






AREGU Wind Srl

# **Parco Eolico AREGU sito nei Comuni di Giave, Cossoine e Cheremule (SS)**

**Relazione Previsionale  
dell'impatto dovuto alle vibrazioni**

Dicembre 2022

<p>Regione autonoma della Sardegna</p> 	<p>Comune di Giave</p> 	<p>Comune di Cossoine</p> 	<p>Comune di Cheremule</p> 		
<p>Committente:</p> <p><b>AREGU Wind Srl</b></p>		<p><b>AREGU Wind Srl</b> Via Sardegna, 40 00187 Roma P.IVA/C.F. 16181141009</p>			
<p>Titolo del Progetto:</p> <p><b>Parco Eolico AREGU sito nei Comuni di Giave, Cossoine e Cheremule (SS)</b></p>					
<p>Documento:</p> <p><b>Relazione Previsionale dell'impatto dovuto alle vibrazioni</b></p>		<p>N° Documento:</p> <p><b>IT-VesAre-CLP-SPE-TR-11</b></p>			
 <p><b>GAIA consulting</b> Naturali Innovazioni</p> <p><b>Studio Tecnico di Geologia Applicata all'Ingegneria e all'Ambiente</b></p> <p>Centro Direzionale "Pittarello" Loc. Scala Sa Perda, 87 09028 Sestu (CA) T +39 070 734 6008 Mob +39 345 788 2814 e-mail: <a href="mailto:info@gaiac consulting.eu">info@gaiac consulting.eu</a></p>		<p>Progettista:</p> <p><b>Dott.ssa Geol. Cosima Atzori</b></p>			
Rev	Data Revisione	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
00	15.12.2022	Prima emissione	Cosima Atzori		

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 3 di 53
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------

## Sommario

<b>1. Premessa</b>	<b>6</b>
<b>2. Normativa di riferimento</b>	<b>6</b>
<b>3. Inquadramento geografico generale</b>	<b>6</b>
<b>4. Proprietà meccaniche dei terreni</b>	<b>11</b>
4.1. Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento	11
4.2. Successione litostratigrafica dell'area di intervento	11
4.2.1. Distretto vulcanico di Capo Marargiu Miocene Inferiore)	11
4.3. Depositi Quaternari dell'area continentale	13
<b>5. Campagna indagini di caratterizzazione geotecnica e sismica</b>	<b>14</b>
5.1. Generalità sul metodo sismico a rifrazione	15
5.1.1. Caratteristiche delle stese sismiche	16
5.1.2. Caratteristiche della Strumentazione impiegata	17
5.1.3. Elaborazione dei dati	17
5.1.4. Specifiche delle indagini svolte	18
5.1.5. Caratteristiche della strumentazione impiegata	19
5.1.6. Interpretazione dei segnali acquisiti	19
5.1.7. Categorie di sottosuolo - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018)	19
5.2. Risultati delle indagini del sito SMT01	21
5.2.1. Masw SMT01	21
5.3. Risultati delle indagini del sito SMT02	23
5.3.1. Masw SMT02	23
5.4. Risultati delle indagini del sito SMT03	25
5.4.1. Masw SMT03	25
5.5. Risultati delle indagini del sito SMT04	27
5.5.1. Masw SMT04	27
5.6. Risultati delle indagini del sito SMT05	29
5.6.1. Masw SMT05	29
5.7. Modello Geologico 01 – AG08/AG10/AG11	30
5.8. Modello Geologico 02 – AG03/AG04/AG05/AG09	31
5.9. Modello Geologico 03 – AG01	32
5.10. Modello Geologico 04 – AG02, AG06, AG07	33

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 4 di 53
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------

5.1. Tabella di sintesi delle proprietà di sintesi dei terreni di interesse.....	35
<b>6. Propagazione delle vibrazioni nel terreno .....</b>	<b>36</b>
<b>7. Modello di propagazione dell'onda nel terreno.....</b>	<b>38</b>
<b>8. Valutazione della propagazione delle vibrazioni .....</b>	<b>39</b>
<b>9. Sorgenti di vibrazione .....</b>	<b>40</b>
9.1. Analisi della fase di cantiere per la costruzione delle opere in progetto .....	40
9.2. Potenziale incremento dei flussi di traffico indotto dal cantiere sulla viabilità locale.....	41
9.1. Modello per il calcolo dell'impatto dovuto alle vibrazioni in fase di cantiere .....	41
9.2. Scenari di riferimento di cantiere.....	42
9.3. Scenari di riferimento di esercizio .....	42
9.4. Limiti di riferimento .....	43
9.5. Recettori .....	45
9.1. Spettri di emissione delle macchine operatrici .....	46
9.1.1. Propagazione delle vibrazioni di un rullo vibrante.....	46
9.1.2. Propagazione delle vibrazioni di una pala cingolata .....	47
9.1.3. Propagazione delle vibrazioni di un autocarro .....	48
9.1.4. Propagazione delle vibrazioni di un escavatore cingolato .....	49
9.1.5. Propagazione delle vibrazioni di un martello idraulico .....	50
<b>10. Modalità di gestione del disturbo dovuto alle vibrazioni .....</b>	<b>51</b>
10.1. Criteri di azione e misure di mitigazione .....	51
<b>11. Conclusioni .....</b>	<b>52</b>

## Indice delle figure

Figura 1 Localizzazione del progetto .....	7
Figura 2 Paesaggio caratteristico dell'area di studio.....	9
Figura 3 Schema tettonico-strutturale della Sardegna.....	11
Figura 4 - Ubicazione delle indagini geofisiche.....	15
Figura 5 Stendimento di sismica a rifrazione in onde P con 24 geofoni, interdistanza di 3,0 m, lunghezza complessiva 69,0 E 57,5m .....	16
Figura 6 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche .....	22
Figura 7 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche .....	24
Figura 8 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche .....	26
Figura 9 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche .....	28
Figura 10 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche .....	30
Figura 11 - Curva di ponderazione asse generico .....	37
Figura 13 - Tipologia di onde: a) e b) onde di volume, c) e d) onde di superficie .....	37
Figura 13 - rapporto tra le velocità di propagazione $V_p$ e $V_r$ .....	38
Figura 14 Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza .....	43

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 5 di 53
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------

Figura 15	Sistema cartesiano di riferimento per persona sdraiata, in piedi o seduta.....	43
Figura 16	Curva di ponderazione per un asse generico - UNI 9614 .....	44
Figura 17	Valori Limite di riferimento per vibrazioni di breve durata e permanenti (9916/2014) .....	45
Figura 18	Spettro di emissione della sorgente di un rullo vibrante a 10mdall'asse di cantiere.....	46
Figura 19	Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni .....	46
Figura 20	Spettro di emissione della sorgente di una pala cingolata a 10mdall'asse di cantiere .....	47
Figura 21	Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni .....	47
Figura 22	Spettro di emissione della sorgente di un autocarro 10mdall'asse di cantiere .....	48
Figura 23	Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni .....	48
Figura 24	Spettro di emissione della sorgente di un escavatore cingolato 5m dall'asse di cantiere .....	49
Figura 25	Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni .....	49
Figura 26	Spettro di emissione della sorgente di un martello idraulico 5mdall'asse di cantiere.....	50
Figura 27	Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni .....	50
Figura 28	Distanze di sicurezza per le vibrazioni nei vari scenari .....	53

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 6 di 53
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------

## 1. Premessa

La presente relazione è parte integrante del procedimento di **Valutazione d'Impatto Ambientale** ai sensi del Decreto Legislativo numero 152 del 2006, e di Autorizzazione Unica Regionale ai sensi dell'articolo 12 del Decreto Legislativo numero 387 del 2003 e del D. G. R. 3/15 del 23 Gennaio 2018.

La caratterizzazione della qualità dell'ambiente in relazione agli effetti delle vibrazioni deve consentire di individuare e stimare le modifiche e/o le interferenze introdotte dall'intervento proposto e valutarne la compatibilità con gli standard esistenti, in riferimento alla verifica sia del disturbo da esse potenzialmente generate sull'uomo, sia di un eventuale potenziale danno agli edifici, per la salvaguardia del patrimonio architettonico/archeologico.

Il presente documento tecnico riporta la valutazione previsionale dei livelli di vibrazione previste, durante le fasi di cantiere, sui ricettori sensibili più vicini alle aree di installazione degli aerogeneratori del Parco Eolico e alla viabilità interessata, nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo del Parco Eolico denominato "**AREGU**" dislocato nel territorio comunale di **Giave, Cossoine e Cheremule** - Provincia di Sassari (SS) e sulla viabilità laddove sono previste lavorazioni (es. posa del cavidotto o realizzazione ex-novo/adeguamento stradale).

La stima dei livelli di vibrazione attesi presso i ricettori sensibili identificati secondo quanto indicato nella normativa vigente all'area di progetto ed il loro confronto con i limiti vibrazionali sono stati eseguiti secondo le prescrizioni, le indicazioni e le modalità contenute nelle normative tecniche vigenti.

La vibrazione prodotta da macchine e strumenti di cantiere, nel seguito definite **sorgenti**, si propaga attraverso il substrato geologico che su di essa agisce operando un filtraggio in funzione della **natura geolitologica** dei terreni e si attenua con l'aumentare della **distanza dai recettori**.

La vibrazione, quindi, arriva ad interagire con le fondazioni delle strutture edificate e tale interazione dipende dal tipo di fondazione, dal tipo di costruzione e dal suo stato di conservazione.

## 2. Normativa di riferimento

In Italia non esiste ancora una normativa specifica di settore, pertanto, la presente è redatta facendo riferimento a normativa UNI ed ISO con particolare riferimento a:

1. **UNI 9614/2017** "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo";
2. **UNI 9916/2014** "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni negli edifici";
3. **ISO 2631-2:2003** Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)

## 3. Inquadramento geografico generale

Giave è un comune italiano di 493 abitanti della provincia di Sassari, nell'antica regione del Meilogu, in Sardegna. Dista 44 km da Sassari e 59 km da Alghero. Il comune fa parte della Comunità montana del Logudoro e della Regione Agraria numero 6 - Colline del Meilogu.

Il territorio di Giave è contraddistinto da rilievi pronunciati, come la famosa "Pedra Mendalza", che si staglia isolata sulla pianura, suggestivamente denominata valle dei Nuraghi a nord-est e Campu Giavesu a sud-ovest. La Pedra Mendalza rappresenta un esempio spettacolare di un antico condotto vulcanico riemerso grazie all'azione dell'erosione, nel gergo dei geologi è chiamato neck, originatosi dalla precedente presenza di un vulcano ostruito e poi spentosi, una struttura osservabile anche in località Santa Giusta fra Semestene e Bonorva.

Nell'ambito della riscoperta della cultura pastorale esistono una serie di itinerari agevoli, segnati dalle pinnette, le tradizionali abitazioni a cono, coperte, costruite a secco da piccole lastre di pietra e usate dai pastori. Accanto a

queste testimonianze, si segnalano delle domus de janas ("case delle fate") riconducibili al Neolitico Recente, tra le quali quella di Riu Mulinu ed i monumenti dell'età nuragica del bronzo, come il noto nuraghe Oes.

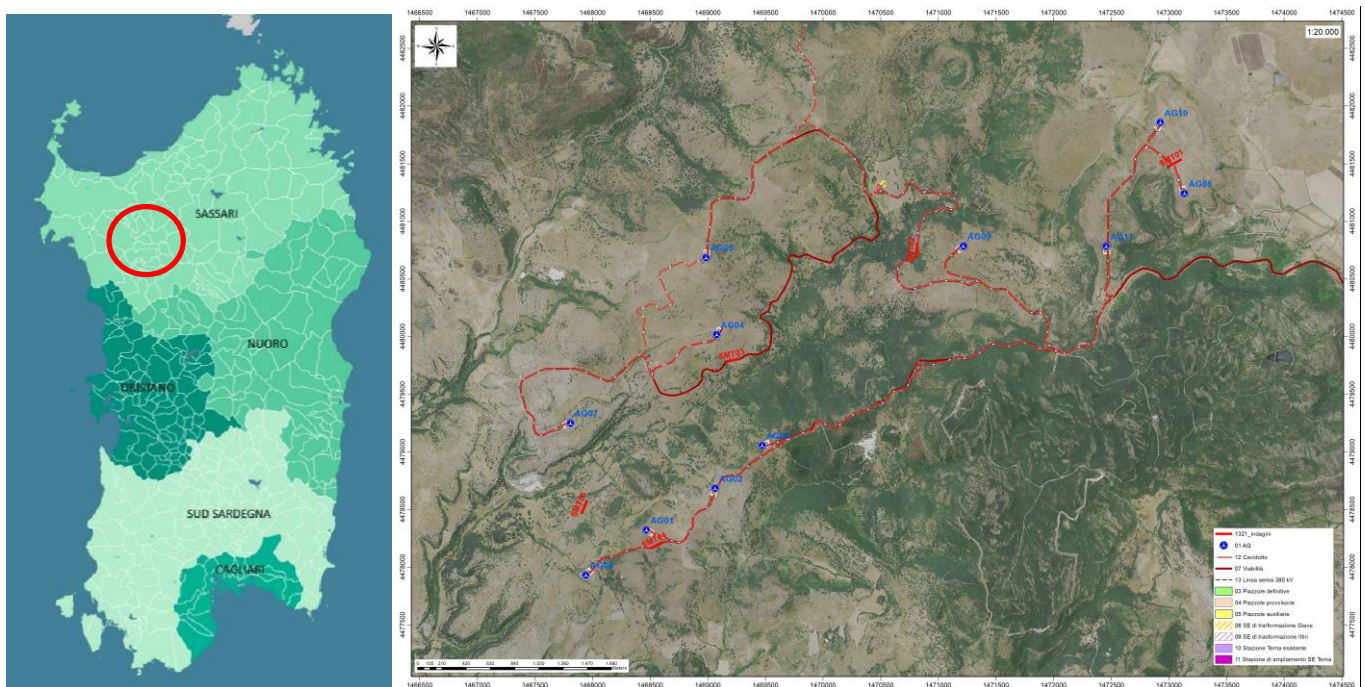


Figura 1 Localizzazione del progetto

Grazie alla fertilità dei suoli la zona di Giave fu intensamente abitata sin dalla preistoria, trovandosi nei pressi della Valle dei Nuraghi, una delle regioni d'Europa più ricche di testimonianze della civiltà megalitica. Tuttavia le prime fonti storiche riguardo al sito attuale del villaggio risalgono al periodo punico: il nome Giave è infatti una storpiatura del toponimo "Hafa", un fragile insediamento (più a valle del sito attuale) nella tarda età cartaginese, quando gli invasori meridionali riuscirono a valicare la costera e raggiungere Turrus Lybissonis (l'odierna Porto Torres) sulla costa settentrionale.

Ma furono i Romani il primo popolo forestiero a colonizzare realmente la zona, creandovi la biforcazione della strada che congiungeva Caralis (Cagliari) a Turrus da una parte e ad Olbia dall'altra, e insediandovi varie legioni in difesa degli attacchi dalle tribù nuragiche non romanizzate, che si erano rifugiate nelle impervie montagne a sud-est.

Durante il medioevo appartenne al giudicato di Torres e fece parte della curatoria di Capuabbas. In quell'epoca la popolazione viveva un relativo benessere economico. Alla caduta del giudicato (1259), il territorio divenne parte dei possedimenti dei Doria. Dopo vari scontri tra i Doria e gli aragonesi (tra cui la battaglia di Aidu de Turdu), Giave passò al giudicato di Arborea, che riuscirono a conquistare tra gli altri i territori dell'ex curatoria, e successivamente al regno di Sardegna. Il sistema di oppressione del feudalesimo tra il XIV ed il XVIII secolo raggiunse i massimi livelli di oscurantismo e disumanità, con imposizioni di corvée e decime alla popolazione. Nel 1436 il re d'Aragona Alfonso V il magnanimo cedette la signoria su Giave, insieme a Cossoine, a Serafino di Montagnana per 1300 ducati d'oro. Il paese venne poi incorporato nella baronia di Capuabbas, di cui gli ultimi feudatari furono i Da Silva - Alagon, ai quali fu riscattato nel 1839 con la soppressione del sistema feudale. La situazione di oppressione non migliorò nel passaggio sotto la dominazione dei Savoia. Nel 1795 il paese prese viva parte ai moti antifeudali.

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 8 di 53
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------

Solo nel periodo Post-Unitario finalmente Giave ritrova un periodo di relativo progresso civile ed economico, grazie allo sviluppo delle rete ferroviaria e alla costruzione di una stazione a valle, che diede nuovo impulso alle tradizionali attività agro pastorali. Tuttavia dal dopoguerra anche Giave è andato incontro al depauperamento demografico che ha interessato tutte le aree interne dell'isola.

Cossoine (Cossoine in sardo) è un comune italiano di 760 abitanti della provincia di Sassari. Esso è compreso nella regione storico-geografica del Meilogu, a sua volta sub-regione del Logudoro. Dista 48 km da Sassari e 60 km da Alghero. Nel suo territorio le prime testimonianze della presenza umana risalgono alle civiltà neolitiche per la presenza di diverse domus de janas e tombe dei giganti, nonché di numerosi nuraghi, risalenti all'età del bronzo. Non mancano testimonianze del passaggio successivo di altri popoli, tra cui i Romani con Lucentia o Castrum Lucentinum (oggi Lughentinas) e i Bizantini con l'insediamento di Kourin.

Nell'XI secolo viene citata per la prima volta la chiesa bizantina di Santa Maria Iscalas nelle cui vicinanze sorgeva il villaggio detto Santa Maria di Curin. Non appare chiaro che il nome di questa località, di apparente origine greca, sia relazionata con quello di Corsein, con cui viene indicato per la prima volta il villaggio dove sorge ora l'odierno comune, poi evoluto in Cossein e quindi nell'odierno Cossoine, in seguito alle distorsioni dovute alle stratificazioni linguistiche in sequenza dei dominatori catalani, castigliani e italiani. Secondo una interpretazione etimologica questo nome deriverebbe da cossu, forse ad indicare "corso", ossia abitante della Corsica[3]. Questa interpretazione sarebbe surrogata anche dall'alta frequenza nel Paese del cognome Unali, che deriva da Gunale, una curatoria del Giudicato di Gallura storicamente abitata da tribù corse.

Cheremule (Chelèmure in sardo) è un comune italiano di 411 abitanti della provincia di Sassari, nella regione storica del Meilogu. Il territorio fu abitato già in epoca neolitica per la presenza di diversi siti archeologici, e in epoca nuragica per la presenza di alcuni nuraghi.

In epoca medievale appartenne al Giudicato di Torres e fece parte della curatoria di Caputabbas. Alla caduta del giudicato (1259) passò ai Doria, e intorno alla metà del XIV secolo divenne un feudo sotto gli aragonesi. Nel 1636 fu incorporato nel marchesato di Montemaggiore, concesso ai Canaveda. Da questi passò successivamente ai Manca, ai quali fu riscattato nel 1839 con la soppressione del sistema feudale.

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

1. Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M scala 1:25 000. Serie 25 -Fogli: **479 sez. I** "Ittiri"
2. Carta Tecnica Regionale scala 1:10 000 - Fogli: **479120** "Romana" e **480090** "Campo Giavesu".



AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 9 di 53
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------



Figura 2 Paesaggio caratteristico dell'area di studio

Il Parco Eolico è costituito quindi da 11 aerogeneratori ad asse orizzontale montati su torri tubolari ad elementi in acciaio; dopo attente valutazioni ed alla luce dei dati del vento rilevati in loco ed in siti attigui, il modello più adatto a questo tipo di ventosità è risultato il V162 da 6,0 MW prodotto dalla fabbrica VESTAS con sede in Danimarca, ormai collaudato con risultati altamente prestazionali. Questi sono posizionati ad una distanza mediamente tra di loro pari a 6 volte il diametro del rotore, nel senso del vento dominante proveniente dal quadrante nordovest, e 3,5 volte il diametro del rotore, in senso perpendicolare alla direzione del vento dominante.

La potenza nominale del parco eolico installata è pari a 66 MW. Con un vento medio annuale di 6.36 m/s e un funzionamento annuale previsto pari a circa 2.861 ore equivalenti la produzione di energia elettrica lorda stimata è di circa 197.285 MWh/anno.

Per poter disporre di dati del vento attendibili e reali, sono stati installati due anemometri di altezza di 99 m, MM1 in data 14.01.2022 in località "M. Rattari" e MM2 in data 18.02.2022 in località "Rispu", adatti al rilevamento delle caratteristiche della ventosità del sito.

Le caratteristiche tecniche degli aero-generatori e del parco sono le seguenti:

- generatori asincroni trifase con potenza nominale pari a 6,0 MW, tensione 3 X 0.96 Kv, freq. 50 Hz
- rotori a tre pale con diametro pari a 162 m;
- torri in acciaio a sviluppo tronco conico di altezza pari a 125 m;
- cabine elettriche secondarie di trasformazione inserite in ogni aerogeneratore;
- rete elettrica interrata MT a 30 KV dai singoli aerogeneratori alla sottostazione di trasformazione MT/AT;
- sottostazione di trasformazione MT/AT (Media Tensione 30 kV - Alta Tensione 150 kV), comprendente sezionamento, ricezione e smistamento;
- rete telematica interrata per il monitoraggio e controllo dell'impianto;
- connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) in alta tensione 150 KV.

Le fondazioni delle torri saranno costituite da piastre in cemento armato atte a ripartire sia le azioni statiche dovute al peso proprio dell'apparato eolico che le azioni dinamiche dovute al vento trasmesse alla base delle torri dagli

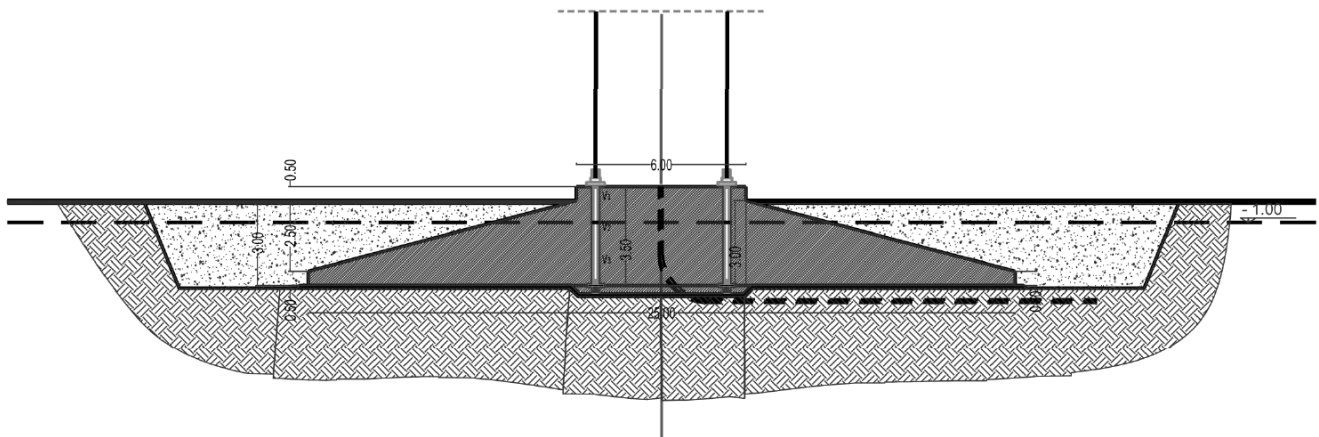
“apparati eolici”. Da un predimensionamento di massima risulta che per terreni sufficientemente portanti ( $\sigma > 1 \text{ N/mm}^2$ ), dovranno realizzarsi fondazioni a platea di forma circolare aventi un raggio di 12,5 m e un'altezza complessiva di 3,50 m

In caso di terreni dalle caratteristiche meccaniche scarse, si realizzeranno delle platee su pali di grande diametro (cm 100) disposti su tutta l'area di base atti a garantire adeguata stabilità al sistema fondazione-terreno.

Le fondazioni saranno interrato e ricoperte da uno strato di terreno dello spessore di circa m 1.

L'utilizzo di una tipologia o di un'altra scaturirà dalle indagini geotecniche derivanti dai sondaggi previsti in fase esecutiva in corrispondenza di ogni aerogeneratore.

Il volume di scavo della fondazione per ogni aerogeneratore è di circa 2260 mc.



Schema di fondazione

## 4. Proprietà meccaniche dei terreni

### 4.1. Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento

A partire dal Paleozoico si sono susseguiti una serie di eventi geologici sviluppatasi nell'arco di circa mezzo miliardo di anni, che hanno reso la Sardegna una delle regioni geografiche più antiche del Mediterraneo centrale e, morfologicamente e cronologicamente eterogenea.

L'isola riflette pertanto una storia geologica molto articolata, che testimonia, in maniera più o meno completa, alcuni dei grandi eventi geodinamici degli ultimi 400 milioni di anni.

L'orogenesi Caledoniana, la più antica, le cui tracce si rinvencono principalmente nel nord della Gran Bretagna e nella Scandinavia occidentale, fu causata dalla progressiva chiusura dell'oceano Giapeto, a seguito della collisione dei continenti Laurentia, Baltica e Avalonia, dando così origine al super continente Laurussia.

La successiva fase dell'orogenesi Ercinica (o Varisica) ha avuto corso a partire dal Carbonifero, circa 350 Ma fa e si è protratta fino al Permiano determinando un'estesa catena montuosa ubicata tra il Nord America e l'Europa.

Quest'orogenesi ha prodotto in Sardegna tre zone metamorfiche principali. Procedendo dal nucleo orogenetico verso l'avanzata si trovano le zone dette: Assiale (Sardegna NE) – a Falde interne (Sardegna centrale) - a Falde esterne (Sardegna SW).

Successivamente, tra il Carbonifero Sup. e il Permiano Inf., il basamento paleozoico è soggetto a magmatismo, intrusioni di differente composizione, che danno luogo a un batolite granitico composito, la cui ossatura fondamentale affiora in continuità nella Sardegna Settentrionale e nella Corsica Occidentale.

Nel resto dell'Isola affiorano plutoni isolati, anch'essi compositi, di minori dimensioni, quali quelli dell'Iglesiente e del Sarrabus.

L'area di studio ricade nella zona costituita dalla copertura sedimentaria e vulcanica post-ercinica; principalmente è costituita dalle coperture sedimentarie mioceniche, dalle rocce della successione vulcano-sedimentaria Miocenica, e dai depositi quaternari. Il vulcanismo oligo-miocenico sardo rappresenta uno degli eventi geologici terziari più importanti del Mediterraneo occidentale.

L'importanza di questo ciclo vulcanico è testimoniata dalla grande estensione degli affioramenti) e dai cospicui spessori delle successioni vulcaniche che raggiungono parecchie centinaia di metri.

Si tratta di un'associazione di prodotti con affinità calcicalina e subordinatamente tholeiitica e calcicalina alta in potassio

(BECCALUVA et alii, 1987), rappresentata da serie vulcaniche da basaltico- andesitiche a dacitiche (principalmente in colate laviche e cupole di ristagno) e da serie da dacitiche a riolitiche (principalmente in espandimenti ignimbritici). In particolare, l'area vasta è compresa all'interno *Distretto vulcanico di Capo Marargiu*, del *Distretto vulcanico di Osilo Castelsardo* e della *Successione sedimentaria oligo-miocenica del Logudoro-Sassarese*.

### 4.2. Successione litostratigrafica dell'area di intervento

La successione vulcanica oligo-miocenica affiorante nell'area di interesse è costituita da ammassi lavici, duomi e piroclastiti messi in posto in condizioni subaeree e da subordinate epiclastiti.

#### 4.2.1. Distretto vulcanico di Capo Marargiu (Miocene Inferiore)

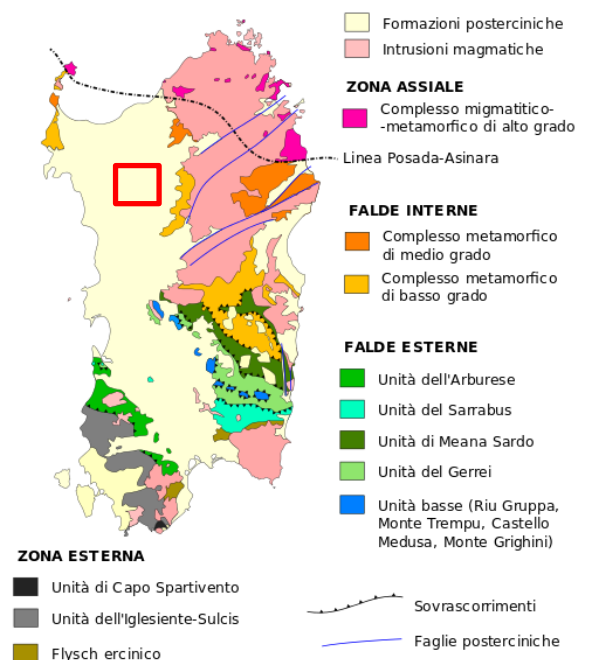


Figura 3 Schema tettonico-strutturale della Sardegna

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 12 di 53
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

**(MTD) Unità di Pala Mantedda.** Lave da andesitiche a dacitiche talora scoriacee ipocristalline, porfiriche per fenocristalli di Pl, Cpx; in domi e colate separate da livelli conglomeratici. ?AQUITANIANO – BURDIGALIANO

**(SSU) Unità di Su Suerzu:** rappresentati da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, saldati, e con tessitura paratassitica, di colore rossastro, con fiammae grigiastre di dimensioni comprese tra 2 cm e 20 cm, e litici centimetrici costituiti da altre ignimbriti o da andesiti. Nell'area a NNW di Thiesi è presente un prodotto di aspetto ossidianaceo, probabilmente originato dalla silicizzazione di una piroclastite, di colore grigio da chiaro a scuro, con spessore limitato (7-8 m), preceduto da cineriti bianche contenenti frustoli carboniosi e litici e lapilli accrezionali. I depositi di Su Suerzu sono delimitati dalle Lave di Pala Mantedda (MTD) a letto, e dai corpi di Nuraghe Vittore (UNV) a tetto, con rapporti di disconformità. La composizione chimica delle ignimbriti è riodacitica, mentre lo spessore varia tra 15-20 m fino a 70 m. Burdigaliano.

**(UUI) Unità di Uri:** è costituita da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, variamente saldati, di colore grigiastro e subordinatamente rossastro per alterazione, ricchi in frammenti litici e cristalli liberi. Il deposito piroclastico è costituito da pomici biancastre e litici eterometrici (4-5 cm) di natura andesitica o ignimbratica, in matrice cineritica grossolana nella quale sono immersi anche cristalli di plagioclasio, pirosseno e biotite. Il diverso grado di saldatura varia dalla base (nullo) verso il tetto della successione (elevato), influenza la tessitura della roccia, che si presenta debolmente isoorientata nei termini poco saldati, mentre è marcatamente eutassitica nei termini saldati. La composizione delle piroclastiti è riolitica, e lo spessore varia da pochi metri fino a 30 m. Le datazioni radiometriche ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , Gattacecca et al., 2007) indicano un'età di  $18,95 \pm 0,07$  (Burdigaliano).

**(RESa) Litofacies nella Formazione di Mores:** nota come "calcarei inferiori", è costituita da una successione di calcareniti, calcari bioclastici fossiliferi, e calcari a componente terrigena variabile, con faune a gasteropodi "Turritelle", ostreidi ed echinidi (Scutella, Amphiope), riferibili al Miocene inferiore (Burdigaliano). Il passaggio alla soprastante formazione di Borutta (RTU) presenta spesso caratteri eteropici, infatti può esser sormontata direttamente dalla Formazione di Monte Santo (NST). Burdigaliano superiore.

**(UNV) Unità di Nuraghe Vittore.** Andesiti e daciti porfiriche per fenocristalli di Pl, Px e Ol; in colate. BURDIGALIANO è costituita da colate di andesiti basaltiche e basalti, con caratteristiche prevalenti di autobrecce, e daciti porfiriche. Le lave coerenti hanno colore grigio scuro e tessitura porfirica per fenocristalli di plagioclasio, pirosseno e olivina in pasta di fondo microcristallina. Presentano frequente fratturazione tipo *platy jointing* secondo la direzione di flusso. Le lave a blocchi sono costituite da blocchi irregolari e eterometrici di lava, debolmente vescicolati, a tessitura clasto-sostenuta, con arrossamento dovuto ad alterazione idrotermale.

**(TLR) Unità di Chelchedu-Tiloromo.** Andesiti e andesiti basaltiche in cupole di ristagno, ipocristalline, porfiriche per fenocristalli di Pl, Ol, Cpx; intercalate e/o iniettate entro i depositi piroclastici dell'unità UUI.

**(TSU) Unità di Monte Traessu.** Rioliti in colate e depositi piroclastici tipo block and ash flows prevalentemente monogenici e caotici. ( $\text{K}/\text{Ar}$ :  $16,8 \pm 0,2$  Ma: Lecca et alii, 1997). BURDIGALIANO

**(RUG) Unità di Monte Rugu.** Daciti e riodaciti porfiriche per fenocristalli di Pl, San, Am e Bt; in cupole di ristagno. ( $\text{K}/\text{Ar}$ :  $17,5 \pm 0,5$  Ma: Lecca et alii, 1997). BURDIGALIANO

**(NIA) UNITÀ DI PUNTA NIASSA.** Riodaciti in cupole di ristagno, filoni, guglie e laccoliti. ( $\text{K}/\text{Ar}$ :  $14,3 \pm 0,2$  Ma -  $13,3 \pm 0,2$  Ma: Lecca et alii, 1997). LANGHIANO

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 13 di 53
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

#### 4.3. Depositi Quaternari dell'area continentale

I depositi quaternari cartografati nell'area di studio sono generalmente poco rilevanti; sono rappresentati principalmente da depositi alluvionali, depositi di versante e sedimenti legati a gravità.

**(PVM2a) Litofacies nel Subsistema di Portovesme:** si tratta di depositi di ghiaie e alluvioni terrazzate, da medie a grossolane, con subordinate sabbie. Pleistocene superiore.

**(a) Depositi di versante:** sono costituiti da detriti con clasti angolosi, talora parzialmente cementati accumulati essenzialmente per gravità alla base dei versanti rocciosi più ripidi. Olocene.

**(b2) Coltri eluvio-colluviali.** Detriti immersi in matrice fine sabbiosi o limosi, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. La presenza di frazione organica indica che si tratta di sedimenti derivati dall'erosione del suolo durante l'Olocene, mescolati, a sedimenti provenienti, per degradazione fisica, direttamente dal substrato. Olocene.

**In particolare le turbine AG02, AG06 e AG07 ricadono nella litologia RESa; la turbina AG01 ricade nella litologia NIA; le turbine AG03, AG04, AG05 e AG09 ricadono nella litologia TLR e le turbine AG08, AG10 e AG11 ricadono nella litologia TSU.**

L'area di studio è localizzata in una porzione del Complesso vulcanico Oligo-Miocenico situata a SW del Bacino del Logudoro, un semi-graben orientato NNW-SSE che si estende dall'altopiano di Campeda a S fino alla zona di Ittiri e Ploaghe a N; più a settentrione si sviluppa il bacino di Porto Torres, di cui è noto il proseguimento a mare. La strutturazione del bacino del Logudoro avviene tramite una serie di faglie dirette che ne identificano il margine occidentale, mentre quello orientale è caratterizzato dalla trasgressione miocenica occidentale, mentre quello orientale è caratterizzato dalla trasgressione miocenica su un substrato costituito prevalentemente dalle vulcaniti aquitaniano-burdigagliane e da sedimenti mesozoici.

I sedimenti miocenici, procedendo da E verso W, mostrano un'evoluzione da ambienti prossimali a distali. La sequenza più antica ha un'età che va dal Burdigaliano superiore al Langhiano. Essa poggia con rapporti di onlap sulle sottostanti vulcaniti oligo-aquitane ed è interrotta superiormente da una superficie erosiva. È caratterizzata da una successione sedimentaria costituita alla base da sedimenti clastici grossolani tipici di ambiente fluvio-deltizio che passano a calcari litorali e sabbie, seguiti da silti e marne arenacee tipiche di ambiente marino più profondo.

Su quest'ultima giace la seconda sequenza deposizionale che arriva fino al Tortonian (?) Messiniano, costituita da sabbie fluvio-marine alla base, cui seguono calcari di piattaforma interna ricchi di alghe ed episodi hermal (Mazzei et Oggiano, 1990).

Movimenti tettonici responsabili di sollevamenti differenziali di settori di piattaforma sono evidenziati sia da strutture deposizionali sintettoniche che dall'erosione di parte della prima sequenza.

I depositi quaternari sono principalmente costituiti da depositi alluvionali e depositi di versante.

L'area vasta è caratterizzata da diverse faglie a direzione NW-SE (settore centrale dell'area di studio) e alcune a direzione NE-SW (nel settore occidentale dell'area vasta). Di queste strutture tettoniche presenti, le faglie determinano il controllo tettonico delle principali valli incise. La giacitura dei piani è abbastanza costante, sebbene possa essere influenzata dalle faglie.

## 5. Campagna indagini di caratterizzazione geotecnica e sismica

La necessità di integrare le informazioni di tipo geologico e geotecnico derivanti da studi pregressi, dalla letteratura di settore e dai rilievi geologici e geostrutturali in sito, ha reso necessario predisporre un piano di indagini geognostiche propedeutiche alla definizione del modello geologico di riferimento di sito funzionale alle opere previste in progetto così come richiamato dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC2018 - §Cap. 6.2.1).

L'obiettivo delle indagini realizzate è stato:

1. Definire la stratigrafia ed i rapporti tra le formazioni geologiche interessate dagli interventi;
2. Definire le caratteristiche fisico-meccaniche degli ammassi rocciosi coinvolti nelle opere in progetto;
3. Individuare la presenza di circolazione d'acqua sotterranea alle profondità di interesse in relazione ai volumi significativi delle opere (fondazioni, piazzole, trincee e rilevati stradali, stabilità dei pendii)

La metodica utilizzata è quella indiretta in sito, ovvero l'indagine geofisica, questa costituisce parte integrante delle indagini geognostiche dirette e indirette legate alla caratterizzazione dei terreni di fondazione. In particolare si pone come obiettivo la ricostruzione dell'assetto sismo-stratigrafico dei terreni sede di posa delle opere di fondazione nonché la classificazione del suolo di fondazione per le categorie semplificate indicate nel Decreto 17 gennaio 2018 - NTC 2018 aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni".

