

Orune Wind Srl

# Parco Eolico ORUNE sito nei Comuni di Orune (NU)

Relazione Previsionale  
dell'impatto dovuto alle vibrazioni

Maggio 2023

Regione Autonoma della  
Sardegna



Comune di Orune



Committente:

**ORUNE Wind Srl**

**ORUNE Wind Srl**

Via Sardegna, 40  
00187 Roma  
P.IVA/C.F. 15802491009

Titolo del Progetto:

**Parco Eolico ORUNE sito nei Comuni di Orune (NU)**

Documento:

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

N° Documento:

**IT-VesOru-CLP-SPE-TR-11**



**Studio Tecnico di Geologia  
Applicata all'Ingegneria e  
all'Ambiente**

Centro Direzionale "Pittarello"  
Loc. Scala Sa Perda, 87  
09028 Sestu (CA)  
T +39 070 734 6008  
Mob +39 345 788 2814  
e-mail: [info@gaiac consulting.eu](mailto:info@gaiac consulting.eu)

Progettista:

**Dott.ssa Geol. Cosima Atzori**

Rev	Data Revisione	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
00	04.05.2023	Prima emissione	Cosima Atzori		

ORUNE Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesOru-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 3 di 45
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------

## 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>10</b>
4.1. Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento	10
4.2. Successione litostratigrafica dell'area di intervento	11
4.2.1. Unità Intrusive del Paleozoico	11
4.2.2. Depositi Quaternari dell'area continentale	12
<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	16
5.1.3. Elaborazione dei dati	16
5.2. Indagini sismiche: MASW	17
5.2.1. Specifiche delle indagini svolte	18
5.2.2. Caratteristiche della strumentazione impiegata	18
5.2.3. Interpretazione dei segnali acquisiti	18
5.2.4. Categorie di sottosuolo - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018)	19
5.3. Risultati delle indagini del sito <b>S/M_01 – AG03</b>	20
5.3.1. Masw M1	20
5.4. Risultati delle indagini del sito <b>S/M_02 – AG06</b>	21
5.4.1. Masw M2	21
5.5. Risultati delle indagini del sito <b>S/M_03 – AG15</b>	22
5.5.1. Masw M3	22
5.6. Risultati delle indagini del sito <b>S/M_04 – AG10</b>	23
5.6.1. Masw M4	23
5.7. Risultati delle indagini del sito <b>S/M_05 – AG12</b>	24
5.7.1. Masw M5	24
5.8. Modello Geologico 01 – AG01/AG02/AG03/AG04/AG/05AG06/AG/07AG08/AG09/AG10/AG11/AG12/AG13/AG14	25

ORUNE Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesOru-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 4 di 45
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------

5.9.	Modello Geologico 02 – AG15 .....	26
5.10.	Tabella di sintesi delle proprietà di sintesi dei terreni di interesse .....	28
<b>6.</b>	<b>Propagazione delle vibrazioni nel terreno .....</b>	<b>28</b>
<b>7.</b>	<b>Modello di propagazione dell'onda nel terreno .....</b>	<b>31</b>
<b>8.</b>	<b>Valutazione della propagazione delle vibrazioni .....</b>	<b>31</b>
<b>9.</b>	<b>Sorgenti di vibrazione .....</b>	<b>32</b>
9.1.	Analisi della fase di cantiere per la costruzione delle opere in progetto .....	32
9.2.	Potenziale incremento dei flussi di traffico indotto dal cantiere sulla viabilità locale .....	33
9.3.	Modello per il calcolo dell'impatto dovuto alle vibrazioni in fase di cantiere .....	33
9.4.	Scenari di riferimento di cantiere .....	34
9.5.	Scenari di riferimento di esercizio .....	34
9.6.	Limiti di riferimento .....	35
9.7.	Recettori .....	37
9.8.	Spettri di emissione delle macchine operatrici .....	38
9.8.1.	Propagazione delle vibrazioni di un rullo vibrante .....	38
9.8.2.	Propagazione delle vibrazioni di una pala cingolata .....	39
9.8.3.	Propagazione delle vibrazioni di un autocarro .....	40
9.8.4.	Propagazione delle vibrazioni di un escavatore cingolato .....	41
9.8.5.	Propagazione delle vibrazioni di un martello idraulico .....	42
<b>10.</b>	<b>Modalità di gestione del disturbo dovuto alle vibrazioni .....</b>	<b>43</b>
10.1.	Criteri di azione e misure di mitigazione .....	43
<b>11.</b>	<b>Conclusioni .....</b>	<b>44</b>

#### Indice delle figure

Figura 1	Localizzazione del progetto .....	7
Figura 2	Paesaggio caratteristico dell'area di studio .....	8
Figura 3	Schema di fondazione .....	9
Figura 4	Schema strutturale della Sardegna .....	10
Figura 5	- Depositi colluviali (b2) – (pressi AG15) .....	13
Figura 6	- Ubicazione delle indagini geofisiche .....	15
Figura 7	Stendimento di sismica a rifrazione in onde P con 24 geofoni, interdistanza di 3,0 m, lunghezza complessiva 69,0 .....	16
Figura 8	Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche – M1 .....	20
Figura 9	Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche – M2 .....	21
Figura 10	Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche – M3 .....	22
Figura 11	Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche – M4 .....	24
Figura 12	Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche – M5 .....	25
Figura 13	- Curva di ponderazione asse generico .....	29

ORUNE Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesOru-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 5 di 45
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------

Figura 14 - Tipologia di onde: a) e b) onde di volume, c) e d) onde di superficie .....	30
Figura 15 - rapporto tra le velocità di propagazione $V_p$ e $V_r$ .....	30
Figura 16 Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza .....	35
Figura 17 Sistema cartesiano di riferimento per persona sdraiata, in piedi o seduta.....	35
Figura 18 Curva di ponderazione per un asse generico - UNI 9614 .....	36
Figura 19 Valori Limite di riferimento per vibrazioni di breve durata e permanenti (9916/2014) .....	37
Figura 20 Spettro di emissione della sorgente di un rullo vibrante a 10mdall'asse di cantiere.....	38
Figura 21 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni .....	38
Figura 22 Spettro di emissione della sorgente di una pala cingolata a 10mdall'asse di cantiere .....	39
Figura 23 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni .....	39
Figura 24 Spettro di emissione della sorgente di un autocarro 10mdall'asse di cantiere .....	40
Figura 25 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni .....	40
Figura 26 Spettro di emissione della sorgente di un escavatore cingolato 5m dall'asse di cantiere .....	41
Figura 27 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni .....	41
Figura 28 Spettro di emissione della sorgente di un martello idraulico 5mdall'asse di cantiere.....	42
Figura 29 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni .....	42
Figura 30 Distanze di sicurezza per le vibrazioni nei vari scenari .....	45

ORUNE Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesOru-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 6 di 45
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------

## 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 "**ORUNE**" dislocato nel territorio comunale di **Orune** - Provincia di Nuoro (NU) 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

Il paese di Orune dall'alto dei suoi 800 metri sul livello del mare raggiunti dal rione Cuccuru 'e Teti, appare come un balcone affacciato alla vallata del rio Isalle da dove si può intravedere un panorama che spazia dal Massiccio del Mont'Albo, al Mare della Baronia di Orosei, alla catena del Gennargentu nella Barbagia di Ollolai, fino ai Monti del Marghine. Inoltre dalla cima di Cucumache, 909 metri di altezza che etimologicamente significa punto di Guerra, per la sua vastità di vedute si può allargare la vista fino alle lontane Gallura, il Logudoro e alle più vicine regioni del Monte Acuto e del Goceano.

Nel suo vasto territorio (128 km quadrati, dei quali 64 di proprietà del comune e i restanti di proprietà di privati) vi sono splendidi boschi di quercia da sughero, leccio e roverella. Dal punto di vista altimetrico, il territorio comunale è compreso tra i 99 metri s.l.m. della valle di Isalle e i 914 metri s.l.m. di Cùccuru 'e su piràstru.

L'area fu abitata già in epoca prenuragica e nuragica, per la presenza sul territorio di alcune domus de janas, tombe dei giganti, nuraghi e pozzi sacri, siti ricchi di numerosi reperti archeologici.

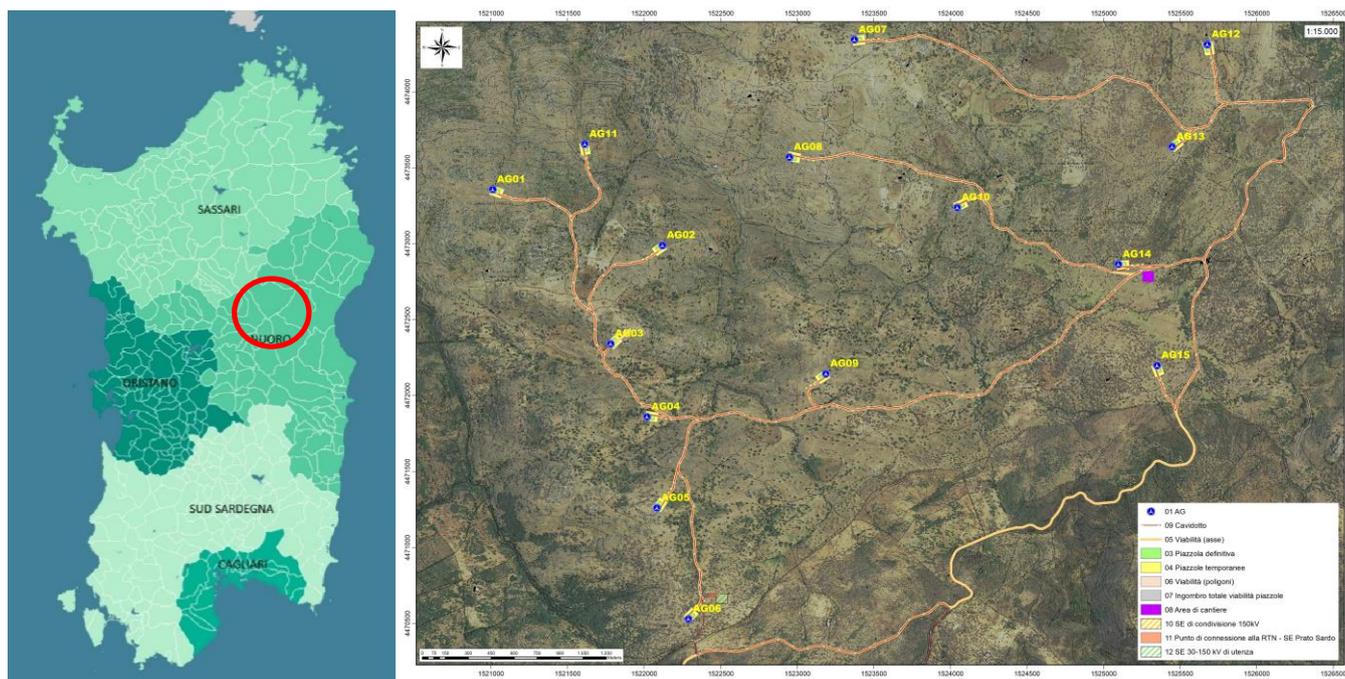


Figura 1 Localizzazione del progetto

In epoca medievale appartenne al Giudicato di Torres e fece parte della curatoria del Goceano e alla diocesi di Castro. Alla caduta del giudicato (1259) entrò a far parte del giudicato di Arborea sotto il quale dal 1339 fece parte della contea del Goceano, e all'estinzione del casato giudicale passò al Marchesato di Oristano. Alla definitiva sconfitta del marchesato (1478) tutta la contea del Goceano passò sotto il dominio aragonese, ove divenne un feudo regio. Fu riscattato agli ultimi feudatari nel 1839 con la soppressione del sistema feudale. Proprio per questo alcuni studiosi sostengono che Orune sia ultimo centro del Goceano. A vantaggio di questa ipotesi viene in aiuto la parlata orunese che è ha molte affinità con il sardo Logudorese parlato in quelle zone con le desinenze che finiscono in di, da, de.

