

REGIONE SARDEGNA  
PROVINCE DI ORISTANO E NUORO  
Suni(OR) - Sindia (NU) - Macomer (NU)

LOCALITA' "S'ena e Cheos ", "Tiruddone", "Ferralzos"

# PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE - 7 AEROGENERATORI

Sezione SIA:

## STUDIO IMPATTO AMBIENTALE

Titolo elaborato:

### Studio sulle vibrazioni

N. Elaborato: SIA07.IA.03

Scala: -

Proponente

### ORTA ENERGY 9 Srl

Largo Guido Donegani, 2  
CAP 20121 Milano (MI)  
P.Iva 11898400962

Amministratore

**Francesco DOLZANI**

Progettazione



**sede legale e operativa**

San Martino Sannita (BN) Loc. Chianarile snc Area Industriale

**sede operativa**

Lucera (FG) via A. La Cava 114

P.IVA 01465940623

**Azienda con sistema gestione qualità Certificato N. 50 100 11873**





Progettista

**Dott. Ing. Massimo Lepore**




Rev.	Data	Elaborazione	Approvazione	Emissione	DESCRIZIONE
00	LUGLIO 2023	GDS sigla	GT sigla	ML sigla	Emissione progetto definitivo
Nome File sorgente	ES.SUN01.PD.SIA07.IA.03.R00.doc	Nome file stampa	ES.SUN01.SIA07.IA.03.R00.pdf	Formato di stampa	A4

 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO SULLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA07.IA.03.R00 27/07/2023 30/07/2023 00 2 di 30
---	--------------------------------	---	---

	<b>STUDIO SULLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA07.IA.03.R00 27/07/2023 30/07/2023 00 3 di 30
---	--------------------------------	---	---

# INDICE

<b>1.</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>4</b>
<b>1.1.</b>	<b>DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO</b>	<b>5</b>
<b>1.2.</b>	<b>INDIVIDUAZIONE E SCELTA DEI RECETTORI</b>	<b>10</b>
<b>2.</b>	<b>CENNI TEORICI SULLE VIBRAZIONI</b>	<b>15</b>
<b>2.1.</b>	<b>DEFINIZIONI E NOZIONI GENERALI (FONTE ISPRA)</b>	<b>15</b>
<b>2.2.</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	<b>17</b>
<b>2.3.</b>	<b>CASO STUDIO E PARAMETRI DI TRASMISSIONE DELLE VIBRAZIONI</b>	<b>18</b>
<b>2.4.</b>	<b>MODELLO PREVISIONALE</b>	<b>19</b>
<b>2.5.</b>	<b>RISCHIO DEL DANNO A STRUTTURE ED EDIFICI</b>	<b>21</b>
<b>2.6.</b>	<b>RISCHIO ESPOSIZIONE UMANA – RISCHIO DISTURBO</b>	<b>21</b>
<b>2.7.</b>	<b>VIBRAZIONE ED AREE DI CANTIERE PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTI EOLICI</b>	<b>22</b>
<b>2.8.</b>	<b>VIBRAZIONI DI IMPIANTI EOLICI IN FASE DI ESERCIZIO</b>	<b>23</b>
<b>3.</b>	<b>STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI ESERCIZIO</b>	<b>24</b>
<b>4.</b>	<b>STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI CANTIERE</b>	<b>27</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>29</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>30</b>

 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO SULLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA07.IA.03.R00 27/07/2023 30/07/2023 00 4 di 30
---	--------------------------------	---	---

## 1. PREMESSA

Il progetto descritto nella presente relazione riguarda la realizzazione di un impianto eolico costituito da 7 aerogeneratori della potenza di 6 MW ciascuno, per una potenza di 42 MW, integrato con un sistema di accumulo con batterie agli ioni da 20 MW, per una potenza complessiva in immissione di 62 MW da installare nel comune di Suni (OR) e Sindia (NU) alle località "S'ena e Cheos", "Tiruddone" e "Ferralzos", con opere di connessione alla rete di trasmissione nazionale ricadenti nel comune Macomer (NU) alla località "Mura de Putzu". Proponente dell'iniziativa è la società Orta Energy 9 srl.

Il sito di installazione degli aerogeneratori è ubicato tra i centri abitati di Suni e Sindia, dai quali gli aerogeneratori più prossimi distano rispettivamente 4,5 km e 2,5 km.

Gli aerogeneratori sono collegati tra loro mediante un cavidotto in media tensione interrato denominato "cavidotto interno" che sarà posato quasi totalmente al di sotto di viabilità esistente e che giunge fino alla cabina di raccolta, prevista nel comune di Sindia alla località "Piena Porcalzos" nei pressi della strada comunale Miali Spina.

Dalla cabina di raccolta parte il tracciato del cavidotto interrato in media tensione "esterno", che corre su strada esistente e che, dopo circa 19 km, raggiunge la stazione elettrica di trasformazione 30/150 kV di progetto (in breve SE di utenza).

La SE di utenza, infine, è collegata in antenna a 150 kV sulla sezione a 150 kV della futura Stazione Elettrica (SE) di trasformazione 380/150 kV della RTN da inserire in entra-esce alla linea a 380 kV "Ittiri - Selargius".


All'interno della stazione di utenza è prevista l'installazione di un sistema di accumulo di energia denominato BESS - Battery Energy Storage System, basato su tecnologia elettrochimica a ioni di litio, comprendente gli elementi di accumulo, il sistema di conversione DC/AC e il sistema di elevazione con trasformatore e quadro di interfaccia. Il sistema di accumulo è dimensionato per 20 MW con soluzione containerizzata, composto sostanzialmente da:

- 16 Container metallici Batterie HC ISO con relativi sistemi di comando e controllo;
- 8 Container metallici PCS HC ISO per le unità inverter completi di quadri servizi ausiliari e relativi pannelli di controllo e trasformazione BT/MT.

Completano il quadro delle opere da realizzare una serie di adeguamenti temporanei alle strade esistenti necessari a consentire il passaggio dei mezzi eccezionali di trasporto delle strutture costituenti gli aerogeneratori.

In fase di realizzazione dell'impianto sarà necessario predisporre un'area logistica di cantiere con le funzioni di stoccaggio materiali e strutture, ricovero mezzi, disposizione dei baraccamenti necessari alle maestranze (fornitore degli aerogeneratori, costruttore delle opere civili ed elettriche) e alle figure deputate al controllo della realizzazione (Committenza dei lavori, Direzione Lavori, Coordinatore della Sicurezza in fase di esecuzione, Collaudatore).

La presente relazione, nel dettaglio, si pone lo scopo di valutare l'entità delle vibrazioni trasmesse durante la fase di cantiere, per la realizzazione del progetto, e durante la fase di esercizio del parco

	<b>STUDIO SULLE VIBRAZIONI</b>	Codice	ES.SUN01.SIA07.IA.03.R00
		Data creazione	27/07/2023
		Data ultima modif.	30/07/2023
		Revisione	00
		Pagina	5 di 30

eolico al fine di verificare che queste non arrechino disturbo alle attività circostanti, alla popolazione umana ed in generale ai recettori sensibili.

## 1.1. Descrizione sintetica del progetto

Come anticipato il progetto prevede la futura realizzazione di un impianto di produzione di energia da fonte eolica costituito da 7 aerogeneratori con caratteristiche dimensionali di 162 m di diametro di rotore, altezza al mozzo fissata a 125 m s.l.t. e di potenza elettrica nominale fino ad un massimo di 6,0 MW per una potenza complessiva pari ad un massimo 42,0 MW, integrato con un sistema di accumulo con batterie agli ioni da 20 MW, per una potenza complessiva in immissione di 62 MW da installare in agro dei Comuni di Suni (OR) e Sindia (NU) alle località “S’ena e Cheos”, “Tiruddone” e “Ferralzos”, con opere di connessione alla rete di trasmissione nazionale ricadenti nel comune Macomer (NU) alla località “Mura de Putzu”.

Le tabelle a seguire individuano le coordinate e le caratteristiche degli aerogeneratori di progetto e nelle figure successive l’inquadramento territoriale dell’area di installazione su cartografia OpenTopoMap ed ortofoto satellitare estratta da Google Earth.

**Tabella 1: Coordinate, tipologia e caratteristiche principali degli aerogeneratori di progetto.**

ID WTG	Gauss Boaga west ROMA40 EST [m]	Gauss Boaga west ROMA40 NORD [m]	Altitudine s.l.m. [m]	Modello aerogeneratore	Altezza mozzo s.l.t. [m]	Potenza [KW]
T01	1468260	4462098	427	VESTAS V162	125	6,0
T02	1466772	4461546	400	VESTAS V162	125	6,0
T03	1465955	4462208	380	VESTAS V162	125	6,0
T04	1466186	4460759	400	VESTAS V162	125	6,0
T05	1466311	4462587	389	VESTAS V162	125	6,0
T06	1467217	4462333	417	VESTAS V162	125	6,0
T07	1466765	4463535	360	VESTAS V162	125	6,0
<b>Media Totale</b>			<b>396</b>			<b>42.000</b>



**Figura 1: Inquadramento geografico del sito di progetto: regione Sardegna, provincia di Oristano, nei comuni di Suni (OR) e Sindia (NU)**



