

***Levant Wind S.r.l.***

**Parco Eolico "Levant" sito nei comuni di:  
Buseto Palizzolo, Erice e Valderice**

**Studio di impatto delle vibrazioni**

Giugno 2022



Committente:

**Levant Wind S.r.l.**

**Levant Wind S.r.l.**

Via Sardegna, 40  
00187 Roma  
P.IVA/C.F. 1618113100

Titolo del Progetto:

**Parco Eolico "Levant" sito nei Comuni di: Buseto Palizzolo, Erice e Valderice**

Documento:

**Studio di impatto delle vibrazioni**

N° Documento:

**IT-VESLVT-TEN-SIA-TR-08**

Progettista:



**sede legale e operativa**  
San Martino Sannita (BN) Località Chianarile snc Area Industriale  
**sede operativa**  
Lucera (FG) via Alfonso La Cava 114  
P.IVA 01465940623  
**Azienda con sistema gestione qualità Certificato N. 50 100 11873**



Progettista

**Dott. Ing. Massimo Lepore**

Tecnico competente in Acustica Ambientale iscritto  
nell'elenco nazionale ENTECA al n° 8866 riconosciuto con  
DDR Campania n° 1396 del 19/12/2007, n° Rif. 653/07 del  
sensi della legge 447/95 e DPCM 31/3/98



Consulente per la progettazione

**Dott. Ing. Gaetano PUPPELLA**

**Dott. Ing. Salvatore PRIOLO**



Rev	Data Revisione	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
00	Giugno 2022	Richiesta AU	PI	GT	ML



# INDICE

<b>1. PREMESSA</b>	<b>4</b>
<b>1.1 DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO</b>	<b>4</b>
<b>1.2 INDIVIDUAZIONE E SCELTA DEI RECETTORI</b>	<b>7</b>
<b>2. CENNI TEORICI SULLE VIBRAZIONI</b>	<b>13</b>
<b>2.1 DEFINIZIONI E NOZIONI GENERALI (FONTE ISPRA)</b>	<b>13</b>
<b>2.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	<b>15</b>
<b>2.3 CASO STUDIO E PARAMETRI DI TRASMISSIONE DELLE VIBRAZIONI</b>	<b>16</b>
<b>2.4 MODELLO PREVISIONALE</b>	<b>17</b>
<b>2.5 RISCHIO DEL DANNO A STRUTTURE ED EDIFICI</b>	<b>19</b>
<b>2.6 RISCHIO ESPOSIZIONE UMANA – RISCHIO DISTURBO</b>	<b>19</b>
<b>2.7 VIBRAZIONE ED AREE DI CANTIERE PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTI EOLICI</b>	<b>20</b>
<b>2.8 VIBRAZIONI DI IMPIANTI EOLICI IN FASE DI ESERCIZIO</b>	<b>21</b>
<b>3. STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI ESERCIZIO</b>	<b>22</b>
<b>4. STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI CANTIERE</b>	<b>25</b>
<b>5. CONCLUSIONI</b>	<b>28</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>29</b>

 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESLVT-TEN-SIA-TR-08 30/06/2022 30/06/2022 00 4 di 29
---	---	---	--

## 1. PREMESSA

Il progetto descritto nella presente relazione riguarda la realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica costituito da undici aerogeneratori della potenza unitaria di 6,00 MW modello Vestas-V162, per una potenza complessiva di impianto pari a 66,00 MW. L'installazione insisterà nei comuni di Buseto Palizzolo (TP), Erice (TP) e Valderice (TP) alle località "Menta", "Carrubazza", "Timpone Tangi", con opere di connessione ricadenti sugli stessi territori comunali. Proponente dell'iniziativa è la società LEVANT WIND s.r.l. con sede in Via Sardegna 40, 00187 Roma (RM)

La presente relazione, nel dettaglio, si pone lo scopo di valutare l'entità delle vibrazioni trasmesse durante la fase di cantiere, per la realizzazione del progetto, e durante la fase di esercizio del parco eolico al fine di verificare che queste non arrechino disturbo alle attività circostanti, alla popolazione umana ed in generale ai recettori sensibili. L'analisi è stata elaborata tenendo in considerazione anche la presenza di eventuali altri impianti esistenti o progetti in iter autorizzativo previsti in area adiacente a quella individuata per l'installazione degli aerogeneratori di progetto.

