

Comune
di Monterenzio



Regione Emilia-Romagna



Città Metropolitana di
Bologna



CITTÀ
METROPOLITANA
DI BOLOGNA

Committente:

RWE

RWE RENEWABLES ITALIA S.R.L.
via Andrea Doria, 41/G - 00192 Roma
P.IVA/C.F. 06400370968

Titolo del Progetto:

PARCO LION STONE

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

N° Documento:

PELI-S10

ID PROGETTO:	PELI-P	DISCIPLINA:		TIPOLOGIA:	R	FORMATO:	A4
--------------	--------	-------------	--	------------	---	----------	----

Elaborato:

Studio vibrazionale

FOGLIO:	1 di 1	SCALA:	-	Nome file:	PELI-S10-0
---------	--------	--------	---	------------	------------

Progettazione:



Hydro Engineering s.s.
di Damiano e Mariano Galbo
via Rossotti, 39
91011 Alcamo (TP) Italy



Dott. Geol. Gualtiero Bellomo
Dott.ssa Maria Antonietta Marino
Dott. Geol. Massimo Perniciaro
Ing. Giacomo Pettinelli
Dott.ssa Irene De Sapio
Arch. Paesaggista Ermelinda Cosenza

Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	Febbraio/2024	PRIMA EMISSIONE	VAMIRGEOIND	VAMIRGEOIND	RWE RENEWABLES ITALIA S.R.L.

REGIONE EMILIA ROMAGNA

COMUNI DI MONTERENZIO (BO) E CASALFIUMANESE (BO)

**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI
ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA NEL COMUNE DI
MONTERENZIO (BO) CON OPERE DI ADEGUAMENTO DELLA
VIABILITÀ ESISTENTE NEL COMUNE DI CASALFIUMANESE
(BO)**

Committente: RWE RENEWABLES ITALIA S.R.L.

STUDIO VIBRAZIONALE

SOMMARIO

1	PREMESSA	3
2	DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO	3
3	QUADRO CONOSCITIVO	6
3.1	<i>Inquadramento normativo</i>	6
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	<i>ANALISI DELLO SCENARIO CORSO D’OPERA.....</i>	24
4.1	<i>Metodologia di analisi.....</i>	24
4.2	<i>Le attività di cantiere previste per la realizzazione del parco eolico</i> <i>26</i>	
4.3	<i>Valutazione delle vibrazioni indotte in fase di cantiere</i>	28
5	<i>ANALISI DELLO SCENARIO D’ESERCIZIO</i>	33
5.1	<i>Metodologia di analisi.....</i>	33
5.2	<i>Dati di input del modello di esercizio.....</i>	33
5.3	<i>Valutazione delle vibrazioni indotte in fase di esercizio.....</i>	34
6	<i>CONCLUSIONI</i>	38

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

Nel comune di Monterenzio in provincia di Bologna è prevista la realizzazione di un campo eolico costituito da 7 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 7,2 MW.

L’impianto è localizzato nella parte centrale del territorio del comune di Monterenzio.

