

Regione
Puglia



Provincia di
Andria-Barletta-Trani



Committente:

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

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

Titolo del Progetto:

PARCO EOLICO "MINERVINO"

Elaborato:

Studio vibrazionale

PROGETTO	DISCIPLINA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	SCALA
E-MIN	A	-	RE	11	

NOME FILE:

E-MIN-A-RE-11.pdf

Progettazione:



Ing. Giacomo Pettinelli

Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	FEBBRAIO 2024	PRIMA EMISSIONE	GEMSA	GEMSA	GSMT WIND S.R.L

Sommario

1	Premessa	3
2	Descrizione sintetica del progetto	3
3	Quadro conoscitivo	5
3.1	<i>Inquadramento normativo</i>	5
3.1.1	<i>UNI 9614:2017 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo"</i>	7
3.1.2	<i>UNI 9916:2004 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici"</i>	8
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>	12
3.2	<i>Limiti applicabili nell'ambito del presente studio</i>	13
3.3	<i>Descrizione del contesto territoriale</i>	14
3.4	<i>Inquadramento geologico.....</i>	16
3.5	<i>Individuazione dell'ambito di studio e censimento dei ricettori</i>	21
3.6	<i>Definizione delle attuali sorgenti sul territorio.....</i>	23
4	Analisi dello scenario corso d'opera.....	23
4.1	<i>Metodologia di analisi.....</i>	23
4.2	<i>Le attività di cantiere previste per la realizzazione del parco eolico</i>	26
4.3	<i>Valutazione delle vibrazioni indotte in fase di cantiere</i>	28

5	Analisi dello scenario d'esercizio.....	31
5.1	<i>Metodologia di analisi.....</i>	<i>31</i>
5.2	<i>Dati di input del modello di esercizio.....</i>	<i>32</i>
5.3	<i>Valutazione delle vibrazioni indotte in fase di cantiere.....</i>	<i>33</i>
6	Conclusioni	36

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 Minervino Murge e Canosa di Puglia in provincia di Barletta-Andria-Trani (BAT) è prevista la realizzazione di un campo eolico costituito da 17 aerogeneratori di potenza nominale di 99,2 MW. L'impianto è localizzato nella parte nord-ovest del Comune di Minervino Murge e a sud del comune di Canosa di Puglia.