### 1.1 Descrizione sintetica del progetto

Come detto il progetto prevede la realizzazione di un parco eolico composto da undici aerogeneratori Vestas V162 di potenza nominale unitaria pari a 6.00 MW, con altezza al mozzo 125 m s.l.t. e diametro rotore pari a 162 m. Catastalmente l'area dove sono previsti gli aerogeneratori si inquadra tra i fogli nn. 280-298-300 del comune di Erice, nn. 19-20-21 del comune di Buseto Palizzolo, nn. 63-64-65-66-67-68 del comune di Valderice.

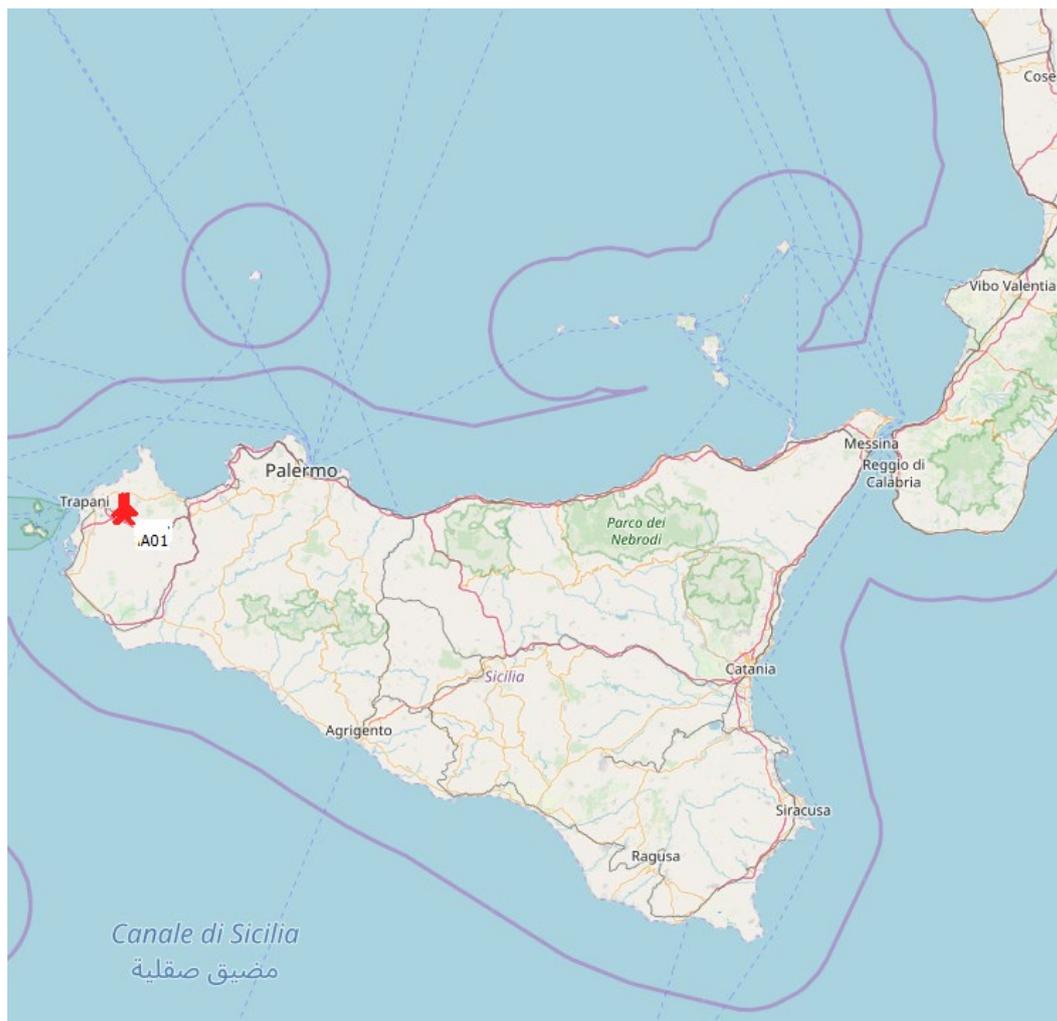
Gli aerogeneratori sono collegati tra di loro mediante un cavidotto in alta tensione interrato a 36 kV (detto "cavidotto interno").

