

## Appendice M: Valutazione Previsionale di Impatto Vibrazionale

## INDICE

	Pag.
<b>LISTA DELLE TABELLE</b>	<b>2</b>
<b>LISTA DELLE FIGURE</b>	<b>2</b>
<b>ABBREVIAZIONI E ACRONIMI</b>	<b>3</b>
<b>M.1 PREMESSA</b>	<b>4</b>
<b>M.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	<b>7</b>
M.2.1    UNI ISO 2631-2:2018	8
M.2.2    NORMA UNI 9614:2017	8
M.2.2.1    Limiti di accelerazione ponderata	9
M.2.3    NORMA UNI 9916:2014	9
M.2.3.1    Limiti velocità di vibrazione	10
<b>M.3 INQUADRAMENTO GENERALE</b>	<b>11</b>
M.3.1    AREA DI STUDIO	11
<b>M.4 INDIVIDUAZIONE DEI RICETTORI</b>	<b>13</b>
<b>M.5 VALUTAZIONE DELL'ENTITÀ DELLE VIBRAZIONI AI RICETTORI</b>	<b>14</b>
<b>M.6 CONCLUSIONI</b>	<b>16</b>

## LISTA DELLE TABELLE

Tabella 2.1:	livelli limite della massima accelerazione ponderata in frequenza (L) per ambienti ad uso abitativo	9
Tabella 2.2:	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione al fine di valutare l'azione delle vibrazioni di breve durata sulle costruzioni	10
Tabella 4.1:	Valori limite dei livelli delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza	13
Tabella 5.1:	Frequenza (banda di ottava) della sorgente in fase di cantiere	14
Tabella 5.2:	Valori di propagazione per terreni rocciosi e argillosi	15
Tabella 5.3:	Risultati dei calcoli dei livelli di accelerazione	15
Tabella 2.3:	livelli limite della massima accelerazione ponderata in frequenza (L) per ambienti ad uso abitativo	9
Tabella 2.5:	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione al fine di valutare l'azione delle vibrazioni di breve durata sulle costruzioni	10
Tabella 4.1:	Valori limite dei livelli delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza	13
Tabella 5.1:	Frequenza (banda di ottava) della sorgente in fase di cantiere	14
Tabella 5.2:	Valori di propagazione per terreni rocciosi e argillosi	15
Tabella 5.3:	Risultati dei calcoli dei livelli di accelerazione	15

## LISTA DELLE FIGURE

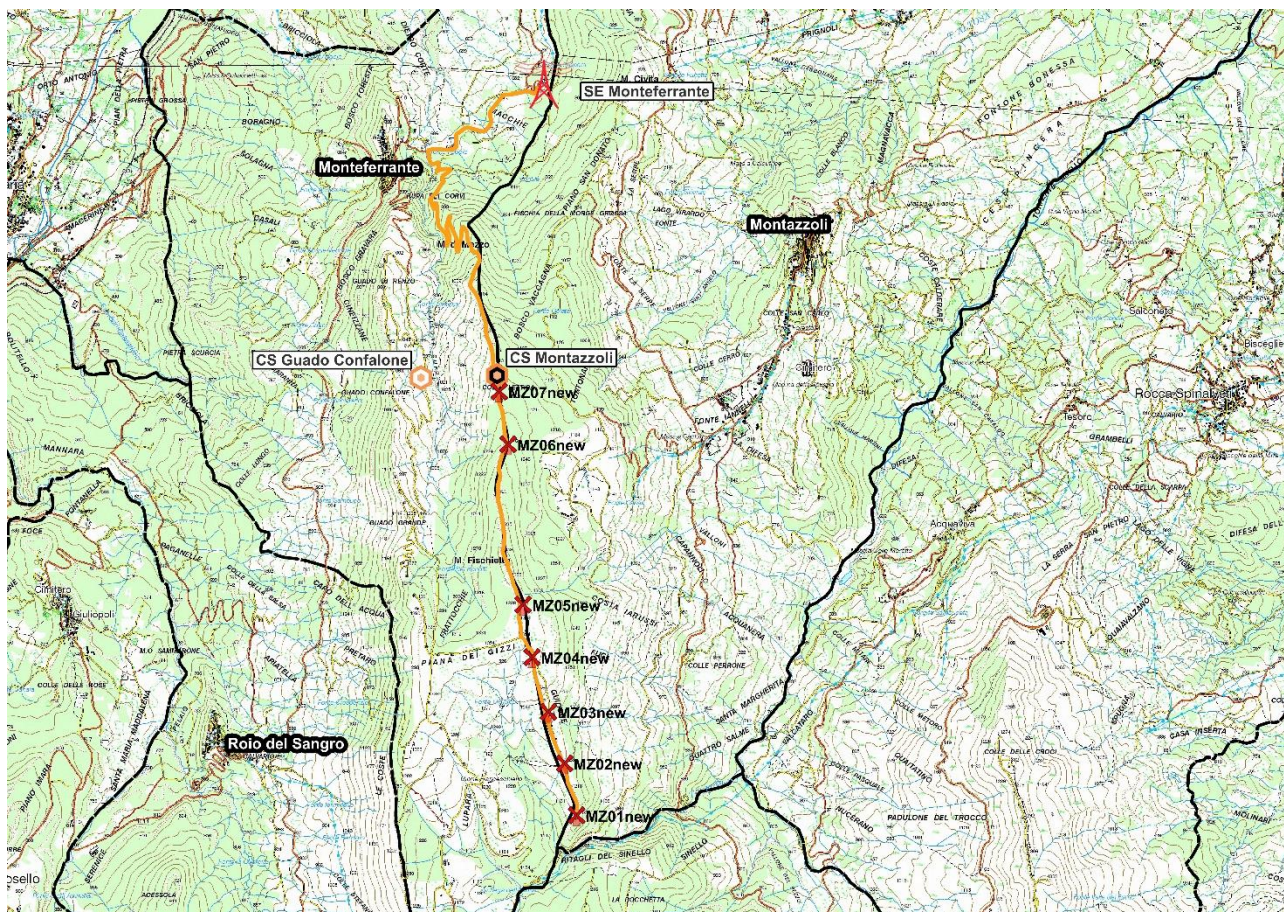
Figura 1.1:	Inquadramento territoriale del progetto	4
Figura 1.2:	Prospetto dell'aerogeneratore. 1: altezza della torre (82 m); 2: diametro del rotore (136 m).	5
Figura 3.1:	Inquadramento dell'area di studio rispetto ai confini comunali	11
Figura 3.2:	Inquadramento dell'area di studio su basemap satellitare	12
Figura 4.1:	individuazione dei ricettori e delle piazzole degli aerogeneratori	13

