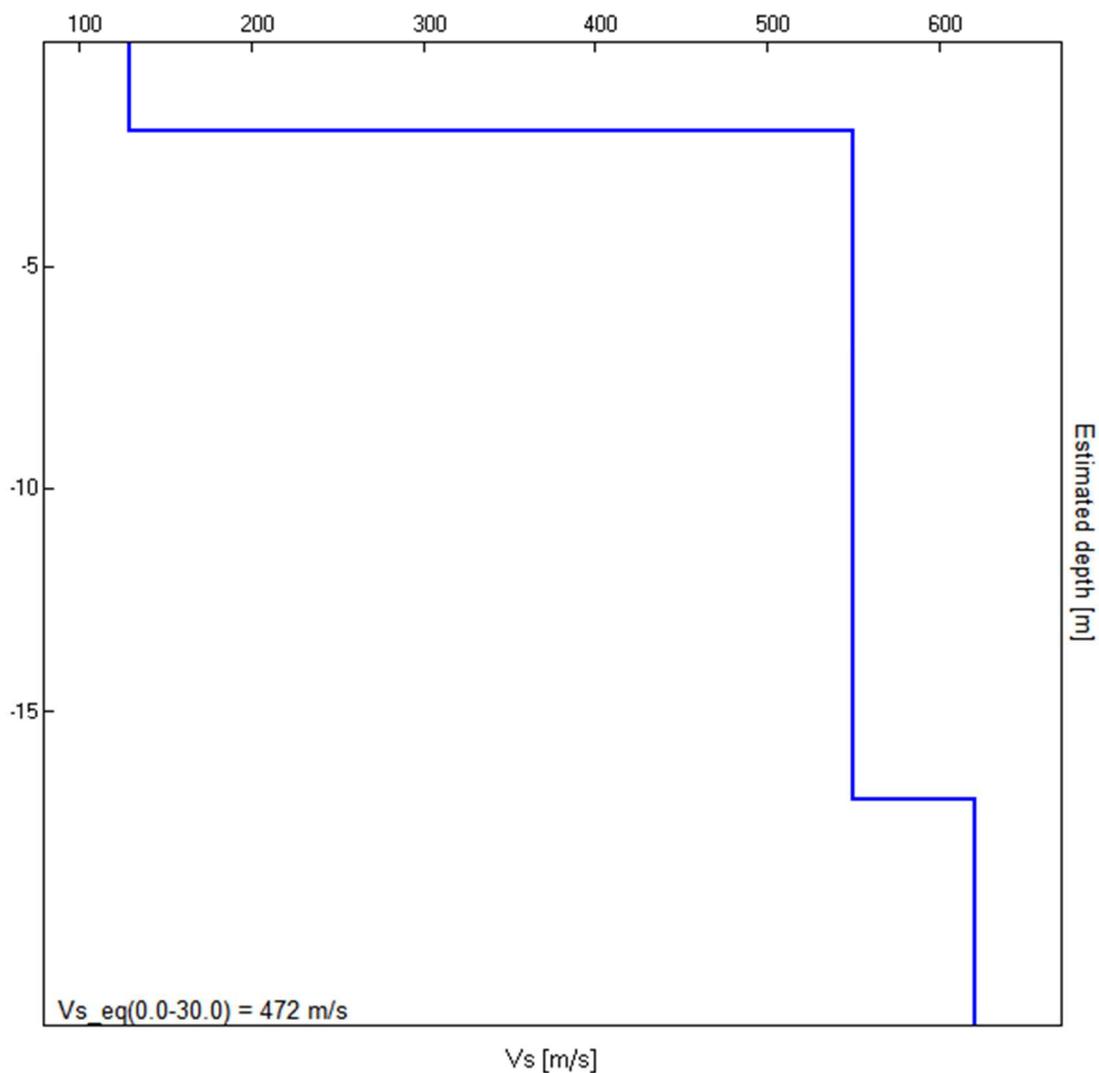
Profondità (m)	Vs (m/s)	<i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</i>
0.00-2.00	120	B (Vs,eq = 419 m/s)
2.00-22.00	490	
22.00-30.00	570	