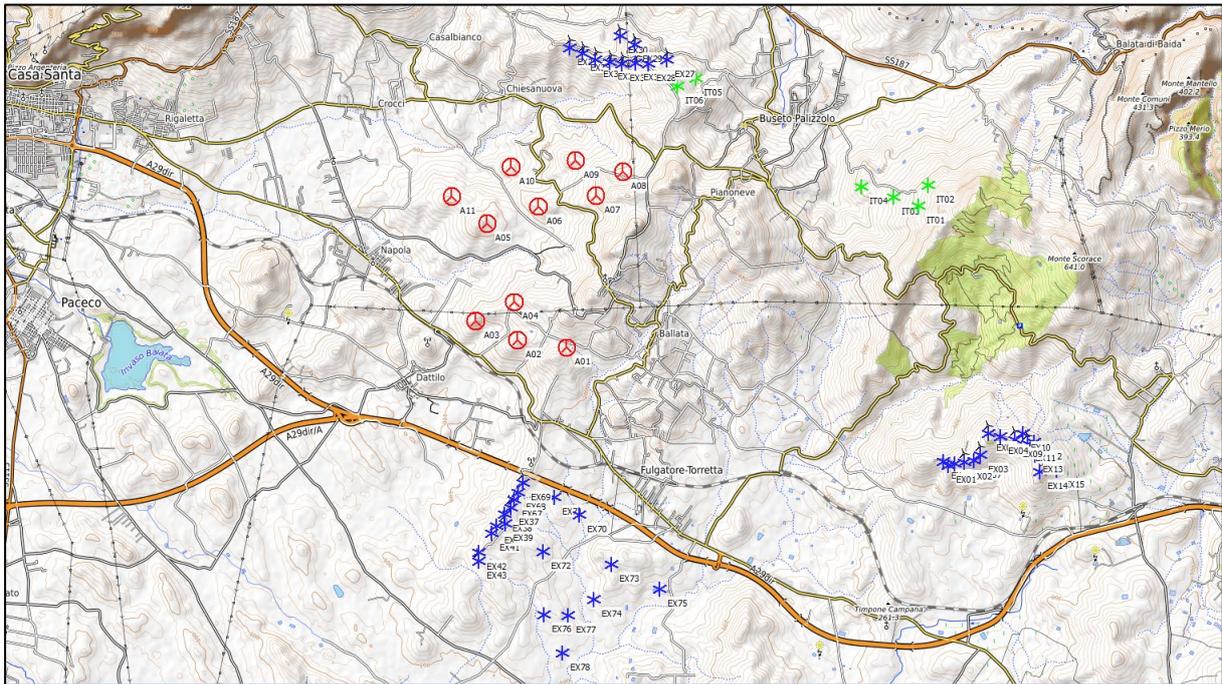
L'energia erogata dall'impianto arriva, grazie al cavidotto interno alla cabina di raccolta sita sul territorio del comune di Erice. Dalla cabina di raccolta l'energia viene trasportata con cavo interrato a 36 kV (detto "cavidotto esterno") fino alla nuova stazione elettrica (SE) di trasformazione a 150/36 kV della RTN prevista sul foglio 42 del comune di Buseto Palizzolo e da inserire in doppio entra- esce alle due linee RTN 150 kV "Buseto Palizzolo - Fulgatore" e "Buseto Palizzolo – Castellammare Golfo" previa la realizzazione di opere di rete.

