

## Valutazione d'impatto ambientale D.Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii.

### AMISTADE

## Progetto di un Parco Eolico nei territori dei comuni di Esterzili e di Escalaplano (SU)



### STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

### ANALISI DEGLI IMPATTI DA VIBRAZIONI IN FASE DI CANTIERE

1	18/01/2024	Aggiornamento per recepimento osservazioni	Maxxi	Sardeolica	Sardeolica
0	31/01/2023	Emissione per procedura di VIA	Maxxi	Sardeolica	Sardeolica
Rev.	Data	Descrizione	Red.	Contr.	Appr.



# **Valutazione d'impatto ambientale D.Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii.**

## **AMISTADE**

### **Progetto di un Parco Eolico nei territori dei comuni di Esterzili e di Escalaplano (SU)**

#### **STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE**

##### **COORDINAMENTO GENERALE:**

**Ing. Manolo Mulana – SARDAEOLICA – Saras Ricerche e Tecnologie**

##### **PROGETTAZIONE:**

**Ing. Ivano Distinto (Direttore tecnico) – Fad System S.r.l.**

**Ing. Giovanni Saraceno (Direttore tecnico) 3E Ingegneria Srl**

##### **Gruppo di lavoro:**

Ing. Francesco Schirru

Mariano Agus

Dott. Geol. Chiara D'Andrea

Ing. Gianni Serpi

Geom. Roberto Accalai

Ing. Francesco Samaritani

##### **Collaborazioni specialistiche:**

Verifiche strutturali: Ing. Luca Corsini

Aspetti archeologici: Dott. Luca Sanna

Aspetti pedologici ed uso del suolo, geologici e geotecnici: Dott. Geol. Andrea Bavestrelli

Aspetti floristico, vegetazionali e fauna: Dott. Nat. Francesco Lecis

Aspetti Idraulici: Ing. Remigio Franzini

Aspetti impatto Acustico: Ing. Andrea Battistini– Geom. Nicola Ambrosini

Aspetti paesaggistici: Paes. Emanuele Roveccio – Dott.ssa Greta Madrignani

Interferenze e telecomunicazioni: Respect S.r.l. – Prof. Ing. Giuseppe Mazzearella – Ing. Emilio Ghiani

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>RIFERIMENTI NORMATIVI .....</b>	<b>9</b>
2.1	PREMESSA.....	9
2.2	NORMA ISO2631-2.....	11
2.3	NORMA UNI 9614:2017 .....	14
2.4	NORMA UNI 9916:2014 .....	15
2.5	GRANDEZZE DI RIFERIMENTO E LIMITI APPLICABILI AL CASO SPECIFICO .....	17
2.5.1	<i>Grandezze di riferimento e limiti applicabili al caso specifico.....</i>	<i>17</i>
2.5.2	<i>Danni architettonici.....</i>	<i>19</i>
<b>3</b>	<b>FENOMENI DI PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI NEL TERRENO: CENNI TEORICI E APPLICATIVI .....</b>	<b>21</b>
3.1	FENOMENI VIBRATORI .....	21
3.2	LE ONDE ELASTICHE .....	22
3.3	MAGNITUDO DELLA VIBRAZIONE.....	25
3.4	VALUTAZIONE TEMPORALE DELLA VIBRAZIONE.....	25
3.5	ATTENUAZIONE DELL'ENERGIA VIBRAZIONALE.....	26
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....</b>	<b>28</b>
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....</b>	<b>32</b>
5.1	MODELLO GEOLOGICO GENERALE.....	32
5.2	MODELLO GEOLOGICO DI DETTAGLIO .....	32
5.2.1	<i>Descrizione del tipo di unità .....</i>	<i>33</i>
5.3	ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO LOCALE .....	34
5.4	COMPORAMENTO SISMICO DEL SOTTOSUOLO.....	36
5.5	RILIEVI STRUTTURALI .....	38
5.6	MASW.....	41
5.6.1	<i>Classificazione del sottosuolo (D.M. 17.01.2018) – MASW1 .....</i>	<i>42</i>
5.6.2	<i>Calcolo del Vs equivalente da NTC 2018 – MASW1 .....</i>	<i>43</i>
5.6.3	<i>Classificazione del sottosuolo (D.M. 17.01.2018) – MASW2 .....</i>	<i>45</i>
5.6.4	<i>Calcolo del Vs equivalente da NTC 2018 – MASW2 .....</i>	<i>46</i>
5.6.5	<i>Classificazione del sottosuolo (D.M. 17.01.2018) – MASW3.....</i>	<i>48</i>
5.6.6	<i>Calcolo del Vs equivalente da NTC 2018 – MASW3.....</i>	<i>49</i>
<b>6</b>	<b>INDIVIDUAZIONE DEI POTENZIALI RECETTORI.....</b>	<b>51</b>
<b>7</b>	<b>DESCRIZIONE SOMMARIA DELLE PRINCIPALI LAVORAZIONI DI CANTIERE.....</b>	<b>53</b>
7.1	OPERE CIVILI DEL PARCO EOLICO .....	53
7.2	FORNITURA E MONTAGGIO DEGLI AEROGENERATORI.....	54
7.3	OPERE PER LA REALIZZAZIONE DELLE LINEE ELETTRICHE MT .....	54
7.4	OPERE CIVILI PER L'ALLESTIMENTO STAZIONE DI UTENZA MT.....	55
7.5	MONTAGGI ELETTROMECCANICI DELLA STAZIONE DI UTENZA MT/AT .....	55
7.6	GESTIONE DELLE TERRE E DELLE ROCCE DA SCAVO .....	56
<b>8</b>	<b>ANALISI PREVISIONALE DEI LIVELLI DI VIBRAZIONI .....</b>	<b>57</b>
8.1	IL METODO PREVISIONALE .....	57

---

8.2	FASE DI CANTIERE – REALIZZAZIONE E DISMISSIONE .....	60
8.2.1	<i>Caratterizzazione delle sorgenti</i> .....	60
8.2.2	<i>Scenari Previsionali di calcolo dei livelli vibrazionali</i> .....	63
8.2.3	<i>Stima dei livelli vibrazionali ed analisi dei risultati</i> .....	64
8.3	FASE DI ESERCIZIO .....	66
8.3.1	<i>Caratterizzazione delle sorgenti</i> .....	66
8.3.2	<i>Stima dei livelli vibrazionali</i> .....	67
8.3.3	<i>Analisi dei risultati</i> .....	68
9	CONSIDERAZIONI FINALI.....	69

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 2.1 – Rappresentazione delle tre componenti in funzione della posizione del corpo .....	12
Figura 2.2 – Curve di ponderazione (ISO) per vibrazioni lungo gli assi verticali, orizzontali e per postura non nota nell'intervallo di frequenze 1÷80 Hz.....	13
Figura 2.3 – Curve di ponderazione norma UNI 9614:2017 .....	18
Figura 3.1 – Progressiva variazione della forma d'onda durante la propagazione a causa dell'effetto di attenuazione (Anstey, 1977) .....	27
Figura 4.1 – Documentazione fotografica dell'area di progetto .....	29
Figura 4.2 – Stralcio cartografico aerogeneratori di progetto – Comune di Esterzili.....	30
Figura 4.3 – Stralcio cartografico aerogeneratori di progetto – Comune di Escalaplano .....	30
Figura 4.4 – Stralcio cartografico degli aerogeneratori di progetto su base satellitare – Comune di Esterzili.....	31
Figura 4.5 – Stralcio cartografico degli aerogeneratori di progetto su base satellitare – Comune di Escalaplano .....	31
<i>Figura 5.1 – Stralcio carta Litologia Sardegna.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 5.2 – Ubicazione Masw e profilo geolettrico.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 5.3 – Identificazione della categoria di sottosuolo con approccio semplificato – MASW1 .....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 5.4 – Esiti della MASW 1 .....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 5.5 – Identificazione della categoria di sottosuolo con approccio semplificato – MASW2 .....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 5.6 – Esiti della MASW 2 .....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 5.7 – Identificazione della categoria di sottosuolo con approccio semplificato – MASW3 .....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 5.8 – Esiti della MASW 3.....</i>	<i>50</i>
Figura 8.1 – Curve di ponderazione delle vibrazioni indicate dalla UNI 9614:2017 per i diversi assi di riferimento.....	59

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 2.1 – Fattori numerici per le curve di ponderazione.....	12
Tabella 2.2 – Fattori di moltiplicazione delle curve base (ISO 2631-2 Annex A).....	13
Tabella 2.3 – Rappresentazione del campo di frequenza 1÷80 Hz per terzi di ottava .....	17
Tabella 2.4 – Limiti di riferimento per la massima accelerazione ponderata della sorgente.....	19
Tabella 2.5 – Valori di riferimento per la velocità di vibrazione al fine di valutare l'azione delle vibrazioni di breve durata sulle costruzioni (Appendice D – Prospetto D.1 Norma UNI 9916:2004) .....	20
Tabella 3.1 – Caratteristiche delle onde sismiche.....	24
Tabella 3.2 – Variazioni temporali delle vibrazioni .....	26
<i>Tabella 5.1 – Litologie affioranti in corrispondenza delle opere di progetto.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabella 5.2 – Caratteristiche delle fratture degli ammassi rocciosi rilevati.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabella 5.3 – Parametri geotecnici di riferimento per le rocce di fondazione.....</i>	<i>39</i>
Tabella 6.1 – Recettori individuati.....	51
Tabella 8.1 – Valori tipici di densità, velocità di propagazione e fattore di perdita, noti esclusivamente per alcune classi geologiche e in presenza di un ammasso omogeneo (Fonte SIA Ponte sullo stretto di Messina) .....	60
Tabella 8.2 – Spettri dell'accelerazione per alcuni mezzi e macchinari di cantiere in mm/s <sup>2</sup> (distanza di misura 10 metri).....	61
Tabella 8.3 – Spettro del livello vibrazionale afferente alla componente verticale relativo ad un martello demolitore idraulico (misura a distanza di 5 metri dalla sorgente) .....	62
<i>Tabella 8.4 – Attività di cantiere e principali macchine operatrici utilizzate.....</i>	<i>63</i>
Tabella 8.5 –Limiti di riferimento per la massima accelerazione ponderata della sorgente .....	64
Tabella 8.6 – Distanze di conformità dei livelli vibrazionali originati dalle lavorazioni di cantiere rispetto al criterio di disturbo alle persone di cui alla UNI 9614:2017 .....	64
<b>Tabella 8.7 – Distanze di conformità dei livelli vibrazionali rispetto al criterio di disturbo alle persone di cui alla UNI 9614.....</b>	<b>68</b>

## 1 PREMESSA

Il presente documento rappresenta l'Analisi degli impatti da vibrazioni in fase di cantiere, dismissione ed esercizio di un parco eolico con una potenza installata pari a 130,2 MW, sito nei comuni di Escalaplano ed Esterzili, entrambi amministrativamente appartenenti alla Provincia del Sud Sardegna.

Il presente documento aggiorna e sostituisce il precedente in recepimento alle osservazioni ricevute in sede istruttoria, le integrazioni/modifiche introdotte nel testo sono evidenziate in giallo.

Il progetto proposto prevede l'installazione di n.14 turbine all'interno del Comune di Escalaplano e n.7 turbine all'interno del Comune di Esterzili, della potenza nominale di 6,2 MW, aventi altezza al mozzo pari a 125m e diametro rotore pari a 162m.

La realizzazione di tale parco eolico, come ogni cantiere adibito alla realizzazione di infrastrutture edili, comporta l'esecuzione di lavorazioni che possono determinare l'insorgenza di vibrazioni nel sottosuolo.

Il fenomeno vibratorio generato dall'installazione delle pale eoliche, attraverso note dinamiche di propagazione nel terreno, può essere avvertito negli edifici situati in prossimità della zona.

In generale, il verificarsi di danni strutturali agli edifici è difficilmente imputabile al mero fenomeno vibratorio e quando tali danni vengono evidenziati, quasi sempre, sono derivanti dal concorso di altre cause. Affinché le vibrazioni possano arrecare danni strutturali è necessario, in ogni caso, che esse raggiungano livelli tali da causare fastidio e disturbo agli occupanti.

A differenza del rumore ambientale, regolamentato a livello nazionale dalla Legge Quadro n.447/1995 (e s.m.i.), non esiste al momento alcuna legge quadro che stabilisca limiti nazionali per l'esposizione alle vibrazioni. Esistono invece numerose norme tecniche che costituiscono un utile riferimento per la valutazione del disturbo e del danno in edifici interessati da fenomeni vibrazionali.

In assenza di una normativa specifica che disciplini la materia, per le finalità di analisi degli effetti ambientali concernenti la propagazione di vibrazioni relativamente al progetto in esame, come si avrà modo di approfondire in seguito, i principali riferimenti sono rappresentati dalle seguenti norme tecniche emanate dall'UNI, entrambe emanazione della norma tecnica ISO 2631-2:

- UNI 9614:2017 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo";
- UNI 9916:2014 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici".

Il presente documento va ad analizzare le dinamiche di propagazione delle vibrazioni in prossimità delle aree di cantiere e delle pale, provvedendo ad una stima dell'entità delle stesse e, in definitiva, ad una verifica dell'accettabilità degli effetti attesi sugli occupanti e sui fabbricati, avendo riguardo delle soglie di riferimento indicate nelle richiamate norme tecniche.

Peraltro, come espressamente riconosciuto dalla UNI 9614 (Appendice C), una qualunque definizione di limiti di riferimento per le attività costruttive che comportino emissione di vibrazioni è un'operazione molto complessa e, comunque, discutibile, potendo costituire una penalità sul risultato finale del lavoro: la presente relazione viene, quindi, redatta tenendo primariamente conto della transitorietà e discontinuità del fenomeno vibratorio associato all'operatività dei cantieri edili.

## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

### 2.1 Premessa

Il concetto di “disturbo” è, come noto, un argomento piuttosto delicato in quanto coinvolge diverse caratteristiche dell’essere umano (corpo e psiche), investendo, inoltre, questioni tecniche, normative e giuridiche.

Per gli aspetti strettamente acustici la scienza e la tecnica hanno avuto modo di svilupparsi da lungo tempo (dalla fine della seconda guerra mondiale, in particolare) e hanno dato luogo a una vasta e articolata gamma di conoscenze, norme e leggi, accompagnate dallo sviluppo di una sensibilità tecnica specifica. Per il disturbo indotto dalle vibrazioni gli studi medico-ingegneristici, anch’essi di lunga data, non hanno avuto un’evoluzione altrettanto efficace ai fini della prevenzione del disturbo alle persone: le norme tecniche sono limitate, spesso datate e, almeno in Italia, prive di riscontro e trasposizione giuridica.

Fino all’anno 2007 la regolamentazione era quasi esclusivamente di natura tecnica. Dal 2007, anno del decreto che introdusse concetti e obblighi sul rischio indotto al corpo umano (dei lavoratori) dalle vibrazioni, si è assistito a un notevole sviluppo per quanto concerne la valutazione del possibile danno fisiologico, determinato dall’esposizione a livelli di vibrazioni elevati e/o di lunga durata.

Per gli aspetti di disturbo (che in genere sono legati non tanto al possibile danno fisiologico, al corpo umano, quanto al danno di natura psicologica che il disturbo determina) tutto è rimasto fermo all’anno 2003. Verso la fine degli anni ’70, infatti, la ISO, con la sua norma 2631 aveva introdotto per la prima volta il concetto di “disturbo” da vibrazioni, inquadrando tecniche di misura, ponderazioni in frequenza e valori limite.

La norma internazionale ha per anni costituito l’unico riferimento tecnico per la valutazione dell’effetto delle vibrazioni sull’uomo. A metà degli anni 80 tale norma si è ramificata con sezioni sempre più specifiche. Per l’esposizione alle vibrazioni all’interno degli edifici nel 1989 è stata sviluppata una parte ad hoc (la ISO 2631-2 “*Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2: Determination of sound pressure levels*”). La ISO 2631-2 aveva una sua autonomia scientifica ed era completa, contenendo tutte le indicazioni per una valutazione esauriente: curve di ponderazione (espresse in via diretta oppure implicita attraverso la formulazione dei limiti in frequenza), modalità di misura, limiti di disturbo (“*annoyance*”, nella versione inglese).

La ISO 2631 ha avuto in Italia due trasposizioni di rilievo tecnico e regolamentare: la prima, in ambito normativo, deve riferirsi all'emanazione della UNI 9614:1990. La norma UNI presenta se stessa (con un inusuale punto "Chiarimenti") come una sorta di "traduzione ragionata" della ISO 2631-2, della quale adotta principi e metodologie ma della quale si propone come "chiarificazione", semplificazione e, in qualche misura, "italianizzazione". Aggiunge anche una sezione sulle vibrazioni di origine ferroviaria. Un'ulteriore derivazione della ISO 2631-2 è stato un capitolo del regolamento di igiene della Regione Lombardia che imponeva i limiti della ISO 2631-2 come criterio di igienicità (e quindi di abitabilità) degli edifici.

Nel 2003 la ISO 2631-2 ha subito una rivoluzione soprattutto per questi aspetti:

- i metodi di misura e di ponderazione sono stati rivisti drasticamente, anche in virtù dell'introduzione massiccia dei sistemi digitali per l'acquisizione e per l'elaborazione dei dati;
- sono stati eliminati i limiti di riferimento per il disturbo. Sotto questo aspetto la norma affronta il problema come se fosse all'anno zero, dichiarandosi come norma puramente tecnica, utile e necessaria per un protocollo di misura comune fra tutti gli sperimentatori del mondo. Sulla base delle misure raccolte con i nuovi metodi proposti dalla norma potranno essere sviluppati e articolati indici, limiti e metodi di valutazione.

Si osserva di fatto la presa d'atto a livello internazionale che tutti i dati epidemiologici fino ad allora raccolti in questo ambito siano privi di rappresentatività.

A livello nazionale questo drastico cambio di indirizzo ha reso di fatto il panorama tecnico privo di riferimenti di sostanza e anche formali.

Alla luce di tali circostanze l'UNI ha intrapreso un cammino particolarmente lungo e oneroso volto a riscrivere una norma "di aggiornamento" che contenesse una valutazione sui possibili limiti massimi di vibrazioni. Valutazione da basare, evidentemente, sui criteri epidemiologici, ingegneristici e normative robuste.

Ne è nata una revisione (la UNI 9614:2017) che mutua dalla ISO 2631-2:2003 metodi di misura, ponderazione e valutazione dei parametri sintetici, oltre che la strumentazione di misura (conforme alla UNI EN ISO 8041-1:2017 "Risposta degli esseri umani alle vibrazioni - Strumenti di misurazione - Parte 1: Strumenti per la misura di vibrazioni per uso generale").

Per quanto attiene i limiti, la nuova UNI 9614 ha preso spunto da una serie di studi e norme (in particolare da una norma norvegese, la NS 8176E:2006).

La UNI 9614 inquadra in dettaglio le modalità di misura e indica i limiti di riferimento massimi, organizzandoli per diverse tipologie di utilizzo suddivise in ambienti a uso abitativo e altri ambienti particolari (scuole, ospedali e attività lavorative). In definitiva, la norma è orientata, per quanto riguarda i limiti di riferimento, al recettore del disturbo, senza fare riferimento alla tipologia di sorgente, né per l'origine (macchinari, infrastrutture di trasporto, ecc.) né per il tipo di sollecitazione che ne deriva (impulsività, parzialità, componenti tonali, ecc.) risultando in un'analisi univoca e, almeno nelle intenzioni, robusta.

## 2.2 Norma ISO2631-2

La norma tecnica ISO 2631-2 si applica a vibrazioni trasmesse da superfici solide lungo gli assi x, y e z per persone in piedi, sedute o coricate. Il campo di frequenze considerato è 1-80 Hz mentre il parametro di valutazione è rappresentato dal valore efficace dell'accelerazione  $a_{rms}$  (ossia la media quadratica - root mean square) così definito:

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt}$$

dove:

$a(t)$  = accelerazione in funzione del tempo

T = durata dell'integrazione nel tempo dell'accelerazione.

La norma definisce tre curve base per le accelerazioni e tre curve base per le velocità (in funzione delle frequenze di centro banda definite per terzi di ottava) che rappresentano le curve approssimate di uguale risposta in termini di disturbo, rispettivamente per le accelerazioni riferite all'asse Z, agli assi X,Y e alla combinazione dei tre assi di riferimento (Figura 2.1); i valori numerici delle curve base sono riportati in e Figura 2.2.

L'Annex A della ISO 2631-2, non facente parte integrante della norma, fornisce informazioni sui criteri di valutazione della risposta soggettiva alle vibrazioni. A tal fine sono riportati i fattori di moltiplicazione da applicare alle curve base delle accelerazioni e delle velocità al variare del periodo di riferimento (giorno e notte), del tipo di vibrazione (vibrazioni continue o intermittenti, vibrazioni transitorie) e del tipo di insediamento (ospedali, laboratori di precisione, residenze, uffici, industrie); i valori dei fattori di moltiplicazione sono indicati in Tabella 1.