## ABBREVIAZIONI E ACRONIMI

<b>c</b>	Velocità di propagazione dell'onda nel mezzo
<b>d</b>	Distanza
<b>dB</b>	Decibel
<b>DIN</b>	Deutsches Institut für Normung
<b>f</b>	Frequenza
<b>Hz</b>	Hertz
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>km</b>	Chilometro
<b>L<sub>w</sub></b>	Livello di potenza
<b>m</b>	metro
<b>m.s.l.m.</b>	metri sul livello del mare
<b>m/s</b>	metri al secondo
<b>mm/s</b>	millimetri al secondo
<b>MW</b>	Mega Watt
<b>p.p.v.</b>	peak particle velocity
<b>p.c.p.v.</b>	peak component particle velocity
<b>rms</b>	Root Mean Square
<b>T</b>	Tempo
<b>UNI</b>	Ente nazionale italiano di UNificazione
<b>UNI/TS</b>	Specifica Tecnica emessa da UNI
<b>W<sub>m</sub></b>	Curve di ponderazione in frequenza delle vibrazioni
<b>WBc</b>	Vibrazione al corpo intero
<b>μ</b>	Fattore di perdita

## M.1 PREMESSA

Il presente intervento è finalizzato all'Integrale Ricostruzione di un impianto eolico per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica di proprietà della società Edison Rinnovabili S.p.A., localizzato nel territorio del comune di Montazzoli, provincia di Chieti, in Abruzzo. L'inquadramento è illustrato in Figura 1.1.



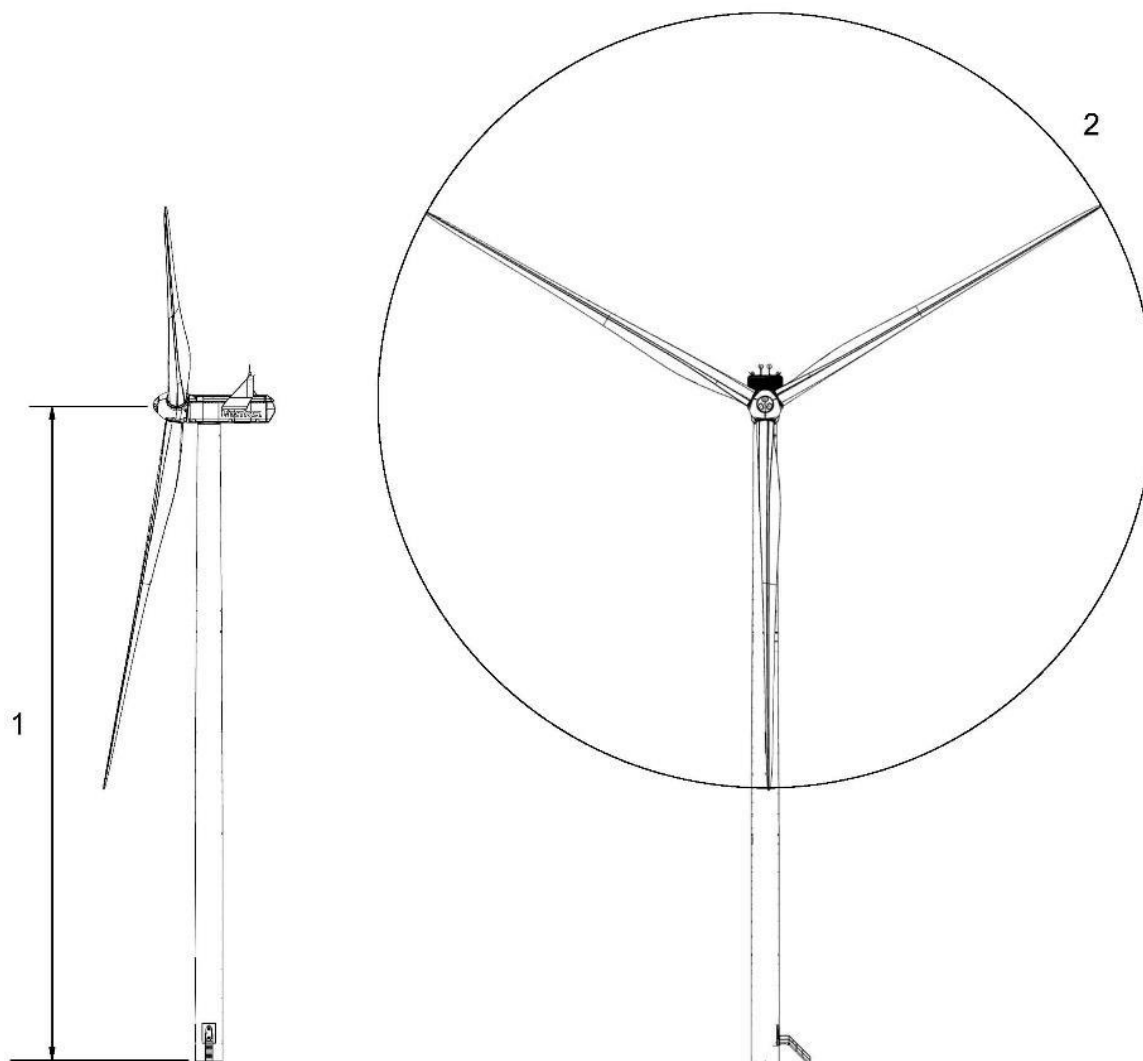
**Figura 1.1: Inquadramento territoriale del progetto**

Il progetto di incremento di potenza (repowering) prevede la rimozione di n. 16 aerogeneratori preesistenti aventi una potenza nominale di circa 600 kW ciascuno e l'installazione di n. 7 aerogeneratori di nuova generazione, aventi potenza nominale di circa 4.5 MW, per una potenza elettrica complessiva pari a 31.5 MW.