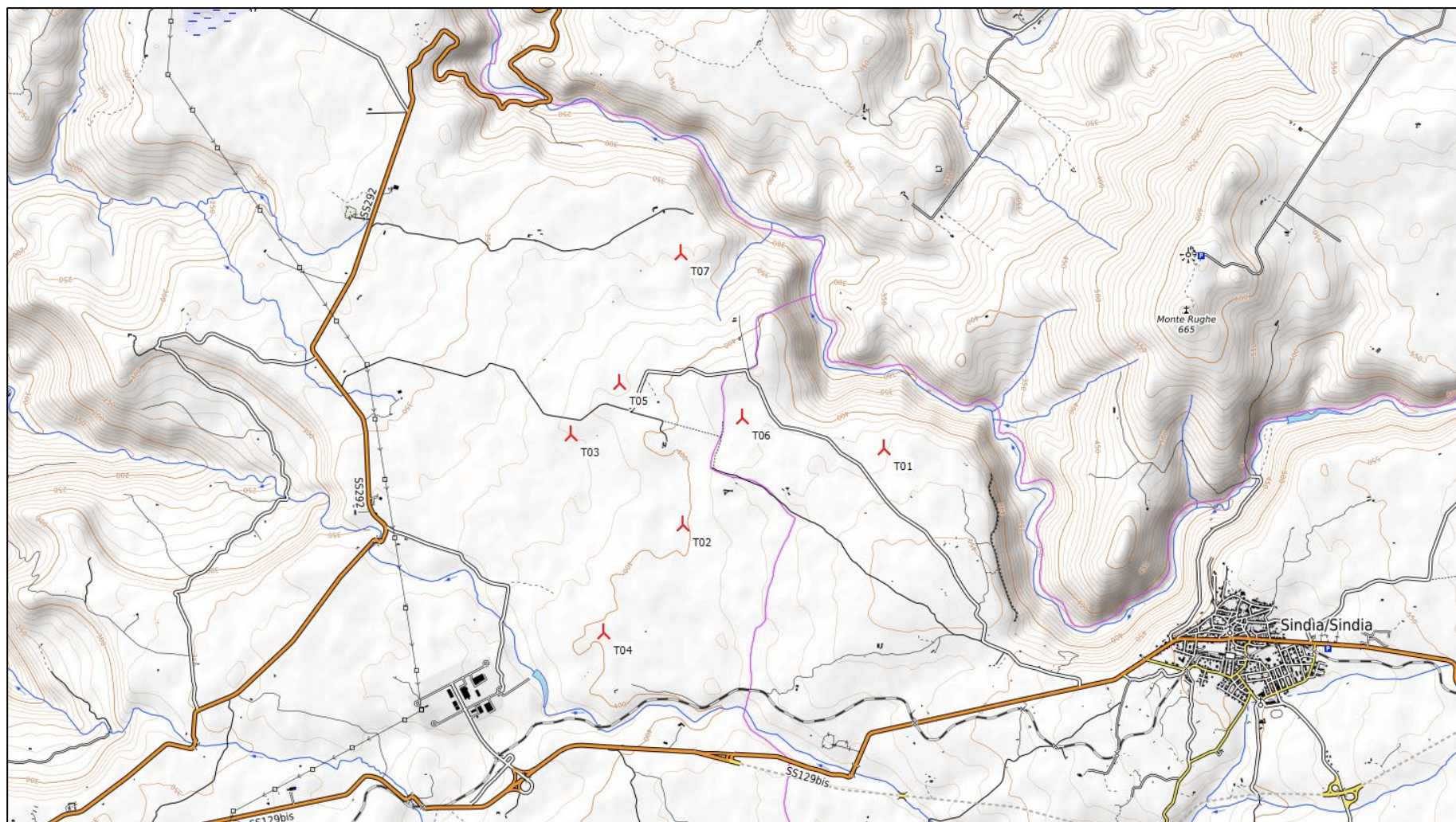



Figura 2: Individuazione geografica degli aerogeneratori di progetto su stralcio cartografico OpenTopoMap (icone in rosso).



 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO SULLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA07.IA.03.R00 27/07/2023 30/07/2023 00 8 di 30
---	--------------------------------	---	---

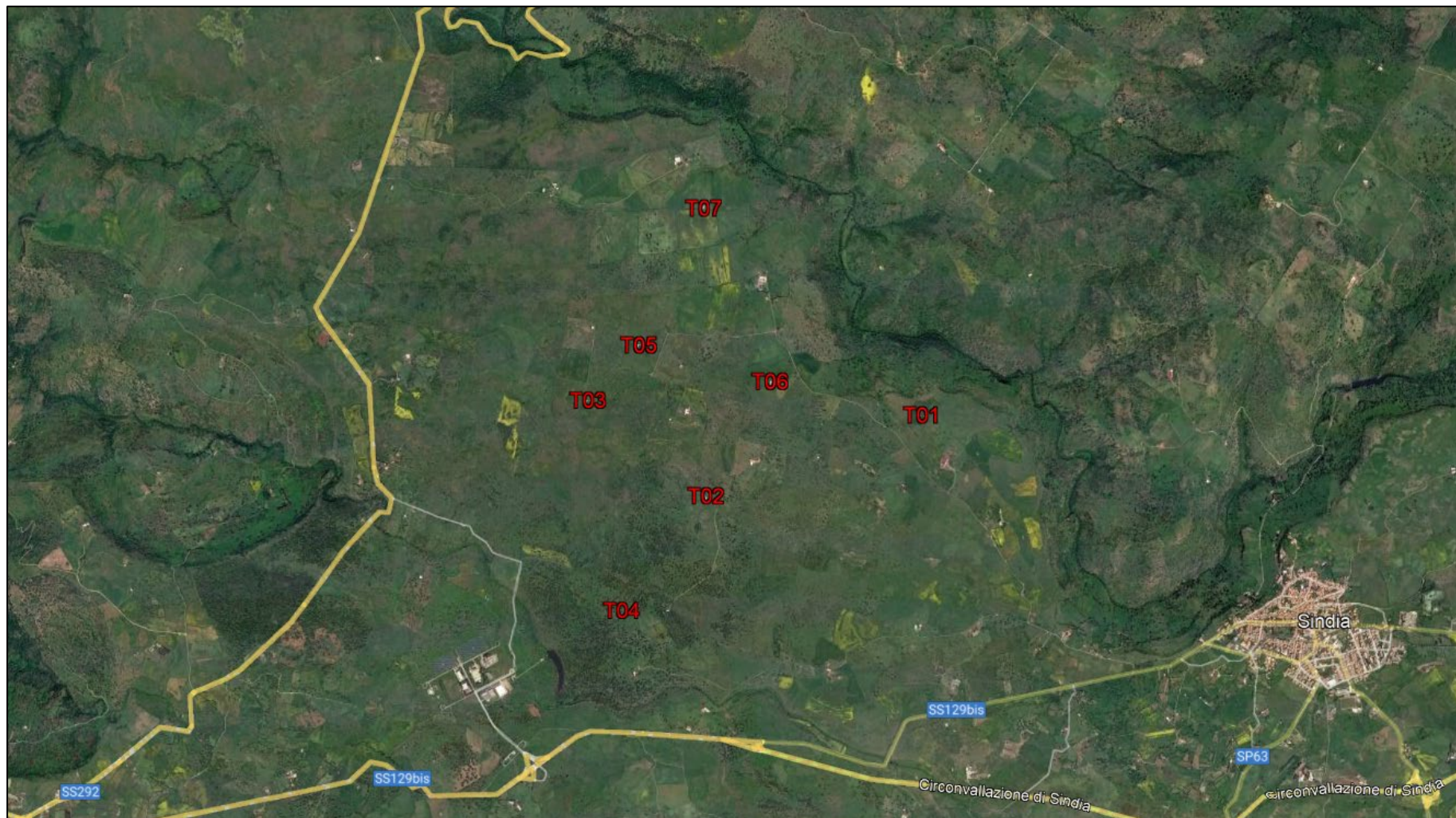


Figura 3: Inquadramento territoriale su ortofoto planimetrica degli aerogeneratori di progetto (etichette in rosso).



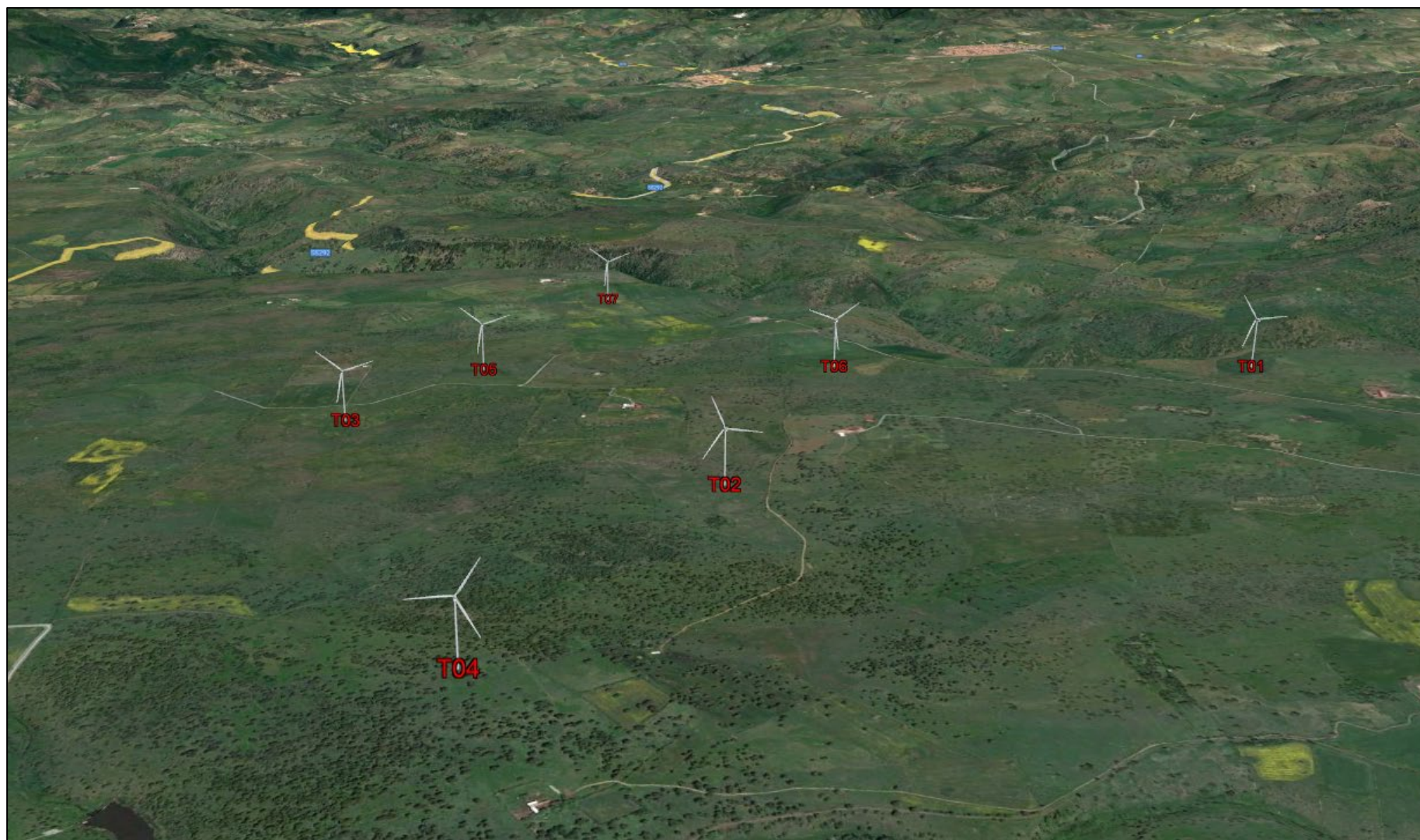


TENPROJECT


**STUDIO SULLE VIBRAZIONI**

Codice  
Data creazione  
Data ultima modif.  
Revisione  
Pagina

ES.SUN01.SIA07.IA.03.R00  
27/07/2023  
30/07/2023  
00  
9 di 30



**Figura 4: Individuazione degli aerogeneratori di progetto (etichette in rosso) su ortofoto 3D con vista da Sud verso Nord.**