Tabella 2.1 – Fattori numerici per le curve di ponderazione

Frequenza [Hz]	Accelerazione in $m/s^2 \cdot 10^{-3}$		
	Asse Z	Assi X-Y	Assi combinati
1	10.00	3.60	3.60
1.25	8.90	3.60	3.60
1.6	8.00	3.60	3.60
2	7.00	3.60	3.60
2.5	6.30	4.51	3.72
3.15	5.70	5.68	3.87
4	5.00	7.21	4.07
5	5.00	9.02	4.30
6.3	5.00	11.40	4.60
8	5.00	14.40	5.00
10	6.30	18.00	6.30
12.5	7.81	22.50	7.80
16	10.00	28.90	10.00
20	12.50	36.10	12.50
25	15.60	45.10	15.60
31.5	19.70	56.80	19.70
40	25.00	72.10	25.00
50	31.30	90.20	31.30
63	39.40	114.00	39.40
80	50.00	144.00	50.00

Figura 2.1 – Rappresentazione delle tre componenti in funzione della posizione del corpo

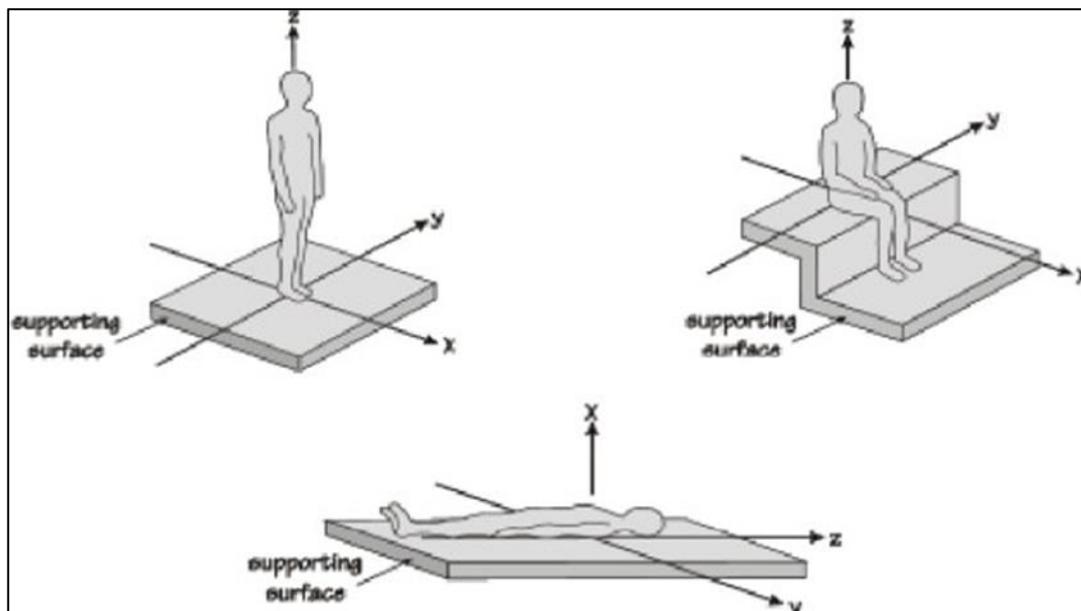


Figura 2.2 – Curve di ponderazione (ISO) per vibrazioni lungo gli assi verticali, orizzontali e per postura non nota nell'intervallo di frequenze 1-80 Hz

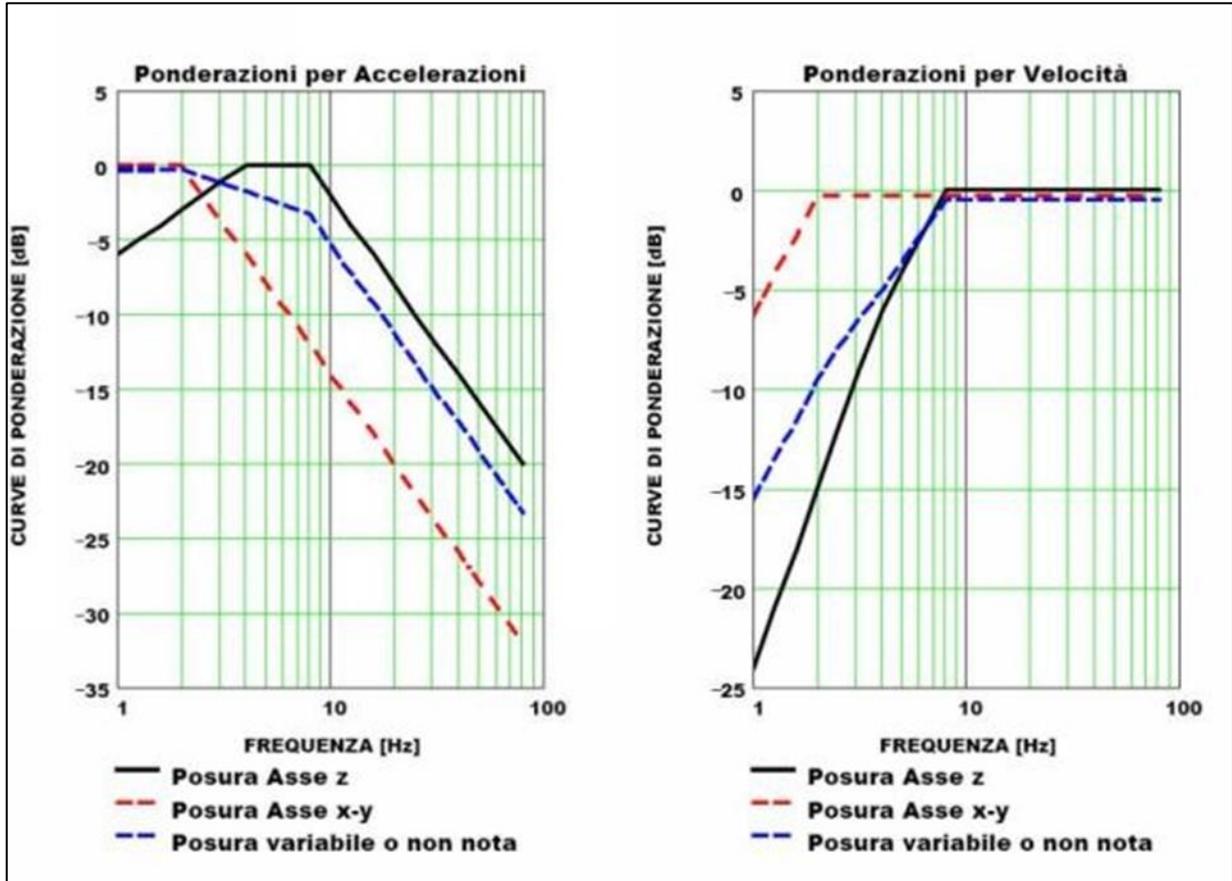


Tabella 2.2 – Fattori di moltiplicazione delle curve base (ISO 2631-2 Annex A)

Destinazione d'uso	Periodo	vibrazioni continue/intermittenti	vibrazioni transitorie
Luoghi di lavoro critici (camere operatorie, laboratori di precisione, teatri, ecc.)	Giorno	1	1
	Notte	1	1
Edifici residenziali	Giorno	2+4	30+90
	Notte	1.4	1.4+20
Uffici	Giorno	4	60+128
	Notte	4	60+128
Luoghi di lavoro	Giorno	8	90+128
	Notte	8	90+128

Le vibrazioni devono essere misurate nel punto di ingresso nel corpo umano e deve essere rilevato il valore di accelerazione r.m.s. perpendicolarmente alla superficie vibrante. Nel caso di edifici residenziali in cui non è facilmente definibile un asse specifico di vibrazione, in quanto lo stesso edificio può essere usato da persone in piedi o coricate in diverse ore del giorno, la norma presenta una curva limite che tiene conto delle condizioni più sfavorevoli combinate in tre assi.

### 2.3 Norma UNI 9614:2017

La norma UNI 9614 è sostanzialmente in accordo con la ISO 2631-2. Tuttavia, sebbene le modalità di misura siano le stesse, la valutazione del disturbo è effettuata sulla base del valore di accelerazione r.m.s. ponderato in frequenza, il quale è confrontato con una serie di valori limite dipendenti dal periodo di riferimento (giorno, dalle 6:00 alle 22:00, e notte, dalle 22:00 alle 6:00) e dalle destinazioni d'uso degli edifici. Generalmente, tra le due norme, la UNI 9614 si configura come più restrittiva.

Dato che gli effetti prodotti dalle vibrazioni sono differenti a seconda della frequenza delle accelerazioni, vanno impiegati dei filtri che ponderano le accelerazioni a seconda del loro effetto sul soggetto esposto. Tali filtri rendono tutte le componenti dello spettro equivalenti in termini di percezione e quindi di disturbo. I simboli dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza e del corrispondente livello sono rispettivamente,  $aW$  e  $LW$ . Quest'ultimo, espresso in dB, è definito come  $LW = 20 * \log_{10} (aW / 10^{-6} \text{ ms}^{-2})$ .

Le curve di ponderazione sono definite in funzione della direzione di trasmissione delle vibrazioni (X, Y e Z). Nel caso la postura del soggetto esposto non sia nota o vari nel tempo, va impiegato il filtro definito nel prospetto I della norma, ottenuto considerando per ogni banda il valore minimo tra i due filtri suddetti.

## 2.4 Norma UNI 9916:2014

La norma UNI 9916:2014 inquadra la problematica dei danni agli edifici derivanti dalle vibrazioni. La norma non ha valenza strutturale e ancor meno sismica e non riguarda la possibilità di danneggiamenti pericolosi per la stabilità degli edifici, ma ha ad oggetto i cosiddetti “danni di soglia” (detti anche danni “cosmetici”), che consistono tipicamente nella formazione di fessure, crepe, distacchi di intonaco e fenomeni affini.

Nonostante l'apparente, estrema, specificità della norma, la disciplina è in realtà assai vasta e interessa tanto edifici posti nelle vicinanze di sorgenti legate al traffico veicolare e ferroviario, quanto edifici prossimi ad aree di cantiere o attività industriali (macchinari in generale e, in particolare, presse, magli e similari) o anche da sorgenti interne agli edifici.

La fissazione di criteri generali e, quindi, di limiti che indichino la pericolosità delle sollecitazioni meccaniche rispetto alla formazione di danni di soglia è materia assai complessa: la stessa identica sollecitazione dà luogo a danni in edificio e non a un altro, in funzione della tipologia costruttiva, così come all'interno dello stesso edificio sollecitato a vibrazione i danni si manifestano in alcune zone e non in altre.

Addirittura il medesimo edificio, invecchiando (si pensi agli intonaci, per esempio) può cambiare il comportamento in risposta alle vibrazioni.

La stessa via di propagazione della sollecitazione meccanica dalla sorgente all'edificio oggetto di studio è spesso chiara solo se si considera in prima approssimazione, ma diventa ignota o non conoscibile se occorre individuare con esattezza la via meccanica attraverso la quale la sollecitazione si propaga: tra una ferrovia e un'abitazione si può ipotizzare a grandi linee questa via. Ma quando occorre stabilire se il responsabile della trasmissione è il terreno oppure, per esempio, condutture interrato, la cosa è ben più complessa.

Infine è sempre presente il dubbio se il danno visibile sia dovuto alle vibrazioni oppure a fenomeni d'altra natura, fra cui in primis l'assestamento statico. La necessità di normare un ambito così variegato, tuttavia, risiede nel fatto che il problema è molto diffuso e origina contenziosi significativi sotto gli aspetti tecnici ed economici.

In ambito italiano la normativa è stata piuttosto carente fino alla pubblicazione, nel 2004, della prima edizione della UNI 9916. La norma si rifaceva per la parte quantitativa a norme straniere (in particolare a quelle tedesche, inglesi e norvegesi), mentre per la parte metodologica e strumentale prevedeva una serie di prescrizioni e suggerimenti.

Dopo dieci anni di utilizzo della prima edizione, sono maturati i tempi per una revisione piuttosto approfondita.

In primo luogo l'edizione del 2014, partendo dalle considerazioni sopra espresse sulla peculiarità di ciascun caso, richiede allo sperimentatore uno sforzo e un approfondimento maggiore: indagini volte ad appurare il legame di causa ed effetto fra vibrazioni e danno visibile, che richiedono un'attenta valutazione di tipo strumentale. La valutazione non può e non deve essere effettuata sulla base di approcci semplicistici, ma dev'essere sviluppata attraverso metodologie di confronto spettrale fra più canali che rendano rigorose le conclusioni. Non di meno lo sperimentatore deve valutare criticamente i dati di misura, che non possono essere considerati brutalmente numeri da inserire in una tabella, ma, appunto, dati ingegneristici e scientifici che devono essere declinati caso per caso.

Sulla scorta dell'esperienza di un decennio la norma indica ora come preferenziale l'indicazione della norma tedesca DIN 4150-3, lasciando tuttavia al tecnico la possibilità di utilizzare norme più strettamente attinenti il suo caso. Per l'applicazione piuttosto complessa della DIN, la UNI 9916 contiene una chiara e dettagliata appendice informativa sul trattamento dei dati e dei segnali.

Sempre sulla base dei problemi che si sono manifestati nel passato, la nuova edizione indica con maggiore chiarezza e dettaglio il tipo di strumentazione da utilizzare per le misurazioni, aprendo alla strumentazione "moderna" quali gli accelerometri MEMS e le schede di acquisizione per computer, non dimenticando di dettagliare i metodi di calcolo e filtraggio per l'ottenimento della velocità (parametro utilizzato per la valutazione della potenzialità di danno) a partire dalla misurazione dell'accelerazione. Metodo, questo, che è di gran lunga il più diffuso grazie alla forte diffusione degli accelerometri piezoelettrici. Tutti gli aspetti metrologici (in primis la taratura) sono stati rivisti e talora inseriti ex novo in maniera che le valutazioni possano essere inquadrare correttamente e uniformemente.

Con questa revisione, oltre a un'incrementata efficacia, la Commissione UNI ha inteso fissare basi comuni fra diversi sperimentatori in maniera che nel futuro possano essere focalizzati ancora meglio aspetti a oggi poco conosciuti, attraverso l'uso di misurazioni accurate e adeguate.

## 2.5 Grandezze di riferimento e limiti applicabili al caso specifico

### 2.5.1 Grandezze di riferimento e limiti applicabili al caso specifico

In accordo con la norma UNI 9614, la valutazione del disturbo generato da una sorgente deve essere effettuata confrontando il parametro descrittore della vibrazione della sorgente con i limiti di riferimento indicati in Tabella 3.

I limiti possono esprimersi in base al livello di accelerazione in dB, espresso come:

$$L = 20 \cdot \text{Log}_{10} \frac{a}{a_0}$$

dove “a0” è il valore dell’accelerazione di riferimento, pari a 10<sup>-6</sup> m/s<sup>2</sup> (normativa ISO 1683).

Gli spettri di vibrazione, nel campo delle frequenze da 1 a 80 Hz, vengono rappresentati per terzi di ottava, con valori centrali di ottava indicati in Tabella 3

Tabella 2.3 – Rappresentazione del campo di frequenza 1-80 Hz per terzi di ottava

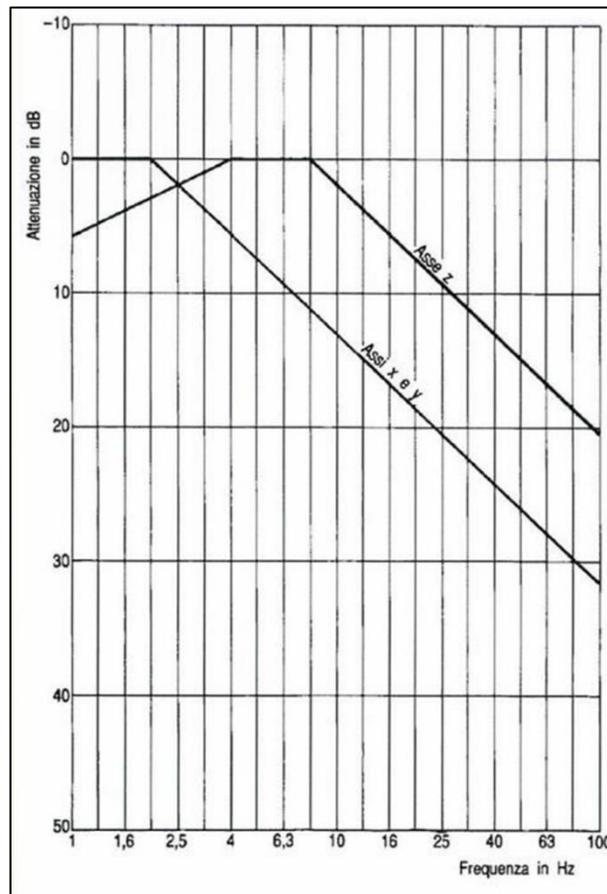
Numero di bandadi frequenza	Frequenza centrale[Hz]	Numero di bandadi frequenza	Frequenza centrale[Hz]
0	1	10	10
1	1.25	11	12.5
2	1.6	12	16
3	2	13	20
4	2.5	14	25
5	3.15	15	31.5
6	4	16	40
7	5	17	50
8	6.3	18	63
9	8	19	80

Il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza LW è dato dalla seguente relazione:

$$L_W = 10 \cdot \text{Log}_{10} \sum_1 10^{\frac{L_{iW}}{10}}$$

Dove LiW sono i livelli di vibrazione calcolati per terzi di ottava, ponderati in frequenza secondo il filtro indicato in Figura 2.3. Le curve rappresentano le curve approssimate di uguale risposta in termini di disturbo, rispettivamente per le accelerazioni riferite all'asse Z, agli assi X , Y.

Figura 2.3 – Curve di ponderazione norma UNI 9614:2017



I limiti di riferimento per la massima accelerazione ponderata della sorgente sono indicati in Tabella 4.

Tabella 2.4 – Limiti di riferimento per la massima accelerazione ponderata della sorgente

Luogo	AW [m/s <sup>2</sup> ]	LW [dB]
Ospedali	2,00E-03	66
Asili e case di riposo	3,60E-03	71
Abitazioni (notte)	5,00E-03	74
Abitazioni (giorno)	7,20E-03	77
Abitazioni (festivi)	5,40E-03	75
Scuole	5,40E-03	75
Uffici	1,44E-02	83
Fabbriche	2,88E-02	89

Quando i valori o i livelli delle vibrazioni riscontrate superano i limiti indicati, le vibrazioni possono essere considerate oggettivamente disturbanti per il soggetto esposto.

Si sottolinea come i limiti sopra indicati, definiti per la limitazione del disturbo sulla persona, siano generalmente più restrittivi di quelli relativi al danneggiamento degli edifici (ISO 4866 e UNI 9916).

**Pertanto, è lecito assumere che, laddove i livelli di vibrazione riscontrati non superino significativamente le soglie stabilite per il disturbo sugli individui, non siano prevedibili effetti di danneggiamento, ancorché minimi, agli edifici.**

#### 2.5.2 Danni architettonici

Ai fini della valutazione della possibilità di danno architettonico la norma UNI 9916 raccomanda di fare riferimento alla DIN 4150 parte 3, trattata nell'Appendice D della predetta norma UNI.

In considerazione della grande variabilità delle situazioni che possono presentarsi per quanto riguarda la tipologia strutturale dell'edificio e le caratteristiche della sorgente, peraltro, la norma UNI ammette che possano essere utilizzate in alternativa alla DIN 4150-3 anche altre norme purché venga adeguatamente documentata e motivata la loro adozione.

Relativamente alle vibrazioni di breve durata, riferibili a quelle dove siano da escludere problemi di fatica e amplificazioni dovute a risonanza nella struttura interessata.

I limiti contenuti nella Appendice D della UNI 9916 sono riportati nella Tabella seguente:

Tabella 2.5 – Valori di riferimento per la velocità di vibrazione al fine di valutare l'azione delle vibrazioni di breve durata sulle costruzioni (Appendice D – Prospetto D.1 Norma UNI 9916:2004)

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.

### 3 FENOMENI DI PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI NEL TERRENO: CENNI TEORICI E APPLICATIVI

#### 3.1 Fenomeni vibratorii

Un'onda di vibrazione meccanica è semplicemente uno spostamento elastico del materiale attorno ad una posizione di equilibrio che, se questo è omogeneo ed isotropo, si propaga nel mezzo sotto forma di onde sferiche.

Durante la propagazione della perturbazione ondulatoria, le tensioni indotte nel mezzo dalle vibrazioni sono di livello molto basso e di brevissima durata. Ciò rende trascurabili sia i comportamenti non lineari del mezzo sia i fenomeni viscosi.

Le costanti elastiche che entrano in gioco in un processo di vibrazione, pertanto, si riferiscono a determinazioni effettuate in tali condizioni e vengono definite dinamiche per differenziarle dai valori determinati in condizioni statiche o quasi statiche, in cui invece i comportamenti non lineari e i fenomeni viscosi possono avere una notevole influenza.

Le costanti elastiche dinamiche sopra menzionate sono legate tra loro dalle seguenti relazioni:

$$E = \frac{\mu(3\lambda + 2\mu)}{(\lambda + \mu)} \quad ; \quad v = \frac{\lambda}{2(\lambda + \mu)} \quad ; \quad K = \frac{3\lambda + 2\mu}{3}$$

dove:

E = modulo di Young;

$\mu$  = modulo di taglio;

$\lambda$  = costante di Lamé;

$\nu$  = coefficiente di Poisson;

K = modulo di Bulk.

Come detto, tutto quanto espresso precedentemente è valido per mezzi isotropici.

Le costanti elastiche sono definite in maniera tale da risultare dei numeri positivi. Come si può notare dalle relazioni sopra riportate il coefficiente di Poisson dovrà assumere valori compresi tra 0 e 0.5.

Una analisi esaustiva dei fenomeni vibratorii implica l'acquisizione di informazioni sulla ampiezza e frequenza del segnale nonché sulla variazione di tali parametri in funzione del tempo.

Un segnale di vibrazione può essere scomposto in componenti armoniche attraverso analisi di Fourier, consentendo la determinazione di parametri caratteristici del fenomeno: ampiezza dell'oscillazione (*peak particle displacement*), *velocità di spostamento* (*peak particle velocity*), accelerazione e frequenza.

### 3.2 Le onde elastiche

Le perturbazioni elastiche derivano dall'energia di deformazione propagantesi da una sorgente. Le onde propagantisì all'interno di un corpo elastico sono di tre tipi.

Le onde di compressione, note come onde longitudinali, primarie o onde P, si propagano attraverso una deformazione di compressione o dilatazione lungo la direzione di propagazione della perturbazione. In pratica, il moto associato al passaggio di un'onda di compressione è caratterizzato da un'oscillazione lungo la direzione di propagazione attorno ad un punto fisso.

Le onde di taglio (onde trasversali, secondarie o onde S) si propagano attraverso deformazioni ortogonali rispetto alla direzione di propagazione dell'onda. Nel caso in cui tutte le direzioni di oscillazione appartengano allo stesso piano, l'onda trasversale è detta piana.

Il principale tipo di onda elastica che si genera nell'ambito dei lavori di costruzione (onde di superficie o di Rayleigh) sono contraddistinte da un moto delle particelle secondo un'ellisse retrograda perpendicolare al terreno e con ampiezza che decresce esponenzialmente con la profondità.