Il progetto si configura come "integrale ricostruzione", ai sensi dell'art. 2.1.2 dell'Allegato 2 del DM del 6 luglio 2012.

L'aerogeneratore impiegato nel presente progetto è il modello Vestas V136 4.5 MW. È costituito da una torre di sostegno tubolare metallica a tronco di cono, di altezza pari a 82 m, sulla cui sommità è installata la navicella. Il rotore presenta un diametro di 136 metri, per un'altezza massima complessiva del sistema torre-pale di 150 m. Il prospetto dell'aerogeneratore è illustrato in Figura 1.2.

Il Layout dell'impianto è schematicamente indicato nella precedente figura, ma meglio dettagliato nelle Tavole di Progetto.



**Figura 1.2: Prospetto dell'aerogeneratore. 1: altezza della torre (82 m); 2: diametro del rotore (136 m).**

Il presente elaborato costituisce la valutazione previsionale di impatto vibrazionale per il progetto di Integrale ricostruzione del parco eolico "IR8" Montazzoli (CH), redatto in ottemperanza alla richiesta di integrazione del MASE (Commissione Tecnica PNRR-PNIEC) espressa in data 27 luglio 2023.

In particolare, il MASE richiede di integrare la documentazione dello Studio di Impatto ambientale per la voce Impatti da rumore, vibrazioni e campi elettromagnetici, come qui di seguito riportato:

- ✓ 4.1. *In merito al Rumore ed alle Vibrazioni, occorrerà approfondire la valutazione degli impatti relativi alla fase di cantiere;*
- ✓ 4.2. *Con riferimento alle vibrazioni occorrerà approfondire la valutazione ante e post operam.*

Lo studio è stato redatto secondo il seguente schema:

- ✓ una sintesi della normativa di riferimento (Capitolo M.2);
- ✓ la caratterizzazione generale dell'area di studio (Capitolo M.3);
- ✓ l'individuazione dei ricettori potenzialmente impattati dalle vibrazioni (Capitolo M.4);

- ✓ la valutazione del rispetto dei limiti normativi presso i ricettori individuati, durante la fase di cantiere per la realizzazione dell'impianto eolico e durante il suo esercizio (Capitolo M.5);  
rimandando al Capitolo M.6 le conclusioni del lavoro.

## M.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

In assenza di normativa nazionale che definisca metodi, indici e limiti al fenomeno vibratorio, la normativa di riferimento in materia di vibrazioni indotte sugli edifici e dei potenziali effetti sugli stessi e sulle persone all'interno è costituita rispettivamente dalla norma tecnica UNI 9916:2014 "*Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni degli edifici*", dalla norma tecnica UNI 9614:2017 "*Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo*" e dalla norma tecnica UNI ISO 2631-2:2018 "*Vibrazioni meccaniche e urti - Valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse al corpo intero - Parte 2: Vibrazioni negli edifici (da 1 Hz a 80 Hz)*".

Intendendo con il termine vibrazione il fenomeno ondulatorio, costituito da una fluttuazione rapida intorno ad una posizione di equilibrio di un elemento solido, il cui movimento netto è nullo, le vibrazioni possono essere valutate utilizzando tre diverse modalità:

- ✓ in termini di spostamento, ovvero della variazione della posizione dell'elemento indagato rispetto alla posizione di quiete;
- ✓ in termini di velocità, ovvero della variazione dello spostamento rispetto al punto di riferimento, in un determinato intervallo di tempo;
- ✓ in termini di accelerazione, ovvero dalla derivata prima della velocità, che risulta anche la grandezza fisica più facilmente misurabile grazie alla disponibilità di strumenti inerziali efficienti che possiedono sensibilità, risposta in frequenza adeguate, robustezza e facilità d'impegno elevata.

In linea di principio il moto può essere misurato attraverso una qualunque delle grandezze cinematiche sopra elencate (accelerazione, velocità, spostamento), ma tra queste l'accelerazione è la grandezza più facilmente misurabile, mentre la velocità è la grandezza generalmente utilizzata per definire parametri e valori di riferimento nella valutazione del danno agli edifici. Dal punto di vista dei potenziali disturbi indotti dalle vibrazioni, i problemi si riscontrano quasi esclusivamente all'interno degli edifici, in quanto le vibrazioni percepite da persone che si trovano in ambiente esterno raramente provocano lamentele. Per questi motivi, è prassi comune misurare direttamente l'accelerazione ed ottenere la velocità per integrazione del segnale.