 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO SULLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA07.IA.03.R00 27/07/2023 30/07/2023 00 10 di 30
---	--------------------------------	---	--

## 1.2. Individuazione e scelta dei recettori

Ai fini della previsione degli impatti indotti dall'impianto di progetto, sono stati individuati i "ricettori sensibili", facendo riferimento al **DPCM 14/11/97** e alla **Legge Quadro n.447/95**, che stabiliscono che la verifica dei limiti di immissione acustica va effettuata in corrispondenza degli ambienti abitativi, definiti come:

*"ogni ambiente interno ad un edificio destinato alla permanenza di persone o di comunità ed utilizzato per le diverse attività umane, fatta eccezione per gli ambienti destinati ad attività produttive per i quali resta ferma la disciplina di cui al D.Lgs. 15 agosto 1991, n. 277 (2), salvo per quanto concerne l'immissione di rumore da sorgenti sonore esterne ai locali in cui si svolgono le attività produttive".*

Il recente DM 01/06/2022 per la valutazione e il monitoraggio dell'impatto acustico degli impianti eolici", individuano in 1,5 Km il limite entro il quale la fonte emissiva può essere considerata impattante. Il documento di riferimento recita, infatti, testualmente tra le definizioni: << *Aerogeneratore potenzialmente impattante: aerogeneratore di un impianto eolico soggetto a valutazione; nel caso di un impianto eolico con più aerogeneratori, aerogeneratore a vista con distanza ricettore-aerogeneratore inferiore a 1,5 km oppure, qualora  $\min\{3r1;20D\} \geq 1,5$  km, inferiore a  $\min\{3r1;20D\}$  dove  $r1$  è la distanza tra il ricettore e l'aerogeneratore più vicino mentre  $D$  è il diametro del rotore; >>.*

Per il sito in esame, sono state prese in considerazione e valutate tutte le strutture presenti in un 'areale di 1000 m di distanza da ciascun aerogeneratore poiché, specifiche simulazioni hanno dato evidenza di come già a 600 m di distanza il contributo ai recettori delle sorgenti di progetto resta al di sotto di 37dB(A). Per il dettaglio dei criteri di scelta dei recettori considerati per l'impatto dovuto alle vibrazioni derivante dal funzionamento e dall'installazione delle turbine della wind farm si faccia riferimento agli elaborati del SIA (Studio Di Impatto Ambientale).


Pertanto, sono state individuate 37 strutture aventi caratteristiche di abitabilità tali da risultare le uniche strutture potenzialmente esposte alle emissioni acustiche e alle vibrazioni derivanti dall'esercizio della wind farm e dal funzionamento dei macchinari e dei mezzi di movimentazione che operano durante la fase di cantiere nei pressi del sito di installazione della wind farm.

È opportuno precisare che alcuni dei recettori sono relativi alla sola attività di scavo e di posa in opera del cavidotto di connessione dell'impianto eolico alla stazione elettrica di trasformazione, e sono stati individuati in un buffer di 100 m di distanza dal tracciato dello stesso.

A seguire saranno proposte le tabelle di inquadramento dei recettori relativi all'area di installazione delle turbine, dei recettori individuati per la fase di realizzazione del cavidotto esterno e la tabella con le distanze intercorrenti tra ciascuna turbina di progetto ed i recettori sensibili ad esse associati.

Si aggiunga che i recettori denominati come "RXX" appartengono alla categoria catastale A, mentre quelli denominati "DXX" rientrano nella classificazione catastale "D10".

Nel seguito si riportano le immagini relative alle porzioni di territorio interessate rispettivamente dalle turbine di progetto, dai recettori individuati e considerati nel modello di stima previsionale, e dal cavidotto di trasporto dell'energia elettrica verso il punto di consegna

	<b>STUDIO SULLE VIBRAZIONI</b>	Codice	ES.SUN01.SIA07.IA.03.R00
		Data creazione	27/07/2023
		Data ultima modif.	30/07/2023
		Revisione	00
		Pagina	11 di 30


**Tabella 2: Coordinate di inquadramento geografico dei recettori sensibili individuati nei pressi dell'area di installazione della windfarm.**

ID WTG	Gauss Boaga west ROMA40	Gauss Boaga west ROMA40	Altitudine s.l.m. [m]
	EST [m]	NORD [m]	
D012	1467146	4463037	384
D011	1466474	4463407	360
D022	1466667	4462099	400
D007	1468785	4461367	450
D008	1468787	4461440	450
D113	1467187	4462882	403
D111	1467043	4461729	412
D010	1467166	4461845	419
D043	1466497	4460760	401
D002	1466629	4459951	404
D044	1466733	4460073	400
D030	1468452	4461750	440
D054	1466644	4463840	354
R01	1466324	4459929	395
R07	1467189	4462906	400
R51	1465304	4460438	380

**Tabella 3: Coordinate di inquadramento geografico dei recettori sensibili individuati per la fase di cantiere relativa alle attività di realizzazione del cavidotto esterno.**

ID WTG	Gauss Boaga west ROMA40	Gauss Boaga west ROMA40	Altitudine s.l.m. [m]
	EST [m]	NORD [m]	
D112	1473280	4456517	658
D096	1478230	4452624	456
D095	1478223	4452766	453
D094	1478322	4453239	450
D093	1478432	4453713	450
D091	1478382	4454203	469
D089	1476506	4455064	620
D088	1475913	4454267	640
D082	1473154	4456976	626
D080	1472366	4457068	590
D079	1471896	4456888	582



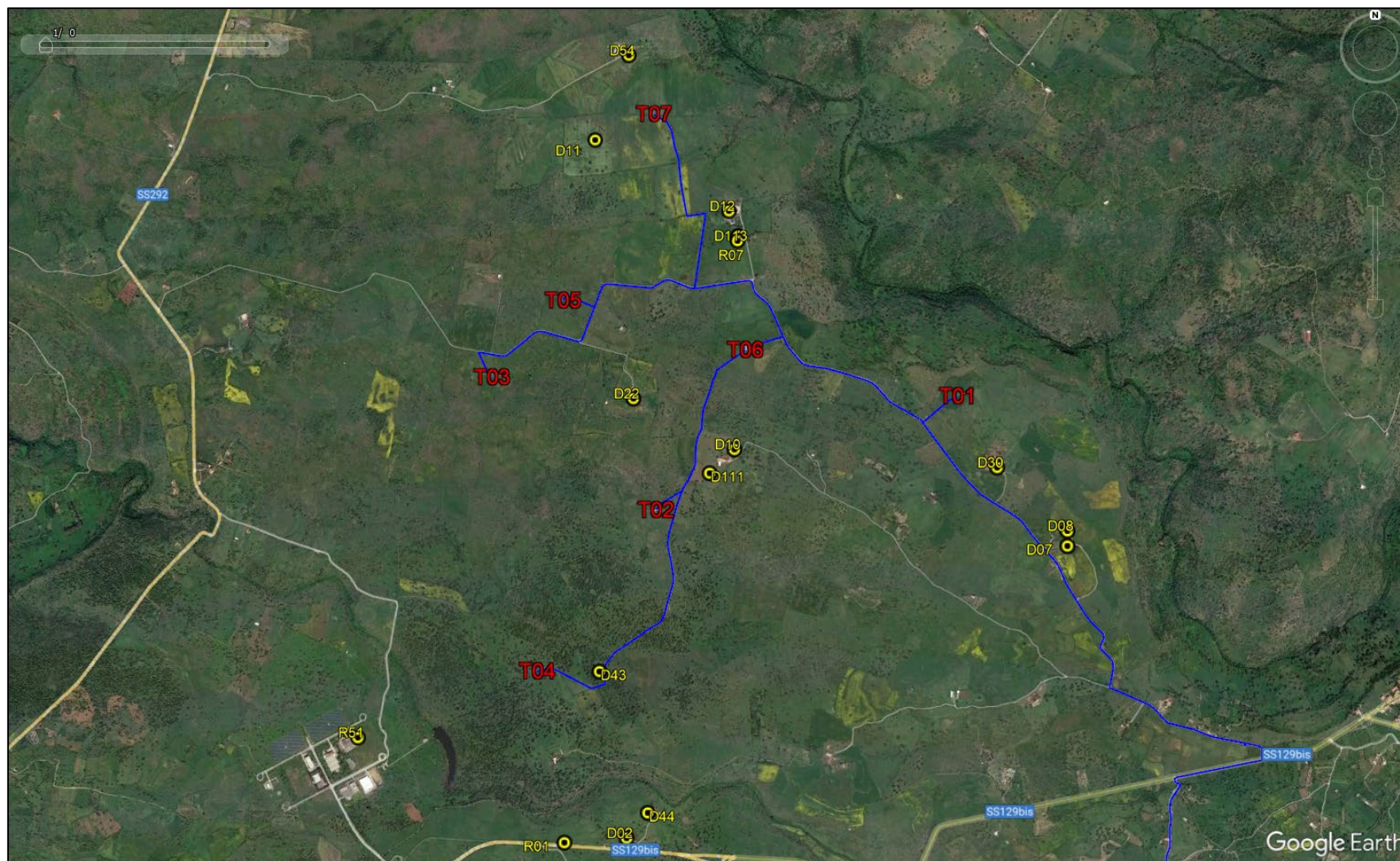
	<b>STUDIO SULLE VIBRAZIONI</b>	Codice	ES.SUN01.SIA07.IA.03.R00
		Data creazione	27/07/2023
		Data ultima modif.	30/07/2023
		Revisione	00
		Pagina	12 di 30

ID WTG	Gauss Boaga west ROMA40	Gauss Boaga west ROMA40	Altitudine s.l.m. [m]
	EST [m]	NORD [m]	
D078	1471149	4457313	537
D075	1470419	4458268	490
D072	1469241	4459958	456
D066	1469249	4460621	448
R83	1473190	4456490	658
R87	1475774	4454316	645
R92	1478421	4453961	454
R98	1478455	4454000	454

Tabella 4: Matrice delle distanze intercorrenti tra le turbine di progetto e i recettori con evidenza, in rosso, dei valori inferiori ai 500 m.