Le onde di Love (L): vengono generate solo in un mezzo in cui la velocità delle onde S varia (in genere aumenta) con la profondità. Il moto della particella al loro passaggio è trasversale alla direzione di propagazione e confinato in un piano orizzontale; pertanto può venire registrata solo dalle componenti orizzontali dei sismometri. La loro velocità varia tra la velocità delle onde S associata allo strato più lento a quella associata allo strato più veloce

In generale la velocità di propagazione di un'onda elastica nel materiale può essere espressa nella seguente forma:

$$v = \left[ \frac{\text{modulo elastico del materiale}}{\text{densità del materiale}} \right]^{1/2}$$

In particolare la velocità  $v_p$  di un'onda di compressione è data da

$$v_p = \left[ \frac{\psi}{\rho} \right]^{1/2}$$

o, essendo  $\psi = K + 4/3\mu$ , da:

$$v_p = \left[ \frac{K + 4/3\mu}{\rho} \right]^{1/2}$$

La velocità delle onde trasversali è esprimibile come segue:

$$v_s = \left[ \frac{\mu}{\rho} \right]^{1/2}$$

Dalle equazioni sopra riportate si può notare che, nello stesso mezzo, le onde di compressione si propagano più rapidamente delle onde di taglio. Il rapporto  $V_p/V_s$  in qualunque materiale è, inoltre, determinato dal valore del coefficiente di Poisson ( $\nu$ ), come si evince dalla seguente equazione:

$$v_p / v_s = \left[ \frac{2(1-\nu)}{1-2\nu} \right]^{1/2}$$

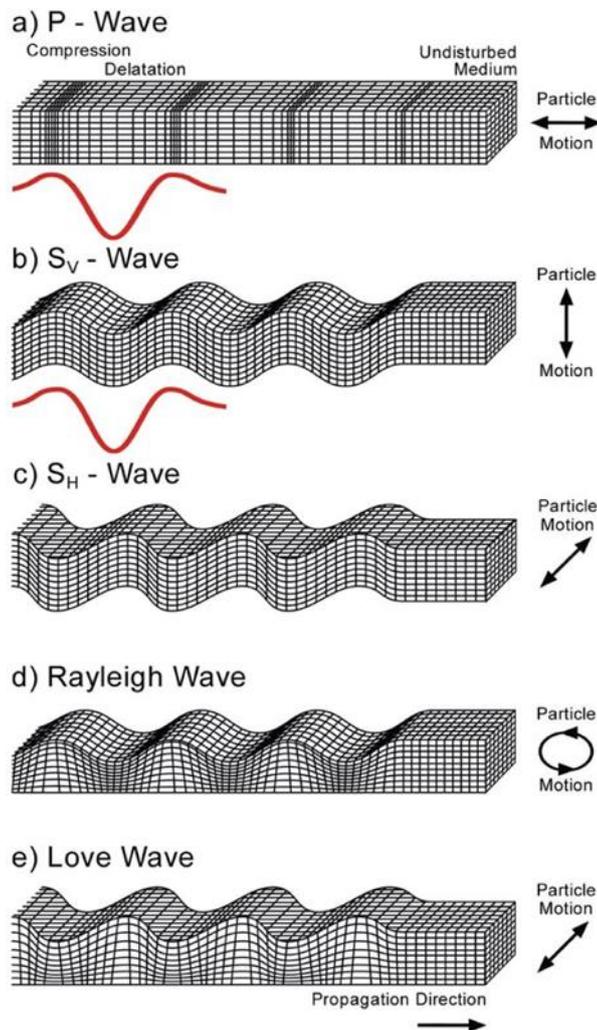
Poiché generalmente il coefficiente di Poisson vale 0.25, si ha che  $v_p \approx 1.7v_s$ .

La velocità delle onde di Rayleigh ( $V_R$ ) è legata alla velocità delle onde di taglio ( $V_S$ ) dalla seguente relazione:

$$V_R = K \cdot V_S$$

Dove K è funzione del coefficiente di Poisson (Richart et al, 1970) ed è simile, ma leggermente inferiore, alla velocità delle onde di taglio.

Tabella 3.1 – Caratteristiche delle onde sismiche



### 3.3 Magnitudo della vibrazione

Un'onda di vibrazione è comunemente descritta in termini di velocità di oscillazione delle particelle del mezzo elastico attraversato, ciò in ragione della circostanza che i danni agli edifici hanno mostrato una buona correlazione con questo parametro (New, 1986).

Inoltre, la sensibilità umana rispetto alle vibrazioni si è rivelata pressoché costante nel range di frequenza da 8Hz÷80Hz (BSI, 1992a), comprendente l'intervallo di frequenze più comunemente incontrate nell'ambito di misure eseguite in corrispondenza di cantieri edili.

La misura della velocità di oscillazione (ppv) è agevolmente misurabile attraverso trasduttori piezoelettrici. In letteratura tale parametro è stato quantificato in quattro differenti modi, essendo lo stesso riferibile a:

- la componente verticale (quantunque la stessa possa non essere quella più grande);
- quella maggiore delle tre componenti fra loro perpendicolari (x, y, z);
- la risultante effettiva, quale massima oscillazione della somma vettoriale delle tre componenti del segnale;
- la media quadratica delle tre componenti (square root of the sum of squares - SRSS), rappresentativa della somma vettoriale del valore massimo assunto da ciascuna componente, indipendentemente dalla sua variazione nel tempo (pseudo resultant).

La pseudo risultante è per definizione il valore massimo che può essere determinato e generalmente sovrastima la risultante effettiva (tipicamente maggiore del 20% - Hiller e Hope, 1998).

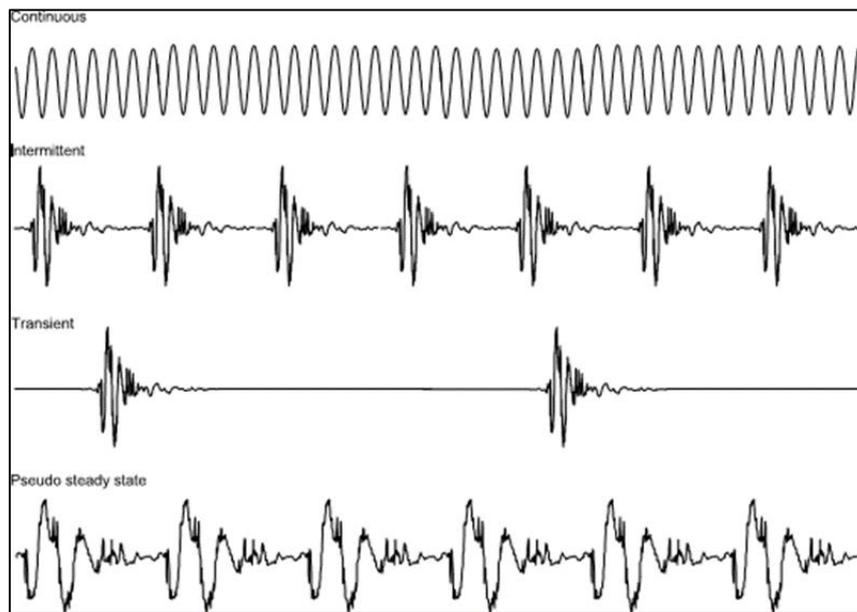
### 3.4 Valutazione temporale della vibrazione

Oltre alla magnitudo e frequenza della vibrazione, il potenziale danno o disturbo relativo dipende dalla natura e durata della vibrazione. Le vibrazioni nel terreno possono classificarsi come segue:

- Vibrazioni continue: variazioni cicliche in ampiezza che si ripetono nel tempo;
- Transienti di vibrazione: variazioni cicliche in ampiezza che raggiungono un picco per poi decrescere fino ad annullarsi;
- Vibrazioni intermittenti: sequenze di transienti di vibrazione con distanza temporale reciproca tale da determinare, per ciascun evento, un decadimento dell'ampiezza fino a valori trascurabili

- Vibrazioni pseudo-stazionarie: sequenze di transienti di vibrazione con distanza temporale reciproca sufficientemente ravvicinata tale che la “coda” di ogni evento si sovrapponga l’arrivo dell’evento successivo.

Tabella 3.2 – Variazioni temporali delle vibrazioni



In generale, le vibrazioni continue hanno probabilità maggiore di generare danni negli edifici o essere disturbanti per gli occupanti rispetto alle vibrazioni intermittenti.

### 3.5 Attenuazione dell’energia vibrazionale

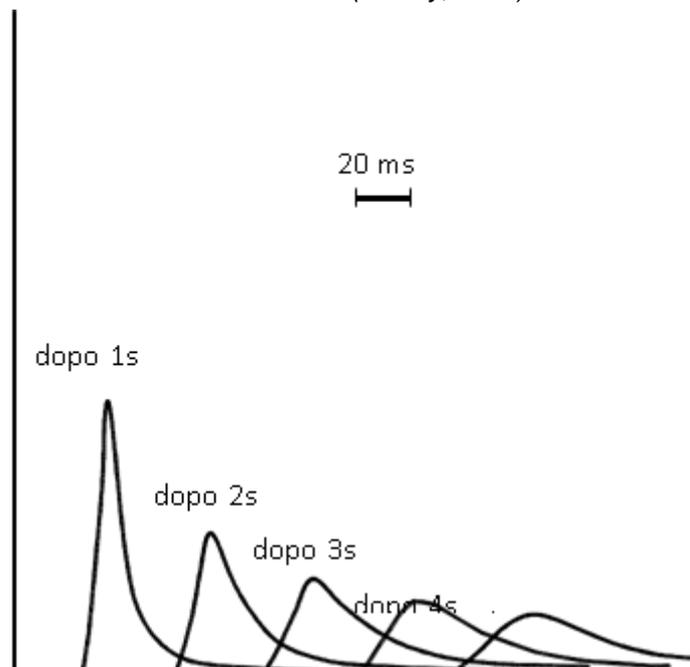
L’attenuazione descrive il fenomeno di decadimento energetico della vibrazione durante la sua propagazione. Tale processo è conseguenza di due principali fattori: il decadimento geometrico e quello attribuibile alle caratteristiche del mezzo attraversato

In un mezzo perfettamente elastico l’attenuazione energetica è di natura puramente geometrica ed è determinata dall’incremento progressivo della superficie investita dal moto ondulatorio (per le onde P ed S) o della lunghezza del percorso attraversato (per le onde superficiali). Per quanto precede, l’energia decade secondo  $1/r^2$  per le onde “di corpo” o “di volume” (body waves) e secondo  $1/r$  per le onde di superficie, dove “r” è la distanza dalla sorgente. Conseguentemente la velocità della particella si attenua secondo  $1/r$  e  $1/r^{0.5}$  per le onde di volume e di superficie rispettivamente. L’attenuazione geometrica è indipendente dalle proprietà del mezzo di propagazione.

Miller e Pursey (1955) dimostrarono che, approssimativamente, due terzi dell'energia sismica irradiata da una sorgente posizionata sulla superficie del terreno deve attribuirsi alle onde di Rayleigh. Tale circostanza, unita alla minore entità dell'attenuazione geometrica rispetto alle onde di volume, indica che le onde di Rayleigh siano le più significative nell'ambito dei fenomeni vibrazionali associati al settore dei lavori di costruzione.

Un'ulteriore causa della perdita di energia lungo il percorso di una vibrazione deriva dal comportamento non perfettamente elastico del mezzo attraversato. L'energia elastica, infatti, decresce all'interno del materiale a causa di fenomeni dissipativi (perdite energetiche per frizione o per fenomeni di riflessione/rifrazione all'interfaccia tra due mezzi con diverso comportamento elastico) che possono portare alla progressiva scomparsa del segnale. Il coefficiente di attenuazione esprime la perdita di energia lungo una distanza equivalente alla lunghezza d'onda del segnale.

Figura 3.1 – Progressiva variazione della forma d'onda durante la propagazione a causa dell'effetto di attenuazione (Anstey, 1977)



## 4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area nella quale verrà realizzato il progetto è situata nella provincia del Sud Sardegna, precisamente nei territori comunali di Escalaplano e Esterzili. Il sito oggetto di intervento si trova:

- a circa 4 km a nord est dalla città di Escalaplano;
- a circa 4 km a ovest della Città di Perdasdefogu;
- a circa 6 km a sud da Esterzili;
- a circa 6 km a est di Orroli e Nurri.

L'impianto assume una direzione prevalente NW-SE, per uno sviluppo longitudinale indicativo di quasi 10 km.

La morfologia e le condizioni di copertura del suolo del vasto settore in esame sono profondamente influenzate dalle caratteristiche delle litologie affioranti, dai fenomeni tettonici e dalle dinamiche erosive dei principali corsi d'acqua. In particolare, l'ambito d'intervento appare contraddistinto da parti sommitali di versanti, aree di cresta con scarsa copertura vegetale, talora contraddistinte dalla presenza di rimboschimenti da macchia mediterranea.

Dal punto di vista delle condizioni di utilizzo, l'intero territorio di interesse appare segnato dal perpetuarsi delle pratiche agro-pastorali, alla base di un generale impoverimento della copertura vegetale, oggi diffusamente dominata dalla presenza pascoli, garighe e impianti artificiali.

L'area deputata all'installazione dell'impianto eolico in oggetto risulta essere adatta allo scopo presentando una buona esposizione ed una buona accessibilità, attraverso le vie di comunicazione esistenti.

La rete stradale che interessa l'area di impianto è costituita da:

- SP153 “Strada Provinciale n.53 Esterzili-Escalaplano” la quale costeggia verso ovest l'interno parco eolico;
- SP13 “Strada Statale Escalaplano-Jerzu”;
- altre strade locali.

*Figura 4.1 – Documentazione fotografica dell'area di progetto*



Di seguito si riporta documentazione cartografica degli aerogeneratori di progetto nei territori comunali di Esterzili ed Escalaplano con base cartografica CTR e satellitare.

Figura 4.2 – Stralcio cartografico aerogeneratori di progetto – Comune di Esterzili

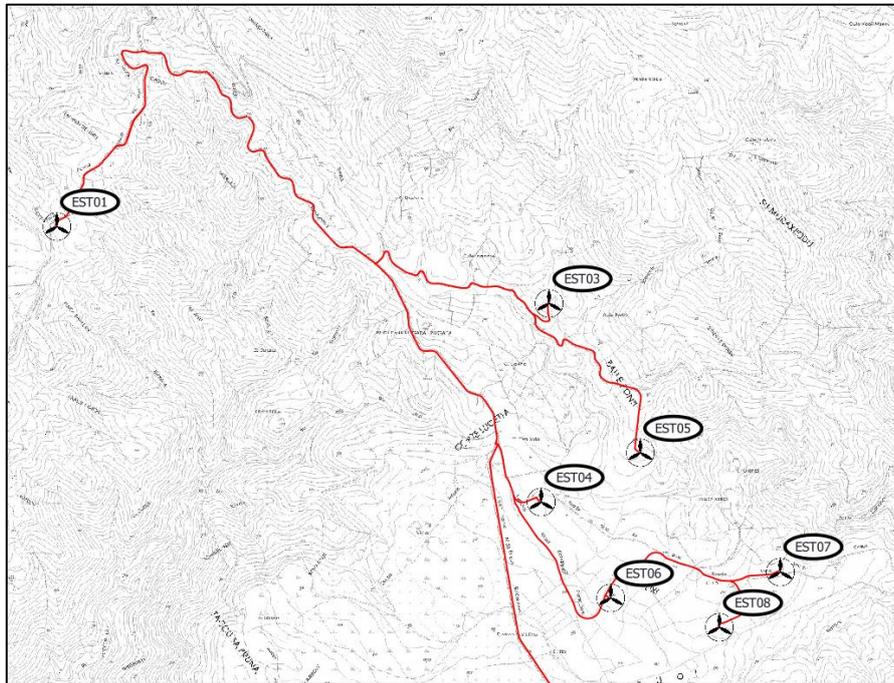


Figura 4.3 – Stralcio cartografico aerogeneratori di progetto – Comune di Escalaplano

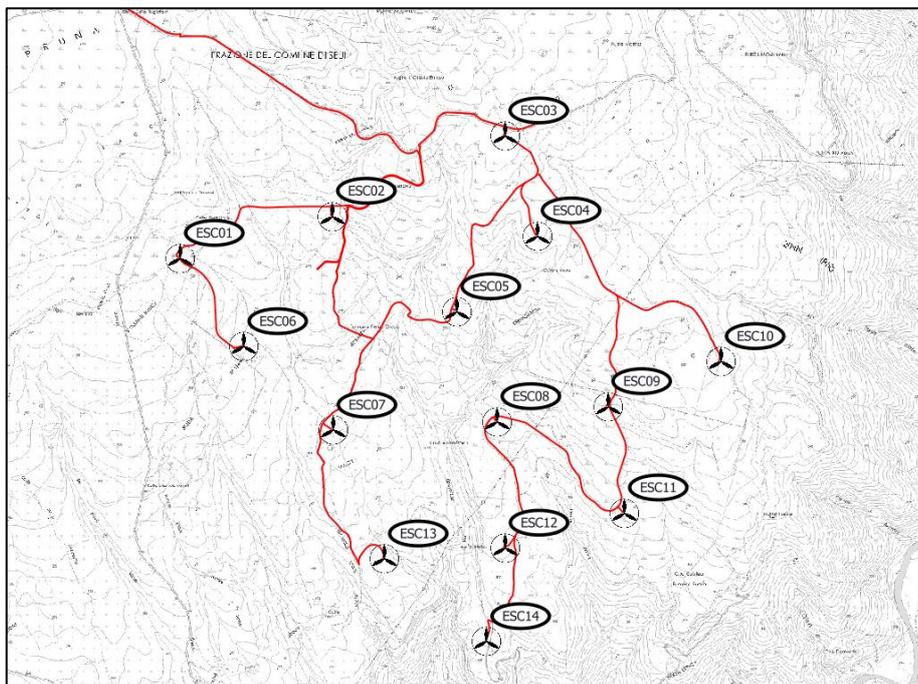


Figura 4.4 – Stralcio cartografico degli aerogeneratori di progetto su base satellitare – Comune di Esterzili

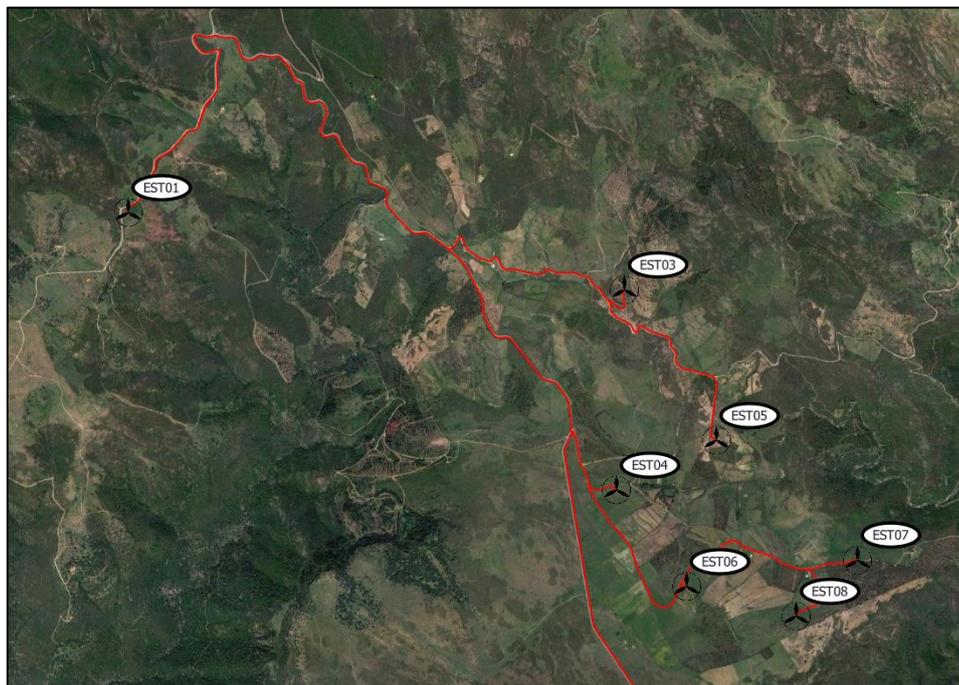
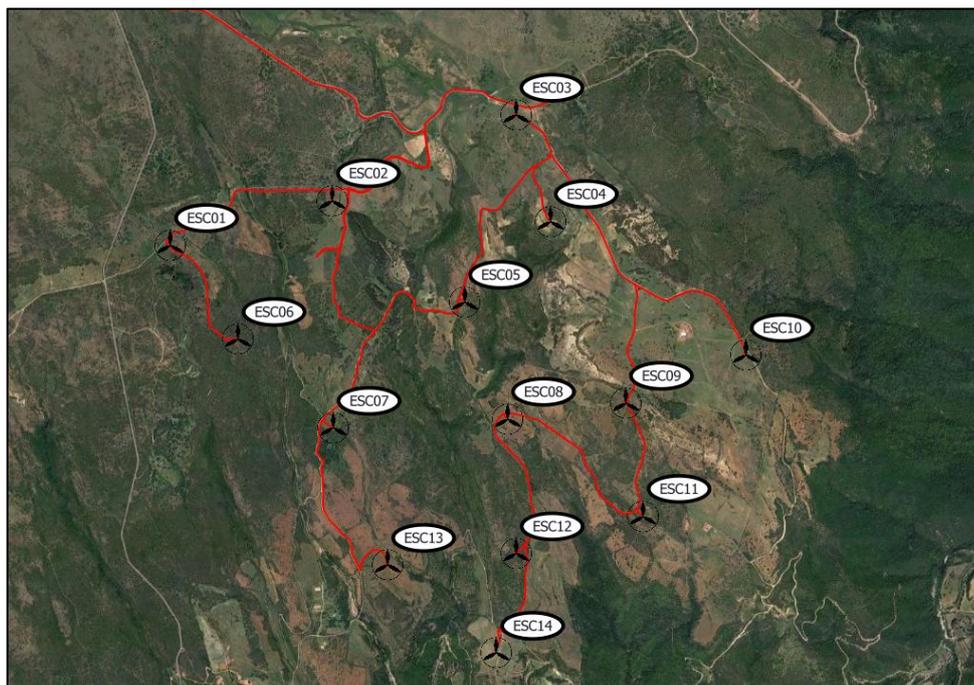


Figura 4.5 – Stralcio cartografico degli aerogeneratori di progetto su base satellitare – Comune di Escalaplano



## 5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

### 5.1 Modello Geologico Generale

La situazione geologica locale è stata determinata tramite documentazione tecnica e la cartografia disponibile.

Il substrato geologico del territorio di interesse è rappresentato da formazioni litoidi costituenti il basamento paleozoico della Sardegna. In particolare esso fa parte del Complesso Metamorfico di Basso e Medio Grado della Sardegna centro e sud-orientale. Nei territori interessati dal progetto affiorano estesamente formazioni del Paleozoico inferiore, deformate e metamorfosate durante l'orogenesi ercinica, rocce intrusive del Paleozoico superiore e successioni sedimentarie e vulcaniche, non metamorfiche, permiane, triassiche, giurassiche, eoceniche, oligo-mioceniche e quaternarie.