Sono stati eseguiti di n°5 **stendimenti di geoelettrica**, **5 stendimenti di sismica** con tecnica **MASW e rifrazione in onde P**. Tutte le basi sismiche MASW ricadono lungo il medesimo allineamento delle rifrazioni, così come i 5 stendimenti geoelettrici, i quali hanno il medesimo centro degli allineamenti sismici ma sono leggermente più lunghi (93,0 m).

E' stato inoltre eseguito il Rilievo topografico tramite GPS differenziale STONEX S70G (geofoni, punti di shot, elettrodi /picchetti) e restituzione dei profili altimetrici da impiegare nelle sezioni di tomografia elettrica e sismica. Sono stati infine elaborati i dati ottenuti tramite analisi delle prospezioni acquisite in campagna, applicazione filtri, e restituzione grafica delle sezioni sismiche con l'impiego di software specialistici.

Stendimento	Metodo di indagine	Orientamento	Geofoni/Picc hetti	Interdistanza	Lunghezza (m)
<b>R/M 1 (SMT01)</b>	Rifrazione/MASW	NE-SW	24	3,0	69,0
<b>R/M 2 (SMT02)</b>	Rifrazione/MASW	N-S	24	2,5	57,5
<b>R/M 3 (SMT03)</b>	Rifrazione/MASW	E-W	24	3,0	69,0
<b>R/M 4 (SMT04)</b>	Rifrazione/MASW	SW-NE	24	3,0	69,0
<b>R/M 5 (SMT05)</b>	Rifrazione/MASW	S-N	24	3,0	69,0
<b>T 1 (SMT01)</b>	Tomografia Elettrica	NE-SW	32	3,0	93,0
<b>T 2 (SMT02)</b>	Tomografia Elettrica	N-S	32	2,5	77,5
<b>T 3 (SMT03)</b>	Tomografia Elettrica	E-W	32	3,0	93,0
<b>T4 (SMT04)</b>	Tomografia Elettrica	SW-NE	32	3,0	93,0
<b>T5 (SMT05)</b>	Tomografia Elettrica	S-N	32	3,0	93,0

Tabella 1 Ubicazione degli stendimenti

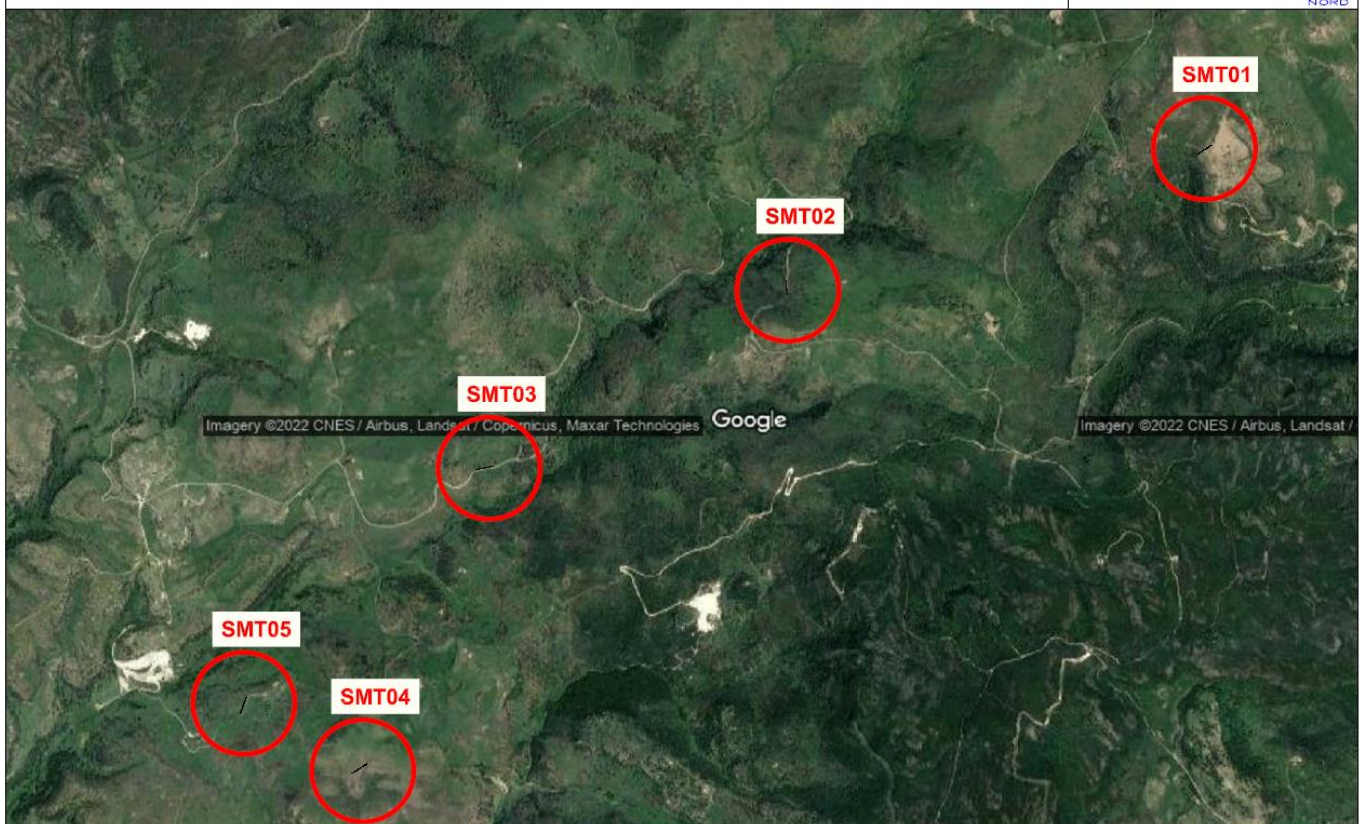
**Tavola 1 : INQUADRAMENTO GENERALE DELLE AREE DI INDAGINE**

Progetto: Parco eolico Aregu

Scala 1:25.000

**Legenda**

○ AREE DI INDAGINE

**Figura 4 - Ubicazione delle indagini geofisiche**

### 5.1. Generalità sul metodo sismico a rifrazione

Il metodo sismico a rifrazione studia la velocità di propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo quando il terreno è sottoposto a sollecitazioni artificiali. La determinazione delle velocità si ottiene misurando i tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in diversi punti sulla superficie topografica. Operativamente i profili sismici si eseguono disponendo sul terreno una serie di sensori (geofoni), posti ad un intervallo costante, collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare.

Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente vibrazioni impulsive in corrispondenza di punti prestabiliti lungo i profili: Nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (trigger). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con campionamento ad intervallo costante e predeterminato, dei segnali ricevuti dai sensori. L'interpretazione dei segnali e la ricostruzione del profilo di velocità delle onde P consiste di almeno due fasi ben distinte, e cioè l'interpretazione dei sismogrammi e l'interpretazione dei diagrammi tempi-istanze (dromocrone).

Nella prima fase i tempi di primo arrivo dei segnali sismici vengono letti direttamente sui sismogrammi di campagna visualizzati a monitor. I tempi letti in corrispondenza di ciascun canale (geofono), vengono memorizzati in appositi files che costituiscono i dati in input del software utilizzato. Per ciascun tiro, quindi, si ricostruisce un diagramma dei tempi di arrivo in funzione della distanza dal punto di tiro stesso.

L'interpretazione delle dromocrone consiste, quindi, nel suddividere la funzione tempi/distanze in segmenti a pendenza differente, indicativi della presenza di variazioni di velocità nel sottosuolo. Questa operazione viene

eseguita ad un terminale videografico dove è possibile eseguire modifiche ed aggiustamenti continui dell'interpretazione.

Il numero di segmenti per ciascuna funzione equivale al numero di strati che costituiranno il modello interpretativo finale; modello che consiste in una stratigrafia del terreno basata sulle variazioni di velocità delle onde compressionali.

Nella maggior parte dei casi, comunque, si riscontrano variazioni stratigrafiche che non corrispondono a variazioni di tipo litologico in senso stretto, ma alla naturale variazione di compattezza dello stesso materiale che, per alterazione superficiale o per semplice decompressione, si presenta più allentato in prossimità della superficie rispetto alle zone più profonde.

In questi casi per la modellizzazione del sottosuolo, risulta più adatta un'altra tecnica di elaborazione: la tecnica di elaborazione tomografica.

Con questa tecnica il sottosuolo viene suddiviso in elementi finiti di forma quadrata e di dimensioni estremamente piccole (dell'ordine di grandezza di decimetri) un software specifico, (nel nostro caso si è utilizzato il software RAYFRACT vers 4.01), che stima le velocità sismiche compatibili con ogni singolo elemento affinché i tempi di percorso dei vari fronti d'onda, generati nei punti di tiro disposti lungo il profilo, risultino il più possibile simili ai tempi misurati e letti sui sismogrammi. Il risultato che si ottiene è una griglia di valori di velocità dalla superficie fino alle massime profondità di indagine che caratterizzano i vari elementi in cui è stato suddiviso il sottosuolo.

Questa griglia di valori può essere, quindi utilizzata per rappresentare l'andamento nel sottosuolo delle varie litologie presenti mediante variazioni cromatiche associate alle variazioni di velocità o mediante linee di isovelocità.

### 5.1.1. Caratteristiche delle stese sismiche

Per tutte le basi sismiche sono state eseguite 9 energizzazioni intervallate ogni 3 geofoni secondo lo schema di acquisizione definito dalla specifiche tecniche.

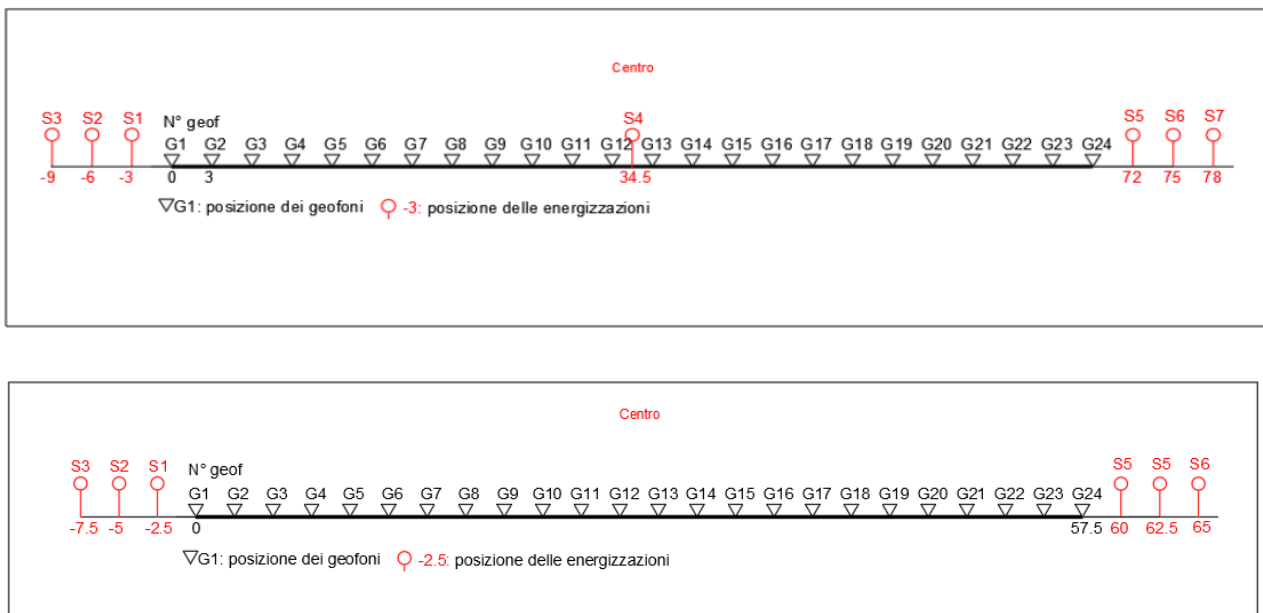


Figura 5 Stendimento di sismica a rifrazione in onde P con 24 geofoni, interdistanza di 3,0 m, lunghezza complessiva 69,0 E 57,5m



AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 17 di 53
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

### 5.1.2. Caratteristiche della Strumentazione impiegata

Per l'esecuzione delle indagini è stato impiegato un sismografo DoReMi, prodotto dalla SARA electronicinstruments, 24bit con frequenza di campionamento 1000 Hz per ognuno dei canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali SARA electronics con frequenza propria di 4.5 Hz.

Per l'energizzazione ci siamo avvalsi di mazza battente da 10 kg impattante su piastra di battuta in duralluminio, diametro 18 cm, spessore 4 cm, peso 2 kg.

La quota relativa di ciascun geofono-shot è stata rilevata tramite una livella digitale e GPS differenziale marca Stonex in modo da poter ricostruire la morfologia del terreno e utilizzarla in fase di elaborazione dei dati acquisiti.

### 5.1.3. Elaborazione dei dati

I dati delle prospezioni sono costituiti dalla geometria d'acquisizione (posizioni e quote relative dei punti scoppio e dei geofoni) e dai tempi di primo arrivo delle onde elastiche di compressione (onde P), determinati manualmente sulle registrazioni riprodotte a schermo (picking dei primi arrivi). La qualità dei dati è risultata nel complesso buona e il picking è stato realizzato facilmente per tutte le basi sismiche. L'inversione dei dati è stata eseguita secondo i criteri della tomografia sismica, mediante apposito software specialistico basato su tecniche di ottimizzazione non lineare. In particolare, l'elaborazione dei dati di sismica a rifrazione è stata eseguita secondo il metodo tomografico impiegando il software Rayfract 4.01, che parte da un modello iniziale

generato con la tecnica Deltat-V. Successivamente viene effettuata l'inversione iterativa del modello con la tecnica WET (Wavepath Eikonal Traveltime tomography processing) che analizza la propagazione dei vari fronti d'onda generati nei punti di tiro fino ad ogni geofono. Il modello stratigrafico ottenuto come insieme di elementi caratterizzati da una specifica velocità viene quindi rappresentato mediante il contour a linee di isovelocità. La colorazione dei vari elementi secondo una scala cromatica riferita a specifici intervalli di velocità facilita l'immediata visione dei risultati

## 15.2. Indagini sismiche: MASW

### **Metodologia**

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

### **Moto del segnale sismico**

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- P-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- S-Trasversale: onda profonda di taglio;
- L-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- R-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

### **Onde di Rayleigh – "R"**

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

### **Analisi del segnale con tecnica MASW**

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 18 di 53
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

### **Modellizzazione**

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

### **Modi di vibrazione**

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

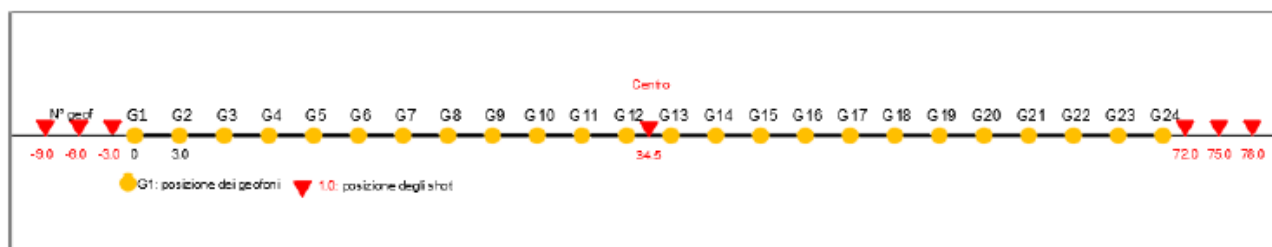
### **Profondità di indagine**

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

#### 5.1.4. Specifiche delle indagini svolte

L'indagine si sviluppa mediante la materializzazione sul terreno di una linea retta mediante la posa di una fettuccia metrica. A seguire vengono posizionati i geofoni intervallati ad una distanza pari a **3,0 m** in funzione anche della disponibilità di spazio. Esternamente alla stesa geofonica, da ora base sismica, a distanza di interesse che può essere pari ad un multiplo della distanza intergeofonica ma anche variabile (in funzione delle disponibilità di cantiere), sia in andata (ovvero in prossimità del geofono 1) che al ritorno (ovvero all'ultimo geofono posizionato sulla base sismica), vengono svolte delle energizzazioni mediante massa battente pari a Kg 10,0. Nel caso in esame, sono state svolte le energizzazioni in "andata" e in "ritorno" con distanza dal geofono 1 e dal geofono 24 crescente e pari a multipli della distanza intergeofonica (v. schema), oltre che una battuta al centro della base sismica. Il numero di geofoni utile all'esecuzione ottimale di un'indagine M.A.S.W. è risultato, per il cantiere svolto, di 24 geofoni dei quali sono state utilizzate tutte le tracce. Il tempo dell'acquisizione è stato definito tra 1.00 e 2.00 secondi.

#### **MASW: schema geometrico delle acquisizioni a 24 geofoni e interdistanza di 3,0 m**



AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 19 di 53
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

#### 5.1.5. Caratteristiche della strumentazione impiegata

Per l'esecuzione del cantiere d'interesse, è stata impiegata una strumentazione di acquisizione modello GEA24, prodotto dalla PASI Geophysics, con frequenza di campionamento 1500 Hz per ognuno dei canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali e orizzontali della PASI Geophysical con frequenza propria di 4,5 Hz. Il numero di canali è risultato pari a n° 24 canali.

Per l'energizzazione ci siamo avvalsi di una mazza battente da 10 kg impattante verticalmente su piastra di battuta in duralluminio, diametro 18 cm, spessore 4 cm, peso 2 kg.

#### 5.1.6. Interpretazione dei segnali acquisiti

Il metodo interpretativo della M.A.S.W. si compone dei seguenti passaggi di analisi dei segnali acquisiti:

- individuazione della variazione del segnale acquisito nel tempo
- analisi di Fourier con definizione dei contenuti spettrali acquisiti nei segnali
- stacking dello spostamento di fase con definizione delle velocità di rotazione retrograda compatibile con il campo di frequenza definita.

A posteriori dell'analisi matematica del segnale acquisito, definito un modello stratigrafico compatibile con la geologia locale, si provvede all'inversione della curva di dispersione ottenendo la sismo-stratigrafia.

L'elaborazione dei dati che ha prodotto il profilo di velocità è stata realizzata grazie all'impiego del software ZondST2D.

