

**Comuni di : SAN GIORGIO LA MOLARA, MOLINARA,  
SAN MARCO DEI CAVOTI, BASELICE E FOIANO DI VAL FORTORE**

Provincia di : BENEVENTO

Regione : CAMPANIA

PROPONENTE



IVPC S.r.l.  
Sede legale : 80121 Napoli (NA) - Vico Santa Maria a Cappella Vecchia 11  
Sede Operativa : 83100 Avellino - Via Circumvallazione 108  
Indirizzo email [ivpc@pec.ivpc.com](mailto:ivpc@pec.ivpc.com)

**I.V.P.C. S.r.l.**  
Vico Santa Maria a Cappella Vecchia, 11  
80121 Napoli

PIVA: 01895480646  
*Infel*



OPERA

**ID 8046 - Progetto di rifacimento e potenziamento di un impianto eolico esistente con la contestuale installazione di n. 17 aerogeneratori della potenza nominale unitaria di 6,1 MW ciascuno e delle relative opere di connessione alla RTN, per una potenza complessiva pari a 103,7 MW, ricadente nei Comuni di San Marco dei Cavoti, Molinara, San Giorgio la Molara, Baselice e Foiano di Valfortore, in provincia di Benevento**

**Riscontro alla Richiesta di Integrazioni: m\_ amte. CTVA. REGISTRO UFFICIALE. U. 0007503. 27- 06 -2023**

OGGETTO

TITOLO ELABORATO :

**Riscontro alla Richiesta di Integrazioni - Punto 4.2**

DATA : Agosto 2023

N°/CODICE ELABORATO :

**INT. 4.2 ALL. 1**

SCALA :

Folder :

Tipologia : Relazione

Lingua : ITALIANO

ITECNICI

TIMBRO E FIRMA



00	AGOSTO 2023			IVPC Eolica	IVPC
N° REVISIONE	DATA	OGGETTO DELLA REVISIONE	ELABORAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE

<b>1.</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>3</b>
1.1	Descrizione sintetica del progetto	5
1.2	Individuazione e scelta dei recettori	8
<b>2.</b>	<b>CENNI TEORICI SULLE VIBRAZIONI</b>	<b>12</b>
2.1	Definizioni e nozioni generali (fonte ISPRA)	12
2.2	Normativa di riferimento	17
2.3	Caso studio e parametri di trasmissione delle vibrazioni	18
2.4	Modello previsionale	21
2.5	Rischio del danno a strutture ed edifici	24
2.6	Rischio Esposizione Umana – Rischio Disturbo	25
2.7	Vibrazione ed aree di cantiere per la realizzazione di impianti eolici	27
2.8	Vibrazioni di impianti eolici in fase di esercizio	29
<b>3.</b>	<b>STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI ESERCIZIO</b>	<b>29</b>
<b>4.</b>	<b>STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI CANTIERE</b>	<b>34</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>38</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>39</b>

## **1. PREMESSA**

Il presente documento, costituisce il Documento di approfondimento su punto 4 Impatti da rumore, vibrazioni e campi elettromagnetici in Riscontro alla Richiesta di Integrazioni: m\_amte. CTVA. REGISTRO UFFICIALE. U. 0007503. 27- 06 - 2023 e precisamente al punto punto 4.2 relativamente Progetto di rifacimento e potenziamento di un impianto eolico esistente Con potenza nominale unitaria di 6,1 MW ciascuno e delle relative opere di connessione alla RTN, per una potenza complessiva pari a 103,7 MW, ricadente nei Comuni di San Marco dei Cavoti, Molinara, San Giorgio la Molara, Baselice e Foiano di Valfortore, in provincia di Benevento ID 8046 -

Il nuovo impianto, che sostituirà quello attualmente esistente, sarà costituito da n. 17 aerogeneratori tripala con torre tubolare più moderni, avente un diametro del rotore pari a 158 mt. e di potenza nominale pari a 6,1 MW, per una potenza complessiva di 146, 40 MW. Esso sarà collegato sempre tramite cavidotti interrati, il cui tracciato seguirà principalmente quello dei cavi esistenti, e confluirà nella medesima Sottostazione Terna nel Comune di Foiano di Valfortore (BN) per la quale non sarà realizzata alcuna modifica in termini di volumetria e superficie aggiuntiva, ma saranno predisposti adeguamenti dei locali della Sottostazione al fine di conformare le apparecchiature e i trasformatori all'incremento di potenza che sarà immessa in rete.

L'impianto esistente da dismettere è di proprietà della società IVPC S.r.l., la stessa che ne ha commissionato il progetto di rifacimento e potenziamento.

In sintesi, le principali opere di progetto consisteranno nella:

Dismissione delle 97 torri eoliche esistenti, di cui n. 23 modello Vestas V42 e n. 74 modello Vestas V44, con potenza unitaria di 600kW per un totale di 58,20 MW.

Messa in opera di n. 17 aerogeneratori complessivi, ciascuno dei quali aventi potenza unitaria di 6,10 MW, per una potenza complessiva di 103,7 MW.

Sostituzione dei cavidotti esistenti con nuove tipologie di cavi, adeguati ai nuovi aerogeneratori ed alla relativa potenza. I tracciati dei cavidotti interrati di progetto seguiranno per la maggior parte i tracciati di quelli esistenti da dismettere.