### 5.2 Modello geologico di dettaglio

In riferimento alla carta geologica d'Italia, le litologie affioranti nel settore in cui verranno realizzati gli aerogeneratori, sono riportate di seguito:

- MVSa - Unità Tettonica i Meana Sardo;
- b2 - Sedimenti Legati a Gravità;
- GNS - Successione sedimentaria Mesozoica successione sedimentaria Mesozoica;
- DOR - Successione sedimentaria Mesozoica della Sardegna Centro-Orientale;
- USS - Successione sedimentaria Oligo-Miocenica del Campidano-Sulcis

### 5.2.1 Descrizione del tipo di unità

**MVSa** - E' costituita da metaepiclastiti derivate da vulcaniti a chimismo acido o intermedio, rare metarenarie feldspatiche e metaconglomerati. Ordoviciano medio.

**b2** – Nell'area del Comune di Esterzili si rileva la presenza di Coltri eluvio- colluviali. Trattasi di detriti immersi in una matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. Trattasi di sedimenti legati alla Gravita (b2) di età OLOCENICA.

L'ubicazione planimetrica delle opere di progetto sovrapposte alla carta geologica (Tavola 1) ha permesso di definire il substrato geologico che interessa le singole opere.

**GNS** - Nell'area rilevata questa unità affiora sempre alla base della cornice carbonatica giurassica. Buone esposizioni esistono a nord di Escalaplano (M. sa Colla, Is Furreddus), dove dal basso verso l'alto si succedono:

- Conglomerati monogenici quarzosi, con intercalazioni di quarzareniti biancastre e argille bianche o grigio-chiare caoliniche, con clasti ben arrotondati di litotipi del basamento resistenti all'erosione (quarzo, "porfidi", quarziti); frequenti sono le strutture sedimentarie quali gradazioni, laminazioni incrociate e parallele;
- Argille da grigio-scuro a grige, biancastre, con subordinate intercalazioni di conglomerati monogenici quarzosi e frammenti, localmente abbondanti, di lignite nera picea, con la caratteristica fratturazione concoide;
- Argilliti e siltiti da grigio-scure a grigio-marroncine, a nere, con abbondanti resti vegetali e pirite, questa formazione ha spessori variabili da pochi metri fino a 30-40 m.

Talvolta alla base del conglomerato affiorano paleosuoli ricchi in ossidi e idrossidi di ferro (il cosiddetto "Ferro dei Tacchi" Auct.), derivati da una lunga evoluzione pedogenetica di tipo lateritico in clima caldo-umido. In base alle paleoflore l'unità è attribuita dalla maggior parte degli autori al Bajociano, Dogger.

**DOR** - Questa formazione, ben rappresentata in tutto il territorio di Jerzu e Perdasdefogu, dove presenta costantemente una giacitura da suborizzontale a debolmente inclinata (2%-5%) e costituisce una serie di piccoli altopiani tabulari, noti col nome locale di “Tacchi” o “Tonnèri”. Ad Escalaplano la formazione presenta una inclinazione più marcata, intorno al 10%. Nella parte basale è costituita da calcari marnosi e marne da giallastri a grigi, con locali intercalazioni arenacee e siltitico-argillitiche grigio-verdastre. Seguono dolomie e calcari dolomitici di colore da nocciola a violacei a rossastri, fossiliferi (gasteropodi, ostracodi, lamellibranchi, brachiopodi), in banchi da decimetrici a metrici. La formazione ricopre in concordanza la Formazione di Genna Selole. Il limite superiore dell’unità è sempre erosivo. Lo spessore massimo affiorante è di 60 m. L’ambiente deposizionale è di piattaforma neritica. Dogger - Malm.

**USS** - Si tratta di conglomerati eterometrici poligenici, prevalentemente clasto- sostenuti, con clasti elaborati di calcari mesozoici ed eocenici ed arenarie eoceniche, con scarsa matrice sabbiosa, più raramente argillosa, e buon grado di compattazione. Nell’area del Foglio raggiunge lo spessore massimo di 20-25 m presso Corte Lugetta (Tacco di Escalaplano). Sono depositi di ambiente fluviale. Oligocene superiore - Miocene inferiore.

### 5.3 Assetto litostratigrafico locale

La geologia sopra descritta si traduce nella presenza delle litologie indicate. Quest’ultima è desunta con riferimento alla carta litologica presente sul Geoportale della Sardegna ed illustra le litologie affioranti nell’area ed in corrispondenza delle opere di progetto. Trattasi nel dettaglio delle seguenti litologie:

- Litologia C1.2 – Depositi terrigeni continentali di conoide e piana alluvionale (ghiaie sabbie, limi, argille) conglomerati, arenarie, siltiti, peliti;
- Litologia C2.2 – Depositi Carbonatici Marini (Marne, Calcari, Calcari Dolomitici, Calcari Oolitici, Calcari Bioplastici, Calcareniti);
- Litologia B1.1 - Metarioliti, Metariodaciti, "Porfiroidi" Auct., Metavulcaniti acide;
- Litologia B2.1 – Rocce parametamorfiche terrigene: Filladi, Micascisti, Gneiss, Miloniti, Filoniti, Fels, Quarziti, Metaconglomerati, Metarenarie, Metargilliti, Liditi, Diaspri.

L’ubicazione planimetrica delle opere di progetto sovrapposte alla carta delle litologie ha permesso di definire il substrato litologico che interessa le singole opere.

La tabella che segue elenca le opere incidenti sulle diverse litologie presenti nelle aree di progetto.

La situazione litologica specifica è stata verificata attraverso sopralluoghi e rilievi svolti in sito ed è sotto riportata.

Tabella 5.1 – Litologie affioranti in corrispondenza delle opere di progetto

	Litologia C1.2	Litologia C2.2	Litologia B1.1	Litologia B1.2
Aerogeneratori, strade e nuovi raccordi, SU e SSE.	EST04	ESC01	EST01	Nuovi Raccordi Stradali
	EST06	ESC02	EST03	\
	EST07	ESC03	EST05	\
	EST08	ESC04	Nuovi Raccordi Stradali	\
	Nuovi Raccordi Stradali	ESC05	\	\
	\	ESC06	\	\
	\	ESC07	\	\
	\	ESC08	\	\
	\	ESC09	\	\
	\	ESC10	\	\
	\	ESC11	\	\
	\	ESC12	\	\
	\	ESC13	\	\
	\	ESC14	\	\
\	Nuovi Raccordi Stradali	\	\	

Nelle pagine seguenti, alla Figura 5.1, si riporta stralcio della carta geologica con indicazione della posizione delle pale eoliche.

## 5.4 Comportamento sismico del sottosuolo

Per la valutazione delle azioni sismiche di progetto, ai sensi del D.M. del 17.01.2018, deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto nel suolo superficiale. Per tale motivo si esegue una classificazione dei terreni compresi fra il piano di campagna ed il "bedrock" attraverso la stima delle velocità medie delle onde di taglio ( $V_s$ ).

Con l'approccio semplificato, la classificazione del sottosuolo si effettua in base alla configurazione stratigrafica ed i valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{Seq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

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

Dove:

$h_i$  = spessore dello strato  $i$ -esimo;

$V_{s,i}$  = 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 viene riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali alla testa dei pali.

Per depositi con profondità del substrato  $> 30$  m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{Seq}$  è definita dal parametro  $VS30$  ottenuto ponendo  $H = 30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Alla luce di quanto detto, ai fini della definizione delle azioni sismiche secondo le «Norme Tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni», un sito può essere classificato attraverso il valore delle  $V_{Seq}$  con l'appartenenza alle differenti categorie sismiche; ovvero:

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

## 5.5 Rilievi Strutturali

I rilievi della campagna di misurazione hanno permesso di identificare i parametri geotecnici delle rocce/litotipi presenti nella area di progetto. Nelle tabelle successive si riportano i parametri geotecnici di riferimento delle rocce/litologie.

Tabella 5.2 – Caratteristiche delle fratture degli ammassi rocciosi rilevati

Stazione strutturale	Litologia	Resistenza compressione monoassiale (MPa)	RQD (%)	Spaziatura discontinuità mm	Condizione dei giunti	Presenza di acqua	Totale punteggio RMR
Str. 1	Calcari dolomitici (C2.2)	59	Da 20 a 60	Da 60 a 150	Pareti rugose debolmente alterate talvolta leggermente aperte	umida	
Coefficienti numerici		Da 4 a 7	Da 5 a 12	8	20	10	Da 47 a 57
Str. 2	Metaepiclastiti a grana fine (B1.1)	20	20	<60	Pareti rugose debolmente alterate talvolta leggermente aperte	umida	
Coefficienti numerici		2	3	5	20	10	40
Str. 3	Metaepiclastiti arenacee (B1.1)	38	50	150	Pareti rugose debolmente alterate talvolta leggermente aperte	umida	
Coefficienti numerici		4	10	8	20	10	52
Str. 4	Calcari dolomitici (C2.2)	42	65	18	Pareti rugose debolmente alterate talvolta leggermente aperte	umida	
Coefficienti numerici		4	13	8	20	10	55

In base ai valori di RMR che varia da 0 a 100 è possibile individuare 4 classi di qualità delle rocce. Per i quattro ammassi rocciosi su cui è stato fatto il rilevamento strutturale l'indice RMR indica condizioni dell'ammasso roccioso appartenenti sempre alla classe III (qualità mediocre) anche se i calcari dolomitici (Str 1, Str 4) e le metaepiclastiti arenacee della Formazione di Monte Santa Vittoria del rilievo Str. 3 presentano valori che si avvicinano alla classe II (buona) mentre la facies a granulometria più sottile della Formazione di Monte Santa Vittoria (Str. 2), che presenta una scistosità molto più marcata, ha valori prossimi alla classe IV (scadente).

Sulla base dell'indice RMR è possibile determinare i parametri di coesione e resistenza a taglio (Tabella 4) sulla base delle seguenti formule analitiche:

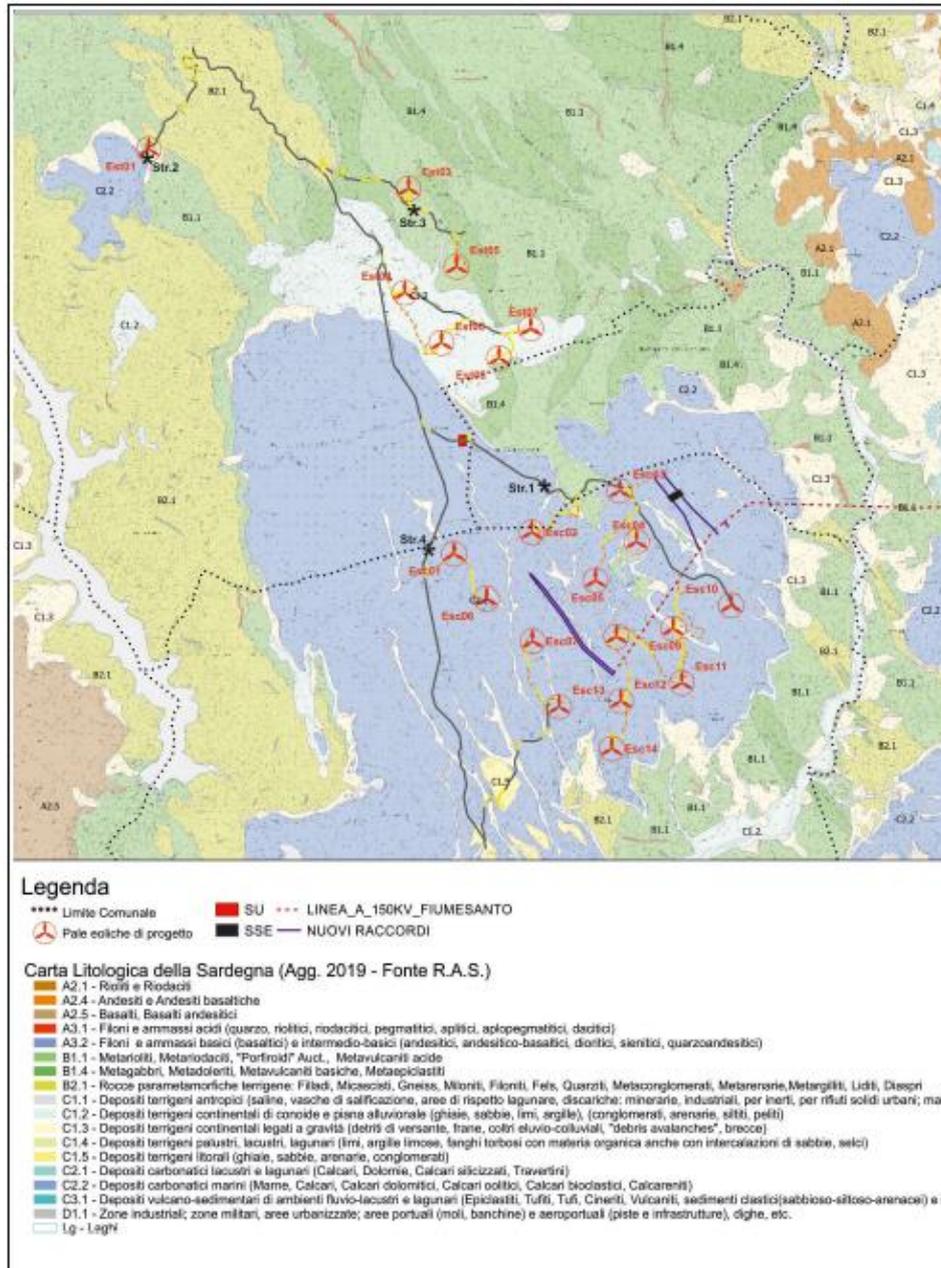
$$c = RMR \cdot 0,005$$

$$\phi = 5 + 0,5 \cdot RMR$$

Tabella 5.3 – Parametri geotecnici di riferimento per le rocce di fondazione

Parametri	Str. 1 Calcari Litologia C2.2	Str.4 Calcari Litologia C2.2	Str. 2 Metaepiclastiti Litologia B2.1	Str.3 Metaepiclastiti Litologia B2.1
RMR	47	55	40	52
C (KPa)	230	270	200	260
$\Phi$ (°)	28,5	32,5	25	31

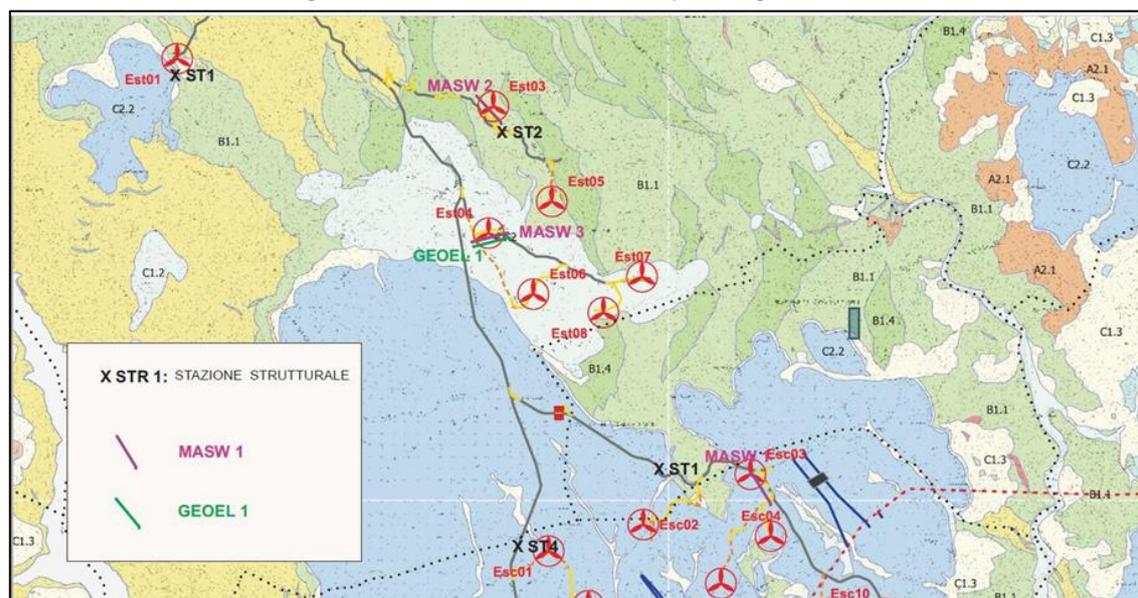
Figura 5.1 – Stralcio carta Litologia Sardegna



## 5.6 MASW

Al fine di determinare la categoria sismica del sito interessato dal progetto e i parametri  $V_{seq}$  sono state effettuate 3 MASW ed uno stendimento geoelettrico la cui ubicazione è riportata nella figura successiva.

Figura 5.2 – Ubicazione Masw e profilo geoelettrico



La restituzione dello strumento in termini di frequenza/velocità e profondità/velocità delle MASW è riportata nelle figure che seguono:

- MASW1 ha evidenziato una categoria sismica di tipo B (valutata con fondazione posizionata a piano campagna) e  $V_{seq}=505$  m/s e categoria sismica A per fondazione oltre i 4/5 metri di profondità con  $V_{seq}=800$  m/s;
- MASW1 evidenzia in superficie la presenza di uno strato di alterazione con terreni argillosi superficiali, argille con abbondanti elementi di scisto e quarzo, detrito di alterazione spinta del sottostante scisto. Tale strato si pone generalmente al di sotto dello strato di suolo che nell'area ha spessori relativamente ridotti;
- MASW 2 e 3 rilevano ammassi rocciosi che hanno categoria sismica A con  $V_{seq}>800$ m/s.

**Si specifica che ai fini dello studio di impatto vibrazionale, avendo riscontrato valori anche superiori a 800 m/s, cautelativamente, si prenderà a riferimento anche un parametro  $V_{seq}$  pari a 1000 m/s.**

Nelle pagine successiva si riportano figure esplicative degli esiti delle MASW.

### 5.6.1 Classificazione del sottosuolo (D.M. 17.01.2018) – MASW1

Località	Escalaplano (SU) – Progetto Pale Eoliche
Metodo Indagine	MASW ZVF forza verticale
Strumentazione	Sismografo DAQLink III (Siesmic Source U.S.A),24 Canali
24 bits	
Geometria Stendimento	24 Geofono interasse 2,0 m – sorgente a -2,0 m da G1

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

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

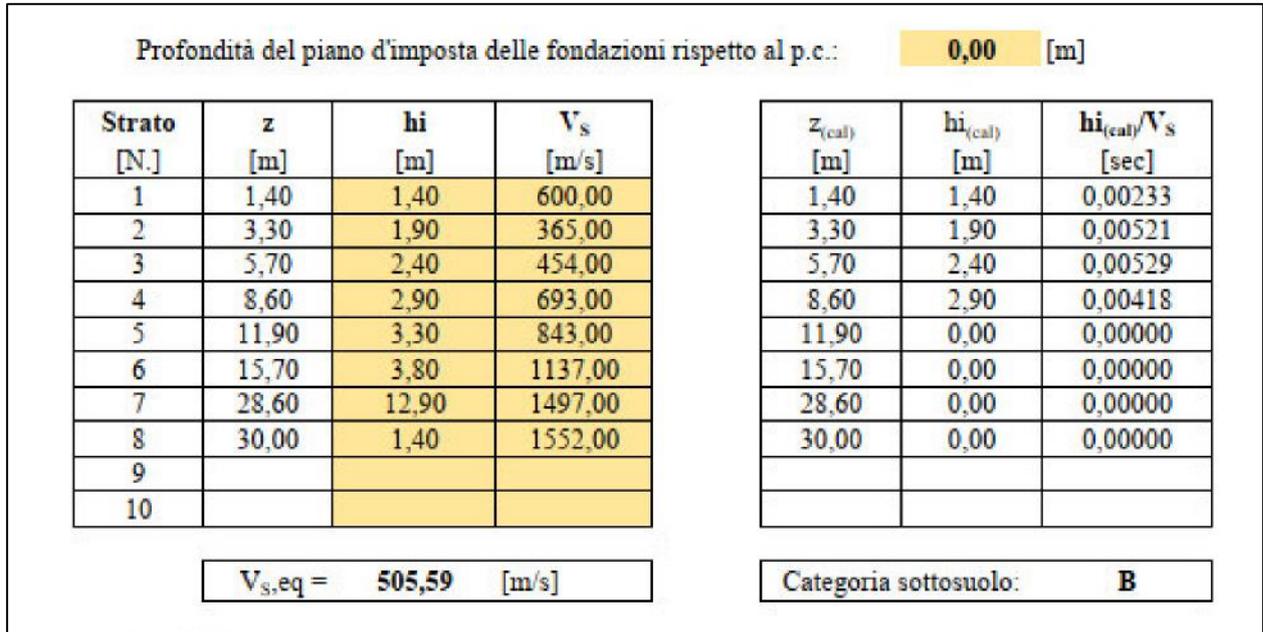
Sulla base del valore calcolato di  $V_s$  vengono identificate 5 classi A,B,C,D ed E alle quali corrispondono un differente spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per determinazione della classe del sito è il seguente:

Categorie	Caratteristiche della superficie topografica
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.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine 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
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

I dati evidenziano che i terreni rispondano alle caratteristiche di **suolo di tipo B con  $V_S=505$  m/s.**

5.6.2 Calcolo del  $V_s$  equivalente da NTC 2018 – MASW1

Figura 5.3 – Identificazione della categoria di sottosuolo con approccio semplificato – MASW1



