

Regione  
Puglia



Provincia di  
Taranto



Committente:

**CAST WIND S.R.L**  
Piazza Europa, 14  
87100 Cosenza (CS) - Italy  
Tel. centralino + 39 0984 408606

Documento:

## PROGETTO DEFINITIVO

Titolo del Progetto:

## PARCO EOLICO "CASTELLANETA"

Elaborato:

### Studio Vibrazionale

CODICE PRATICA

**XHYY1E7**

PROGETTO	DISCIPLINA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	SCALA
<b>E-CAS</b>	<b>A</b>	<b>-</b>	<b>RE</b>	<b>11</b>	
NOME FILE:	<b>E-CAS-A-RE-11_Studio_vibrazionale.pdf</b>				

Progettazione:



**Ing. Giacomo Pettinelli**

Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	SETTEMBRE 2024	PRIMA EMISSIONE	IRIDE SRL	GEMSA PRO	CAST WIND

## Indice

<b>1 Premessa .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Descrizione sintetica del progetto.....</b>	<b>4</b>
<b>3 Quadro conoscitivo .....</b>	<b>5</b>
3.1 <i>Inquadramento normativo.....</i>	<i>5</i>
3.1.1 <i>UNI 9614:2017 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo".....</i>	<i>7</i>
3.1.2 <i>UNI 9916:2004 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici".....</i>	<i>8</i>
3.1.3 <i>ISO 4866 (1990) "Mechanical vibration and shock -- Vibration of fixed structures -- Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on structures".....</i>	<i>10</i>
3.2 <i>Limiti applicabili nell'ambito del presente studio.....</i>	<i>11</i>
3.3 <i>Descrizione del contesto territoriale.....</i>	<i>12</i>
3.4 <i>Inquadramento geologico.....</i>	<i>14</i>
3.5 <i>Individuazione dell'ambito di studio e censimento dei ricettori</i>	<i>15</i>
3.6 <i>Definizione delle attuali sorgenti sul territorio.....</i>	<i>17</i>
<b>4 Analisi dello scenario corso d'opera.....</b>	<b>17</b>
4.1 <i>Metodologia di analisi.....</i>	<i>17</i>

4.2	<i>Le attività di cantiere previste per la realizzazione del parco eolico</i>	19
4.3	<i>Valutazione delle vibrazioni indotte in fase di cantiere.....</i>	21
<b>5</b>	<b>Analisi dello scenario d'esercizio.....</b>	<b>24</b>
5.1	<i>Metodologia di analisi.....</i>	24
5.2	<i>Dati di input del modello di esercizio.....</i>	25
5.3	<i>Valutazione delle vibrazioni indotte in fase di esercizio.....</i>	26
<b>6</b>	<b>Conclusioni.....</b>	<b>29</b>

## 1 PREMESSA

Il presente studio vibrazionale si pone come obiettivo quello di definire e valutare i potenziali impatti indotti sia dalla fase di esercizio del parco eolico in progetto, che dalle attività di cantiere connesse alla sua realizzazione.

In ragione di dette finalità, le azioni di progetto che potenzialmente concorrono all'alterazione dell'attuale esposizione alle vibrazioni sono:

- mezzi di cantiere, connessi alla realizzazione delle diverse opere progettuali.
- esercizio del parco eolico

## 2 DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

Nei comuni di Castellaneta e Palagianello (TA) è prevista la realizzazione di un campo eolico costituito da 10 aerogeneratori, con potenza unitaria di 7,2 MW.

Le opere di connessione quali un tratto di cavidotto e la Sottostazione Elettrica interesseranno anche il Comune di Ginosa (TA).



*Figura 2-1 Localizzazione del campo eolico oggetto di studio*

La seguente tabella geolocalizza e definisce le turbine la cui installazione è prevista per il campo eolico di progetto.

Turbina	Comune	Coordinate UTM		Altitudine [m]
		Long. E [m]	Lat. N [m]	
C01	Castellaneta	664220	4494421	71
C02	Castellaneta	662781	4493240	71
C03	Castellaneta	663818	4493285	74
C04	Castellaneta	664557	4493618	74
C05	Castellaneta	664573	4492530	69
C06	Castellaneta	665426	4492809	63
C07	Castellaneta	663934	4491470	61
C08	Castellaneta	662543	4491261	73
C09	Palagianello	667911	4492860	49
C10	Palagianello	666967	4491386	40

*Tabella 2-1 Coordinate geografiche puntuali turbine d'impianto*

La tipologia di macchina impiegata è di tipo ad asse orizzontale in cui il sostegno, ovvero una torre tubolare con altezza pari a 119 m, porta alla sua sommità la navicella, al cui lato esterno è collegata un rotore di diametro di 162 m.

### 3 QUADRO CONOSCITIVO

#### ***3.1 Inquadramento normativo***

Benché le vibrazioni trasmesse agli edifici non siano mai state argomento di legiferazione da parte dello Stato italiano è tuttavia universalmente riconosciuta la competenza in materia da parte dell'UNI, ente preposto alla redazione della normativa tecnica in ambito nazionale. L'UNI ha pubblicato negli anni una completa serie di norme (nazionali e/o recepimenti di norme internazionali) che coprono l'intera problematica delle vibrazioni negli edifici: la valutazione del disturbo alle persone, la valutazione del danno strutturale, l'implementazione della metodologia di misura ecc..

In particolare, tra le norme di interesse per il presente studio di impatto vibrazionale vi è la UNI 9614:2017 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo". Tale norma definisce il metodo di misura delle vibrazioni immesse negli edifici ad opera di sorgenti esterne o interne agli edifici stessi. La norma concorda parzialmente con la norma internazionale ISO 2631/2.

La norma UNI 9916:2004 fornisce una guida per la scelta di appropriati metodi di misura, di trattamento dei dati e di valutazione dei fenomeni vibratorii per permettere la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica.

Vi sono poi norme internazionali di riferimento, fra cui:

- ISO 8041 Human response to vibration – Measuring instrumentation
- ISO 2631-1, Mechanical vibration and shock evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1: General requirements, 1997;
- ISO 2631-2, Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 2: Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz), 1989;
- ISO 5347, Metodi per la calibrazione dei rilevatori di vibrazioni;
- ISO 5348, Montaggio meccanico degli accelerometri;
- ISO 1683, Acoustics – Preferred reference quantities for acoustic levels, 1983;
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 1: Principles, predetermination and measurement of the amplitude of oscillations, 1975.
- DIN 4150-2, Vibrations in building. Part 2: Influence on persons in buildings, 1975.
- DIN 4150-3, Vibrations in building. Part 3: Influence on constructions, 1975.

Di seguito si fornisce una breve sintesi dei contenuti essenziali delle norme più rilevanti utilizzate per la valutazione dell'impatto da vibrazioni.

### 3.1.1 UNI 9614:2017 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo"

La norma 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 delle vibrazioni immesse nell'edificio dalla specifica sorgente oggetto di indagine ( $V_{sor}$ ), quale valore pari al 95° percentile della distribuzione cumulata di probabilità della massima accelerazione ponderata  $a_{w,max}$  misurata sui singoli eventi. Tale valore viene confrontato con una serie di limiti individuati per gli edifici a seconda della destinazione d'uso e dal periodo temporale di riferimento (diurno 6:00-22:00, notturno 22:00-6:00).

