

REGIONE MOLISE  
PROVINCIA DI CAMPOBASSO

Comune:  
Rotello

Località "Crocella - Mazzincollo - Difesa Grande - Piano Cavato"

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI  
PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA E RELATIVE  
OPERE DI CONNESSIONE - 12 AEROGENERATORI

Titolo elaborato:

**RUMORE IN FASE DI CANTIERE E STUDIO DELLE VIBRAZIONI INDOTTE**

N. Elaborato: PD.NV.SIA01

Committente

**WIND ENERGY ROTELLO S.r.l.**

Via Caravaggio, 125  
65125 Pescara (PE)  
P.IVA 02257310686  
PEC: windrotellosrl@legpec.it

Amministratore Unico  
**Fabio MARESCA**

Progettazione



**sede legale e operativa**

San Giorgio Del Sannio (BN) via de Gasperi 61

**sede operativa**

Lucera (FG) S.S.17 loc. Vaccarella snc c/o Villaggio Don Bosco

P.IVA 01465940623

**Azienda con sistema gestione qualità Certificato N. 50 100 11873**




Progettista

**Dott. Ing. Massimo Lepore**

Esperto in Acustica, iscritto nell'Elenco Nazionale dei Tecnici Competenti in Acustica "ENTECA" al n.8866, riconosciuto con DDR Regione Campania 1396/2007, (rif n°653/07) in accordo alla legge 447/95 e DPCM 31/03/98, iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Benevento al n°1394




Rev.	Data	Elaborazione	Approvazione	Emissione	DESCRIZIONE
00	LUGLIO 2019	DF sigla	ML sigla	ML sigla	Progetto definitivo
Nome File sorgente	GE.RTL01.PD.NV.SIA01.doc	Nome file stampa	GE.RTL01.PD.NV.SIA01.pdf	Formato di stampa	A4

 <b>TENPROJECT</b>	<b>VALUTAZIONE DEL RUMORE IN FASE DI CANTIERE E STUDIO DELLE VIBRAZIONI INDOTTE PER DALL'IMPIANTO EOLICO DI ROTELLO (CB)</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.RTL01.NV 18/06/2019 28/06/2019 01 2 di 32
---	--	---	--

# INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>RUMORE IN FASE DI CANTIERE</b>	<b>5</b>
<b>2.1</b>	<b>RISULTATI</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>VIBRAZIONI</b>	<b>19</b>
<b>3.1</b>	<b>DEFINIZIONI E NOZIONI GENERALI (FONTE ISPRA)</b>	<b>19</b>
<b>3.2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	<b>21</b>
<b>3.3</b>	<b>VIBRAZIONE ED AREE DI CANTIERE PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTI EOLICI</b>	<b>22</b>
<b>3.4</b>	<b>CASO STUDIO E PARAMETRI DI TRASMISSIONE DELLE VIBRAZIONI</b>	<b>24</b>
<b>3.5</b>	<b>MODELLO PREVISIONALE</b>	<b>26</b>
<b>3.1</b>	<b>RISCHIO DEL DANNO A STRUTTURE ED EDIFICI</b>	<b>27</b>
<b>3.2</b>	<b>RISCHIO ESPOSIZIONE UMANA – RISCHIO DISTURBO</b>	<b>28</b>
<b>3.3</b>	<b>FASE DI ESERCIZIO</b>	<b>28</b>
<b>3.4</b>	<b>FASE DI CANTIERE</b>	<b>29</b>
<b>3.5</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>32</b>

	<b>VALUTAZIONE DEL RUMORE IN FASE DI CANTIERE E STUDIO DELLE VIBRAZIONI INDOTTE PER DALL'IMPIANTO EOLICO DI ROTELLO (CB)</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.RTL01.NV 18/06/2019 28/06/2019 01 4 di 32
---	--	---	--


## 1 PREMESSA

Il presente elaborato ha lo scopo di valutare il contributo in termini di vibrazioni e l'apporto acustico fornito ai recettori e all'ambiente circostante durante la fase di cantiere in merito alla futura installazione di un impianto di produzione di energia da fonte eolica costituito da 12 aerogeneratori di potenza unitaria pari a 3,85 MW per una potenza complessiva di impianto pari a 46,2 MW, da installare nel comune di Rotello (CB) in località "Crocella - Mazzincollo - Difesa Grande - Piano Cavato" e avente opere di connessione ricadenti nello stesso comune presso la stazione elettrica di trasformazione della RTN di Terna.

Proponente dell'iniziativa è la società Blunova s.r.l..

Di seguito sono indicati i tecnici esecutori delle indagini fonometriche eseguite per la valutazione del clima acustico ante-operam nonché redattori della relazione di impatto previsionale ed esecutori delle simulazioni di clima acustico post-operam effettuate con l'ausilio specifiche strumentazioni e software.

- **Ing. Massimo Lepore**, esperto in Acustica, iscritto nell'Elenco Nazionale dei Tecnici Competenti in Acustica "ENTECA" al **n.8866**, riconosciuto con **DDR Regione Campania 1396/2007**, (rif **n°653/07**) in accordo alla legge 447/95 e DPCM 31/03/98, iscritto all'**Ordine degli Ingegneri della Provincia di Benevento al n°1394**;
- **Dott. Arch. Danilo Franconiero** esperto in Acustica, iscritto nell'Elenco Nazionale dei Tecnici Competenti in Acustica "ENTECA" al **n.9114**, riconosciuto con **DDR 425/2013**, n° rif **435/13** della Regione Campania secondo quanto prescritto dalla legge 447/95 ed iscritto all'**Ordine degli Architetti Pianificatori Paesaggisti Conservatori di Napoli e Provincia al n°. 8805**
- **Dott. Ing. Pasquale Iorio**

 <b>TENPROJECT</b>	<b>VALUTAZIONE DEL RUMORE IN FASE DI CANTIERE E STUDIO DELLE VIBRAZIONI INDOTTE PER DALL'IMPIANTO EOLICO DI ROTELLO (CB)</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.RTL01.NV 18/06/2019 28/06/2019 01 5 di 32
---	--	---	--

## 2 RUMORE IN FASE DI CANTIERE

Per una completa analisi dell'impatto acustico e per adempiere appieno alla legge quadro sull'inquinamento acustico 447/95, è necessario valutare la rumorosità prodotta in fase di cantiere e valutare anche in tale circostanza il rispetto dei valori limite.

Dal punto di vista normativo l'attività di cantiere per la realizzazione delle opere oggetto di questo studio può essere inquadrata ed assimilata come attività rumorosa temporanea. La Legge Regionale n. 3/2002 stabilisce, al comma 3 dell'art. 17, che le emissioni sonore, in termini di livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato (A)  $[L_{Aeq}]$  misurato in facciata dell'edificio più esposto, non possono superare i 70 dB(A).

L'art. 6, comma 1, lettera h) della Legge 26 ottobre 1995, n. 447, così come la Legge Regionale n. 3 del 12 febbraio 2002 individuano quale competenza dei comuni l'autorizzazione, anche in deroga ai valori limite d'immissione, per lo svolgimento di attività temporanee, nel rispetto delle prescrizioni indicate dal comune stesso.

Nella presente analisi del rumore in fase di cantiere, che risulta attivo solamente durante le normali ore lavorative diurne, si sono considerate le condizioni maggiormente critiche relative alla fase di costruzione delle opere civili ed alla fase di montaggio e realizzazione delle aree attrezzate previste dal progetto.