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

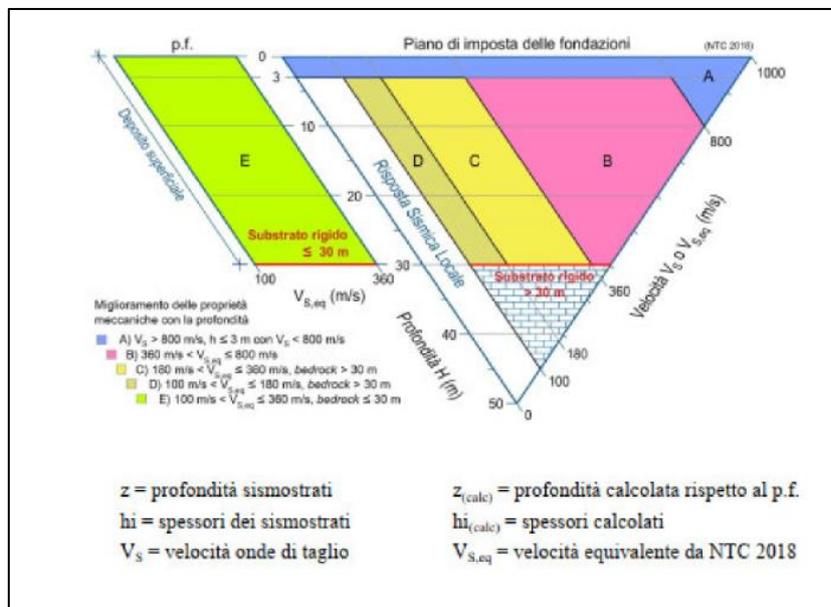
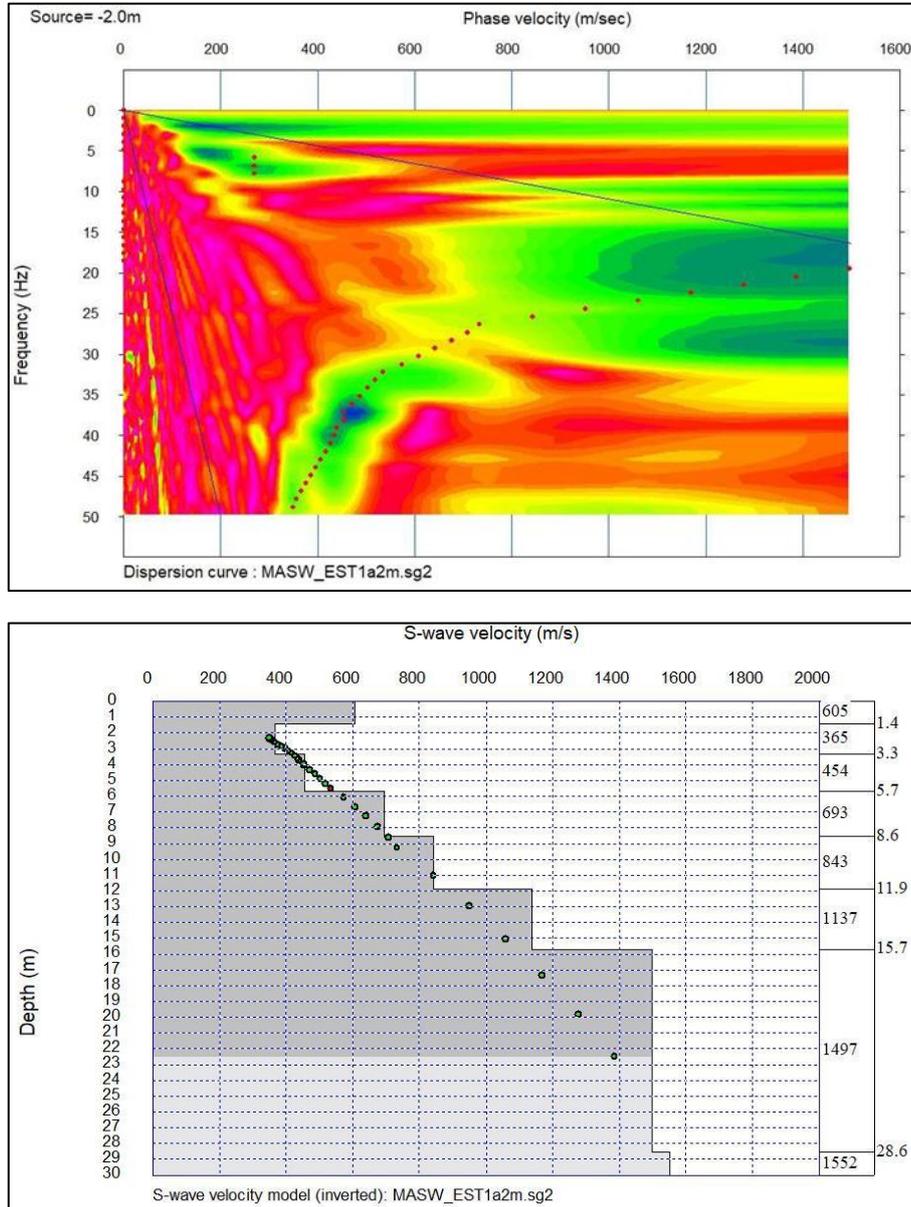


Figura 5.4 – Esiti della MASW 1



### 5.6.3 Classificazione del sottosuolo (D.M. 17.01.2018) – MASW2

Località	Eterzili (SU) – Progetto Pale Eoliche
Metodo Indagine	MASW ZVF forza verticale
Strumentazione	Sismografo DAQLink III (Siesmic Source U.S.A),24 Canali
24 bits	
Geometria Stendimento	24 Geofono interasse 2,0 m – sorgente a -2,0 m da G1

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

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

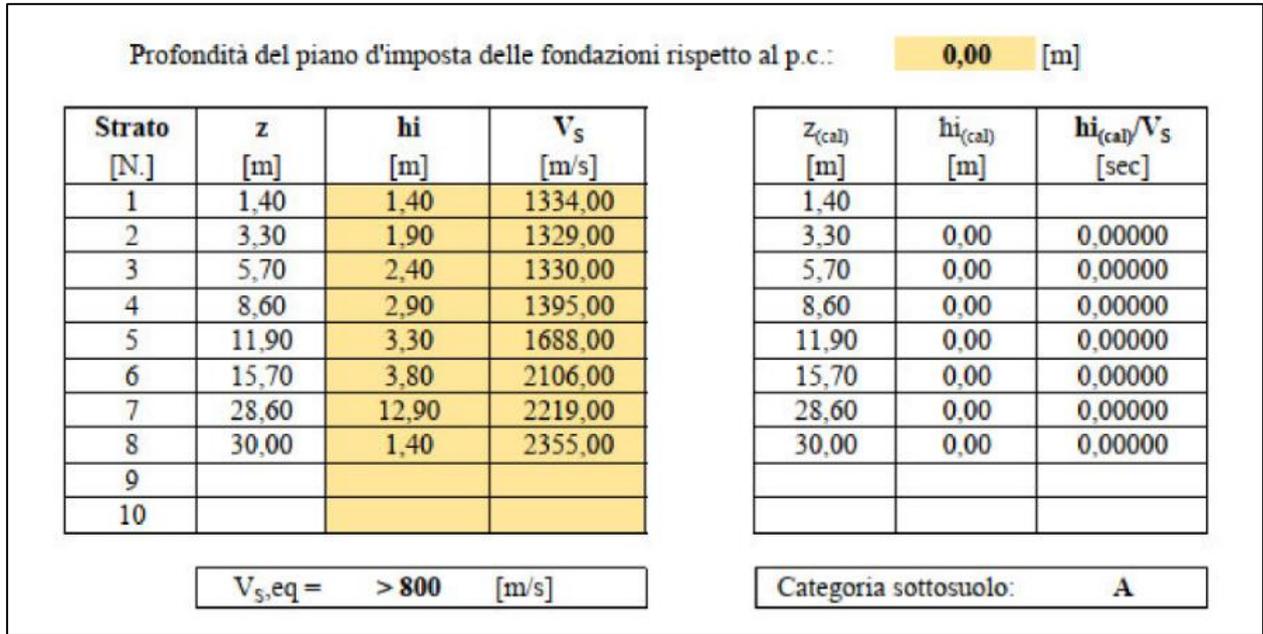
Sulla base del valore calcolato di  $V_s$  vengono identificate 5 classi A,B,C,D ed E alle quali corrispondono un differente spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per determinazione della classe del sito è il seguente:

Categorie	Caratteristiche della superficie topografica
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.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine 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
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

I dati evidenziano che i terreni rispondano alle caratteristiche di **suolo di tipo A con  $V_S > 800$  m/s**.

5.6.4 Calcolo del  $V_s$  equivalente da NTC 2018 – MASW2

Figura 5.5 – Identificazione della categoria di sottosuolo con approccio semplificato – MASW2



**Descrizione:** Ammassi rocciosi affioranti 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 di 3 m.

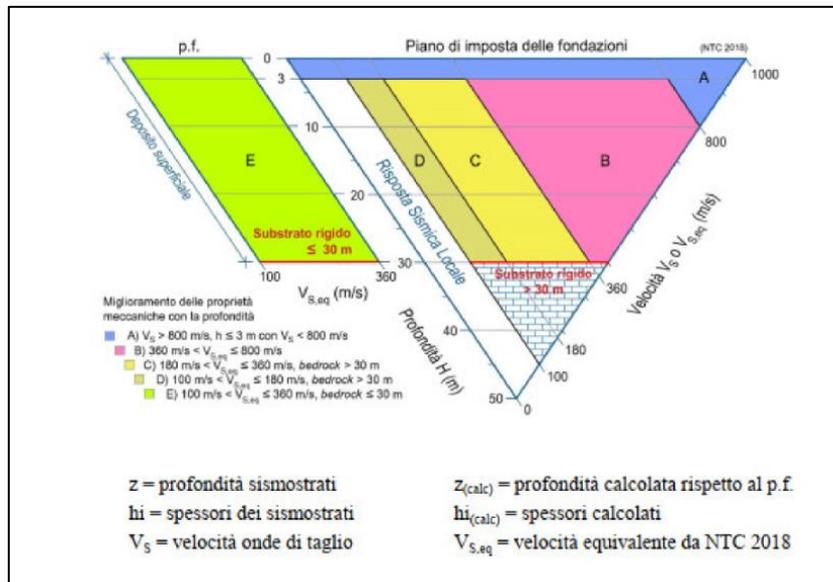
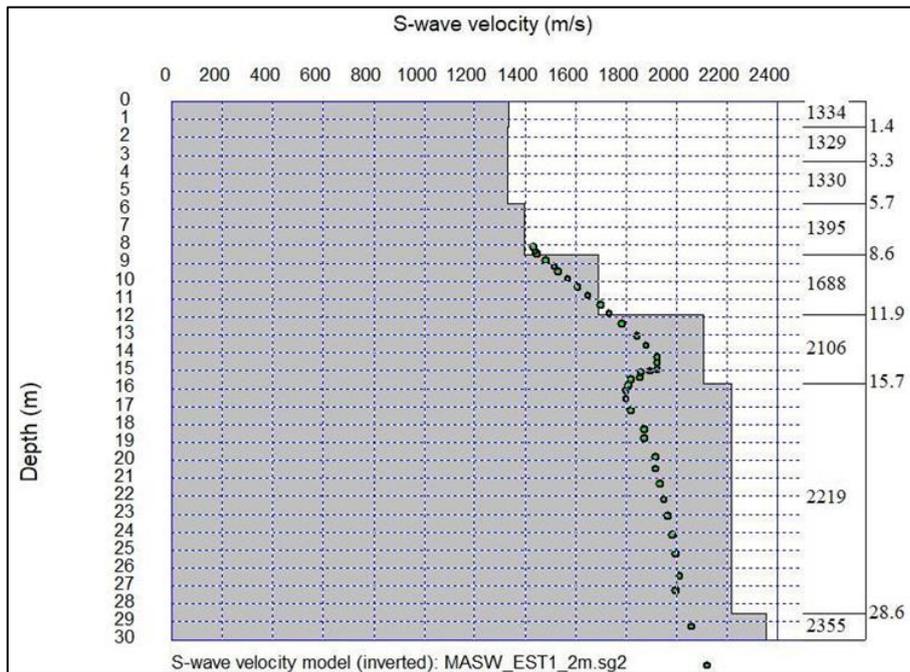
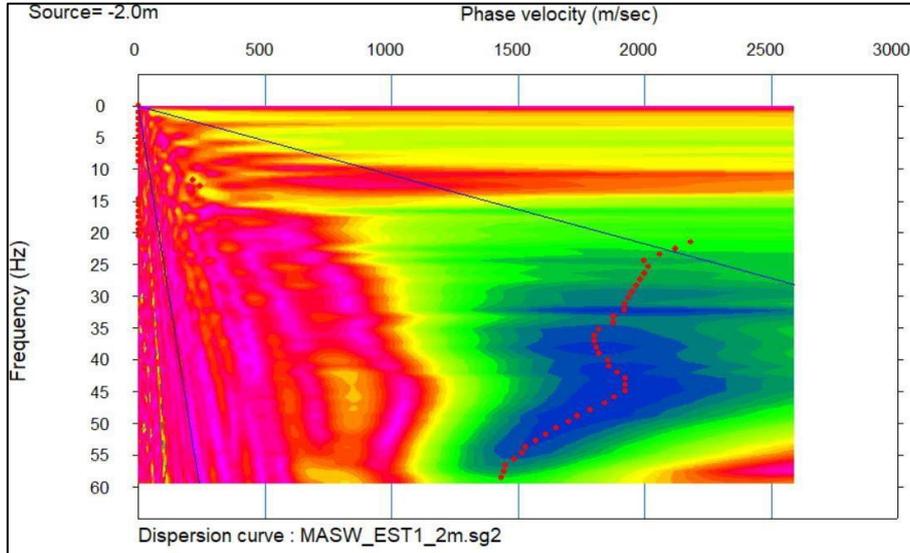


Figura 5.6 – Esiti della MASW 2



### 5.6.5 Classificazione del sottosuolo (D.M. 17.01.2018) – MASW3

Località	Eterzili (SU) – Progetto Pale Eoliche
Metodo Indagine	MASW ZVF forza verticale
Strumentazione	Sismografo DAQLink III (Siesmic Source U.S.A),24 Canali
24 bits	
Geometria Stendimento	24 Geofono interasse 2,0 m – sorgente a -2,0 m da G1

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

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

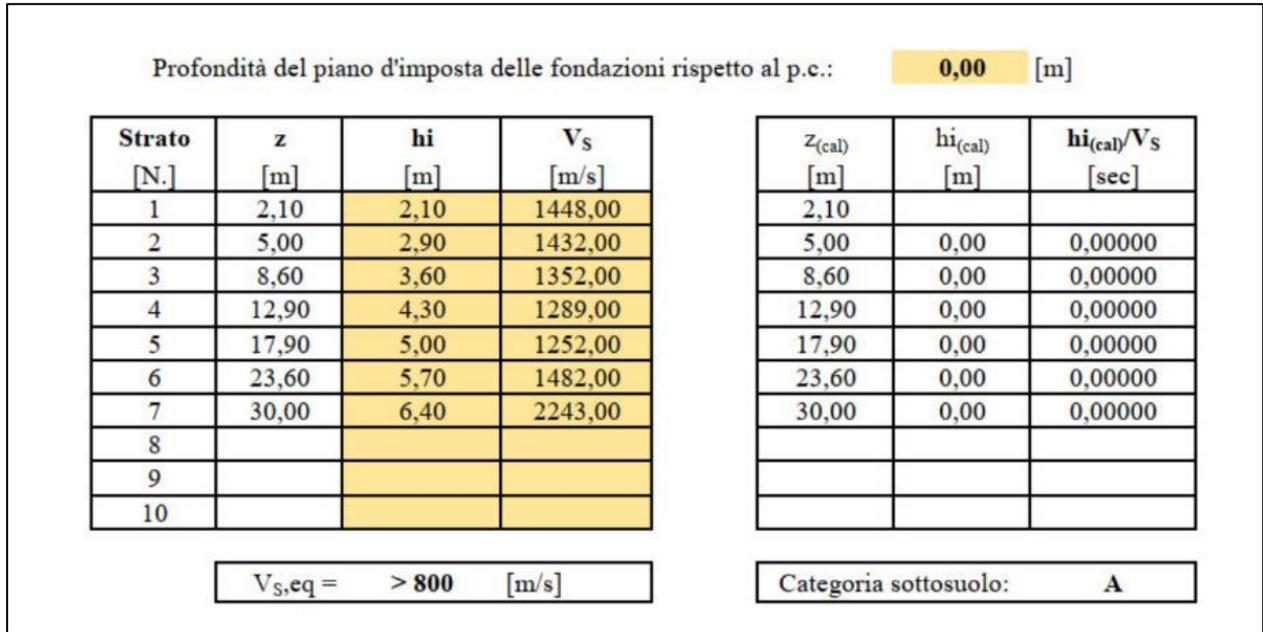
Sulla base del valore calcolato di  $V_s$  vengono identificate 5 classi A,B,C,D ed E alle quali corrispondono un differente spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per determinazione della classe del sito è il seguente:

Categorie	Caratteristiche della superficie topografica
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.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine 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
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

I dati evidenziano che i terreni rispondano alle caratteristiche di **suolo di tipo A con  $V_S > 800$  m/s**.

5.6.6 Calcolo del  $V_s$  equivalente da NTC 2018 – MASW3

Figura 5.7 – Identificazione della categoria di sottosuolo con approccio semplificato – MASW3



**Descrizione:** Ammassi rocciosi affioranti 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 di 3 m.

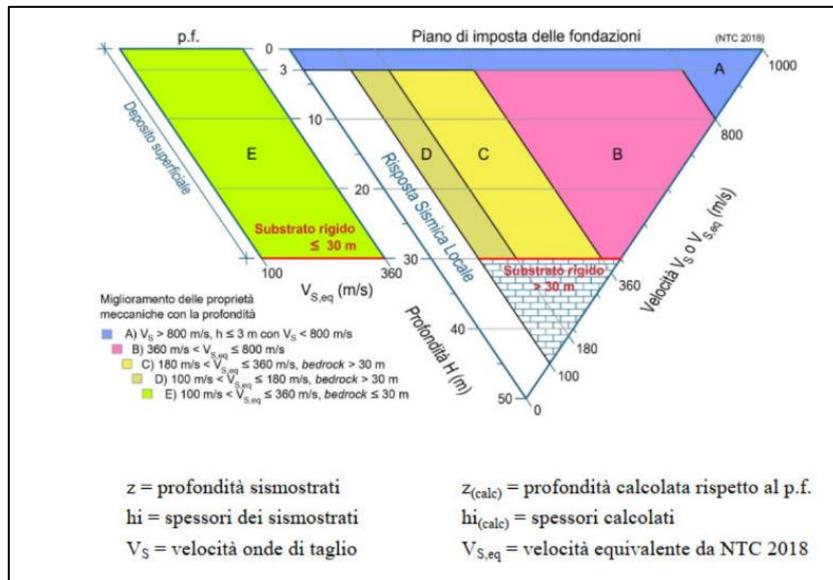
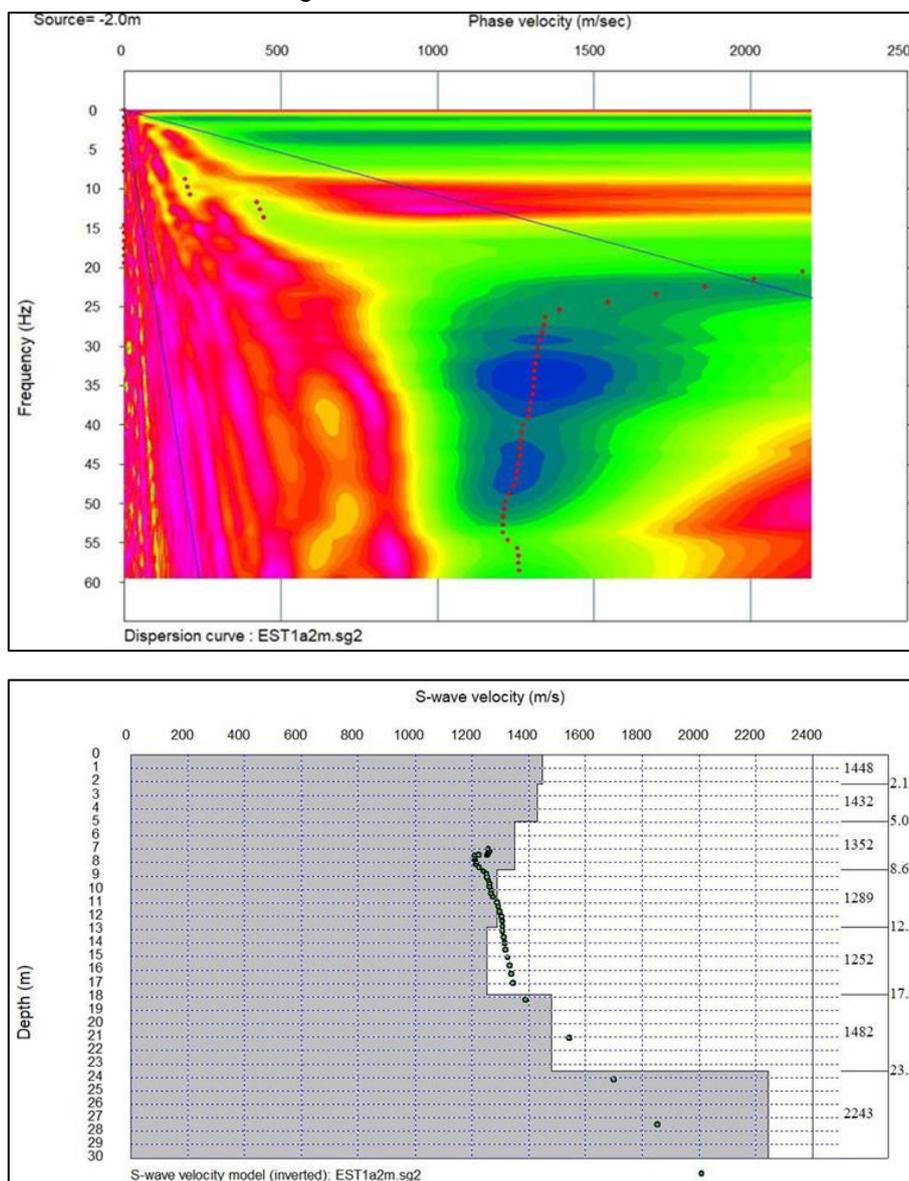


Figura 5.8 – Esiti della MASW 3



Per informazioni di maggiore dettaglio si rimanda alle relazioni tecniche allegata all'elaborato AM-RTS 10019: Relazione Geologica, che contiene al suo interno i seguenti allegati:

- AM-RTS 10019-A1\_Rilievo strutturale aree Parco eolico Esterzili-Escalaplano;
- AM-RTS 10019-A2\_Relazione Indagini Geofisiche.

## 6 INDIVIDUAZIONE DEI POTENZIALI RECETTORI

Di seguito si riporta un elenco dei ricettori presenti nell'area di influenza dell'impianto eolico, con indicazione della destinazione d'uso e coordinate geografiche X,Y e Z, come derivanti dall'elab. "AM-RTS10016" relativo al "Report di individuazione dei fabbricati censiti" a cui si rimanda per maggiori dettagli.