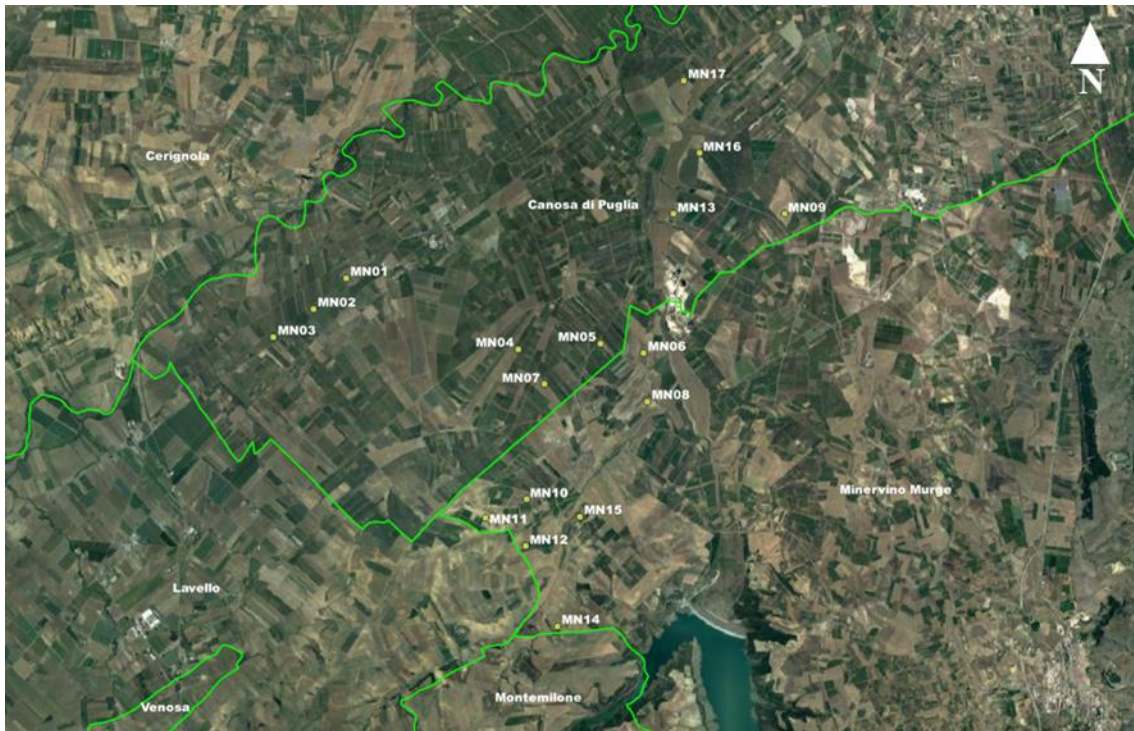


Figura 2-1 Localizzazione del campo eolico oggetto di studio

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]	
MN01	Canosa di Puglia	577022.69	4556170.99	95
MN02	Canosa di Puglia	576406.93	4555596.89	102
MN03	Canosa di Puglia	575660.18	4555083.49	108
MN04	Canosa di Puglia	580218.52	4554849.56	123
MN05	Canosa di Puglia	581752.05	4554962.61	129
MN06	Minervino Murge	582554.41	4554787.35	125
MN07	Canosa di Puglia	580709.68	4554197.87	130
MN08	Minervino Murge	582625.91	4553876.86	135

Turbina	Comune	Coordinate UTM		Altitudine [m]
		Long. E [m]	Lat. N [m]	
MN09	Canosa di Puglia	585174.34	4557370.39	173
MN10	Minervino Murge	580368.37	4552058.80	178
MN11	Minervino Murge	579607.77	4551711.00	192
MN12	Minervino Murge	580365.00	4551187.91	176
MN13	Canosa di Puglia	583115.75	4557369.18	136
MN14	Minervino Murge	580949.16	4549693.31	218
MN15	Minervino Murge	581365.55	4551734.47	166
MN16	Canosa di Puglia	583592.61	4558502.38	126
MN17	Canosa di Puglia	583302.91	4559854.44	92

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 125 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:

Luogo	Accelerazione [mm/s²]
Abitazioni (notte)	3.6
Abitazioni (giorno)	7.2
Luoghi lavorativi	14.4
Ospedali, case di cura, ecc..	2
Asili e case di risposo	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÷50 mm/s, e, per vibrazioni continue, con velocità 2÷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÷100 mm/s oppure per vibrazioni continue associate a velocità di 3÷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.

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

3.3 Descrizione del contesto territoriale

I comuni di Minervino Murge e Canosa di Puglia si trovano nella provincia di Barletta-Andria-Trani in Puglia.

Il comune di Minervino Murge si estende per 257,41 km² ed ha una densità abitativa di 31,47 abitanti/km². Si trova ad un'altitudine di 429 metri s.l.m.

Il comune di Canosa di Puglia, invece, si estende per 150,93 km² con una densità abitativa di 184,05 abitanti/km² e con un'altitudine di 120 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-est dal centro abitato di Canosa di Puglia;
- ad Est dal centro abitato di Minervino Murge;
- a Sud dalla diga e dal lago di Locone.

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.