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

In generale, danni strutturali all'edificio attribuibili a fenomeni vibratori sono estremamente rari e quasi sempre derivano dal concorso di altre cause. Affinché le vibrazioni possano arrecare danni strutturali è necessario che esse raggiungano livelli tali da causare prima fastidio e disturbo agli occupanti. Sono invece frequenti altre forme di danno, di entità definita "di soglia", che senza compromettere la sicurezza strutturale dell'edificio si presentano sotto forma di fessure negli intonaci o danneggiamenti di elementi architettonici, a cui segue una riduzione del valore economico dell'edificio stesso. A tal proposito, la norma tecnica UNI 9916:2014 definisce **danno di tipo architettonico** ogni effetto residuo delle vibrazioni in grado di determinare alterazione estetica o funzionale dell'edificio senza comprometterne la stabilità strutturale o la sicurezza degli occupanti. La formazione di fessure più marcate, il distacco e la caduta di gesso o pezzi di intonaco, fino al danneggiamento di elementi strutturali, sono effetti che rientrano invece nella definizione di **danno maggiore**.

I parametri fisici che influenzano le vibrazioni indotte da una sorgente esterna e che via terra raggiungono un edificio si possono dividere in tre categorie:

- ✓ **fattori legati alle sorgenti e alla modalità di operare** - questa categoria include tutti i parametri collegati ai macchinari il cui funzionamento costituisce sorgente di vibrazione. Per esempio, nelle attività connesse alla fase di escavazione e sbancamento si generano tipicamente livelli vibratori di vari gradi in relazione ai macchinari e ai mezzi impiegati. Le attività che tipicamente generano livelli di vibrazioni significative sono associate all'uso di esplosivi e attrezzature d'impatto, quali per esempio la macchina battipalo o il perforatore;
- ✓ **geologia** - le condizioni del terreno hanno una forte influenza sui livelli vibratori, in particolare la rigidità e lo smorzamento interno del terreno e la profondità del letto roccioso. Infatti, l'energia immessa nel terreno dalla sorgente genera onde che si propagano modificandosi per effetto delle caratteristiche fisico-meccaniche del terreno attraversato. Il fenomeno si traduce nella generalità dei casi in un'attenuazione dell'intensità all'allontanarsi dalla sorgente, per effetto delle proprietà dissipative del terreno e per un effetto geometrico, ma fattori quali la stratificazione del terreno e la profondità delle falde acquifere possono avere effetti significativi. In generale, il fenomeno della propagazione nel terreno influenza le frequenze più alte e a distanze crescenti dalla sorgente si riscontra uno spettro caratterizzato da un contenuto spettrale sempre più ricco in basse frequenze;



- ✓ **edificio ricevitore** - le caratteristiche dell'edificio ricevitore stesso sono una componente fondamentale nella valutazione delle vibrazioni. I livelli di vibrazione dentro un edificio dipendono ovviamente dall'energia vibratoria che raggiunge le fondamenta, ma giocano un ruolo fondamentale anche l'accoppiamento tra le fondamenta e il terreno e la propagazione della vibrazione attraverso la struttura dell'edificio. Tali caratteristiche dinamiche dell'edificio dipendono a loro volta dalle caratteristiche costruttive, sia dell'edificio che delle fondazioni, e dallo stato di conservazione.

La durata, associata all'andamento temporale del fenomeno vibratorio, costituisce un elemento fondamentale per la valutazione del danno, perché da queste grandezze dipende in modo essenziale l'accumulo di danno per fatica dei materiali. In base a ciò si possono distinguere due categorie di vibrazioni indotte su un edificio ricevitore:

- ✓ **fenomeni di lunga durata (o persistenti)**, quando l'eccitazione è continua e presente per lunghi periodi (per es. il traffico stradale su strade di grande comunicazione) ed il fenomeno vibratorio è coincidente con la risposta forzata della struttura. Si annovera in questa categoria anche il caso in cui l'eccitazione sia costituita da una serie discreta di impulsi di durata più o meno variabile che si susseguono ad intervalli brevi (per es. l'eccitazione generata da magli, presse, punzonatrici etc);
- ✓ **fenomeni di breve durata**, quando l'eccitazione è indotta da una forzante di breve durata e che spesso si presenta come un fenomeno isolato (per es. il traffico ferroviario o le esplosioni di mine in una cava). In questi casi perde importanza il fenomeno della fatica e diviene prevalente l'importanza dell'ampiezza massima della sollecitazione indotta.

## M.2.1 UNI ISO 2631-2:2018

La UNI ISO 2631-2 si applica a vibrazioni trasmesse da superfici solide lungo gli assi x, y e z per persone in piedi, sedute o coricate. L'edizione in vigore, emanata nel 2018, annulla e sostituisce le precedenti versioni. Il campo di frequenze considerato è 1-80 Hz e il parametro di valutazione è il valore efficace dell'accelerazione  $a_{rms}$  definito come:

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

dove  $a(t)$  è l'accelerazione in funzione del tempo, T è la durata dell'integrazione nel tempo dell'accelerazione. La norma definisce tre curve base per le accelerazioni e tre curve base per le velocità (in funzione delle frequenze di centro banda definite per terzi di ottava) che rappresentano le curve approssimate di uguale risposta in termini di disturbo, rispettivamente per le accelerazioni riferite all'asse Z, agli assi X,Y e alla combinazione dei tre assi: i valori numerici delle curve base sono riportati nell'Allegato A della UNI ISO 2631-2, che fornisce informazioni sui criteri di valutazione della risposta soggettiva alle vibrazioni e definisce la frequenza di ponderazione  $W_m$  (posizione del soggetto non definita), in modo compatibile con la definizione matematica dei coefficienti di frequenza contenuti nella ISO 2631-1. Le vibrazioni devono essere misurate nel punto di ingresso nel corpo umano e deve essere rilevato il valore di accelerazione rms perpendicolarmente alla superficie vibrante. Nel caso di edifici residenziali in cui non è facilmente definibile un asse specifico di vibrazione, in quanto lo stesso edificio può essere usato da persone in piedi o coricate in diverse ore del giorno, la norma presenta una curva limite che tiene conto delle condizioni più sfavorevoli combinate in tre assi.