Tabella 6.1 – Recettori individuati

Recettore	Destinazione d'uso	Coordinate X	Coordinate Y	Coordinate Z
1	Magazzino/deposito	1532896,685	4391471,182	515
2	Magazzino/deposito	1530520,121	4395429,064	586
3	Rudere	1529662,424	4397463,435	660
4	Legnaia – Ricovero attrezzi e materiali	1529836,235	4395705,478	591
5	Ovile	1526350,113	4397209,867	715
6	Ovile	1530316,891	4395637,996	591
7	Ovile	1530958,786	4390972,246	480
8	Ricovero Ovini/bovini	1533094,446	4391061,273	530
9	Rudere	1530427,622	4393224,428	583
10	Edificio in costruzione abbandonato	1530898,722	4397189,853	528
12	Ovile	1526517,492	4397014,726	717
13	Rudere	1530159,888	4396449,448	637
14	Rudere	1530731,507	4395983,396	591
15	Magazzino	1532956,412	4391472,738	504
16	Ricovero animali	1530869,324	4391119,563	480
17	Rudere	1532796,564	4392418,377	623
18	Rudere	1531039,730	4390870,215	480
19	Ricovero Ovini/bovini	1532918,881	4391444,048	507
20	Magazzino/deposito	1529588,678	4396145,404	615
21	Magazzino/deposito	1531944,949	4390457,705	400
22	Rudere	1529703,029	4396129,504	615
23	Rudere/deposito	1531967,705	4390486,471	400
24	Magazzino	1530293,251	4392140,837	565
25	Ricovero animali	1530645,991	4395334,079	614
26	Magazzino/deposito	1532960,904	4391422,151	507
27	Ovile	1532140,660	4390666,621	400
28	Magazzino/deposito – Ricovero animali	1529602,101	4394944,927	634
29	Deposito/magazzino	1526583,470	4396867,894	715
31	Magazzino/deposito – Ricovero animali	1529646,980	4394916,736	634
32	Deposito/magazzino	1529694,742	4395746,869	614
33	Rudere	1529387,696	4396587,973	558
34	Deposito/magazzino	1529421,487	4397542,918	654
39	Deposito/magazzino	1533190,609	4391304,936	585

**Amistade - Progetto di un Parco Eolico nei territori dei comuni di Esterzili e di Escalaplano (SU) – Gennaio 2024**

<b>Recettore</b>	<b>Destinazione d'uso</b>	<b>Coordinate X</b>	<b>Coordinate Y</b>	<b>Coordinate Z</b>
45	Deposito/magazzino	1530162,763	4392429,820	578
46	Magazzino/deposito	1529563,797	4395059,468	634
47	Rudere/deposito	1530191,187	4395753,732	591
50	Rudere	1531234,191	4395387,620	585
52	Rudere	1529183,858	4396785,128	637
53	Deposito/magazzino	1529964,511	4394832,873	627
57	Deposito/magazzino - Ricovero animali	1530224,719	4392242,615	579
58	Ricovero Ovini/Bovini	1527248,824	4397630,184	658
59	Deposito/magazzino	1530323,149	4395439,473	586
60	Agricolo/Zootecnico - Uffici	1530866,893	4391012,573	480
61	Edificio rurale e ricovero animali	1531260,053	4395469,425	585
62	Magazzino/deposito	1526443,656	4397024,338	717
63	Ricovero Ovini/bovini	1531393,862	4393369,505	568
64	Ricovero ovini/bovini	1531949,410	4390416,103	400
65	Ovile	1532792,770	4392470,156	622
66	Magazzino/deposito – Ricovero animali	1529688,707	4396323,988	615
70	Magazzino/deposito	1530355,373	4393183,447	583
71	Deposito/magazzino	1533033,426	4391122,671	530
72	Ricovero Ovini/bovini	1531039,714	4393477,826	595
73	Magazzino/deposito	1532268,652	4393673,713	669
74	Rudere/deposito	1532532,427	4393873,677	705
75	Ovile	1530313,206	4394577,421	622
76	Magazzino/deposito	1532727,888	4392490,536	622

## 7 DESCRIZIONE SOMMARIA DELLE PRINCIPALI LAVORAZIONI DI CANTIERE

Nel seguito sono individuate le principali fasi operative del processo costruttivo del parco eolico in progetto.

Per maggiori dettagli sulla natura delle opere e sulle modalità realizzative si rimanda all'esame degli elaborati testuali e grafici componenti il **Progetto Definitivo delle Opere Civili**.

### 7.1 Opere civili del parco eolico

Le opere civili del parco eolico in questione saranno le seguenti:

- attività di realizzazione e finitura delle strade, delle piazzole e degli scavi dell'impianto eolico;
- opere in cemento armato funzionali alla realizzazione delle fondazioni degli aerogeneratori;
- realizzazione delle linee MT di collegamento tra gli aerogeneratori e la stazione di consegna MT/AT;
- sistemazione dell'area di ampliamento dell'esistente stazione elettrica di utenza MT/AT;
- realizzazione di interventi impiantistici collaterali, funzionali all'entrata in esercizio dei nuovi aerogeneratori.

Le lavorazioni di tipo civile possono ricondursi alle seguenti attività principali:

1. Allestimento del cantiere;
2. Locale adattamento della viabilità di accesso al parco eolico funzionale a renderla adeguata al transito dei mezzi di cantiere ed alle operazioni di trasporto della componentistica degli aerogeneratori presso il sito di intervento;
3. Adeguamento della viabilità interna del parco eolico al fine di assicurare l'accessibilità di ciascuna nuova postazione eolica ai mezzi d'opera ed ai veicoli di trasporto della componentistica degli aerogeneratori nonché consentire le ordinarie attività di gestione della centrale;
4. Approntamento degli interventi funzionali alla regimazione delle acque superficiali;
5. Realizzazione degli scavi funzionali all'allestimento delle piazzole nonché alla realizzazione delle fondazioni degli aerogeneratori;
6. Realizzazione delle fondazioni degli aerogeneratori e dei collegamenti all'impianto di terra;
7. Approntamento delle piazzole funzionali al montaggio degli aerogeneratori;

8. Cavo e posa dei cavidotti MT interrati di interconnessione aerogeneratori e collegamento con la stazione di utenza;
9. Realizzazione di opere in c.a. (pavimentazioni, basamenti), recinzioni e fabbricato servizi per consentire l'ampliamento della esistente stazione elettrica utente;
10. Completamento delle principali opere civili delle piazzole degli aerogeneratori, realizzazione delle opere di ripristino morfologico e ambientale (opere a verde e di rinaturalizzazione e sistemazione finale delle piazzole e della viabilità) dell'area interessata dai lavori;
11. Smobilizzo del cantiere.

## 7.2 Fornitura e montaggio degli aerogeneratori

Le lavorazioni per la fornitura e montaggio degli aerogeneratori possono articolarsi nelle seguenti attività:

1. Trasporto e posizionamento a piè d'opera dei componenti;
2. Preassemblaggio a terra dei singoli tronchi della torre;
3. Montaggio dei tronchi della torre;
4. Posizionamento della navicella;
5. Posizionamento delle pale;
6. Allacciamento alla SSE esistente, prove funzionali ed avviamento.

## 7.3 Opere per la realizzazione delle linee elettriche MT

La realizzazione delle linee elettriche MT si articolerà schematicamente nelle seguenti fasi di lavoro:

1. Allestimento del cantiere e/o dell'area di deposito;
2. Scavo e posa dei cavidotti interrati nei tratti previsti;
3. Realizzazione delle giunzioni e delle prese di terra e successivo riempimento e costipazione del terreno negli scavi;
4. Attività propedeutiche alla messa in servizio delle linee distribuzione di energia;
5. Opere di ripristino morfologico e ambientale (ripristino al primitivo stato dei terreni) dell'area interessata dai lavori;
6. Smobilizzo del cantiere;
7. Collaudo e messa in servizio.

## 7.4 Opere civili per l'allestimento stazione di utenza MT

Le lavorazioni connesse all'approntamento della stazione di trasformazione MT/AT sono le seguenti:

1. Allestimento del cantiere;
2. Realizzazione delle fondazioni e dei basamenti in c.a.;
3. Adeguamento recinzione perimetrale in pannelli prefabbricati e grigliato metallico;
4. Realizzazione delle vie cavo per cavi MT e BT compresi i pozzetti in c.a.
5. Realizzazione della rete di terra;
6. Smobilizzo del cantiere.

## 7.5 Montaggi elettromeccanici della stazione di utenza MT/AT

I montaggi elettromeccanici della SSE di trasformazione MT/AT consisteranno nelle seguenti attività:

1. Montaggi elettromeccanici:
  - a. Montaggio passante cavo aereo AT;
  - b. Montaggio interruttori AT;
  - c. Montaggio sezionatori AT;
  - d. Montaggio trasformatore MT/AT;
  - e. Montaggio trasformatori di misura TVC e TA;
  - f. Montaggio scaricatori di sovratensione AT;
  - g. Montaggio carpenteria a traliccio di stazione;
  - h. Montaggio carpenteria tubolare;
  - i. Montaggio isolatori di sbarra stazione;
  - j. Esecuzione collegamenti AT in corda e/o tubo di alluminio;
2. Montaggi di servizi ausiliari:
  - a. Installazione quadri BT;
  - b. Posa cavi BT;
  - c. Esecuzione collegamenti BT;
  - d. Realizzazione impianto di illuminazione esterna;
  - e. Realizzazione di impianti tecnologici di edificio.
3. Montaggi del sistema di protezione, comando e controllo (SPCC):
  - a. Installazione armadi e quadri BT;
  - b. Posa cavi BT e fibra ottica;

- c. Esecuzione collegamenti BT e fibra ottica;
  - d. Installazione apparati centralizzati di stazione;
  - e. Installazione apparati di telecontrollo;
4. Collaudo e messa in servizio della stazione e di tutto l'impianto eolico.

## 7.6 Gestione delle terre e delle rocce da scavo

Le lavorazioni per la gestione delle terre e delle rocce da scavo si inseriscono all'interno dei lavori di tipo civile e comporteranno le seguenti attività:

1. Stoccaggio dei materiali di scavo in apposite aree;
2. Frantumazione in loco del materiale roccioso oggetto di scavo al fine di favorirne il recupero in sito per la formazione dei rilevati di strade e/o della piazzola ai sensi dell'art.185 del D.Lgs. n.152/2006 (e s.m.i.);
3. carico dei mezzi necessari;
4. avvio a smaltimento/recupero dell'eventuale materiale di scavo non recuperabile in cantiere (non previsto per il presente progetto).

Per la descrizione delle attività previste nell'ambito della gestione dei materiali di scavo si rimanda al Piano preliminare di utilizzo in sito delle terre e rocce da scavo escluse dalla disciplina dei rifiuti facente parte del progetto definitivo.

## 8 ANALISI PREVISIONALE DEI LIVELLI DI VIBRAZIONI

### 8.1 Il metodo previsionale

Il metodo previsionale adottato fa ricorso a dati di letteratura sulle caratteristiche emissive delle sorgenti e sulle simulazioni numeriche. A partire dagli spettri di emissione delle tipologie di macchine operatrici, che prevedibilmente saranno impiegate durante il processo costruttivo del Parco Eolico, sono state condotte delle simulazioni numeriche volte a definire l'effetto combinato di tali macchinari sotto il profilo dell'impatto da vibrazioni. La stima dei livelli vibrazionali potenzialmente riscontrabili nei ricettori ha dunque previsto:

- l'assunzione di uno spettro di emissione rappresentativo dell'accelerazione indotta nel terreno ad una data distanza di riferimento;
- l'adozione di una funzione di propagazione della vibrazione che esprima, per ogni frequenza considerata, la relazione tra l'ampiezza di vibrazione al ricettore e quella relativa alla sorgente secondo alcune ipotesi semplificative (sorgenti omnidirezionali, mezzo di propagazione omogeneo e isotropo, propagazione superficiale attraverso onde di Rayleigh);
- la combinazione dei livelli di vibrazione in funzione dei livelli associati alle bande di un terzo di ottava negli scenari di progetto ipotizzati;
- relativamente allo scenario modellizzato, l'applicazione di una curva di attenuazione definita per postura non nota;
- un confronto con i livelli di riferimento in condizioni di campo libero.

Nel dettaglio, le stime sono state condotte in accordo con la seguente procedura di calcolo:

- la valutazione dei livelli vibrazionali in corrispondenza delle sorgenti emissive ha fatto ricorso agli spettri di emissione caratteristici dei mezzi di cantiere, utilizzando dati di letteratura e/o di studi previsionali analoghi. Gli spettri impiegati sono riferiti a misure eseguite ad una distanza nota dalla sorgente di vibrazioni e si riferiscono alla sola componente verticale;
- note le caratteristiche emissive delle sorgenti si è proceduto al calcolo del livello di accelerazione non ponderato a distanze crescenti dalla sorgente mediante una nota legge di propagazione. Nel caso di sorgenti superficiali, l'espressione che esprime il fenomeno di propagazione della vibrazione ad una data frequenza  $f$  è data dalla formula descritta nella pagina successiva:

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

dove:

c = velocità di propagazione delle onde di superficie espressa in m/s;

f = frequenza della vibrazione in Hz;

$\eta$  = coefficiente adimensionale di perdita del terreno, dovuto a locali fenomeni di isteresi nella microstruttura del terreno, assunto pari a 0.05, valore da considerarsi cautelativo per i litotipi riscontrati nell'area del progetto;

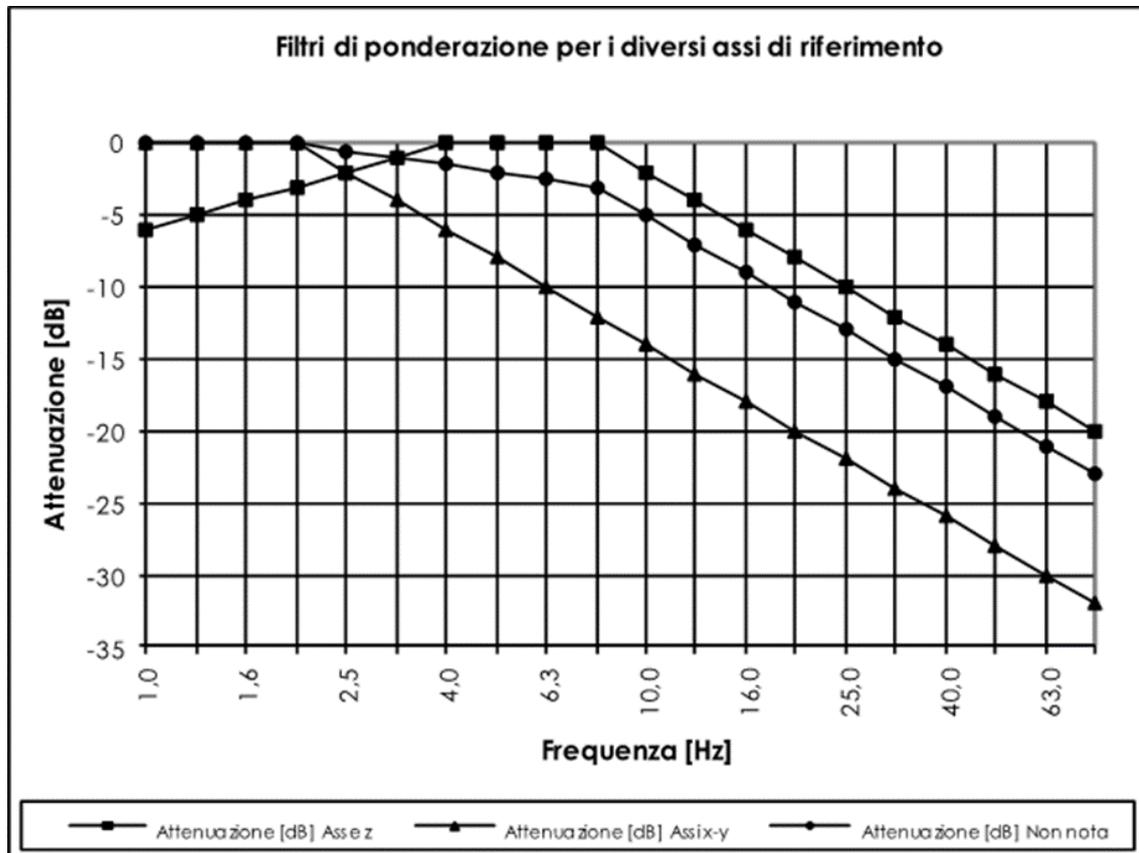
n = esponente adimensionale di decadimento geometrico, assunto pari a 0.5 per sorgenti superficiali di tipo puntiforme.

- combinazione dei livelli complessivi di accelerazione non ponderati a distanze crescenti dalla sorgente per ciascuna frequenza riferiti a ciascuno dei macchinari previsti. Come legge di combinazione degli spettri è stata adottata la SRSS (Square Root of the Sum of the Squares) consistente nel calcolo della radice quadrata della somma dei quadrati delle ordinate spettrali relative alle singole macchine operatrici. Per ciascuna frequenza si è quindi ottenuto un valore complessivo non ponderato di tutte le macchine attive (ATOT, f) dato da:

$$A_{TOT,f} = \sqrt{A_1(f, d)^2 + A_2(f, d)^2 + \dots + A_n(f, d)^2}$$

- è stata successivamente applicata la curva di ponderazione definita per postura non nota (o asse generico) indicata dalla UNI 9614 riportata in Figura 8.1: si noti come tale curva non introduca alcuna variazione dei livelli di accelerazione misurati da 1 a 2 Hz, per poi ridurre progressivamente i valori al crescere della frequenza; a partire dalla frequenza di 8 Hz, la curva ha una pendenza di 6 dB/ottava.

Figura 8.1 – Curve di ponderazione delle vibrazioni indicate dalla UNI 9614:2017 per i diversi assi di riferimento



Sono stati, quindi, ottenuti i livelli ponderati di accelerazione complessiva per singola frequenza e distanza. Il livello totale di accelerazione ponderata in funzione della distanza  $L_a, W, d$  è stato ottenuto attraverso la combinazione, per una data distanza dalla sorgente, dei livelli di accelerazione ponderati alle varie frequenze sull'asse Z.

Tabella 8.1 – Valori tipici di densità, velocità di propagazione e fattore di perdita, noti esclusivamente per alcune classi geologiche e in presenza di un ammasso omogeneo (Fonte SIA Ponte sullo stretto di Messina)

TIPO DI TERRENO	DENSITA' [t/m <sup>3</sup> ]	VELOCITA' DI PROPAGAZIONE [m/s]	FATTORE PERDITA $\eta$
Roccia compatta	2.65	3500	0.01
Sabbia, limo, ghiaia, loess	1.6	600	0.1
Argilla, terreni argillosi	1.7	1500	0.2÷0.5
Molasse	2.25	1075	0.05
Sabbie e ghiaie di Messina	2.00	834	0.05
Scisti cristallini	2.25	3000	0.05
Depositi alluvionali	1.83	527	0.05
Calcarei evaporitici	2.25	3350	0.05

## 8.2 Fase di cantiere – Realizzazione e Dismissione

### 8.2.1 Caratterizzazione delle sorgenti

Le emissioni di vibrazione in fase di costruzione e dismissione sono ampiamente variabili in relazione al tipo di attrezzatura/macchina operatrice impiegata, al contesto di utilizzazione e all'operatore. Nel presente studio, in sintonia con quanto contemplato dalla UNI 9614 (Appendice C - punto C.4), sono stati utilizzati sia dati di fonte bibliografica, sia dati direttamente acquisiti da studi analoghi predisposti nell'ambito della VIA, di importanti opere infrastrutturali realizzate a livello nazionale.

In relazione ai dati bibliografici, si è fatto riferimento a quanto contenuto nel volume L.H. Watkins - "Environmental impact of roads and traffic" - Appl. Science Publ. (pp. 231-241) contenete una serie di dati sperimentali sull'emissione di vibrazioni da parte di svariati tipi di macchine da cantiere, utilizzate nelle costruzioni stradali e ferroviarie. Da tale raccolta di dati sono stati estratti gli spettri di emissione delle macchine operatrici riportate nella pagina seguente.

Tabella 8.2 – Spettri dell'accelerazione per alcuni mezzi e macchinari di cantiere in mm/s<sup>2</sup> (distanza di misura 10 metri)

Mezzi di cantiere	D[m]	Frequenza (Hz)																			
		1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
Camion da cantiere	10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,12	0,15	0,29	0,50	1,67	1,85	2,50	6,00	5,50	5,20	4,00
Camion ribaltabile	10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,23	0,41	0,50	0,60	1,10	2,99	9,00	3,90	3,30	4,00	10,00	8,00
Rullo compattatore vibrante	10	0,00	0,00	0,00	0,30	0,30	0,30	0,30	0,80	0,70	0,80	1,10	1,00	2,00	1,55	6,00	29,00	3,00	1,00	1,60	2,00
Rullo compattatore (non vibrante)	10	0,00	0,00	0,00	1,60	1,70	2,00	0,85	5,80	11,00	18,00	20,00	40,00	20,00	4,00	12,00	7,00	3,70	3,70	5,00	4,00
Pala gommata carica	10	0,00	0,00	0,00	0,41	0,41	0,41	0,48	0,52	0,50	0,76	1,10	1,25	2,00	3,00	17,00	17,00	7,80	15,00	14,00	7,80
Pala gommata scarica	20	0,00	0,00	0,00	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,40	1,20	0,90	1,75	1,26	2,00	5,20	2,60	1,60	1,60	1,50	2,00
Ruspa cingolata piccola	10	0,00	0,00	0,00	1,10	1,10	1,10	1,10	1,40	1,60	3,20	4,20	8,00	6,00	18,00	24,00	16,00	10,00	9,00	6,00	5,50

Nella tabella seguente si riportano, inoltre, alcuni dati sperimentali relativi alla componente verticale delle vibrazioni generate da un martello demolitore idraulico, tratti da studio previsionale analogo. I dati dello spettro, riferiti ad una distanza dalla sorgente pari a 5 metri ed espressi in dB, sono stati convertiti in valori di accelerazione in mm/s<sup>2</sup>.

*Tabella 8.3 – Spettro del livello vibrazionale afferente alla componente verticale relativo ad un martello demolitore idraulico (misura a distanza di 5 metri dalla sorgente)*

Frequenza centrale[Hz]	L [dB]	A[m/s <sup>2</sup> ]	A[mm/s <sup>2</sup> ]
1	68,0	0,0025	2,51
1,25	68,0	0,0025	2,51
1,6	70,0	0,0032	3,16
2	71,0	0,0035	3,55
2,5	72,0	0,0040	3,98
3,15	77,0	0,0071	7,08
4	77,0	0,0071	7,08
5	81,0	0,0112	11,22
6,3	88,0	0,0251	25,12
8	99,0	0,0891	89,13
10	88,0	0,0251	25,12
12,5	85,0	0,0178	17,78
16	100,0	0,1000	100,00
20	95,0	0,0562	56,23
25	98,0	0,0794	79,43
31,5	101,5	0,1189	118,85
40	101,0	0,1122	112,20
50	102,0	0,1259	125,89
63	102,0	0,1259	125,89
80	101,0	0,1122	112,20

### 8.2.2 Scenari Previsionali di calcolo dei livelli vibrazionali

La verifica circa il rispetto dei valori guida indicati dalla UNI 9614:2017 è stata condotta considerando le principali attività di costruzione previste nell'ambito della realizzazione dell'impianto eolico in progetto, comportanti l'impiego di mezzi meccanici di movimento terra e di trasporto materiali.