Per la connessione alla RTN del nuovo impianto, si prevedono opere di tipo elettromeccanico, con la sostituzione delle vecchie apparecchiature già installate nella medesima Sottostazione Terna esistente nel Comune di Foiano di Valfortore (BN) con quelle nuove e con tensione lato MT pari a 30 Kv e lato AT pari a 150 kV, nonché opere civili consistenti nella demolizione dei fabbricati esistenti e la loro sostituzione con la realizzazione di edifici shelter che non comporteranno aumento né di superficie né di volumetria rispetto a quella attualmente occupata dai locali esistenti. Per la descrizione delle opere da realizzare in Sottostazione, si rimanda agli specifici elaborati progettuali specifici.

In riscontro a tali richieste, il presente elaborato ha lo scopo di valutare il contributo in termini di vibrazioni in merito alla fase di esercizio del nuovo impianto a seguito della dismissione delle vecchie turbine.

In ottemperanza alle più ampie prescrizioni, la valutazione della componente vibrazioni sarà trattato nel dettaglio anche in relazione alla fase di cantiere che sottende al progetto in questione.

## **1.1 Descrizione sintetica del progetto**

L'iniziativa progettuale proposta illustrata all'interno di questa Relazione Tecnica Descrittiva si riferisce ed è parte integrante del Progetto di Rifacimento e Potenziamento di un impianto eolico esistente e ricadente nei Comuni di Baselice, Foiano di Val Fortore, San Marco dei Cavoti, Molinara e San Giorgio La Molara, tutti in provincia di Benevento in Regione Campania. Tale proposta rientra tra le azioni che la IVPC S.r.l. ha deciso di intraprendere nei prossimi anni, perseguendo una logica di sviluppo tesa all'ottimizzazione e al miglioramento degli impianti esistenti in territori già fortemente connotati da punto di vista infrastrutturale, attraverso la sensibile diminuzione del numero delle macchine attualmente installate a fronte di un netto avanzamento tecnologico, un incremento della produzione di energia da fonte rinnovabile, una progressiva riduzione delle emissioni nocive, e dunque un generale miglioramento degli impatti ambientali. In linea con questa logica, la IVPC ha già presentato presso la Regione Campania un progetto di rifacimento di un impianto eolico sito in Montefalcone di Val Fortore, che sta seguendo un proprio iter autorizzativo PAUR.

In particolare, l'impianto esistente è composto da n. 97 aerogeneratori tripala con torre tralicciata, di cui n. 23 modello Vestas V42 e n. 74 modello Vestas V44, tutte di potenza nominale pari a 0,60 MW, per una potenza complessiva di 58,20 MW. L'impianto è collegato tramite cavidotti interrati alla Sottostazione elettrica di trasformazione 150/30 kv esistente di Foiano di Val Fortore (BN).

Il nuovo impianto, che sostituirà quello attualmente esistente, sarà costituito da n.17 aerogeneratori tripala con torre tubolare più moderni, avente un diametro del rotore pari a 158 mt. e di potenza nominale pari a 6,1 MW, per una potenza complessiva di 103,7 MW. Esso sarà collegato sempre tramite cavidotti interrati, il cui tracciato seguirà principalmente quello dei cavi esistenti, e confluirà nella medesima Sottostazione Terna nel Comune di Foiano di Valfortore (BN) per la quale non sarà realizzata alcuna modifica in termini di volumetria e superficie aggiuntiva, ma saranno predisposti adeguamenti dei locali della Sottostazione al fine di conformare le apparecchiature e i trasformatori all'incremento di potenza che sarà immessa in rete.

L'impianto esistente da dismettere è di proprietà della società IVPC S.r.l., la stessa che ne ha commissionato il progetto di rifacimento e potenziamento.

In sintesi, le principali opere di progetto consisteranno nella:

Dismissione delle 97 torri eoliche esistenti, di cui n. 23 modello Vestas V42 e n. 74 modello Vestas V44, con potenza unitaria di 600kW per un totale di 58,20 MW.

Messa in opera di n. 17 aerogeneratori complessivi, ciascuno dei quali aventi potenza unitaria di 6,10 MW, per una potenza complessiva di 103,7 MW

Sostituzione dei cavidotti esistenti con nuove tipologie di cavi, adeguati ai nuovi aerogeneratori ed alla relativa potenza. I tracciati dei cavidotti interrati di progetto seguiranno per la maggior parte i tracciati di quelli esistenti da dismettere. Per la connessione alla RTN del nuovo impianto, si prevedono opere di tipo elettromeccanico, con la sostituzione delle vecchie apparecchiature già installate nella medesima Sottostazione Terna esistente nel Comune di Foiano di Valfortore (BN) con quelle nuove e con tensione lato MT pari a 30 Kv e lato AT pari a 150 kV, nonché opere civili consistenti nella demolizione dei fabbricati esistenti e la loro sostituzione con la realizzazione di edifici shelter che non comporteranno aumento né di superficie né di volumetria rispetto a quella attualmente occupata dai locali esistenti. Per la descrizione delle opere da realizzare in Sottostazione, si rimanda agli specifici elaborati progettuali specifici.

In quest'ottica, attraverso la proposta di Rifacimento e Potenziamento dell'Impianto Eolico esistente, la IVPC S.r.l. si pone come obiettivo principale quello di far convergere azioni di miglioramento in ambito territoriale e ambientale, con quelle di incremento della capacità produttiva dell'impianto attraverso la sostituzione dei vecchi aerogeneratori e l'ammodernamento della rete infrastrutturale.

La proposta progettuale si propone quindi di apportare significativi benefici dovuti alla dismissione di strutture ormai obsolete con conseguente diminuzione del carico infrastrutturale in un contesto territoriale già interessato da diversi impianti eolici esistenti: allo stato attuale infatti gli aerogeneratori già presenti nell'area si susseguono quasi senza soluzione di continuità nel territorio collinare tra Benevento e Foggia, connotando l'area come un grande polo energetico sviluppatosi negli ultimi vent'anni a cavallo tra Campania, Puglia e Basilicata.