Interpretazione sondaggio tromografico T11

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di
un parco eolico denominato "Lobadas" nei territori comunali di Isili, Serri, Escolca e
Mandas (SU)

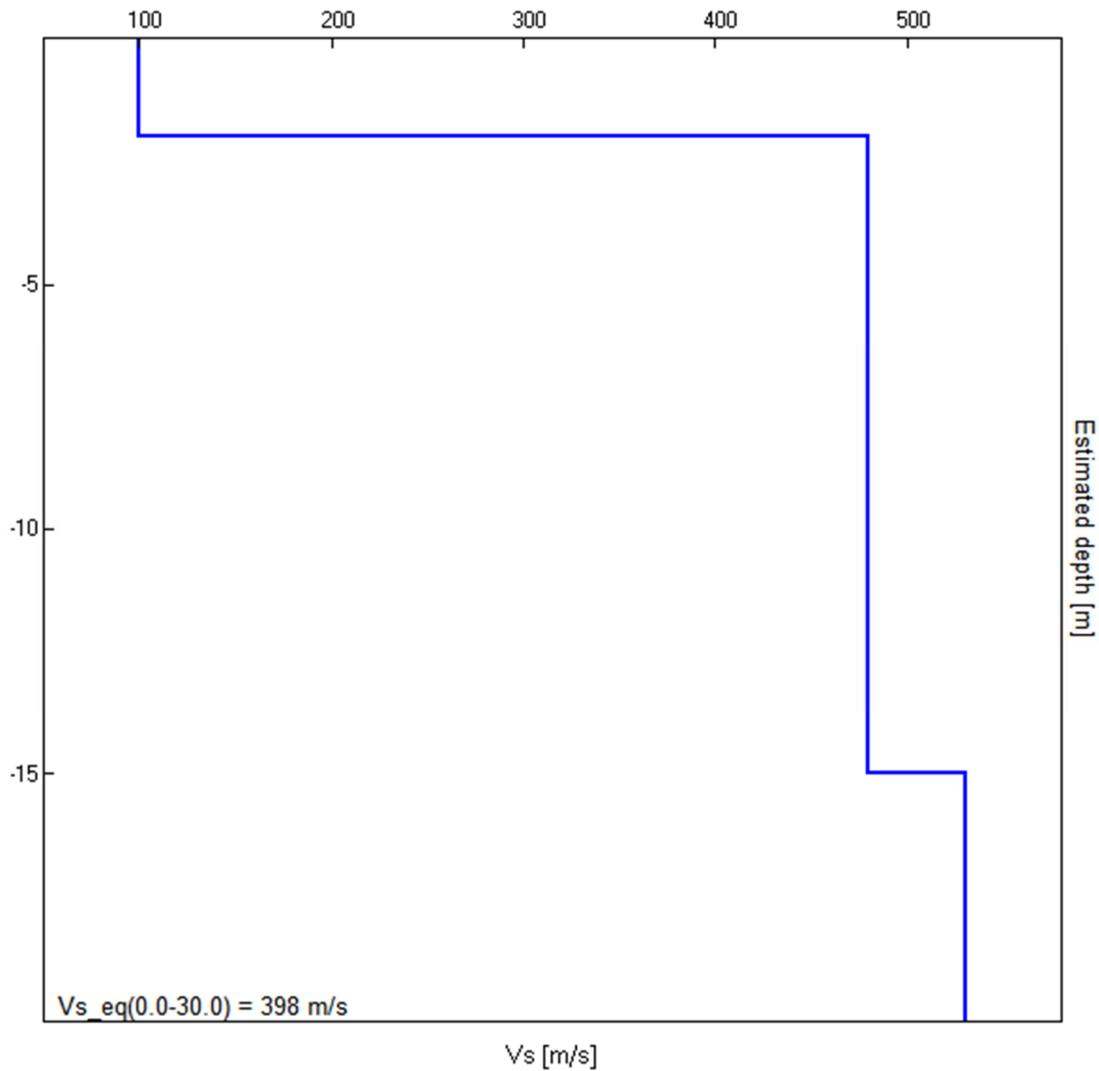
Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-2.00	130	B (Vs,eq = 472 m/s)
2.00-17.00	550	
17.00-30.00	620	



Interpretazione sondaggio tromografico T12

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di
un parco eolico denominato "Lobadas" nei territori comunali di Isili, Serri, Escolca e
Mandas (SU)

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018
0.00-2.00	100	B (Vs,eq = 398 m/s)
2.00-15.00	480	
15.00-30.00	530	



Interpretazione sondaggio tromografico Tsott

4. CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO

Ai fini sismici il territorio interessato è incluso nell'elenco delle località sismiche con livelli di pericolosità 4.