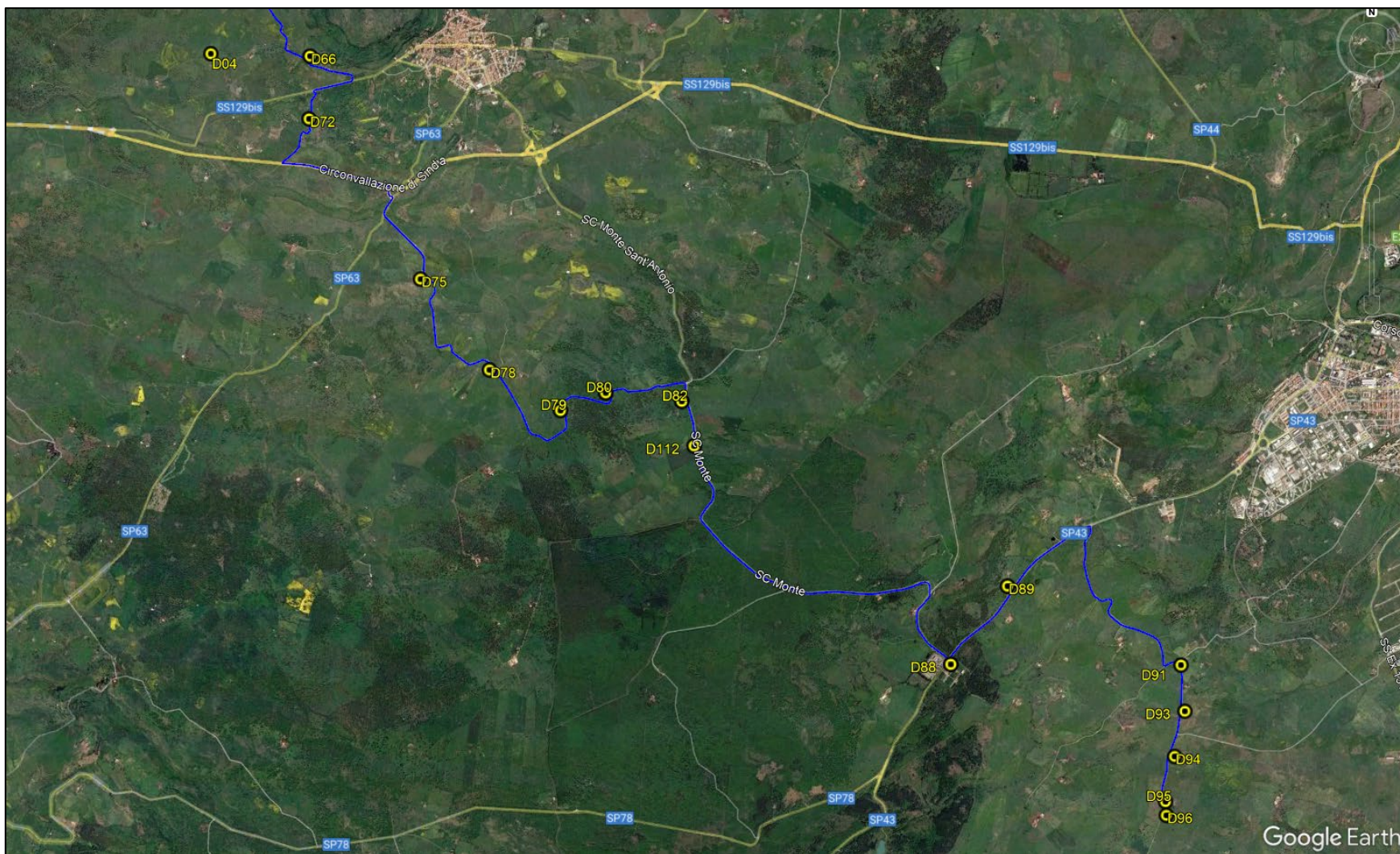
matrice distanze tra wtg e recettori individuati nell'area di installazione della windfarm							
	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07
D002	2696	1601	2355	921	2655	2453	3586
D007	900	2021	2952	2670	2759	1842	2963
D008	843	2018	2934	2689	2729	1806	2911
D010	1123	495	1264	1463	1132	490	1737
D011	2214	1885	1307	2664	836	1306	318
D012	1457	1538	1451	2472	949	708	627
D022	1593	563	720	1424	604	597	1439
D030	397	1693	2538	2474	2299	1366	2456
D043	2213	832	1546	311	1837	1729	2788
D044	2536	1473	2272	877	2550	2311	3462
D054	2376	2298	1772	3115	1296	1613	328
D111	1272	328	1188	1295	1128	628	1827
D113	1329	1399	1404	2348	924	550	777
R01	2907	1677	2308	841	2658	2564	3633
R07	1342	1423	1418	2370	934	574	758
R51	3390	1839	1886	938	2373	2692	3424

\* distanze in metri




**Figura 5: Inquadramento territoriale su ortofoto estratta da Google Earth degli aerogeneratori di progetto (etichette rosse con sigle TXX), dei recettori individuati nei pressi dell'area di installazione della wind farm (etichette con sigle RXX e DXXX).**





**Figura 6: Inquadramento territoriale su ortofoto estratta da Google Earth degli aerogeneratori di progetto (etichette rosse con sigle TXX), dei recettori individuati nei pressi dell'area di realizzazione del cavidotto di connessione (etichette con sigle RXX e DXXX).**



	<b>STUDIO SULLE VIBRAZIONI</b>	Codice	ES.SUN01.SIA07.IA.03.R00
		Data creazione	27/07/2023
		Data ultima modif.	30/07/2023
		Revisione	00
		Pagina	15 di 30

## 2. CENNI TEORICI SULLE VIBRAZIONI

### 2.1. Definizioni e nozioni generali (fonte ISPRA)

Le vibrazioni sono oscillazioni meccaniche generate da onde di pressione che si trasmettono attraverso i corpi ovvero è definito vibrazione un fenomeno ondulatorio, generalmente a bassa frequenza, trasmesso attraverso un mezzo solido, liquido o gassoso. Una vibrazione è costituita da una fluttuazione rapida intorno ad una posizione di equilibrio; il movimento netto dell'elemento posto in vibrazione è quindi nullo.

L'oscillazione è il movimento che un punto mobile compie per ritornare alla posizione di partenza.

Il tempo che intercorre tra due passaggi nel punto di equilibrio (o punto di partenza) è detto periodo (o ciclo).

Il numero di periodi al secondo costituisce la frequenza di una vibrazione, espressa in Hertz (Hz).

In funzione degli effetti fisiopatologici sull'uomo le vibrazioni sono suddivise in tre principali bande di frequenza:

- 0-2 Hz: oscillazioni a bassa frequenza, generate dai mezzi di trasporto (terrestri aerei, marittimi)
- 2-20 Hz: oscillazioni a media frequenza, generate da macchine ed impianti industriali
- > 20-30 Hz: oscillazioni ad alta frequenza, generate da una gamma ampia di strumenti vibranti diffusi in ambito industriale.

Le vibrazioni sono caratterizzate inoltre da tre ulteriori parametri: l'ampiezza, la velocità e l'accelerazione dello spostamento.

Un'onda è una perturbazione di tipo elastico che si propaga da un punto ad un altro attraversando un materiale oppure sulla superficie dello stesso, anche se non è implicito il suo spostamento definitivo. Le onde si distinguono pertanto in onde di volume ed onde di superficie.

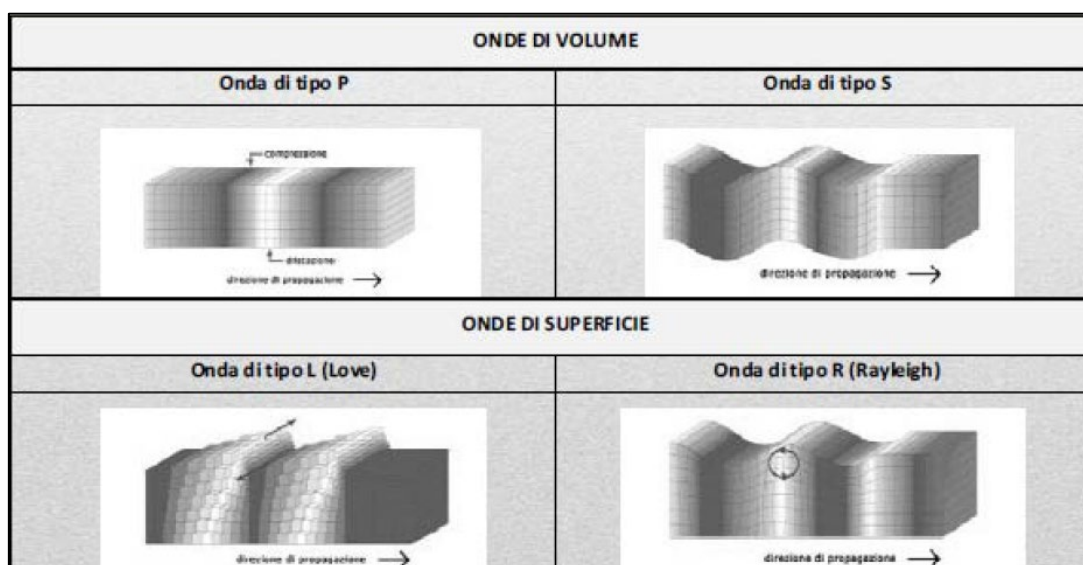



Figura 7: Differenti tipologie di Onde di Volume e Superficie

	<b>STUDIO SULLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA07.IA.03.R00 27/07/2023 30/07/2023 00 16 di 30
---	--------------------------------	---	--

Tra quelle esistenti, le più veloci sono le onde di compressione, mentre le onde di taglio e di superficie decadono più lentamente con la distanza.

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

Quando viene imposto sul terreno un prefissato livello di vibrazione, questo si propaga nel mezzo, subendo una attenuazione dipendente da natura del terreno, frequenza del segnale, distanza tra sorgente e ricevitore.

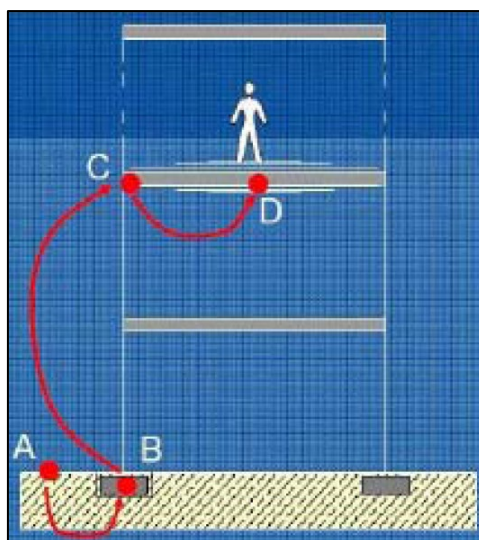
Il modello di propagazione valido per tutti i tipi di onde si basa sulla seguente relazione matematica:

$$w_2(d, f) = w_1(d_0, f) \cdot \left(\frac{d}{d_0}\right)^n \cdot e^{-\alpha f(d-d_0)}$$

dove:  $\alpha$  è il coefficiente di attenuazione del materiale,  $c$  la velocità di propagazione in m/s,  $f$  la frequenza in Hz,  $d$  la distanza in m e  $d_0$  la distanza di riferimento a cui è noto lo spettro di emissione.