## M.2.2 NORMA UNI 9614:2017

La norma definisce il metodo di misurazione delle vibrazioni immesse negli edifici ad opera di sorgenti interne o esterne agli edifici e i criteri di valutazione del disturbo delle persone all'interno degli edifici stessi. La norma modifica, in modo sostanziale, la versione precedente introducendo un approccio innovativo e profondamente diverso nelle modalità di valutazione dei disturbi da vibrazione.

Essa fa riferimento alla UNI ISO 2631-2:2003, aggiornata poi nel 2018, prevalentemente per i metodi di misurazione e valutazione.

La norma si applica a tutti i fenomeni che possono dare origine a vibrazioni negli edifici; a titolo esemplificativo e non esaustivo: traffico su gomma e su rotaia, attività industriali e funzionamento di macchinari, attività stradali e di cantiere di varia natura, esplosioni e scoppi, attività umane di qualsiasi natura.

Le norme UNI 9614:2017 e UNI ISO 2631-2 caratterizzano la vibrazione di livello non costante, quale quella proveniente dal transito dei veicoli metropolitani, attraverso l'espressione del livello di accelerazione "a".

Considerando cumulativo l'effetto di tutte le componenti di accelerazione per frequenze da 1 a 80 Hz vanno introdotti opportuni filtri di ponderazione che rendano tali componenti equivalenti dal punto di vista di percezione da parte dell'individuo (filtri di ponderazione forniti nell'Annex A della UNI ISO 2631-2).

Il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza  $L_w$  è fornito dalla relazione:

$$L_w = 10 \cdot (\text{Log}_{10} \sum_i 10^{\frac{L_{i,w}}{10}})$$

Dove  $L_{i,w}$  sono i livelli di vibrazione in accelerazione calcolati per terza di ottava.

### M.2.2.1 Limiti di accelerazione ponderata

La norma UNI 9614 suggerisce dei valori di livello di accelerazione ponderata che sarebbe opportuno non superare, in funzione del tipo di edificio e della sua destinazione d'uso, come riportato nella seguente tabella

**Tabella 2.1: livelli limite della massima accelerazione ponderata in frequenza (L) per ambienti ad uso abitativo**

Edificio	Limite (dB)
Aree critiche	71
Abitazioni (notte)	74
Abitazioni (giorno)	77
Uffici	83

### M.2.3 NORMA UNI 9916:2014

La norma tecnica UNI 9916:2014 descrive le metodologie appropriate per la misurazione, il trattamento dei dati finalizzati alla valutazione della potenzialità delle vibrazioni di causare danni di tipo architettonico agli edifici. La norma si applica in generale a tutte le tipologie di edifici e fornisce i valori indicativi di riferimento. Relativamente a tali valori di riferimento, la norma sottolinea che tali valori non possono essere considerati come limiti assoluti di accettabilità o non accettabilità del fenomeno vibratorio e che resta onere dello sperimentatore formulare il suo giudizio sulla base di una accurata valutazione di tutti i dati raccolti. Nel prosieguo del presente documento si utilizzerà il termine "limiti" per semplicità di lettura.

La norma considera per semplicità gamme di frequenza variabili da 0.1 Hz a 150 Hz. Tale intervallo interessa una grande casistica di edifici e di elementi strutturali di edifici sottoposti ad eccitazione naturale o causata 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.

Agli scopi della norma è adottata la seguente classificazione in tipologie di **edificio**:

- ✓ costruzioni industriali e costruzioni strutturalmente simili;
- ✓ costruzioni residenziali e costruzioni strutturalmente simili;
- ✓ costruzioni che, per la loro sensibilità particolare alle vibrazioni, non rientrano nella precedente classificazione o sono di grande valore intrinseco (per es. edifici monumentali).

Le modalità di trattamento dei dati dipendono dalla natura dei segnali da analizzare, dalle finalità che l'elaborazione si prefigge e dall'accuratezza richiesta. Nel caso estremamente comune della determinazione della velocità, secondo cui sono espressi i limiti previsti dalla norma, a partire da un segnale di accelerazione, la procedura di integrazione consigliata opera nel dominio del tempo con due passaggi successivi:

- ✓ uso di un filtro passa alto per l'eliminazione del rumore di natura elettrica a bassa frequenza;

- ✓ l'integrazione del segnale filtrato, per esempio con il metodo dei trapezi.

La **velocità di picco puntuale** ("peak particle velocity", anche detta p.p.v.) è definita come il valore massimo del modulo vettore velocità misurato o ottenuto per integrazione in un dato punto. La determinazione della velocità di picco puntuale richiede la misurazione simultanea delle tre componenti mutuamente perpendicolari della velocità nel punto considerato. In particolare, le tre componenti devono essere combinate vettorialmente per determinare istante per istante il modulo della velocità risultante, che deve essere confrontato con il valore della velocità di soglia di riferimento.

La **velocità di picco di una componente puntuale** ("peak component particle velocity", anche detta p.c.p.v.) è definita come il valore massimo del modulo di una delle tre componenti ortogonali misurate simultaneamente in un punto e ottenute mediante integrazione.

### M.2.3.1 Limiti velocità di vibrazione

Ai fini della valutazione della possibilità di danno architettonico, nei casi generali, la norma UNI 9916 raccomanda di fare riferimento alla norma tecnica DIN 4150 parte 3, la quale utilizza la velocità di picco di una componente puntuale (p.c.p.v.) e stabilisce dei valori limite per ciascuna delle tre tipologie di edificio. Inoltre, la norma tecnica DIN 4150 parte 3 prevede, ove possibile, la misurazione della vibrazione sia alla base dell'edificio che ai piani superiori, con particolare riferimento al piano più elevato per quanto riguarda le componenti orizzontali della velocità.

I limiti, per quanto riguarda sia le misurazioni alla base dell'edificio sia le componenti orizzontali della velocità ai piani superiori sono riportati nella seguente tabella.