I livelli di soglia indicati dalla suddetta norma sono riportati nella tabella seguente:

<b>Luogo</b>	<b>Accelerazione [<math>m/s^2</math>]</b>
Abitazioni (notte)	3.6
Abitazioni (giorno)	7.2
Luoghi lavorativi	14.4
Ospedali, case di cura, ecc..	2
Asili e case di riposo	3.6
Scuole	5.4

*Tabella 3-1 Valori di soglia di vibrazione relativi al disturbo alle persone (UNI 9614:2017)*

Le misure devono essere eseguite in conformità alla suddetta norma tecnica. In particolare, la durata complessiva è legata al numero di eventi del fenomeno in esame necessaria ad assicurare una ragionevole accuratezza statistica, tenendo conto non solo della variabilità della sorgente ma anche dell'ambiente di misura.

### **3.1.2 UNI 9916:2004 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici"**

I danni agli edifici determinati dalle vibrazioni vengono trattati dalla UNI 9916 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici", norma in sostanziale accordo con i contenuti tecnici della ISO 4866 e in cui viene richiamata, sebbene non faccia parte integrante della norma, la DIN 4150, parte 3. La norma UNI 9916 fornisce una guida per la scelta di appropriati metodi di misura, di trattamento dei dati e di valutazione dei fenomeni vibratorii allo scopo di permettere anche la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica. Altro scopo della norma è di ottenere dati comparabili sulle caratteristiche delle vibrazioni rilevate in tempi diversi su uno stesso edificio, o su edifici diversi a parità di sorgente di eccitazione, nonché di fornire criteri di valutazione degli effetti delle vibrazioni medesime. La norma considera per semplicità gamme di frequenza variabili da 0.1 a 150 Hz. Tale intervallo interessa una grande casistica di edifici e di elementi strutturali di edifici sottoposti ad eccitazione naturale (vento, terremoti, ecc.) nonché ad eccitazioni causate dall'uomo (traffico, attività di costruzione, ecc.). In alcuni casi l'intervallo di frequenza delle vibrazioni può essere più ampio; tuttavia, le eccitazioni con contenuto in frequenza superiore a 150 Hz non sono tali da influenzare significativamente la risposta dell'edificio. L'Appendice A della UNI 9916 contiene una guida semplificata per la classificazione degli edifici secondo la loro probabile reazione alle vibrazioni meccaniche trasmesse attraverso il terreno. Nell'ambito di questa classificazione, un sistema dinamico è costituito dal terreno e dallo strato di base (magrone) sul quale si trovano le fondazioni oltre che la struttura medesima dell'edificio.

Le strutture comprese nella classificazione riguardano:

- tutti gli edifici residenziali e gli edifici utilizzati per le attività professionali (case, uffici, ospedali, case di cura, ecc.);
- gli edifici pubblici (municipi, chiese, ecc.);
- edifici vecchi ed antichi con un valore architettonico, archeologico e storico;
- le strutture industriali più leggere spesso concepite secondo le modalità costruttive in uso per gli edifici abitativi.

La classificazione degli edifici (Prospetto III) è basata sulla loro resistenza strutturale alle vibrazioni oltre che sulla tolleranza degli effetti vibratori sugli edifici in ragione del loro valore architettonico, archeologico e storico. I fattori dai quali dipende la reazione di una struttura agli effetti delle vibrazioni sono:

- la categoria della struttura
- le fondazioni
- la natura del terreno

La categoria di struttura (Prospetto II) è classificata in una scala da 1 a 8 (a numero crescente di categoria corrisponde una minore resistenza alle vibrazioni) in base ad una ripartizione in due gruppi di edifici, edifici vecchi e antichi o strutture costruite con criteri tradizionali (Gruppo 1) e edifici e strutture moderne (Gruppo 2). L'associazione della categoria viene fatta risalire alle caratteristiche tipologiche e costruttive della costruzione e al numero di piani.

Le fondazioni sono classificate in tre classi. La Classe A comprende fondazioni su pali legati in calcestruzzo armato e acciaio, platee rigide in calcestruzzo armato, pali di legno legati tra loro e muri di sostegno a gravità; la Classe B comprende pali non legati in calcestruzzo armato, fondazioni continue, pali e platee in legno; la Classe C infine comprende i muri di sostegno leggeri, le fondazioni massicce in pietra e la condizione di assenza di fondazioni, con muri appoggiati direttamente sul terreno.

Il terreno viene classificato in sei classi: rocce non fessurate o rocce molto solide, leggermente fessurate o sabbie cementate (Tipo a); terreni compattati a stratificazione orizzontale (Tipo b); terreni poco compattati a stratificazione orizzontale (Tipo c); piani inclinati, con superficie di scorrimento potenziale (Tipo d); terreni granulari, sabbie, ghiaie (senza coesione) e argille coesive sature (Tipo e) e materiale di riporto (Tipo f).

L'Appendice B della UNI 9916 contiene i criteri di accettabilità dei livelli delle vibrazioni con riferimento alla DIN 4150 e al Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 24 gennaio 1986 "Norme tecniche relative alle costruzioni in zona sismica." La parte 3 della DIN 4150 indica le velocità massime ammissibili per vibrazioni transitorie:

- sull'edificio (nel suo complesso)

- sui pavimenti:  $v < 20$  mm/s in direzione verticale nel punto di massima vibrazione e le velocità massime ammissibili per vibrazioni stazionarie:
- sull'edificio (nel suo complesso):  $v < 5$  mm/s in direzione orizzontale sull'ultimo piano
- sui pavimenti:  $v < 10$  mm/s in direzione verticale nel punto di massima vibrazione.

Per velocità massima è da intendersi la velocità massima di picco. Essa è ricavabile dalla velocità massima r.m.s. attraverso la moltiplicazione di quest'ultima con il fattore di cresta  $F$ . Tale parametro esprime il rapporto tra il valore di picco e il valore efficace. Per onde sinusoidali si assume  $F = 1.41$ ; in altri casi si possono assumere valori maggiori. Nei casi più critici (ed es. esplosioni di mina)  $F$  può raggiungere il valore 6.

### **3.1.3 ISO 4866 (1990) "Mechanical vibration and shock -- Vibration of fixed structures -- Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on structures"**

La ISO 4866 fornisce infine una classificazione degli effetti di danno a carico delle strutture secondo tre livelli:

- Danno di soglia: formazione di fessure filiformi sulle superfici dei muri a secco o accrescimento di fessure già esistenti sulle superfici in gesso o sulle superfici di muri a secco; inoltre formazioni di fessure filiformi nei giunti di malta delle costruzioni in muratura di mattoni. Possono verificarsi per vibrazioni di piccola durata, con frequenze maggiori di 4 Hz e velocità di vibrazione di  $4 \div 50$  mm/s, e, per vibrazioni continue, con velocità  $2 \div 5$  mm/s.
- Danno minore: formazione di fessure più aperte, distacco e caduta di gesso o di pezzi di intonaco dai muri; formazione di fessure in murature di mattoni. Possono verificarsi per vibrazioni di piccola durata con frequenze superiori a 4 Hz nel campo di velocità vibrazionale compreso tra  $20 \div 100$  mm/s oppure per vibrazioni continue associate a velocità di  $3 \div 10$  mm/s.
- Danno maggiore: danneggiamento di elementi strutturali; fessure nei pilastri; aperture di giunti; serie di fessure nei blocchi di muratura. Possono verificarsi

per vibrazioni di piccola durata con frequenze superiori a 4 Hz e velocità vibrazionale compresa tra 20÷200 mm/s oppure per vibrazioni continue associate a velocità di 5÷20 mm/s.