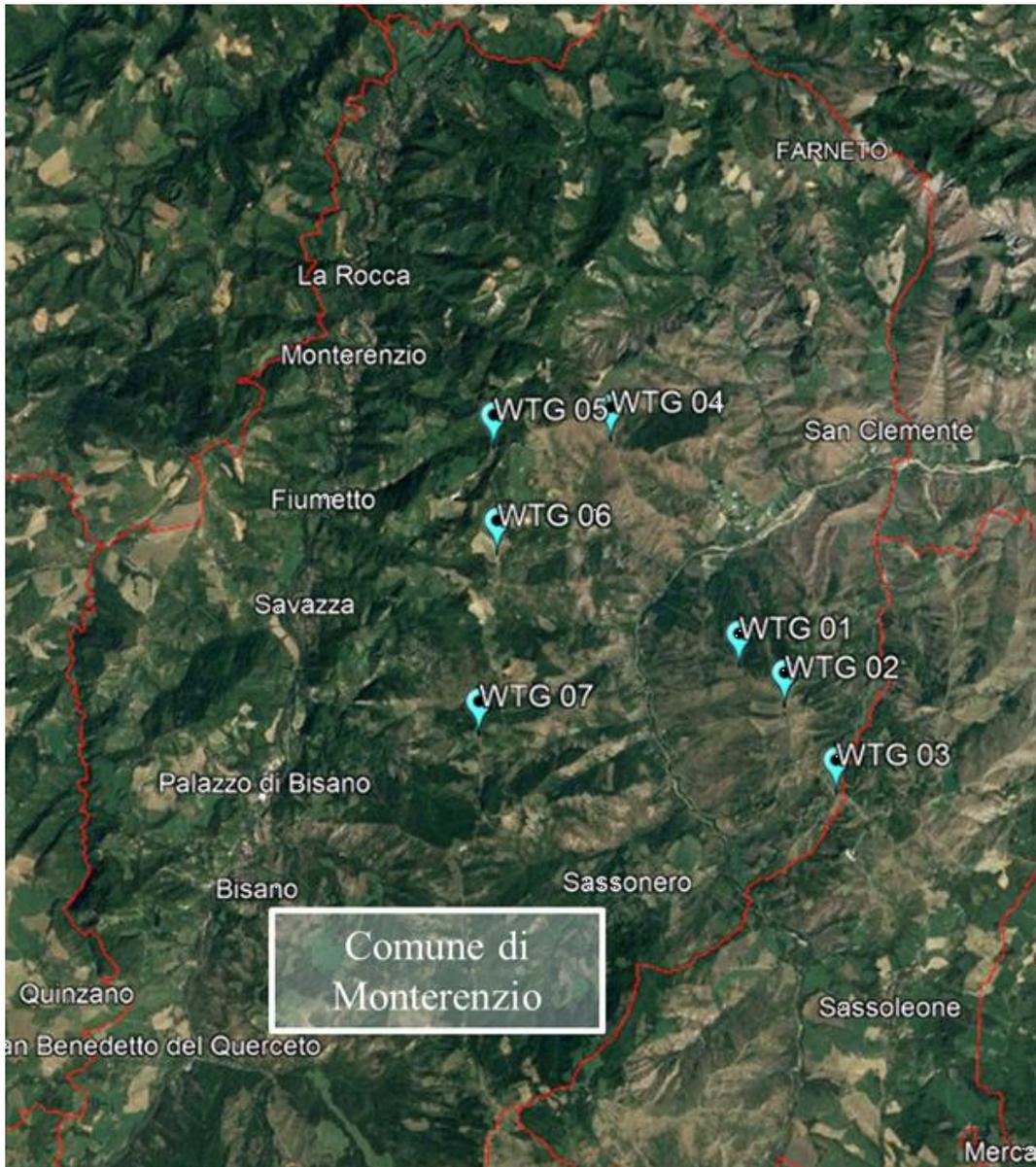


Figura 2-1 Localizzazione del campo eolico oggetto di studio

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

Aerogeneratore		Comune	Coordinate UTM WGS84 32T	
Numero	Codifica		Est [m]	Nord [m]
WTG01	PELI01	Monterenzio	696354	4907612
WTG02	PELI02	Monterenzio	696900	4907182
WTG03	PELI03	Monterenzio	697525	4906205
WTG04	PELI04	Monterenzio	694814	4910190
WTG05	PELI05	Monterenzio	693483	4910059
WTG06	PELI06	Monterenzio	693560	4908844
WTG07	PELI07	Monterenzio	693427	4906754

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 quota mozzo pari a 114 m, porta alla sua sommità la navicella, al cui lato esterno è collegato un rotore di diametro di 172 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 [m/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 vibratorii 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}	<p><i>Ambienti ad uso abitativo:</i> 7,2 mm/s² (periodo diurno); 5,4 mm/s² (periodo diurno di giornate festive)</p> <p><i>Luoghi lavorativi:</i> 14,4 mm/s² <i>Ospedali, case di cura:</i> 2 mm/s² <i>Asili e case di riposo:</i> 3,6 mm/s² <i>Scuole:</i> 5,4 mm/s²</p>
Vibrazioni da esercizio aerogeneratori – disturbo alle persone	UNI 9614:2017	V_{sor}	<p><i>Ambienti ad uso abitativo:</i> 7,2 mm/s² (periodo diurno); 3,6 mm/s² (periodo notturno); 5,4 mm/s² (periodo diurno di giornate festive)</p> <p><i>Luoghi lavorativi:</i> 14,4 mm/s² <i>Ospedali, case di cura:</i> 2 mm/s² <i>Asili e case di riposo:</i> 3,6 mm/s² <i>Scuole:</i> 5,4 mm/s²</p>

3.3 Descrizione del contesto territoriale

Il comune di Monterezeno è situato nel territorio della provincia Bologna in Emilia-Romagna.

Il comune di Monterezeno estende per 105,26 km² e ha una densità abitativa di 57,47 abitanti/km² (scarsamente popolato). Il comune si trova ad una altitudine di 207 metri. s.l.m.