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: **481 sez. II "Benetutti", 499 sez. I "Nuoro Ovest"**
2. Carta Tecnica Regionale scala 1:10 000 - Fogli: **481160 "Sa Pedra 'e sa Rucche", 499040 "Cantoniera Lardine" e 481150 Janna Sas Ferulas.**



**Figura 2 Paesaggio caratteristico dell'area di studio**

Il progetto prevede la realizzazione di una centrale eolica con potenza complessiva di 90 MW, con installazione di n. 15 aerogeneratori V162 Vestas ad asse orizzontale montati su torri tubolari ad elementi in acciaio da 6,0 MW ciascuno, comprensiva di tutte le opere connesse, per la realizzazione, il funzionamento e la manutenzione di predetto impianto.

Per quanto riguarda l'opera di connessione, il parco sarà allacciato tramite un cavidotto interrato AT da 150 kV, della lunghezza di circa 13 km che, partendo dalla sottostazione di trasformazione 30/150 kV interna al parco eolico e arrivo fino ad una stazione di smistamento a 150 kV posta nella Zona Industriale "Prato Sardo" del Comune di Nuoro la quale sarà connessa mediante cavidotto interrato AT alla futura SE TERNA di smistamento 150 kV, che rappresenta il punto di connessione dell'impianto alla RTN.

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
- rotor 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 12,50 m e un'altezza complessiva di 3,50 m (vedasi elaborati di progetto).

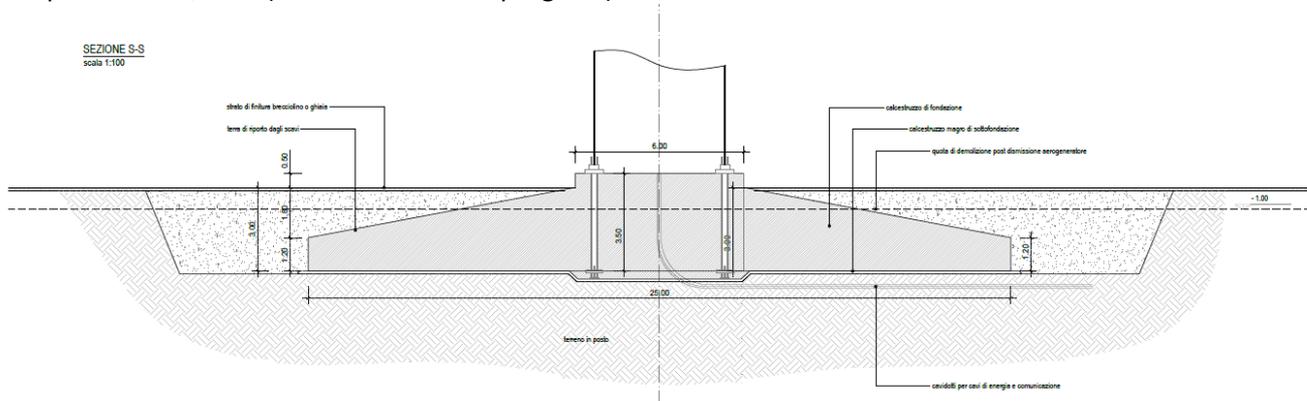


Figura 3 Schema di fondazione

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 interrate 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.

Lo scavo ha un diametro di ca m 28 alla base e ca m 31 alla sommità, prevedendo pertanto un volume di scavo per ogni plinto pari mediamente a circa  $2.400 \text{ m}^3$ , dei quali ca.  $1.600 \text{ m}^3$  verranno depositati vicino allo scavo e riutilizzato per il re-interro.

## 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 a Falde Esterne del basamento varisico Sardo; principalmente è costituita da prodotti di magmatismo intrusivo quali granodioriti monzogranitiche, biotitiche, a grana medio-grossa, inequigranulari per Kfs biancastri di taglia 8-10 cm con tessitura orientata per flusso magmatico; in particolare le litologie interessate in maniera diretta dalle fondazioni degli aerogeneratori appartengono all'Unità intrusiva del Monte San Basilio (BLA) e all'Unità intrusiva di Benetutti (BTU).

La zona circostante l'area di studio vede, tra le litologie appartenenti al Paleozoico, unità tettoniche appartenenti al complesso metamorfico-sedimentario ercinico oltre che al complesso intrusivo post-ercinico.

I termini metamorfici appartengono in scala più ampia al "Complesso metamorfico ercinico prevalentemente in facies anfibolitica", costituito da una importante, monotona successione terrigena di quarziti, metarenarie e micascisti, rappresentate da più facies a vario grado evolutivo, prevalentemente scistose e polifasiche, riferibili all'Ordoviciano sup.-Siluriano.

Sia il Complesso metamorfico che quello intrusivo risultano diffusamente attraversati dal sistema filoniano tardoercinico a chimismo sia acido che basico, la cui messa in posto è ascrivibile alle fasi distensive post-orogenetiche: essi delineano le quote in rilievo dell'area e le principali morfo-strutture del paesaggio in ragione della loro bassa suscettibilità all'erosione.

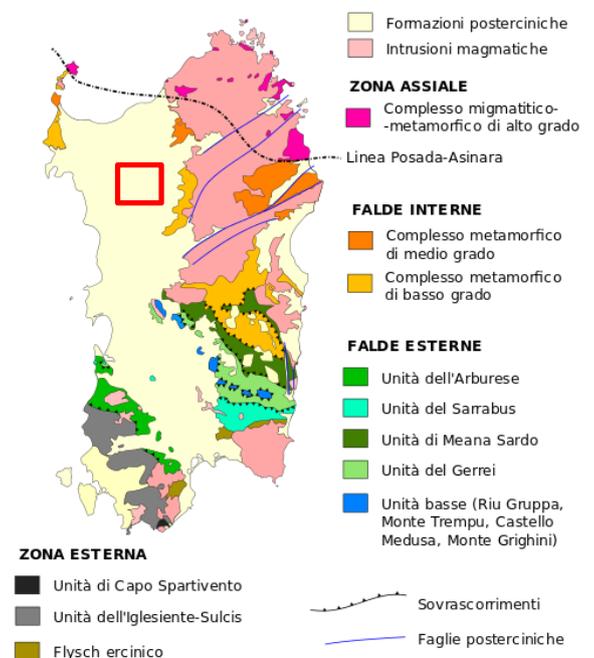


Figura 4 Schema strutturale della Sardegna

ORUNE Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesOru-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 11 di 45
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

Le metamorfite si manifestano intensamente strutturate, sia per via del loro carattere originariamente sedimentario, sia per le azioni di metamorfismo che hanno incrementato la fissilità, sia ancora per l'elevato grado di tettonizzazione.

Lungo le aste tributarie di primo e secondo ordine sono riconoscibili depositi torrentizi, ove presenti, di modesto spessore, costituiti da ciottoli per lo più spigolosi poco arrotondati, in matrice arenaceo-limosa spesso cementata. La successione stratigrafica delle formazioni che interessano l'area (dal Paleozoico al Quaternario) è stata oggetto di numerosi studi specialistici, a cui si fa esplicito riferimento anche nelle Note Illustrative alla carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, foglio 194 "Ozieri" e nelle Note Illustrative del Foglio 500 in scala 1:50000 di Nuoro Est utilizzate come base di conoscenze per la stesura della presente relazione.

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

Nell'area vasta affiorano le seguenti litologie, di seguito riportate con la nomenclatura adottata dalla RAS nella stesura della cartografia geologica in scala 1:25000:

##### **Unità intrusive del Paleozoico**

**BTUb** - Facies Orune (UNITÀ INTRUSIVA DI BENETUTTI). CARBONIFERO SUP. – PERMIANO

**BLA2b** - Facies Riu sa Mela (Ponte S'archimissa) (Subunità intrusiva di Punta Biriai - UNITÀ INTRUSIVA DI MONTE SAN BASILIO). CARBONIFERO SUP. – PERMIANO

##### **Corteo Filoniano**

**fb** - Filoni basaltici a serialità transizionale, di composizione basaltica olivinica e trachibasaltica, a struttura porfirica per fenocristalli di Pl, Ol, Cpx, tessitura intersertale-ofitica. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO

**ap** - Filoni e ammassi aplitici. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO

**mg** - Filoni e ammassi di micrograniti. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO

##### **Depositi Quaternari dell'area continentale**

**b2** Coltri eluvio-colluviali. OLOCENE

#### 4.2.1. Unità Intrusive del Paleozoico

##### **Unità intrusiva di Benetutti (BTU)**

Occupava un areale di circa 400kmq tra Benetutti, Orune, Buddusò e Pattada. È quasi sempre caratterizzata in prevalenza da granodioriti monzogranitiche spesso fortemente eterogranulari.

##### *Granodioriti monzogranitiche inequigranulari. Facies di Orùne (BTUb)*

E' costituita da granodioriti monzogranitiche, localmente tonalitiche, biotitiche, grigie, a grana da media a grossa, fortemente inequigranulari per megacristalli di K-feldspato euedrale biancastro di taglia fino a 10cm, con inclusioni pecilistiche di biotite. La tessitura è orientata per flusso magmatico. La giacitura dei piani di flusso magmatico ha direzione media N120-140 mentre l'immersione ha una discreta variabilità. Dal punto di vista composizionale si tratta di rocce metalluminose. Sono talvolta evidenti "effetti parete fredda" al contatto con il basamento metamorfico (filladi di Lula): la giacitura dei piani di fluidità magmatica si adatta, sebbene localmente, alla forma del "contenitore". Sono altrettanto evidenti i rapporti con i graniti peralluminosi, che intrudono le granodiorite delle facies Orùne generando una struttura complessa e articolata, associata a diffusi fenomeni di ibridazione e assimilazione. Carbonifero-Permiano.