**Per la presente relazione di stima previsionale, si sono utilizzati i dati forniti dall'INSAI (Istituto Nazionale Svizzero di Assicurazione), dall'ANCE dal C.P.T. (Comitato Paritetico Territoriale per la Prevenzione Infortuni, l'Igiene e l'Ambiente di Lavoro di Torino e Provincia). Le schede tecniche Suva dell'INSAI, nonché quelle scaricabili dal sito C.P.T. (<http://www.cpt.to.it>) vengono in genere utilizzate per redarre compiutamente un PSC di cantiere a tutela dei lavoratori, in tal caso si sono utilizzati valori sintetizzati in tabella sottostante dei macchinari individuati, per la messa a punto di un modello di propagazione basato sulla ISO 9613-2, volto soprattutto alla tutela del normale svolgimento delle attività umane circostanti il futuro cantiere.**

I livelli di emissione sonora prodotti da ogni singolo macchinario presente in cantiere durante le diverse fasi lavorative, nell'ambito delle simulazioni prodotte, sono stati derivati dalla letteratura di settore e sono esposti nella seguente tabella:

**Tabella 1: - Livelli di emissione sonora di alcuni macchinari di cantiere**

Attrezzatura	Livello di pressione in dB(A) [distanza di riferimento]/ Livello di potenza sonora
Pala cingolata (con benna)	107,4
Autocarro	92
Gru	82 [3m]
Betoniera	102
Asfaltatrice	85 [5m]
Sega circolare	103
Flessibile	85 [5m]
Saldatrice	80 [3m]
Martellatura manuale	80 [3m]
Betonpompa	107
Gruppo elettrogeno	98
Mezzo di compattazione	109
Escavatore	102
Trivellatrice	110
Coefficiente di contemporaneità	Mezzi di movimentazione e sollevamento = 100 % Attrezzature manuali = 85 %

L'impatto acustico del cantiere sull'ambiente circostante è stato valutato ipotizzando una distribuzione spaziale ed uniforme all'interno e considerando la rumorosità emessa da tutte le macchine presenti. Nello specifico, per i mezzi di movimentazione e sollevamento in cantiere si è adottato un coefficiente di contemporaneità pari al 60% mentre per le attrezzature manuali utilizzate in cantiere il coefficiente di contemporaneità assunto è pari al 70%. Con tali valori di sorgente, a titolo esemplificativo, sono stati calcolati i livelli sonori a distanze predefinite di 100, 200 e 300 metri dalle sorgenti ipotetiche costituite dal solo cantiere, nelle due fasi di realizzazione di opere civili e di assemblaggio e di sistemazione delle nuove installazioni, con l'esclusione quindi di tutte le altre sorgenti di rumore. L'impatto acustico del cantiere sull'ambiente circostante è stato valutato ipotizzando una distribuzione spaziale ed uniforme all'interno e considerando, per le diverse fasi di lavorazione, la rumorosità emessa da tutte le macchine utilizzate. Nello specifico, per i mezzi di movimentazione e sollevamento in cantiere si è adottato un coefficiente di contemporaneità pari al 100% mentre per le attrezzature manuali utilizzate in cantiere il coefficiente di contemporaneità assunto è pari al 85%.

Per ognuna delle diverse fasi previste l'analisi dell'impatto acustico del cantiere è stata eseguita distribuendo omogeneamente le sorgenti sonore (che sono per la maggior parte mobili) nelle aree in cui si troveranno ad operare per la maggior parte del tempo di funzionamento. In particolare, in via cautelativa, il posizionamento delle le sorgenti sonore è stato concentrate in un area di 10 m di raggio, al fine di simulare una condizione particolarmente gravosa di emissione contemporanea da una stessa area.

Con tali valori di sorgente, a titolo esemplificativo, sono stati calcolati i livelli sonori di immissione al centro dell'area della fase di lavorazione ed a distanze predefinite di 25, 50, 100, 200 e 300 metri dalle sorgenti ipotetiche costituite da un nucleo di cantiere nella sua fase di esecuzione di opere con l'esclusione eventuali altre sorgenti di rumore.

Durante il periodo più critico dal punto di vista acustico è stato simulato, come detto, il funzionamento di tutte le macchine che operano contemporaneamente con il fattore di contemporaneità più gravoso

che si possa assumere.

Il valore di immissione ricavato al centro dell'area della lavorazione specificata corrisponde al valore cui sarebbe sottoposto un lavoratore che venga a trovarsi nella condizione più sfavorevole, ovvero nell'area di svolgimento della fase di lavorazione che vede il simultaneo operare di tutte le sorgenti impiegate con alto fattore di contemporaneità (impostato pari ad 1 quasi in tutti i casi).

E' questo il caso preso a riferimento per la valutazione del rischio, mentre i risultati delle simulazioni effettuate alle distanze di 25, 50, 100, 200 e 300 metri con la configurazione proposta per le sole sorgenti sonore del cantiere sono volti a dimostrare come la rumorosità prodotta dalle diverse fasi del cantiere, data la discreta distanza che intercorre tra il cantiere e la maggior parte degli edifici presenti attualmente o previsti nell'area, non provoca superamenti dei valori limite (di immissione assoluta presso i ricettori abitativi).

## 2.1 RISULTATI

Di seguito sono riportate le schede delle simulazioni cumulative delle 20 fasi di lavorazione previste

<b>FASE 1</b>			
<b>Lavorazione:</b> allestimento del cantiere mediante realizzazione recinzione vie di circolazione e presidi di cantiere			
Macchine ed attrezzi adoperati	Lw db(A)	Note	Fattore di contemporaneità
Autocarro	92	Da scheda tecnica	1,00
Attrezzi manuali d'uso comune per lavorazioni in ferro	84	Assunto da libreria	0,85
Escavatore	102	Da scheda tecnica	1,00
Autocarro con GRU	92	Da scheda tecnica	1,00
Gruppo elettrogeno	98	Assunto da libreria	1,00
Attrezzi manuali d'uso comune per lavorazioni in ferro	80	Assunto da libreria	0,85
Distanza dall'area della fase di lavorazione [m]	Leq db(A)		
Centro area di lavorazione [10 m di equidistanza da tutti i macchinari]	75,1		
25	66,2		
50	56,5		
100	53,9		
200	46,4		
300	43,1		
Livello di Rischio	<b>Basso</b>		
Livello Rumore	Livello A Non sono previsti obblighi per il datore di lavoro e per gli esposti		
Nome Mansione	Operaio		
Descrizione Mansione	Operaio interno area di fase di lavorazione		
Tempo di esposizione (m)	480		
LEX8h(dBA)	<60 dB(A)		
LEX'8h(dBA)	<60 dB(A)		
DPI Obbligatorio	DPI non obbligatorio		
DPI Obbligatorio	Nessuno		

FASE 2			
<b>Lavorazione:</b> scotico del terreno e scavo di sbancamento per realizzazione di strade e piazzole			
Macchine ed attrezzi adoperati	Lw db(A)	Note	Fattore di contemporaneità
Autocarro	92	Da scheda tecnica	1
Escavatore	102	Da scheda tecnica	1
Distanza dall'area della fase di lavorazione [m]	Leq db(A)		
Centro area di lavorazione [10 m di equidistanza da tutti i macchinari]	73,3		
25	64,4		
50	54,7		
100	52,3		
200	44,7		
300	41,4		
Livello di Rischio	Basso		
Livello Rumore	Livello A Non sono previsti obblighi per il datore di lavoro e per gli esposti		
Nome Mansione	Operaio		
Descrizione Mansione	Operaio interno area di fase di lavorazione		
Tempo di esposizione (m)	480		
LEX8h(dBA)	<60 dB(A)		
LEX'8h(dBA)	<60 dB(A)		
DPI Obbligatorio	DPI non obbligatorio		
DPI Obbligatorio	Nessuno		