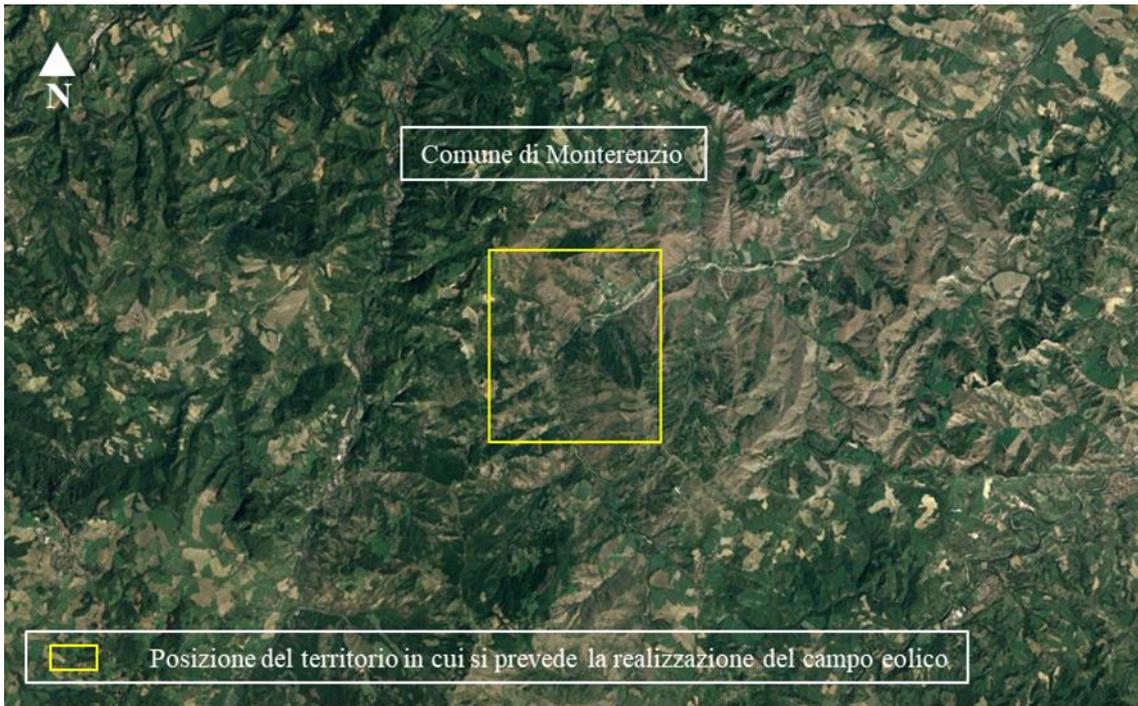


Figura 3-1 Contesto territoriale in cui si prevede l'inserimento del campo eolico

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

- a Ovest dal centro abitato del comune di Monterenzio;
- ad Est dal comune di Casalfiumanese;

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.