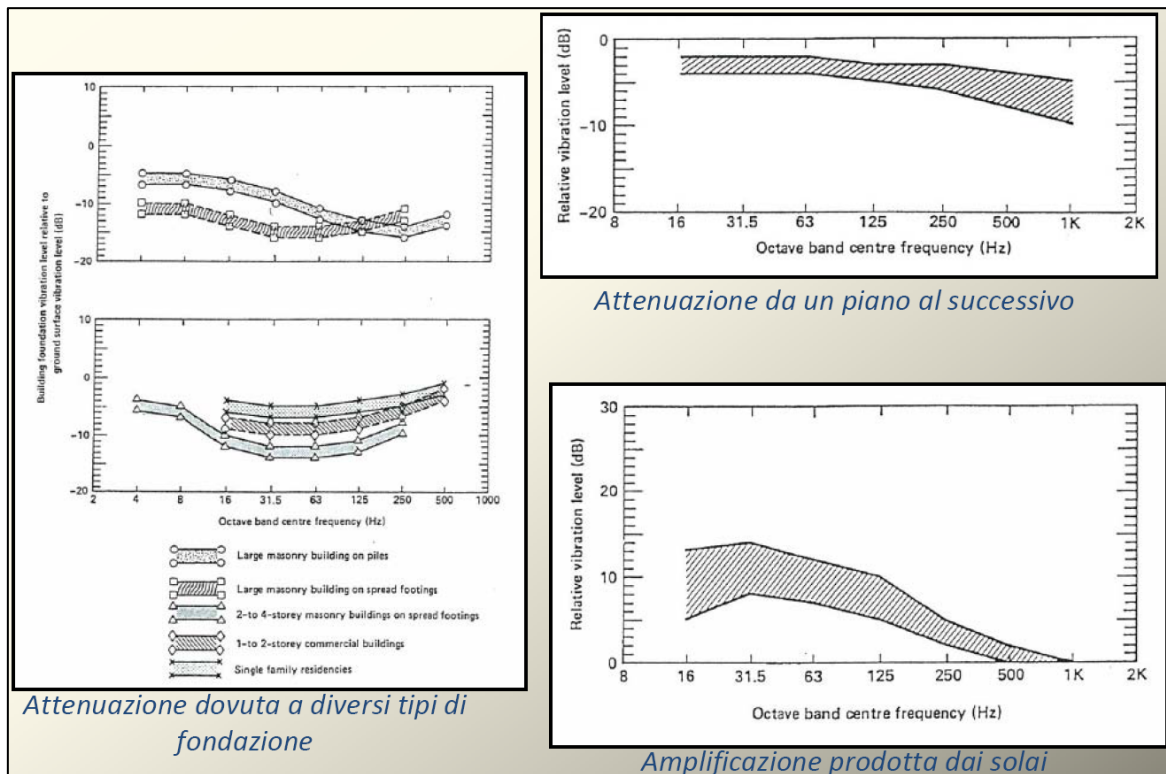
Il modello semplificato di propagazione si riferisce ai soli fenomeni che avvengono nel terreno, ipotizzato omogeneo ed isotropo.

In presenza di edifici con struttura complessa, collegati al terreno attraverso fondazioni, i livelli di vibrazione riscontrabili all'interno delle strutture possono presentare attenuazioni e/o amplificazioni secondo lo schema riportato nell'immagine seguente.



**Figura 8: Schematizzazione semplificata della propagazione delle vibrazioni nel sistema terreno-edificio**

Differenti tipologie di fondazioni forniscono diversi effetti di attenuazione o amplificazione del fenomeno vibratorio come evidenziato nelle immagini a seguire.



**Figura 9: Esempi di Attenuazione/Amplificazione dei fenomeni vibratorii/oscillatori nei differenti elementi**

## 2.2. Normativa di riferimento

Allo stato attuale non esiste una norma a livello nazionale che stabilisca valori limite per l'esposizione alle vibrazioni; tuttavia esistono alcune norme tecniche nazionali ed internazionali cui si può far riferimento e che possono fungere da indicatori. Tali norme sono distintamente orientate e relative a:

### Esposizione Umana:


- ISO 2631-2: Valutazione dell'esposizione umana alla vibrazione del corpo intero – Vibrazione negli edifici.
- UNI 9614: Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo
- UNI 11048: Metodo di misura delle vibrazioni negli edifici al fine della valutazione del disturbo

### Danni ad edifici:

- ISO 9916: Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici

Le aree di cantiere per la realizzazione di impianti eolici, e le tematiche ad esse relative oggetto di tale relazione, interessano solitamente suoli e zone a carattere quasi esclusivamente di tipo rurale localizzate e pertanto in luoghi ove la presenza di strutture ed edifici è solitamente scarsa, poco concentrata e costituita per lo più da fabbricati per il ricovero di mezzi agricoli o, in casi meno frequenti, da strutture abitative di altezza comunque contenuta (max 2-3 piani) e le cui distanze, anche nell'ottica del rispetto dei requisiti di impatto acustico per la realizzazione delle turbine, risulta quasi sempre non inferiore i 200-300 m in linea d'aria.



 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO SULLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA07.IA.03.R00 27/07/2023 30/07/2023 00 18 di 30
---	--------------------------------	---	--

In questo, risulta chiaramente evidente come la tematica legata ai potenziali danni agli edifici sia intrinsecamente esclusa, e quanto poco probabile e/o rilevante possano essere invece le ripercussioni in termini di esposizione umana essendo le aree di cantiere, di tipo temporaneo, dislocate in ambiente aperto ove la propagazione di rumore e vibrazioni è di tipo sferico (quindi proiettata lungo tutte le direzioni e non in modo esclusivo e diretto nei confronti di una o più zone edificate) e dove **non** sono valutati e considerati tutti gli elementi di tipo naturale e/o artificiale, la cui presenza esercita un effetto barriera alla propagazione delle onde.

### 2.3. Caso studio e parametri di trasmissione delle vibrazioni

Le vibrazioni possono essere valutate in tre diverse modalità:

- in termini di spostamento (variazione della posizione di un corpo o di una particella, che è di solito misurata a partire dalla media delle posizioni assunte dal corpo o dalla particella stessa oppure dalla posizione di quiete);
- in termini di velocità (variazione dello spostamento rispetto al punto di riferimento, in un determinato intervallo di tempo):

Si utilizza o il valore di picco (PPV peak particle velocity) definito come il picco massimo istantaneo positivo o negativo del segnale di vibrazione: tale grandezza è utile per valutare i danni potenziali agli edifici ma non è adeguata a valutare la risposta umana.

La grandezza collegata alla risposta umana alle vibrazioni è il valore efficace della velocità (RMS), definito come la radice quadrata della media della velocità istantanea al quadrato.

Infine, si utilizza, come per le grandezze acustiche, il livello associato al valore efficace della velocità  $L_V$ , che si misura in dB ed è definito a seguire attraverso l'equazione:

$$L_V = 20 \log \left( \frac{v}{v_0} \right)$$

dove  $v$  è il valore efficace della velocità istantanea e  $v_0$  è il valore di riferimento ( $v_0 = 10^{-9}$  m/sec)  
In termini di accelerazione: le grandezze impiegate sono le corrispondenti a quelle descritte per la velocità.


In particolare, il livello dell'accelerazione  $L_A$  (espresso in dB) è definito come:

$$L_A = 20 \log \left( \frac{a}{a_0} \right)$$

dove  $a$  è il valore efficace dell'accelerazione istantanea e  $a_0$  è il valore di riferimento ( $a_0 = 10^{-6}$  m/sec<sup>2</sup>)

I parametri fisici che influenzano le vibrazioni via terra si possono dividere in tre categorie:

- 1) **Fattori legati a tipologie di sorgenti e modalità operative (Fase di Cantiere)**
- 2) **Fattori Geologici**

 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO SULLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA07.IA.03.R00 27/07/2023 30/07/2023 00 19 di 30
---	--------------------------------	---	--

### 3) Fattori Strutturali e caratteristiche dei recettori (Edifici-Strutture e Fabbricati)

#### 1. Sorgenti e modalità operative:

In questa categoria sono inclusi tutti i parametri collegati ai mezzi di escavazione e sbancamento del materiale. Le attività connesse alla fase di escavazione generano livelli vibratorii di vari gradi in relazione ai macchinari e ai mezzi impiegati. Le attività che tipicamente generano livelli di vibrazioni pericolosi sono associate all'uso di esplosivi e attrezzature d'impatto (battipalo) che, però questo nello specifico caso dell'eolico, non sono impiegati.

#### 2. Fattori Geologici:

Le condizioni e la tipologia del suolo e del substrato influenzano fortemente i livelli vibratorii, in particolare assumono particolare rilievo la rigidità, lo smorzamento interno del terreno e la profondità del substrato roccioso. Fattori quali la stratificazione del terreno e profondità delle falde acquifere possono avere effetti significativi sulla propagazione delle vibrazioni via terra.

#### 3. Fattori Strutturali e caratteristiche dei recettori (Edifici-Strutture e Fabbricati):


I problemi legati alla vibrazione via terra si hanno quasi esclusivamente all'interno degli edifici. Quindi le caratteristiche dei recettori costituiscono una componente fondamentale nella valutazione delle vibrazioni. Le vibrazioni indotte da mezzi di escavazione possono essere percepite da persone che si trovano all'esterno, ma è raro che provochino lamenti. I livelli di vibrazione dentro un edificio dipendono dall'energia vibratoria che raggiunge le fondazioni, dall'accoppiamento tra le fondazioni ed il terreno e dalla propagazione della vibrazione attraverso la struttura dell'edificio. Come regola generale si può affermare che più è massivo l'edificio, minore è la sua risposta all'energia vibratoria incidente sul terreno. Le sorgenti di vibrazioni provocano effetti che si propagano attraverso il terreno e diminuiscono di intensità con la distanza.

Gli edifici subiscono effetti che si possono classificare in una scala da non percepibili (livelli di vibrazione bassi), a suoni a bassa frequenza e vibrazioni percepibili (livelli di vibrazione medi) fino a livelli tali da provocare danni alle strutture.