### **3.2 Limiti applicabili nell'ambito del presente studio**

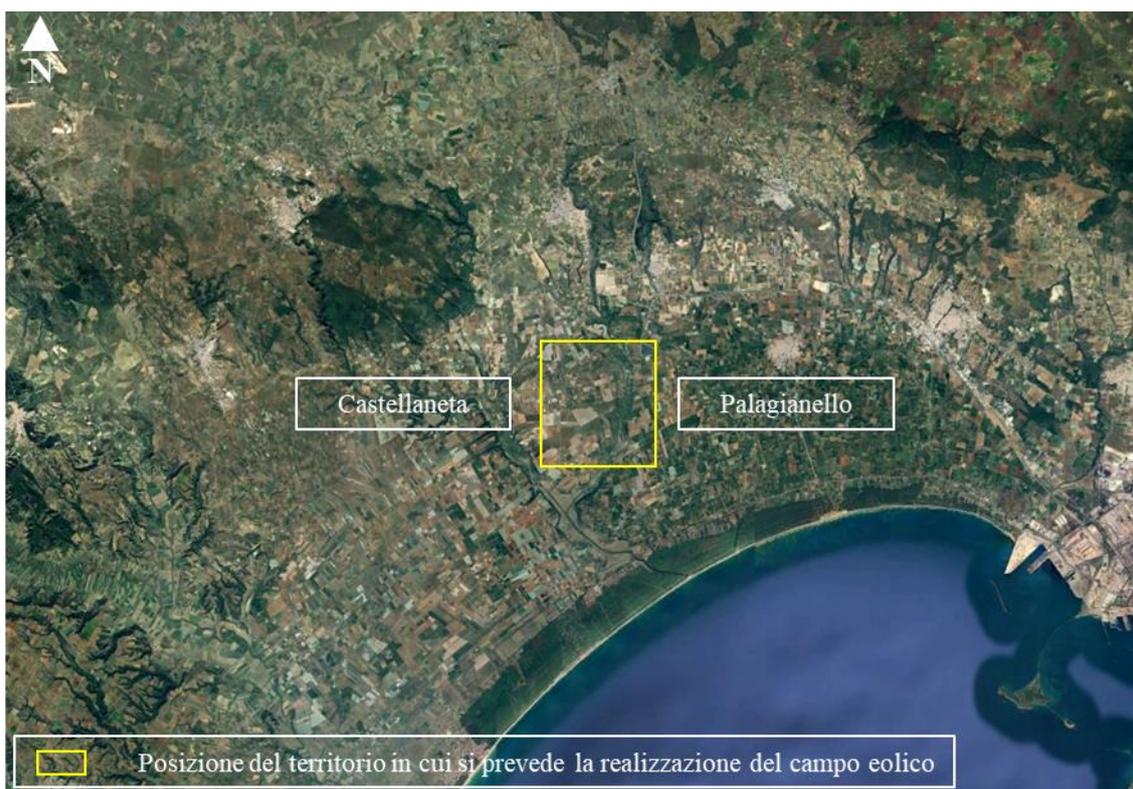
Ai fini del presente studio vibrazionale, finalizzato alla valutazione delle immissioni di vibrazioni indotte sia dalla fase realizzativa dell'opera che dall'esercizio del campo eolico e alla stima dell'interferenza sui potenziali ricettori all'interno della fascia di studio considerata, sono stati considerati i seguenti criteri e quindi i seguenti valori limite assunti come riferimento dalla norma UNI 9614:2017 la quale risulta maggiormente restrittiva rispetto alla norma UNI 9916 e pertanto si hanno delle condizioni più cautelative.

<b>Tipologia immissione</b>	<b>Criterio di valutazione/ norma di riferimento</b>	<b>Parametro di valutazione</b>	<b>Limiti applicabili</b>
Vibrazioni da attività di cantiere – disturbo alle persone	UNI 9614:2017	$V_{sor}$	<p><i>Ambienti ad uso abitativo:</i>            7,2 mm/s<sup>2</sup> (periodo diurno);            5,4 mm/s<sup>2</sup> (periodo diurno di giornate festive)</p> <p><i>Luoghi lavorativi:</i> 14,4 mm/s<sup>2</sup></p> <p><i>Ospedali, case di cura:</i> 2 mm/s<sup>2</sup></p> <p><i>Asili e case di riposo:</i> 3,6 mm/s<sup>2</sup></p> <p><i>Scuole:</i> 5,4 mm/s<sup>2</sup></p>
Vibrazioni da esercizio aerogeneratori – disturbo alle persone	UNI 9614:2017	$V_{sor}$	<p><i>Ambienti ad uso abitativo:</i>            7,2 mm/s<sup>2</sup> (periodo diurno);            3,6 mm/s<sup>2</sup> (periodo notturno);            5,4 mm/s<sup>2</sup> (periodo diurno di giornate festive)</p> <p><i>Luoghi lavorativi:</i> 14,4 mm/s<sup>2</sup></p> <p><i>Ospedali, case di cura:</i> 2 mm/s<sup>2</sup></p> <p><i>Asili e case di riposo:</i> 3,6 mm/s<sup>2</sup></p> <p><i>Scuole:</i> 5,4 mm/s<sup>2</sup></p>

### ***3.3 Descrizione del contesto territoriale***

Il comune di Castellaneta si trova nella provincia di Taranto in Puglia. Il comune si estende per 242 km<sup>2</sup> e ha una densità abitativa di 66,14 abitanti/km<sup>2</sup>. Castellaneta si trova ad un'altitudine di 245 metri s.l.m.

Il comune di Palagianello si trova anch'esso nella provincia di Taranto. Il comune si estende per 43 km<sup>2</sup> e ha una densità abitativa di 171,48 abitanti/km<sup>2</sup>. Il comune si trova ad un'altitudine di 130 metri s.l.m.