##### **Unità intrusiva di San Basilio**

L'unità intrusiva di San Basilio occupa, nella Sardegna centrale-orientale, una superficie molto estesa di quasi 250kmq. In tutto il suo areale di affioramento l'unità si caratterizza per la costante presenza di cordierite, spesso

ORUNE Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesOru-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 12 di 45
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

sostituita da pinite pseudomorfa, cui si associano andalusite, sillimanite fibrolitica e muscovite, presenti in proporzioni variabili ma sempre significative. Si tratta di rocce peraluminose.

*Leucomonzograniti porfirici a cordierite. Facies Ponte S'Archimissa o Riu Sa Mela (BLA2b)*

E' costituita da monzograniti talora leucocrati, a cordierite, biotite, muscovite e rara andalusite, bianco-giallastri, a grana fine, equigranulari a tendenza porfirica per K-feldspato euedrale biancastro di taglia centimetrica e quarzo globulare. Gli inclusi microgranulari scuri sono piuttosto rari. Localmente si osservano anche litotipi più francamente granodioritici, marcati dall'aumento della percentuale di biotite e da una maggiore frequenza degli enclaves scuri.

In queste rocce risulta ben espressa alla scala mesoscopica una tessitura orientata per flusso magmatico, marcata dall'isorientazione del K-feldspato e degli inclusi femici; sono frequenti anche vistose anisotropie e mineralogiche, generate da intensi fenomeni di turbolenza in fase magmatica.

Questa facies costituisce in genere corpi allungati e disposti secondo l'andamento delle fluidità, talora posti direttamente al contatto con la granodiorite BTU, quasi a costituire facies di bordo tendenzialmente leucocrate, talora in apofisi iniettate entro la stessa granodiorite BTU.

Carbonifero superiore-Permiano

**Corteo Filoniano**

**fb** - Filoni basaltici a serialità transizionale, di composizione basaltica olivinica e trachibasaltica, a struttura porfirica per fenocristalli di Pl, Ol, Cpx, tessitura intersertale-ofitica. CARBONIFERO SUP. – PERMIANO

Filoni e ammassi aplitici. **(ap)**

Filoni e ammassi di micrograniti. **(mg)**

Sono costituiti da micrograniti biotitici, da grigio -biancastri a giallastri se alterati, a grana da fine a microgranulare, con tessitura da isotropa a porfirica per K-feldspato biancastro euedrale subcentimetrico e quarzo globulare, con rare biotite e muscovite, immersi in una massa di fondo granofirica. Solo localmente, in corrispondenza di salbande, la struttura è orientata. Sono rocce più tenaci e compatte rispetto alle rocce incassanti e costituiscono creste generalmente in forte rilievo. Hanno giacitura nettamente discordante con le rocce incassanti in quanto subverticali con direzione prevalente E-W e NNE-SSW.

4.2.2. Depositi Quaternari dell'area continentale

I depositi quaternari cartografati nell'area di studio sono generalmente poco rilevanti; sono rappresentati principalmente da depositi di versante, coltri eluvio-colluviali e depositi alluvionali.

**(b2) Coltri eluvio-colluviali**

Si tratta di terreni clastici eluviali e colluviali, costituiti essenzialmente da sedimenti spesso monogenici, fini (sabbie e silt), incoerenti, talora grossolani, con lenti di ghiaie angolose, più o meno pedogenizzati ed arricchiti della frazione organica. L'attribuzione all'Olocene di questi depositi è dovuta all'elevata distribuzione della frazione organica ed alla diretta correlazione con la situazione morfologica del versante attuale. Questa suggerisce che si tratta di sedimenti derivati dall'erosione del suolo durante l'Olocene, mescolati a sedimenti mescolate a sedimenti derivate dalla degradazione meccanica del substrato. Lo spessore massimo raggiunge i 5m al centro delle vallecole dell'altopiano.

Olocene



Figura 5 - Depositi colluviali (b2) – (pressi AG15)

Il basamento graniticoide dell'area vasta presenta una strutturazione primaria molto marcata nelle facies granodioritiche e monzogranitiche, che diventa sempre meno riconoscibile nei termini leucogranitici; tale strutturazione è inoltre meglio identificabile nei termini eterogranulari rispetto a quelli equigranulari.

Le anisotropie indotte da magmatic flow, particolarmente evidenti nelle facies granodioritiche e monzogranitiche metalluminose, sono disposte secondo un trend molto articolato, con direzioni strutturali prevalenti comprese fra N120 e N150 che immergono con alte inclinazioni (40°-70°) verso ENE e solo raramente verso WSW.

Questo trend è sostanzialmente quello del segmento sardo di catena varisica; ciò fa supporre che le discontinuità tettoniche realizzatesi durante la fase collisionale abbiano rigiocato anche durante la fase esumativa della catena, in concomitanza con la messa in posto del Batolite. L'andamento descritto è molto evidente nelle unità granodioritiche NUO, ORG e BTU. L'andamento cartografico della fluidità magmatica nell'unità peralluminosa BLA è nettamente diverso, con i piani di flusso diretti circa N60, subverticali, subparalleli ai contatti tra questa unità e il complesso granodioritico metalluminoso incassante. (da note illustrative Foglio Carg Nuoro Est).

Il settore nord orientale della Sardegna, dalla Gallura alle Baronie, è caratterizzato da due sistemi principali di faglie trascorrenti di importanza regionale, avolte estesi per più di 70 km, ai quali si associano strutture transpressive e/o bacini di pull-apart (Bacino di Chilivani-Berchidda, Ottana, Benetutti)

Il primo sistema di faglie è orientato NE-SW con rigetti sinistri mentre l'altro è orientato circa E-W con rigetti drestri. Il sistema più sviluppato è quello orientato circa NE-SW (Faglie di Nuoro, di Tavolara, di Olbia e della Gallura) che interessa tuttoa la Sardegna nord-orientale e si estende più a nord anche nel basamento varisico della Corsica, fino al margine collisionale alpino della Corsica nord-orientale.

## 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 sismica** con tecnica **MASW e rifrazione in onde P**. Tutte le basi sismiche MASW ricadono lungo il medesimo allineamento delle rifrazioni, i quali hanno il medesimo centro degli allineamenti sismici.

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/Picchetti	Interdistanza	Lunghezza (m)
R/M 1 (SMT01)	Rifrazione/MASW	SE-NO	24	3,0	69,0
R/M 2 (SMT02)	Rifrazione/MASW	SE-NO	24	3,0	69,0
R/M 3 (SMT03)	Rifrazione/MASW	SSE-NNO	24	3,0	69,0
R/M 4 (SMT04)	Rifrazione/MASW	NNE-SSO	24	3,0	69,0
R/M 5 (SMT05)	Rifrazione/MASW	S-N	24	3,0	69,0

Tabella 1 Ubicazione degli stendimenti

**TAVOLA 1. PLANIMETRIA GENERALE CON INDAGINI GEOFISICHE E GEOGNOSTICHE**

Progetto: Realizzazione di un parco eolico  
Località: Orune (Nu)  
Scala 1:40.000

**Legenda**

 Indagini MASW-RIFRAZIONE

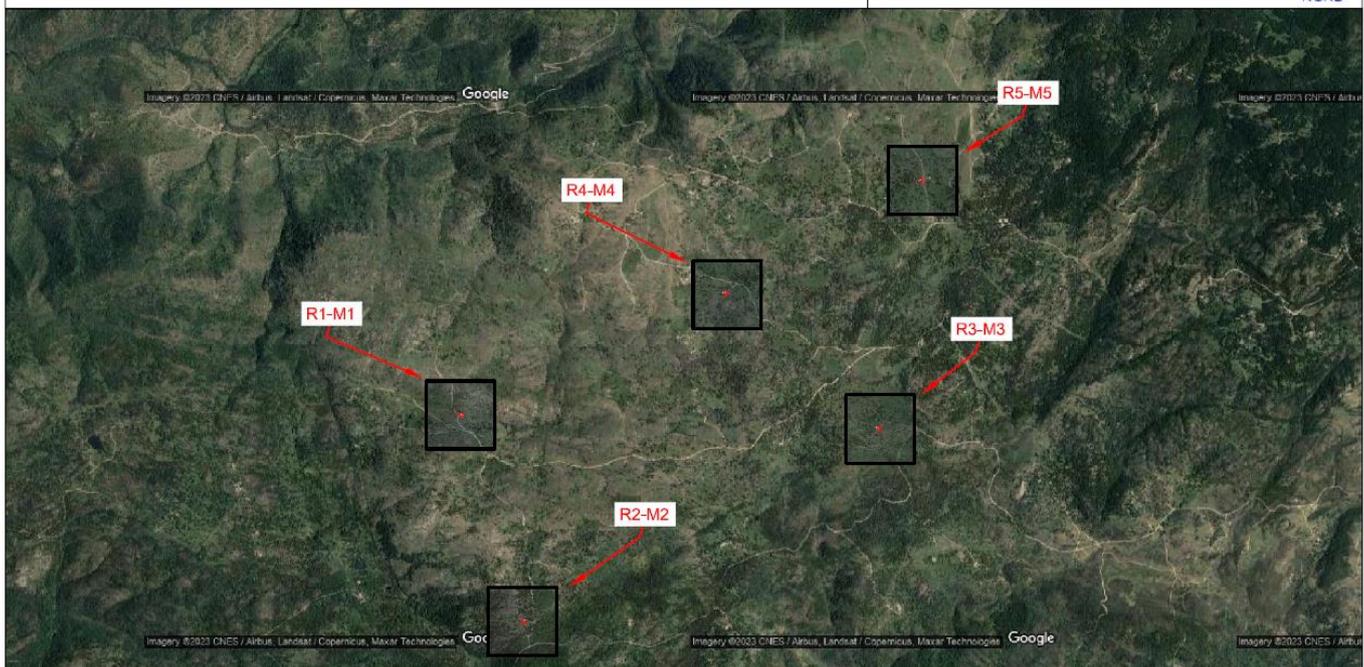


Figura 6 - Ubicazione delle indagini geofisiche

### 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.

ORUNE Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesOru-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 16 di 45
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

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.

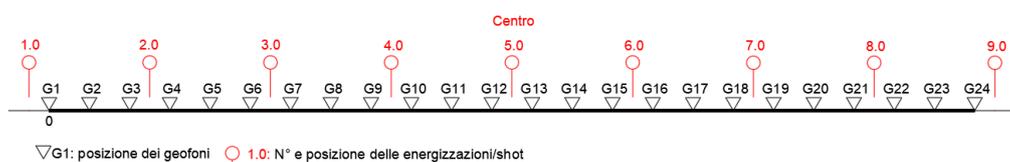
In questi casi per la modellizzazione del sottosuolo, risulta più adatta un'altra tecnica di elaborazione: la tecnica di elaborazione tomografica.