#### 5.1.7. Categorie di sottosuolo - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018)

Le "Norme Tecniche per le Costruzioni" – Decreto del 19/01/2018 definiscono le regole per progettare l'opera sia in zona sismica che in zona non sismica. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

$h_i$  spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

**N** numero di strati;

**H** profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato  $H$  è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II. Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle NTC 2018. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

**Tabella 3.2.II.** Categorie di sottosuolo (Fonte NTC 2018)

<b>Categoria</b>	<b>Descrizione</b>
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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.
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
<b>E</b>	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

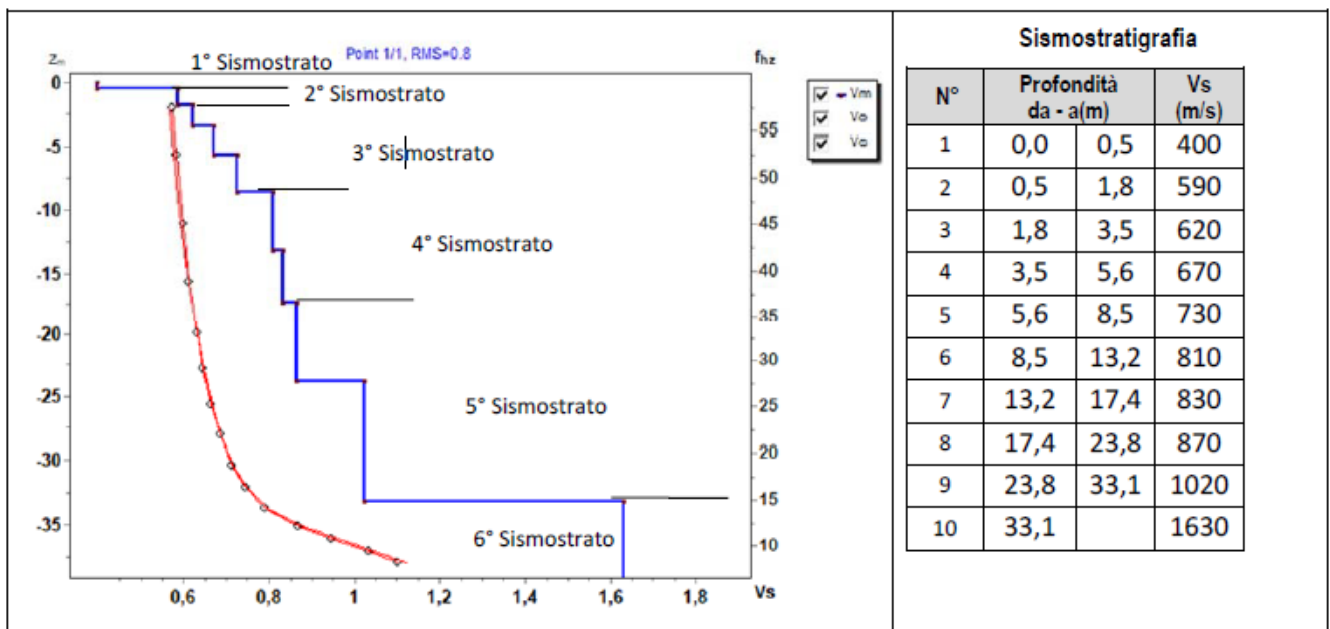
## 5.2. Risultati delle indagini del sito SMT01

## 5.2.1. Masw SMT01

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento SMT01, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0 – 0,5	1° sismostrato con Vs di <b>400 m/s</b> , Terre molto addensate
0,5 – 1,8	2° sismostrato con Vs di <b>590 m/s</b> , Roccia tenera e/o intensamente fratturata
1,8 – 8,5	3° sismostrato con Vs tra <b>620 e 730 m/s</b> , Roccia tenera e/o intensamente fratturata
8,5 – 17,4	4° sismostrato con Vs tra <b>810 e 830 m/s</b> , Substrato roccioso intensamente fratturato
17,4 – 33,1	5° sismostrato con Vs tra <b>870 e 1020 m/s</b> , Substrato roccioso fratturato
>33,1	6° sismostrato con Vs di <b>1630 m/s</b> , Substrato roccioso sano

## MASW M1 - PROFILO Vs



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

$h_i$  spessore dell'*i*-esimo strato;

$V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;

$N$  numero di strati;

$H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **8,5 m** ( $V_s > 800$  m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **8,5 m** di profondità dal p.c. è pari a:  **$V_{s,eq} = 8,5/0,0133 = 638$  m/s** che dà luogo ad una categoria B, ossia:

**Categoria B:** Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Nella **tabella seguente** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità $\gamma$	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio $G_0$	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0-0,5	terre	1.600	800	400	0,33	686	82	255	686
2	0,5-1,8	10%	1.700	1.180	590	0,33	1.579	158	588	1.579
3	1,8-8,5	15%	1.800	1.350	675	0,33	2.187	328	824	2.187
4	8,5-17,4	20%	2.000	1.640	820	0,33	3.589	718	1.344	3.589
5	17,4-33,1	25%	2.100	1.890	945	0,33	5.001	1.250	1.873	5.001
6	>33,1	30%	2.200	3.260	1.630	0,33	15.583	4.675	5.845	15.583

Figura 6 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

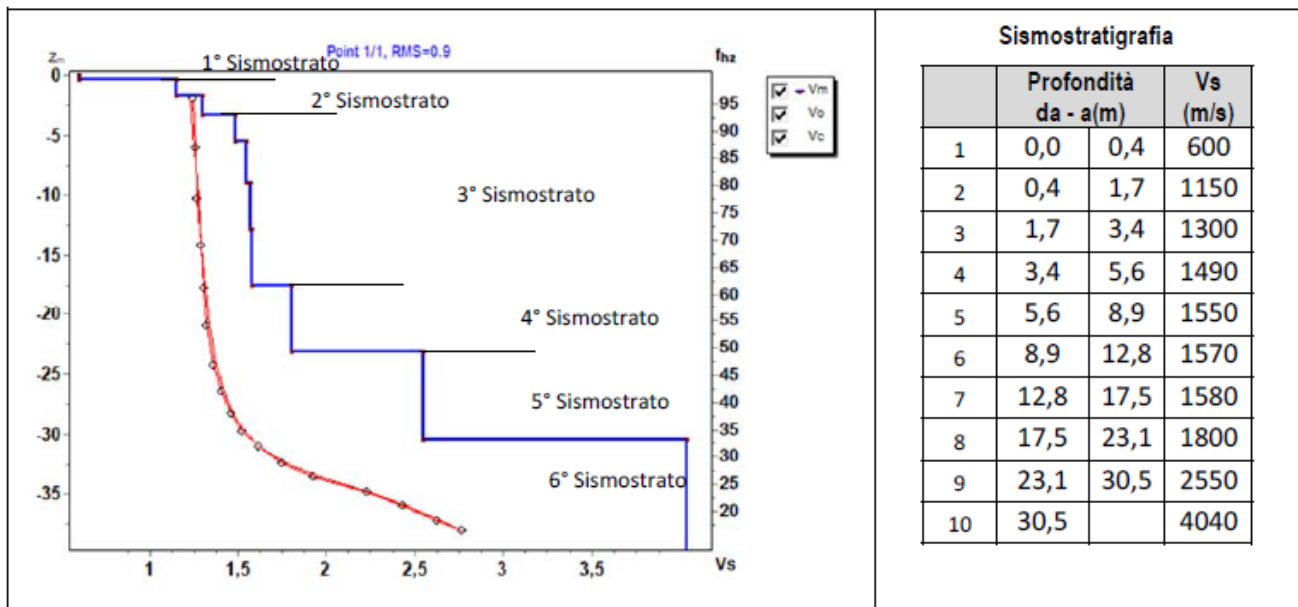
## 5.3. Risultati delle indagini del sito SMT02

## 5.3.1. Masw SMT02

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento SMT02, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 – 0,4	1° sismostrato con Vs di <b>600m/s</b> , Terre molto addensate
0,4 – 3,4	2° sismostrato con Vs tra <b>1150 e 1300 m/s</b> , Substrato roccioso da debolmente fratturato a sano
3,4 – 17,5	3° sismostrato con Vs tra <b>1490 e 1580 m/s</b> Substrato roccioso sano
17,5 – 23,1	4° sismostrato con Vs di <b>1800 m/s</b> , Substrato roccioso sano
23,1 – 30,5	5° sismostrato con Vs di <b>2550 m/s</b> , Substrato roccioso sano
>30,5	6° sismostrato con Vs di <b>4040 m/s</b> , Substrato roccioso sano

## MASW M2 - PROFILO Vs



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

$h_i$  spessore dell'*i*-esimo strato;

$V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;

$N$  numero di strati;

$H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **0,4 m** ( $V_s > 800$  m/s), che dà luogo ad una Categoria A di sottosuolo, ossia:

**Categoria A:** Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

Nella **tabella seguente** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità $\gamma$	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio $G_0$	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0-0,4	terre	1.800	1.200	600	0,33	1.726	208	647	1.726
2	0,4-3,4	15%	1.900	2.450	1.225	0,33	7.600	1.140	2.854	7.600
3	3,4-17,5	20%	2.000	3.070	1.535	0,33	12.563	2.513	4.717	12.563
4	17,5-23,1	25%	2.100	3.600	1.800	0,33	18.143	4.536	6.806	18.143
5	23,1-30,5	30%	2.200	5.100	2.550	0,33	38.148	11.445	14.308	38.148

Figura 7 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche



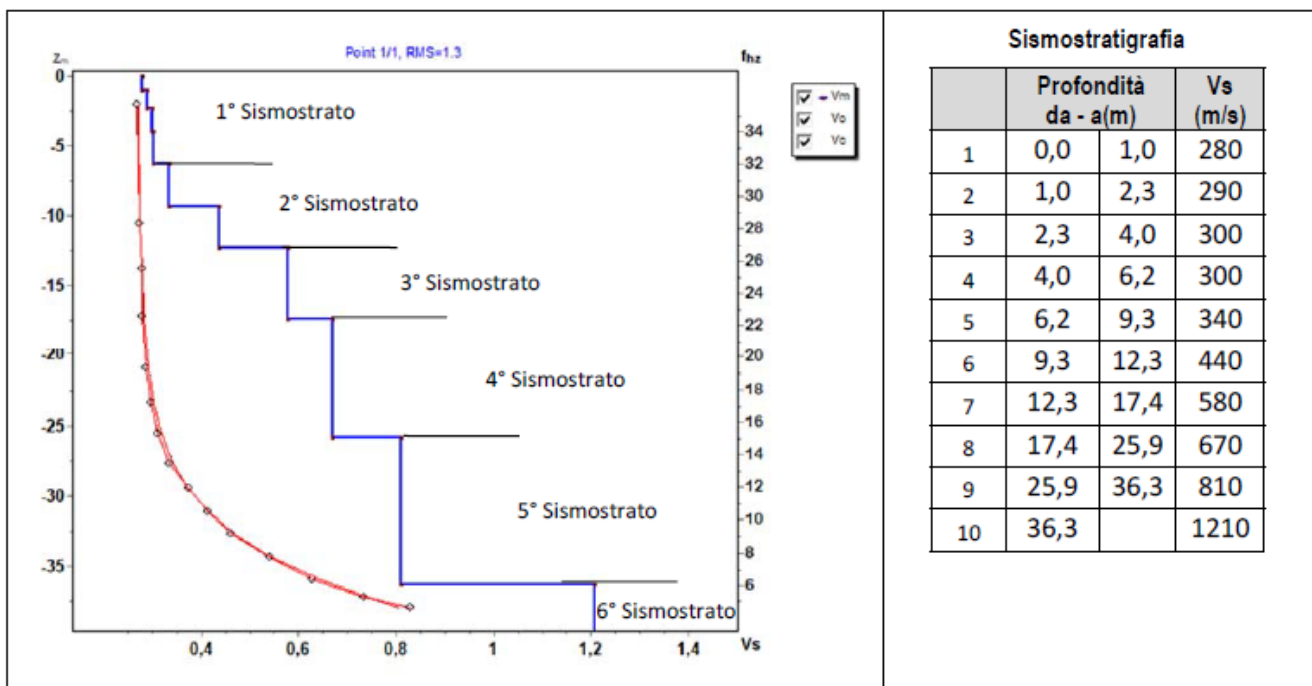
## 5.4. Risultati delle indagini del sito SMT03

## 5.4.1. Masw SMT03

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento SMT03, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 – 6,2	1° sismostrato con Vs tra <b>280 e 300 m/s</b> , Terre poco addensate
6,2 – 12,3	2° sismostrato con Vs tra <b>340 e 440 m/s</b> , Terre mediamente addensate
12,3 – 17,4	3° sismostrato con Vs di <b>580 m/s</b> Roccia tenera e/o intensamente fratturata
17,4 – 25,9	4° sismostrato con Vs di <b>670 m/s</b> , Roccia tenera e/o intensamente fratturata
25,9 – 36,3	5° sismostrato con Vs di <b>810 m/s</b> , Substrato roccioso intensamente fratturato
>36,3	6° sismostrato con Vs di <b>1210 m/s</b> , Substrato roccioso sano

## MASW M3 - PROFILO Vs



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

$h_i$  spessore dell'*i*-esimo strato;

$V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;

$N$  numero di strati;

$H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **25,9 m** ( $V_s > 800$  m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **25,9 m** di profondità dal p.c. è pari a:  $V_{s,eq} = 25,9 / 0,0586 = 442$  m/s che dà luogo ad una categoria B, ossia:

**Categoria B:** Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Nella **tabella seguente** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità $\gamma$	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio $G_0$	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0-6,2	terre	1.600	580	290	0,33	363	44	137	363
2	6,2-12,3	terre	1.700	780	390	0,33	686	82	255	686
3	12,3-17,4	10%	1.900	1.160	580	0,33	1.706	171	637	1.706
4	17,4-25,9	15%	1.900	1.340	670	0,33	2.275	341	853	2.275
5	25,9-36,3	15%	2.000	1.620	810	0,33	3.501	525	1.314	3.501
6	>36,3	20%	2.100	2.420	1.210	0,33	8.198	1.640	3.079	8.198

Figura 8 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

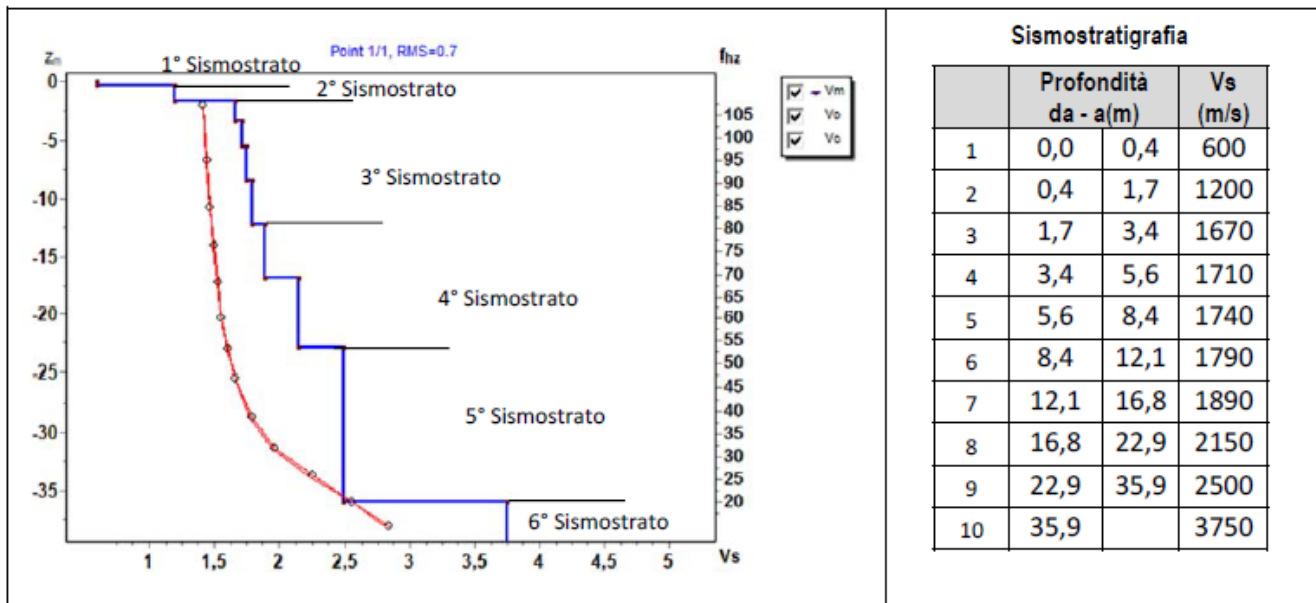
## 5.5. Risultati delle indagini del sito SMT04

## 5.5.1. Masw SMT04

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento SMT04, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 – 0,4	1° sismostrato con Vs di <b>600 m/s</b> , Terre molto addensate e/o roccia intensamente fratturata
0,4 – 3,4	2° sismostrato con Vs tra <b>1200 e 1670 m/s</b> , Substrato roccioso fratturato
3,4 – 12,1	3° sismostrato con Vs tra <b>1710 e 1790 m/s</b> Substrato roccioso sano
12,1 – 22,9	4° sismostrato con Vs tra <b>1890 e 2150 m/s</b> , Substrato roccioso sano
22,9 – 35,9	5° sismostrato con Vs di <b>2500 m/s</b> , Substrato roccioso sano
>35,9	6° sismostrato con Vs di <b>3750 m/s</b> , Substrato roccioso sano

## MASW M4 - PROFILO Vs



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

$h_i$  spessore dell'*i*-esimo strato;

$V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;

$N$  numero di strati;

$H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **0,4 m** ( $V_s > 800$  m/s), che dà luogo ad una Categoria A di sottosuolo, ossia:

**Categoria A:** Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

Nella **tabella seguente** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità $\gamma$	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio $G_0$	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0-0,4	terre	1.800	1.200	600	0,33	1.726	208	647	1.726
2	0,4-3,4	15%	1.900	2.870	1.435	0,33	10.434	1.565	3.913	10.434
3	3,4-12,1	25%	2.100	3.500	1.750	0,33	17.152	4.288	6.433	17.152
4	12,1-22,9	25%	2.100	4.040	2.020	0,33	22.850	5.712	8.571	22.850
5	22,9-35,9	30%	2.200	5.000	2.500	0,33	36.668	11.000	13.749	36.668

Figura 9 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

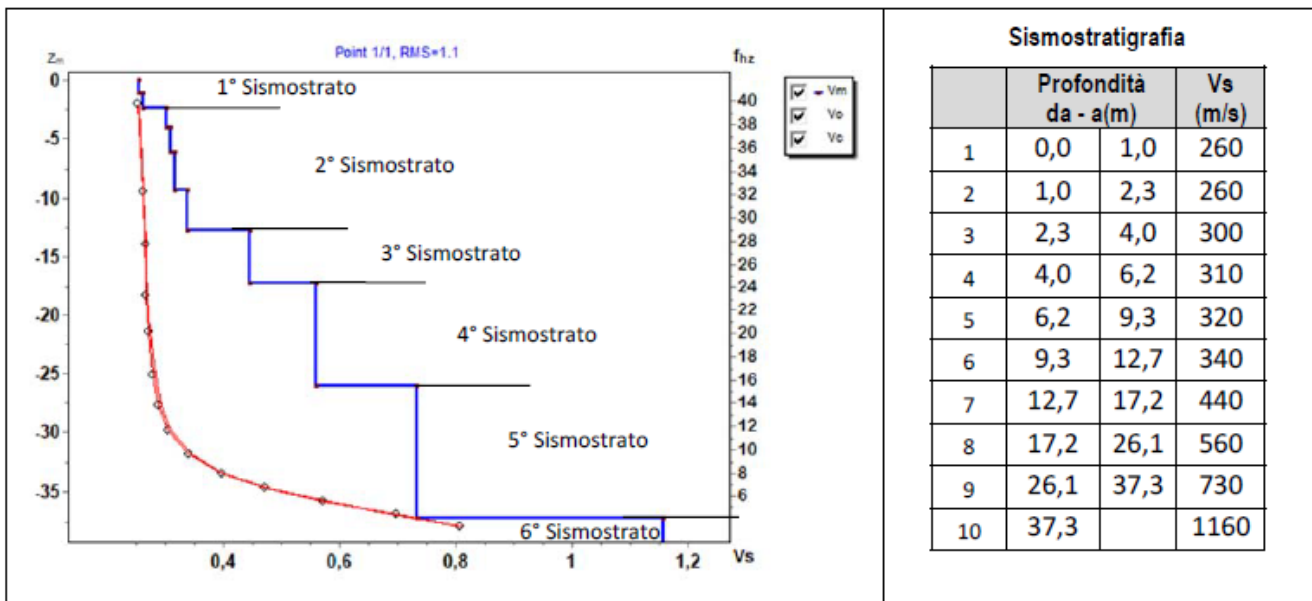
## 5.6. Risultati delle indagini del sito SMT05

## 5.6.1. Masw SMT05

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento SMT05, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 – 2,3	1° sismostrato con Vs di <b>260 m/s</b> , Terre poco addensate
2,3 – 12,7	2° sismostrato con Vs tra <b>300 e 340 m/s</b> , Terre mediamente addensate
12,7 – 17,2	3° sismostrato con Vs di <b>440 m/s</b> Terre molto addensate e/o roccia tenera o intensamente fratturata
17,2 – 26,1	4° sismostrato con Vs di <b>560 m/s</b> , Roccia tenera e/o intensamente fratturata
26,1 – 37,3	5° sismostrato con Vs di <b>730 m/s</b> , Roccia intensamente fratturata
>37,3	6° sismostrato con Vs di <b>1160 m/s</b> , Substrato roccioso debolmente fratturato

## MASW M5 - PROFILO Vs



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

$h_i$  spessore dell'*i*-esimo strato;

$V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;

$N$  numero di strati;

$H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **37,3 m** ( $V_s > 800$  m/s), per cui il valore della velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ :

$V_{s30} = 30,0/0,072708 = 412$  m/s che dà luogo ad una categoria B, ossia:

**Categoria B:** Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Nella **tabella seguente** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità $\gamma$	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio $G_0$	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0-2,3	terre	1.600	520	260	0,33	284	34	108	284
2	2,3-12,7	terre	1.700	640	320	0,33	461	56	177	461
3	12,7-17,2	10%	1.800	880	440	0,33	932	93	353	932
4	17,2-26,1	15%	1.900	1.120	560	0,33	1.589	238	598	1.589
5	26,1-37,3	15%	2.000	1.460	730	0,33	2.844	427	1.069	2.844
6	>37,3	20%	2.100	2.320	1.160	0,33	7.532	1.506	2.824	7.532

Figura 10 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

L'analisi ha permesso di fatto di definire il modello geologico del sito ed in particolare, in relazione alle diverse condizioni geologiche e geostrutturali rilevate, è stato individuato **nr.4 modelli geologici rappresentativi** descritti di seguito:

#### 5.7. Modello Geologico 01 – AG08/AG10/AG11

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati dello stendimento geofisico **SMT01** e le osservazioni in sito. Il modello interessa le formazioni **TSU** e **UUI**.