**Tabella 2.2: Valori di riferimento per la velocità di vibrazione al fine di valutare l'azione delle vibrazioni di breve durata sulle costruzioni**

Classe	Tipo edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v. in mm/s				
		Base (fondazioni)			Piano alto Direzione orizzontale (X e Y)	Solai Direzione verticale (Z)
		1 Hz ÷ 10 Hz	10 Hz ÷ 50 Hz	50 Hz ÷ 100 Hz	Tutte le freq.	Tutte le freq.
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	20	Varia linearmente da 20 (f=10 Hz) a 40 (f=50 Hz)	Varia linearmente da 40 (f=50 Hz) a 50 (f=100 Hz)	40	20
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	Varia linearmente da 5 (f=10 Hz) a 15 (f=50 Hz)	Varia linearmente da 15 (f=50 Hz) a 20 (f=100 Hz)	15	20
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e	3	Varia linearmente da 3 (f=10 Hz) a 8 (f=50 Hz)	Varia linearmente da 8 (f=50 Hz) a 10 (f=100 Hz)	8	3/4

## M.3 INQUADRAMENTO GENERALE

### M.3.1 AREA DI STUDIO

Le aree di cantiere previste per la realizzazione delle piazzole all'interno delle quali saranno posizionati i nuovi aerogeneratori dell'impianto eolico di Edison Rinnovabili S.p.A., sono ubicate in provincia di Chieti, nel territorio del Comune di Montazzoli, su un crinale del massiccio montuoso di Monte Fischietto che si sviluppa in direzione sud-nord. Il parco eolico, e di conseguenza le piazzole in cui verranno svolte le attività di cantiere oggetto del presente studio, si sviluppa per circa 6.5 km in direzione sud-nord e si estende per massimo 1.5 km in direzione est-ovest. Si riporta nelle successive Figura 3.1 e Figura 3.2 l'inquadramento dell'area di studio, rispetto ai confini comunali e su basemap satellitare, con individuata la posizione degli aerogeneratori oggetto del presente studio.

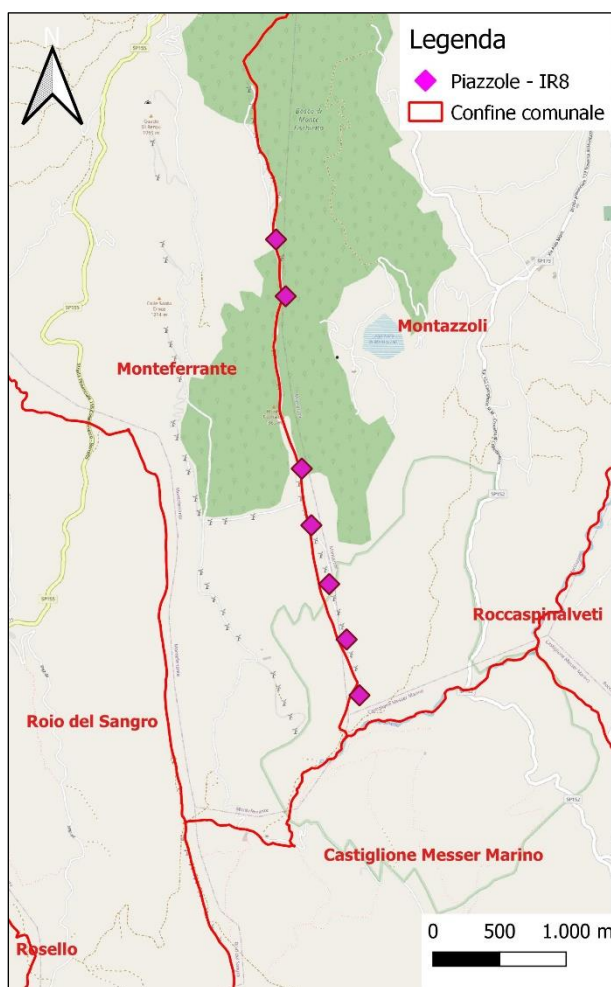


Figura 3.1: Inquadramento dell'area di studio rispetto ai confini comunali

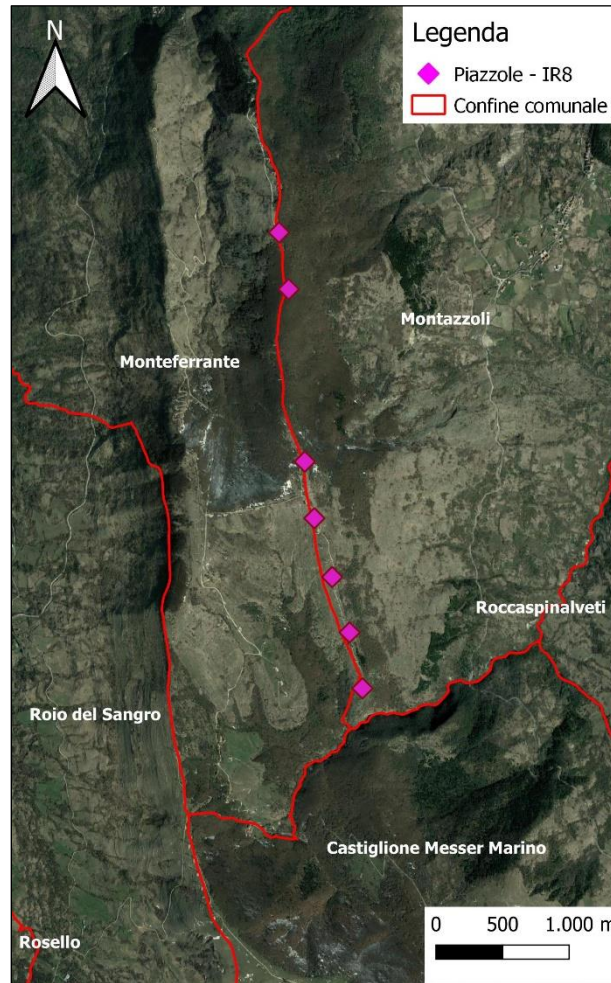


Figura 3.2: Inquadramento dell'area di studio su basemap satellitare

## M.4 INDIVIDUAZIONE DEI RICETTORI

Ai fini della presente valutazione si sono considerati come edifici ricevitore tutti gli edifici censiti in sede di valutazione previsionale di impatto acustico.