Dal punto di vista tecnologico, i nuovi aerogeneratori sono molto più potenti e performanti rispetto agli esistenti ed in funzione delle caratteristiche anemologiche dell'area hanno un rendimento maggiore in termini di ore di produzione, oltre ad essere compatibili con il territorio e con i maggiori aspetti di sensibilità ambientale presenti nel contesto di riferimento, come si evince anche dalle valutazioni specialistiche effettuati nell'ambito del presente studi

## 1.2 Individuazione e scelta dei recettori

Ai fini della previsione degli impatti indotti dall'impianto di, sono stati individuati i i possibili elementi " Sensibili ed i possibili "ricettori sensibili", facendo riferimento alla relazione "Relazione di calcolo della gittata massima di elementi rotanti per rottura accidentale della pala e suoi frammenti R 06

Elementi sensibili	Distanze
Centro abitato di Baselice	5200 m
Centro abitato di Foiano di Valfortore	4000 m
Centro abitato di San Marco dei Cavoti	3700 m
Centro abitato di Molinara	3600 m
Centro abitato di San Giorgio La Molara	3500m
Centro abitato di Montefalcone di Valfortore	3350 m
SP116	1675 m
SP30	670 m
S.P. 45	295 m
S.P. "ex S.S.369"	190 m

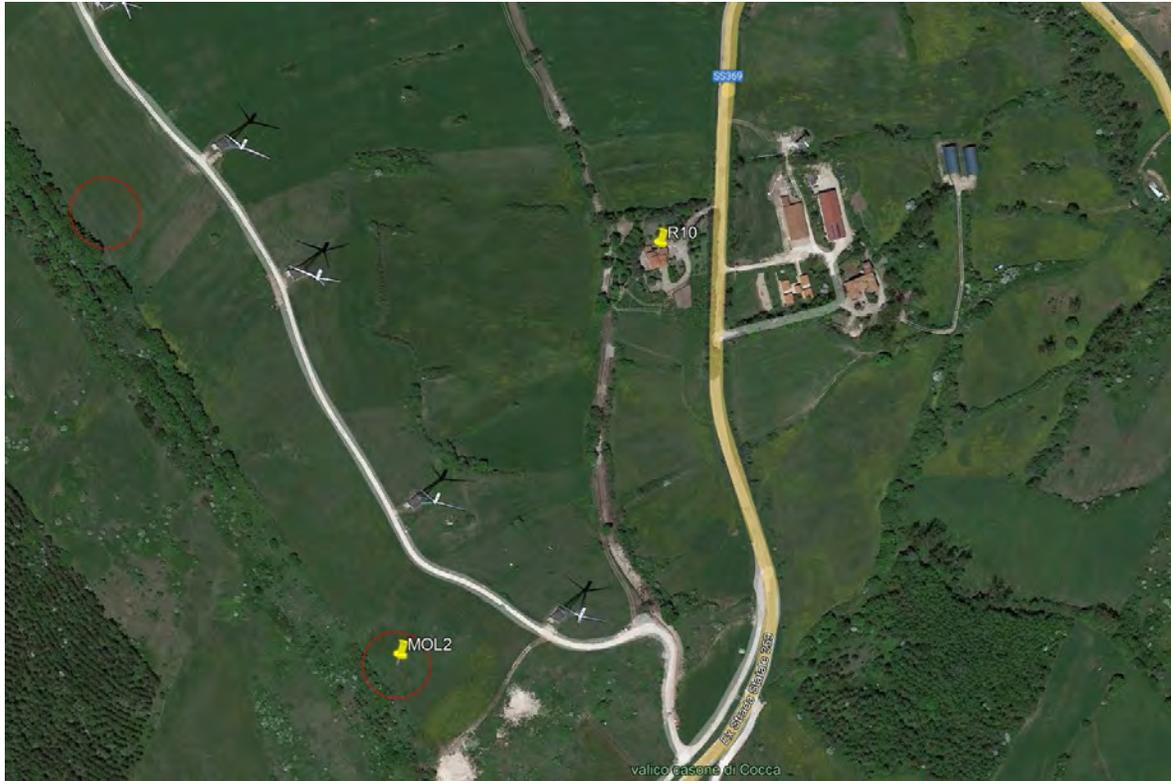
**Elenco elementi urbanistici e infrastrutturali sensibili nell'area del parco eolico. In giallo, è stato evidenziato l'elemento situato ad una distanza minore rispetto alla MOL 03 e MOL 02 : la Strada Provinciale "ex SS 369**

Oltre ai suddetti elementi, nell'area del parco eolico sono presenti altri recettori significativi potenzialmente interessati dagli impatti attesi dalla realizzazione del parco eolico. I ricettori sono elencati nella seguente tabella nella quale sono riportata anche le distanze di ciascuno di essi da ciascuno dei 17 aerogeneratori del parco eolico in progetto