FASE 3			
<b>Lavorazione:</b> realizzazione di rilevati e massicciata stradale per strade e piazzole Riempimenti - Livellamenti per creazione piano di stazione			
Macchine ed attrezzi adoperati	Lw db(A)	Note	Fattore di contemporaneità
Escavatore	102	Da scheda tecnica	1
Autocarro	92	Da scheda tecnica	1
Rullo compattatore	109	Assunto da libreria	1
Distanza dall'area della fase di lavorazione [m]	Leq db(A)		
Centro area di lavorazione [10 m di equidistanza da tutti i macchinari]	81,1		
25	72,1		
50	62,4		
100	59,7		
200	52,2		
300	48,8		
Livello di Rischio	Basso		
Livello Rumore	Livello A Non sono previsti obblighi per il datore di lavoro e per gli esposti		
Nome Mansione	Operaio		
Descrizione Mansione	Operaio interno area di fase di lavorazione		
Tempo di esposizione (m)	480		
LEX8h(dBA)	<65 dB(A)		
LEX'8h(dBA)	<65 dB(A)		
DPI Obbligatorio	DPI non obbligatorio		
DPI Obbligatorio	Nessuno		



<b>FASE 4</b>			
<b>Lavorazione: scavi di fondazione eseguiti con scavatore</b>			
Macchine ed attrezzi adoperati	Lw db(A)	Note	Fattore di contemporaneità
Escavatore - big	105	Da scheda tecnica	1
Autocarro	92	Assunto da libreria	1
Distanza dall'area della fase di lavorazione [m]	Leq db(A)		
Centro area di lavorazione [10 m di equidistanza da tutti i macchinari]	75,6		
25	63,8		
50	60,0		
100	54,1		
200	48,1		
300	44,0		
Livello di Rischio	Basso		
Livello Rumore	Livello A Non sono previsti obblighi per il datore di lavoro e per gli esposti		
Nome Mansione	Operaio		
Descrizione Mansione	Operaio interno area di fase di lavorazione		
Tempo di esposizione (m)	480		
LEX8h(dBA)	<60 dB(A)		
LEX'8h(dBA)	<60 dB(A)		
DPI Obbligatorio	DPI non obbligatorio		
DPI Obbligatorio	Nessuno		

<b>FASE 5</b>			
<b>Lavorazione: trivellazioni per esecuzione pali di fondazione</b>			
Macchine ed attrezzi adoperati	Lw db(A)	Note	Fattore di contemporaneità
Trivellatrice	110	Assunto da libreria	1
Distanza dall'area della fase di lavorazione [m]	Leq db(A)		
Centro area di lavorazione [10 m di equidistanza da tutti i macchinari]	82,7		
25	73,3		
50	62,1		
100	60,1		
200	52,2		
300	49,0		
Livello di Rischio	Basso		
Livello Rumore	Livello A Non sono previsti obblighi per il datore di lavoro e per gli esposti		
Nome Mansione	Operaio		
Descrizione Mansione	Operaio interno area di fase di lavorazione		
Tempo di esposizione (m)	480		
LEX8h(dBA)	<70		
LEX'8h(dBA)	<70		
DPI Obbligatorio	DPI non obbligatorio		
DPI Obbligatorio	Nessuno		

FASE 6			
<b>Lavorazione: posa delle gabbie dei pali presagomate</b>			
Macchine ed attrezzi adoperati	Lw db(A)	Note	Fattore di contemporaneità
Apparecchio di sollevamento	86	Assunto da libreria	1
Attrezzi manuali di uso comune per lavorazioni in ferro	84	Assunto da libreria	1
Saldatrice elettrica	80	Assunto da libreria	1
Smerigliatrice (flessibile portatile)	109	Assunto da libreria	1
Distanza dall'area della fase di lavorazione [m]	Leq db(A)		
Centro area di lavorazione [10 m di equidistanza da tutti i macchinari]	79,6		
25	69,5		
50	62,4		
100	58,4		
200	51,6		
300	47,9		
Livello di Rischio	Basso		
Livello Rumore	Livello A Non sono previsti obblighi per il datore di lavoro e per gli esposti		
Nome Mansione	Operaio		
Descrizione Mansione	Operaio interno area di fase di lavorazione		
Tempo di esposizione (m)	480		
LEX8h(dBA)	<65 dB(A)		
LEX'8h(dBA)	<65 dB(A)		
DPI Obbligatorio	DPI non obbligatorio		
DPI Obbligatorio	Nessuno		

FASE 7			
<b>Lavorazione: getto di calcestruzzo con autobetoniera</b>			
Macchine ed attrezzi adoperati	Lw db(A)	Note	Fattore di contemporaneità
Attrezzi manuali di uso comune per lavorazioni in calcestruzzo	80	Assunto da libreria	0,85
Autobetoniera	100,2	Assunto da libreria	1
Autopompa	107,6	Assunto da libreria	1
Vibratore	90	Assunto da libreria	1
Distanza dall'area della fase di lavorazione [m]	Leq db(A)		
Centro area di lavorazione [10 m di equidistanza da tutti i macchinari]	82,2		
25	70,5		
50	65,4		
100	60,2		
200	54,2		
300	50,0		
Livello di Rischio	Basso		
Livello Rumore	Livello A Non sono previsti obblighi per il datore di lavoro		
Nome Mansione	Operaio		
Descrizione Mansione	Operaio interno area di fase di lavorazione		
Tempo di esposizione (m)	480		
LEX8h(dBA)	<70		
LEX'8h(dBA)	<70		
DPI Obbligatorio	DPI non obbligatorio		
DPI Obbligatorio	Nessuno		

<b>FASE 8</b>			
<b>Lavorazione: fondazioni - preparazione del piano</b>			
Macchine ed attrezzi adoperati	Lw db(A)	Note	Fattore di contemporaneità
Pala meccanica	107,4	Assunto da libreria	1,0
Autobetoniera	100,2	Assunto da libreria	1,0
Autopompa	107,6	Assunto da libreria	1,0
Attrezzi manuali d'uso comune per lavori in calcestruzzo	80,0	Assunto da libreria	0,8
Distanza dall'area della fase di lavorazione [m]	Leq db(A)		
Centro area di lavorazione [10 m di equidistanza da tutti i macchinari]	84,7		
25	73,7		
50	67,7		
100	63,0		
200	56,6		
300	52,7		
Livello di Rischio	Basso		
Livello Rumore	Livello A Non sono previsti obblighi per il datore di lavoro e per gli esposti		
Nome Mansione	Operaio		
Descrizione Mansione	Operaio interno area di fase di lavorazione		
Tempo di esposizione (m)	480		
LEX8h(dBA)	<70		
LEX'8h(dBA)	<70		
DPI Obbligatorio	DPI non obbligatorio		
DPI Obbligatorio	Nessuno		

<b>FASE 9</b>			
<b>Lavorazione: montaggio cassetta per plinti</b>			
Macchine ed attrezzi adoperati	Lw db(A)	Note	Fattore di contemporaneità
Apparecchio di sollevamento	86	Assunto da libreria	1
Attrezzi manuali d'uso comune per lavori in ferro	85	Assunto da libreria	0,85
Saldatrice elettrica	80	Assunto da libreria	1
Sega circolare	103	Assunto da libreria	1
Smerigliatrice (flessibile portatile)	109	Assunto da libreria	1
Distanza dall'area della fase di lavorazione [m]	Leq db(A)		
Centro area di lavorazione [10 m di equidistanza da tutti i macchinari]	81,8		
25	72,9		
50	64,1		
100	61		
200	53,9		
300	50,4		
Livello di Rischio	Basso		
Livello Rumore	Livello A Non sono previsti obblighi per il datore di lavoro e per gli esposti		
Nome Mansione	Operaio		
Descrizione Mansione	Operaio interno area di fase di lavorazione		
Tempo di esposizione (m)	480		
LEX8h(dBA)	<70		
LEX'8h(dBA)	<70		
DPI Obbligatorio	DPI non obbligatorio		
DPI Obbligatorio	Nessuno		