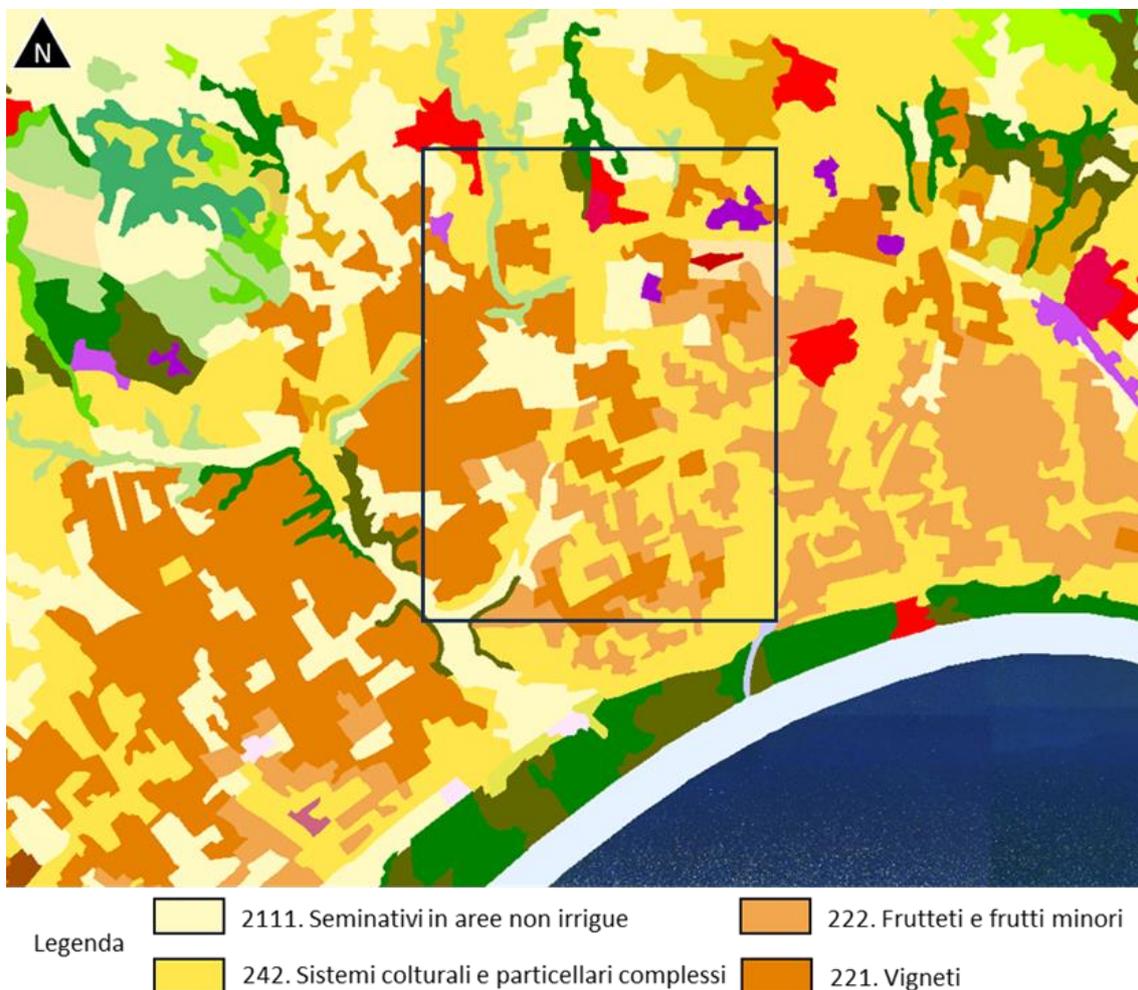


*Figura 3-1 Contesto territoriale in cui si prevede l'inserimento del campo eolico*

Nello specifico, il contesto in cui il progetto si inserisce è delimitato:

- a Nord dai centri abitati di Castellaneta e Palagianello;
- a Sud dal Mar Ionio;
- a Est dal comune di Palagiano;
- ad Ovest dal comune di Ginosa.

Dalle indagini effettuate, la presenza antropica in questa porzione di territorio è molto ridotta se non per la presenza di alcuni agglomerati urbani posti, comunque, a distanza notevole dal campo eolico di progetto.



*Figura 3-2 Inquadramento area di intervento su Carta uso suolo Corine Land Cover, fonte: Geo portale nazionale*

In generale, l'area interessata dalla realizzazione del parco eolico è omogenea per conformazione e caratteristiche meteo climatiche in quanto tutto l'ambito di studio ricade su territori con elevazione compresa tra i 15m e i 75 m s.l.m.

### ***3.4 Inquadramento geologico***

I tipi litologici affioranti in corrispondenza delle opere in progetto sono ad un ampio periodo di tempo che va dal più recente al più antico:

- **DEPOSITI ALLUVIONALI (Olocene):** si tratta prevalentemente di rocce sciolte costituite da limi, silt, ghiaie, sabbie e sabbie limose con inclusi sporadici blocchi con giacitura sub-orizzontale. Le sabbie presentano granulometria variabile da fine a grossolana. Le ghiaie sono caratterizzate da sporadici clasti calcarei arrotondati di dimensioni da millimetriche a decimetriche. Interessano alcuni tratti di cavidotto.
- **DEPOSITI MARINI TERRAZZATI (Pleistocene):** si tratta prevalentemente di conglomerati e ghiaie poligeniche terrazzati, con intercalati sottili livelli sabbiosi e livelli di calcareniti cementate, calcareniti a molluschi, ghiaie e conglomerati eterometrici ed eterogenei con giacitura sub-orizzontale. Interessano tutte le opere in progetto.
- **CALCARENITI DI GRAVINA (Calabriano):** Si tratta di calcareniti "Tufo" di colore bianco-giallastro più o meno cementate, con alla base conglomerati. Non interessano le opere in progetto.
- **ARGILLE SUBAPPENNINICHE (Calabriano):** Argille marnose più o meno siltose e marne grigie a stratificazione poco evidente. Costituiscono il substrato impermeabile dell'area di studio.
- **CALCARI DI ALTAMURA (Senoniano):** si tratta di calcari e calcari dolomitici a rudiste, stratificati, alternati a livelli marnoso-calcarei ad Ophihamididae ed ostracodi. Non interessano le opere in progetto.
- In particolare le aree interessate dalle opere in progetto sono caratterizzate dai Depositi terrazzati marini costituiti da conglomerati e ghiaie poligeniche in matrice

limo-sabbiosa, terrazzati, con intercalati sottili livelli di sabbie e calcareniti cementate con giacitura sub-orizzontale.

- Detti terreni poggiano sul substrato impermeabile costituito da argille ed argille marnose più o meno siltose grigio-azzurre da scarsamente a mediamente consistenti, di colore marrone chiaro quando alterate (spessore di alterazione variabile tra 5-7 m) mentre la frazione inalterata di colore grigio-azzurro si presenta consistente (Argille Subappenniniche).

Tutti i suddetti terreni sono ricoperti da uno spessore variabile tra circa 1.00 e 2.00 m di terreno vegetale poco consistente e scarsamente addensato.

Si mette in evidenza che il cavidotto esterno al parco e di collegamento alla cabina di consegna verrà realizzato esclusivamente su strade asfaltate e, vista la limitata profondità di scavo pari a circa 1.20 m, interesserà esclusivamente la fondazione/rilevato stradale e non interferisce con i terreni in posto sottostanti.

Dai dati delle indagini sismiche eseguite i terreni presenti in corrispondenza delle opere in progetto appartengono alla *Categoria C – "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina 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"*.

### ***3.5 Individuazione dell'ambito di studio e censimento dei ricettori***

Come ambito di studio si intende la porzione di territorio che si ritiene potenzialmente interferita dalle opere in progetto nelle loro modalità di funzionamento e realizzazione. Appare evidente come, pertanto, la definizione di tale area sia correlata alla tipologia di sorgente oggetto di studio.

Per il presente studio si è fatto diretto riferimento a quanto svolto per lo studio acustico, definendo un'area di potenziale interferenza delimitata da una circonferenza di centro il singolo aerogeneratore e raggio pari a 1000 m.