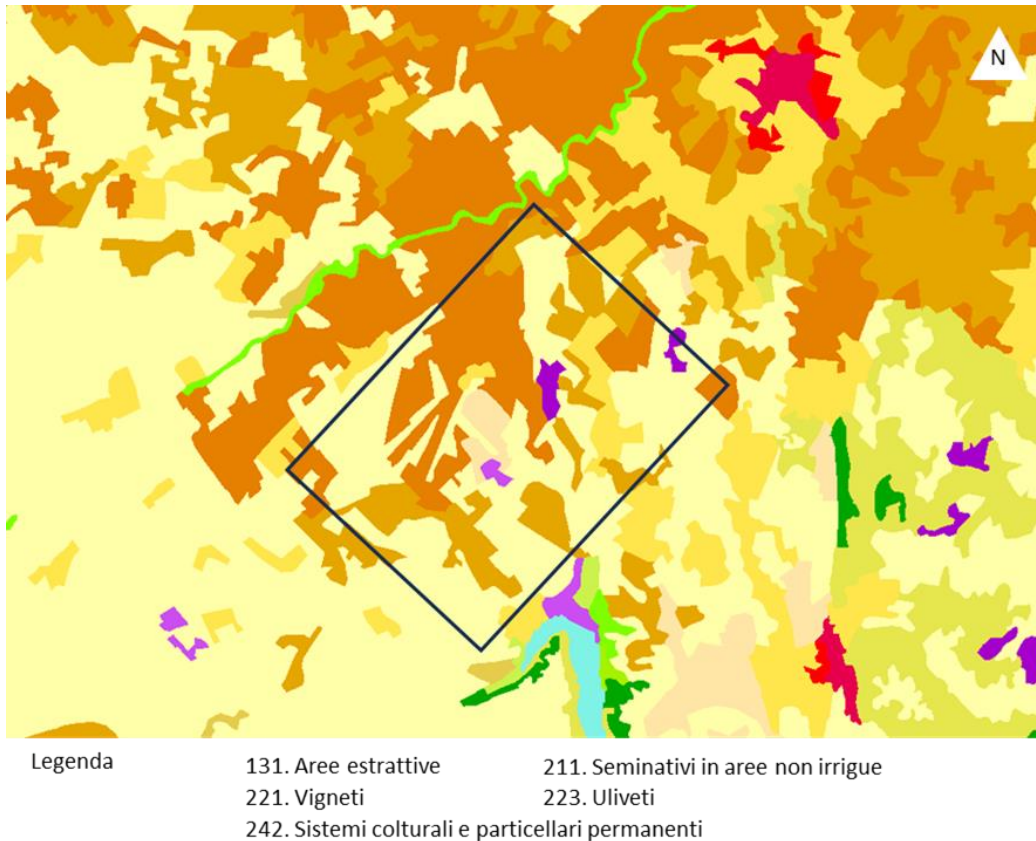


Figura 3-2 Inquadramento area di intervento su Carta uso suolo Corine Land Cover, fonte: Geo portale Nazionale

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 collinari con elevazione compresa tra gli 80 m e i 240 m s.l.m.

3.4 Inquadramento geologico

I tipi litologici affioranti in corrispondenza delle opere in progetto sono riferibili ad un ampio periodo di tempo e che distinguiamo 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 gli aerogeneratori MN01, MN02 ed MN03 ed alcuni tratti di cavidotto.
- **DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI (Pleistocene superiore):** si tratta prevalentemente di rocce sciolte costituite da sabbie e ghiaie con giacitura sub-orizzontale. Interessano alcuni tratti di cavidotto.
- **DEPOSITI MARINI TERRAZZATI (Pleistocene medio-sup):** si tratta prevalentemente di sabbie e arenarie, ghiaie e conglomerati, calcareniti, silt e argille di ambiente di transizione e/o continentale. Interessano gli aerogeneratori MN09, MN14, MN16, la sottostazione ed alcuni tratti di cavidotto.
- **DEPOSITI CONTINENTALI TERRAZZATI (Pleistocene medio):** si tratta prevalentemente di rocce sciolte costituite da ghiaie e conglomerati con giacitura sub-orizzontale. Le ghiaie sono caratterizzate da clasti calcarei arrotondati di dimensioni da millimetriche a decimetriche ed i conglomerati si presentano generalmente cementati. Interessano gli aerogeneratori MN04, MN05, MN06, MN07, MN08, MN10, MN11, MN17 ed alcuni tratti di cavidotto.
- **COMPLESSO ARGILLOSO (Pliocene medio-Pleistocene medio):** Si tratta di argille, argille siltose ed argille marnose grigio-azzurre.

Interessano gli aerogeneratori MN12, MN15, ed alcuni tratti di cavidotto.

- **COMPLESSO CALCARENITICO** (Pleistocene medio – Pleistocene inf.): si tratta prevalentemente di calcareniti cementate con sporadici livelli sabbiosi, con stratificazione orizzontale. Interessano l'aerogeneratore MN13 ed alcuni tratti di cavidotto.