FASE 10			
Lavorazione: posa armature presagomate			
Macchine ed attrezzi adoperati	Lw db(A)	Note	Fattore di contemporaneità
Apparecchio di sollevamento	86	Assunto da libreria	1
Attrezzi manuali d'uso comune per lavori in ferro	85	Assunto da libreria	0,85
Saldatrice elettrica	80	Assunto da libreria	1
Smerigliatrice (flessibile portatile)	109	Assunto da libreria	1
Distanza dall'area della fase di lavorazione [m]	Leq db(A)		
Centro area di lavorazione [10 m di equidistanza da tutti i macchinari]	80		
25	72,3		
50	61,3		
100	59,2		
200	51,3		
300	48,1		
Livello di Rischio	Basso		
Livello Rumore	Livello A Non sono previsti obblighi per il datore di lavoro e per gli esposti		
Nome Mansione	Operaio		
Descrizione Mansione	Operaio interno area di fase di lavorazione		
Tempo di esposizione (m)	480		
LEX8h(dBA)	<65 dB(A)		
LEX'8h(dBA)	<65 dB(A)		
DPI Obbligatorio	DPI non obbligatorio		
DPI Obbligatorio	Nessuno		

FASE 11			
Lavorazione: posa dell'anchor cage			
Macchine ed attrezzi adoperati	Lw db(A)	Note	Fattore di contemporaneità
Autocarro con braccio idraulico	94	Assunto da libreria	1
Attrezzi manuali d'uso comune per assemblaggi	85	Assunto da libreria	0,8
Distanza dall'area della fase di lavorazione [m]	Leq db(A)		
Centro area di lavorazione [10 m di equidistanza da tutti i macchinari]	55,9		
25	47,2		
50	36,9		
100	34,9		
200	<30		
300	<30		
Livello di Rischio	Basso		
Livello Rumore	Livello A Non sono previsti obblighi per il datore di lavoro e per gli esposti		
Nome Mansione	Operaio		
Descrizione Mansione	Operaio interno area di fase di lavorazione		
Tempo di esposizione (m)	480		
LEX8h(dBA)	<45		
LEX'8h(dBA)	<45		
DPI Obbligatorio	DPI non obbligatorio		
DPI Obbligatorio	Nessuno		

FASE 12			
<b>Lavorazione: getto del calcestruzzo con autobetoniera e autopompa</b>			
Macchine ed attrezzi adoperati	Lw db(A)	Note	Fattore di contemporaneità
Attrezzi manuali d'uso comune per lavori in calcestruzzo	85,0	Assunto da libreria	0,85
Autobetoniera	100,2	Assunto da libreria	1
Autopompa	107,6	Assunto da libreria	1
Vibratore	90,0	Assunto da libreria	1
Distanza dall'area della fase di lavorazione [m]	Leq db(A)		
Centro area di lavorazione [10 m di equidistanza da tutti i macchinari]	79,2		
25	67,4		
50	62,4		
100	57,1		
200	51,2		
300	47,0		
Livello di Rischio	Basso		
Livello Rumore	Livello A Non sono previsti obblighi per il datore di lavoro e per gli esposti		
Nome Mansione	Operaio		
Descrizione Mansione	Operaio interno area di fase di lavorazione		
Tempo di esposizione (m)	480		
LEX8h(dBA)	<65 dB(A)		
LEX'8h(dBA)	<65 dB(A)		
DPI Obbligatorio	DPI non obbligatorio		
DPI Obbligatorio	Nessuno		

FASE 13			
<b>Lavorazione: disarmi e pulizie del plinto</b>			
Macchine ed attrezzi adoperati	Lw db(A)	Note	Fattore di contemporaneità
Apparecchio di sollevamento	86	Da scheda tecnica	1
Attrezzi manuali d'uso comune per smontaggi	85	Assunto da libreria	0,85
Distanza dall'area della fase di lavorazione [m]	Leq db(A)		
Centro area di lavorazione [10 m di equidistanza da tutti i macchinari]	59,2		
25	49,4		
50	42,0		
100	38,0		
200	31,1		
300	<30		
Livello di Rischio	Basso		
Livello Rumore	Livello A Non sono previsti obblighi per il datore di lavoro e per gli esposti		
Nome Mansione	Operaio		
Descrizione Mansione	Operaio interno area di fase di lavorazione		
Tempo di esposizione (m)	480		
LEX8h(dBA)	<55 dB(A)		
LEX'8h(dBA)	<55 dB(A)		
DPI Obbligatorio	DPI non obbligatorio		
DPI Obbligatorio	Nessuno		

<b>FASE 14</b>			
<b>Lavorazione: rinterrì del palo</b>			
Macchine ed attrezzi adoperati	Lw db(A)	Note	Fattore di contemporaneità
Attrezzi manuali d'uso comune per scavi e movimentazioni	88	Da scheda tecnica	0,8
Autocarro	92	Assunto da libreria	1
Escavatore	105	Da scheda tecnica	1
Distanza dall'area della fase di lavorazione [m]	Leq db(A)		
Centro area di lavorazione [10 m di equidistanza da tutti i macchinari]	76,6		
25	67,5		
50	57,9		
100	55,2		
200	47,6		
300	44,3		
Livello di Rischio	Basso		
Livello Rumore	Livello A Non sono previsti obblighi per il datore di lavoro e per gli esposti		
Nome Mansione	Operaio		
Descrizione Mansione	Operaio interno area di fase di lavorazione		
Tempo di esposizione (m)	480		
LEX8h(dBA)	<65 dB(A)		
LEX'8h(dBA)	<65 dB(A)		
DPI Obbligatorio	DPI non obbligatorio		
DPI Obbligatorio	Nessuno		

<b>FASE 15</b>			
<b>Lavorazione: taglio dell'asfalto con tagli asfalto a disco</b>			
Macchine ed attrezzi adoperati	Lw db(A)	Note	Fattore di contemporaneità
Tagliasfalto a disco	108	Assunto da libreria	1
Distanza dall'area della fase di lavorazione [m]	Leq db(A)		
Centro area di lavorazione [10 m di equidistanza da tutti i macchinari]	80,7		
25	71,3		
50	60,1		
100	58,1		
200	50,2		
300	47,0		
Livello di Rischio	Basso		
Livello Rumore	Livello A Non sono previsti obblighi per il datore di lavoro e per gli esposti		
Nome Mansione	Operaio		
Descrizione Mansione	Operaio interno area di fase di lavorazione		
Tempo di esposizione (m)	480		
LEX8h(dBA)	<65 dB(A)		
LEX'8h(dBA)	<65 dB(A)		
DPI Obbligatorio	DPI non obbligatorio		
DPI Obbligatorio	Nessuno		