Sotto questo profilo, si è fatto riferimento alle seguenti attività con annesso funzionamento delle macchine operatrici impiegate per le lavorazioni:

*Tabella 8.4 – Attività di cantiere e principali macchine operatrici utilizzate*

Attività di cantiere	Principali macchine operatrici impiegate sorgenti di vibrazioni
Scavi per realizzazione/dismissione fondazioni aerogeneratori	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escavatore</li> <li>• Escavatore con martellone idraulico</li> <li>• Camion da cantiere</li> <li>• Pala gommata</li> </ul>
Realizzazione viabilità di servizio e allestimento spazi sottostazione elettrica di utenza	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escavatore idraulico</li> <li>• Pala gommata</li> <li>• Camion da cantiere</li> <li>• Rullo compattatore non vibrante</li> </ul>
Scavi e rinterri per posa cavidotti interrati	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escavatore</li> <li>• Camion da cantiere</li> </ul>

Le stime dei livelli vibrazionali, in via cautelativa, sono state effettuate considerando la condizione peggiore, ovvero, considerando l'utilizzo simultaneo di tutti i mezzi d'opera impiegati nelle lavorazioni.

Si specifica che la condizione di utilizzo simultaneo di tutti i mezzi d'opera è da considerarsi rara e comunque presente solamente in lassi di tempo limitati.

Inoltre, le vibrazioni generate dal cantiere non saranno continuative durante gli orari di esercizio del cantiere (indicativamente dalle 8:00 alle 13:00 e dalle 14:00 alle 17:00), potendo ipotizzare quotidianamente alcune fermate temporanee, in ragione delle esigenze organizzative del cantiere.

### 8.2.3 Stima dei livelli vibrazionali ed analisi dei risultati

Come già anticipato per la valutazione del disturbo associato alle vibrazioni di livello costante, è stato fatto riferimento alla norma UNI 9614:2017 che impone le soglie limite di disturbo sui tre assi. Tali limiti sono espressi mediante l'accelerazione complessiva ponderata in frequenza  $a(w)$  ed in decibel  $L(w)$ . In seguito, si riporta tabella con riportati i suddetti limiti.

Tabella 8.5 – Limiti di riferimento per la massima accelerazione ponderata della sorgente

Luogo	AW [m/s <sup>2</sup> ]	LW [dB]
Ospedali	2,00E-03	66
Asili e case di riposo	3,60E-03	71
Abitazioni (notte)	5,00E-03	74
Abitazioni (giorno)	7,20E-03	77
Abitazioni (festivi)	5,40E-03	75
Scuole	5,40E-03	75
Uffici	1,44E-02	83
Fabbriche	2,88E-02	89

Ai fini delle verifiche si è assunta la propagazione delle vibrazioni entro un orizzonte superficiale omogeneo di terreno contraddistinto dalla massima velocità stimata delle onde R entro la profondità indicativa da 0,00 m a -3,00 m .

Si specifica che dalle prove MASW, riportate ai paragrafi precedenti, è emerso un valore massimo di  $V_R = >800$  m/s per i litotipi interessati dal progetto. Dato il riscontro di possibili valori maggiori di 800, ai fini cautelativi le analisi sono state effettuate considerando anche una velocità maggiore, pari a 1000 m/s. Ciò pone le analisi assunte in una condizione fortemente cautelativa anche nei confronti della  $V_R$  di 505 m/s riscontrata nella MASW 1. I prospetti di calcolo riportati in appendice si riferiscono all'assunzione delle distanze oltre le quali il livello di vibrazione atteso è risultato inferiore alle soglie indicate dalla UNI 9614 per le abitazioni in periodo diurno (77 dB).

Tabella 8.6 – Distanze di conformità dei livelli vibrazionali originati dalle lavorazioni di cantiere rispetto al criterio di disturbo alle persone di cui alla UNI 9614:2017

Attività	Distanza di conformità per abitazioni con $V_R=800$ m/s	Distanza di conformità per abitazioni con $V_R=1000$ m/s
Realizzazione fondazioni	180 m	205 m
Realizzazione strade e approntamento stazione elettrica	100 m	105 m
Realizzazione cavidotti	20 m	20 m

Dall'esame dei risultati riportati in Tabella si evince come le lavorazioni potenzialmente più critiche siano riferibili alla realizzazione delle opere di fondazione degli aerogeneratori, dovendosi prevedere l'impiego di martello demolitore per l'escavazione su roccia compatta. Per tali lavorazioni, le ampiezze delle aree interessate da un impatto vibrometrico potenzialmente disturbante per gli occupanti edifici residenziali si estendono per circa 205 metri.

Si specifica che, in via cautelativa, le analisi sono state effettuate considerando i limiti normativi associati alle abitazioni, nonostante non ci siano recettori aventi tale destinazione, ma solo un recettore con permanenza con presenza continuativa di personale in periodo diurno.

Come riportato all'interno del documento **"AM-RTS10016"** dedicato al **"Report di individuazione dei fabbricati censiti"**, l'unico recettore con presenza di persone continuativa in periodo diurno, risulta essere il Recettore 60, che si posiziona ad una distanza di 432 m dal più vicino aerogeneratore denominato "ESC13". Confrontando la distanza tra il recettore e l'aerogeneratore ad esso più vicino, con le distanze indicate in tabella, si evince che sussistono ampi margini di sicurezza per ritenere l'impatto generato dalle lavorazioni non significativo. A i fini di un'ulteriore analisi cautelativa sono state definite anche le distanze relative ai valori massimi di velocità riscontrati, a circa 6 metri, dalle MASW (circa 1350 m/s), nell'ambito delle lavorazioni maggiormente impattanti, ovvero, la realizzazione delle fondazioni degli aerogeneratori. Tale indagine ha riscontrato variazioni minime rispetto a quanto già identificato all'interno della Tabella 8.6 evidenziando ulteriormente come, anche nell'ipotesi peggiore, ci siano ampi margini di sicurezza per il recettore (circa 200 m dalla zona di disturbo).

D'altro canto, le opere lineari con sviluppo maggiormente esteso, riferibili alla costruzione dei cavidotti MT, interessando i primi orizzonti di terreno e roccia alterata, potranno essere realizzati con l'impiego di escavatori meccanici, determinando un impatto vibrazionale scarsamente significativo. Le distanze di conformità delle vibrazioni per tale lavorazione, infatti, possono indicativamente assumersi pari a 20 metri, ossia in sostanziale corrispondenza delle aree di cantiere.

In relazione al potenziale danno strutturale a carico degli edifici, si sottolinea, come già evidenziato in premessa, che le soglie indicate dalla UNI 9916:2014, mutate dalla DIN 4150, sono significativamente superiori a quelle di riferimento per il disturbo alle persone. Ne consegue, pertanto, che la positiva verifica del rispetto dei valori guida stabiliti dalla UNI 9614:2117 consente ragionevolmente di escludere il verificarsi di effetti dannosi a carico delle strutture dei più prossimi fabbricati.

### 8.3 Fase di esercizio

Le sorgenti di rumore e vibrazione provenienti da un aerogeneratore sono principalmente di natura aerodinamica, causate dall'interazione tra il vento e le pale, di natura meccanica, generate dagli attriti meccanici dei componenti del rotore e del sistema di trasmissione del generatore, e di natura cinetica, generate dalle oscillazioni e dai cambiamenti di stato da stazionario a combinato. Le oscillazioni sono causate dal vento che incide sul piano del rotore degli aerogeneratori, generando momenti forzanti opportunamente controllati dalle strutture di fondazione, nonché dall'interazione aerodinamica e meccanica delle pale con la torre.

Diverse indagini condotte da entità quali la BWEA (British Wind Energy Association) hanno evidenziato che, a breve distanza, il rumore risultante dalle vibrazioni minime prodotte dalle turbine eoliche risulta essenzialmente indistinguibile rispetto al rumore di fondo.

Nel caso specifico dei fenomeni vibratorii, si può analizzare la trasmissione di tali vibrazioni nel terreno circostante le fondazioni di supporto delle torri degli aerogeneratori. Le vibrazioni subiscono dispersione di energia durante la propagazione nel terreno, e la loro ampiezza diminuisce proporzionalmente all'aumentare della distanza dalla sorgente. La trasmissione delle vibrazioni avviene attraverso la struttura metallica della torre, le fondazioni, il terreno e si adatta alle caratteristiche strutturali del recettore.

#### 8.3.1 Caratterizzazione delle sorgenti

Al fine di valutare quantitativamente la distanza entro la quale le vibrazioni generate durante il funzionamento regolare del parco eolico potrebbero non causare disturbo alle attività circostanti, alla popolazione umana e ad altri recettori, applichiamo il modello di calcolo precedentemente illustrato. Utilizziamo come input i valori di vibrazione associati a impianti simili, in quanto non sono ancora disponibili dati specifici per il modello di aerogeneratore destinato all'installazione futura.

Nell'applicazione del modello previsionale per valutare il potenziale disturbo in termini quantitativi, abbiamo ipotizzato i seguenti parametri:

- In base alla tipologia di substrato litologico, abbiamo adottato i seguenti valori: Velocità di propagazione dell'onda di Rayleigh (VR): 1000 m/s (in coerenza con i dati geotecnici presenti nell'elaborato specialistico).
- Livelli di riferimento per la sorgente in esercizio: Abbiamo considerato i valori di accelerazione misurati presso strutture analoghe come punti di riferimento.

- Non abbiamo considerato potenziali fenomeni di attenuazione o amplificazione relativi alla tipologia di fondazioni presenti nei recettori.

In particolare, i valori di accelerazione (r.m.s) (non ponderati in frequenza) in corrispondenza della torre di sostegno lungo i tre assi (x, y, z), utilizzati come riferimento per il calcolo basato su valori reali misurati su strutture analoghe, sono i seguenti:

$$w_1(x) = 0,0224 \frac{m}{s^2}$$

$$w_1(y) = 0,01333 \frac{m}{s^2}$$

$$w_1(z) = 0,0272 \frac{m}{s^2}$$

### 8.3.2 Stima dei livelli vibrazionali

I valori dei coefficienti presenti nell'espressione proposta nei capitoli precedenti sono stati ricavati da dati misurati disponibili per strutture analoghe facendo riferimento alle condizioni di funzionamento più gravose compatibili con le caratteristiche delle sorgenti ed al fine di avere una valutazione cautelativa dell'entità delle vibrazioni trasmesse.

Nel dettaglio, al fine di eseguire il calcolo del potenziale possibile disturbo, sono stati assunti i parametri di input come esplicitati nella tabella seguente.

- c = velocità di propagazione delle onde di superficie espressa in m/s= 1000 m/s;
- f = frequenza della vibrazione in Hz = 0,6 Hz;
- $\eta$  = coefficiente adimensionale di perdita del terreno, dovuto a locali fenomeni di isteresi nella microstruttura del terreno, assunto pari a 0.05, valore da considerarsi cautelativo per i litotipi riscontrati nell'area del progetto;
- n = esponente adimensionale di decadimento geometrico, assunto pari a 0.5 per sorgenti superficiali di tipo puntiforme;
- d0=distanza di misura per la caratterizzazione della sorgente 1 m.

Di seguito i risultati ottenuti in termini di distanza minima di rispetto dei valori soglia della norma UNI 9614. Poiché il fenomeno riguarda l'esercizio di macchine la cui vita utile è ultraventennale con funzionamento anche notturno, si riporta anche la distanza minima del valore raccomandato per le aree critiche, che può essere preso a riferimento per aree particolarmente delicate sotto l'aspetto della stabilità territoriale.

Ai fini delle verifiche si è assunta la propagazione delle vibrazioni entro un orizzonte superficiale omogeneo di terreno contraddistinto dalla massima velocità stimata delle onde R entro la profondità indicativa da 0,00 m a -3,00 m .

Si specifica che dalle prove MASW, riportate ai paragrafi precedenti, è emerso un valore massimo di  $V_R = >800$  m/s per i litotipi interessati dal progetto. Dato il riscontro di possibili valori maggiori di 800, ai fini cautelativi le analisi sono state effettuate considerando anche una velocità maggiore, pari a 1000 m/s. Ciò pone le analisi assunte in una condizione fortemente cautelativa anche nei confronti della  $V_R$  di 505 m/s riscontrata nella MASW 1.

**Tabella 8.7 – Distanze di conformità dei livelli vibrazionali rispetto al criterio di disturbo alle persone di cui alla UNI 9614**

Ricettori	Distanza di conformità per abitazioni con $V_R=1000$ m/s		
	X	Y	Z
Abitazioni (giorno)	7,8	4,0	7,7
Abitazioni (notte)	13,0	8,9	16,0

### 8.3.3 Analisi dei risultati

Dall'esame dei risultati riportati in Tabella si evince le ampiezze delle aree interessate da un impatto vibrometrico potenzialmente disturbante per gli occupanti edifici residenziali si estendono per circa 16 metri.

Si specifica che, in via cautelativa, le analisi sono state effettuate considerando i limiti normativi associati alle abitazioni, nonostante non ci siano recettori aventi tale destinazione, ma solo un recettore con permanenza con presenza continuativa di personale in periodo diurno.

Come riportato all'interno del documento "AM-RTS10016" dedicato al "Report di individuazione dei fabbricati censiti", l'unico recettore con presenza di persone continuativa in periodo diurno, risulta essere il Recettore 60, che si posiziona ad una distanza di 432 m dal più vicino aerogeneratore denominato "ESC13". Confrontando la distanza tra il recettore e l'aerogeneratore ad esso più vicino, con le distanze indicate in tabella, si evince che sussistono ampi margini di sicurezza per ritenere l'impatto generato dalle lavorazioni non significativo.

In relazione al potenziale danno strutturale a carico degli edifici, si sottolinea, come già evidenziato in premessa, che le soglie indicate dalla UNI 9916:2014, mutuata dalla DIN 4150, sono significativamente superiori a quelle di riferimento per il disturbo alle persone. Ne consegue, pertanto, che la positiva verifica del rispetto dei valori guida stabiliti dalla UNI 9614 consente ragionevolmente di escludere il verificarsi di effetti dannosi a carico delle strutture dei più prossimi fabbricati.

## 9 CONSIDERAZIONI FINALI

Il presente documento, nell'ambito della realizzazione, dell'esercizio e della dismissione di un Parco Eolico sito nei territori comunali di Escalaplano ed Esterzili, ha analizzato le dinamiche di propagazione di vibrazioni pervenendo ad una stima dell'entità delle stesse e, in definitiva, ad una verifica dell'accettabilità degli effetti attesi in corrispondenza dei più prossimi fabbricati.

Quanto precede avuto riguardo delle soglie di riferimento indicate nelle seguenti norme tecniche:

- UNI 9614 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo";
- UNI 9916 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici".

In relazione al potenziale danno strutturale a carico degli edifici, va rilevato come le soglie indicate dalla UNI 9916:2014, mutate dalla DIN 4150, siano significativamente superiori a quelle di riferimento per il disturbo alle persone. Ne consegue, pertanto, che una positiva verifica del rispetto dei valori guida stabiliti dalla UNI 9614:2117 consente ragionevolmente di escludere il manifestarsi di effetti dannosi a carico degli edifici.

L'analisi circa il rispetto dei valori guida indicati dalla UNI 9614, è stata condotta avuto riguardo delle principali attività di costruzione previste nell'ambito della realizzazione dell'impianto eolico in progetto, comportanti l'impiego di mezzi meccanici di movimento terra e di trasporto materiali.

Le emissioni di vibrazione in fase di costruzione sono ampiamente variabili in relazione al tipo di attrezzatura/macchina operatrice impiegata, al contesto di utilizzazione e all'operatore.

Nel presente studio, in sintonia con quanto contemplato dalla UNI 9614 (, sono stati utilizzati sia dati di fonte bibliografica sia dati direttamente acquisiti da studi analoghi predisposti nell'ambito della VIA di importanti opere infrastrutturali realizzate a livello nazionale.

Le verifiche numeriche sono state condotte ricorrendo a note espressioni che interpretano il fenomeno della propagazione della vibrazione ad una data frequenza, avuto riguardo dei fenomeni di attenuazione dell'energia sismica all'aumentare della distanza dalla sorgente.

Dall'analisi dei recettori presenti nell'area emerge che l'unico recettore con presenza costante di persone in periodo diurno, periodo di riferimento del cantiere, risulta essere il n. 60. Ai fini della valutazione, pur non avendo destinazione residenziale, sono stati presi come riferimento i limiti normativi associati alle abitazioni in periodo diurno.

Durante l'analisi dei livelli vibratorii in fase di realizzazione/dismissione sono emerse le distanze per la quale il disturbo generato dalle diverse lavorazioni sia da considerarsi inferiore ai limiti normativi, ovvero:

**1. Realizzazione delle Fondazioni:**

- a. Considerando una velocità di propagazione del fenomeno vibratorio di 800 m/s, distanza dal cantiere entro la quale si evince il superamento della soglia del disturbo = 180 m;
- b. Considerando una velocità di propagazione del fenomeno vibratorio di 1000 m/s, distanza dal cantiere entro la quale si evince il superamento della soglia del disturbo = 205 m.

**2. Realizzazione delle Cavidotti:**

- a. Considerando una velocità di propagazione del fenomeno vibratorio di 800 m/s, distanza dal cantiere entro la quale si evince il superamento della soglia del disturbo = 100 m;
- b. Considerando una velocità di propagazione del fenomeno vibratorio di 1000 m/s, distanza dal cantiere entro la quale si evince il superamento della soglia del disturbo = 105 m.

**3. Realizzazione delle Viabilità:**

- a. Considerando una velocità di propagazione del fenomeno vibratorio di 800 m/s, distanza dal cantiere entro la quale si evince il superamento della soglia del disturbo = 20 m;
- b. Considerando una velocità di propagazione del fenomeno vibratorio di 1000 m/s, distanza dal cantiere entro la quale si evince il superamento della soglia del disturbo = 20 m.

Di conseguenza è stata eseguita una verifica di conformità con le distanze rilevate ed è emerso che il recettore nr.60 risulta posto comunque ben oltre tali distanze, ovvero, a circa 432 metri dall'aerogeneratore più vicino, per cui non sussistono le condizioni di disturbo.

In seguito all'approfondita analisi condotta sui livelli vibrazionali del parco eolico in fase di esercizio, emergono diverse considerazioni di rilievo.

- 1. Estensione delle Aree Interessate: Dall'esame dei risultati, si osserva che le aree potenzialmente soggette a impatto vibrometrico disturbante per gli occupanti degli edifici residenziali si estendono per circa 16 metri. Questo dato fornisce una panoramica chiara delle dimensioni dell'area coinvolta.**

- 2. Analisi Cautelativa e Limiti Normativi: Le analisi sono state condotte con un approccio cautelativo, considerando i limiti normativi associati alle abitazioni, nonostante l'assenza di recettori effettivamente destinati a tale uso. Questo approccio riflette un impegno nella valutazione conservativa dell'impatto vibrazionale.**
- 3. Recettore con Presenza Continuativa: Il Recettore 60, caratterizzato dalla presenza continuativa di personale durante il periodo diurno, si posiziona a una distanza di 432 metri dal più vicino aerogeneratore. L'analisi dimostra ampi margini di sicurezza rispetto alle distanze indicate in tabella, confermando che l'impatto delle lavorazioni è non significativo.**

In sintesi, le analisi vibrazionali evidenziano una gestione consapevole e attenta degli impatti del parco eolico, con risultati che indicano la conformità alle normative vigenti.

## BIBLIOGRAFIA

Bottio, R. Acustica e vibrazioni: riduzione del disturbo, miglioramento del comfort – in Dossier UNI, U&C n. 4 aprile 2018.

Farina A. Valutazione dei livelli di vibrazioni in edifici residenziali

D M Hiller, G I Crabb. Groundborne vibration caused by mechanised construction works. UK Transport Research Laboratory, 2000.

Pisani R. Origine, propagazione e modelli previsionali delle vibrazioni dei mezzi di trasporto  
EUROLINK S.C.p.A. Ponte sullo Stretto di Messina - Progetto Definitivo – Studio sulle vibrazioni, 2011.

ISPRA. Dispense corso di Formazione su Valutazione d'Impatto Ambientale (VIA). Roma, ottobre-novembre 2012.