L'ambito di studio complessivo del parco eolico in studio è definito dall'involuppo delle 10 singole aree, ciascuna definita per ogni aerogeneratore secondo il suddetto criterio.



*Figura 3-3 Ambito di studio (in rosso) e turbine di progetto*

Prendendo dunque l'area definita in Figura 3-3 come riferimento per le successive analisi, è stato effettuato un censimento degli edifici individuando la destinazione d'uso con particolare attenzione a quella residenziale in quanto certamente oggetto di un potenziale maggior disturbo vista l'operatività del parco eolico in continuo, e quindi anche nel periodo notturno più sensibile.

Complessivamente sono stati censiti 280 ricettori di cui: 77 di tipo residenziale, ed i restanti 203 ruderi, box o depositi agricoli classificati come 'Altri ricettori'.

Per il dettaglio dei ricettori censiti comprensivo di codici identificativi, l'uso in atto, i riferimenti geografici e la distanza dall'aerogeneratore di progetto più vicino si rimanda integralmente allo studio acustico.

### ***3.6 Definizione delle attuali sorgenti sul territorio***

Al fine di escludere potenziali effetti cumulativi causati dalla sovrapposizione delle sorgenti (attuali e di progetto), è stata svolta un'analisi di definizione delle sorgenti attualmente presenti sul territorio, sia nelle prossimità che all'interno dell'ambito di studio precedentemente definito. La disamina ha consentito di escludere la presenza di altri campi eolici.

## **4 ANALISI DELLO SCENARIO CORSO D'OPERA**

### ***4.1 Metodologia di analisi***

La metodologia di lavoro individuata mira ad escludere ogni possibile interferenza connessa alle attività di cantiere e alla fase di esercizio del parco eolico in oggetto.

In particolare, la metodologia di studio utilizzata ha seguito il seguente schema di analisi:

- Definizione degli scenari di interesse e delle sorgenti in grado di emettere vibrazioni ad essi associate;
- Caratterizzazione dinamica della sorgente di vibrazione;
- Definizione di un modello di propagazione mediante metodi analitici e previsione del livello di vibrazione trasmesso dalla sorgente;
- Stima della distanza limite oltre la quale il fenomeno vibratorio indotto è sostanzialmente trascurabile in ordine al disturbo alle persone e, di conseguenza, al potenziale danneggiamento alle sovrastrutture degli edifici.

Entrando nello specifico, la stima previsionale dei livelli di accelerazione associati al fenomeno vibratorio si basa sull'individuazione di un modello di propagazione delle onde vibrazionali nel suolo a partire dalle caratteristiche geo-meccaniche del suolo stesso e

dai valori di emissione dei mezzi di cantiere. Note le modalità di propagazione delle vibrazioni, in relazione alla natura specifica del terreno attraverso il quale vengono trasmesse, è possibile determinare la distanza oltre la quale le accelerazioni indotte da una specifica attività di cantiere o dall'esercizio di un aerogeneratore, siano inferiori ad un dato valore soglia di riferimento. In particolare, la valutazione del disturbo in corrispondenza di potenziali ricettori è svolta confrontando la distanza che intercorre tra ricettori e aree di cantiere (o pale eoliche), con la distanza "limite" che separa la specifica sorgente emissiva e le curve isolivello corrispondenti ai valori soglia individuati per tipologia di ricettore e periodo temporale dalla norma UNI 9614 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo".

Il modello di propagazione impiegato, valido per tutti i tipi di onde, si basa sull'equazione di Bornitz che tiene conto dei diversi meccanismi di attenuazione a cui l'onda vibrazionale è sottoposta durante la propagazione nel suolo:

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

dove,

$w_1$  e  $w_2$  sono le ampiezze della vibrazione alle distanze.

$r_1$  e  $r_2$  dalla sorgente,

$n$  è il coefficiente di attenuazione geometrica dipendente dal tipo di onda e di sorgente,

$a$  è il coefficiente di attenuazione del materiale dipendente dal tipo di terreno.

Il primo termine dell'equazione esprime l'attenuazione geometrica del terreno. Questa oltre ad essere funzione della distanza, dipende dalla localizzazione e tipo di sorgente (lineare o puntuale, in superficie o in profondità) e dal tipo di onda vibrazionale (di volume o di superficie). Il valore del coefficiente  $n$  è determinato sperimentalmente secondo i valori individuati da Kim-Lee e, nel caso specifico in esame, equivale a 1 in quanto la sorgente è puntiforme e posta in profondità (le onde di volume sono predominanti).

Il secondo termine dell'equazione fa riferimento invece all'attenuazione dovuta all'assorbimento del terreno indotto dai fenomeni di dissipazione di energia meccanica in calore. Il coefficiente di attenuazione  $a$  è esprimibile secondo la seguente formula:

$$a = \frac{2\pi\eta f}{c}$$

dove:

$f$  è la frequenza in Hz,

$c$  è la velocità di propagazione dell'onda in m/s

$\eta$  il fattore di perdita del terreno.

Questi dipendono dalle caratteristiche del terreno e i loro valori sono stati determinati dalla letteratura in ragione della natura del terreno. In via cautelativa, si è ritenuto corretto utilizzare la maggiore tra le velocità di propagazione delle diverse formazioni geologiche individuate nell'area di intervento.

Di seguito i valori assunti per la determinazione del coefficiente di attenuazione  $a$ :

- $\eta$ : (fattore di perdita): 0,1;
- $c$  (velocità di propagazione): 360 m/s.

## ***4.2 Le attività di cantiere previste per la realizzazione del parco eolico***

Le principali attività di cantiere sono quelle connesse alla realizzazione degli aerogeneratori, in quanto opere principali del parco eolico. Per ciascun aerogeneratore si prevedono le seguenti macro-attività:

- ✓ Scavo per le fondazioni;
- ✓ Realizzazione delle opere di fondazione (pali e plinti);
- ✓ Preparazione della piazzola;
- ✓ Montaggio delle componenti (torre, navicella, rotore, pale, etc.).

Per l'esecuzione delle suddette attività si prevede principalmente l'utilizzo dei macchinari indicati in tabella seguente.

<b>Lavorazione</b>	<b>Macchinari</b>
Scavi per le fondazioni	Escavatore
	Pala gommata
	Autocarro
Realizzazione delle opere di fondazione	Macchina per pali
	Pala gommata
	Betoniera con pompa cls
	Autogru
Preparazione della piazzola	Pala gommata
	Grader
	Rullo
Montaggio componenti	Gru
	Attrezzature per assemblaggi
	Montacarichi

*Tabella 4-1 Macchinari di cantiere principalmente impiegati nella fase di corso*

L'impostazione metodologica assunta per la fase di corso d'opera prevede la verifica dell'interferenza indotta dalla fase di cantiere più critica, ovvero quella caratterizzata da maggiore emissione. Stante il suddetto quadro di massima delle lavorazioni previste e il parco mezzi principalmente utilizzato per la realizzazione delle opere, si assume che lo scenario più critico sia rappresentato dalla fase di realizzazione delle opere di fondazione.