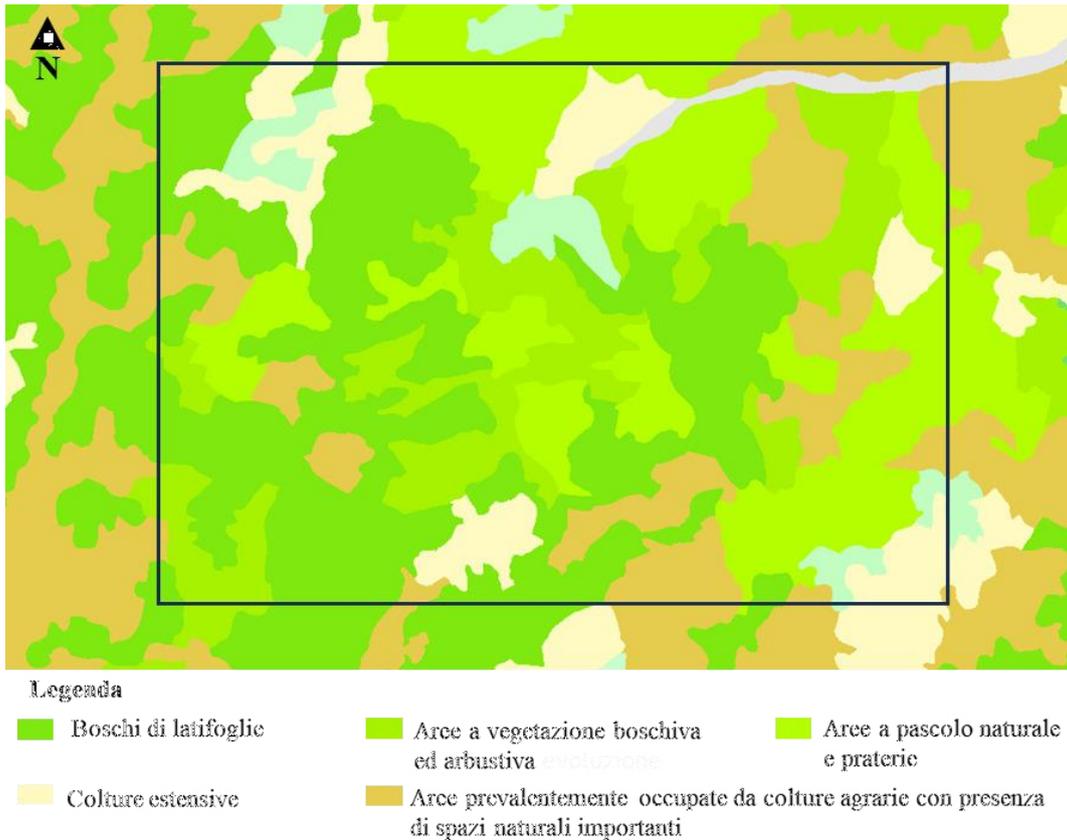


Figura 3-2 Inquadramento area di intervento su Carta uso suolo Corine Land Cover, fonte: Geo portale nazionale

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 i 485 m e 561 m s.l.m.

3.4 Inquadramento geologico

I tipo litologici affioranti in corrispondenza delle opere in progetto sono riferibili ad un unico complesso descritto di seguito:

- UNITA' DI MODENA (Olocene): in generale si tratta di un complesso costituito da ghiaie e ghiaie sabbiose o da sabbie con livelli e lenti di ghiaie ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua,

in contesti di conoide alluvionale, canale fluviale e piana alluvionale intravalliva.

Detti terreni interessano la sottostazione elettrica e alcuni tratti di cavidotto.

- FORMAZIONE PANTANO (Burdigaliano sup. Langhiano): in generale si tratta di un complesso costituito da areniti fini grigio chiare, fossilifere, Detti terreni interessano alcuni tratti di cavidotto.
- FORMAZIONE ANTOGNOLA (Rupeliano-Burdigaliano): in generale si tratta di un complesso costituito da marne siltose e siltoso arenacee grigio-verdi a frattura da scheggiata a conoide, con patine manganesifere scure e rare intercalazioni di livelli arenitici sottili e medi a grana finissima, si segnalano locali sottili orizzonti vulcanoclastici giallastri.

Detti terreni interessano l'aerogeneratore WTG06.

- MEMBRO DI ANCONELLA (Rupeliano sup.- Burdigaliano inf.): in generale si tratta di un complesso costituito da areniti quarzoso-feldspatiche grigio-giallastre da fini a molto grossolane, generalmente poco cementate, in strati da medio-sottili a spessi, raramente banchi, talvolta amalgamati. Sono presenti subordinate peliti nerastre e marne argillose grigio-verdi. Detti terreni interessano alcuni tratti di cavidotto.
- FORMAZIONE DI CONTIGNACO (Aquitano sup. – Burdigaliano): in generale si tratta di un complesso costituito da marne siltose grigio cenere, localmente silicee, a frattura scheggiata, con patine scure manganesifere e intercalazioni di areniti fini grigie in strati gradati da sottili a spessi. Sono caratteristici della formazione alcuni livelli

tripolacei chiari. Detti terreni interessano l’aerogeneratore WTG05 e alcuni tratti di cavidotto.

- **BRECCE ARGILLOSE DELLA VAL TIEPIDO-CANOSA** (Chattiano-Aquitano): in generale si tratta di un complesso costituito da argille grigie, che inglobano frammenti e clasti lapidei, di dimensioni variabili (in genere decimetriche o più piccole), costituiti da calcilutiti grigio chiare, e da areniti fini e finissime, micacee. Detti terreni interessano alcuni tratti di cavidotto.
- **MARNE DI MONTE PIANO** (Luteziano sup. – Rupeliano inf.): in generale si tratta di un complesso costituito da marne argillose rossastre e rosate, recanti strati sottili di arenarie feldspatiche. Detti terreni interessano alcuni tratti di cavidotto.
- **ARGILLE VARICOLORI DELLA VAL SAMOGGIA** (Hauteriviano sup. – Eocene inf.): in generale si tratta di un complesso costituito da argilliti, talora siltose, grigio scure e nerastre a bande rosso scure e verdastre, con sottili intercalazioni di siltiti brune, arenarie fini e medie grigio scuro-violacee e calcari micritici sicilizzati grigio-verdastri a patine manganesifere. Detti terreni interessano alcuni tratti di cavidotto.
- **ARGILLE VARICOLORI DELLA VAL SAMOGGIA – LITOFACIES ARENACEA** (Maastrichtiano sup. – Paleocene sup.): in generale si tratta di un complesso costituito da alternanze di argilliti, talora siltose, grigio scure e nerastre a bande rosso scure e verdastre e arenarie feldspatiche. Detti terreni interessano l’aerogeneratore WTG03 e alcuni tratti di cavidotto.
- **FORMAZIONE DI MONGHIDORO** (Eocene superio-re-Tortoniano): si tratta della litofacies moarnosa costituita da merne