### 2.4. Modello previsionale

Tutte le fonti bibliografiche ai fini delle elaborazioni dei modelli previsionali indicano l'utilizzo di modelli semplificati globali in luogo alle stime afferenti all'utilizzo degli elementi finiti. Pertanto, anche in tale elaborato la valutazione previsionale viene elaborata attraverso l'utilizzo di un modello di propagazione classico la cui procedura per la stima delle vibrazioni indotte viene riportata a seguire:

1. si determinano le apparecchiature impiegate e i relativi livelli di vibrazione forniti, generalmente, a una distanza di riferimento; nel caso in oggetto è stato considerato il valore relativo all'utilizzo della ruspa cingolata [rif. A. Farina "Valutazione dei livelli di vibrazioni in edifici residenziali, Normativa, tecniche di misura e di calcolo", neo- Eubios n. 16 (2006)] misurato a distanza di 5 m dal centro della sorgente

 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO SULLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA07.IA.03.R00 27/07/2023 30/07/2023 00 20 di 30
---	--------------------------------	---	--

2. si applica il modello di propagazione classico per la stima del livello di accelerazione prevista descritto dalla seguente equazione (Dong-Soo, Jin-Sun Lee):

$$w_2 = w_1 \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^n e^{-\alpha(r_2-r_1)}$$

dove,  $w_1$  e  $w_2$  rappresentano le ampiezze delle vibrazioni rispettivamente alla distanza  $r_1$  e  $r_2$  dalla sorgente;  $n$  è il coefficiente di smorzamento geometrico;  $\alpha$  è il coefficiente di smorzamento del materiale.

Il coefficiente di smorzamento geometrico rappresenta l'attenuazione che si verifica a causa della diminuzione della densità di energia all'aumentare della distanza dalla sorgente e può essere determinato conoscendo il tipo onda che si propaga, il tipo di sorgente e il luogo di emissione della vibrazione, che generalmente varia tra 0,5 e 2,0. Il coefficiente di smorzamento del materiale tiene conto della riduzione di energia delle vibrazioni a causa dell'attrito e della coesione tra le particelle di terreno, essendo quest'ultimo non perfettamente elastico. Questa attenuazione, dovuta allo smorzamento del materiale, è influenzata dal tipo di terreno e dalla frequenza delle vibrazioni:  $\alpha$  può essere calcolato come:

$$\alpha = \frac{\pi \eta f}{c}$$

dove:


$\eta$  rappresenta il fattore di perdita del terreno,

$c$  rappresenta la velocità di propagazione dell'onda [m/s].

Ne consegue pertanto che per substrati meno duri (più soffici, con minore presenza di componente rocciosa), il valore di attenuazione del mezzo di propagazione risulta più elevato del corrispondente valore per i substrati duri (rocciosi). Tanto più sarà compatta la roccia del substrato, tanto meno sarà attenuato il fenomeno di propagazione. Inoltre, l'attenuazione della propagazione risulta essere maggiore per le vibrazioni ad alte frequenze rispetto alle vibrazioni a basse frequenze. Risulta quindi che la maggiore propagazione delle vibrazioni si ottiene in presenza di substrati rigidi con trasmissioni a basse frequenze.

La tabella proposta a seguire evidenzia e sintetizza esempi di valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali in relazione ai differenti substrati litologici che si possono incontrare.



	<b>STUDIO SULLE VIBRAZIONI</b>	Codice	ES.SUN01.SIA07.IA.03.R00
		Data creazione	27/07/2023
		Data ultima modif.	30/07/2023
		Revisione	00
		Pagina	21 di 30

**Tabella 5: Velocità di propagazione delle onde longitudinali, fattore di perdita e massa volumica per le differenti tipologie di substrato litologico**

Tipologia di substrato	Velocità di propagazione onda longitudinale [m/s]	Fattore di perdita [η]	Massa volumica [kg/m <sup>3</sup> ]
Roccioso	3500	0,01	2650
Sabbioso	600	0,1	1600
Argilloso	1500	0,5	1700

- Il valore dell'accelerazione determinato al punto 2 permette di calcolare il livello ponderato di accelerazione da confrontare con i criteri di valutazione del disturbo o del danno degli edifici in base alla loro destinazione d'uso.

## 2.5. Rischio del danno a strutture ed edifici

Esplosioni, utilizzo ed operazioni effettuate da macchine battipalo, demolizioni, perforazioni, scavi in prossimità di strutture particolarmente sensibili rappresentano le principali attività che solitamente si valutano quando si parla di rischio per strutture derivanti da vibrazioni. I livelli di impulso e di vibrazione di grande ampiezza devono essere valutati con riferimento ai loro potenziali effetti sui fabbricati e sulle strutture. La definizione di un limite di sicurezza per la velocità di vibrazione non è univoca: una rassegna completa dei valori di riferimento per la valutazione degli effetti delle vibrazioni, proprio in termini di velocità di picco puntuale (PPV) è riportata nella normativa di riferimento UNI 9916. Il criterio adottato in questa sede pone i seguenti limiti:

- 5 mm/s per edifici residenziali (vibrazioni durature);
- 2.5 mm/s per edifici storici estremamente fragili (vibrazioni durature);

Tali valori rappresentano i limiti più cautelativi noti in letteratura

Essi sono generalmente più elevati di quelli derivanti dal non disturbo alle persone. Solo in presenza di un fattore di cresta molto elevato, maggiore di 18 dB, potrebbe infatti verificarsi il caso di superamento del limite di danno strutturale senza che si verifichi il superamento del limite di disturbo alle persone.


Si definisce pertanto "fattore di cresta" la differenza fra il valore massimo di picco di una forma d'onda e il suo valore efficace.

Per una forma d'onda sinusoidale, il fattore di cresta risulta essere pari a 3 dB, per un segnale con più componenti e con forma d'onda molto "aspra", il fattore di cresta può facilmente essere superiore ai 10 dB, ed in alcuni casi (eventi impulsivi quali martellate, esplosioni, etc.) può anche superare i 20 dB.

La circostanza in oggetto risulta però altamente improbabile tanto che è possibile assumere che il rispetto dei limiti di non-disturbo alle persone, fornisce sufficienti garanzie (e quindi necessariamente implica) di non avere effetti dannosi per le strutture edilizie.

## 2.6. Rischio Esposizione Umana – Rischio Disturbo

Nelle strutture classificate come recettori, ed in generale in tutti i corpi di fabbrica o edifici il disturbo può

	<b>STUDIO SULLE VIBRAZIONI</b>	Codice	ES.SUN01.SIA07.IA.03.R00
		Data creazione	27/07/2023
		Data ultima modif.	30/07/2023
		Revisione	00
		Pagina	22 di 30

essere percepito sia come vibrazione meccanica degli elementi edilizi (groundborne vibration), sia come rumore irraggiato nei locali dagli orizzontamenti, dalle pareti e dagli infissi (groundborne noise). Tali disturbi, in virtù dei differenti meccanismi dissipativi citati, diminuiscono con la distanza dalla sorgente in modo rapido. Come anticipato, l'entità dell'effetto disturbante legato alla vibrazione dipende da molti altri fattori oltre la distanza dalla sorgente. Tali fattori sono legati alle attenuazioni o amplificazioni nella struttura degli edifici, dovuti principalmente alla tipologia dei sistemi di fondazione.

La UNI 9614, norma di riferimento relativamente alla soglia di percezione delle vibrazioni individua il valore di riferimento pari a:  $a_{soglia,z} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$  corrispondenti a 74 dB (per  $a_0 = 10^{-6} \text{ m/sec}^2$ ) per l'asse z e  $a_{soglia, x/y} = 3.6 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$  corrispondenti a 71 dB (per  $a_0 = 10^{-6} \text{ m/sec}^2$ ) per gli assi x e y.

Nella tabella a seguire viene sintetizzata ed evidenziata la soglia dei valori limite utili ad evitare il disturbo in relazione alle destinazioni d'uso delle aree/strutture oggetto di analisi.

Devono essere infine assegnata una classificazione di sensibilità dei recettori adiacenti alle sorgenti. Le classi di sensibilità devono essere definite sulla base della destinazione d'uso dell'immobile, in conformità con la Norma UNI 9614, prescindendo da considerazioni delle caratteristiche dei singoli fabbricati quali, ad esempio, lo stato di conservazione e la tipologia costruttiva dell'immobile. Nella tabella a seguire sono evidenziate le classi di sensibilità:

**Tabella 6: Valutazione del disturbo UNI 9614 - Valori e livelli limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza**

VALORI E LIVELLI LIMITE DELLE ACCELERAZIONI COMPLESSIVE PONDERATE IN FREQUENZA VALIDI PER GLI ASSI x E y			VALORI E LIVELLI LIMITE DELLE ACCELERAZIONI COMPLESSIVE PONDERATE IN FREQUENZA VALIDI PER L'ASSE z		
Destinazione d'uso	Accelerazione		Destinazione d'uso	Accelerazione	
	$\text{m/s}^2$	dB		$\text{m/s}^2$	dB
Aree critiche	$3,6 \cdot 10^{-3}$	71	Aree critiche	$5,0 \cdot 10^{-3}$	74
Abitazioni notte	$5,0 \cdot 10^{-3}$	74	Abitazioni notte	$7,0 \cdot 10^{-3}$	77
Abitazioni giorno	$7,0 \cdot 10^{-3}$	77	Abitazioni giorno	$10,0 \cdot 10^{-3}$	80
Uffici	$14,4 \cdot 10^{-3}$	83	Uffici	$20,0 \cdot 10^{-3}$	86
Fabbriche	$28,8 \cdot 10^{-3}$	89	Fabbriche	$40,0 \cdot 10^{-3}$	92


Le aree critiche corrispondono alle aree archeologiche di importanza storico-monumentale, infrastrutture sanitarie, fabbricati scolastici di qualsiasi genere. Rientrano in tali classi aree anche le attività industriali che impiegano macchinari di precisione.

Per Fabbriche e affini devono essere inoltre applicati i valori limite sanciti nel D.Lgs 81/2008 per l'esposizione dei lavoratori a vibrazioni meccaniche

## 2.7. Vibrazione ed aree di cantiere per la realizzazione di impianti eolici

Premesso che le aree di cantiere per l'installazione di un impianto eolico sono solitamente dislocate in zone adibite a carattere agricolo e rurale e che pertanto l'area è già interessata dal transito periodico dei mezzi pensanti ed agricoli per il raggiungimento e la lavorazione dei suoli coltivati in aree limitrofe, al fine di minimizzare le potenziali fonti di rumore e vibrazione, con conseguente potenziale temporanea sensazione di fastidio o disturbo indotto, potranno essere previsti alcuni accorgimenti operativi a carattere preventivo come ad esempio:

- L'impiego di mezzi gommati al fine di contenere il rumore di fondo nell'area durante il passaggio su strada (solitamente di tipo imbrecciato o sterrato);

 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO SULLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA07.IA.03.R00 27/07/2023 30/07/2023 00 23 di 30
---	--------------------------------	---	--

- Utilizzo di macchine operatrici a norma
- Prevedere un piano di monitoraggio

Per quanto concerne il piano di monitoraggio in fase di realizzazione dell'impianto, è possibile ipotizzare delle campagne fonometriche in virtù delle differenti fasi di cantiere ed in considerazione dello spostamento lungo linee orizzontali dei macchinari impiegati durante le differenti e successive fasi lavorative.