Per la caratterizzazione emissiva della sorgente relativa alle attività in esame, per la quale si è considerata la contemporaneità di tre mezzi operativi quali palificatrice, pala gommata ed autogrù, si è fatto riferimento a dati sperimentali desunti in letteratura. A tal proposito, si evidenzia che la caratterizzazione delle emissioni di vibrazioni di mezzi operativi non è soggetta alle stringenti normative e disposizioni legislative che normano invece l'emissione del rumore. Pertanto, in questo caso non si ha una caratterizzazione dell'emissione in condizioni standardizzate ed una garanzia del costruttore a non superare un preciso valore dichiarato. Non si hanno nemmeno valori limite da rispettare per quanto riguarda i livelli di accelerazione comunicati ai ricettori, e pertanto non è possibile specificare la produzione di vibrazioni con lo stesso livello di dettaglio con cui si

è potuto operare per il rumore. Nel caso in oggetto, gli spettri impiegati sono riferiti a misure eseguite ad una distanza di circa 5 m dalla sorgente vibratoria e sono afferenti alla sola componente verticale, ovvero quella che fornisce il contributo maggiore sul vettore immissione.

Di seguito le tabelle riportanti lo spettro emissivo delle sorgenti di vibrazioni individuate nello scenario di riferimento. I valori sono espressi in  $\text{mm/s}^2$ .

Frequenza	[Hz]	1	1.2 5	1.6	2	2.5	3.1 5	4	5	6.3	8	10	12. 5	16	20	25	31. 5	40	50	63	80
<b>Autogru</b>	[ $\text{mm/s}^2$ ]	0.8	1.1	0.7	0.5	0.5	0.4	0.3	1.1	2	2	2.1	5.6	3.3	3.3	3.3	2.1	1.4	0.9	1.1	1.4
<b>Pala gommata</b>	[ $\text{mm/s}^2$ ]	0.7	0.5	0.6	0.6	0.6	0.4	0.3	1	4.9	3.9	2.4	2.7	1.6	3.1	20	26.9	33. 7	35	37. 7	39. 1
<b>Palificatrice</b>	[ $\text{mm/s}^2$ ]	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	17. 2	17. 2	16. 6	16	23. 2	13.3	3	3.1	3.7	3.9	22. 4	28	111	52. 7

*Tabella 4-2 Macchinari di cantiere principalmente impiegati nella fase di corso*

Utilizzando la curva di ponderazione  $w_m$  secondo quanto previsto dalla normativa UNI 9614, è stato quindi calcolato il livello di accelerazione complessivo in dB indotto dai macchinari a diverse distanze dal fronte di lavorazione. Nella tabella seguente si riporta il decadimento livello dell'accelerazione, espresso in dB, in funzione dell'aumento distanza dalla sorgente emissiva.

<b>Distanza</b>	<b>5 m</b>	<b>10 m</b>	<b>20 m</b>	<b>30 m</b>	<b>40 m</b>	<b>50 m</b>	<b>75 m</b>	<b>100 m</b>
<i>L<sub>w</sub></i>	<i>91,8</i>	<i>84,7</i>	<i>77,2</i>	<i>72,6</i>	<i>69,2</i>	<i>66,3</i>	<i>60,7</i>	<i>56,2</i>

*Tabella 4-3 Livelli delle accelerazioni in dB in funzione della distanza dalla sorgente emissiva*

### **4.3 Valutazione delle vibrazioni indotte in fase di cantiere**

La valutazione del disturbo generato da una sorgente deve essere effettuata confrontando il parametro descrittore della vibrazione della sorgente con i limiti di riferimento individuati al paragrafo 9 della norma UNI 9614:2017. In particolare, la UNI 9614 definisce i valori di soglia per il livello totale delle accelerazioni di tipo vibratorio, in funzione della tipologia dei fabbricati e del loro utilizzo. Si noti come i valori presenti nella norma si riferiscono a sorgenti di tipo continuo e risultano dunque conservativi rispetto ad una sorgente di tipo intermittente o addirittura transitoria quale costituita dalle attività di cantiere. I valori limite indicati nella UNI 9614 sono riportati nella tabella che segue:

<b>tipologia ricettore</b>	<b>a (mm/s<sup>2</sup>)</b>	<b>L<sub>a,w</sub> (dB)</b>
Abitazioni (notte)	3,6	71.1
Abitazioni (giorno)	7,2	77.1
Luoghi lavorativi	14	82.9
Ospedali, case di cura ed affini	2	66.0
Asili e case di riposo	3,6	71.1
Scuole	5,4	74.6

*Tabella 4-4 Norma UNI 9614:2017 - Valori limite*

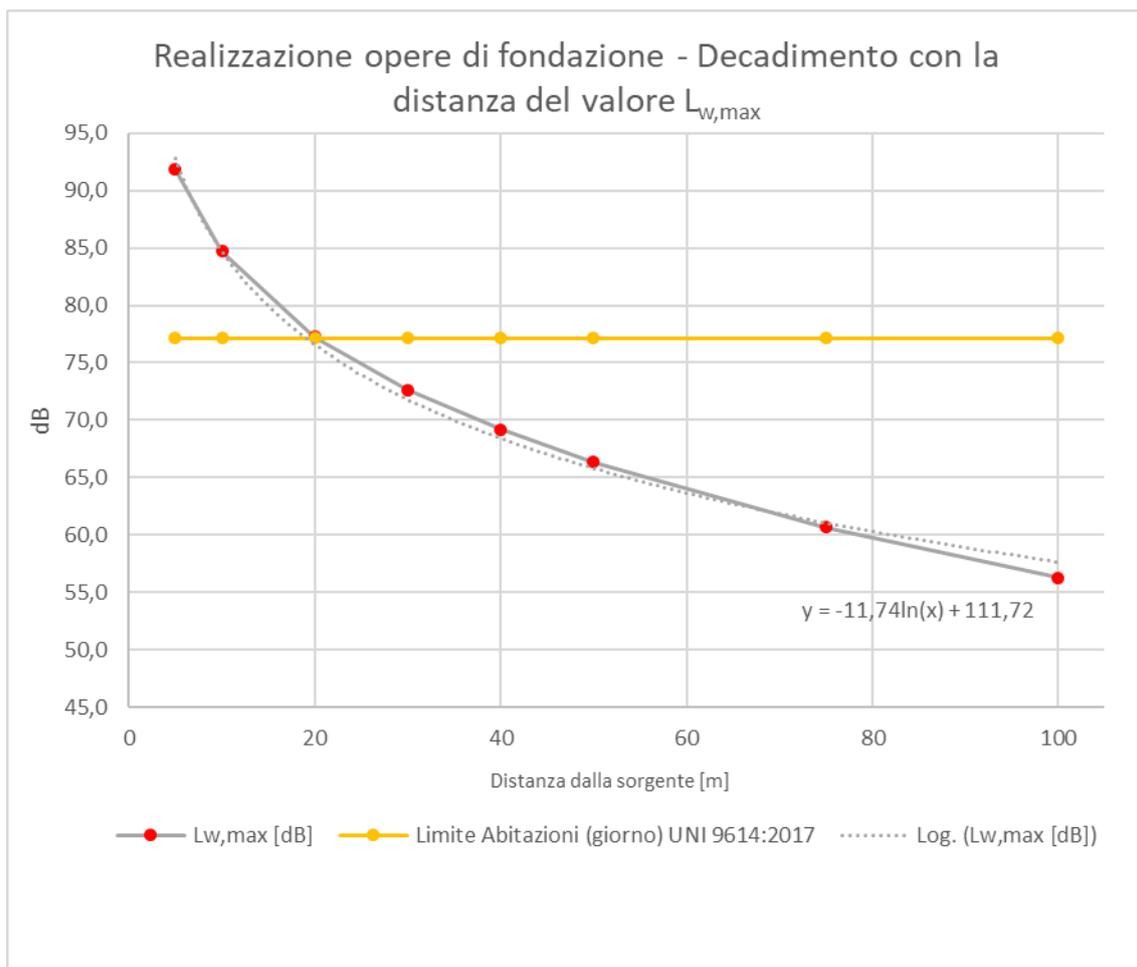
Al fine di analizzare l'interazione tra l'opera e l'ambiente in fase di cantiere e avere contezza delle potenziali interferenze vibrazionali indotte ai ricettori presenti, sulla scorta del modello di propagazione nel terreno individuato in precedenza, sono state calcolate le distanze limite, corrispondenti a ciascuna tipologia di ricettore, oltre le quali il contributo vibrazionale delle sorgenti indagate è inferiore ai suddetti valori di soglia e pertanto trascurabile. Tali distanze sono state poi confrontate con le distanze minime che intercorrono tra le aree di cantiere e i ricettori più prossimi a ciascuna di esse. L'analisi è stata limitata ai soli cantieri fissi ritenendo gli effetti dei cantieri mobili per la realizzazione dei cavidotti trascurabili in ragione dell'estrema transitorietà delle lavorazioni nonché della tipologia delle macchine impiegate e delle dimensioni oggettivamente esigue di tali interventi.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti in termini di distanze limite riferite ai valori soglia in indicati dalla norma UNI 9614 secondo il modello di propagazione sviluppato.