calcareae. Detti terreni interessano l’aerogeneratore WTG07 e alcuni tratti di cavidotto.

- ARGILLE VARICOLORI DI GRIZZANA MORANDI – LITOFACIES ARENITICA (Cenomaniano sup. – Santoniano sup.): si tratta della litofacies arenitica costituita da arenarie fini grigio-verdastre in strati sottili, alternate a peliti fissili e nerastre o debolmente varicolate. Detti terreni interessano alcuni tratti di cavidotto.
- ARGILLE A PALOMBINI (Berriasino – Turoniano): in generale si tratta di un complesso costituito da argilliti siltose grigio scure e grigio-azzurrognole intercalate e calcilutiti silicizzate grigio chiare e grigio-verdi in strati da medi a spessi, talora a base arenitica media, fratturate. Locali intercalazioni di calcari marnosi grigi. Detti terreni interessano l’aerogeneratore WTG02 e alcuni tratti di cavidotto.
- ARGILLE A PALOMBINI – LITOFACIES ARGILLITICA CON CALCARI BUDINATI (Berriasiano – Turoniano): si tratta della litofacies argillitica costituita da argilliti varicolate recanti blocchi budinati pluridecimetrici di calcilutiti biancastre. Detti terreni interessano gli aerogeneratori WTG01 e WTG04 e alcuni tratti di cavidotto.
- ARGILLE A PALOMBINI – LITOFACIES A BRECCE OFIOLITICHE E DIASPRI (Berriasiano – Turoniano): in generale si tratta della litofacies a brecce ofiolitiche e diaspri costituita da Argilliti varicolate con blocchi budinati pluridecimetrici di calcilutiti biancastre, associate a corpi aterometrici costituiti da brecce ofiolitiche a diaspri. Sono presenti locali intercalazioni da

decimetriche a metriche di brecce poligeniche a matrice argollosa.

Detti terreni interessano alcuni tratti di cavidotto.

- DIASPRI (Oxforiano – Kimmeridgiano): si tratta di diaspriche costituiti da quarzi micro e criptocristallino granulare, in certi casi anche fibroso, combinato a volte a piccole quantità di silice opalina. Detti terreni interessano alcuni tratti di cavidotto.

Dai dati delle indagini sismiche eseguite per il presente studio sono state ricostruite i contatti stratigrafici descritti di seguito in corrispondenza degli aerogeneratori e della sottostazione.

In particolare, sono descritti di seguito, per ciascun aerogeneratore e per la cabina di consegna i terreni interessati dalle fondazioni:

- ❖ WTG01: argille varicolori con inclusi blocchi di calcilutiti biancastre. La frazione alterata, di spessore variabile tra 2-3 m, è costituita da limi argillosi, da scarsamente a mediamente consistenti, con inclusi sporadici elementi lapidei di natura calcarea di dimensioni centimetriche;
- ❖ WTG02: argilliti siltose grigio azzurre intercalate a calcilutiti silicizzate grigio chiare. La frazione alterata, di spessore variabile tra 3-4 m, è costituita da argille limose, da scarsamente a mediamente consistenti, con inclusi sporadici elementi lapidei di natura calcarea di dimensioni centimetriche;
- ❖ WTG03: argilliti scagliettate, talora siltose, grigio scure con intercalazioni di arenarie. La frazione alterata, di spessore variabile tra 2-3 m, è costituita da argille limose, da scarsamente a mediamente consistenti, con inclusi sporadici elementi lapidei di natura arenacea di dimensioni centimetriche;