In particolare:

1. Le aree interessate dagli aerogeneratori MN01, MN02 ed MN03 sono caratterizzate dall'affioramento dei depositi alluvionali costituiti da conglomerati con matrice sabbioso-pelitica, coperti da coltri sabbio-limose pedogenizzate di spessore pari a circa 3 m. Hanno uno spessore variabile tra circa 7 m e 10 m e poggiano sui terreni riferibili al Complesso Argilloso che si presenta alterato per uno spessore pari a 5 m (vedi Colonna stratigrafica Tipo 1 allegata).
2. Le aree interessate dagli aerogeneratori MN04, MN05, MN06, MN07, MN08, MN10 ed MN11 sono caratterizzate dall'affioramento dei depositi continentali terrazzati costituiti da ghiaie e conglomerati con giacitura sub-orizzontale. Hanno uno spessore variabile tra 5 e 10 m e poggiano sui terreni riferibili al Complesso Argilloso che si presenta alterato per uno spessore pari a 5 m (vedi Colonna stratigrafica Tipo 2 allegata).
3. L'area interessata dall'aerogeneratore MN17 è caratterizzata dall'affioramento dei depositi continentali terrazzati costituiti da ghiaie e conglomerati con giacitura sub-orizzontale. Hanno

uno spessore pari a circa 10 m e poggiano sui terreni riferibili al Complesso Calcarenitico costituito da calcareniti cementate con sporadici livelli sabbiosi, con stratificazione orizzontale (vedi colonna stratigrafica Tipo 3 allegata).

4. Le aree interessate dagli aerogeneratori MN12 ed MN15 sono caratterizzate dall'affioramento del Complesso Argilloso costituito da argille ed argille marnose grigio-azzurre da scarsamente a mediamente consistenti, di colore marrone chiaro quando alterate (spessore di alterazione variabile tra 6-8 m) mentre la frazione inalterata di colore grigio-azzurro si presenta consistente (vedi colonna stratigrafica Tipo 4 allegata).
5. L'area interessata dall'aerogeneratore MN14 e dalla sottostazione è caratterizzata dall'affioramento dei Depositi marini terrazzati costituiti da calcareniti e conglomerati con intercalazione di silt e livelli sabbiosi. Hanno uno spessore pari a circa 10 m e poggiano sui terreni riferibili al Complesso Argilloso che si presenta alterato per uno spessore pari a 5 m (Vedi Colonna stratigrafica Tipo 5 allegata).
6. Le aree interessate dagli aerogeneratori MN9 ed MN16 sono caratterizzate dall'affioramento dei Depositi marini terrazzati costituiti da calcareniti e conglomerati con intercalazione di silt e livelli sabbiosi. Hanno uno spessore variabile tra circa 5 e 10 m e poggiano sui terreni riferibili al Complesso Calcereo che si presenta costituito da calcari grigio-biancastri, spesso

fortemente dolomitizzati, con stratificazione massiva o indistinta (vedi Colonna stratigrafica Tipo 6 allegata).

Tutti i suddetti terreni sono ricoperti da uno spessore variabile tra circa 1.00 e 3.00 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 sottostanti.

Dai dati delle indagini sismiche eseguite i terreni presenti in corrispondenza degli aerogeneratori MN01, MN02, MN03, MN04, MN05, MN06, MN07, MN08, MN11, MN12, MN14, MN15 e della sottostazione 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”, mentre in corrispondenza degli aerogeneratori MN09, MN10, MN13, MN16 e MN17 appartengono alla Categoria B - “Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s”.

Ai fini del presente studio è stato preso in considerazione il terreno con la maggiore velocità di propagazione per verificare lo scenario peggiore.

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 17 singole aree, ciascuna definita per ogni aerogeneratore secondo il suddetto criterio.



Figura 3-3 Ambito di studio (in blu) 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.

Il territorio che ricade all'interno dell'ambito di studio è prettamente naturale, poco antropizzato, con alcune aree a destinazione agricola. Complessivamente sono stati censiti 481 ricettori di cui: 69 di tipo residenziale ed il restante ruderi, box o depositi agricoli.

Per il dettaglio dei ricettori censiti comprensivo di codici identificativi, l'uso in atto, il numero di piani, 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 ulteriori sorgenti che possano concorrere all'immissione di vibrazioni e fornire effetti di disturbo cumulativi indotti dall'inserimento nel contesto territoriale degli aerogeneratori di progetto.

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.