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 7** Stendimento di sismica a rifrazione in onde P con 24 geofoni, interdistanza di 3,0 m, lunghezza complessiva 69,0

#### 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 è stata utilizzata 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

ORUNE Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesOru-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 17 di 45
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

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

## 5.2. 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 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:

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

ORUNE Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesOru-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 18 di 45
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

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**

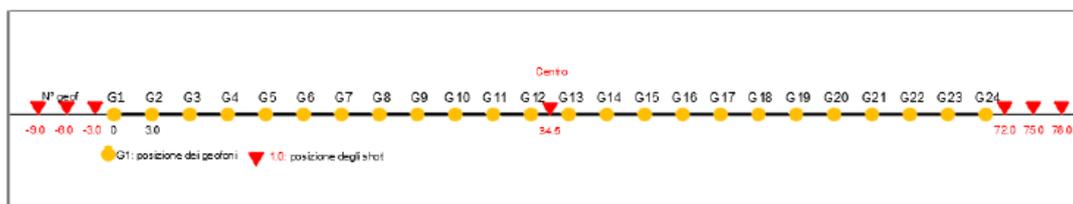
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

#### 5.2.1. 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**



#### 5.2.2. Caratteristiche della strumentazione impiegata

Per l'esecuzione del cantiere d'interesse, è stata impiegata una strumentazione di acquisizione 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 è stata utilizzata una mazza battente da 10 kg impattante su piastra di battuta in duralluminio, diametro 18 cm, spessore 4 cm, peso 2 kg.

#### 5.2.3. 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.

#### 5.2.4. 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.

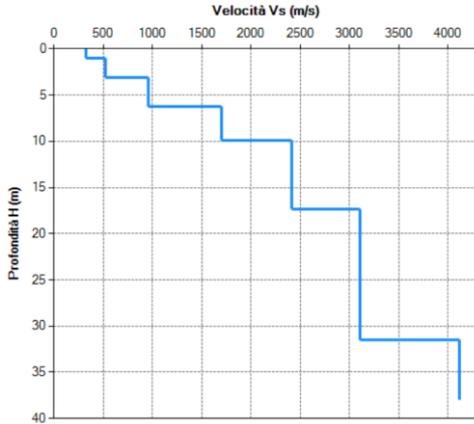
**Tabella 3.2.II. Categorie di sottosuolo (Fonte NTC 2018)**

Categoria	Descrizione
A	<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	<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.
C	<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.
D	<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.
E	<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.

### 5.3. Risultati delle indagini del sito S/M\_01 – AG03

#### 5.3.1. Masw M1

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento S/M\_01 – AG03, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.



Sismostratigrafia e calcolo Vs eq

Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	hi/Vs (s)
1	1,0	1,0	330	1,0	1,0	0,003030
2	3,1	2,1	520	3,1	2,1	0,004038
3	6,2	3,1	960	6,2	3,1	
4	9,9	3,7	1700	9,9	3,7	
5	17,4	7,5	2410	17,4	7,5	
6	31,5	14,1	3110	30,0	12,6	
7	38,0	6,5	4190	0,0	0,0	

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, Vs,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.

Dall'esame del profilo delle Vs si evince una profondità del substrato (bedrock) pari a 3,0 m ( $V_s > 800$  m/s). La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 3,0 m di profondità dal p.c. e piano di posa delle fondazioni è pari a:

Piano di posa [m da p.c.]	Vs eq [m/s]	Categoria sottosuolo NTC'18
Da 0,0	>800	A

Ciò consente di classificare il terreno **fondazioni poste a profondità > 3m** come **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.

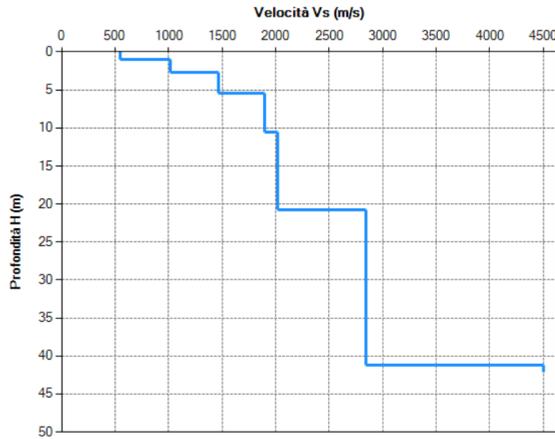
Sismostrato	Profondità		CT*	Densità $\gamma$	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G <sub>0</sub>	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
	[m]	[m]		[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0	1,0	terre	1 800	660	330	0,33	520	63	196	520
2	1,0	3,1	8%	2 000	1 040	520	0,33	1 442	174	539	1 442
3	3,1	6,2	10%	2 100	1 920	960	0,33	5 158	622	1 932	5 158
4	6,2	9,9	12%	2 200	3 400	1700	0,33	16 956	2 035	6 355	16 956
5	9,9	17,4	15%	2 350	4 820	2410	0,33	36 403	5 460	13 651	36 403
6	17,4	31,5	25%	2 400	6 220	3110	0,33	61 901	15 475	23 213	61 901
7	31,5	38,0	35%	2 450	8 380	4190	0,33	114 700	40 145	43 013	114 700

Figura 8 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche – M1

#### 5.4. Risultati delle indagini del sito **S/M\_02 – AG06**

##### 5.4.1. Masw M2

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento **S/M\_02 – AG06**, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.



Sismostratigrafia e calcolo Vs eq

Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	hi/Vs (s)
1	1,0	1,0	550	1,0	1,0	
2	2,7	1,7	1020	2,7	1,7	
3	5,5	2,8	1470	5,5	2,8	
4	10,5	5,0	1900	10,5	5,0	
5	20,8	10,3	2020	20,8	10,3	
6	41,2	20,4	2840	30,0	9,2	
7	42,2	1,0	4500	0,0	0,0	

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

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

con:  
 hi spessore dell'i-esimo strato;  
 Vs,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.

Dall'esame del profilo delle Vs si evince una profondità del substrato (bedrock) pari a 2,7 m (Vs>800 m/s). La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 2,7 m di profondità dal p.c. e piano di posa delle fondazioni è pari a:

Piano di posa [m da p.c.]	Vs eq [m/s]	Categoria sottosuolo NTC'18
Da 0,0	>800	A

Ciò consente di classificare il terreno per **fondazioni poste a profondità > 2,7m** come **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.

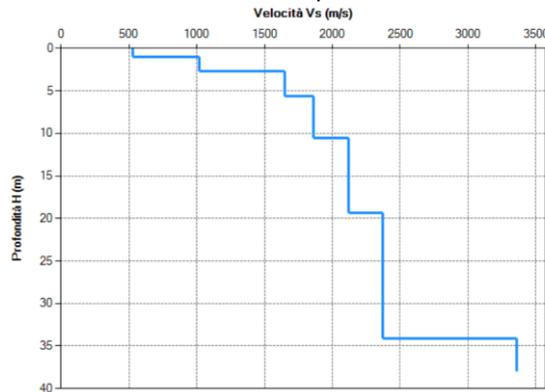
Sismostrato	Profondità		CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G0	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
	[m]	[m]		[Kg/m³]	[m/s]	[m/s]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0	1,0	terre	1 800	1 100	550	0,33	1 451	175	549	1 451
2	1,0	2,7	8%	2 000	2 040	1020	0,33	5 551	669	2 079	5 551
3	2,7	5,5	10%	2 100	2 940	1470	0,33	12 102	1 458	4 541	12 102
4	5,5	10,5	12%	2 200	3 800	1900	0,33	21 183	2 542	7 944	21 183
5	10,5	20,8	15%	2 350	4 040	2020	0,33	25 566	3 835	9 591	25 566
6	20,8	41,2	25%	2 400	5 680	2840	0,33	51 623	12 906	19 359	51 623
7	41,2	42,2	35%	2 450	9 000	4500	0,33	132 304	46 306	49 613	132 304

Figura 9 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche – M2

## 5.5. Risultati delle indagini del sito **S/M\_03 – AG15**

### 5.5.1. Masw M3

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$  dello stendimento **S/M\_03 – AG15**, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio  $V_s$ .



Sismostratigrafia e calcolo  $V_{s,eq}$

Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	$V_s$ (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	hi/ $V_s$ (s)
1	1,00	1,00	530,00	1,00	1,00	
2	2,70	1,70	1020,00	2,70	1,70	
3	5,60	2,90	1650,00	5,60	2,90	
4	10,50	4,90	1860,00	10,50	4,90	
5	19,30	8,80	2120,00	19,30	8,80	
6	34,10	14,80	2370,00	30,00	10,70	
7	38,00	3,90	3360,00	0,00	0,00	

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.

Dall'esame del profilo delle  $V_s$  si evince una profondità del substrato (bedrock) pari a 2,7 m ( $V_s > 800$  m/s). La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 2,7 m di profondità dal p.c. e piano di posa delle fondazioni è pari a:

Piano di posa [m da p.c.]	$V_s$ eq [m/s]	Categoria sottosuolo NTC'18
Da 0,0	>800	A

Ciò consente di classificare il terreno **fondazioni poste a profondità > 2,7m** come **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  $V_s$ , e  $V_p$  e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