In tale ottica si potrebbe pertanto prevedere una campagna fonometrica di monitoraggio in concomitanza, ad esempio, all'impiego di nuovi differenti macchinari oppure quando è previsto uno spostamento significativo del fronte di lavorazione.

Per tali circostanze le indagini fonometriche programmate potranno essere indirizzate presso gli stessi recettori individuati in fase di studio previsionale per la valutazione del clima acustico ante operam e stima dell'impatto acustico post operam in condizioni di normale esercizio e durante i periodi maggiormente critici (come, ad esempio, in particolari sfavorevoli condizioni di bassa ventosità e direzione del vento prevalente lungo la direttrice verso la struttura in esame).

## **2.8. Vibrazioni di impianti eolici in fase di esercizio**


Le fonti di rumore e vibrazione emesse da una turbina eolica sono essenzialmente di natura aerodinamica, (causate dall'interazione tra il vento e le pale), meccanica (generate dagli attriti meccanici dei componenti del rotore e del sistema di trasmissione del generatore) e cinetica (generate dalle oscillazioni e dal passaggio e cambiamento di stato da stazionario a combinato. Le oscillazioni sono causate dal vento che insiste 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.

Diversi studi della BWEA (British Wind Energy Association) hanno mostrato che a distanza di poche decine di metri il rumore risultante dalle esigue vibrazioni prodotte dalle turbine eoliche risulta sostanzialmente poco distinguibile rispetto al rumore residuo.

In particolare, per i fenomeni vibratorii è possibile analizzare come questi si trasmettono nel terreno circostante le fondazioni di sostegno delle torri degli aerogeneratori.

Le vibrazioni perdono energia durante la propagazione nel terreno e la loro ampiezza diminuisce con l'aumentare della distanza dalla sorgente.

Le vibrazioni vengono trasmesse attraverso la struttura metallica della torre, le fondazioni, il terreno e alle caratteristiche strutturali del recettore.

 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO SULLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA07.IA.03.R00 27/07/2023 30/07/2023 00 24 di 30
---	--------------------------------	---	--

### 3. STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI ESERCIZIO

Al fine di valutare in termini **quantitativi** la distanza alla quale l'entità delle vibrazioni generate dal funzionamento a regime del parco eolico possa ritenersi tale da non arrecare disturbo alle attività circostanti, alla popolazione umana ed ai recettori in generale, applichiamo il modello di calcolo appena esposto, utilizzando come dato di input i valori di vibrazione riferiti ad impianti simili ed associando gli stessi alla condizione in oggetto, non essendo gli stessi attualmente ancora disponibili per il modello di aerogeneratore di futura installazione. Nell'applicazione del modello previsionale al fine di valutare il potenziale possibile disturbo in termini **quantitativi**, sono stati ipotizzati i seguenti parametri come di seguito esplicitati:

In funzione della tipologia di substrato litologico si assumono i seguenti valori:

- $\eta = 0.1$  (fattore di perdita del substrato nell'ipotesi peggiore possibile nell'ottica della valutazione a maggior carattere cautelativo nei confronti dei recettori);
- $c$  (velocità di propagazione dell'onda di Rayleigh VR) = 2500 m/s (valore coerente con i dati geotecnici riportati nell'elaborato specialistico)

Livelli di riferimento per la sorgente in esercizio: sono stati considerati valori di accelerazione misurati presso strutture analoghe.

Potenziali fenomeni di attenuazione o amplificazione relativi alla tipologia di fondazioni cui sono dotati i recettori **non** sono stati tenuti in conto.


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

$$w_1(x) = 0,02238 \frac{m}{s^2} \qquad w_1(y) = 0,01333 \frac{m}{s^2} \qquad w_1(z) = 0,02722 \frac{m}{s^2}$$

I valori dei coefficienti presenti nell'espressione sopra proposta 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.



	<b>STUDIO SULLE VIBRAZIONI</b>	Codice	ES.SUN01.SIA07.IA.03.R00
		Data creazione	27/07/2023
		Data ultima modif.	30/07/2023
		Revisione	00
		Pagina	25 di 30

**Tabella 7: Valori di input per il calcolo quantitativo delle vibrazioni indotte da un aerogeneratore in esercizio.**


	Valore asse x	Valore asse y	Valore asse z
Vibrazione alla sorgente [dB]	87	82,5	88,7
Accelerazione alla sorgente [mm/s <sup>2</sup> ]	22,38	13,33	27,22
Distanza dalla sorgente [m]	1	1	1
Coefficiente di attenuazione geometrica	0,5	0,5	0,5
Tipologia di terreno	Litologia a prevalente componente calcarea-argillosa		
Fattore di perdita del terreno	0,1	0,1	0,1
Velocità di propagazione nel terreno [m/s]	2500	2500	2500
Densità del terreno [kg/mc]	1600	1600	1600
Velocità di rotazione di riferimento [rpm]	12	12	12
Frequenza onda di vibrazione di riferimento per il calcolo [Hz]	0,600	0,600	0,600
Pulsazione d'onda $\omega$ [rad/s]	3,768	3,768	3,768

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.

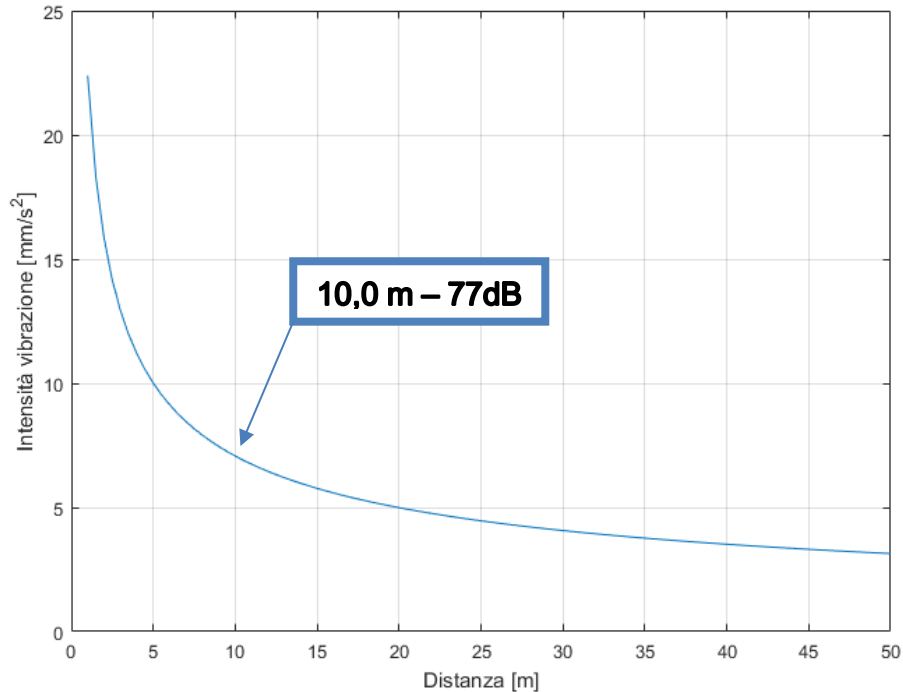
**Tabella 8: risultati in termini di distanza di rispetto dei limiti UNI 9614**

	Valore rif. asse x 77 dB	Valore rif. asse y 77 dB	Valore rif. asse z 80 dB
Distanza di rispetto del valore raccomandato UNI 9614 (Abitazioni giorno) [m]	10,0	3,5	7,4
	Valore rif. asse x 74 dB	Valore rif. asse y 74 dB	Valore rif. asse z 77 dB
Distanza di rispetto del valore raccomandato UNI 9614 (Abitazioni notte) [m]	19,8	7,1	14,7
	Valore rif. asse x 71 dB	Valore rif. asse y 71 dB	Valore rif. asse z 74 dB
Distanza di rispetto del valore raccomandato UNI 9614 (Aree critiche) [m]	39,3	14,1	29,3

Poiché gli aerogeneratori di progetto sono distanti tra loro oltre 700 m, ed il primo recettore sensibile risulta dislocato a una distanza di 498 m si può senz'altro affermare che l'impatto causato dalle vibrazioni prodotto dal parco eolico in oggetto nella fase di esercizio sia assolutamente trascurabile e che nessun recettore riceve un fenomeno vibrazionale tale da ingenerare disturbo. Ciò risulta valido anche considerando l'effetto cumulato di tutti gli aerogeneratori.

	<b>STUDIO SULLE VIBRAZIONI</b>	Codice	ES.SUN01.SIA07.IA.03.R00
		Data creazione	27/07/2023
		Data ultima modif.	30/07/2023
		Revisione	00
		Pagina	26 di 30


Di seguito si riporta, a titolo esemplificativo, l'andamento del decadimento delle vibrazioni calcolate per l'asse x con evidenza della distanza di rispetto del valore raccomandato per le abitazioni nel periodo diurno:



**Figura 10: Andamento del decadimento dell'intensità delle vibrazioni lungo l'asse x rispetto alla distanza dalla sorgente con evidenza della distanza di rispetto del valore raccomandato per le abitazioni nel periodo diurno.**

I valori soglia raccomandati per le abitazioni nel periodo notturno sono rispettati ad una distanza inferiore ai 20 m.

Ad una distanza di circa 40 m dagli aerogeneratori risultano rispettati anche i valori raccomandati per le aree critiche.

 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO SULLE VIBRAZIONI</b>	Codice	ES.SUN01.SIA07.IA.03.R00
		Data creazione	27/07/2023
		Data ultima modif.	30/07/2023
		Revisione	00
		Pagina	27 di 30

#### 4. STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI CANTIERE

Per quanto concerne le fasi di cantiere per la costruzione delle opere elettriche descritte, non è in generale previsto l'impiego di esplosivi durante i lavori di demolizione o scavo, e pertanto risulta assolutamente improbabile che vi possano essere danni alle strutture ed edifici nel corso delle escavazioni, anche per quei recettori posti a distanze relativamente più vicine.