FASE 16			
Lavorazione: scavi a sezione ristretta per realizzazione cavidotto			
Macchine ed attrezzi adoperati	Lw db(A)	Note	Fattore di contemporaneità
Escavatore	105	Da scheda tecnica	1
Distanza dall'area della fase di lavorazione [m]	Leq db(A)		
Centro area di lavorazione [10 m di equidistanza da tutti i macchinari]	77,7		
25	68,3		
50	57,1		
100	55,1		
200	47,2		
300	44,0		
Livello di Rischio	Basso		
Livello Rumore	Livello A Non sono previsti obblighi per il datore di lavoro e per gli esposti		
Nome Mansione	Operaio		
Descrizione Mansione	Operaio interno area di fase di lavorazione		
Tempo di esposizione (m)	480		
LEX8h(dBA)	<65 dB(A)		
LEX8h(dBA)	<65 dB(A)		
DPI Obbligatorio	DPI non obbligatorio		
DPI Obbligatorio	Nessuno		

FASE 17			
Lavorazione: realizzazione cavidotti - posa tubazioni			
Macchine ed attrezzi adoperati	Lw db(A)	Note	Fattore di contemporaneità
Attrezzi manuali d'uso comune per posa e taglio materiali	88	Assunto da libreria	0,85
Autocarro con braccio idraulico	94	Assunto da libreria	1
Distanza dall'area della fase di lavorazione [m]	Leq db(A)		
Centro area di lavorazione [10 m di equidistanza da tutti i macchinari]	63,0		
25	54,2		
50	43,9		
100	41,9		
200	34,2		
300	31,0		
Livello di Rischio	Basso		
Livello Rumore	Livello A Non sono previsti obblighi per il datore di lavoro e per gli esposti		
Nome Mansione	Operaio		
Descrizione Mansione	Operaio interno area di fase di lavorazione		
Tempo di esposizione (m)	480		
LEX8h(dBA)	<60 dB(A)		
LEX8h(dBA)	<60 dB(A)		
DPI Obbligatorio	DPI non obbligatorio		
DPI Obbligatorio	Nessuno		

FASE 18			
Lavorazione: realizzazione cavidotti - rinterrati			
Macchine ed attrezzi adoperati	Lw db(A)	Note	Fattore di contemporaneità
Minipala, tema	105	Da scheda tecnica	1
Autocarro	92	Da scheda tecnica	1
Distanza dall'area della fase di lavorazione [m]	Leq db(A)		
Centro area di lavorazione [10 m di equidistanza da tutti i macchinari]	75,6		
25	63,8		
50	60,0		
100	54,1		
200	48,1		
300	44,0		
Livello di Rischio		Basso	
Livello Rumore		Livello A Non sono previsti obblighi per il datore di lavoro e per gli esposti	
Nome Mansione		Operaio	
Descrizione Mansione		Operaio interno area di fase di lavorazione	
Tempo di esposizione (m)		480	
LEX8h(dBA)		<65 dB(A)	
LEX'8h(dBA)		<65 dB(A)	
DPI Obbligatorio		DPI non obbligatorio	
DPI Obbligatorio		Nessuno	

FASE 19			
Lavorazione: realizzazione cavidotti - finitura e asfaltatura			
Macchine ed attrezzi adoperati	Lw db(A)	Note	Fattore di contemporaneità
Attrezzi manuali d'uso comune per scavi e movimentazioni	88,0	Assunto da libreria	0,85
Caldaia semovente	100,2	Assunto da libreria	1
Rullo compattatore	112,5	Assunto da libreria	1
Distanza dall'area della fase di lavorazione [m]	Leq db(A)		
Centro area di lavorazione [10 m di equidistanza da tutti i macchinari]	84,0		
25	75,1		
50	65,3		
100	62,7		
200	55,1		
300	51,7		
Livello di Rischio		Basso	
Livello Rumore		Livello A Non sono previsti obblighi per il datore di lavoro e per gli esposti	
Nome Mansione		Operaio	
Descrizione Mansione		Operaio interno area di fase di lavorazione	
Tempo di esposizione (m)		480	
LEX8h(dBA)		<70 dB(A)	
LEX'8h(dBA)		<70 dB(A)	
DPI Obbligatorio		DPI non obbligatorio	
DPI Obbligatorio		Nessuno	




FASE 20			
Lavorazione: ripristino stato dei luoghi			
Macchine ed attrezzi adoperati	Lw db(A)	Note	Fattore di contemporaneità
Attrezzi annuali d'uso comune per scavi e movimentazioni	88	Assunto da libreria	0,8
Escavatore	102	Da scheda tecnica	1
Pala meccanica	112,5	Da scheda tecnica	1
Autocarro	92	Da scheda tecnica	1
Distanza dall'area della fase di lavorazione [m]	Leq db(A)		
Centro area di lavorazione [10 m di equidistanza da tutti i macchinari]	83,9		
25	75,9		
50	65,4		
100	62,9		
200	55,2		
300	51,9		
Livello di Rischio	Basso		
Livello Rumore	Livello A Non sono previsti obblighi per il datore di lavoro e per gli esposti		
Nome Mansione	Operaio		
Descrizione Mansione	Operaio interno area di fase di lavorazione		
Tempo di esposizione (m)	480		
LEX8h(dBA)	<70 dB(A)		
LEX8h(dBA)	<70 dB(A)		
DPI Obbligatorio	DPI non obbligatorio		
DPI Obbligatorio	Nessuno		

Dai valori di immissione risultanti dalle schede proposte, risulta evidente che l'impatto cumulativo dell'utilizzo contemporaneo dei macchinari, nelle diverse fasi di lavorazione, non è particolarmente gravoso per il lavoratore che opera anche in un'area particolarmente esposta, ciò perché la propagazione sonora in campo libero e l'assorbimento del terreno giocano un ruolo importante nel fenomeno di assorbimento e diffusione che depotenzia velocemente il valore di potenza sonora emmissiva anche a pochi metri.

Rimane dunque preponderante la valutazione del rischio effettuata per il singolo operaio specializzato che opera sul singolo macchinario a piena potenza emmissiva. I valori di LEX derivanti dall'effetto cumulativo delle altre lavorazioni presenti nell'area cantiere non superano mai i 70 dB(A), ed in tal senso sono ininfluenti rispetto ai valori delle singole lavorazioni dell'operaio a diretto contatto con una delle sorgenti. In tal senso si rimanda agli accorgimenti e correttivi riportati in precedenza per la singola attività.

Importante è invece la conoscenza e l'interpretazione del risultato della propagazione sonora delle diverse fasi di lavorazione a distanza di oltre 100 m, in quanto può essere di valido suggerimento nel caso ci si trovi ad operare in particolare vicinanza di un recettore sensibile. In tal senso è opportuno comunque evitare fattori di contemporaneità pari ad 1 per tutti i macchinari, nonché la concomitanza di più fasi di lavorazione presso uno stesso recettore.

I risultati ottenuti dimostrano come la rumorosità prodotta dal cantiere, data la discreta distanza che intercorre tra il cantiere e la maggior parte degli edifici presenti attualmente o previsti nell'area, non provoca superamenti dei valori limite (di immissione assoluta presso i ricettori abitativi e di emissione).

 <b>TENPROJECT</b>	<b>VALUTAZIONE DEL RUMORE IN FASE DI CANTIERE E STUDIO DELLE VIBRAZIONI INDOTTE PER DALL'IMPIANTO EOLICO DI ROTELLO (CB)</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.RTL01.NV 18/06/2019 28/06/2019 01 18 di 32
---	--	---	---

Ciò chiaramente, se da una parte non esclude che in alcuni periodi della giornata possano comunque essere effettuate lavorazioni ed operazioni che possono comportare momentanei superamenti dei valori limite di zona, dall'altra garantisce che non si dovrebbero comunque evidenziare superamenti dei valori limite relativi all'intero periodo di riferimento diurno (dalle ore 6.00 alle ore 22.00), se non per le aree poste nelle immediate vicinanze del cantiere stesso. Sono fatti salvi in ogni caso gli orari di lavoro giornaliero consentiti dalla Legge Regionale n. 3 del 12/02/2002 che per le emissioni sonore provenienti da cantieri edili sono fissati dalle 7.00 alle 12.00 e dalle 15.00 alle 19.00, fermo restando la conformità alla normativa della Unione Europea dei macchinari utilizzati e il ricorso a tutte le misure necessarie a ridurre il disturbo, salvo deroghe autorizzate dal Comune.