A partire dal piano campagna dopo un primo spessore di circa 0,50 in terre addensate si incontra un livello superficiale di roccia intensamente fratturata dallo spessore di circa 8,0m, il sottostante substrato roccioso fratturato prosegue fino ad una profondità di circa 17,40 m, quota verosimilmente di contatto stratigrafico fra le due formazioni riolitica (TSU) e piroclastica (UUI). Il substrato prosegue fratturato fino ad una profondità di circa 33m da p.c. oltre la quale le velocità Vs risultano oltre i 1600m/sec indicando roccia poco da fratturata a sana.

L'impiego congiunto della tecnica della tomografia elettrica lungo il medesimo allineamento della sismica a rifrazione ha permesso di identificare lungo i vari stendimenti i diversi elettrostrati riportati e descritti nei precedenti paragrafi, caratterizzati in ogni caso da range abbastanza ridotti e valori di resistività generalmente medio bassi. Nelle varie sezioni non si evidenziano anomalie caratterizzate da valori di resistività inferiori rispetto al resto della sezione, che nel contesto in esame possono essere interpretate come dei settori caratterizzati dalla presenza di materiale maggiormente alterato (argillificazione)/fratturato rispetto alla roccia adiacente e/o alla presenza d' acqua. Altresì non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità).. In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 8,0 e 12,0 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a profondità comprese tra 13,0 e 16,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

Per quanto sopra considerato il contesto geologico in esame in fase di progettazione definitiva/esecutiva si consiglia di eseguire delle indagini geognostiche e geofisiche di maggiore dettaglio (in es. sondaggi a carotaggio e geofisica eseguita con stendimenti ubicati a raggiera rispetto al centro della torre eolica).

TSU	0,00m – 2,00m	Roccia tenera e/o fratturata
	2,00m – 8,50m	Roccia tenera e/o intensamente fratturata
	8,50m – 17,40m	Substrato roccioso intensamente fratturato
UUI	17,40m – 33,10m	Substrato roccioso fratturato
	33,1m – in poi	Substrato roccioso sano

GIAVE/COSSOINE/CHERMULE - MODELLO GEOLOGICO 01 - AG08/AG10/AG11						
Dati Parametri Resistenza						
Tipo di Terreno		S1- Roccia tenera e/o fratturata	S2 – Roccia tenera e/o intensamente fratturata	S3 – Substrato roccioso intensamente fratturato	S4- Substrato roccioso fratturato	S5 – Substrato roccioso sano
Descrizione						
Peso di volume	[kg/mc]	1700	1800	2000	2200	2300
Peso di volume saturo	[kg/mc]	1800	1900	2100	2300	2400
Angolo di attrito interno	[°]	22,67	26,01	35,04	40,52	43,71
Coazione	[Mpa]	1,218	2,011	2,815	3,257	3,620
Dati Parametri Deformabilità						
Modulo elastico	[Mpa]	1000	2190	3590	5000	15583
Coefficiente di Poisson	[ ]	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[Mpa]	588	824	1344	1873	5845
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	590	675	820	945	1630

#### 5.8. Modello Geologico 02 – AG03/AG04/AG05/AG09

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati dello stendimento geofisico **SMT02** e **SMT03** e le osservazioni in sito. Il modello interessa le formazioni andesitiche **TLR**.

A partire dal piano campagna si incontra un livello dello spessore di circa 6 m costituito da terre poco addensate con velocità Vs molto basse. Questa condizione seppur migliore si sviluppa fino a quota 12m da piano campagna. rocce tenere intensamente fratturate proseguono fino ad una profondità di circa 17,40 m, e successivamente fino a 36m profondità oltre la quale le velocità Vs risultano oltre i 1200m/sec indicando roccia poco da fratturata a sana.

L'impiego congiunto della tecnica della tomografia elettrica lungo il medesimo allineamento della sismica a rifrazione ha permesso di identificare lungo i vari stendimenti i diversi elettrostrati riportati e descritti nei precedenti paragrafi, caratterizzati in ogni caso da range abbastanza ridotti e valori di resistività generalmente molto bassi. Nelle varie sezioni non si evidenziano anomalie caratterizzate da valori di resistività inferiori rispetto

al resto della sezione, che nel contesto in esame possono essere interpretate come dei settori caratterizzati dalla presenza di materiale maggiormente alterato (argillificazione)/fratturato rispetto alla roccia adiacente e/o alla presenza d' acqua. Altresì non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità)

Per quanto sopra considerato il contesto geologico in esame in fase di progettazione definitiva/esecutiva si consiglia di eseguire delle indagini geognostiche e geofisiche di maggiore dettaglio (in es. sondaggi a carotaggio e geofisica eseguita con stendimenti ubicati a raggiera rispetto al centro della torre eolica).

<b>TLR</b>	0.00m – 6,20m	Terre poco addensate
	6,20m – 12,30m	Terre mediamente addensate
	12.30m – 17,40m	Roccia tenera intensamente fratturato
	17,40m – 36m	Substrato roccioso intensamente fratturato
	36,0m – in poi	Substrato roccioso sano

GIAVE/COSSOINE/CHERMULE - MODELLO GEOLOGICO 02 - AG03/AG04/AG05/AG09						
Dati Parametri Resistenza						
Tipo di Terreno		S1- Terre poco addensate	S2 – Terre mediamente addensate	S3 – Roccia tenera intensamente fratturato	S4- Substrato roccioso intensamente fratturato	S5 – Substrato roccioso sano
Descrizione						
Peso di volume	[kg/mc]	1600	1700	1900	1950	2100
Peso di volume saturo	[kg/mc]	1700	1800	2000	2150	2150
Angolo di attrito interno	[°]	24,55	32,06	35.50	39,42	42.30
Coesione	[Mpa]	0,075	7,738	10,520	22,284	25,755
Dati Parametri Deformabilità						
Modulo elastico	[Mpa]	363	683	1706	2888	8198
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[Mpa]	137	255	637	1084	3079
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	290	390	580	740	1210

#### 5.9. Modello Geologico 03 – AG01

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati dello stendimento geofisico **SMT04** e le osservazioni in sito. Il modello interessa le formazioni andesitiche **NIA** e **RESa**.

A partire dal piano campagna dopo un primo spessore di circa 0,50 in terre molto addensate si incontra un livello superficiale di roccia fratturata dallo spessore di circa 3,0m, il sottostante substrato roccioso risulta poco o nulla fratturato prosegue fino ad una profondità di circa 22,90 m, quota verosimilmente di contatto stratigrafico fra le due formazioni rioclitica (NIS) e carbonatica (RESa). L'impiego congiunto della tecnica della tomografia elettrica lungo il medesimo allineamento della sismica a rifrazione ha permesso di identificare lungo i vari stendimenti i diversi elettrostrati riportati e descritti nei precedenti paragrafi, caratterizzati in ogni caso da resistività medio



bassa; nello specifico si rileva un primo elettrostrato (ES1) di spessore variabile e compreso tra 2,0 e 6,0 m riconducibile sia alla coltre di terreni superficiali che al capellaccio delle substrato roccioso, segue un secondo elettrostrato con locali variazioni di resistività presumibilmente legate alla presenza di zone fratturate/alterate con presenza d'acqua. Non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità). In termini di grado di rippabilità si evidenzia che già a partire da profondità comprese tra 2,0 e 3,5 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a profondità comprese tra 3,0 e 5,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile. Per quanto sopra considerato il contesto geologico in esame in fase di progettazione definitiva/esecutiva si consiglia di eseguire delle indagini geognostiche e geofisiche di maggiore dettaglio (in es. sondaggi a carotaggio e geofisica eseguita con stendimenti ubicati a raggiera rispetto al centro della torre eolica).

<b>NIA</b>	0,00m – 0,40m	Terre molto addensate e/o roccia tenera intensamente fratturata
	0,40m – 3,40m	Substrato roccioso fratturato
	3,40m – 22,9m	Substrato roccioso sano
<b>RESa</b>	22,9m – in poi	Substrato roccioso sano

GIAVE/COSSOINE/CHERMULE - MODELLO GEOLOGICO 03 - AG01					
Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		S1- Terre molto addensate e/o roccia tenera intensamente fratturata	S2 Substrato roccioso fratturato	S3 - Substrato roccioso sano	S4- Substrato roccioso sano
Descrizione					
Peso di volume	[kg/mc]	1800	1900	2100	2200
Peso di volume saturo	[kg/mc]	1900	2000	2100	2200
Angolo di attrito interno	[°]	29,25	36,95	41,21	49,78
Coesione	[Mpa]	0,400	14,230	26,104	32,285
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico	[Mpa]	1726	10434	20000	36668
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[Mpa]	647	3913	7502	13749
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	600	1435	1885	2500

#### 5.10. Modello Geologico 04 – AG02, AG06, AG07

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati dello stendimento geofisico **SMT05** e le osservazioni in sito. Il modello interessa le formazioni carbonatiche **RESa**.

A partire dal piano campagna circa i primi 15m sono caratterizzati da velocità molto basse che definiscono un terreno da poco a mediamente addensato o rocce tenere molto fratturate ed alterate. A partire dalla profondità di 17m si presenta roccia tenere intensamente fratturata con fratturazione sempre meno evidente con l'aumentare della profondità. L'andamento è caratteristico di rocce carbonatiche interessate da alterazione e/o diversa composizione maggiormente friabile. In termini di grado di rippabilità si evidenzia che i terreni osservati sono

facilmente rippabili fino alla massima profondità di indagine. Esclusivamente a 24,0 m di profondità dal piano campagna si inizia a riscontrare la presenza di materiale difficilmente rippabile.

L'impiego congiunto della tecnica della tomografia elettrica lungo il medesimo allineamento della sismica a rifrazione ha permesso di identificare lungo i vari stendimenti i diversi elettrostrati riportati e descritti nei precedenti paragrafi, caratterizzati in ogni caso da resistività molto bassa e nello specifico è possibile distinguere un primo elettrostrato (ES1) di spessore crescente da sinistra verso destra della sezione e compreso tra 2 e 15 m riconducibile alla coltre di terreni superficiali e rocce fratturate/alterate con valori tra 2 e 10  $\Omega \cdot m$  interessati da intensa argillificazione e/o presenza d'acqua, segue un secondo elettrostrato (Es2) caratterizzato da valori leggermente maggiori (sino a 50  $\Omega \cdot m$ ) riconducibile alla presenza di rocce tenere/fratturate.

Il confronto con il grafico della sismica a rifrazione mette in luce che non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità). Per quanto sopra considerato il contesto geologico in esame in fase di progettazione definitiva/esecutiva si consiglia di eseguire delle indagini geognostiche e geofisiche di maggiore dettaglio (in es. sondaggi a carotaggio e geofisica eseguita con stendimenti ubicati a raggiera rispetto al centro della torre eolica).

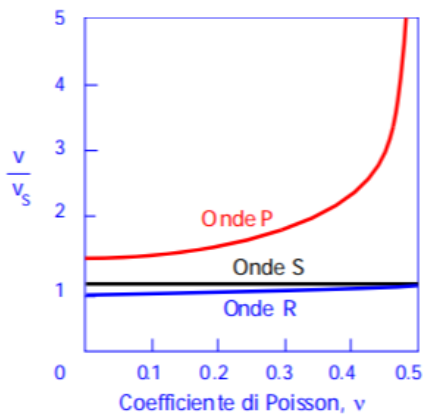
<b>RESa</b>	0.00m – 2,30m	Terre poco addensate
	2,30m – 12,70m	Terre mediamente addensate
	12,70m – 17,2m	Terre molto addensate e/o roccia tenera intensamente fratturata
	17,2m – 37,3m	Roccia tenera intensamente fratturata
	37,9m – in poi	Substrato roccioso debolmente fratturato

GIAVE/COSSOINE/CHERMULE - MODELLO GEOLOGICO 04 - AG02, AG06, AG07						
Dati Parametri Resistenza						
Tipo di Terreno		S1- Terre poco addensate	S2 – Terre mediamente addensate	S3 – Roccia tenera intensamente fratturato	S4- Roccia tenera intensamente fratturata	S5 – Substrato roccioso debolmente fratturato
Descrizione						
Peso di volume	[kg/mc]	1600	1700	1800	1950	2100
Peso di volume saturo	[kg/mc]	1700	1800	1900	2100	2200
Angolo di attrito interno	[°]	24,55	32,06	35.50	39,42	42.30
Coesione	[Mpa]	0,075	7,738	10,520	22,284	25,755
Dati Parametri Deformabilità						
Modulo elastico	[Mpa]	284	461	932	2217	7532
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[Mpa]	108	177	353	834	2824
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	260	320	440	645	1160

### 5.1. Tabella di sintesi delle proprietà di sintesi dei terreni di interesse

Di seguito si riporta la stima del valore di  $V_r$  (m/sec) in relazione alla misura di  $V_s$  effettuata mediante l'indagine geofisica tipo MASW correlate come da schema riportato di fianco:

il rapporto  $V_p/V_s$  dipende dal coefficiente di Poisson; in genere la  $V_r$  è sempre di poco minore della  $V_s$



per  $v = 0.25$   $V_r = 0.919 V_s$

$v = 0.33$   $V_r = 0.933 V_s$

$v = 0.40$   $V_r = 0.943 V_s$

$v = 0.50$   $V_r = 0.955 V_s$

Modello Geologico di sito– Profilo sismico M1/M2/M3/M4/M5

**$v = 0,33$        $V_r = 0,933 V_s$**

#### 1. Modello geologico 01

profondità in m (da-a)	$V_s$ (m/sec)	$v$	$V_r$ (m/sec)
0,00 – 2,00	590	0,33	<b>550</b>
2,00 – 8,50	675	0,33	<b>630</b>
8,50 – 17,40	820	0,33	<b>765</b>
17,40 – 33,10	945	0,33	<b>882</b>

#### 2. Modello geologico 02

profondità in m (da-a)	$V_s$ (m/sec)	$v$	$V_r$ (m/sec)
0,00 – 6,20	290	0,33	<b>270</b>
6,20 – 12,30	390	0,33	<b>364</b>
12,30 – 17,40	580	0,33	<b>541</b>
17,40 – 36,00	740	0,33	<b>690</b>

#### 3. Modello geologico 03

profondità in m (da-a)	$V_s$ (m/sec)	$v$	$V_r$ (m/sec)
0,00 – 0,40	600	0,33	<b>560</b>
0,40 - 3,40	1435	0,33	<b>1339</b>
3,40 – 22,90	1885	0,33	<b>1759</b>
> 22,90	2500	0,33	<b>2332</b>

#### 4. Modello geologico 04

profondità in m (da-a)	Vs (m/sec)	v	Vr (m/sec)
0,00 – 2,30	260	0,33	243
2,30 – 12,70	320	0,33	299
12,70 – 17,20	440	0,33	410
17,20 – 37,30	645	0,33	602

## 6. Propagazione delle vibrazioni nel terreno

Le caratteristiche dei fenomeni vibratorii che possono interessare un edificio variano in modo sostanziale in funzione della natura della sorgente di eccitazione e delle caratteristiche dinamiche dell'edificio stesso. Per una corretta esecuzione delle misurazioni, premessa necessaria per giungere a descrivere completamente il fenomeno e valutare quindi la possibilità che esso produca danni, è necessario tenere conto dei seguenti fattori:

- meccanismo di eccitazione e trasmissione;
- durata del fenomeno;
- natura deterministica o aleatoria del fenomeno;
- distribuzione spettrale dell'energia.

L'**energia immessa** nel terreno dalla **sorgente**, quando questa è esterna all'edificio, genera onde "elastiche" che raggiungono la fondazione modificandosi nel loro contenuto spettrale per effetto delle **caratteristiche fisico-meccaniche del terreno** attraversato.

Il fenomeno si traduce, nella generalità dei casi, in un'**attenuazione dell'intensità del moto**, man mano che ci si allontana dalla sorgente, per effetto delle **proprietà dissipative del terreno** e per un effetto geometrico. Usualmente tale fenomeno è più sensibile per le componenti del moto alle alte frequenze e nei terreni incoerenti e di tipo sciolto e dà quindi luogo ad uno spettro (del moto alla base) caratterizzato da un contenuto spettrale più ricco in basse frequenze.

In alcuni casi, quando si è in presenza di condizioni stratigrafiche particolari, possono verificarsi fenomeni di risonanza che tendono ad amplificare alcuni valori spettrali rispetto ad altri.