WTG	Coordinate WGS84 UTM		BAS02	BAS03	SMC01	SMC02	SMC04	SMC05	FVF01	MOL1	MOL2	MOL3	MOL4	MOL7	SGM01	SGM02	SGM04	SGM05	SGM06
Recettore	E	N	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
R1	492591	4580264	875	1124	1802	2005	2451	2996	1979	3847	7280	4572	5129	5596	7322	7758	8550	8959	9051
R2	492858	4579642	1079	969	1473	1482	1878	2376	1314	3233	3634	3906	4466	4942	6646	7075	7881	8280	8359
R3	493801	4578576	2383	2023	2052	1585	1598	1683	516	2460	2674	2799	3344	3757	5262	5671	6517	6868	6993
R4	493219	4577897	2434	1942	1659	1056	826	786	527	1595	1891	2130	2683	3154	4696	5457	6164	6646	6664
R5	496649	4575498	6535	6102	5840	5223	4843	4299	4443	4135	3642	3171	3090	2856	1621	1784	2964	2879	3273
R6	494856	4571786	8647	8110	7551	7004	6509	5883	6809	5136	4295	4223	3678	3177	2656	2670	1618	2700	1810
R7	496609	4571009	10016	9495	8998	8413	7930	7280	8041	6638	6066	5625	5123	4601	2884	2651	1512	1866	1178
R8	498548	4571918	10433	9952	9581	8961	8521	7893	8345	7433	6856	6357	5967	5483	3046	2567	2346	1408	1853
R9	491732	4578249	1626	1117	416	508	795	1413	1593	2045	2608	3036	3539	4060	6244	6750	7282	7913	7825
R10	493293	4576267	3901	3367	2849	2269	1782	1132	2149	674	352	528	1073	1576	3786	4284	4780	5424	5306
R11	493451	4576247	3985	3455	2950	2366	1885	1235	2178	831	458	461	1015	1499	3646	4145	4665	5291	8187
R12	493775	4576433	3972	3455	3020	2407	1955	1330	2041	1149	841	699	1205	1620	3524	4010	4624	5177	5133
R13	493952	4578297	2676	2284	2241	1718	1641	1607	654	2309	2465	2555	3084	3488	4946	5362	6207	6550	6676
R14	493770	4578295	2511	2108	2044	1518	1452	1462	459	2201	2399	2528	3072	3491	5039	5469	6286	6658	6762
R15	494071	4578176	2838	2445	2377	1835	1719	1620	796	2277	2394	2454	2974	3365	4776	5194	6047	6382	6513
R16	494146	4578519	2707	2365	2399	1916	1887	1888	840	2592	2735	2804	3323	3712	5054	5459	6343	6643	6801
R17	494076	4578726	2549	2234	2327	1885	1912	1983	817	2724	2899	2990	3516	3913	5273	5673	6560	6856	7017
			Distanza tra WTG e Recettore fino a 250m																
			Distanza tra WTG e Recettore maggiore di 250m e fino a 500m																
			Distanza tra WTG e Recettore maggiore di 500m																

Si precisa che i ricettori e la loro nomenclatura sono i medesimi analizzati anche nello Studio dell'Ombra giornaliera.

Dalla lettura della **tabella** qui proposta si desume che la condizione più sfavorevole è quella relativa al ricettore contrassegnato dal codice **R10**, situato a 352m –*misurati in piano*– dalla macchina **MOL02**, tale valore è superiore alla gittata massima sopra calcolata di 285m. la situazione è riportata nella figura seguente



**Inquadramento del ricettore R10 rispetto alla macchina MOL02**

## 2. CENNI TEORICI SULLE VIBRAZIONI

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

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

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

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

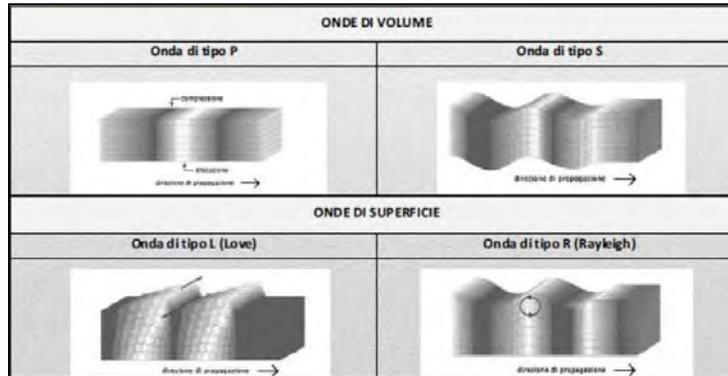
Il numero di periodi al secondo costituisce la frequenza di una vibrazione, espressa in Hertz (Hz).

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

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

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

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



**Figura 4: Differenti tipologie di Onde di Volume e Superficie**

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

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

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

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

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

dove:  $\eta$  è il fattore di perdita del terreno,  $c$  la velocità di propagazione in m/s,  $f$  la frequenza in Hz,  $d$  la distanza in m e  $d_0$  la distanza di riferimento a cui è noto lo spettro di emissione

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

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

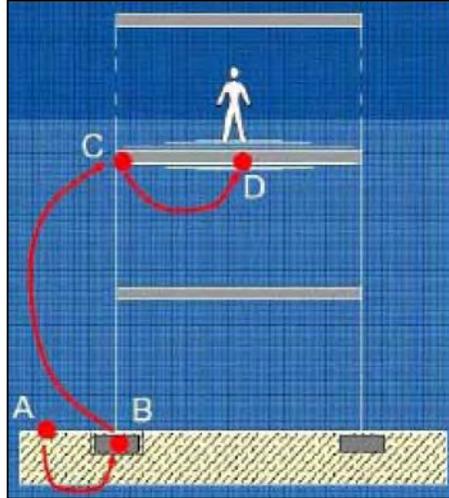


Figura 5: Schematizzazione semplificata della propagazione delle vibrazioni nel sistema terreno-edificio