Tale classificazione è stata dettata dalla O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/03 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica” e confermata dalla Regione Sardegna (DGR 15/31 del 30/03/2004).

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 bed-rock 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 DM 17/01/2018, in corrispondenza degli aerogeneratori e della sottostazione in progetto, la categoria di suolo, da considerare per questa fase di progettazione, è la *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.*”

5. 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)

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

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 $5\% < FC \leq 35\%$
$\beta = 1,2$	per $FC > 35\%$

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

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

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

Poiché, come dimostrato, è possibile assumere:

$$\frac{[q_{c1N}]_{cs}}{[N_{1,60}]_{cs}} = 5$$

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

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

$$V_{S1} = V_s \left(\frac{100}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,25}$$

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

$$CRR = 0,03 \left(\frac{V_{S1}}{100} \right)^2 + 0,9 \left[\frac{1}{[V_{S1}]_{cs} - V_{S1}} - \frac{1}{[V_{S1}]_{cs}} \right]$$

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

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

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

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

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

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

Nello specifico del nostro lavoro e dai dati in nostro possesso, si evince che sono soddisfatte le condizioni di cui alla normativa vigente e può essere esclusa la possibilità che avvengano fenomeni di liquefazione dei terreni e la verifica può essere omessa perché:

- 1) in corrispondenza degli aerogeneratori, del tracciato del cavidotto e della sottostazione non sono presenti falde freatiche nello spessore dei primi 15 metri di profondità dal piano campagna
- 2) anche se localmente può essere ipotizzabile l'interferenza con isolati livelli idrici entro i 15 m dal p.c. la presenza di depositi piroclastici addensati e saldati, di depositi piroclastitici argillificati e ignimbriti litoidi non consentono, comunque, la formazione di fenomeni di liquefazione.

Si ritiene, comunque, indispensabile che in fase di progettazione esecutiva e di calcolo delle strutture in c.a. si eseguano le indagini di verifica delle su esposte ipotesi geologiche.

6. CARATTERIZZAZIONE LITOLOGICHE DEI TERRENI INTERESSATI DALLE OPERE IN PROGETTO

Da quanto desumibile dalle indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche in situ ed in laboratorio eseguite in questa prima fase, i terreni che costituiscono il volume geotecnicamente significativo delle opere in progetto sono riferibili alle seguenti litologie: **a) marne; b) arenarie; c) sabbie; d) metaquarzareniti; e) metacalcari; f) conglomerati**

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

- a) MARNE:** si tratta di rocce “coesive” tenere, costituite da particelle argillose e calcaree intercalate ad arenarie, calcareniti e siltiti giallastre. Per la caratterizzazione fisico-meccanica, a vantaggio della sicurezza, si può fare riferimento ai seguenti valori: $\varphi' = 28^\circ$, $c' 2,50$ t/mq, $\mathbf{V} = 2,00$ t/mc;
- b) ARENARIE:** si tratta di “rocce coerenti” a diverso grado di cementazione costituite da elementi dell'ordine delle sabbie medie e fini, talora incoerenti ma molto addensate. Per la caratterizzazione fisico-meccanica, a vantaggio della sicurezza, si può fare riferimento ai seguenti valori: $\varphi' = 30^\circ$, $c' 2,00$ t/mq, $\mathbf{V} = 2,00$ t/mc;
- c) SABBIE:** si tratta di “rocce incoerenti” costituite da un'alternanza di sabbie medie e fini e sabbie limose, di colore prevalentemente