La norma UNI 9614/2017, che richiama e fa riferimento primario alla ISO 2631-2:2003 prevede di valutare il livello complessivo di accelerazione ponderata nell'intervallo da 1 ad 80 Hz: se il segnale disturbante è caratterizzato da un'emissione concentrata entro una singola banda di 1/3 di ottava, è sufficiente correggere il valore misurato applicando la correzione riportata in Fig. 11 (ad esempio essa vale -19 dB a 50 Hz). Se viceversa lo spettro è continuo ed esteso a più bande, occorre anzitutto calcolare il livello di accelerazione corretto a ciascuna frequenza, indi sommare energeticamente i livelli di accelerazione alle varie frequenze onde ricavare il valore complessivo:

$$L_{acc,w,tot} = 10 \cdot \lg \left[ \sum_i 10^{(L_{acc,i} + C_i)/10} \right]$$

Questa metodica rende tuttavia le cose molto complicate in presenza di fenomeni di propagazione che producono un'attenuazione con la distanza che dipende fortemente dalla frequenza. Occorre, infatti, effettuare un calcolo separato della propagazione a ciascuna frequenza, e ricalcolare poi, punto per punto, il livello di accelerazione complessiva ponderata.

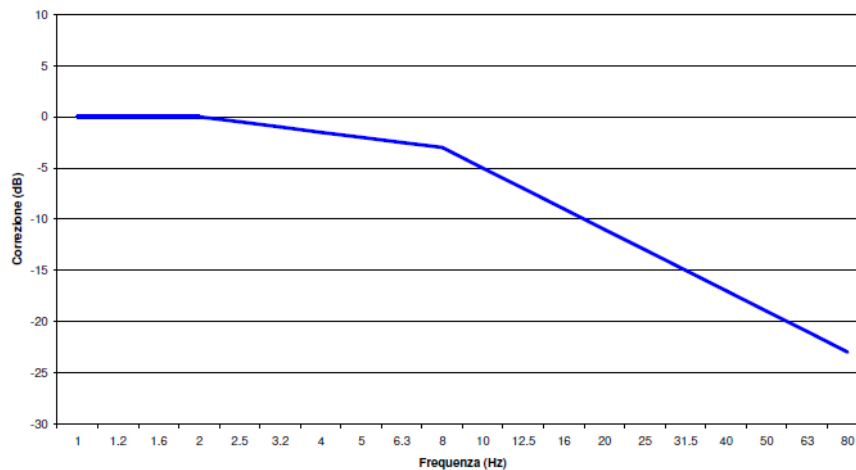


Figura 11 - Curva di ponderazione asse generico

Le vibrazioni si propagano nel terreno circostante, alla zona della sorgente, subendo un'attenuazione dipendente dalla natura del terreno, dalla frequenza del segnale, e dalla distanza fra il punto di eccitazione e quello di valutazione dell'effetto.

Si deve distinguere tra tre tipi principali di onde che trasportano energia vibrazionale:

1. Onde di compressione (onda P)
2. Onde di taglio (onda S)
3. Onde di superficie (orizzontali, onde R, e verticali, onde L)

I primi due tipi sono onde di volume ("body-waves"), mentre le onde di superficie, come dice il nome, si propagano sull'interfaccia fra due strati con diverse proprietà meccaniche, principalmente quindi sulla superficie di separazione fra terreno ed aria. La seguente figura mostra schematicamente i diversi tipi di onde.

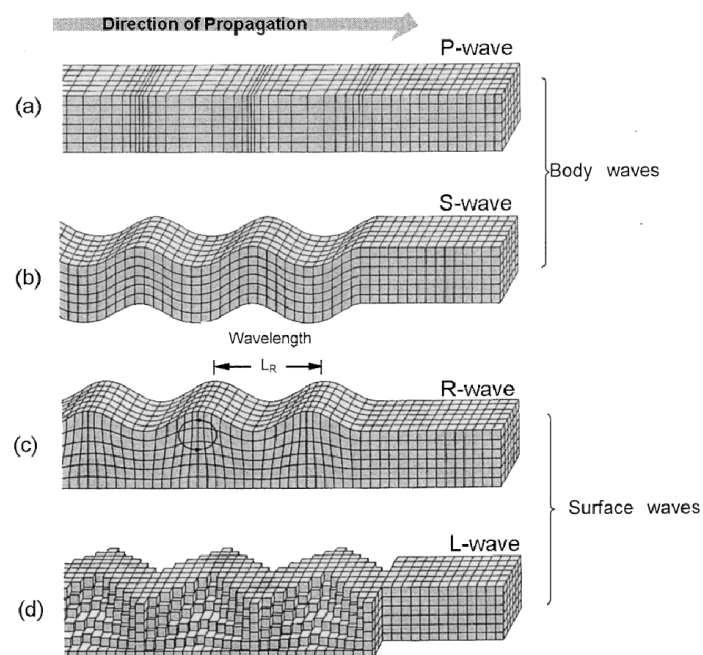


Figura 12 - Tipologia di onde: a) e b) onde di volume, c) e d) onde di superficie

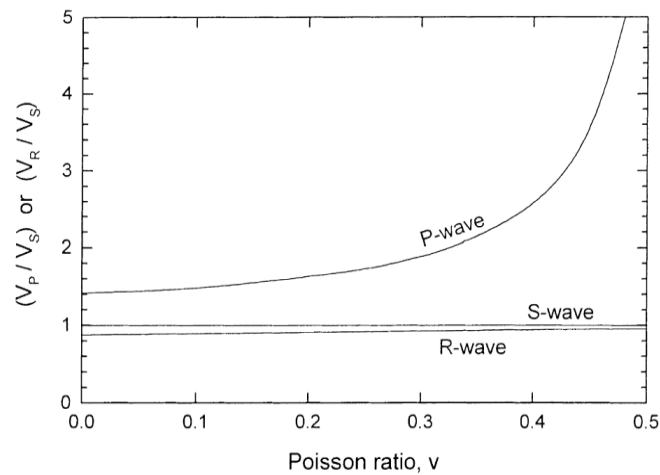


Figura 13 - rapporto tra le velocità di propagazione  $V_p$  e  $V_r$

La velocità di propagazione dei diversi tipi di onde non è la stessa: le onde di compressione (onde P) sono le più veloci, mentre le onde di taglio e di superficie viaggiano con velocità più basse, in dipendenza del valore del modulo di Poisson del terreno. La fig.13 mostra il rapporto fra velocità di propagazione delle onde P ed R riferito alla velocità di propagazione delle onde di superficie S.

Ne consegue che l'onda che maggiormente interagisce con gli elementi strutturali (fondazioni, murature portanti, tramezzi e solai) degli edifici sono le onde di superficie  $V_r$ .

Nell'effettuare un calcolo analitico della propagazione di vibrazioni si effettuano diverse ipotesi semplificatrici:

1. si considera il terreno omogeneo e isotropo
2. la propagazione dell'energia vibrazionale avviene sulla superficie del suolo per mezzo di onde di Rayleigh; l'effetto delle onde primarie, secondarie e di Love è trascurato
3. ogni sorgente emette energia vibrazionale in superficie in modo omnidirezionale.

## 7. Modello di propagazione dell'onda nel terreno

Il modello di propagazione impiegato, valido per tutti tre i tipi di onde considerati (P, S, R) è basato sulla seguente formulazione:

$$a(d, f) = a(d_0, f) \cdot \left(\frac{d_0}{d}\right)^n \cdot e^{-2\pi f \cdot \eta / c \cdot (d-d_0)}$$

In cui  $\eta$  è il fattore di perdita del terreno,  $c$  la velocità di propagazione in m/s,  $f$  la frequenza in Hz,  $d$  la distanza in m e  $d_0$  la distanza di riferimento a cui è noto lo spettro di emissione.

L'esponente  $n$  è funzione della tipologia di sorgente e dalla profondità. Pertanto, per sorgenti poste in superficie (es. fondazioni superficiali, scavi poco profondi, etc) si assume  $n=0,5$  e  $n=1$  per sorgenti profonde (fondazioni su pali, perforazioni, etc).

Il fattore di smorzamento o di perdita del terreno  $\eta$  è funzione della natura del terreno ed è in generale pari a 0,1 per sabbie, ghiaie, o simili e 0,01 per gli elementi lapidei.

Tipo di terreno	$\eta$
Roccia	0.01
Sabbia, ghiaia, ciottoli	0.1
Limi, argille	0.2 -0.5

## 8. Valutazione della propagazione delle vibrazioni

Sulla base dei dati relativi ai singoli modelli geologici rappresentativi del sito di interesse si sono definiti i valori del fattore di smorzamento  $\eta$  e dell'esponente  $n$  di seguito riportati.

Poiché i lavori interesseranno solo gli strati superficiali verranno valutate le vibrazioni prodotte dai mezzi meccanici fino a 2m tenendo conto degli sismostrati rilevati e delle relative velocità  $V_r$  calcolate per ognuno di essi.

Modello Geologico di sito– Profilo sismico M1/M2/M3/M4/M5  $v = 0,33$   $V_r = 0,933 V_s$

### Modello geologico 01

profondità in m (da-a)	$V_s$ (m/sec)	$v$	$V_r$ (m/sec)	$\eta$	$n$
0,00 – 2,00	590	0,33	550	0.05	0.5
2,00 – 8,50	675	0,33	630	0.01	0.5
8,50 – 17,40	820	0,33	765	0.01	0.5
17,40 – 33,10	945	0,33	882	0.01	0.5

### Modello geologico 02

profondità in m (da-a)	$V_s$ (m/sec)	$v$	$V_r$ (m/sec)	$\eta$	$n$
0,00 – 6,20	290	0,33	270	0.1	0.5
6,20 – 12,30	390	0,33	364	0.05	0.5
12,30 – 17,40	580	0,33	541	0.01	0.5
17,40 – 36,00	740	0,33	690	0.01	0.5

### Modello geologico 03

profondità in m (da-a)	$V_s$ (m/sec)	$v$	$V_r$ (m/sec)	$\eta$	$n$
0,00 – 0,40	600	0,33	560	0.05	0.5
0,40 - 3,40	1435	0,33	1339	0.01	0.5
3,40 – 22,90	1885	0,33	1759	0.01	0.5
> 22,90	2500	0,33	2332	0.01	0.5

### Modello geologico 04

profondità in m (da-a)	$V_s$ (m/sec)	$v$	$V_r$ (m/sec)	$\eta$	$n$
0,00 – 2,30	260	0,33	243	0.1	0.5
2,30 – 12,70	320	0,33	299	0.05	0.5
12,70 – 17,20	440	0,33	410	0.01	0.5
17,20 – 37,30	645	0,33	602	0.01	0.5

Se da una parte la **caratterizzazione geotecnica di dettaglio del sito** ha permesso di risalire con una buona approssimazione al **reale comportamento della propagazione delle onde superficiali** che generano la maggiore

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 40 di 53
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

componente vibrazionale, allo stato attuale non è possibile effettuare **misure dirette sulle configurazioni di cantiere** previste (macchine e attrezzature) per **l'assenza di mezzi analoghi nel sito di progetto** ma anche in quelli più prossimi e geologicamente simili **assimilabili a quello in progetto**. Le misure su cantieri **non assimilabili** si riferirebbero a contesti non realistici e perciò **non rappresentativi**.

Pertanto, al fine di poter avere un quadro di riferimento della situazione benché non esaustivo per le ragioni appena espresse, verrà effettuata una disamina degli scenari maggiormente impattanti attraverso l'utilizzo di dati di letteratura (ammessa dalla norma – App.C punto C.4) rimandando alla fase esecutiva l'effettuazione di tutte le **misure dirette e relative elaborazioni** da effettuarsi secondo quanto previsto al punto 6 e 8 della UNI 9614/2017.

## 9. Sorgenti di vibrazione

La norma UNI 9614/2017 al punto 5 suddivide le sorgenti per tipologia in funzione di:

1. posizione rispetto agli edifici,
2. funzione,
3. caratteristiche della durata della vibrazione prodotta ovvero in funzione al periodo di attività della sorgente.

Nel caso specifico in studio le sorgenti sono:

1. rispetto alla posizione – **esterne agli edifici;**
2. rispetto alla funzione – **legate ad attività non essenziali e legate ad attività che non possono essere contemplate tra quelle interrompibili con successivi danni ad impianti, pericolo di incidenti e danni a produzioni.**
3. rispetto al periodo di attività della sorgente – **tra le sorgenti temporanee presenti per gran parte della giornata (cantieri).**

### 9.1. Analisi della fase di cantiere per la costruzione delle opere in progetto

In fase di valutazione previsionale, per quantificare il potenziale impatto delle vibrazioni relativo alla fase di costruzione e di installazione dei generatori si fa riferimento ad un programma di massima delle attività di cantiere ed in particolare alle fasi di lavorazione che possono risultare maggiormente gravose sotto il profilo vibratorio perché, ad esempio, comprendono l'impiego di attrezzature e macchinari che devono funzionare all'aperto.

In particolare, la fase di sbancamento preliminare alla erezione delle torri e di getto di calcestruzzo per costituire le platee ed i basamenti delle torri medesime e la realizzazione della nuova viabilità di servizio costituiscono potenzialmente la fase di attività più importante, senza sottovalutare quella relativa alla movimentazione di attrezzature e mezzi mediante autocarri che andranno ad incidere sulla viabilità. Si prevede infatti l'impiego di escavatori, dumpers, betoniere, attrezzi ed utensili manuali. Inoltre, il cantiere può indurre un incremento di traffico stradale sulla viabilità locale.

Tali attività non vengono svolte simultaneamente in tutti i siti di installazione degli aerogeneratori, ma vengono compiute un sito per volta ed inoltre, benché la valutazione degli impatti negli scenari a seguire sarà fatta considerando la contemporaneità di attività dei mezzi, questo nella realtà non avviene.

Si prevede che le attività saranno svolte unicamente in periodo diurno ed in normale orario lavorativo e, pertanto, **non si fa riferimento al periodo notturno. Non sono altresì previsti, in questa fase lavorazioni nei giorni festivi.**

Tuttavia, se per qualche ragione non prevedibile in questa fase, si dovesse necessariamente lavorare in uno dei periodi sopracitati, verrà messo in atto quanto contenuto nel **Piano di Gestione dell'Impatto Vibrazionale di Cantiere** da redigere prima dell'inizio dei lavori.



## 9.2. Potenziale incremento dei flussi di traffico indotto dal cantiere sulla viabilità locale

Per quanto riguarda il traffico indotto dal cantiere, si prevede un flusso di mezzi per il trasporto di materiali, componenti e personale quantificabile punte di 100-120 transiti giornalieri concentrati per una decina di giorni in occasione dell'approntamento delle materie necessarie alla realizzazione delle opere fondanti e della struttura degli aerogeneratori, in aggiunta al flusso di traffico locale attualmente presente (poche decine di veicoli/giorno) sulla viabilità di accesso al cantiere.

## 9.1. Modello per il calcolo dell'impatto dovuto alle vibrazioni in fase di cantiere

Sulla base del cronoprogramma indicato negli elaborati progettuali con riferimento allo spettro di emissione delle macchine operatrici e dell'incremento previsto nei flussi di traffico stradale, è stato sviluppato un modello di calcolo previsionale dell'impatto della componente vibrazioni da applicare a scenari individuati come rappresentativi delle attività e indicati di seguito, in prossimità dei ricettori maggiormente sensibili.

Sono stati individuati i seguenti scenari maggiormente impattanti dal punto di vista della propagazione di vibrazioni:

**Scenario 01** – attività di sistemazione della rete viaria e opere civili sottostazione di trasformazione;

**Scenario 02** – attività di posa dei cavidotti;

**Scenario 03** – attività di realizzazione delle fondazioni delle torri di supporto;

Gli scenari di calcolo considerano la **contemporaneità nell'utilizzo dei mezzi di cantiere** (condizione più sfavorevole) e le **peggiori condizioni di trasmissione delle vibrazioni dal mezzo substrato** in un orario di lavoro compreso tra le 7:30 e le 13:00 e poi tra le 14:00 e le 16:30.

Il calcolo è stato effettuato utilizzando la regola cosiddetta **SRSS** ovvero **Square Root of the Sum of Squares** che viene utilizzata in presenza di sorgenti multiple. Normalmente i mezzi d'opera non saranno impiegati continuativamente e contemporaneamente. Inoltre, durante l'orario di cantiere è previsto che i macchinari abbiano delle fermate legate alle necessità produttive.

La norma **UNI 9614/2017** prevede che sia considerata periodo diurno la fascia oraria dalle **6.00 alle 22.00** (punto 3.17) e fissa il limite per la massima accelerazione a **7,2 mm/s<sup>2</sup>** (punto 9.1).

Altresì nella valutazione del disturbo e sempre cautelativamente, i macchinari verranno considerati posizionati nel punto più vicino al ricettore in relazione all'attività da essi svolta.

Non è tuttavia possibile escludere il verificarsi di eventuali superamenti temporanei dei limiti differenziali solamente in occasione di specifiche o particolari lavorazioni svolte in vicinanza dei ricettori.

In questi casi si deve fare riferimento alla **gestione di attività temporanee (cantieri) in deroga ai limiti massimi** previsti dalla norma **UNI 9614/2017** al punto 9.5 e contenuta nell'**Appendice C** che prevede la stesura del **Piano di Gestione dell'Impatto Vibrazionale di Cantiere** da redigere prima dell'inizio dei lavori.

Al fine della valutazione della distanza oltre la quale il valore di vibrazione è inferiore alle soglie limite dettate dalla norma si sono prese in considerazione le caratteristiche geologiche del **modello geologico di sito rappresentativo**. Gli alti valori di Vs riscontrati in corrispondenza del **modello geologico 03** dovranno essere confermati da precise misure in sito.

### Modello geologico 03

profondità in m (da-a)	Vs (m/sec)	v	Vr (m/sec)	η	n
0,00 – 0,40	600	0,33	560	0.05	0.5
0,40 - 3,40	1435	0,33	1339	0.01	0.5
3,40 – 22,90	1885	0,33	1759	0.01	0.5
> 22,90	2500	0,33	2332	0.01	0.5

## 9.2. Scenari di riferimento di cantiere

**Scenario 01** – attività di sistemazione della rete viaria e opere civili sottostazione di trasformazione: Il modello previsionale utilizzato per la valutazione dell’impatto dovuto a vibrazioni comprende le seguenti macchine operatrici:

1. Pala cingolata
2. Autocarro
3. Rullo vibrante
4. Escavatore

**Scenario 02** – attività di posa dei cavidotti: Il modello previsionale utilizzato per la valutazione dell’impatto dovuto a vibrazioni comprende le seguenti macchine operatrici:

1. Escavatore
2. Autocarro

**Scenario 03** – attività di realizzazione delle fondazioni e piazzole delle torri di supporto agli aerogeneratori: Il modello previsionale utilizzato per la valutazione dell’impatto dovuto a vibrazioni comprende le seguenti macchine operatrici:

1. Escavatore
2. Martellone idraulico
3. Autocarro
4. Pala cingolata
5. Betoniera\*
6. Gru\*

MOD. GEO.03	Distanza minima oltre la quale il valore di vibrazione è inferiore alla soglia limite di 7,2 mm/sec <sup>2</sup>
Scenario 01	194 m
Scenario 02	131 m
Scenario 03**	194 m

Tabella 2 Valutazione distanza di sicurezza per le vibrazioni

\*Gli spettri di emissione per questi macchinari non sono reperibili in letteratura, pertanto per la loro valutazione si rimanda alla campagna di misure prevista nel piano di cantierizzazione in fase esecutiva.

\*\* valore indicativo ottenuto senza il contributo di autobetoniera e gru.

## 9.3. Scenari di riferimento di esercizio

Relativamente alla valutazione del disturbo in fase di esercizio e perciò dovuto a vibrazioni provenienti dal funzionamento degli aerogeneratori, poiché queste vengono totalmente dissipate dai corpi di fondazione non propagandosi nell’ambiente circostante, non si manifestano problematiche legate al disturbo alla persona e/o a eventuali danni alle strutture.