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

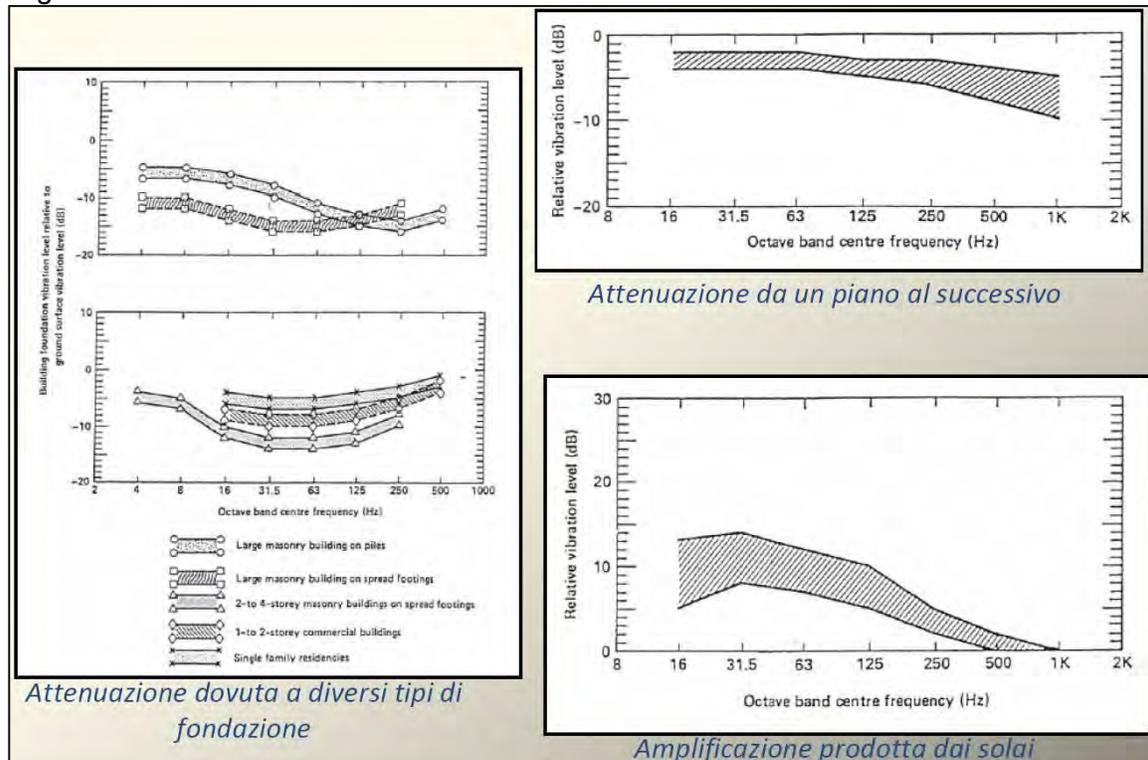


Figura 6: Esempi di Attenuazione/Amplificazione dei fenomeni vibratori/oscillatori nei differenti elementi

## **2.2 Normativa di riferimento**

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

### **Umana:**

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

### **Danni ad edifici:**

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

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

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

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

Le vibrazioni possono essere valutate in tre diverse modalità:

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

Si utilizza o il valore di picco (PPV peak particle velocity) definito come il picco massimo istantaneo positivo o negativo del segnale di vibrazione: tale grandezza è utile per valutare i danni potenziali agli edifici ma non è adeguata per valutare la risposta umana. La grandezza collegata alla risposta umana alle vibrazioni è il valore efficace della velocità (RMS), definito come la radice quadrata della media della velocità istantanea al quadrato.

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

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

dove  $v$  è il valore efficace della velocità istantanea e  $v_0$  è il valore di riferimento ( $v_0 = 10^{-9}$  m/sec)

in termini di accelerazione: le grandezze impiegate sono le corrispondenti a quelle descritte per la velocità.

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

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

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

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

- 1) Fattori legati a tipologie di sorgenti e modalità operative (Fase di Cantiere)**
- 2) Fattori Geologici**
- 3) Fattori Strutturali e caratteristiche dei recettori (Edifici-Strutture e Fabbricati)**

#### **1. Sorgenti e modalità operative:**

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

#### **2. Fattori Geologici:**

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

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

I problemi legati alla vibrazione via terra si hanno quasi esclusivamente all'interno degli edifici. Quindi le caratteristiche dei recettori costituiscono una componente fondamentale nella valutazione delle vibrazioni. Le vibrazioni indotte da mezzi di escavazione possono essere percepite da persone che si trovano all'esterno, ma è raro che provochino lamentele. I livelli di vibrazione dentro un edificio dipendono dall'energia vibratoria che raggiunge le fondazioni, dall'accoppiamento tra le fondazioni ed il terreno e dalla propagazione della vibrazione attraverso la struttura dell'edificio. Come regola generale

si può affermare che più è massivo l'edificio, minore è la sua risposta all'energia vibratoria incidente sul terreno. Le sorgenti di vibrazioni, provocano effetti che si propagano attraverso il terreno e diminuiscono di intensità con la distanza.

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

## 2.4 Modello previsionale

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

- 1) si determinano le apparecchiature impiegate e i relativi livelli di vibrazione forniti, generalmente, a una distanza di riferimento; nel caso in oggetto è stato considerato il valore relativo all'utilizzo della ruspa cingolata [rif. A. Farina "Valutazione dei livelli di vibrazioni in edifici residenziali, Normativa, tecniche di misura e di calcolo", neo- Eubios n. 16 (2006)] misurato a distanza di 5 m dal centro della sorgente
- 2) si applica il modello di propagazione classico per la stima del livello di accelerazione prevista descritto dalla seguente equazione (Dong-Soo, Jin-Sun Lee):
- 3)