Tipologia ricettori UNI 9614:2017	a [mm/s <sup>2</sup> ]	La,w (dB)	distanza limite
Abitazioni (notte)	3.6	71.1	31,4
Abitazioni (giorno)	7.2	77.1	18,8
Luoghi lavorativi	14	82.9	11,5
Ospedali, case di cura ed affini	2	66.0	48,5
Asili e case di riposo	3.6	71.1	31,4
Scuole	5.4	74.6	23,3

Tabella 4-5 distanze limite peer tipologia di ricettori UNI 9614:2017 – corso d'opera

Nel grafico seguente si riporta l'andamento del decadimento del livello associato alle vibrazioni in funzione della distanza secondo il modello di propagazione individuato.



Come visibile dalla Tabella 4-5 e dal successivo grafico, ad una distanza di 18,8 m risultano rispettati i valori raccomandati dalla normativa per la tipologia di ricettore in esame. Nella tabella seguente il raffronto tra distanza limite e distanza cantiere-ricettore più prossimo.

<b>Ricettore</b>	<b>Tipologia ricettore</b>	<b>Area cantiere più prossima</b>	<b>Distanza cantiere</b>	<b>Distanza limite</b>
R102	Residenziale	C07	223	18,8
R166	Residenziale	C06	295	18,8
R218	Residenziale	C10	300	18,8
R138	Residenziale	C05	323	18,8
R30	Residenziale	C02	379	18,8
R255	Residenziale	C09	389	18,8
R12	Residenziale	C08	419	18,8
R76	Residenziale	C03	500	18,8
R100	Residenziale	C01	516	18,8
R157	Residenziale	C04	536	18,8

*Tabella 4-6 verifica distanze limite*

Come evidenziano i risultati dell'analisi condotta, è senz'altro possibile affermare che, in ragione della minima distanza che intercorre tra aree di cantiere e ricettori, l'impatto da vibrazioni prodotto durante la fase di realizzazione del parco eolico in oggetto è assolutamente trascurabile e che nessun ricettore riceve un fenomeno vibrazionale tale da ingenerare disturbo. Ciò anche considerando l'effetto cumulato di diversi mezzi.

## **5 ANALISI DELLO SCENARIO D'ESERCIZIO**

### ***5.1 Metodologia di analisi***

Premesso che allo stato attuale non esistono riferimenti normativi specifici per la valutazione delle vibrazioni generate dalla tipologia impiantistica in esame, al fine di valutare la potenziale interferenza sotto il profilo vibrazionale in relazione all'entrata in

funzione del parco eolico in progetto, si è proceduto, secondo la metodologia già esposta per la fase di cantiere, a stimare l'impatto potenziale da vibrazioni determinando in via previsionale la distanza oltre la quale l'entità del fenomeno vibratorio indotto sia tale da non arrecare disturbo alle attività circostanti, alla popolazione umana ed ai ricettori in generale secondo i valori limite indicati dalla Norma UNI 9614:2017.

## ***5.2 Dati di input del modello di esercizio***

Nell'applicazione del modello previsionale al fine di valutare il potenziale possibile disturbo in termini quantitativi, sono stati utilizzati i medesimi parametri utilizzati per l'analisi del corso d'opera: Pertanto, in funzione della tipologia di substrato litologico si assumono i seguenti valori:

- $\eta = 0,1$
- $c = 360 \text{ m/s}$

Per quanto concerne i valori accelerometrici di riferimento per la sorgente in esercizio, non essendo attualmente disponibili dati vibrazionali relativi al modello di aerogeneratore di futura installazione, come dato di input sono stati utilizzati valori di accelerazione riferiti ad impianti simili associando gli stessi alla condizione in oggetto. In particolare, sono stati considerati valori di accelerazione misurati presso strutture analoghe reperiti in letteratura tecnica. Nello specifico, è stato preso in considerazione il valore r.m.s. di accelerazione (non ponderato in frequenza) afferente alla componente verticale (asse z) e misurato alla distanza di 1 metro dalla sorgente vibratoria rappresentata dalla torre di sostegno di impianti analoghi:

$$w_1(z) = 27,2 \text{ mm/s}^2$$

Tale valore è stato ricavato da dati misurati presso 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>Accelerazione alla sorgente (asse z) [mm/s<sup>2</sup>]</b>	27,2
<b>Livello vibrazione alla sorgente [dB]</b>	88,7
<b>Distanza dalla sorgente [m]</b>	1
<b>Coefficiente di attenuazione geometrica</b>	1
<b>Fattore di perdita del terreno</b>	0,1
<b>Velocità di propagazione nel terreno [m/s]</b>	360
<b>Frequenza onda di vibrazione di riferimento per il calcolo [Hz]</b>	1

*Tabella 5-1 valori di input per la stima delle vibrazioni indotte in fase di esercizio*