Qualora, in fase di esercizio, si dovesse eseguire un intervento di manutenzione straordinaria che prevede l’utilizzo di macchine operatrici le cui vibrazioni in fase di attività sono potenzialmente impattanti, verrà opportunamente

redatto un apposito piano di monitoraggio e si farà riferimento a tutte le direttive previste dalla UNI 9614/2017 all'Appendice C per la gestione degli effetti prodotti da vibrazioni in attività temporanee (cantieri).

#### 9.4. Limiti di riferimento

Il problema della percezione umana delle vibrazioni in termini di disturbo (annoyance) dipende dalla tipologia di attività svolta e dall'intensità e frequenza che essa genera e che produce la vibrazione. I limiti di riferimento sono riportati dalla norma **UNI 9614/2017** che suddivide gli edifici in base alla loro destinazione d'uso in 5 classi, ipotizzando quindi una differente sensibilità alle vibrazioni e al punto 9, ai fini della valutazione del disturbo dovuto a vibrazioni e indica dei limiti per le accelerazioni con riferimento alla tollerabilità a fenomeni vibratorii.

Di seguito vengono riportati per i diversi tipi di ambiente e per i diversi periodi della giornata i valori limite di disturbo.

Ricettore	Periodo	Accelerazione ponderata della sorgente (mm/sec <sup>2</sup> )
Ambienti ad uso abitativo (punto 9.1)	Diurno	7,2
	Notturmo	3,6
	Diurno di giornate festive	5,4
Luoghi lavorativi (punto 9.2.1)	Non specificato	14
Ospedali, case di cura ed affini (punto 9.2.2)	Non specificato	2
Asili e case di riposo (punto 9.2.3)	Limitatamente ai periodi in cui è previsto riposo diurno	3,6
Scuole (punto 9.2.4)	Limitatamente nel periodo di fruizione	5,4

Figura 14 Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza

La sensibilità umana è variabile con la frequenza, e dipende dall'asse cartesiano considerato rispetto al riferimento relativo al corpo umano. Le curve di sensibilità umana sono codificate dalla norma tecnica UNI 9614/2017, rispetto ai sistemi di riferimento per persone sdraiate, sedute o in piedi, riportato nelle seguenti figure:

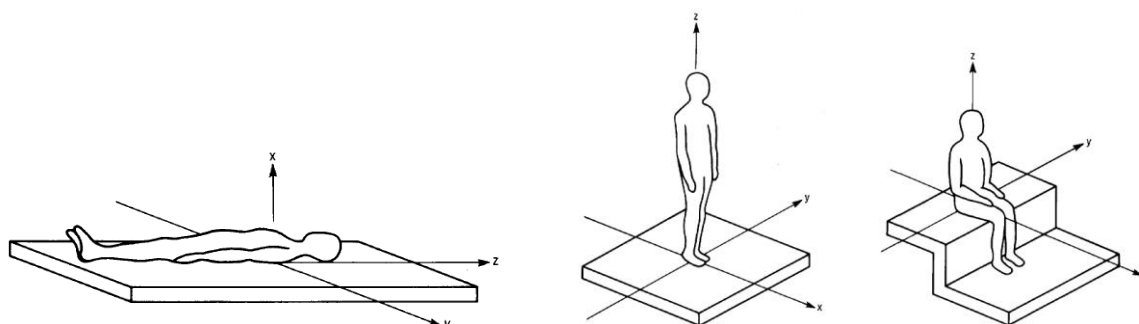


Figura 15 Sistema cartesiano di riferimento per persona sdraiata, in piedi o seduta

Il campo di frequenze considerato è 1÷80 Hz. Al segnale di accelerazione rilevato devono essere applicati per le singole frequenze dei valori di attenuazione (curve di ponderazione) al fine di rendere equivalente la percezione umana alle varie frequenze.

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 44 di 53
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

Nel caso considerato, tuttavia, la popolazione si troverà esposta indifferentemente su uno dei tre assi, a seconda della giacitura dei soggetti, che è ovviamente non predeterminale e variabile nel corso delle 24 ore. In tali casi, la norma UNI 9614/2017 prevede l'impiego di una curva di ponderazione per asse generico (o meglio, per asse non definibile), che è riportata nella seguente figura.

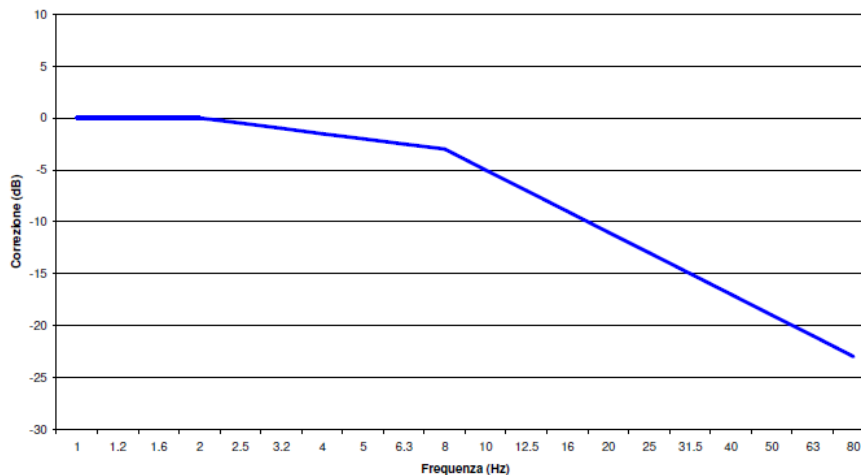


Figura 16 Curva di ponderazione per un asse generico - UNI 9614

Per quanto concerne il danno strutturale i limiti presi in considerazione nella norma UNI 9614/2017, risultano più elevati per almeno un ordine di grandezza a ciascuna frequenza, dei limiti individuati dalla norma UNI 9916/2014 nei riguardi del danno potenziale alle strutture. Ne consegue che la verifica dei limiti secondo la norma 9614/2017 esclude il generarsi di effetti dannosi sulle strutture dei ricettori considerati. **Tuttavia, in fase esecutiva, sarà effettuata una campagna di misure sui fabbricati qualificati come ricettori sensibili secondo quanto previsto dalla norma 9916/2014 ai punti 6,7 e 8.**

Di seguito si riportano i Valori di Riferimento per la valutazione degli effetti delle vibrazioni secondo la DIN 4150 a cui fa riferimento la UNI 9916/2014 al punto 9.

La DIN4150-3 considera 3 classi di edifici:

1. Edifici industriali e ostruzioni strutturalmente simili;
2. Edifici residenziali e costruzioni simili;
3. Costruzioni che non appartengono alle prime due categorie e sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)

E considera due tipi di vibrazione:

1. Vibrazione di breve durata;
2. Vibrazione permanente

prospetto D.1 **Valori di riferimento per la velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni di breve durata sulle costruzioni**

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v. in mm/s				
		Fondazioni			Piano alto	Solai Componente Verticale
		Da 1 Hz a 10 Hz	Da 10 Hz a 50 Hz	Da 50 Hz a 100 Hz <sup>*)</sup>	Per tutte le frequenze	Per tutte le frequenze
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	20	Varia linearmente da 20 ( $f=10$ Hz) a 40 ( $f=50$ Hz)	Varia linearmente da 40 ( $f=50$ Hz) a 50 ( $f=100$ Hz)	40	20
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	Varia linearmente da 5 ( $f=10$ Hz) a 15 ( $f=50$ Hz)	Varia linearmente da 15 ( $f=50$ Hz) a 20 ( $f=100$ Hz)	15	20
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	3	Varia linearmente da 3 ( $f=10$ Hz) a 8 ( $f=50$ Hz)	Varia linearmente da 8 ( $f=50$ Hz) a 10 ( $f=100$ Hz)	8	3/4

\*) Per frequenze oltre 100 Hz possono essere usati i valori di riferimento per 100 Hz.

prospetto D.2 **Valori di riferimento per le componenti orizzontali della velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni durature sulle costruzioni**

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v. in mm/s (per tutte le frequenze)
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	10
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	2,5

**Figura 17 Valori Limite di riferimento per vibrazioni di breve durata e permanenti (9916/2014)**

### 9.5. Recettori

L'analisi dei ricettori è stata effettuata entro un raggio di 1000m dalle aree di cantiere e dalla viabilità di servizio. Successivamente si sono presi in considerazione gli scenari di cantiere maggiormente impattanti e da questi si sono derivate le distanze massime oltre le quali le vibrazioni potenzialmente prodotte non superano i valori soglia dettati dalla norma 9614/2017.

## 9.1. Spettri di emissione delle macchine operatrici

### 9.1.1. Propagazione delle vibrazioni di un rullo vibrante

Vengono di seguito riportati i risultati del modello previsionale descritto per un rullo vibrante e per i modelli geologici di riferimento di cui al cap.8.

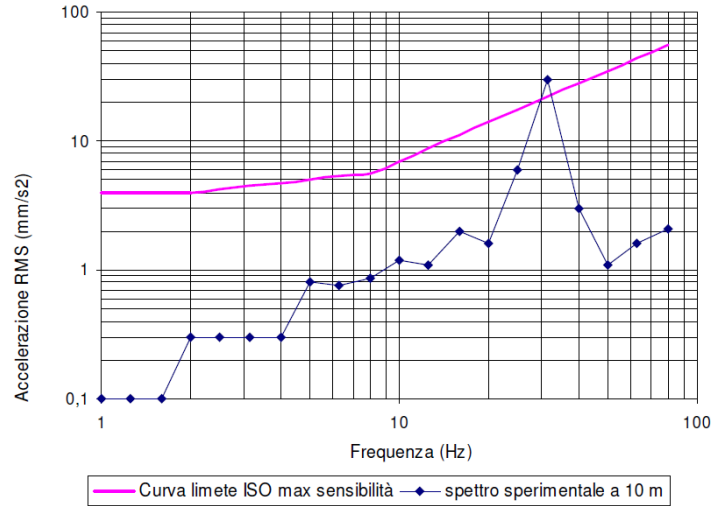


Figura 18 Spettro di emissione della sorgente di un rullo vibrante a 10mdall'asse di cantiere

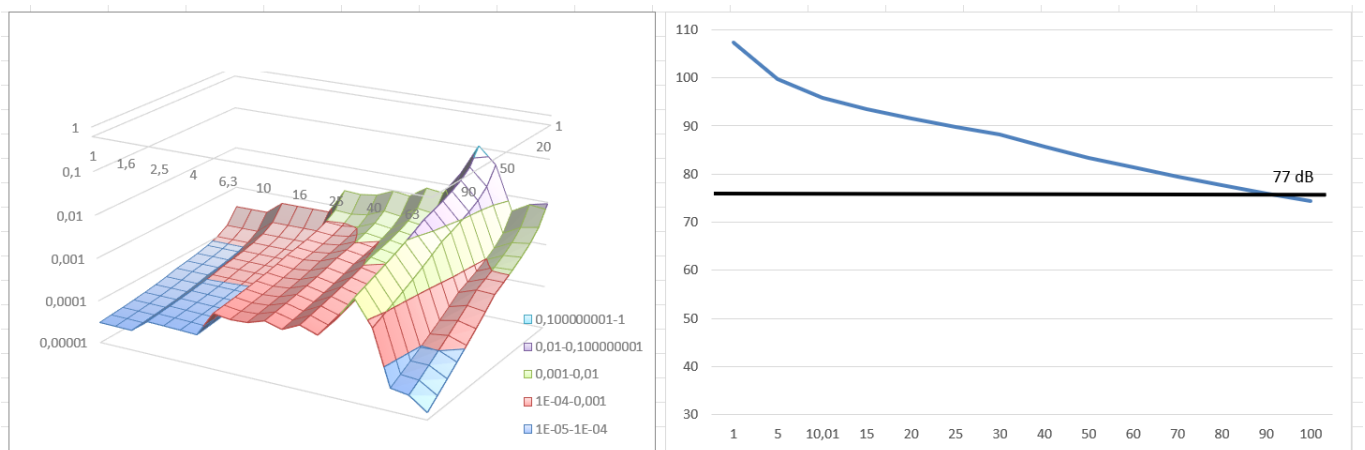


Figura 19 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

### 9.1.2. Propagazione delle vibrazioni di una pala cingolata

Vengono di seguito riportati i risultati del modello previsionale descritto per una pala cingolata e per i modelli geologici di riferimento di cui al cap.8.

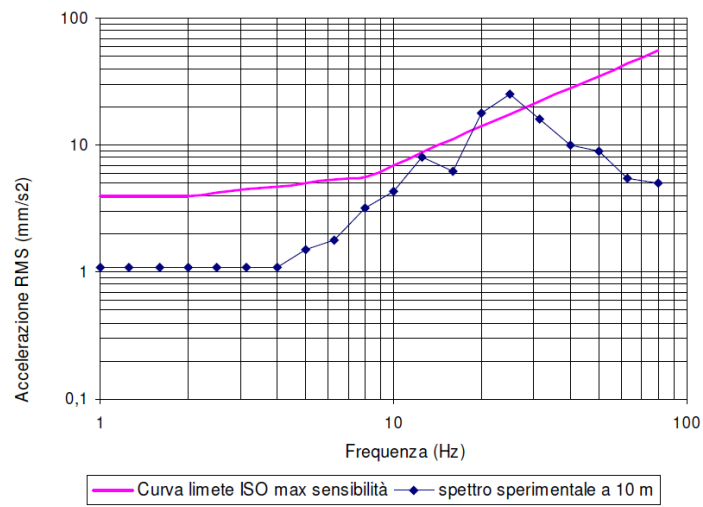


Figura 20 Spettro di emissione della sorgente di una pala cingolata a 10m dall'asse di cantiere

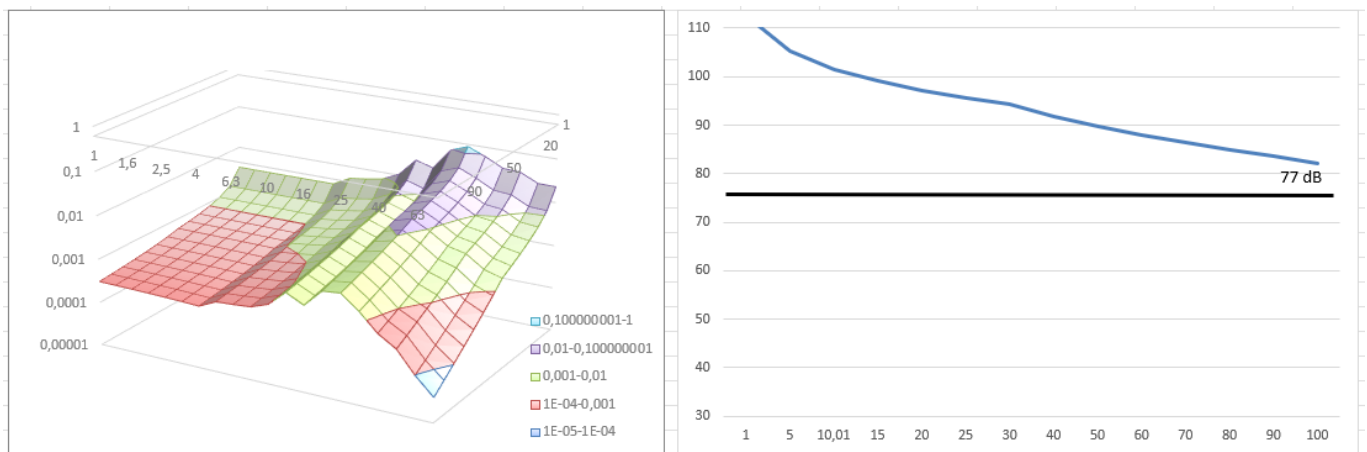


Figura 21 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

9.1.3. Propagazione delle vibrazioni di un autocarro

Vengono di seguito riportati i risultati del modello previsionale descritto per un autocarro e per i modelli geologici di riferimento di cui al cap.8.

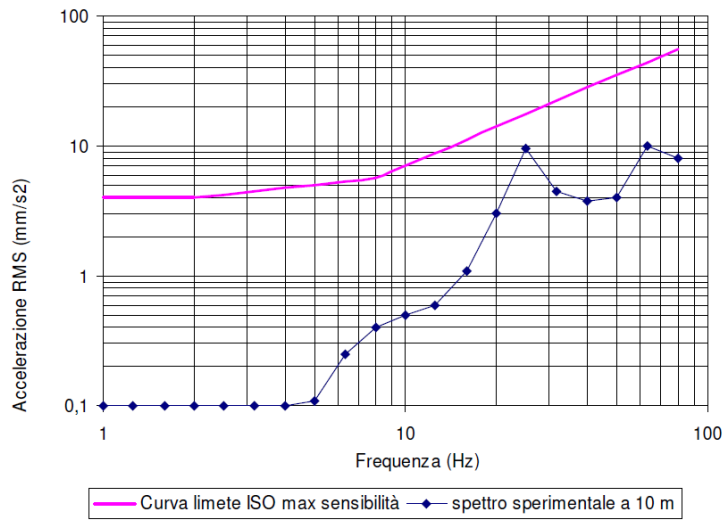


Figura 22 Spettro di emissione della sorgente di un autocarro 10mdall'asse di cantiere

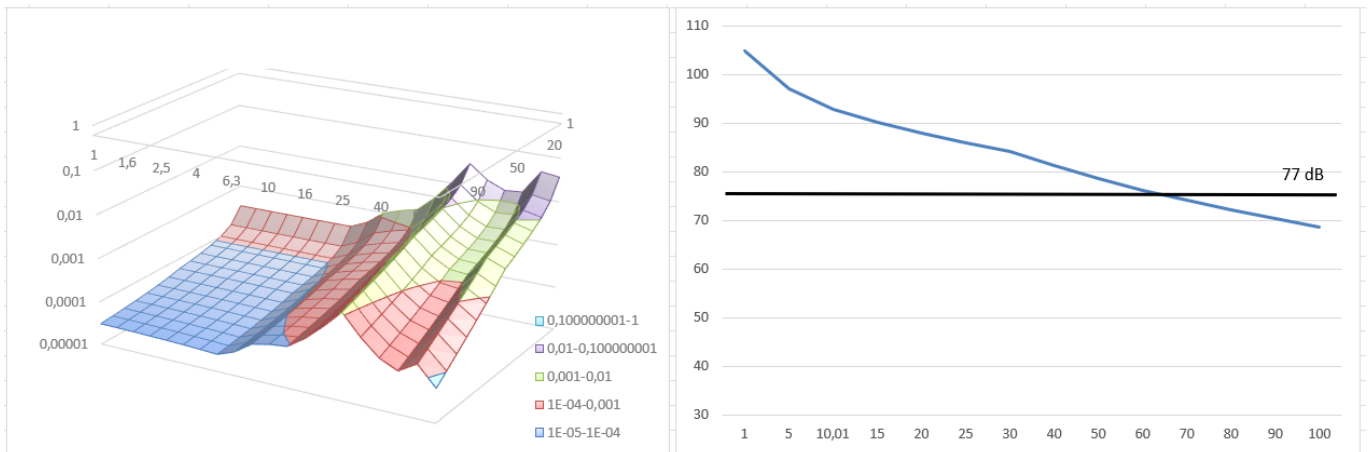


Figura 23 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni



9.1.4. Propagazione delle vibrazioni di un escavatore cingolato

Vengono di seguito riportati i risultati del modello previsionale descritto per un escavatore cingolato e per i modelli geologici di riferimento di cui al cap.8.