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

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

Il coefficiente di smorzamento geometrico rappresenta l'attenuazione che si verifica a causa della diminuzione della densità di energia all'aumentare della distanza dalla sorgente e può essere determinato conoscendo il tipo onda che si propaga, il tipo di sorgente e il luogo di emissione della vibrazione, che generalmente varia tra 0,5 e 2,0. Il

coefficiente di smorzamento del materiale tiene conto della riduzione di energia delle vibrazioni a causa dell'attrito e della coesione tra le particelle di terreno, essendo quest'ultimo non perfettamente elastico. Questa attenuazione, dovuta allo smorzamento del

materiale, è influenzata dal tipo di terreno e dalla frequenza delle vibrazioni:  $\alpha$  può essere calcolato

come:

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

dove:

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

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

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

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

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

Tipologia di substrato	Velocità di propagazione onda longitudinale [m/s]	Fattore di perdita [η]	Massa volumica [g/cm <sup>3</sup> ]
Roccioso	3500	0 , 0 1	0,1285
Sabbioso	600	0 , 1 0	0,0833
Argilloso	1500	0 , 5 0	0,0903

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

## 2.5 Rischio del danno a strutture ed edifici

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

- 5 mm/s per edifici residenziali (vibrazioni durature);
- 2.5 mm/s per edifici storici estremamente fragili (vibrazioni durature); Tali valori rappresentano i limiti più cautelativi noti in letteratura

Essi sono generalmente più elevati di quelli derivanti dal non disturbo alle persone.

Solo in presenza di un fattore di cresta molto elevato, maggiore di 18 dB, potrebbe infatti verificarsi il caso di superamento del limite di danno strutturale senza che si verifichi il superamento del limite di disturbo alle persone.

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

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

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

## 2.6 Rischio Esposizione Umana – Rischio Disturbo

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

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

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

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

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

VALORI E LIVELLI LIMITE DELLE ACCELERAZIONI COMPLESSIVE PONDERATE IN FREQUENZA VALIDI PER L'ASSE z		
Destinazione d'uso	Accelerazione	
	m/s <sup>2</sup>	dB
Aree critiche	5,0 10 <sup>-3</sup>	74
Abitazioni notte	7,0 10 <sup>-3</sup>	77
Abitazioni giorno	10,0 10 <sup>-3</sup>	80
Uffici	20,0 10 <sup>-3</sup>	86
Fabbriche	40,0 10 <sup>-3</sup>	92

VALORI E LIVELLI LIMITE DELLE ACCELERAZIONI COMPLESSIVE PONDERATE IN FREQUENZA VALIDI PER GLI ASSI x E y		
Destinazione d'uso	Accelerazione	
	m/s <sup>2</sup>	dB
Aree critiche	3,6 10 <sup>-3</sup>	71
Abitazioni notte	5,0 10 <sup>-3</sup>	74
Abitazioni giorno	7,0 10 <sup>-3</sup>	77
Uffici	14,4 10 <sup>-3</sup>	83
Fabbriche	28,8 10 <sup>-3</sup>	89

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

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

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

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

- L'impiego di mezzi gommati al fine di contenere il rumore di fondo nell'area durante il passaggio su strada (solitamente di tipo imbrecciato o sterrato);
- Utilizzo di macchine operatrici a norma
- Prevedere un piano di monitoraggio

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

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

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

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

Le fonti di rumore e vibrazione emesse da una turbina eolica sono essenzialmente di natura aerodinamica, (causate dall'interazione tra il vento e le pale), meccanica (generate dagli attriti meccanici dei componenti del rotore e del sistema di trasmissione del generatore) e cinetica (generate dalle oscillazioni e dal passaggio e cambiamento di stato da stazionario a combinato. Le oscillazioni sono causate dal vento che insiste sul piano del rotore degli aerogeneratori generando momenti forzanti opportunamente controllati dalle strutture di fondazione, nonché dall'interazione aerodinamica e meccanica delle pale con la torre.

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

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

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

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

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

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

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

- $\eta = 0.1$  (fattore di perdita del substrato nell'ipotesi peggiore possibile nell'ottica della valutazione a maggior carattere cautelativo nei confronti dei recettori);
- $c$  (velocità di propagazione dell'onda di Rayleigh VR) = 500 m/s (valore coerente con i dati geotecnici riportati nell'elaborato specialistico)

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

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

In particolare i valori r.m.s di accelerazione (non ponderati in frequenza) in corrispondenza della torre

di sostegno lungo i tre assi (x, y, z), presi come riferimento per il calcolo in base a valori reali misurati su strutture analoghe sono:

su strutture analoghe sono:

$$w_1(x) = 0,0224 \frac{1}{s^2}$$

$$w_1(y) = 0,01333 \frac{1}{s^2}$$

$$w_1(z) = 0,0272 \frac{1}{s^2}$$

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

	Valore asse x	Valore asse y	Valore asse z
Vibrazione alla sorgente [dB]	87	82,5	88,7
Accelerazione alla sorgente [mm/s <sup>2</sup> ]	22,38	13,33	27,22
Distanza dalla sorgente [m]	1	1	1
Coefficiente di attenuazione geometrica	0,5	0,5	0,5
Tipologia di terreno	Litologie limoso argillose e sabbiose		
Coefficiente di assorbimento	0,1	0,1	0,1
Velocità di propagazione [m/s]	500	500	500
Densità del mezzo [kg/mc]	1900	1900	1900
Valore rotazione di riferimento [rpm]	13	13	13
Frequenza onda di vibrazione di riferimento per il calcolo [Hz]	0,650	0,650	0,650
Pulsazione d'onda $\omega$ [rad/s]	4,084	4,084	4,084
eta - coefficiente di assorbimento del terreno	0,1	0,1	0,1