- grigiastro, da scarsamente a mediamente addensate. Per la caratterizzazione fisico-meccanica, a vantaggio della sicurezza, si può fare riferimento ai seguenti valori: $\varphi' = 28^\circ$, $c' 0,00 \text{ t/mq}$, $\mathbf{V} = 1,90 \text{ t/mc}$;
- d) METAQUARZARENITI:** “rocce coerenti a consistenza lapidea” costituite da quarzareniti grossolane di colore scuro, cementate e fratturate. Per la caratterizzazione fisico-meccanica, a vantaggio della sicurezza, si può fare riferimento ai seguenti valori: $\varphi' = 35^\circ$, $c' 3,00 \text{ t/mq}$, $\mathbf{V} = 2,20 \text{ t/mc}$;
- e) METACALCARI:** “rocce coerenti a consistenza lapidea” costituite da calcari nodulari fossiliferi, cementati e fratturati. Per la caratterizzazione fisico-meccanica, a vantaggio della sicurezza, si può fare riferimento ai seguenti valori: $\varphi' = 30^\circ$, $c' 2,00 \text{ t/mq}$, $\mathbf{V} = 2,00 \text{ t/mc}$;
- f) CONGLOMERATI:** si tratta di “rocce incoerenti” a granulometria grossolana, talora cementati, con intercalazioni di sabbie, arenarie e biocalcareni. cementate e fratturate. Per la caratterizzazione fisico-meccanica, a vantaggio della sicurezza, si può fare riferimento ai seguenti valori: $\varphi' = 32^\circ$, $c' 0,00 \text{ t/mq}$, $\mathbf{V} = 2,00 \text{ t/mc}$.

VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.
Relazione Geologica e di compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di
un parco eolico denominato "Lobadas" nei territori comunali di Isili, Serri, Escolca e
Mandas (SU)

RIEPILOGO DELLE CARATTERISTICHE FISICHE

CAMPIONE	PROF. (m)	γ KN/m ³	γ_s KN/m ³	γ_d KN/m ³	γ_{sat} KN/m ³	Wn %	Wl %	Wp %	S %	n %	e
WTG6CR1	10.00	18.09		17.38		4.07					
WTG6CR2	20.00	17.93		16.31		9.95					
WTG6CR3	25.00	17.58		14.47		21.53					
WTG6CR4	30.00	17.58		14.08		24.82					

RIEPILOGO DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE

CAMPIONE	PROF. (m)	Prova di taglio CD		Prova di taglio CD residuo				C_u (Triax UU) KN/m ²	C_u (ELL) KN/m ²	Ed KN/m ²	Granulometria
		C' KN/m ²	ϕ' gradi	C' KN/m ²	ϕ' gradi	C_u KN/m ²	ϕ' gradi				
WTG6CR1	10.00	5.0	38							9.4E+03	ghiaia con sabbia debolmente limosa.
WTG6CR2	20.00										sabbia debolmente limosa
WTG6CR3	25.00	0.0	36								sabbia limosa debolmente argillosa.
WTG6CR4	30.00										sabbia limosa debolmente argillosa.

CAMPIONE	PROF. [m]	γ [kN/m ³]	DL [Mpa]
WTG1 CL1	6	22,33	9
WTG1 CL2	10	20,14	9,2
WTG1 CL3	15	25,17	55
WTG1 CL4	20	22,55	8,3
WTG1 CL5	25	23,75	13,3
WTG6 CL1	5	22,33	1,5
WTG6 CL3	15	22,52	2,4

Riepilogo delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei campioni prelevati nei sondaggi WTG1 e WTG6

7. CAMPAGNA INDAGINI GEOGNOSTICHE, SISMICHE E GEOTECNICHE DA ESEGUIRE IN FASE DI PROGETTA- ZIONE ESECUTIVA

Fermo restando che il piano di indagini sottoindicato 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, esclusi WTG1 e WTG6, in quanto già oggetto di indagini:

- ✓ n. 1 sondaggio a carotaggio continuo di profondità pari a 30 mt. dal p.c.;
- ✓ prelievo di n. 3 campioni indisturbati sui quali eseguire le prove geotecniche in laboratorio per la caratterizzazione fisico-meccanica;
- ✓ n. 5 S.P.T. in foro;
- ✓ installazione di un piezometro per l'individuazione della profondità del livello freatico;