La metodologia proposta e adottata nella presente valutazione previsionale si sviluppa pertanto attraverso tre fasi:

- a) Caratterizzazione dinamica della sorgente di vibrazione;
- b) Previsione del livello di vibrazione trasmesso alla sorgente mediante metodi analitici;

- c) Sulla base del modello di propagazione individuato, stima della distanza limite oltre la quale il fenomeno vibratorio indotto è sostanzialmente trascurabile in ordine al disturbo alle persone.

Entrando nello specifico delle analisi, la verifica dei livelli vibrazionali indotti è stata eseguita rispetto ai valori assunti come riferimento per la valutazione del disturbo in corrispondenza degli edifici così come individuati dalla norma UNI 9614 “Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo”. Il modello previsionale assunto per la stima dei livelli di accelerazione si basa sull’individuazione di un modello di propagazione delle onde vibrazionali di tipo teorico a partire da valori di emissione dei mezzi di cantiere.

Entrando nello specifico, 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

η 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 :

- η : (fattore di perdita): 0,1;
- C (velocità di propagazione): 800 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.

Lavorazione	Macchinari
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 mm/s^2 .

Frequenza	[Hz]	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
Autogru	$[\text{mm/s}^2]$	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
Pala gommata	$[\text{mm/s}^2]$	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
Palificatrice	$[\text{mm/s}^2]$	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.

Distanza	5 m	10 m	20 m	30 m	40 m	50 m	75 m	100 m
L_w	91,8	85,2	78,4	74,2	71,1	68,7	64,0	60,5

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:

tipologia ricettore	a (mm/s²)	L_{a,w} (dB)
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

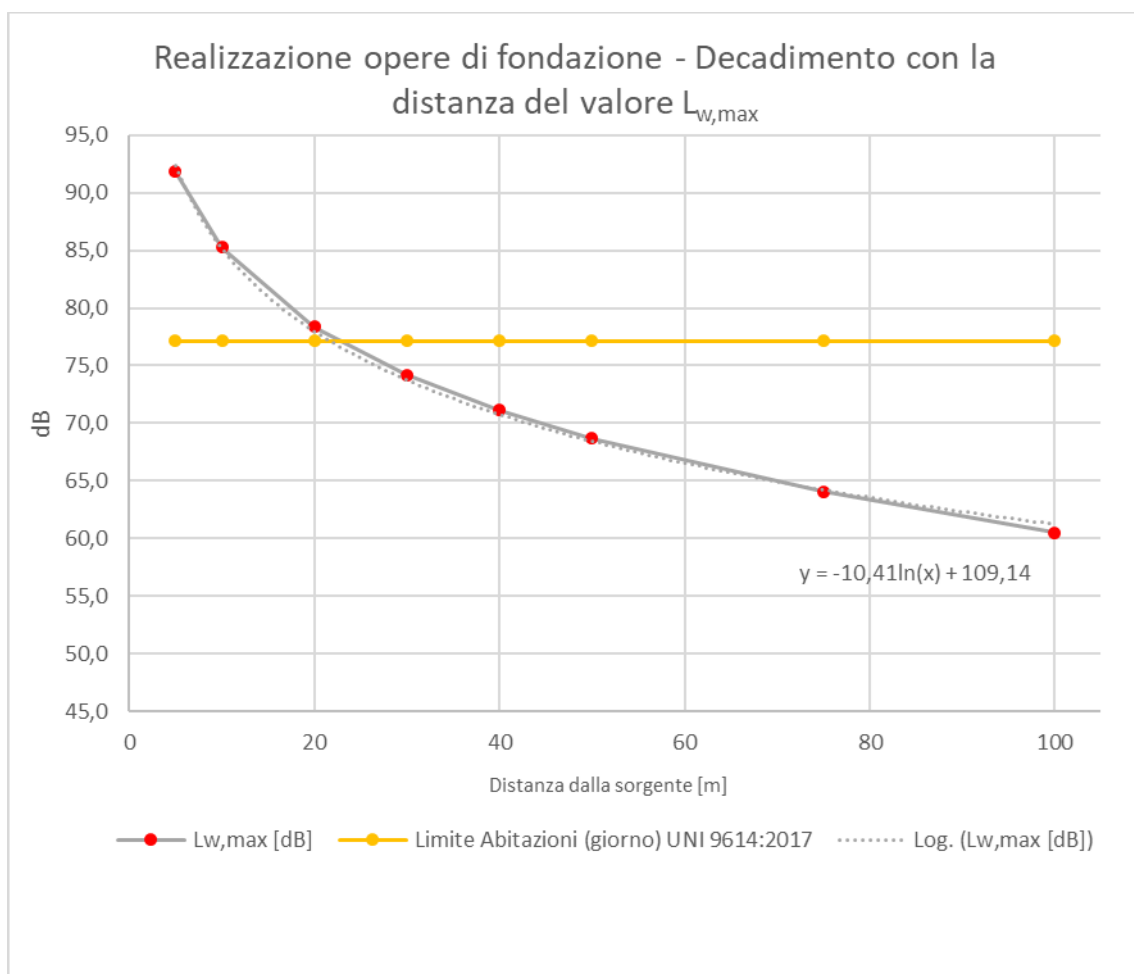
Al fine di analizzare l'interazione tra l'opera e l'ambiente in fase di cantiere e avere contezza delle potenziali interferenze vibrazionali indotte ai ricettori presenti, sono state calcolate le distanze limite, corrispondenti a ciascuna tipologia di ricettore, oltre le quali il contributo vibrazionale 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 indicati dalla norma UNI 9614 secondo il modello di propagazione sviluppato.