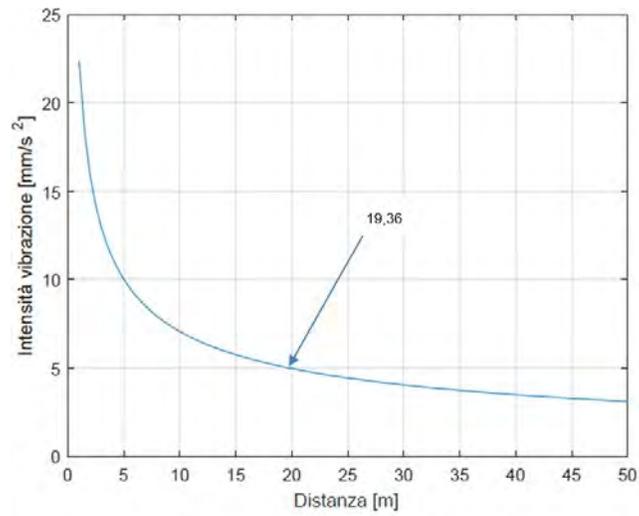
Di seguito i risultati ottenuti in termini di distanza minima di rispetto dei valori soglia della norma UNI 9614. Poiché il fenomeno riguarda l'esercizio di macchine la cui vita utile è ultraventennale con funzionamento anche notturno, si riporta anche la distanza minima del valore raccomandato per le aree critiche, che può essere preso a riferimento per aree particolarmente delicate sotto l'aspetto della stabilità territoriale.

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

	Valore rif. asse x 77 dB	Valore rif. asse y 77 dB	Valore rif. asse z 80 dB
Distanza di rispetto del valore raccomandato UNI 9614 (Abitazioni giorno)	9,86	3,53	7,34
	Valore rif. asse x 74 dB	Valore rif. asse y 74 dB	Valore rif. asse z 77 dB
Distanza di rispetto del valore raccomandato UNI 9614 (Abitazioni notte)	19,36	7,01	14,47
	Valore rif. asse x 71 dB	Valore rif. asse y 71 dB	Valore rif. asse z 74 dB
Distanza di rispetto del valore raccomandato UNI 9614 (Aree critiche)	37,5	13,83	28,23

Poiché gli aerogeneratori di progetto sono distanti tra loro oltre i 300 m, ed il primo recettore sensibile risulta dislocato a distanze inferiori a più di dieci volte quelle indicate nella precedente tabella, si può senz'altro affermare che l'impatto causato dalle vibrazioni prodotto dal parco eolico in oggetto sia assolutamente trascurabile e che nessun recettore riceve un fenomeno vibrazionale tale da ingenerare disturbo. Ciò risulta valido anche considerando l'effetto cumulato di tutti gli aerogeneratori.

Si riporta di seguito l'andamento del decadimento delle vibrazioni calcolate per l'asse x:



I valori soglia raccomandati per le abitazioni di notte sono rispettati ad una distanza inferiore ai 20 m. Ad una distanza di circa 37 m dagli aerogeneratori risultano rispettati anche i valori raccomandati per le aree critiche

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

Per quanto concerne le fasi di cantiere per la costruzione di impianti eolici, non è in generale previsto l'impiego di esplosivi durante i lavori di scavo, e pertanto risulta assolutamente improbabile, o non plausibile, che vi possano essere danni alle strutture ed edifici nel corso delle escavazioni, anche per quei recettori posti a distanze relativamente più vicine. Si rammenta infatti che, anche nell'ottica delle verifiche dei limiti acustici, gli aerogeneratori di progetto sono posizionati a distanze generalmente non inferiori i 200 m in linea d'aria da strutture classificabili come recettori sensibili. In questo, anche considerando le linee mobili di cantiere per il raggiungimento dei punti di installazione delle turbine, si è sufficientemente sicuri che non possano configurarsi le condizioni e le circostanze tali da poter arrecare danni alle strutture.

Nell'applicazione del modello previsionale al fine di valutare il potenziale possibile disturbo in termini

**quantitativi**, sono stati ipotizzati i seguenti parametri come di seguito esplicitati:

1. Livelli di riferimento per il mezzo meccanico impiegato in cantiere: si è scelto di effettuare un calcolo di propagazione delle vibrazioni per il mezzo più impattante tra quelli proposti nelle diverse fasi di lavorazione, che è risultato essere l'autobetoniera caratterizzato da fenomeni vibrazionali legati sia alla rotazione del bicchiere che del motore e degli organi meccanici dell'automezzo.

INAIL		COMITATO PARITETICO TERRITORIALE PER LA PREVENZIONE INFORTUNI L'IGIENE E L'AMBIENTE DI LAVORO DI TORINO E PROVINCIA		CPT. TORINO	
<b>AUTOBETONIERA</b>				Rif.: 51-TO-2248-2-VCI-01	
Marca:	IVECO				
Modello:	330-30				
Potenza:	224,00 W				
Anno produzione:					
Dati fabbricante:					
Accessorio:					
Attività:	trasporto				
Materiale:	cls				
Stile guida:	Prudente				
Tipo terreno:	Asfalto				
Condizioni:	Buone				
Annotazioni:					
Data rilievo:	23.10.2014				
$A_{W(MAX)}$ m/s <sup>2</sup> :	0,67				

VIBRAZIONI CORPO INTERO			
Posizione misure: Sedile			
N.	$a_{hw_x}$ (m/s <sup>2</sup> )	$a_{hw_y}$ (m/s <sup>2</sup> )	$a_{hw_z}$ (m/s <sup>2</sup> )
1	0,18	0,37	0,67
2	0,18	0,39	0,66
3	0,18	0,42	0,64
Media	0,26	0,55	0,66
Incert.	0,26	0,58	0,67