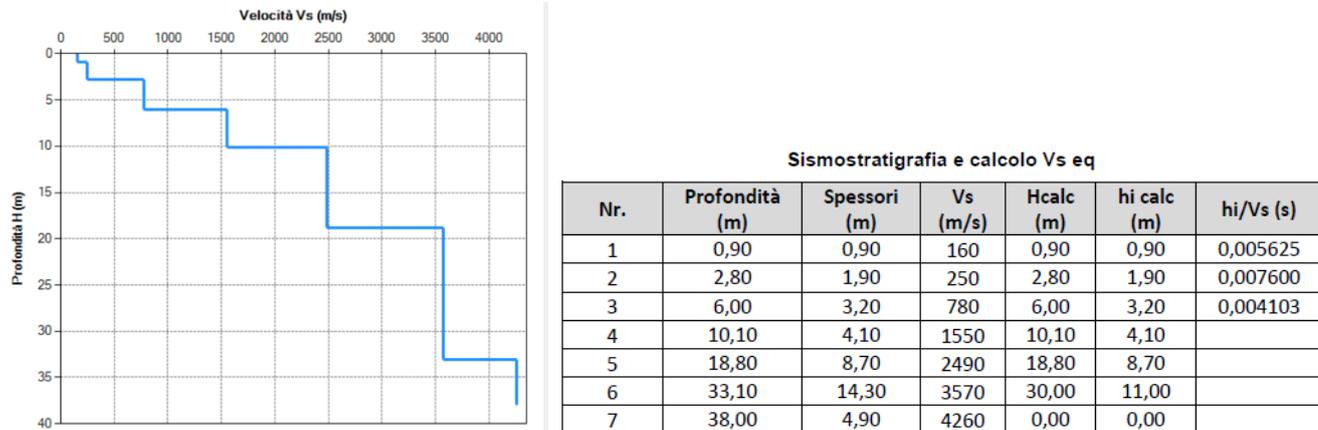
Sismostrato	Profondità		CT*	Densità $\gamma$	$V_p$	$V_s$	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico $E_d$	Modulo di Young statico $E_d$	Modulo di taglio $G_0$	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
	[m]	[m]		[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0	1,0	terre	1 800	1 060	530	0,33	1 344	162	510	1 344
2	1,0	2,7	8%	2 000	2 040	1020	0,33	5 551	669	2 079	5 551
3	2,7	5,6	10%	2 100	3 300	1650	0,33	15 250	1 837	5 717	15 250
4	5,6	10,5	12%	2 200	3 720	1860	0,33	20 300	2 436	7 610	20 300
5	10,5	19,3	15%	2 350	4 240	2120	0,33	28 165	4 225	10 562	28 165
6	19,3	34,1	25%	2 400	4 740	2370	0,33	35 952	8 988	13 484	35 952
7	34,1	38,0	35%	2 450	6 720	3360	0,33	73 757	25 815	27 665	73 757

Figura 10 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche – M3

## 5.6. Risultati delle indagini del sito **S/M\_04 – AG10**

### 5.6.1. Masw M4

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$  dello stendimento **S/M\_04 – AG10**, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio  $V_s$ .



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.

Dall'esame del profilo delle  $V_s$  si evince una profondità del substrato (bedrock) pari a 6,00 m ( $V_s > 800$  m/s). La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 6,00 m di profondità dal p.c. e piano di posa delle fondazioni è pari a:

Piano di posa [m da p.c.]	$V_{s,eq}$ [m/s]	Categoria sottosuolo NTC'18
Da 0,0 ÷ <0,2	346 ÷ 359	E
0,2 ÷ <3,0	360 ÷ 798	B
≥ 3,0	>800	A

Ciò consente di classificare il terreno per **fondazioni poste tra 0,20m e 3,00m** di profondità come **Categoria B**: *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s*, mentre per **fondazioni poste a profondità >3,0 m** ricade come **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  $V_s$ , e  $V_p$  e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

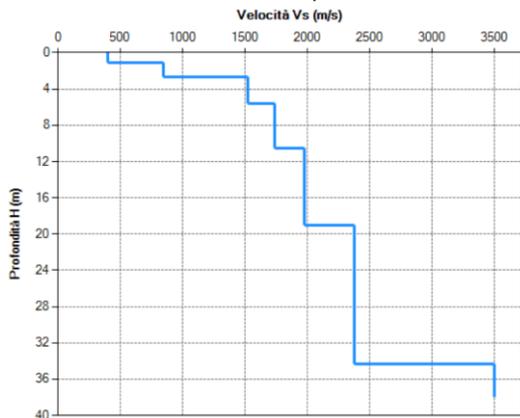
Sismostrato	Profondità		CT*	Densità $\gamma$	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio $G_0$	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
	[m]			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0	0,9	terre	1 800	320	160	0,33	127	16	49	127
2	1,0	2,9	8%	2 000	500	250	0,33	333	40	127	333
3	2,9	6,1	10%	2 100	1 560	780	0,33	3 403	410	1 275	3 403
4	6,1	10,2	12%	2 200	3 100	1550	0,33	14 092	1 691	5 286	14 092
5	10,2	18,9	15%	2 350	4 980	2490	0,33	38 855	5 828	14 573	38 855
6	18,9	33,2	25%	2 400	7 140	3570	0,33	81 573	20 393	30 587	81 573
7	33,2	38,1	35%	2 450	8 520	4260	0,33	118 564	41 497	44 464	118 564

Figura 11 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche – M4

### 5.7. Risultati delle indagini del sito S/M\_05 – AG12

#### 5.7.1. Masw M5

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento S/M\_05 – AG12, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.



Sismostratigrafia e calcolo Vs eq

Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	hi/Vs (s)
1	1,10	1,10	400	1,10	1,10	
2	2,70	1,60	850	2,70	1,60	
3	5,60	2,90	1520	5,60	2,90	
4	10,50	4,90	1740	10,50	4,90	
5	19,00	8,50	1980	19,00	8,50	
6	34,30	15,30	2380	30,00	11,00	
7	38,00	3,70	3500	0,00	0,00	

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, Vs,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.

Dall'esame del profilo delle Vs si evince una profondità del substrato (bedrock) pari a 2,7 m ( $V_s > 800$  m/s). La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 2,7 m di profondità dal p.c. e piano di posa delle fondazioni è pari a:

Piano di posa [m da p.c.]	Vs eq [m/s]	Categoria sottosuolo NTC'18
Da 0,0	>800	A

Ciò consente di classificare il terreno **fondazioni poste a profondità > 2,7m** come **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	Profondità		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
	[m]			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0	1,1	terre	1 800	800	400	0,33	765	92	284	765
2	1,0	2,6	8%	2 000	1 700	850	0,33	3 854	464	1 442	3 854
3	2,6	5,5	10%	2 100	3 040	1520	0,33	12 935	1 558	4 854	12 935
4	5,5	10,4	12%	2 200	3 480	1740	0,33	17 760	2 131	6 659	17 760
5	10,4	18,9	15%	2 350	3 960	1980	0,33	24 566	3 685	9 209	24 566
6	18,9	34,2	25%	2 400	4 760	2380	0,33	36 256	9 064	13 592	36 256
7	34,2	38,0	35%	2 450	7 000	3500	0,33	80 033	28 012	30 009	80 033

Figura 12 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche – M5

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. modelli geologici rappresentativi** descritti di seguito:

#### 5.8. Modello Geologico 01 –

AG01/AG02/AG03/AG04/AG/05AG06/AG/07AG08/AG09/AG10/AG11/AG12/AG13/AG14

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati degli stendimenti geofisici **R1-R2-R4-R5** e le osservazioni in sito. Il modello interessa la formazione intrusiva **BTub Facies Orune (UNITÀ INTRUSIVA DI BENETUTTI). Granodioriti monzogranitiche, biotitiche, a grana medio-grossa, inequigranulari per Kfs biancastri di taglia 8-10 cm; tessitura orientata per flusso magmatico. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO.**

A partire dal piano campagna dopo un primo spessore di circa 0,90 in terre addensate si incontra un livello superficiale di roccia intensamente fratturata a quota variabile da 2,9m a 6,1m, il sottostante substrato roccioso fratturato prosegue fino ad una profondità di circa 10,2 m con velocità di Vs pari a 1550m/sec. Il substrato prosegue da debolmente fratturato a sano fratturato fino ad una profondità di circa 33m da p.c. oltre la quale le velocità Vs risultano oltre i 4260m/sec indicando roccia sana.

Dall'esame della sezione sismica è possibile distinguere 4 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s ai 5200 m/s.

Il sismostrato A, caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabili), presenta uno spessore di variabile e crescente da sinistra verso destra della sezione tra 1,0 e 3,0 m circa. Il sismostrato B caratterizzato da rocce intensamente fratturate (rippabili) si osserva fino a profondità comprese tra 6,0 e 7,0 m dal p.c. Il sismostrato C, caratterizzato da rocce debolmente fratturate (rippabili con difficoltà) è presente sino a 8,0 ÷ 9,0. A seguire, il sismostrato D (rocce non rippabili) sino alla massima profondità indagata.

Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento abbastanza graduale delle Vp con alcune variazioni del gradiente generate dalla maggiore o minore densità del materiale roccioso.

In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 3,5 e 7,0 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili.

Il modello è stato costruito considerando i valori più cautelativi ottenuti attraverso trattazione empirica dei dati geofisici rilevati. Pertanto, considerato il contesto geologico in esame in fase di progettazione 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>BTUb</b>	0.00m – 0,90m	Terre/roccia affiorante molto alterata
	0.90m – 2,90-6,10m	Roccia tenera e/o intensamente fratturata
	2,9-6,10m – 10m	Substrato roccioso debolmente fratturato
	10m – in poi	Substrato da debolmente fratturato a sano

ORUNE - MODELLO GEOLOGICO 01 –					
AG01/AG02/AG03/AG04/AG/05AG06/AG/07AG08/AG09/AG10/AG11/AG12/AG13/AG14					
Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		S1- Roccia tenera e/o fratturata	S2 – Roccia tenera e/o intensamente fratturata	S3 – Substrato roccioso debolmente fratturato	S4- Substrato da debolmente fratturato a sano
Descrizione					
Peso di volume	[kg/mc]	1800	2000	2100	2350
Peso di volume saturo	[kg/mc]	1900	2000	2100	2350
Angolo di attrito interno	[°]	27.02	37.36	41,26	44,52
Coesione	[Mpa]	0.3013	5.990	7.184	8.256
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico statico	[Mpa]	63	174	2035	5460
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[Mpa]	196	539	6355	13651
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	330	520	1700	2410

#### 5.9. Modello Geologico 02 – AG15

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati dello stendimento geofisico **M3** e le osservazioni in sito. Il modello interessa le formazioni intrusive **BLA2b Facies Ponte S'Archimissa (Subunità intrusiva di Punta Biriai - UNITÀ INTRUSIVA DI MONTE SAN BASILIO). Monzograniti a due miche e cordierite, a grana medio-fine, inequigranulari, porfirici per Kfs biancastri di taglia centimetrica e subordinato Qtz globu.**

A partire dal piano campagna dopo un primo spessore di circa 1m in terre addensate si incontra un livello superficiale di roccia intensamente fratturata a quota variabile da 2,7m a 5,6m, il sottostante substrato roccioso fratturato prosegue fino ad una profondità di circa 10,5 m con velocità di Vs pari a 1860m/sec. Il substrato prosegue da debolmente fratturato a sano fino ad una profondità di circa 34m da p.c. oltre la quale le velocità Vs risultano oltre i 3360m/sec indicando roccia sana.

Dall'esame della sezione sismica è possibile distinguere 4 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s ai 5200 m/s.

I 3 sismostrati A, B e C sono compresi entro i primi 3 metri di profondità e a seguire si rileva la presenza del bedrock non riappare (sismostrato D) con velocità superiori a 2.000 m/s.

Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento repentino delle Vp sino a circa 4-5 metri di profondità, tipico della presenza del bedrock semi-affiorante.

In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 2,0-3,0 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili.