- ❖ WTG04: argille varicolori con inclusi blocchi di calcilutiti biancastre. La frazione alterata, di spessore variabile tra 3-4 m, è costituita da limi argillosi, da scarsamente a mediamente consistenti, con inclusi sporadici elementi lapidei di natura calcarea di dimensioni centimetriche;
- ❖ WTG05: marne siltose grigio cenere, localmente silicee, con intercalazioni di strati arenitici. La frazione alterata, di spessore variabile tra 2-3 m, è costituita da limi, da scarsamente a mediamente consistenti, con inclusi sporadici elementi lapidei di natura arenacea di dimensioni centimetriche.
- ❖ WTG06: marne siltose consistenti di colore grigio-verde. La frazione alterata, di spessore variabile tra 3-4 m, è costituita da limi argillosi, da scarsamente a mediamente consistenti, con inclusi sporadici elementi lapidei di natura arenacea di dimensioni centimetriche.
- ❖ WTG07: marne calcaree consistenti. La frazione alterata, di spessore variabile tra 3-4 m, è costituita da argille marnose, da scarsamente a mediamente consistenti, con inclusi sporadici elementi lapidei di natura calcarea di dimensioni centimetriche.
- ❖ Sottostazione elettrica: ghiaie e ghiaie sabbiose scarsamente addensate.

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

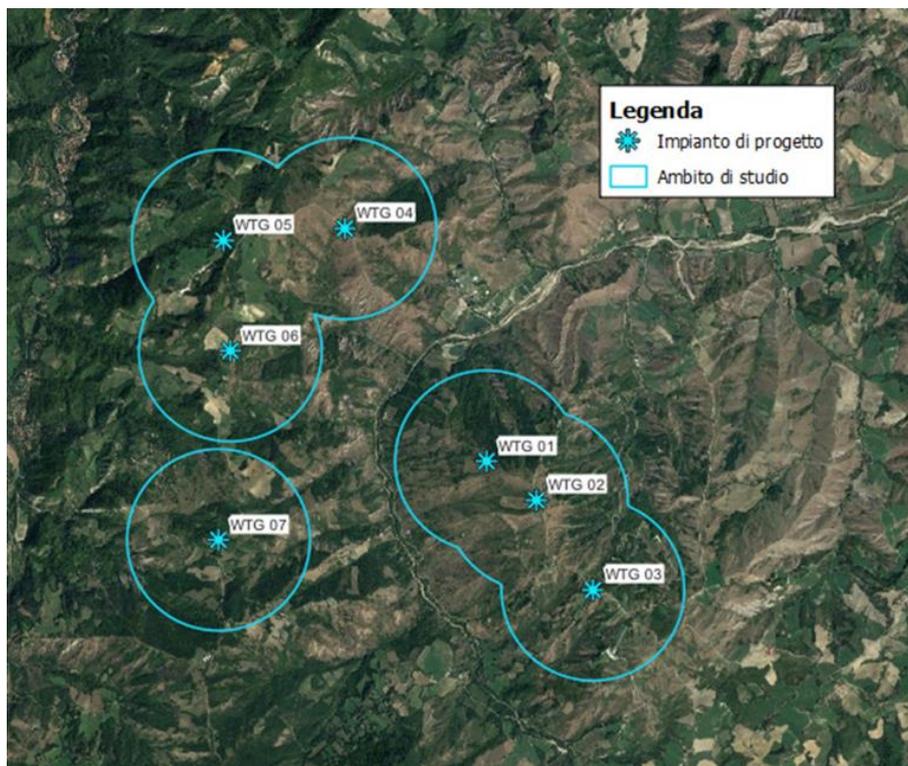


Figura 3-3 Ambito di studio (in blu) e turbine di progetto

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 73 ricettori di cui: 48 di tipo residenziale e 25 ruderi, box o depositi agricoli.

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 qualunque tipo di sorgente che possa 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:

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

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): 0,2;

⇒ $\bullet C$ (velocità di propagazione): 2500 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

Lavorazione	Macchinari
	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
Autogrù	[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	[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	[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	85,4	78,8	74,8	71,8	69,5	65,2	61,9

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 risposo	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.