## APPENDICE – TABELLE DI CALCOLO

Contesto Geologico	Metamorfiti
Lavorazione	Realizzazione fondazioni
Velocità di propagazione del fenomeno vibratorio	800 m/s
Verifica distanza di conformità per abitazioni (giorno) secondo UNI 9614:2017	

Macchinari	Escavatore	Autocarro	Martello Idraulico	Pala Gommata	Escavatore	Autocarro	Martello Idraulico	Pala Gommata	Spettro Combinato	Spettro Combinato	Ponderazione	Livello Finale Ponderato
f[Hz]	a(d0,f) [dB]	a(d0,f) [dB]	a(d0,f) [dB]	a(d0,f) [dB]	a(d0,f) [mm/sec2]	a(d0,f) [mm/sec2]	a(d0,f) [mm/sec2]	a(d0,f) [mm/sec2]	(Atot,f,d) [mm/sec2]	L(a,w,f) [dB]	[dB]	[dB]
1	0,00	0,00	51,68	0,00	0,00E+00	0,00E+00	3,91E-01	0,00E+00	3,91E-01	51,8	0	51,8
1,25	0,00	0,00	53,48	0,00	0,00E+00	0,00E+00	3,84E-01	0,00E+00	3,84E-01	51,7	0	51,7
1,6	0,00	0,00	54,25	38,54	0,00E+00	0,00E+00	4,72E-01	0,00E+00	4,72E-01	53,5	0	53,5
2	47,12	0,00	54,94	38,25	2,27E-01	0,00E+00	5,16E-01	8,46E-02	5,70E-01	55,1	0	55,1
2,5	46,83	0,00	59,53	37,85	2,19E-01	0,00E+00	5,59E-01	8,18E-02	6,06E-01	55,6	1	55,1
3,15	46,42	0,00	59,05	38,75	2,09E-01	0,00E+00	9,47E-01	7,80E-02	9,73E-01	59,8	1	58,8
4	45,96	28,07	62,45	38,87	1,99E-01	0,00E+00	8,96E-01	8,66E-02	9,22E-01	59,3	2	57,8
5	47,47	0,00	68,68	37,77	2,36E-01	2,53E-02	1,33E+00	8,78E-02	1,35E+00	62,6	2	60,6
6,3	47,88	24,39	78,66	40,42	2,48E-01	0,00E+00	2,72E+00	7,74E-02	2,73E+00	68,7	3	66,2
8	52,91	25,17	66,47	42,48	4,42E-01	1,66E-02	8,57E+00	1,05E-01	8,58E+00	78,7	3	75,7
10	54,11	29,45	61,97	42,14	5,08E-01	1,81E-02	2,11E+00	1,33E-01	2,17E+00	66,7	5	61,7
12,5	58,26	32,15	59,88	44,19	8,19E-01	2,97E-02	1,26E+00	1,28E-01	1,50E+00	63,5	7	56,5
16	53,73	40,30	72,50	45,39	4,86E-01	4,05E-02	9,87E-01	1,62E-01	1,11E+00	60,9	9	51,9
20	60,96	38,29	64,51	57,56	1,12E+00	1,04E-01	4,22E+00	1,86E-01	4,37E+00	72,8	11	61,8
25	60,56	37,14	63,63	53,79	1,07E+00	8,22E-02	1,68E+00	7,55E-01	2,13E+00	66,6	13	53,6
31,5	53,26	39,82	62,06	42,09	4,60E-01	7,19E-02	1,52E+00	4,89E-01	1,66E+00	64,4	15	49,4
40	44,25	33,26	55,59	41,98	1,63E-01	9,79E-02	1,27E+00	1,27E-01	1,29E+00	62,2	17	45,2
50	37,54	25,24	48,83	33,84	7,53E-02	4,60E-02	6,02E-01	1,26E-01	6,21E-01	55,9	19	36,9
63	26,48	13,10	37,68	18,90	2,11E-02	1,83E-02	2,76E-01	4,92E-02	2,82E-01	49,0	21	28,0
80	15,87	5,71	30,30	11,51	6,21E-03	4,52E-03	7,66E-02	8,81E-03	7,75E-02	37,8	23	14,8
									TOTALE	80,9	TOTALE	76,9

Parametri	Valore	U.M.
d0	10	m
d	180	m
(d-d0)	170	m
η	0,05	adim
c	800,00	m/s
n	0,5	adim

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

Limiti di riferimento per la massima accelerazione ponderata della sorgente		
Luogo	Aw[m/sec2]	Lw [dB]
Ospedali	2,00E-03	66
Asili e case di riposo	3,60E-03	71
Abitazioni (Notte)	5,00E-03	74
Abitazioni (Giorno)	7,20E-03	77
Abitazioni (Festivi)	5,40E-03	75
Scuole	5,40E-03	75
Uffici	1,44E-02	83
Fabbriche	2,88E-02	89

Contesto Geologico	Metamorfiti
Lavorazione	Realizzazione fondazioni
Velocità di propagazione del fenomeno vibratorio	1000 m/s
Verifica distanza di conformità per abitazioni (giorno) secondo UNI 9614:2017	

Macchinari	Escavatore	Autocarro	Martello Idraulico	Pala Gommata	Escavatore	Autocarro	Martello Idraulico	Pala Gommata	Spettro Combinato	Spettro Combinato	Ponderazione	Livello Finale Ponderato
f[Hz]	a(d0,f) [dB]	a(d0,f) [dB]	a(d0,f) [dB]	a(d0,f) [dB]	a(d0,f) [mm/sec2]	a(d0,f) [mm/sec2]	a(d0,f) [mm/sec2]	a(d0,f) [mm/sec2]	(Atot,f,d) [mm/sec2]	L(a,w,f) [dB]	[dB]	[dB]
1	0,00	0,00	51,32	0,00	0,00E+00	0,00E+00	3,68E-01	0,00E+00	3,68E-01	51,3	0	51,3
1,25	0,00	0,00	51,18	0,00	0,00E+00	0,00E+00	3,62E-01	0,00E+00	3,62E-01	51,2	0	51,2
1,6	0,00	0,00	52,99	0,00	0,00E+00	0,00E+00	4,46E-01	0,00E+00	4,46E-01	53,0	0	53,0
2	46,65	0,00	53,79	38,07	2,15E-01	0,00E+00	4,89E-01	8,01E-02	5,40E-01	54,6	0	54,6
2,5	46,38	0,00	54,51	37,81	2,08E-01	0,00E+00	5,31E-01	7,77E-02	5,76E-01	55,2	1	54,7
3,15	46,01	0,00	59,13	37,44	2,00E-01	0,00E+00	9,04E-01	7,44E-02	9,29E-01	59,4	1	58,4
4	45,58	0,00	58,69	38,38	1,90E-01	0,00E+00	8,60E-01	8,30E-02	8,85E-01	58,9	2	57,4
5	47,14	27,74	62,14	38,54	2,28E-01	2,44E-02	1,28E+00	8,45E-02	1,30E+00	62,3	2	60,3
6,3	47,61	0,00	68,43	37,51	2,40E-01	0,00E+00	2,64E+00	7,51E-02	2,65E+00	68,5	3	66,0
8	52,73	24,21	78,51	40,24	4,33E-01	1,62E-02	8,42E+00	1,03E-01	8,43E+00	78,5	3	75,5
10	54,03	25,08	66,42	42,39	5,03E-01	1,80E-02	2,09E+00	1,32E-01	2,16E+00	66,7	5	61,7
12,5	58,29	29,48	62,05	42,17	8,22E-01	2,98E-02	1,27E+00	1,28E-01	1,51E+00	63,6	7	56,6
16	53,93	32,35	60,14	44,39	4,97E-01	4,14E-02	1,02E+00	1,66E-01	1,14E+00	61,2	9	52,2
20	61,35	40,69	72,96	45,78	1,17E+00	1,08E-01	4,44E+00	1,95E-01	4,60E+00	73,3	11	62,3
25	61,18	38,92	65,23	58,19	1,15E+00	8,83E-02	1,83E+00	8,12E-01	2,30E+00	67,3	13	54,3
31,5	54,20	38,08	64,68	54,73	5,13E-01	8,02E-02	1,71E+00	5,45E-01	1,87E+00	65,4	15	50,4
40	45,60	41,16	63,54	43,44	1,91E-01	1,14E-01	1,50E+00	1,49E-01	1,53E+00	63,7	17	46,7
50	39,36	35,08	57,58	43,80	9,29E-02	5,68E-02	7,57E-01	1,55E-01	7,81E-01	57,8	19	38,8
63	28,92	27,68	51,49	36,28	2,79E-02	2,42E-02	3,75E-01	6,52E-02	3,83E-01	51,7	21	30,7
80	19,12	16,36	41,21	22,16	9,04E-03	6,57E-03	1,15E-01	1,28E-02	1,16E-01	41,3	23	18,3
									TOTALE	80,9	TOTALE	76,7

Parametri	Valore	U.M.
d0	10	m
d	205	m
(d-d0)	195	m
η	0,05	adim
c	1000,00	m/s
n	0,5	adim

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

Limiti di riferimento per la massima accelerazione ponderata della sorgente		
Luogo	Aw[m/sec2]	Lw [dB]
Ospedali	2,00E-03	66
Asili e case di riposo	3,60E-03	71
Abitazioni (Notte)	5,00E-03	74
Abitazioni (Giorno)	7,20E-03	77
Abitazioni (Festivi)	5,40E-03	75
Scuole	5,40E-03	75
Uffici	1,44E-02	83
Fabbriche	2,88E-02	89

Contesto Geologico	Metamorfiti
Lavorazione	Realizzazione Cavidotti
Velocità di propagazione del fenomeno vibratorio	800 m/s
Verifica distanza di conformità per abitazioni (giorno) secondo UNI 9614:2017	

Macchinari	Escavatore	Autocarro	Escavatore	Autocarro	Spettro Combinato	Spettro Combinato	Ponderazione	Livello Finale Ponderato
f[Hz]	a(d0,f) [dB]	a(d0,f) [dB]	a(d0,f) [mm/sec2]	a(d0,f) [mm/sec2]	(A <sub>tot</sub> ,f,d) [mm/sec2]	L(a,w,f) [dB]	[dB]	[dB]
1	0,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0	0	0,0
1,25	0,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0	0	0,0
1,6	0,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0	0	0,0
2	57,75	0,00	7,72E-01	0,00E+00	7,72E-01	57,7	0	57,7
2,5	57,73	0,00	7,70E-01	0,00E+00	7,70E-01	57,7	1	57,2
3,15	57,71	0,00	7,68E-01	0,00E+00	7,68E-01	57,7	1	56,7
4	57,68	40,34	7,66E-01	0,00E+00	7,66E-01	57,7	2	56,2
5	59,74	0,00	9,71E-01	1,04E-01	9,76E-01	59,8	2	57,8
6,3	60,86	38,30	1,10E+00	0,00E+00	1,10E+00	60,9	3	58,4
8	66,82	40,17	2,19E+00	8,22E-02	2,19E+00	66,8	3	63,8
10	69,11	45,81	2,86E+00	1,02E-01	2,86E+00	69,1	5	64,1
12,5	74,63	50,42	5,39E+00	1,95E-01	5,39E+00	74,6	7	67,6
16	72,01	60,76	3,98E+00	3,32E-01	4,00E+00	72,0	9	63,0
20	81,41	61,48	1,18E+01	1,09E+00	1,18E+01	81,5	11	70,5
25	83,74	63,87	1,54E+01	1,19E+00	1,54E+01	83,8	13	70,8
31,5	80,00	71,19	1,00E+01	1,56E+00	1,01E+01	80,1	15	65,1
40	75,63	70,09	6,04E+00	3,63E+00	7,05E+00	77,0	17	60,0
50	74,37	69,16	5,23E+00	3,20E+00	6,13E+00	75,7	19	56,7
63	70,40	66,30	3,31E+00	2,87E+00	4,38E+00	72,8	21	51,8
80	69,07	66,30	2,84E+00	2,07E+00	3,51E+00	70,9	23	47,9
					TOTALE	88,2	TOTALE	76,4

Parametri	Valore	U.M.
d0	10	m
d	20	m
(d-d0)	10	m
η	0,05	adim
c	800,00	m/s
n	0,5	adim

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

Limiti di riferimento per la massima accelerazione ponderata della sorgente		
Luogo	Aw[m/sec2]	Lw [dB]
Ospedali	2,00E-03	66
Asili e case di riposo	3,60E-03	71
Abitazioni (Notte)	5,00E-03	74
Abitazioni (Giorno)	7,20E-03	77
Abitazioni (Festivi)	5,40E-03	75
Scuole	5,40E-03	75
Uffici	1,44E-02	83
Fabbriche	2,88E-02	89

Contesto Geologico	Metamorfiti
Lavorazione	Realizzazione Cavidotti
Velocità di propagazione del fenomeno vibratorio	1000 m/s
Verifica distanza di conformità per abitazioni (giorno) secondo UNI 9614:2017	

Macchinari	Escavatore	Autocarro	Escavatore	Autocarro	Spettro Combinato	Spettro Combinato	Ponderazione	Livello Finale Ponderato
f[Hz]	a(d0,f) [dB]	a(d0,f) [dB]	a(d0,f) [mm/sec2]	a(d0,f) [mm/sec2]	(A <sub>tot</sub> ,f,d) [mm/sec2]	L(a,w,f) [dB]	[dB]	[dB]
1	0,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0	0	0,0
1,25	0,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0	0	0,0
1,6	0,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0	0	0,0
2	57,76	0,00	4,17E-01	0,00E+00	7,73E-01	57,8	0	57,8
2,5	57,75	0,00	4,13E-01	0,00E+00	7,72E-01	57,7	1	57,2
3,15	57,73	0,00	4,08E-01	0,00E+00	7,70E-01	57,7	1	56,7
4	57,71	40,38	4,03E-01	0,00E+00	7,68E-01	57,7	2	56,2
5	59,78	0,00	5,04E-01	1,04E-01	9,80E-01	59,8	2	57,8
6,3	60,90	38,36	5,63E-01	0,00E+00	1,11E+00	60,9	3	58,4
8	66,87	40,24	1,09E+00	8,27E-02	2,21E+00	66,9	3	63,9
10	69,18	45,90	1,39E+00	1,03E-01	2,88E+00	69,2	5	64,2
12,5	74,71	50,53	2,53E+00	1,97E-01	5,44E+00	74,7	7	67,7
16	72,12	60,90	1,78E+00	3,36E-01	4,05E+00	72,1	9	63,1
20	81,55	61,65	5,00E+00	1,11E+00	1,20E+01	81,6	11	70,6
25	83,91	64,09	6,11E+00	1,21E+00	1,57E+01	83,9	13	70,9
31,5	80,21	71,46	3,64E+00	1,60E+00	1,04E+01	80,3	15	65,3
40	75,90	70,43	1,97E+00	3,74E+00	7,27E+00	77,2	17	60,2
50	74,71	69,59	1,49E+00	3,32E+00	6,37E+00	76,1	19	57,1
63	70,83	66,85	7,92E-01	3,02E+00	4,61E+00	73,3	21	52,3
80	69,61	66,85	5,41E-01	2,20E+00	3,74E+00	71,5	23	48,5
					TOTALE	88,4	TOTALE	76,6

Parametri	Valore	U.M.
d0	10	m
d	20	m
(d-d0)	10	m
η	0,05	adim
c	1000,00	m/s
n	0,5	adim

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

Limiti di riferimento per la massima accelerazione ponderata della sorgente		
Luogo	Aw[m/sec2]	Lw [dB]
Ospedali	2,00E-03	66
Asili e case di riposo	3,60E-03	71
Abitazioni (Notte)	5,00E-03	74
Abitazioni (Giorno)	7,20E-03	77
Abitazioni (Festivi)	5,40E-03	75
Scuole	5,40E-03	75
Uffici	1,44E-02	83
Fabbriche	2,88E-02	89

Contesto Geologico	Metamorfiti
Lavorazione	Realizzazione Viabilità
Velocità di propagazione del fenomeno vibratorio	800 m/s
Verifica distanza di conformità per abitazioni (giorno) secondo UNI 9614:2017	

Macchinari	Escavatore	Autocarro	Rullo	Pala Gommata	Escavatore	Autocarro	Rullo	Pala Gommata	Spettro Combinato	Spettro Combinato	Ponderazione	Livello Finale Ponderato
f[Hz]	a(d0,f) [dB]	a(d0,f) [dB]	a(d0,f) [dB]	a(d0,f) [dB]	a(d0,f) [mm/sec2]	a(d0,f) [mm/sec2]	a(d0,f) [mm/sec2]	a(d0,f) [mm/sec2]	(Atot,f,d) [mm/sec2]	L(a,w,f) [dB]	[dB]	[dB]
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,00E-06	-60,0	0	-60,0
1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,00E-06	-60,0	0	-60,0
1,6	0,00	0,00	53,47	41,64	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,00E-06	-60,0	0	-60,0
2	50,21	0,00	53,84	41,49	3,24E-01	0,00E+00	4,71E-01	1,21E-01	5,85E-01	55,3	0	55,3
2,5	50,06	0,00	55,04	41,27	3,18E-01	0,00E+00	4,92E-01	1,19E-01	5,98E-01	55,5	1	55,0
3,15	49,85	0,00	47,36	42,40	3,11E-01	0,00E+00	5,65E-01	1,16E-01	6,55E-01	56,3	1	55,3
4	49,60	31,99	63,73	42,79	3,02E-01	0,00E+00	2,33E-01	1,32E-01	4,04E-01	52,1	2	50,6
5	51,39	0,00	68,89	42,05	3,71E-01	3,98E-02	1,54E+00	1,38E-01	1,59E+00	64,0	2	62,0
6,3	52,15	29,13	72,65	45,16	4,05E-01	0,00E+00	2,78E+00	1,27E-01	2,82E+00	69,0	3	66,5
8	57,65	30,45	72,95	47,76	7,63E-01	2,86E-02	4,29E+00	1,81E-01	4,36E+00	72,8	3	69,8
10	59,40	35,41	78,20	48,10	9,33E-01	3,33E-02	4,44E+00	2,44E-01	4,55E+00	73,2	5	68,2
12,5	64,22	39,07	77,13	51,11	1,63E+00	5,90E-02	8,13E+00	2,54E-01	8,30E+00	78,4	7	71,4
16	60,65	48,31	69,88	53,40	1,08E+00	8,98E-02	7,19E+00	3,59E-01	7,28E+00	77,2	9	68,2
20	68,97	47,67	54,37	66,93	2,81E+00	2,60E-01	3,12E+00	4,68E-01	4,23E+00	72,5	11	61,5
25	69,93	48,29	61,91	64,94	3,14E+00	2,42E-01	5,23E-01	2,22E+00	3,89E+00	71,8	13	58,8
31,5	64,41	53,28	54,62	55,56	1,66E+00	2,60E-01	1,25E+00	1,77E+00	2,74E+00	68,8	15	53,8
40	57,72	49,46	46,01	58,17	7,69E-01	4,62E-01	5,38E-01	6,00E-01	1,21E+00	61,6	17	44,6
50	53,74	44,98	44,64	53,58	4,86E-01	2,97E-01	2,00E-01	8,10E-01	1,01E+00	60,1	19	41,1
63	46,22	37,48	37,48	43,28	2,05E-01	1,77E-01	1,71E-01	4,78E-01	5,75E-01	55,2	21	34,2
80	40,25	37,48	37,48	43,28	1,03E-01	7,48E-02	7,48E-02	1,46E-01	2,08E-01	46,3	23	23,3
TOTALE										83,4	TOTALE	76,6

Parametri	Valore	U.M.
d0	10	m
d	100	m
(d-d0)	90	m
η	0,05	adim
c	800,00	m/s
n	0,5	adim

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

Limiti di riferimento per la massima accelerazione ponderata della sorgente		
Luogo	Aw[m/sec2]	Lw [dB]
Ospedali	2,00E-03	66
Asili e case di riposo	3,60E-03	71
Abitazioni (Notte)	5,00E-03	74
Abitazioni (Giorno)	7,20E-03	77
Abitazioni (Festivi)	5,40E-03	75
Scuole	5,40E-03	75
Uffici	1,44E-02	83
Fabbriche	2,88E-02	89

Contesto Geologico	Metamorfiti
Lavorazione	Realizzazione Vabilità
Velocità di propagazione del fenomeno vibratorio	1000 m/s
Verifica distanza di conformità per abitazioni (giorno) secondo UNI 9614:2017	

Macchinari	Escavatore	Autocarro	Rullo	Pala Gommata	Escavatore	Autocarro	Rullo	Pala Gommata	Spettro Combinato	Spettro Combinato	Ponderazione	Livello Finale Ponderato
f[Hz]	a(d0,f) [dB]	a(d0,f) [dB]	a(d0,f) [dB]	a(d0,f) [dB]	a(d0,f) [mm/sec2]	a(d0,f) [mm/sec2]	a(d0,f) [mm/sec2]	a(d0,f) [mm/sec2]	(Atot,f,d) [mm/sec2]	L(a,w,f) [dB]	[dB]	[dB]
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,00E-06	-60,0	0	-60,0
1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,00E-06	-60,0	0	-60,0
1,6	0,00	0,00	53,59	41,76	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,00E-06	-60,0	0	-60,0
2	50,34	0,00	54,00	41,64	3,29E-01	0,00E+00	4,78E-01	1,23E-01	5,93E-01	55,5	0	55,5
2,5	50,21	0,00	55,23	41,47	3,24E-01	0,00E+00	5,01E-01	1,21E-01	6,09E-01	55,7	1	55,2
3,15	50,04	0,00	47,61	42,64	3,18E-01	0,00E+00	5,78E-01	1,18E-01	6,70E-01	56,5	1	55,5
4	49,85	32,29	64,04	43,09	3,11E-01	0,00E+00	2,40E-01	1,36E-01	4,15E-01	52,4	2	50,9
5	51,69	0,00	69,28	42,43	3,84E-01	4,12E-02	1,59E+00	1,43E-01	1,64E+00	64,3	2	62,3
6,3	52,54	29,62	73,14	45,65	4,23E-01	0,00E+00	2,91E+00	1,32E-01	2,94E+00	69,4	3	66,9
8	58,14	31,07	73,56	48,37	8,07E-01	3,03E-02	4,54E+00	1,92E-01	4,62E+00	73,3	3	70,3
10	60,01	36,18	78,97	48,87	1,00E+00	3,58E-02	4,77E+00	2,62E-01	4,88E+00	73,8	5	68,8
12,5	64,99	40,05	78,11	52,09	1,78E+00	6,44E-02	8,88E+00	2,78E-01	9,06E+00	79,1	7	72,1
16	61,63	49,54	71,11	54,63	1,21E+00	1,01E-01	8,05E+00	4,02E-01	8,15E+00	78,2	9	69,2
20	70,19	49,20	55,90	68,47	3,23E+00	3,00E-01	3,59E+00	5,39E-01	4,87E+00	73,8	11	62,8
25	71,46	50,22	63,85	66,87	3,74E+00	2,89E-01	6,24E-01	2,65E+00	4,64E+00	73,3	13	60,3
31,5	66,35	55,74	57,08	58,02	2,08E+00	3,24E-01	1,56E+00	2,21E+00	3,42E+00	70,7	15	55,7
40	60,18	52,53	49,08	61,24	1,02E+00	6,12E-01	7,14E-01	7,96E-01	1,60E+00	64,1	17	47,1
50	56,81	48,85	48,51	57,45	6,92E-01	4,23E-01	2,85E-01	1,15E+00	1,44E+00	63,2	19	44,2
63	50,09	42,39	42,39	48,19	3,20E-01	2,77E-01	2,66E-01	7,46E-01	8,98E-01	59,1	21	38,1
80	45,16	42,39	42,39	48,19	1,81E-01	1,32E-01	1,32E-01	2,57E-01	3,65E-01	51,3	23	28,3
									TOTALE	84,3	TOTALE	77,3

Parametri	Valore	U.M.
d0	10	m
d	100	m
(d-d0)	90	m
η	0,05	adim
c	800,00	m/s
n	0,5	adim

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

Limiti di riferimento per la massima accelerazione ponderata della sorgente		
Luogo	Aw[m/sec2]	Lw [dB]
Ospedali	2,00E-03	66
Asili e case di riposo	3,60E-03	71
Abitazioni (Notte)	5,00E-03	74
Abitazioni (Giorno)	7,20E-03	77
Abitazioni (Festivi)	5,40E-03	75
Scuole	5,40E-03	75
Uffici	1,44E-02	83
Fabbriche	2,88E-02	89