Il modello è stato costruito considerando i valori più cautelativi ottenuti attraverso trattazione empirica dei dati geofisici rilevati. Pertanto, considerato il contesto geologico in esame in fase di progettazione 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).



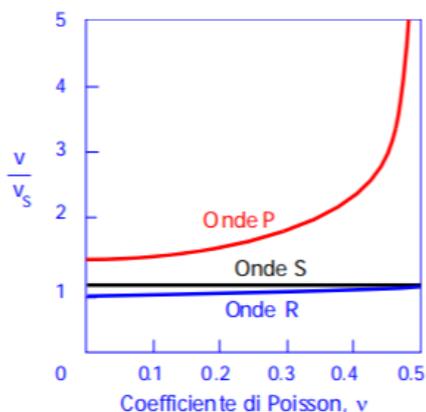
- 0,00m – 1,00m Terre poco addensate
- 1,00m – 2,70m Roccia tenera e/o intensamente fratturato
- 2,70m – 10,50m Substrato roccioso debolmente fratturato
- 10,50m – 34m Substrato da debolmente fratturato a sano

ORUNE - MODELLO GEOLOGICO 02 - AG15					
Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		S1- Terre poco addensate	S2 – Roccia tenera e/o intensamente fratturato	S3 Substrato roccioso debolmente fratturato	S4- Substrato da debolmente fratturato a sano
Descrizione					
Peso di volume	[kg/mc]	1800	2000	2100	2200
Peso di volume saturo	[kg/mc]	1900	2000	2100	2200
Angolo di attrito interno	[°]	27.02	38.57	39.47	45.11
Coesione	[Mpa]	0.3013	6.358	6.632	8.467
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico statico	[Mpa]	162	669	1837	2436
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[Mpa]	510	2079	5717	7610
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	530	1020	1650	1860

### 5.10. 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 – 0,90	330	0,33	<b>308</b>
0,90 - 2,90/6,10	520	0,33	<b>485</b>
2,9-6,10 – 10	1700	0,33	<b>1586</b>
10,00 - 33	2410	0,33	<b>2249</b>

#### 2. Modello geologico 02

profondità in m (da-a)	$V_s$ (m/sec)	$v$	$V_r$ (m/sec)
0,00 – 1,00	530	0,33	<b>495</b>
1,00 – 2,70	1020	0,33	<b>952</b>
2,70 – 10,50	1650	0,33	<b>1540</b>
10,50 - 34	1860	0,33	<b>1735</b>

## 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. 13 (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.

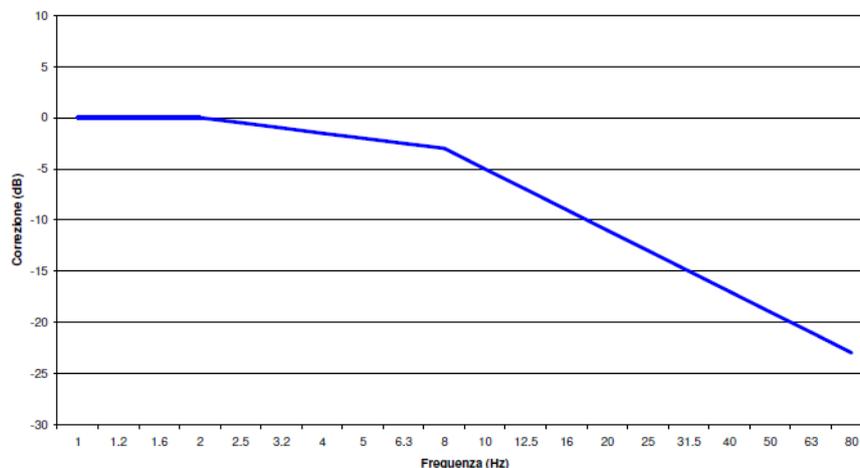


Figura 13 - Curva di ponderazione asse generico

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.

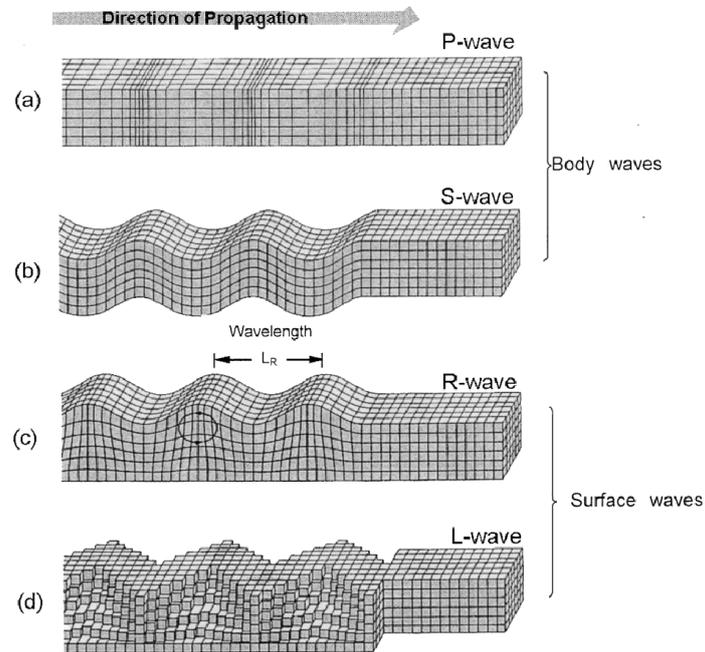


Figura 14 - Tipologia di onde: a) e b) onde di volume, c) e d) onde di superficie

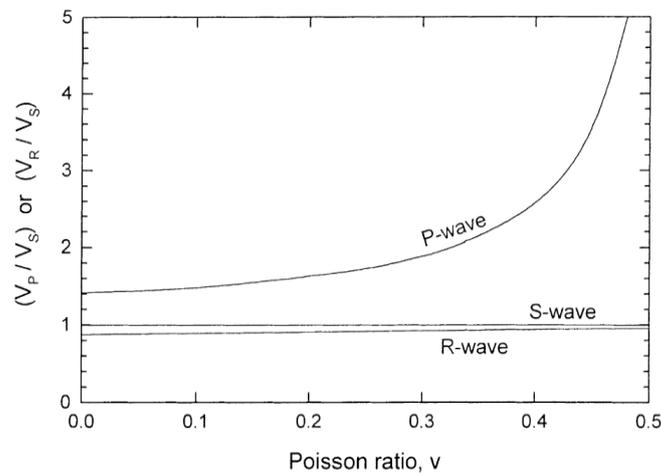


Figura 15 - rapporto tra le velocità di propagazione  $V_p$  e  $V_r$

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.15 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  $v = 0,33$   $V_r = 0,933$  Vs

### 1. Modello geologico 01

profondità in m (da-a)	Vs (m/sec)	v	Vr (m/sec)	$\eta$	n
0,00 – 0,90	330	0,33	308	0.05	0.5
0,90 - 2,90/6,10	520	0,33	485	0.01	0.5
2,9-6,10 – 10	1700	0,33	1586	0.01	0.5
10,00 - 33	2410	0,33	2249	0.01	0.5

### 2. Modello geologico 02

profondità in m (da-a)	Vs (m/sec)	v	Vr (m/sec)	$\eta$	n
0,00 – 1,00	530	0,33	495	0.05	0.5
1,00 – 2,70	1020	0,33	952	0.01	0.5
2,70 – 10,50	1650	0,33	1540	0.01	0.5
10,50 - 34	1860	0,33	1735	0.01	0.5

ORUNE Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesOru-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 32 di 45
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

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 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 previste 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 in 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.

### 9.3. 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 02

profondità in m (da-a)	Vs (m/sec)	v	Vr (m/sec)	$\eta$	n
0,00 – 1,00	530	0,33	495	0.05	0.5
1,00 – 2,70	1020	0,33	952	0.01	0.5
2,70 – 10,50	1650	0,33	1540	0.01	0.5
10,50 - 34	1860	0,33	1735	0.01	0.5

#### 9.4. 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	197 m
Scenario 02	134 m
Scenario 03**	197 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.

#### 9.5. 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).

### 9.6. 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 16 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:

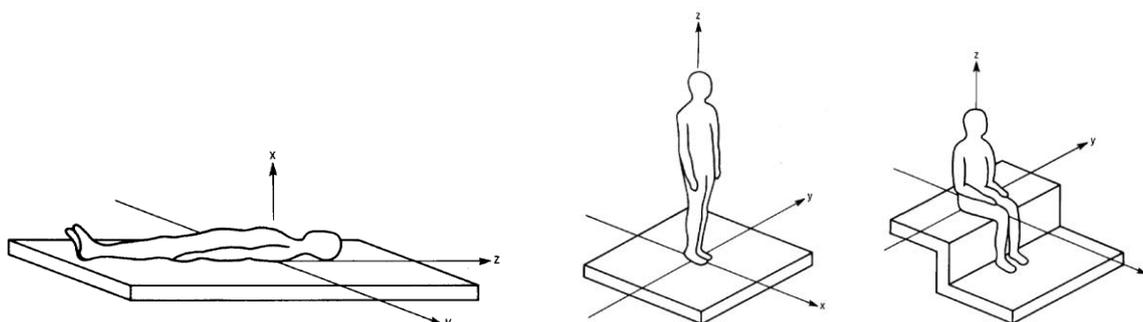


Figura 17 Sistema cartesiano di riferimento per persona sdraiata, in piedi o seduta

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.

ORUNE Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesOru-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 36 di 45
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

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.

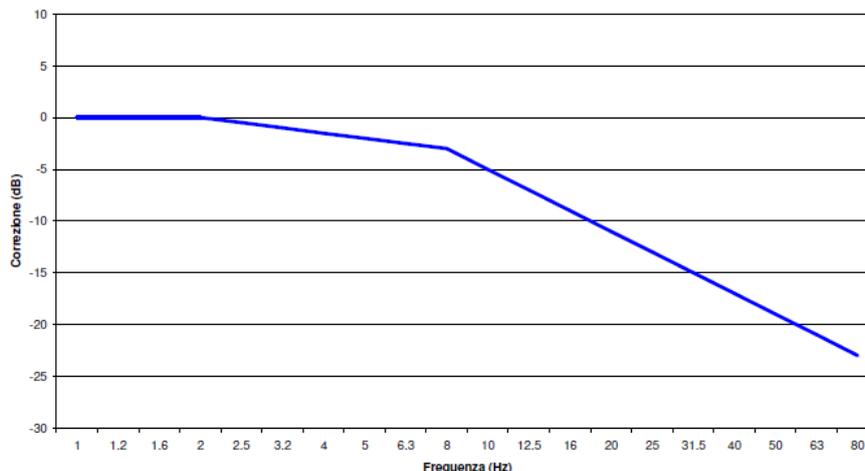


Figura 18 Curva di ponderazione per un asse generico - UNI 9614

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

### 9.7. 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.

9.8. Spettri di emissione delle macchine operatrici

9.8.1. 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.