Le attività di cantiere saranno svolte esclusivamente nelle ore diurne; pertanto, è da escludersi un qualsiasi impatto notturno.

In ragione dell'attenuazione dell'intensità del fenomeno vibratorio all'allontanarsi dalla sorgente, per effetto delle proprietà dissipative del terreno e per divergenza geometrica, ai fini del presente studio si è considerato unicamente il ricettore più vicino alle potenziali sorgenti di vibrazioni, ovvero il ricettore R2, che si trova a circa 400 m dalla piazzola più impattante per il ricettore considerato, dato che in tale area saranno realizzate le attività di cantiere per la realizzazione dell'impianto eolico IR8. L'ubicazione del ricevitore R2 è riportata nella successiva Figura 4.1, in cui si riporta anche l'individuazione delle piazzole degli aerogeneratori in progetto.

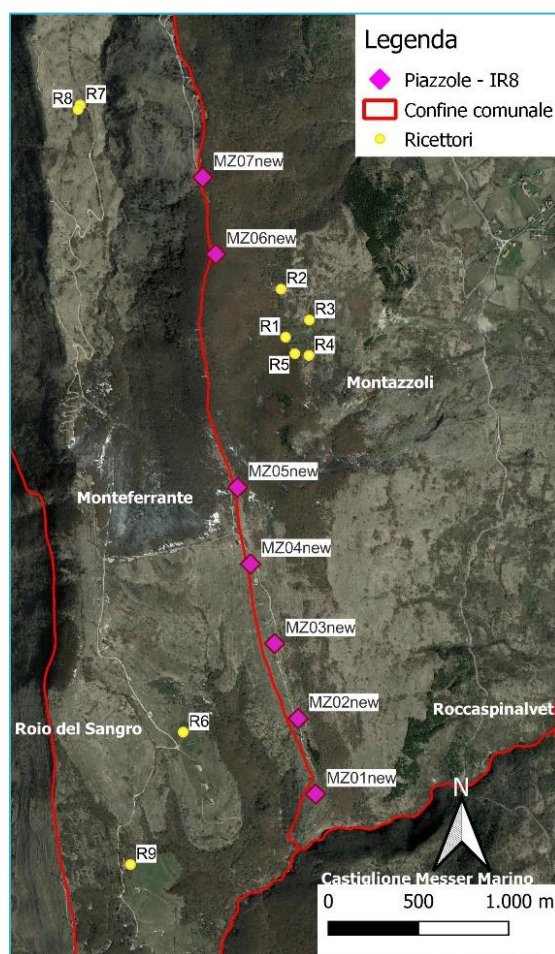


Figura 4.1: individuazione dei ricettori e delle piazzole degli aerogeneratori

Di seguito si riportano i valori limite dei livelli delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza previsti dalla UNI 9614 per il ricettore R2, in base alla sua destinazione d'uso (abitazione)

Tabella 4.1: Valori limite dei livelli delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza

Destinazione d'uso	Assi x e y
Abitazioni - periodo diurno	77 dB

## M.5 VALUTAZIONE DELL'ENTITÀ DELLE VIBRAZIONI AI RICETTORI

La valutazione previsionale per la stima dell'entità delle vibrazioni che possono essere indotte al ricettore R2 è stata effettuata mediante un modello di propagazione classico, che considera un modello semplificato e che risulta cautelativo in assenza di particolari risonanze indotte dalla stratigrafia del terreno.

In particolare, si stima il livello delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza e si pone a confronto con i valori soglia di disturbo. Infatti, come già riportato nella parte introduttiva del presente studio, affinché le vibrazioni possano arrecare danni strutturali agli edifici, è necessario che esse raggiungano livelli tali da causare prima fastidio e disturbo agli occupanti. Per questo motivo, i valori limite per le vibrazioni al fine di valutare i potenziali effetti in termini di danni agli edifici sono generalmente più elevati di quelli utilizzati per valutare il disturbo alle persone.

Relativamente alla fase di esercizio dell'impianto eolico IR8, si prevede che le pale eoliche installate non siano in grado di indurre significative vibrazioni nel terreno aggiuntive rispetto allo stato attuale. Si può quindi assumere che tutti i ricettori individuati non presentino alcuna criticità dal punto di vista vibrazionale e che durante l'esercizio si abbiano livelli di vibrazione inferiori alla soglia di disturbo, pari a 77 dB.

La stima delle vibrazioni indotte dalla fase di cantiere presso l'edificio ricevitore R2 è stata condotta suddividendo, in prima istanza, la fase sopra detta in 4 macro-fasi riportate di seguito:

1. Smontaggio e rimozione degli aerogeneratori;
2. Demolizione piazzole;
3. Preparazione nuove piazzole;
4. Installazione dei nuovi aerogeneratori.