Tipologia ricettori UNI 9614:2017	a [mm/s ²]	La,w (dB)	distanza limite
Abitazioni (notte)	3.6	71.1	38,1
Abitazioni (giorno)	7.2	77.1	21,4
Luoghi lavorativi	14	82.9	12,3
Ospedali, case di cura ed affini	2	66.0	62,1
Asili e case di riposo	3.6	71.1	38,1
Scuole	5.4	74.6	27,2

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 circa 21 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 cantiere	Distanza limite
R070	Residenziale	MN01	307,45	21,4
R059	Residenziale	MN02	454,07	21,4
R034	Residenziale	MN03	493,79	21,4
R459	Residenziale	MN09	496,57	21,4
R416	Residenziale	MN17	517,06	21,4
R112	Residenziale	MN11	518,62	21,4
R263	Residenziale	MN05	607,95	21,4
R389	Residenziale	MN16	636,83	21,4
R315	Residenziale	MN08	696,19	21,4
R402	Residenziale	MN13	715,50	21,4
R367	Residenziale	MN06	912,16	21,4

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:

- $\eta = 0,1$
- $c = 800 \text{ m/s}$

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 similari 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:

Accelerazione alla sorgente (asse z) [mm/s²]	27.2
Livello vibrazione alla sorgente [dB]	88.7
Distanza dalla sorgente [m]	1
Coefficiente di attenuazione geometrica	1
Fattore di perdita del terreno	0.1
Velocità di propagazione nel terreno [m/s]	800
Frequenza onda di vibrazione di riferimento per il calcolo [Hz]	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 cantiere

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.

Tipologia ricettori UNI 9614:2017	a [mm/s²]	La,w (dB)	distanza limite
--	-----------------------------	------------------	------------------------

Tipologia ricettori UNI 9614:2017	a [mm/s²]	La,w (dB)	distanza limite
Abitazioni (notte)	3,6	71,1	51,8
Abitazioni (giorno)	7,2	77,1	13,5
Luoghi lavorativi	14	82,9	3,7
Ospedali, case di cura ed affini	2	66,0	161,4
Asili e case di risposo	3,6	71,1	51,8
Scuole	5,4	74,6	23,6

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.