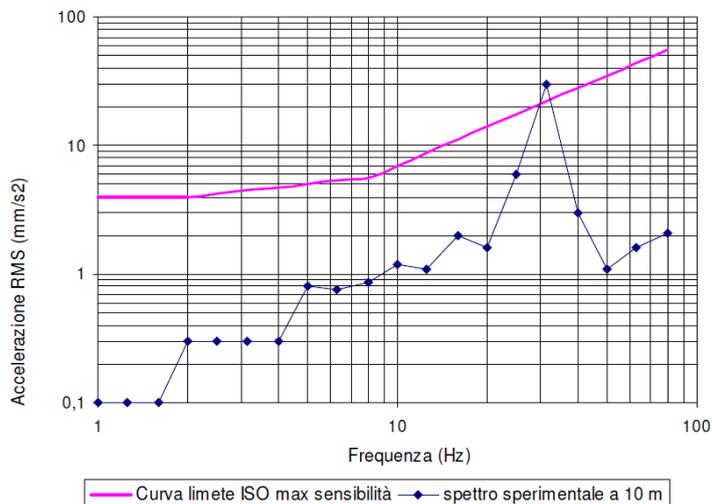


Figura 20 Spettro di emissione della sorgente di un rullo vibrante a 10mdall'asse di cantiere

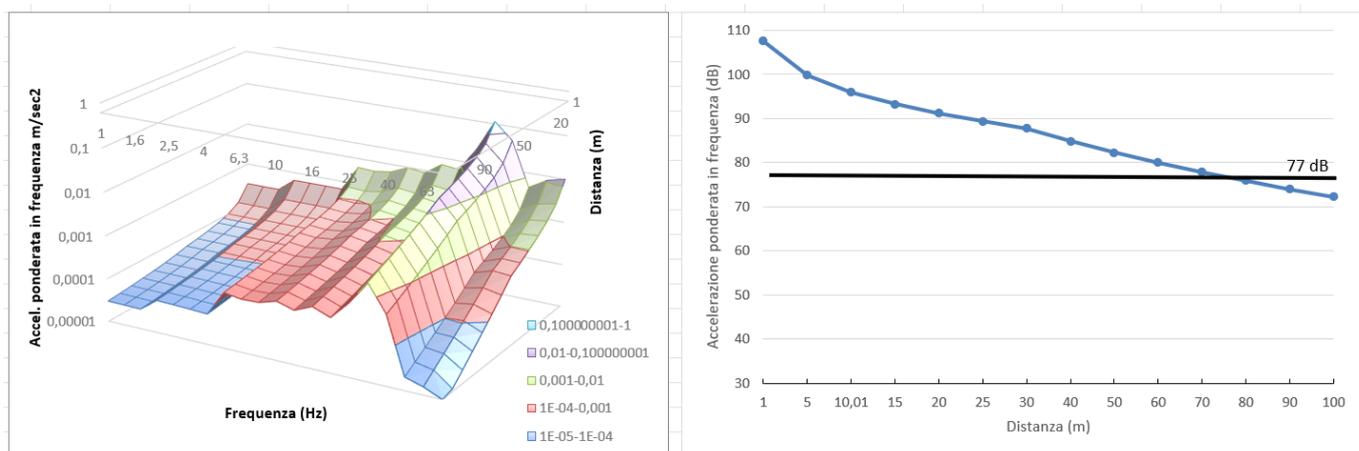


Figura 21 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

9.8.2. 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.

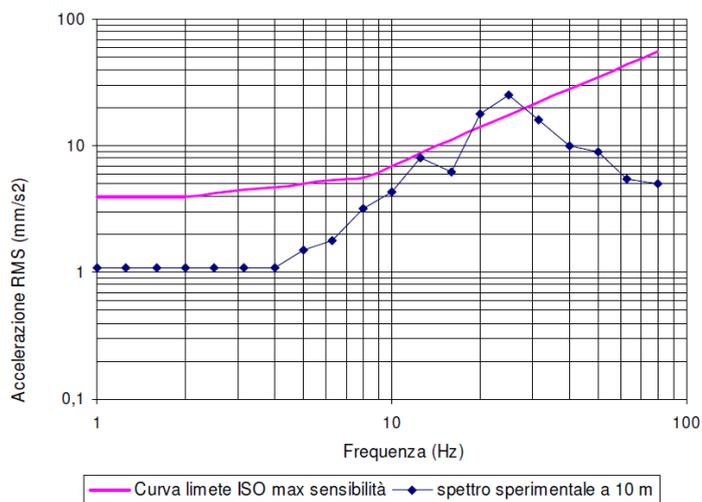


Figura 22 Spettro di emissione della sorgente di una pala cingolata a 10mdall'asse di cantiere

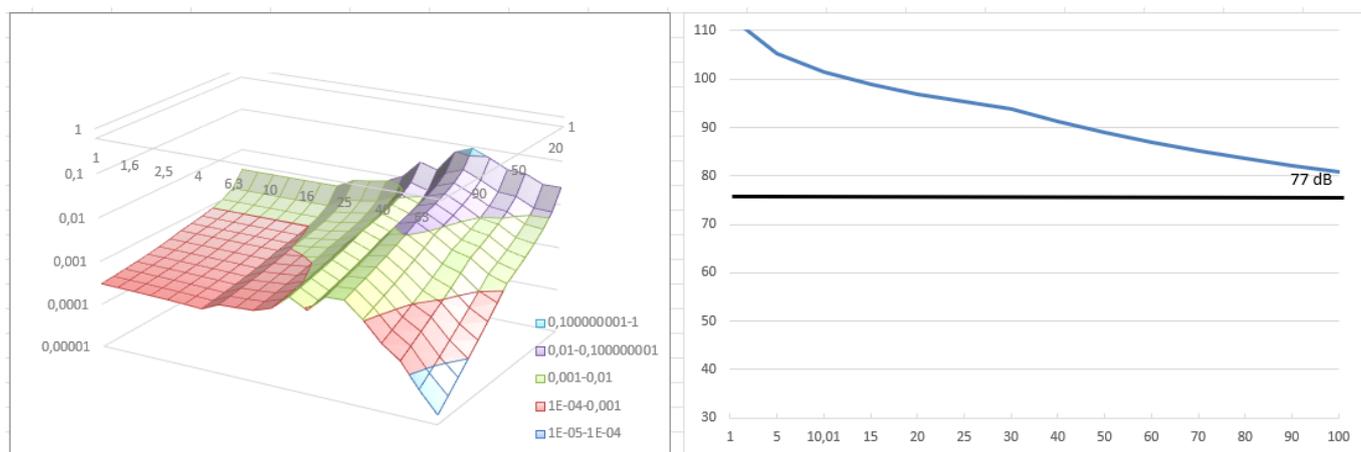


Figura 23 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

### 9.8.3. 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.

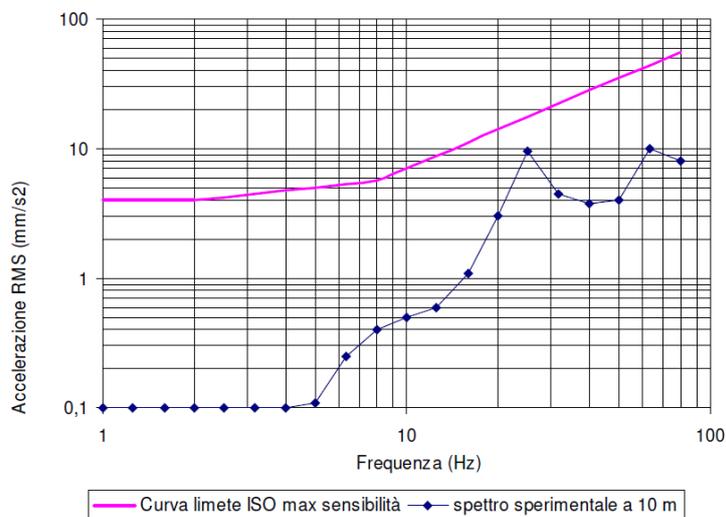


Figura 24 Spettro di emissione della sorgente di un autocarro 10mdall'asse di cantiere

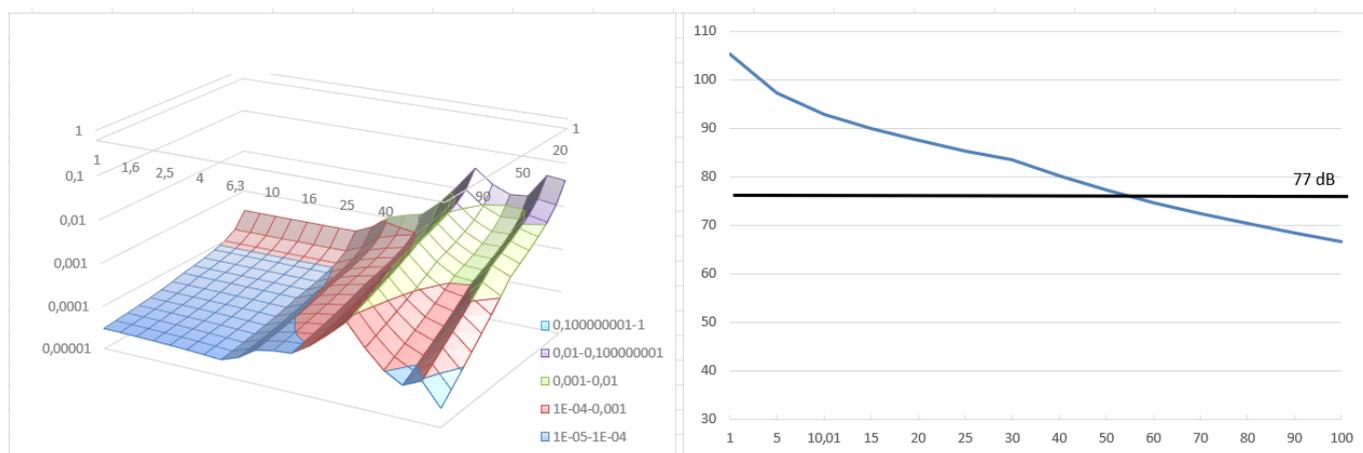


Figura 25 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

9.8.4. 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.