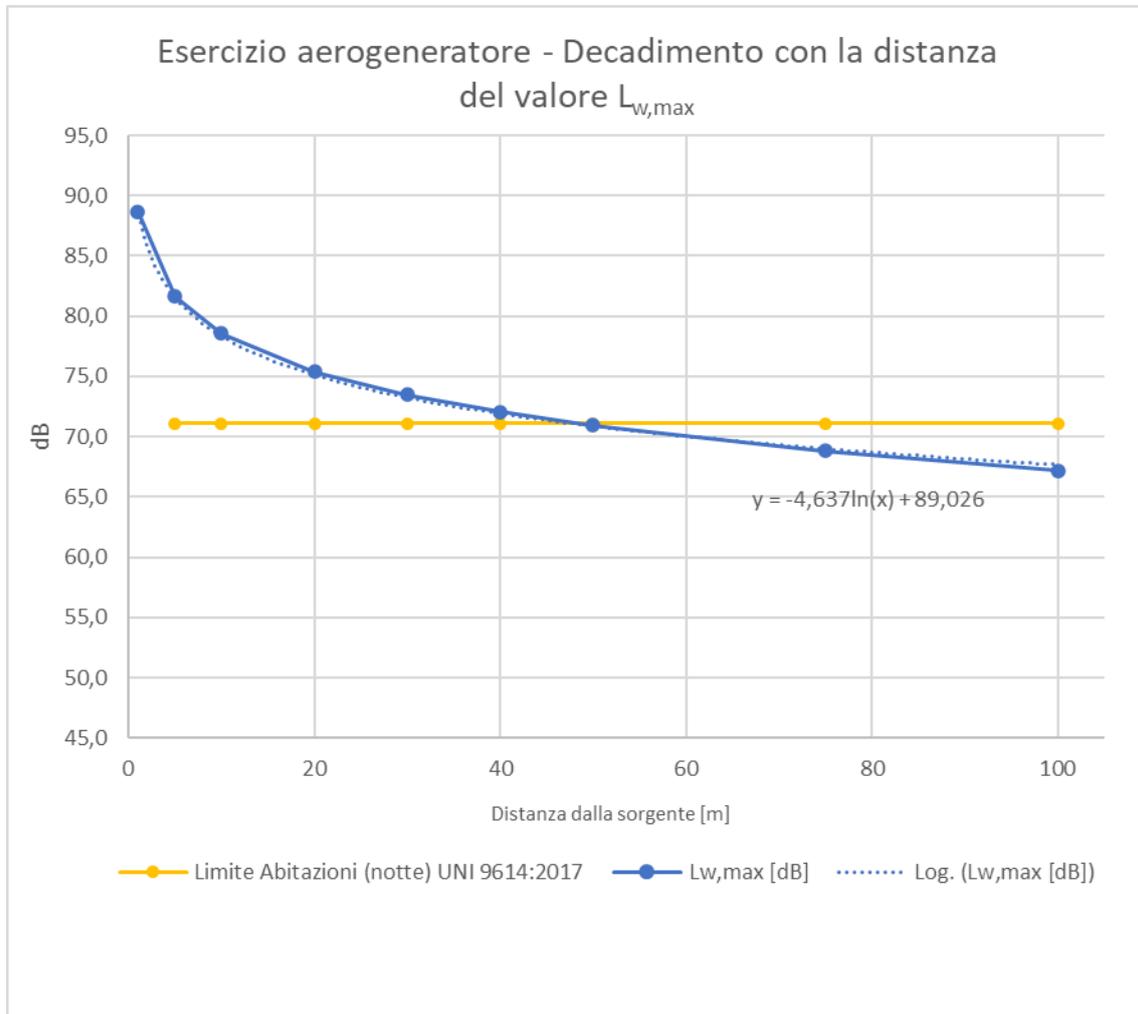
### ***5.3 Valutazione delle vibrazioni indotte in fase di esercizio***

Di seguito si riportano i risultati ottenuti in termini di distanza limite oltre le quali è verificato il rispetto dei valori soglia indicati dalla norma UNI 9614 secondo il modello di propagazione sviluppato.

<b>Tipologia ricettori UNI 9614:2017</b>	<b>a [mm/s<sup>2</sup>]</b>	<b>La,w (dB)</b>	<b>distanza limite</b>
Abitazioni (notte)	3,6	71,1	46,9
Abitazioni (giorno)	7,2	77,1	12,9
Luoghi lavorativi	14	82,9	3,7
Ospedali, case di cura ed affini	2	66,0	140,6
Asili e case di risposo	3,6	71,1	46,9
Scuole	5,4	74,6	22,0

*Tabella 5-2 distanze limite peer tipologia di ricettori UNI 9614:2017 – fase di esercizio*

Nel grafico seguente si riporta l'andamento del decadimento del livello associato alle vibrazioni in funzione della distanza secondo il modello di propagazione individuato.



Come visibile dalla Tabella 5-2 e dal successivo grafico, ad una distanza di 46,9 m risultano rispettati i valori raccomandati dalla normativa per la tipologia di ricettore in esame. Nella tabella seguente il raffronto tra distanza limite e distanza cantiere-ricettore più prossimo

Ricettore	Tipologia ricettore	Area cantiere più prossima	Distanza aerogeneratore	Distanza limite
R102	Residenziale	C07	223	46,9
R166	Residenziale	C06	295	46,9
R218	Residenziale	C10	300	46,9

<b>Ricettore</b>	<b>Tipologia ricettore</b>	<b>Area cantiere più prossima</b>	<b>Distanza aerogeneratore</b>	<b>Distanza limite</b>
R138	Residenziale	C05	323	46,9
R30	Residenziale	C02	379	46,9
R255	Residenziale	C09	389	46,9
R12	Residenziale	C08	419	46,9
R76	Residenziale	C03	500	46,9
R100	Residenziale	C01	516	46,9
R157	Residenziale	C04	536	46,9

*Tabella 5-3 verifica distanze limite– fase di esercizio*

L'analisi dei risultati consente di escludere che l'esercizio del nuovo parco eolico possa produrre effetti sotto il profilo vibrazionale tali da ingenerare disturbo presso i ricettori esaminati, Poiché infatti gli aerogeneratori di progetto sono distanti tra loro almeno 800 m, ed il primo ricettore risulta dislocato a distanze molto superiori rispetto a quelle indicate nella precedente tabella, è possibile senz'altro affermare che l'impatto causato dalle vibrazioni indotte dal parco eolico in oggetto sia assolutamente trascurabile,

## 6 CONCLUSIONI

Col presente studio si è inteso valutare il fattore fisico "vibrazioni" in termini quantitativi attraverso la verifica del "criterio del disturbo", individuando per ciascuna tipologia di ricevitore le distanze limite oltre le quali i valori limite fissati dalla norma UNI 9614:2017 siano certamente rispettate dalle emissioni vibratorie indotte dal funzionamento del parco eolico in oggetto, nonché dalle attività di cantiere legate alla sua realizzazione.

Per quanto riguarda la fase di esercizio, il dato previsionale ottenuto evidenzia che ad una distanza di 46,9 m dalle sorgenti le vibrazioni trasmesse sono già al di sotto dei valori limite per le abitazioni nel periodo notturno e diurno (UNI 9614:2017).

Allo stesso modo, il dato previsionale ottenuto per la fase di cantiere conferma che l'entità del fenomeno vibrazionale connesso alle lavorazioni maggiormente impattanti sia, già ad una distanza di 18,8 metri, al di sotto dei limiti fissati dalla norma relativamente a ricettori residenziali nel periodo diurno.

Considerato che i ricettori residenziali più prossimi alle aree di cantiere, e quindi agli aerogeneratori, sono posti a distanze non inferiori a 220 metri, si ritiene che nessun ricevitore sia sottoposto a vibrazioni tali da ingenerare disturbo.