8. CONCLUSIONI

Da quanto detto precedentemente, in ordine alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e tecniche del sito si evince che:

- i litotipi che affiorano in gran parte dell'area ed in particolare in quella in cui verranno realizzati gli aerogeneratori in progetto sono riferibili alle seguenti formazioni geologiche:

⇒ **MARNE DI GESTURI (Burdigaliano sup. – Langhiano medio):**

marne arenacee e siltitiche giallastre con intercalazioni di arenarie e calcareniti contenenti faune a pteropodi, molluschi, foraminiferi, nannoplancton, frammenti ittiolitici, frustoli vegetali; interessa direttamente la WTG 3 e la WTG 10 e sono ricoperte da una coltre di qualche decimetro di terreno vegetale. In corrispondenza della WTG1 si presenta sotto forma di livelli di arenarie bioclastiche e calcareniti a litotamni (GSTb), al di sotto di una copertura di circa 2 m di limi e limi sabbiosi e sabbie di colore beige, scarsamente consistenti con inclusi elementi lapidei di dimensioni centimentriche. Le arenarie grossolane e conglomerati (GSTc) si rinvengono, invece, in corrispondenza delle WTG2, WTG4, WTG5 e WTG8 e sono ricoperte da uno spessore variabile da 1 a 4 m di sabbie e limi sabbiosi con inclusi elementi lapidei eterometrici.

⇒ **FORMAZIONE DI NURALLAO (Oligocene sup. – Burdigaliano):** questa formazione geologica è suddivisa in due membri: il membro NLL1 costituito da conglomerati di Duidduru, e da un'alternanza di sabbie con locali livelli di bio-calcareniti,

scarsamente addensate e conglomerati poligenici eterometrici cementati e fratturati di colore grigio; interessa la WTG6 al di sotto di uno strato di qualche decimetro di terreno vegetale. Il membro NLL2 – NLL2a è costituito dalle arenarie di Serra Longa, conglomerati poligenici eterometrici e sabbie con locali livelli di biocalcareni ed arenarie da grossolane a micro-conglomeratiche, con intercalazioni di arenarie siltose; interessano le WTG9 e WTG11 al di sotto di uno strato di qualche decimetro di terreno vegetale.

⇒ **FORMAZIONE DI PALA MANNA (Carbonifero inf.):** alternanze di metasiltiti e metarenarie micacee, metaquarzoareniti, intercalate a (PMNa) metaconglomerati e metabrecce a liditi e (PMNb) metaquarzoareniti grossolane di colore scuro; interessa la WTG13 al di sotto di uno strato di qualche decimetro di terreno vegetale.

⇒ **SCISTI A GRAPTOLITI AUCT. (Siluriano - Devoniano medio):** metapeliti carboniose e metasiltiti con livelli di diaspri neri (liditi) e (SGAa) metacalcari scuri e metacalcari nodulari fossiliferi, con abbondanti crinoidi e ortoceratidi; interessa la WTG12 al di sotto di uno strato di qualche decimetro di terreno vegetale.

- le condizioni di stabilità dell'area sono ottime in relazione alla favorevole giacitura dei terreni presenti, nonché alla mancanza assoluta di agenti geodinamici che possano in futuro turbare il presente equilibrio;
- non si ritiene, quindi, di eseguire verifiche di stabilità poiché essendo l'area pianeggiante e totalmente esente da qualunque fenomenologia che possa modificare l'attuale habitus geomorfologico, non è possibile

l'instaurarsi di alcun movimento franoso e, quindi, i calcoli farebbero registrare valori del coefficiente di sicurezza decisamente superiori ai minimi previsti dalla legge;

- sono, però, presenti alcuni elementi geomorfologici evidenziati nel PAI in aree vicine, anche se dai sopralluoghi eseguiti non si sono rilevate presenze di agenti morfogenetici attivi, né di fenomeni morfologici di dissesto di nessun tipo. Ci riferiamo in particolare a:

⇒ i siti di progetto della WTG8, WTG9, WTG10 E WTG11 sono interessate, secondo il PAI, da rischio da frana Rg1 (moderato) con una pericolosità da frana Hg1 (moderata) e Hg2 (media);