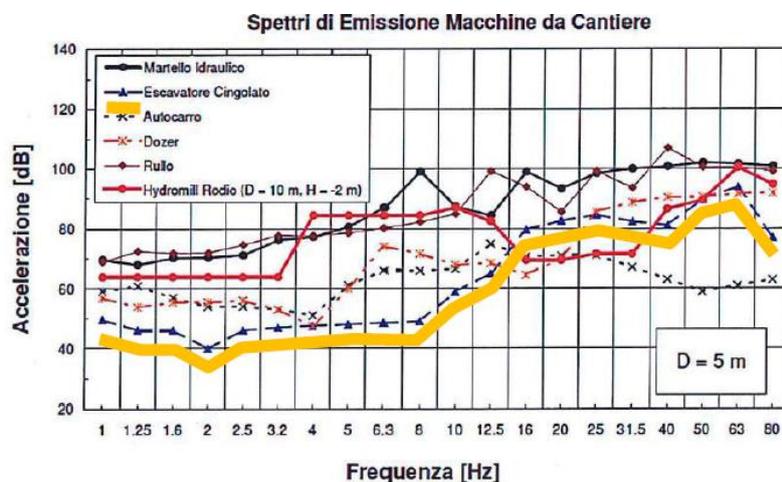


Figura 26 Spettro di emissione della sorgente di un escavatore cingolato 5m dall'asse di cantiere

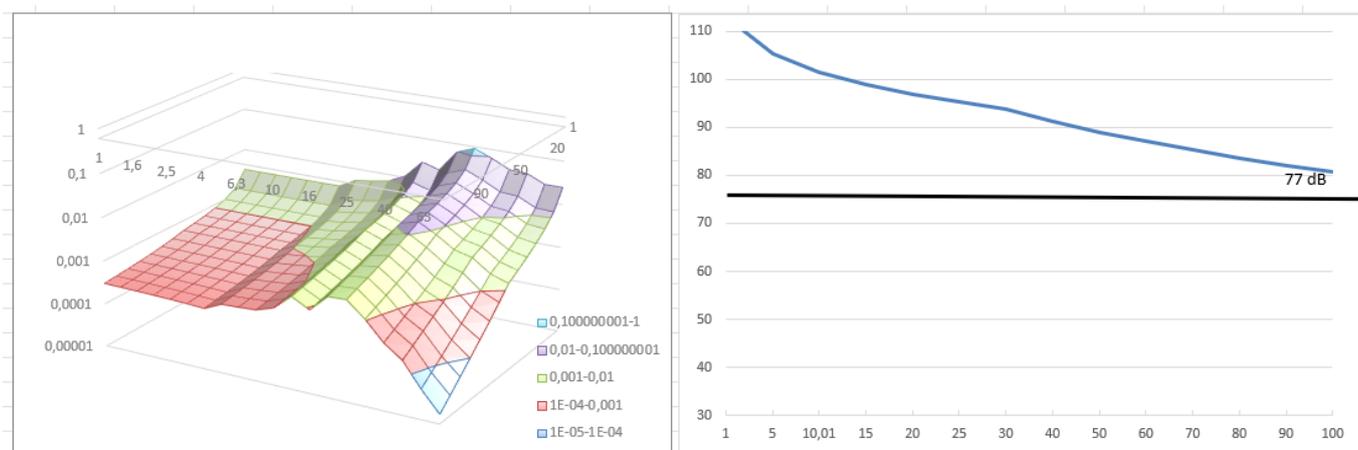


Figura 27 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

9.8.5. 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.

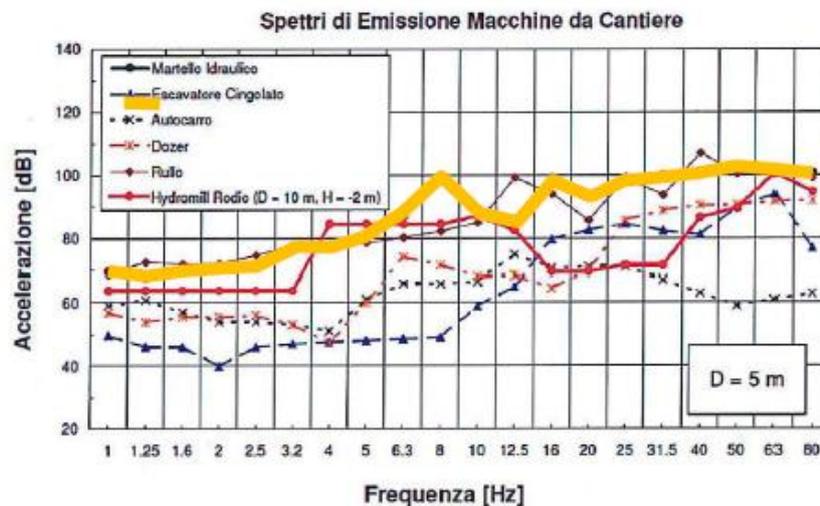


Figura 28 Spettro di emissione della sorgente di un martello idraulico 5m dall'asse di cantiere

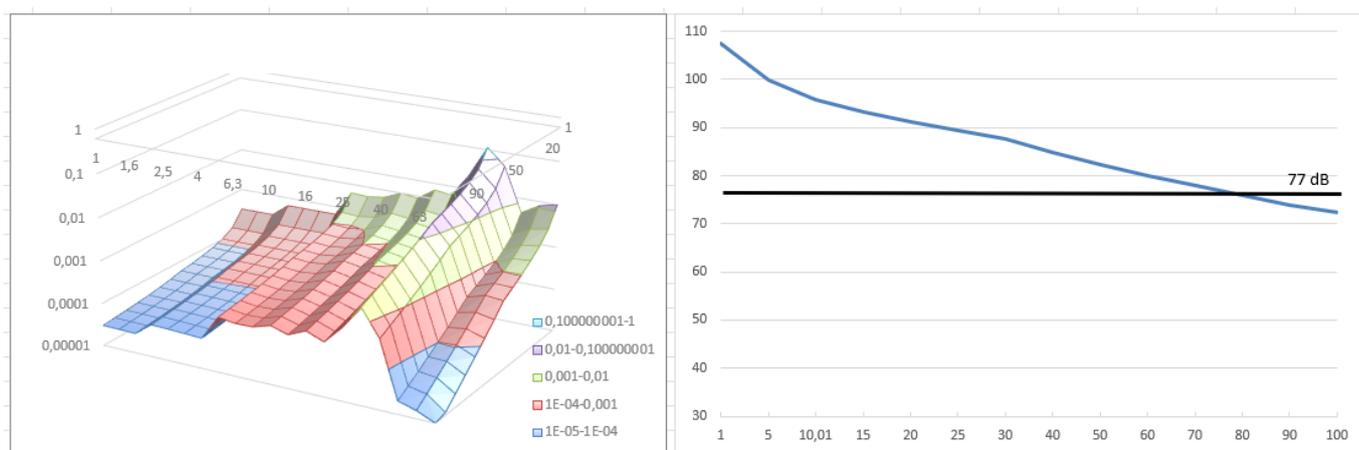


Figura 29 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

ORUNE Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesOru-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 43 di 45
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

## 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

ORUNE Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesOru-CLP-SPE-TR-11	Rev 0	Pagina 44 di 45
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

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 134m (posa dei cavidotti) e i 197m (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.

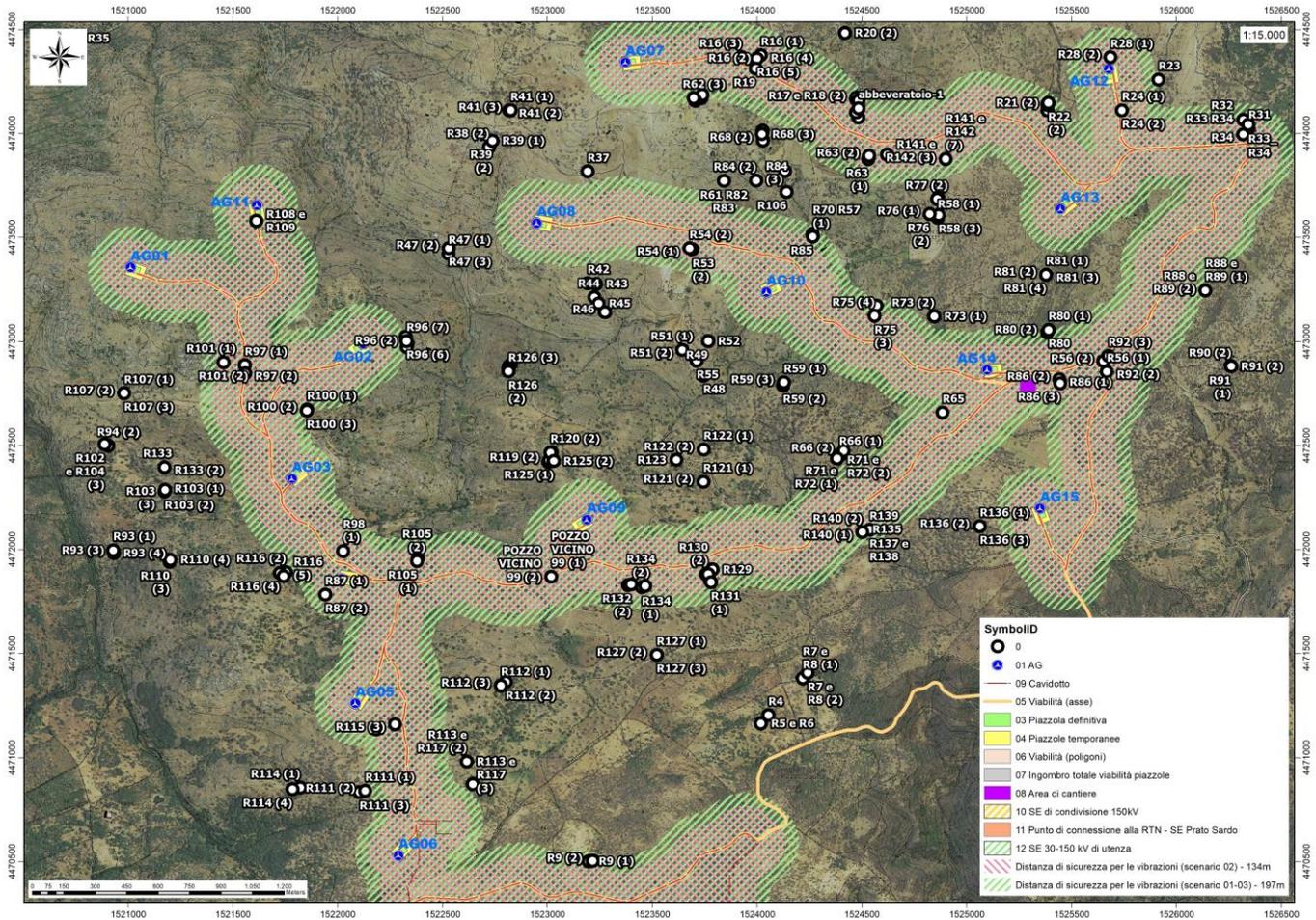


Figura 30 Distanze di sicurezza per le vibrazioni nei vari scenari