Si individua nella fase 3 la macro-fase più impattante e nell'escavatore la tipologia di macchinario più impattante di cui è previsto l'utilizzo in cantiere, per il quale si può stimare un livello di vibrazione pari a  $L_{A,5m}=90,0$  dB [rif. A. Farina "Valutazione dei livelli di vibrazioni in edifici residenziali, Normativa, tecniche di misura e di calcolo", neo-Eubios n. 16 (2006)] misurato a distanza di 5 m dal centro della sorgente. Considerando che è previsto l'utilizzo di n.1 escavatore e n. 1 rullo compressore all'interno dell'area di cantiere e che cautelativamente è possibile associare a quest'ultimo il medesimo livello di vibrazione  $L_{A,5m}$  dell'escavatore, si può stimare in  $L_{A,5m}=93,0$  dB il livello di vibrazione dell'intera fase di cantiere, associandolo ad un'unica sorgente equivalente. Le principali attività di cantiere per la realizzazione dell'impianto eolico IR8 in progetto saranno svolte nelle piazzole individuate in Figura 4.1, pertanto la suddetta sorgente equivalente è individuata al centro della piazzola, ovvero a 400 m di distanza dall'edificio ricevitore R2. Per semplicità di calcolo e senza venire meno al principio cautelativo si può assumere che la sorgente sia caratterizzata da uno spettro bianco, come mostrato in Tabella 5.1.

Tabella 5.1: Frequenza (banda di ottava) della sorgente in fase di cantiere

Frequenza (bande di ottava)	1 Hz	2 Hz	4 Hz	8 Hz	16 Hz	31,5 Hz	63 Hz	Banda larga
$L_{A,5m}$ in dB	72,0	75,0	78,0	81,0	84,0	87,0	90,0	93,0

Alla vibrazione indotta da tale sorgente equivalente nel terreno si applica quindi il modello di propagazione per la stima del livello di accelerazione a distanza  $d$  mediante la relazione:

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

in cui  $a(d_0, f)$  è il valore dell'accelerazione alla distanza di riferimento  $d_0=5$  m e  $f$  è la frequenza considerata [Hz]. Il comportamento dissipativo del mezzo è pertanto funzione anche della frequenza  $f$ . L'esponente  $n$  varia a seconda del tipo di onda e di sorgente di vibrazioni ed il caso peggiore in quanto più cautelativo per il ricettore è  $n = 0.5$  (onde di superficie con sorgente puntiforme). Infine, il coefficiente di assorbimento  $\alpha$  assume il seguente valore:

$$\alpha = \frac{2\pi\mu}{c}$$

dove  $\mu$  è il fattore di perdita del terreno e  $c$  è la velocità di propagazione dell'onda [m/s]. Dalla precedente relazione si evince che Nei terreni più soffici l'attenuazione intrinseca del mezzo di propagazione è maggiore di quella nelle rocce compatte; le frequenze più alte, inoltre, sono attenuate più di quelle basse. La migliore propagazione delle vibrazioni (equivalente ad attenuazione molto bassa), pertanto, si ha in presenza di terreno rigido e a basse frequenze (in tal caso, infatti, il termine  $f\mu/c$  assume valori bassi).

Il calcolo per la stima del livello di accelerazione, in prossimità dell'edificio ricevitore R2, è stato effettuato considerando due diversi tipi di terreno, argilloso e roccioso, in quanto il terreno risulta essere costituito in prevalenza da strati lapidei con subordinati livelli argillosi.

È possibile reperire in letteratura i valori relativi alla propagazione delle onde longitudinali generate da sorgente vibrazionale in terreni argillosi o terreni rocciosi, riportati in Tabella 5.2.

**Tabella 5.2: Valori di propagazione per terreni rocciosi e argillosi**

Tipo di terreno	Velocità di propagazione in m/s	fattore di perdita $\mu$
Terreni rocciosi	3500	0,01
Terreni argillosi	1500	0,5

I risultati del calcolo, riportati nella seguente Tabella 5.3, costituiscono i limiti inferiore e superiore al livello atteso.

**Tabella 5.3: Risultati dei calcoli dei livelli di accelerazione**

Livello di accelerazione in prossimità del ricevitore R2 in caso di terreno <b>roccioso</b>								
Frequenza (bande di ottava)	1 Hz	2 Hz	4 Hz	8 Hz	16 Hz	31,5 Hz	63 Hz	Banda larga
$L_{A,5m}$ in dB	52,9	55,8	58,7	61,5	64,0	66,0	67,1	<b>71,6</b>
Livello di accelerazione in prossimità del ricevitore R2 in caso di terreno <b>sabbioso</b>								
Frequenza (bande di ottava)	1 Hz	2 Hz	4 Hz	8 Hz	16 Hz	31,5 Hz	63 Hz	Banda larga
$L_{A,5m}$ in dB	45,8	41,6	30,2	4,5	-50,0	-158,4	-381,7	<b>47,3</b>

Dall'analisi della precedente Tabella 5.3 si evince che la parte di terreno roccioso contribuisce alla trasmissione delle frequenze più alte, mentre la parte di terreno argilloso permette la propagazione principalmente delle basse frequenze.

In definitiva, anche considerando l'ipotesi più cautelativa che il terreno sia unicamente roccioso, **il livello dell'accelerazione in prossimità del ricevitore R2 risulta ampiamente inferiore ai relativi valori limite di disturbo per i luoghi abitativi, pari a 77 dB.**



## **M.6 CONCLUSIONI**

Alla luce delle analisi svolte nel presente studio previsionale il livello di vibrazione stimato sia in fase di esercizio che nella fase di cantiere sull'edificio ricevitore considerato è risultato inferiore ai valori limite di valutazione del disturbo (UNI 9614:2017); di conseguenza sono da escludersi anche potenziali effetti di danno architettonico agli stessi edifici (UNI 9916:2014).

Essendo gli altri edifici ricevitori posti a distanze maggiori rispetto a quelle considerate per i calcoli, anche per essi valgono le considerazioni di cui sopra.

In seguito alle considerazioni fatte e specificando che non è previsto l'esercizio di macchinari o la realizzazione di attività lavorative in grado di indurre significative vibrazioni nel terreno nella fase di esercizio, e che il rispetto dei limiti è ampiamente soddisfatto nella fase di cantiere, non si ritiene necessaria l'integrazione di un Piano di Monitoraggio Ambientale per nessuna delle due fasi.