Il Comune interessato infatti, sentita la ASL competente, può concedere deroghe su richiesta scritta e motivata, prescrivendo comunque che siano adottate tutte le misure necessarie a ridurre il rumore emesso.

### 3 VIBRAZIONI

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.

#### 3.1 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.

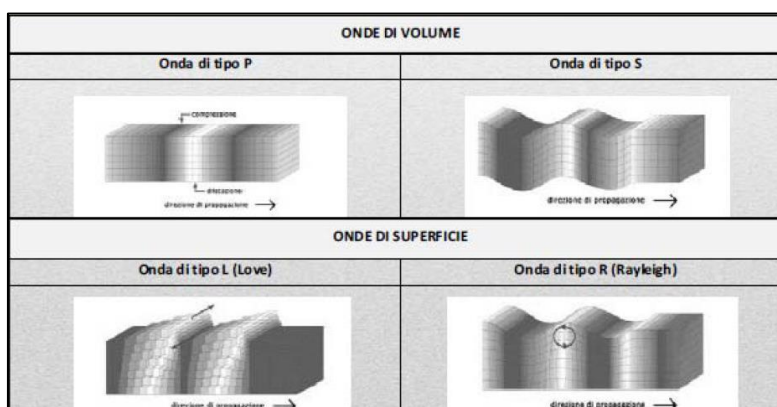


Figura 1: Differenti tipologie di Onde di Volume e Superficie

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.

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

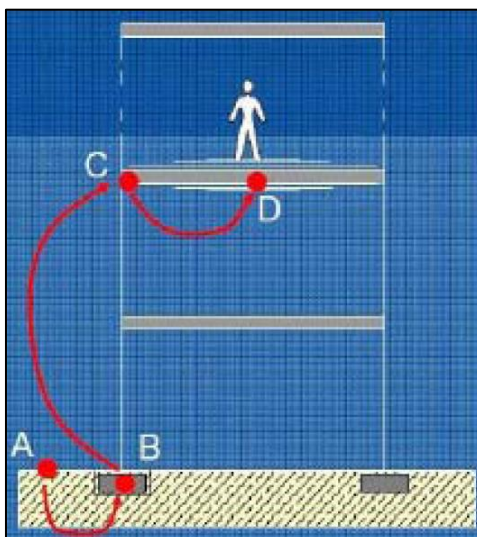
Il modello di propagazione valido per tutti i tipi di onde si basa sulla seguente relazione matematica:

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

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

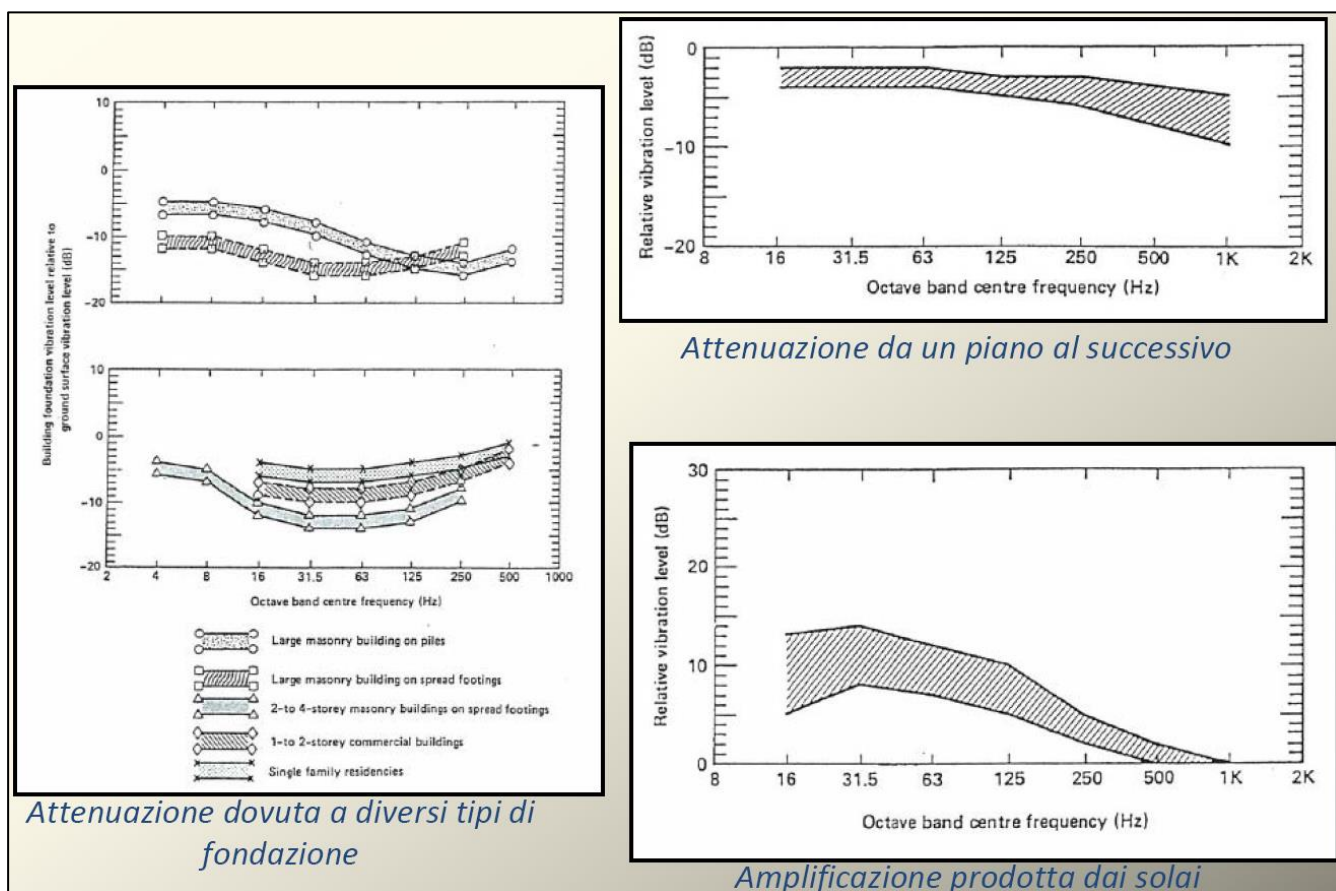
Il modello semplificato di propagazione si riferisce ai soli fenomeni che avvengono nel terreno, ipotizzato omogeneo ed isotropo.

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 2: 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 3: Esempi di Attenuazione/Amplificazione dei fenomeni vibratorii/oscillatori nei differenti elementi**

### 3.2 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

	<b>VALUTAZIONE DEL RUMORE IN FASE DI CANTIERE E STUDIO DELLE VIBRAZIONI INDOTTE PER DALL'IMPIANTO EOLICO DI ROTELLO (CB)</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.RTL01.NV 18/06/2019 28/06/2019 01 22 di 32
---	--	---	---

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.

### 3.3 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 pensanti 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).