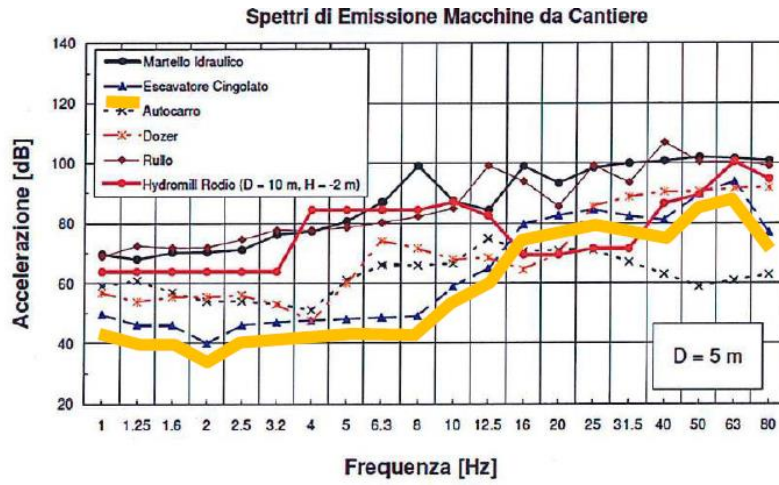


Figura 24 Spettro di emissione della sorgente di un escavatore cingolato 5m dall'asse di cantiere

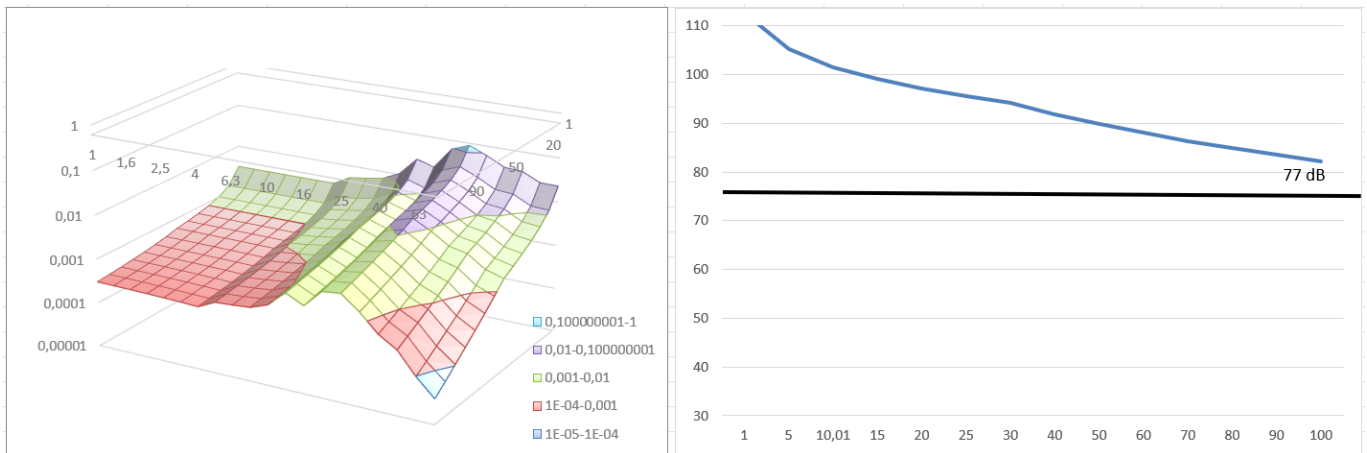


Figura 25 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

### 9.1.5. Propagazione delle vibrazioni di un martello idraulico

Vengono di seguito riportati i risultati del modello previsionale descritto per un martello idraulico e per i modelli geologici di riferimento di cui al cap.8.

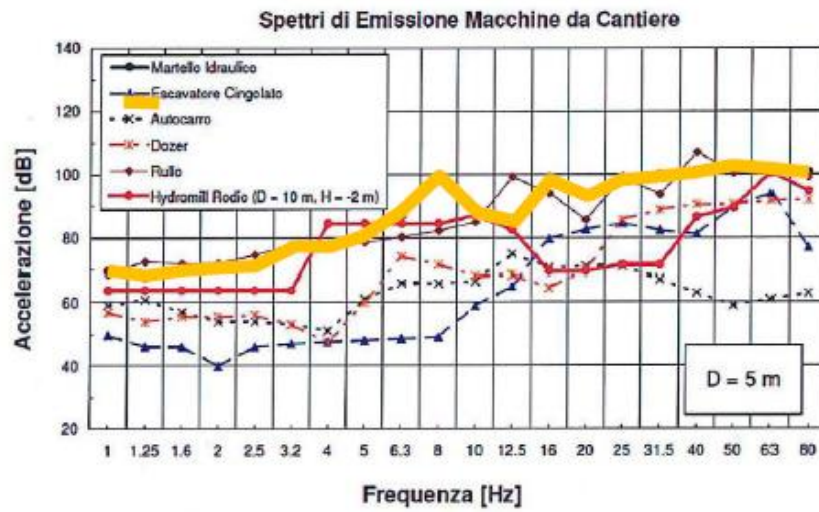


Figura 26 Spettro di emissione della sorgente di un martello idraulico 5m dall'asse di cantiere

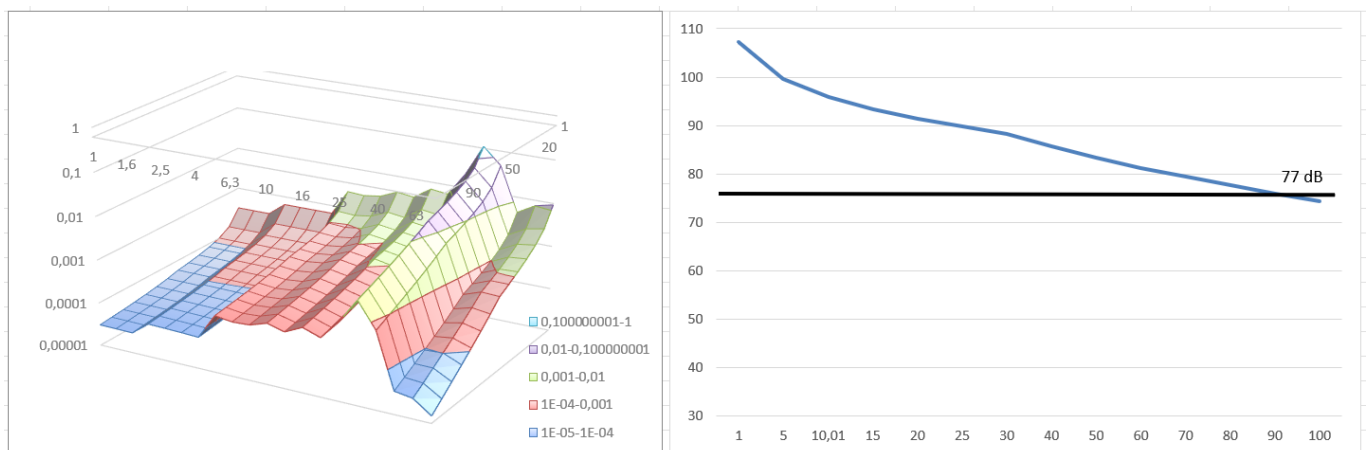


Figura 27 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 51 di 53
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

## 10. Modalità di gestione del disturbo dovuto alle vibrazioni

Le attività di cantiere quali il passaggio di veicoli pesanti, le demolizioni, la battitura di pali, ecc. costituiscono una sorgente di disturbo con caratteristiche molto diverse da caso a caso; nella maggioranza dei casi si tratta di fenomeni transitori di breve durata facilmente isolabili e pertanto nella maggior parte dei casi gestibili. Qualora non fosse tecnicamente possibile o economicamente giustificabile mettere in atto soluzioni lavorative differenti a quelle previste e si dovessero verificare condizioni per cui si abbia evidenza del superamento dei limiti di riferimento, in accordo con quanto indicato al punto 9.5 della norma UNI 9614/2017 che dispone la possibilità di deroghe a tali limiti concedibili in alcuni casi per **attività temporanee o di cantiere**, verranno attuate le attività previste dalle linee guida all'**Appendice C** della stessa norma.

### 10.1. Criteri di azione e misure di mitigazione

Sebbene i limiti di riferimento relativi al disturbo non siano, in certi casi, esplicitabili, in generale il primo criterio con cui affrontare la gestione del disturbo generato da vibrazioni è che:

**1. le vibrazioni dovrebbero essere contenute in modo da evitare danni alle strutture più prossime** (la norma di riferimento per tali valutazioni è la UNI 9916/2014)

Per quanto concerne invece il disturbo alle persone, il primo criterio che dovrebbe essere garantito è

**2. Il rispetto del periodo di riposo notturno**

ovvero evitare tutte quelle attività che possano portare al risveglio durante il periodo dalle ore 22.00 alle ore 6.00 o, in adiacenza a strutture quali scuole, case di riposo in cui è previsto il riposo pomeridiano per la durata dello stesso.

Un altro criterio da tenere in considerazione è:

**3. la valutazione di modalità esecutive a minore impatto e posizionamento di sorgenti fisse lontano dai ricettori**

ovvero la rivalutazione delle attività lavorative previste con l'intento di abbassare il complessivo livello di vibrazione generato e la dislocazione delle sorgenti a maggiore impatto a distanze maggiori per garantire una maggiore dissipazione della vibrazione immessa.

Risulta evidente che il miglior approccio alla gestione di tale tematica nel suo complesso venga studiato approfonditamente dall'impresa esecutrice dei lavori in base alla propria dotazione di attrezzature e mezzi e alla sua organizzazione. L'analisi preventiva di tutte le situazioni di impatto e delle relative modalità di gestione sarà contenuta in un documento che l'impresa dovrà fornire all'ente o al soggetto controllore prima dell'inizio dei lavori contenente le misure di mitigazione che verranno adottate nell'ambito di una più ampia strategia di gestione dell'impatto e di tutte quelle azioni risolutive anche in presenza di lamentele e/o esposti.

Tale documento, individuato con il nome di **PIANO di GESTIONE dell'IMPATTO VIBRAZIONALE di CANTIERE (PGIVC)** ha l'obiettivo, per quanto ragionevolmente attuabile in relazione agli obiettivi di progetto, di limitare i livelli di vibrazione così che le residenze interessate o altri ricettori sensibili siano protetti da eccessivi livelli di vibrazione associati alle attività di cantiere. Di seguito vengono riportati i contenuti minimi richiesti per le lavorazioni in progetto:

- censimento dei ricettori: deve essere fornita la lista completa e aggiornata dei ricettori ritenuti sensibili e di questi devono essere fornite le seguenti informazioni: destinazione d'uso, attività in esso svolte, caratteristiche costruttive e condizioni di conservazione. I ricettori verranno classificati in base a queste caratteristiche e alle fasce orarie di rispetto del riposo.
- tipologia di lavorazioni: deve essere stilata una precisa lista delle lavorazioni ed in particolar modo di quelle fasi che prevedono sovrapposizione di sorgenti potenzialmente impattanti. Di essi si dovrà conoscere il

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 52 di 53
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

potenziale di impatto ottenuto da misure dirette o da dati di letteratura. Questa fase è di fondamentale importanza e propedeutica alla valutazione dell'entità del disturbo e della sua durata.

3. attività informativa preventiva: il piano di gestione dell'impatto vibrazionale di cantiere deve contenere un accurato programma di informazione preventiva rivolto alla popolazione ritenuta sensibile. L'informazione, esplicita mediante i mezzi di divulgazione locali (volantini, riunioni della popolazione, avvisi e/o ordinanze comunali, porta a porta) devono contenere tutti gli elementi necessari alla corretta informazione degli eventi previsti: valori limite, orario delle lavorazioni, durata, tipologia. Le comunicazioni dovranno altresì informare chiaramente che le vibrazioni non saranno tali da recare danni permanenti alle strutture.
4. monitoraggi: prima dell'inizio delle attività di cantiere previste, dovrà essere effettuato un piano di monitoraggio con misure dirette su ciascuna di quelle più impattanti con particolare riferimento a quelle la cui interferenza può potenzialmente generare superamenti delle soglie limite. Le modalità esecutive delle misure, il numero e la successiva elaborazione dei dati deve essere eseguita con le modalità descritte al punto 6 della UNI 9614/2017. La strumentazione da utilizzare avrà le caratteristiche previste al punto 7 della stessa norma e sarà opportunamente calibrata e tarata, dandone evidenza allegando al piano di monitoraggio la documentazione rilasciata dall'ente certificatore. Qualora ci si trovasse in presenza di lamentele e/o esposti, al fine di verificare con la massima cura l'entità del disturbo, il tecnico misuratore utilizzerà il questionario predisposto all'Appendice B della UNI 9614/2017, finalizzato ad una raccolta dati efficace e completa.
5. mitigazioni: il PGIVC dovrà contenere tutte le misure di mitigazione individuate per limitare il disturbo generato dalla vibrazione. Sarà indicata al suo interno un'analisi ex-ante ed ex-post da cui si possa evincere l'efficacia delle misure di mitigazione individuate.
6. controlli: il PGIVC deve prevedere un piano di controllo e audit interno finalizzato alla corretta applicazione delle misure di mitigazione e in generale di tutte le azioni strutturali e non strutturali in esso evidenziate. Verrà predisposto un accurato calendario minimo dei controlli da attuare per tutta la durata delle lavorazioni.

Per quanto non esplicitamente esposto nella presente, si rimanda all'Appendice C della norma UNI 9614/2017.

## 11. Conclusioni

Lo studio ha permesso di analizzare il potenziale impatto dovuto a vibrazioni prodotte dalle macchine operatrici, in accordo con quanto previsto alle norme 9416/2017 e 9916/2014, che verranno impiegate per la realizzazione del Parco Eolico e successivamente durante il suo esercizio.

A tal fine e con l'intento di valutare efficacemente le attività previste sono stati individuati tre scenari di riferimento per la fase di cantiere. Quindi sono state valutate le distanze oltre le quali il livello di vibrazione prodotto complessivamente dalle attività risulta minore dei limiti prefissati dalla norma ovvero con accelerazione ponderata minore di 7,2 mm/sec<sup>2</sup>.

**L'analisi porta ad un range di distanze di sicurezza, nella peggiore delle ipotesi (considerando la contemporaneità dei mezzi in azione per le diverse attività di cantiere), compreso tra i 131m (posa dei cavidotti) e i 194m (fase di realizzazione delle fondazioni delle torri a supporto degli aerogeneratori e delle piazzole di servizio).**

I risultati dello studio mostrano che la componente vibrazioni non comporta in generale incompatibilità di alcuna natura tra le attività previste e l'assetto ambientale esistente sia nei confronti della salute umana e quindi nella percezione del disturbo, che relativamente ad eventuali ripercussioni sulle strutture.

All'interno di queste distanze in generale non ricadono recettori sensibili quali abitazioni, tuttavia ricadono all'interno diversi recettori con attività lavorative diurne.

Nello specifico in fase esecutiva dovrà essere valutato l'eventuale impatto sulle strutture e adeguatamente pianificato il cronoprogramma lavori prevedendo ancorchè il momentaneo allontanamento dei proprietari negli orari di lavoro.

Eventuali superamenti dei limiti, ammessi dalla normativa per attività temporanee quali i cantieri, verranno gestiti secondo quanto riportato nel Piano di Gestione dell'Impatto Vibrazionale di Cantiere da redigere prima dell'inizio dei lavori.

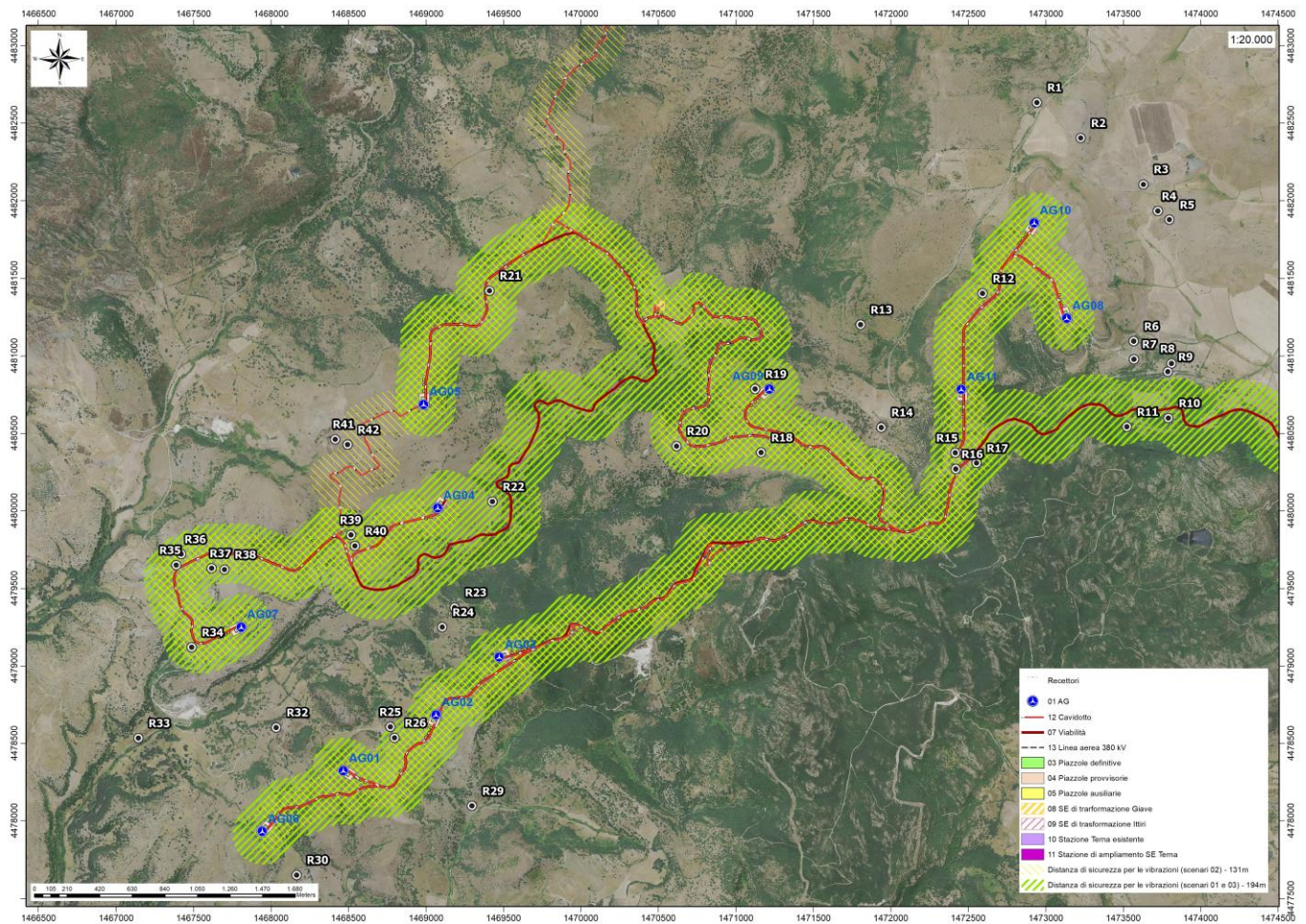


Figura 28 Distanze di sicurezza per le vibrazioni nei vari scenari