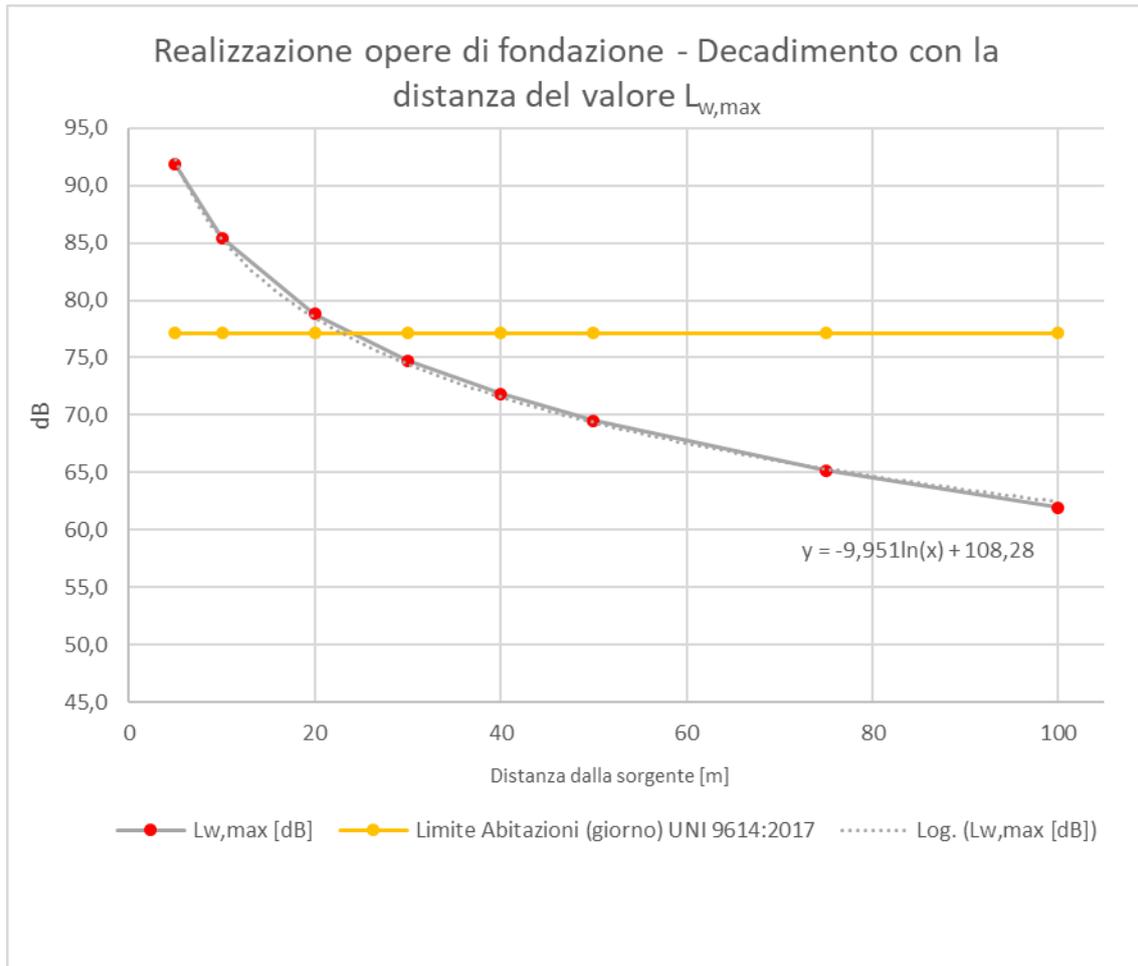
L’analisi è stata limitata ai soli cantieri fissi ritenendo gli effetti dei cantieri mobili per la realizzazione dei cavidotti trascurabili in ragione dell’estrema transitorietà delle lavorazioni nonché della tipologia delle macchine impiegate e delle dimensioni oggettivamente esigue di tali interventi.

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/s²]	La,w (dB)	distanza limite
Abitazioni (notte)	3.6	71.1	41,4
Abitazioni (giorno)	7.2	77.1	22,6
Luoghi lavorativi	14	82.9	12,7
Ospedali, case di cura ed affini	2	66.0	69,0
Asili e case di riposo	3.6	71.1	41,4
Scuole	5.4	74.6	29,1

Tabella 4-5 distanze limite per 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 22,6 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
R47	Residenziale	WTG03	161,04	22,6
R39	Residenziale	WTG07	187,88	22,6
R41	Residenziale	WTG06	309,18	22,6
R45	Residenziale	WTG05	391,92	22,6
R48	Residenziale	WTG02	941,51	22,6

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:

- ❖ $\eta = 0.2$
- ❖ $c = 2500 \text{ m/s}$

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:

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	0.2
Velocità di propagazione nel terreno [m/s]	2500
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 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.

Tipologia ricettori UNI 9614:2017	a [mm/s²]	La,w (dB)	distanza limite
Abitazioni (notte)	3,6	71,1	53,3
Abitazioni (giorno)	7,2	77,1	13,7
Luoghi lavorativi	14	82,9	3,7
Ospedali, case di cura ed affini	2	66,0	168,3
Asili e case di riposo	3,6	71,1	53,3
Scuole	5,4	74,6	24,1

Tabella 5-2 distanze limite per 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.