 <b>TENPROJECT</b>	<b>VALUTAZIONE DEL RUMORE IN FASE DI CANTIERE E STUDIO DELLE VIBRAZIONI INDOTTE PER DALL'IMPIANTO EOLICO DI ROTELLO (CB)</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.RTL01.NV 18/06/2019 28/06/2019 01 23 di 32
---	--	---	---

Naturalmente, al pari di come avviene per la campagna fonometrica relativa alla stima previsionale di impatto acustico (vedasi specifico elaborato di progetto), i rilievi fonometrici devono essere effettuati in conformità a quanto previsto nel DM 16/031998 – p.to 7 – ALL. B. e la strumentazione utilizzata deve essere di classe 1 e soddisfare i requisiti della CEI EN 61672 e conforme alle prescrizioni di cui all'art.2 del DM 16/003/1198. Al contempo i microfoni ed i filtri utilizzati per le misure ed i rilievi del caso devono essere conformi alla CEI EN 61260 e CEI EN 61094 così come il/i calibratore/i devono essere conformi e soddisfare i requisiti della CEI EN 60942.

	<b>VALUTAZIONE DEL RUMORE IN FASE DI CANTIERE E STUDIO DELLE VIBRAZIONI INDOTTE PER DALL'IMPIANTO EOLICO DI ROTELLO (CB)</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.RTL01.NV 18/06/2019 28/06/2019 01 24 di 32
---	--	---	---

### 3.4 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 ( $v_0 = 10^{-9} \text{m/sec}$ )

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

In particolare il livello dell'accelerazione  $L_A$  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. 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 2: - Classe di sensibilità in base delle diverse destinazioni d'uso delle aree ed edifici**

N.	DESTINAZIONE D'USO	CLASSE DI SENSIBILITA'
1	Aree Critiche	Alta
2	Abitazioni	Media
3	Uffici	Bassa
4	Fabbriche ed affini	Bassa

**N.B.** 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.

	<b>VALUTAZIONE DEL RUMORE IN FASE DI CANTIERE E STUDIO DELLE VIBRAZIONI INDOTTE PER DALL'IMPIANTO EOLICO DI ROTELLO (CB)</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.RTL01.NV 18/06/2019 28/06/2019 01 26 di 32
---	--	---	---

### 3.5 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 a una diversa distanza  $d$  [m] risultante dalla equazione:

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

dove  $a(d_0, f)$  indica il valore dell'accelerazione alla distanza di riferimento  $d_0$  ed  $f$  indica la frequenza (in Hertz [Hz])

Il fattore di perdita (effetto dissipativo del mezzo – proprietà damping) è quindi anche funzione della frequenza.

L'esponente  $n$ , varia invece in funzione della del tipologia di onda e di sorgente delle vibrazioni. Nel caso specifico è stato adottato un valore pari a 0.5 (in ottica di massima tutela essendo la peggiore ipotesi plausibile nel caso di onde di superficie con sorgente puntiforme).

Il coefficiente di assorbimento  $\alpha$  segue quindi la legge di variazione lineare come:

$$\alpha = \frac{2 \cdot \pi \cdot \eta}{c}$$

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. Ne consegue inoltre che l'attenuazione della propagazione risulta essere maggiore per le vibrazioni ad alte frequenze rispetto alle vibrazioni a basse frequenze. Di contro risulta che la maggiore propagazione delle vibrazioni si ottiene in presenza di substrati rigidi (rocciosi) con trasmissioni a basse frequenze.

La tabella proposta a seguire evidenzia e sintetizza i valori di velocità di propagazione delle onde

longitudinali in relazione ai differenti substrati litologici che si possono incontrare.

**Tabella 3: 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	0,01	0,1285
Sabbioso	600	0,10	0,0833
Argilloso	1500	0,50	0,0903

3) 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.

### 3.1 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.

### 3.2 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.


**Tabella 4: Valutazione del disturbo UNI 9614 - Valori e livelli limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza**

Destinazione d'uso Area/Struttura	Asse z		Asse x - y	
	a [m/s <sup>2</sup> ]	L [dB]	a [m/s <sup>2</sup> ]	L [dB]
Aree Critiche	$5,0 \cdot 10^{-3}$	74	$3,6 \cdot 10^{-3}$	71
Abitazioni (periodo riferimento Notturno)	$7,0 \cdot 10^{-3}$	77	$5,0 \cdot 10^{-3}$	74
Abitazioni (periodo riferimento Diurno)	$10,0 \cdot 10^{-3}$	80	$7,2 \cdot 10^{-3}$	77
Uffici	$20,0 \cdot 10^{-3}$	86	$14,4 \cdot 10^{-3}$	83
Fabbriche e affini	$40,0 \cdot 10^{-3}$	92	$28,8 \cdot 10^{-3}$	89

N.B: 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

### 3.3 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. Diversi studi della BWEA (British Wind Energy Association) hanno mostrato che a distanza di poche centinaia di metri (distanze tipiche di confine per limitare eventuali rischi per gli abitanti delle aree circostanti), rumore e vibrazioni prodotte dalle turbine eoliche risulta sostanzialmente poco distinguibile dal rumore residuo. In particolare i fenomeni vibratorii, come gli eventi sonori, sono caratterizzati dai seguenti parametri quali

	<b>VALUTAZIONE DEL RUMORE IN FASE DI CANTIERE E STUDIO DELLE VIBRAZIONI INDOTTE PER DALL'IMPIANTO EOLICO DI ROTELLO (CB)</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.RTL01.NV 18/06/2019 28/06/2019 01 29 di 32
---	--	---	---

intensità, frequenza e durata.

Nella moderna progettazione delle turbine eoliche (soprattutto per quelle di grandi dimensioni) vi sono attuali strumenti per l'analisi e l'ottimizzazione della stabilità aerolastica e del controllo attivo della stabilità (es. progetto "ARLIS" \_analisi aeroelastica di sistemi lineari rotanti – progetto "STABCON") volti a limitare gli effetti di oscillazione e vibrazione per massimizzare anche la resa produttiva della macchina. Tale obiettivo ne migliora notevolmente anche i parametri di affidabilità, sicurezza, durata, e vita utile della macchina che aumenta al contempo la competitività del produttore sul mercato dell'energia eolica.

Gli attuali modelli EF (ad Elementi Finiti) hanno permesso di studiare ed elaborare modelli di simulazione che tenessero in conto anche lo stato di equilibrio della struttura deformata. Sia la torre, sia il rotore della turbina, sono stati collegati con un punto nodale (o di attacco). Nella definizione del modello ad Elementi Finiti della trasmissione con scatola del cambio e generatore ad alta velocità, sono pertanto stati utilizzati i valori di massa, e definiti i parametri di rigidità e smorzamento. In tal modo lo studio ha potuto essere validato sia per generatori sincroni, sia per generatori asincroni.

Le valutazioni emerse in considerazione di uno studio combinato di parametri quali: carichi di portata utile, wind shear, ed eventi di raffica, hanno portato a più complete e valide risposte ottenute dalla valutazione della variazione di condizione nel passaggio dallo "stato stazionario" a quello "combinato" (e sue fluttuazioni) che a sua volta ha permesso di calcolare gli spostamenti del punto nodale congiuntamente alle sollecitazioni ed alle forze in gioco.

In definitiva, per ciò che concerne le vibrazioni eventualmente generate dagli aerogeneratori ed indotte dalla pressione esercitata dall'azione del vento, è da tener presente che la torre eolica presenta una struttura tubolare in acciaio con sezione variabile e che le fondazioni, di dimensioni considerevoli, sono completamente interrate e realizzate in cemento ed immerse in un plinto di fondazione di cemento armato.

L'apporto in termini di effetti o sensazioni di vibrazione nei confronti di specifici recettori e/o strutture e fabbricati di qualsiasi natura, durante la fase di esercizio si attesta su livelli di vibrazione con valori inferiori la soglia di percezione umana e pertanto il loro contributo può essere considerato trascurabile e/o nullo.