Anche se, come detto prima, dai rilievi eseguiti durante i numerosi sopralluoghi effettuati non sono stati individuati all'interno di dette aree segni di fenomeni geodinamici di alcun tipo che possano far pensare alla presenza di dissesti, né alla possibilità di riattivazione di fenomeni morfogenetici quiescenti, né ad elementi di instabilità, ***il progetto prevederà la realizzazione di mirati interventi di ingegneria naturalistica nell'ambito areale di questi aerogeneratori al fine di migliorare comunque le condizioni di stabilità dei versanti circostanti, vedi planimetrie geomorfologiche di dettaglio sopra allegate;***

- sono, inoltre, presenti modeste interferenze di aree a pericolosità di frana con il tracciato del cavidotto MT; ***a tal riguardo si specifica che il cavidotto, nei tratti interessati dalle aree PAI, corre lungo la strada esistente che non manifesta alcun segno di dissesto perché la realizzazione della strada con i suoi interventi ha reso del tutto stabile la sede stradale e, quindi, la realizzazione di questi brevi tratti di cavidotto non necessita la previsione di alcuna opera di consolidamento, né interferisce con il regolare e naturale deflusso***

idrico superficiale; in fase di progettazione esecutiva, per migliorare le condizioni della sede stradale, qualora l'Ente titolare dell'infrastruttura, lo riterrà utile si potranno concordare, come opera di compensazione, alcuni puntuali interventi di ingegneria naturalistica;

Da quanto detto sopra non ci sono elementi geomorfologici ostativi alla realizzazione dell'impianto.

- Dallo studio idrogeologico si evince che:
- ❖ l'ubicazione degli aerogeneratori è stata scelta proprio in modo da non interferire con gli acquiferi e sono stati posti ad una certa distanza dalle polle sorgentizie;
 - ❖ nei siti di installazione nei quali ricorre la presenza delle arenarie, delle metaquarzoareniti e dei metacalcari è stata progettata una fondazione diretta, con spessore massimo pari a circa 5,00 metri, che non potrà interferire con eventuali acquiferi presenti;
 - ❖ nei siti di installazione nei quali ricorre la presenza delle sabbie fini è stata progettata una fondazione profonda su pali profondi 16 m; e questi non potranno interferire con la falda presente poiché, come risulta dal sondaggio effettuato, la stessa non è stata rinvenuta nel sondaggio WTG1, mentre è stata rinvenuta nel sondaggio WTG6 ad una profondità di 23 al di sotto del piano di campagna;
 - ❖ gli aerogeneratori e loro piazzole non interferiscono con il reticolato idrografico superficiale;
 - ❖ le opere in progetto non producono emissioni di sostanze inquinanti né nel suolo, né nel sottosuolo, né nel reticolato idrografico superficiale;

- ❖ **da quanto detto sopra si evince che nessun impatto significativo e negativo può essere indotto dalla realizzazione degli aerogeneratori sulla risorsa idrica che comunque sarà monitorata con l'istallazione di ben 13 piezometri per la misura del livello freatico e della qualità delle acque (vedi carta dei Punti di Monitoraggio Ambientale);**
- ❖ **la realizzazione del cavidotto impegna spessori modestissimi ed è del tutto impossibile interferire il livello freatico con gli scavi;**
- ❖ **in definitiva non sussistono criticità di carattere idrogeologico che possano ostare la realizzazione delle opere in progetto nella più ampia sicurezza e salvaguardia della risorsa naturale "Acqua";**
- ai sensi del DM 17/01/2018, in corrispondenza degli aerogeneratori e della sottostazione in progetto la categoria di suolo è la 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.";
- non esistono pericolosità geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche che possano ostare la realizzazione del progetto;
- dai primi calcoli preliminari i terreni non danno luogo a fenomeni di liquefazione in caso di sisma;
- **i risultati ed i dati delle indagini e dei sopralluoghi eseguiti sono certamente esaustivi per la verifica della fattibilità del progetto e per valutare in piena scienza e coscienza tutti gli impatti che le opere possono imporre alle componenti ambientali coinvolte;**

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

Dott. Geol. Gualtiero Bellomo