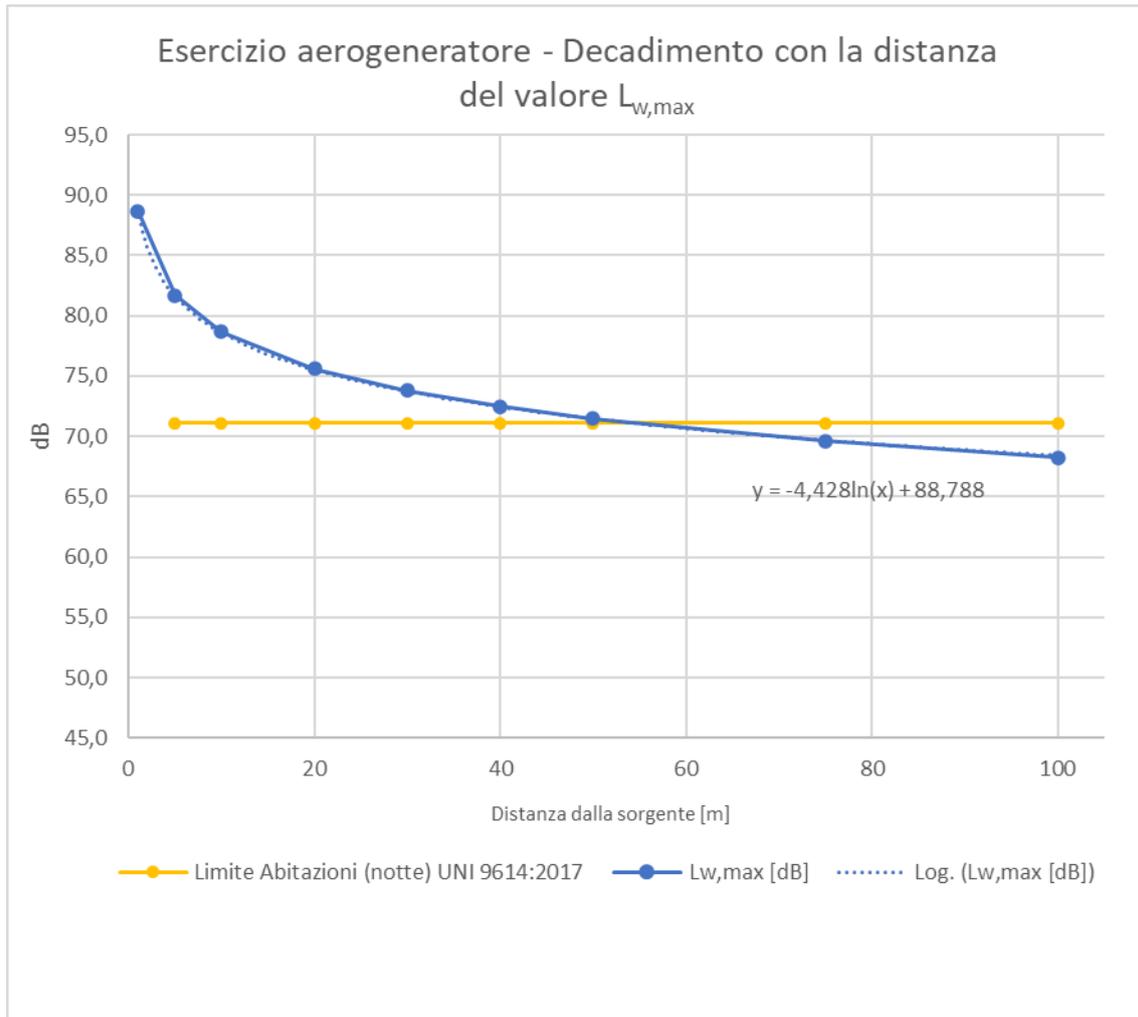


Figura 5-1 Esercizio aerogeneratore

Come visibile dalla Tabella 5-2 e dal successivo grafico, ad una distanza di circa 53 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	Aerogeneratore più prossimo	Distanza aerogeneratore	Distanza limite
R47	Residenziale	WTG03	161,04	53.3
R39	Residenziale	WTG07	187,88	53.3
R41	Residenziale	WTG06	309,18	53.3
R45	Residenziale	WTG05	391,92	53.3

Ricettore	Tipologia ricettore	Aerogeneratore più prossimo	Distanza aerogeneratore	Distanza limite
R48	Residenziale	WTG02	941,51	53.3

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 690 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 53 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 23 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 160 metri, si ritiene che nessun ricettore sia sottoposto a vibrazioni tali da ingenerare disturbo.