### 3.4 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 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 circostanze tali da poter arrecare danni alle strutture.

Nell'applicazione del modello previsionale al fine di valutare il potenziale possibile disturbo, 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) = 119.6 m/s (valore coerente con i dati di letteratura per macro categorie di sottosuolo come evidenziato nella tabella a seguire)

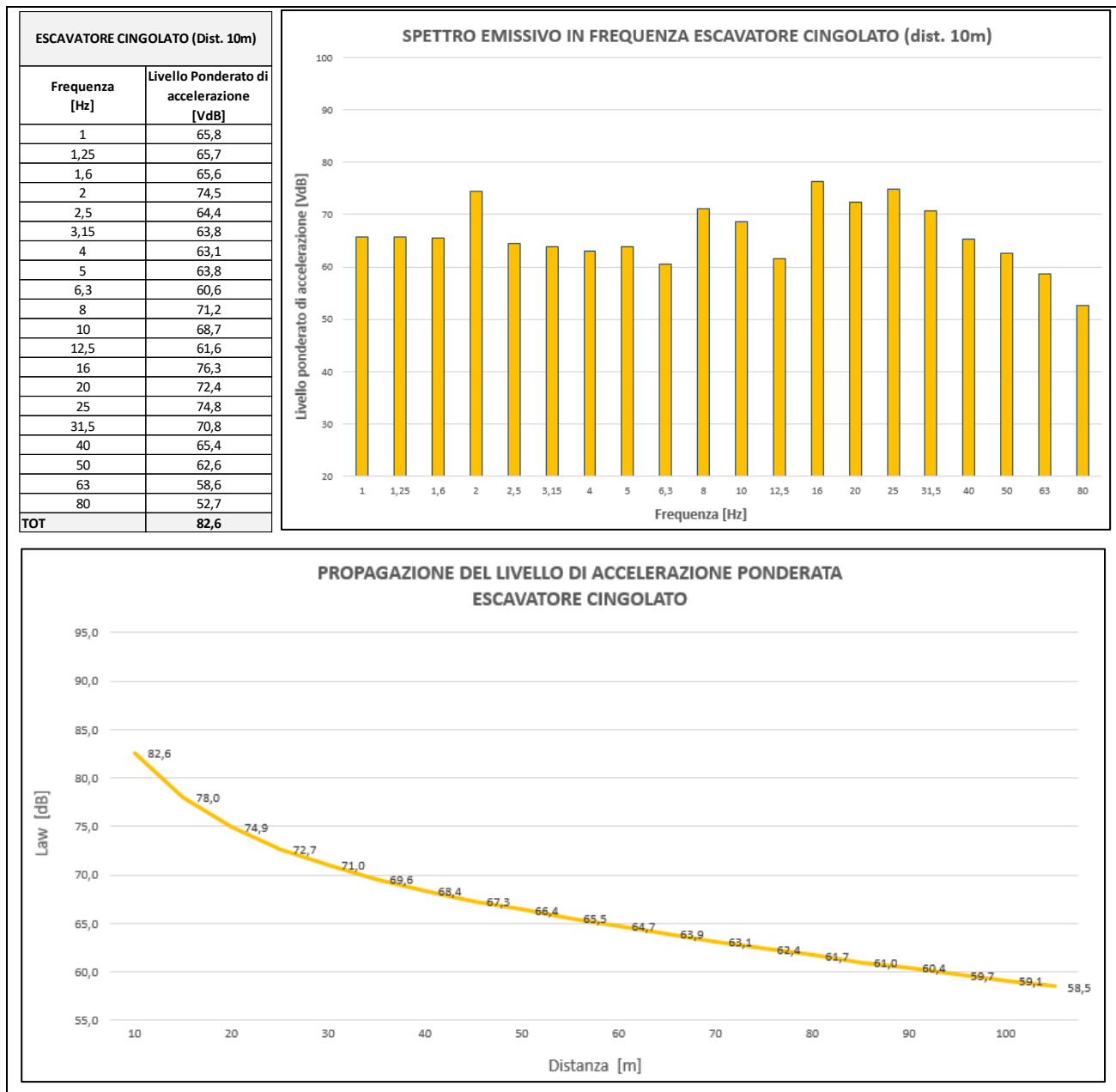
**Tabella 5: Valori tipici di velocità di propagazione delle onde per differenti tipologie di sottosuolo**

Sottosuolo di tipo A	roccia o altra formazione geologica caratterizzata da una velocità di propagazione delle onde di taglio, $V_s$ pari almeno a 800 m/s, includendo al massimo uno strato superficiale di materiale a più debole consistenza di 5 m.
Sottosuolo di tipo B	depositi profondi di sabbie mediamente addensate, ghiaia e argille mediamente rigide con spessori che vanno dalle diverse decine di metri alle molte centinaia, caratterizzati da valori minimi della $V_s$ che vanno da 200 m/s ad una profondità di 10 m, fino a 350 m/s a 50 m.
Sottosuolo di tipo C	depositi privi di coesione con o senza qualche morbido strato coesivo, caratterizzati da valori di $V_s$ sotto ai 200 m/s nei primi 20 m e depositi di terreni coesivi caratterizzati da rigidità basse/medie e con valori di $V_s$ sotto ai 200 m/s nei primi 20 m.

Classi di suolo ( $V_r=0.92 V_s$ )


- Livelli di riferimento per il mezzo meccanico impiegato in cantiere:  
L'immagine a seguire riporta lo spettro emissivo ed il calcolo del livello di accelerazione ponderata in frequenza a diverse distanze dalla sorgente emissiva ipotizzata (escavatore cingolato con spettro misurato a 10 m di distanza) per il tipo di substrato ipotizzato (in ottica altamente cautelativa per i recettori) per un'area di intervento "tipo".
- 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.
- Attenuazioni o Amplificazioni nella struttura degli edifici:

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



**Figura 4: Spettro emissivo in frequenza e andamento grafico della propagazione in funzione della distanza del livello di accelerazione ponderata delle sollecitazioni prodotte da un escavatore cingolato in fase di cantiere.**

L'immagine appena proposta evidenzia che già a distanze leggermente superiori i 15 metri dalla sorgente considerata ( $d < 20$  m), i valori di accelerazione ponderata in frequenza totale (ottenuta sommando i contributi per tutte le bande di terzo di ottava) scendono al di sotto della soglia di disturbo (fissata a 77 VdB) pur considerando le caratteristiche più cautelative possibili per quanto concerne il substrato litologico e la relativa propagazione delle sollecitazioni nel mezzo.

	<b>VALUTAZIONE DEL RUMORE IN FASE DI CANTIERE E STUDIO DELLE VIBRAZIONI INDOTTE PER DALL'IMPIANTO EOLICO DI ROTELLO (CB)</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.RTL01.NV 18/06/2019 28/06/2019 01 32 di 32
---	--	---	---

### 3.5 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 la 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.

In fase di cantiere, la componente "vibrazioni" è stata valutata con la metodologia di stima descritta attraverso la verifica del "criterio del danno strutturale" e del "criterio del disturbo".

I risultati ottenuti hanno evidenziato che, pur considerando le peggiori condizioni di operatività di un escavatore di tipo cingolato, non sono ipotizzabili danni di tipo strutturale ai fabbricati e, già ad una distanza inferiore i 20 m ( $15 < d < 20$ ) presso i recettori si stimano livelli di accelerazione inferiori i 77.0 dB [ $L_{a,w} = 77.0$  dB (asse x y)], valore considerato rappresentare la soglia del disturbo.