Nell'applicazione del modello previsionale al fine di valutare il potenziale possibile disturbo, sono stati ipotizzati i seguenti parametri come di seguito esplicitati:

- In funzione della tipologia di substrato litologico si assumono i seguenti valori:
  - $\eta = 0.1$  (fattore di perdita del substrato nell'ipotesi peggiore possibile nell'ottica della valutazione a maggior carattere cautelativo nei confronti dei recettori);
  - $c$  (velocità di propagazione dell'onda di Rayleigh VR) = 119.6 m/s (valore coerente con i dati di letteratura per macrocategorie di sottosuolo come evidenziato nella tabella a seguire)

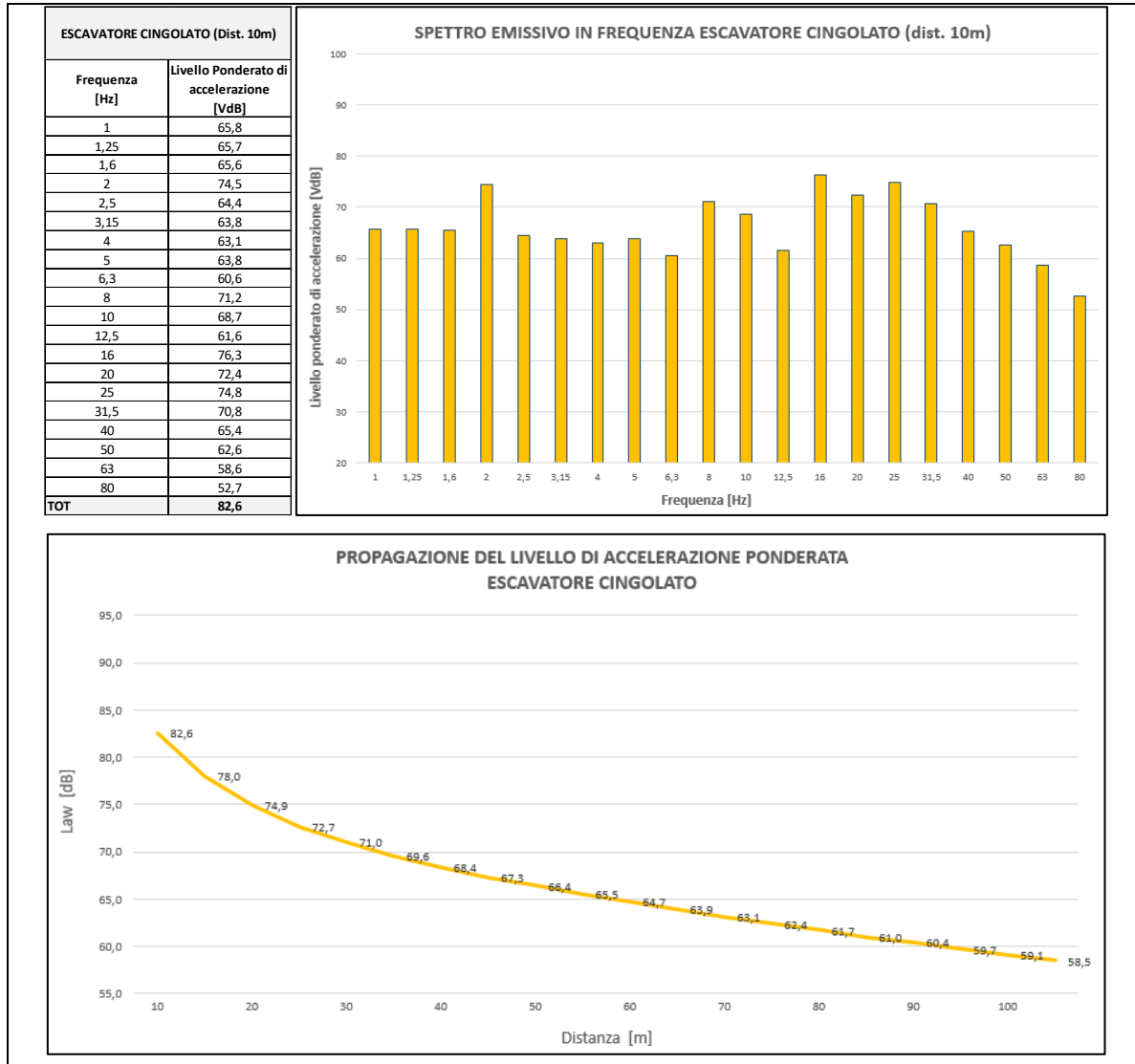
**Tabella 9: Valori tipici di velocità di propagazione delle onde per differenti tipologie di sottosuolo**

Sottosuolo di tipo A	roccia o altra formazione geologica caratterizzata da una velocità di propagazione delle onde di taglio, $V_s$ pari almeno a 800 m/s, includendo al massimo uno strato superficiale di materiale a più debole consistenza di 5 m.
Sottosuolo di tipo B	depositi profondi di sabbie mediamente addensate, ghiaia e argille mediamente rigide con spessori che vanno dalle diverse decine di metri alle molte centinaia, caratterizzati da valori minimi della $V_s$ che vanno da 200 m/s ad una profondità di 10 m, fino a 350 m/s a 50 m.
Sottosuolo di tipo C	depositi privi di coesione con o senza qualche morbido strato coesivo, caratterizzati da valori di $V_s$ sotto ai 200 m/s nei primi 20 m e depositi di terreni coesivi caratterizzati da rigidità basse/medie e con valori di $V_s$ sotto ai 200 m/s nei primi 20 m.

Classi di suolo ( $V_r=0.92 V_s$ )

- Livelli di riferimento per il mezzo meccanico impiegato in cantiere:  
L'immagine a seguire riporta lo spettro emissivo ed il calcolo del livello di accelerazione ponderata in frequenza a diverse distanze dalla sorgente emissiva ipotizzata (escavatore cingolato con spettro misurato a 10 m di distanza) per il tipo di substrato ipotizzato (in ottica altamente cautelativa per i recettori) per un'area di intervento "tipo".
- Livelli di riferimento – valore soglia limite di disturbo:  
Il valore soglia di livello ponderato di accelerazione è stato considerato essere pari a 77 VdB .  
Ciò in virtù del fatto che le attività di cantiere (e quindi anche di escavazione) sono concentrate esclusivamente nel periodo di riferimento diurno e che pertanto il potenziale disturbo non può essere associato al periodo di riferimento notturno e quindi non può incidere nelle ore dedicate al riposo e al sonno.

4. Attenuazioni o Amplificazioni nella struttura degli edifici:  
 Potenziali fenomeni di attenuazione o amplificazione relativi alla tipologia di fondazioni cui sono dotati i recettori non sono stati tenuti in conto.




**Figura 11: Spettro emissivo in frequenza e andamento grafico della propagazione in funzione della distanza del livello di accelerazione ponderata delle sollecitazioni prodotte da un escavatore cingolato in fase di cantiere.**

L'immagine appena proposta evidenzia che già a distanze leggermente superiori i 15 metri dalla sorgente considerata ( $d < 20$  m), i valori di accelerazione ponderata in frequenza totale (ottenuta sommando i contributi per tutte le bande di terzo di ottava) scendono al di sotto della soglia di disturbo (fissata a 77 VdB) pur considerando le caratteristiche più cautelative possibili per quanto concerne il substrato litologico e la relativa propagazione delle sollecitazioni nel mezzo.

Le stesse considerazioni sono valide anche per le attività relative alla messa in opera del cavidotto esterno di collegamento alla stazione elettrica di trasformazione, per le quali, sebbene i recettori si



 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO SULLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA07.IA.03.R00 27/07/2023 30/07/2023 00 29 di 30
---	--------------------------------	---	--

trovino a distanze piuttosto ravvicinate al tracciato stradale, si ha che le lavorazioni in estrema prossimità degli edifici sono limitate a periodi di tempo molto ristretti, della durata massima di qualche giorno, in quanto in avanzamento lungo il percorso di progetto.


## 5. CONCLUSIONI

Per un impianto eolico in fase di esercizio si può concludere che, per quanto attiene al rumore o vibrazioni di natura aerodinamica, meccanica o cinetica generati dalle macchine, l'apporto in termini di effetti o sensazioni di vibrazione nei confronti di specifici recettori e/o strutture e fabbricati di qualsiasi tipologia, durante l'attività produttiva si attesta su livelli inferiori la soglia di percezione umana e pertanto il loro contributo può essere considerato trascurabile e/o nullo.

La componente "vibrazioni" è stata valutata in termini quantitativi con la metodologia di stima descritta attraverso la verifica del "criterio del danno strutturale" e del "criterio del disturbo".

Il dato previsionale ottenuto in base alle assunzioni sopracitate evidenzia che ad una distanza di circa 20 m delle sorgenti in fase di esercizio, le vibrazioni trasmesse sono già al di sotto dei valori da rispettare per le abitazioni nel periodo notturno e diurno (UNI 9614).

Allo stesso modo il dato previsionale ottenuto per la fase di cantiere conferma che l'impatto causato dalle vibrazioni durante la realizzazione del parco eolico in oggetto sia assolutamente trascurabile e che nessun recettore riceve un fenomeno vibrazionale tale da ingenerare disturbo. Le stesse conclusioni valgono per la fase di realizzazione del cavidotto esterno per la quale lievi disturbi possono verificarsi per i recettori posti più in prossimità del tracciato stradale, sebbene è da evidenziare che questi sono concentrati in periodi di tempo estremamente ridotti.

 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO SULLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA07.IA.03.R00 27/07/2023 30/07/2023 00 30 di 30
---	--------------------------------	---	--

## Bibliografia

- ISO 2631 - Guida per la valutazione dell'esposizione umana alle vibrazioni su tutto il corpo.
- [UNI 9614:1990 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo", 1990.
- UNI 9916:2014 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici", 2014.
- Anderson, J.S.; Solving problems in vibrations; London, Longman Scientific & Technical, 1987
- Dong-Soo Kim, Jin-Sun Lee Propagation and attenuation characteristics of various ground vibrations Soil Dynamics and Earthquake Engineering 19, 2000
- Di Colin H. Hansen, Con J. Doolan, Kristy L. Hansen; Wind Farm Noise: Measurement, Assessment, and Control.
- Styles P, England R, Stimpson I, Toon S, Bowers D and Hayes M 2005a A detailed study of the propagation and modelling of the effects of low frequency seismic vibration and infrasound from wind turbines. First International Meeting on Wind Turbine Noise: Perspectives for Control, Berlin, Germany
- Richart Jr. FE, Hall Jr. JR, Woods RD. Vibrations of soils and foundations. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1970