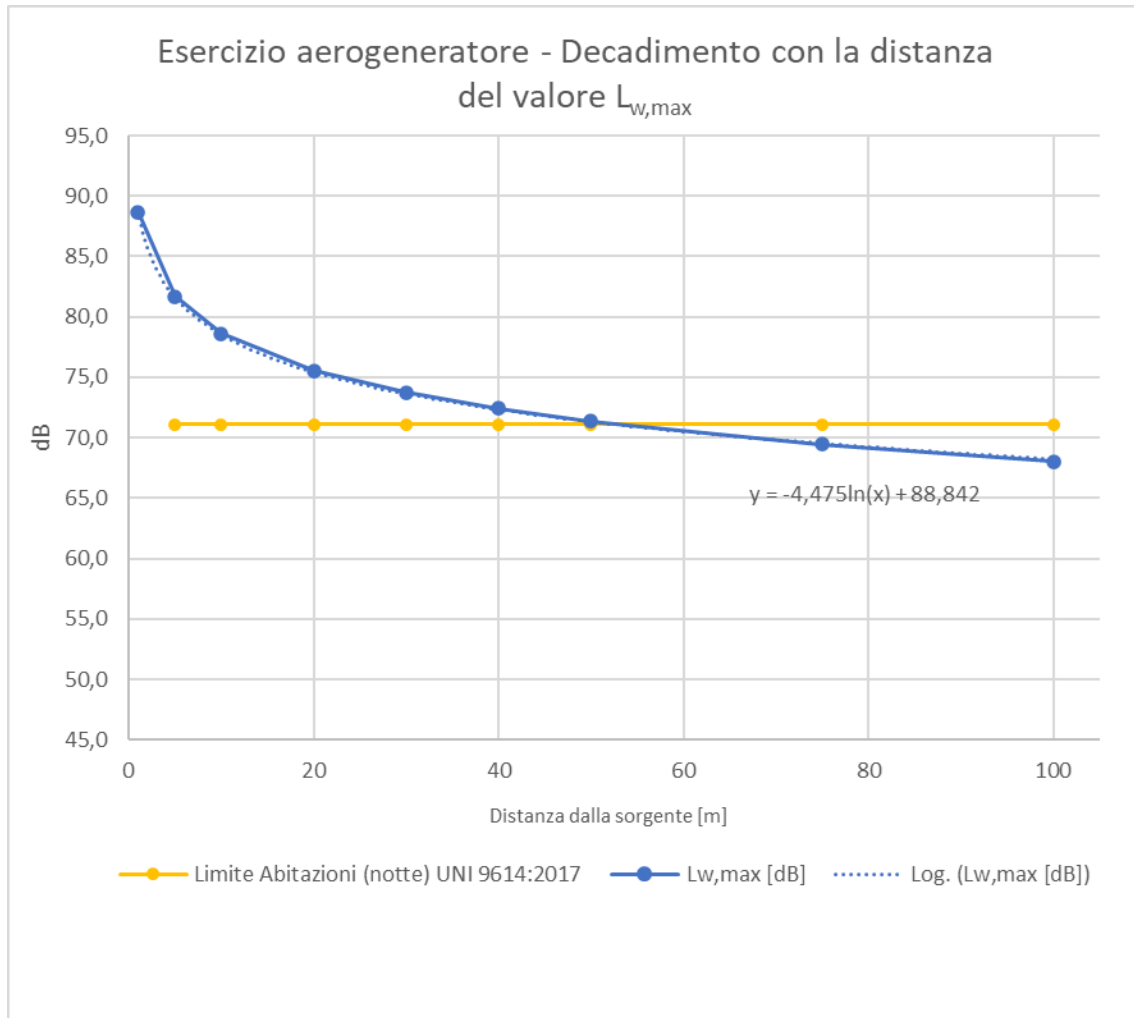


Figura 5-1 Andamento decadimento aerogeneratore

Come visibile dalla Figura 5-1 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e dal successivo grafico, ad una distanza di circa 52 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 cantiere	Distanza limite
R070	Residenziale	MN01	307,45	51,8
R059	Residenziale	MN02	454,07	51,8

Ricettore	Tipologia ricettore	Area cantiere più prossima	Distanza cantiere	Distanza limite
R034	Residenziale	MN03	493,79	51,8
R459	Residenziale	MN09	496,57	51,8
R416	Residenziale	MN17	517,06	51,8
R112	Residenziale	MN11	518,62	51,8
R263	Residenziale	MN05	607,95	51,8
R389	Residenziale	MN16	636,83	51,8
R315	Residenziale	MN08	696,19	51,8
R402	Residenziale	MN13	715,50	51,8
R367	Residenziale	MN06	912,16	51,8

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 505 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 ricettore 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 circa 52 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 circa 21 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 305 metri, si ritiene che nessun ricettore sia sottoposto a vibrazioni tali da ingenerare disturbo.