STRUMENTAZIONE			
Strumento / Marca	Modello	Matricola	Data Taratura
Analizzatore Svantek	SVAN-948	9825	14/07/2014
Acc. Monoassiale (Cl) Dytran	SV3185D	2608	28/07/2014
Acc. Triassiale (Cl) Dytran	3143M1	1318	14/07/2014
Calibratore (VIB) PCB	394C06	4114	15/07/2014

**Figura 7: Caratteristiche vibrazionali del mezzo di cantiere caratterizzato da maggiori vibrazioni indotte**

2. Livelli di riferimento – valore soglia limite di disturbo:

Il valore soglia di livello ponderato di accelerazione è stato considerato essere pari a 77 VdB . Ciò in virtù del fatto che le attività di cantiere (e quindi anche di escavazione) sono concentrate esclusivamente nel periodo di riferimento diurno e che pertanto il potenziale disturbo non può essere associato al periodo di riferimento notturno e quindi non può incidere nelle ore dedicate al riposo e al sonno. Inoltre l'attività ha caratteristiche temporanee non compatibili con problematiche legate a prolungate azioni vibratorie eventualmente problematiche per le aree critiche.

3. Attenuazioni o Amplificazioni nella struttura degli edifici:

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

Nel dettaglio, al fine di eseguire il calcolo del potenziale possibile disturbo, sono stati assunti i

parametri di input come di seguito esplicitati:

**Tabella 9: Valori di input per il calcolo quantitativo delle vibrazioni indotte dal mezzo di cantiere**

	Valore asse x	Valore asse y	Valore asse z
Vibrazione alla sorgente [dB]	88,4	95,3	96,5
Accelerazione alla sorgente [mm/s <sup>2</sup> ]	0,0263	0,0582	0,0668
Distanza dalla sorgente [m]	1	1	1
Coefficiente di attenuazione geometrica	0,5	0,5	0,5
Tipologia di terreno	Litologie limoso argillose e sabbiose		
Coefficiente di assorbimento	0,1	0,1	0,1
Velocità di propagazione [m/s]	500	500	500
Densità del mezzo [kg/mc]	1900	1900	1900
Valore rotazione di riferimento [rpm]	15	15	15
Frequenza onda di vibrazione di rif. per il calcolo [Hz]	0,250	0,250	0,250
Pulsazione d'onda $\omega$ [rad/s]	1,571	1,571	1,571
$\eta$ - coefficiente di assorbimento del terreno	0,1	0,1	0,1

**Tabella 10: risultati in termini di distanza di rispetto dei limiti UNI 9614**

	Valor rif. asse x 77 dB	Valore rif. asse y 77 dB	Valore rif. asse z 80 dB
Distanza di rispetto del valore raccomandato UNI 9614 (Abitazioni giorno)	13,7	64,95	43,49

Anche in tal caso si può senz'altro affermare che l'impatto causato dalle vibrazioni prodotto dal parco eolico in oggetto sia assolutamente trascurabile e che nessun recettore riceve un fenomeno vibrazionale tale da ingenerare disturbo. Ciò anche considerando l'effetto cumulato di diversi mezzi.

Ad una distanza di circa 65 m risultano dunque rispettati i valori raccomandati dalla normativa.

## 5. CONCLUSIONI

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

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

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

Poiché è stato espressamente richiesto anche un eventuale effetto dei fenomeni vibrazionali sui fenomeni franosi particolarmente delicati nell'area, è opportuno rimarcare che l'elemento oggetto di valutazione in tal senso, sotto l'aspetto geologico e geotecnico, è la stabilità globale del pendio in condizioni sismico-dinamiche, e che quindi tiene conto delle accelerazioni massime che il pendio e le sovrastrutture di progetto subiranno in condizioni di esercizio e di cantiere; il potenziale innesco di fenomeni di liquefazione delle sabbie, anche con origine dai citati moti vibrazionali, è una verifica prevista nell'ambito delle analisi geologiche e dai risultati geotecnici si evince che non ricorrono le condizioni di liquefazione nei terreni di sedime, sia per l'assenza di livelli sabbiosi sciolti monogranulari (le analisi granulometriche condotte in laboratorio evidenziano la costante presenza di percentuali argillose nei suoli), sia per l'assenza di falda, e infine sia per l'esito delle prove geotecniche in sito di tipo SPT, che hanno fornito valori sempre superiori a quelli previsti da normativa (Cfr rel geologica).

Lo specifico calcolo previsionale ha inoltre evidenziato che ad una distanza di circa 37 m sono rispettati i valori soglia valti per le aree critiche; l'area compresa a tale distanza dagli aerogeneratori rientra tranquillamente nelle valutazioni di stabilità eseguite.

## **Bibliografia**

ISO 2631 - Guida per la valutazione dell'esposizione umana alle vibrazioni su tutto il corpo. [UNI 9614:1990 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo", 1990. UNI 9916:2014 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici", 2014. Anderson, J.S.; Solving problems in vibrations; London, Longman Scientific & Technical, 1987

Dong-Soo Kim, Jin-Sun Lee Propagation and attenuation characteristics of various ground vibrations Soil Dynamics and Earthquake Engineering 19, 2000

Di Colin H. Hansen, Con J. Doolan, Kristy L. Hansen; Wind Farm Noise: Measurement, Assessment, and Control.

Styles P, England R, Stimpson I, Toon S, Bowers D and Hayes M 2005a A detailed study of the propagation and modelling of the effects of low frequency seismic vibration and infrasound from wind turbines. First International Meeting on Wind Turbine Noise: Perspectives for Control, Berlin, Germany