Completano il quadro delle opere da realizzare una serie di adeguamenti temporanei alle strade esistenti necessari a consentire il passaggio dei mezzi eccezionali di trasporto delle strutture costituenti gli aerogeneratori ed un'area temporanea di trasbordo delle componenti. In fase di realizzazione dell'impianto saranno predisposte due aree temporanee logistiche di cantiere con le funzioni di stoccaggio materiali e strutture, ricovero mezzi, disposizione dei baraccamenti necessari alle maestranze (fornitore degli aerogeneratori, costruttore delle opere civili ed elettriche) e alle figure deputate al controllo della realizzazione (Committenza dei lavori, Direzione Lavori, Coordinatore della Sicurezza in fase di esecuzione, Collaudatore). La proposta progettuale presentata è stata sviluppata in modo da ottimizzare al massimo il rapporto tra le opere di progetto e il territorio, limitare al minimo gli impatti ambientali e paesaggistici e garantire la sostenibilità ambientale dell'intervento.

**Tabella 1: Coordinate, tipologia e caratteristiche principali degli aerogeneratori di progetto.**

ID WTG	UTM WGS 84 Long. Est [m]	UTM WGS 84 Lat. Nord [m]	Altitudine s.l.m. [m]	Modello aerogeneratore	Altezza mozzo [m]	Potenza nominale [kW]
A01	295685	4205594	255	Vestas V162	125	6000
A02	294765	4205756	250	Vestas V162	125	6000
A03	293986	4206136	200	Vestas V162	125	6000
A04	294724	4206477	240	Vestas V162	125	6000
A05	294250	4207963	223	Vestas V162	125	6000
A06	295217	4208261	225	Vestas V162	125	6000
A07	296303	4208436	301	Vestas V162	125	6000
A08	296825	4208877	309	Vestas V162	125	6000
A09	295939	4209107	250	Vestas V162	125	6000
A10	294722	4209020	150	Vestas V162	125	6000
A11	293602	4208496	195	Vestas V162	125	6000

**Figura 1: Inquadramento geografico del sito di Buseto Palizzolo: regione Sicilia, provincia di Trapani.**



**Figura 2: Individuazione geografica degli aerogeneratori di progetto (icone in rosso) e delle posizioni degli aerogeneratori in iter autorizzativo (icone in verde) ed aerogeneratori esistenti (icone in blu).**



**Figura 3: Individuazione degli aerogeneratori di progetto (etichette in rosso) su ortofoto 3D con vista da Sud verso Nord.**

 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESLVT-TEN-SIA-TR-08 30/06/2022 30/06/2022 00 7 di 29
---	---	---	--

## 1.2 Individuazione e scelta dei recettori

Ai fini della previsione degli impatti indotti dall'impianto di progetto, sono stati individuati i "ricettori sensibili", facendo riferimento al **DPCM 14/11/97** e alla **Legge Quadro n.447/95**, che stabiliscono che la verifica dei limiti di immissione acustica va effettuata in corrispondenza degli ambienti abitativi, definiti come:

*"ogni ambiente interno ad un edificio destinato alla permanenza di persone o di comunità ed utilizzato per le diverse attività umane, fatta eccezione per gli ambienti destinati ad attività produttive per i quali resta ferma la disciplina di cui al D.Lgs. 15 agosto 1991, n. 277 (2), salvo per quanto concerne l'immissione di rumore da sorgenti sonore esterne ai locali in cui si svolgono le attività produttive".*

Per il sito in esame, sono state prese in considerazione e valutate tutte le strutture presenti nell'area limitrofa i punti di futura installazione delle turbine di progetto accatastate in categoria A. Per il dettaglio della metodologia seguita per la scelta delle strutture da considerarsi come recettori sensibili si rimanda ai preposti elaborati di seguito dettagliati:

**Tabella 2: Elaborati di progetto relativi alla selezione dei recettori considerati nell'analisi**

TITOLO ELABORATO	CODICE ELABORATO
PLANIMETRIA SU C.T.R. CONTENENTE L'INDIVIDUAZIONE DEI FABBRICATI DESUNTI DA CARTOGRAFIE - QUADRO 1	IT-VESLVT-TEN-SIA-DW-01
PLANIMETRIA SU C.T.R. CONTENENTE L'INDIVIDUAZIONE DEI FABBRICATI DESUNTI DA CARTOGRAFIE - QUADRO 2	IT-VESLVT-TEN-SIA-DW-02
PLANIMETRIA SU CATASTALE CONTENENTE L'INDIVIDUAZIONE DEI FABBRICATI DESUNTI DA CARTOGRAFIE - QUADRO 1	IT-VESLVT-TEN-SIA-DW-03
PLANIMETRIA SU CATASTALE CONTENENTE L'INDIVIDUAZIONE DEI FABBRICATI DESUNTI DA CARTOGRAFIE - QUADRO 2	IT-VESLVT-TEN-SIA-DW-04
DOCUMENTAZIONE RELATIVA AI FABBRICATI NON CONSIDERATI RECETTORI ED ESCLUSI DALLE ANALISI ACUSTICHE -QUADRO 1	IT-VESLVT-TEN-SIA-DW-05
DOCUMENTAZIONE RELATIVA AI FABBRICATI NON CONSIDERATI RECETTORI ED ESCLUSI DALLE ANALISI ACUSTICHE -QUADRO 2	IT-VESLVT-TEN-SIA-DW-06
DOCUMENTAZIONE RELATIVA AI FABBRICATI NON CONSIDERATI RECETTORI ED ESCLUSI DALLE ANALISI DEGLI IMPATTI	IT-VESLVT-TEN-SIA-TR-05

Pertanto in prossimità dell'area di cantiere e lungo il tracciato del cavidotto, sono state individuate 66 strutture aventi caratteristiche di abitabilità e che risultano essere le uniche strutture potenzialmente esposte alle emissioni acustiche derivanti dal funzionamento dei macchinari e dei mezzi di movimentazione che operano durante la fase di cantiere.

A seguire saranno proposte la tabella di inquadramento dei recettori, la tabella con le distanze intercorrenti tra ciascuna turbina di progetto ed i recettori sensibili considerati e le immagini (privata della cartografia onde rendere più comprensibile l'individuazione) relative alle porzioni di territorio interessate rispettivamente dalle turbine di progetto e dai recettori individuati e considerati nel modello di stima previsionale.

**Tabella 3: Recettori individuati in prossimità delle aree di cantiere (\* recettori individuati lungo il tracciato del cavidotto)**

<b>ID Recettore</b>	<b>UTM WGS 84 Long. Est [m]</b>	<b>UTM WGS 84 Lat. Nord [m]</b>	<b>Altitudine s.l.m. [m]</b>
<b>R01</b>	293498	4205658	134
<b>R02</b>	293223	4206112	143
<b>R03</b>	295456	4206089	286
<b>R04</b>	295889	4206213	314
<b>R05</b>	296155	4206247	322
<b>R06</b>	296415	4206241	327
<b>R07</b>	295891	4206315	317
<b>R08</b>	295407	4206380	293
<b>R09</b>	295102	4206758	246
<b>R10</b>	294613	4206846	192
<b>R11</b>	293765	4206850	146
<b>R12</b>	293740	4206954	136
<b>R13</b>	294328	4207217	153
<b>R14</b>	294273	4207186	152
<b>R15</b>	293821	4207314	148
<b>R16</b>	294848	4207475	170
<b>R17</b>	294844	4207776	180
<b>R18</b>	296178	4207480	314
<b>R19</b>	297281	4208671	372
<b>R20</b>	297251	4208768	358
<b>R21</b>	297436	4208977	363
<b>R22</b>	297483	4209061	356
<b>R23</b>	297497	4209259	352
<b>R24</b>	297148	4209394	327
<b>R25</b>	297073	4209384	312
<b>R26</b>	297039	4209456	317
<b>R27</b>	296940	4209471	305
<b>R28</b>	296849	4209581	294
<b>R29</b>	296248	4209520	218
<b>R30.a</b>	295470	4209133	203
<b>R30.b</b>	295367	4209244	205
<b>R30.c</b>	295245	4209166	184
<b>R31</b>	295289	4208934	192
<b>R32</b>	295185	4208969	180
<b>R33</b>	295064	4209369	175
<b>R34</b>	294994	4209427	165
<b>R35</b>	294783	4209476	146
<b>R36</b>	294432	4209449	124
<b>R37</b>	294175	4209546	122



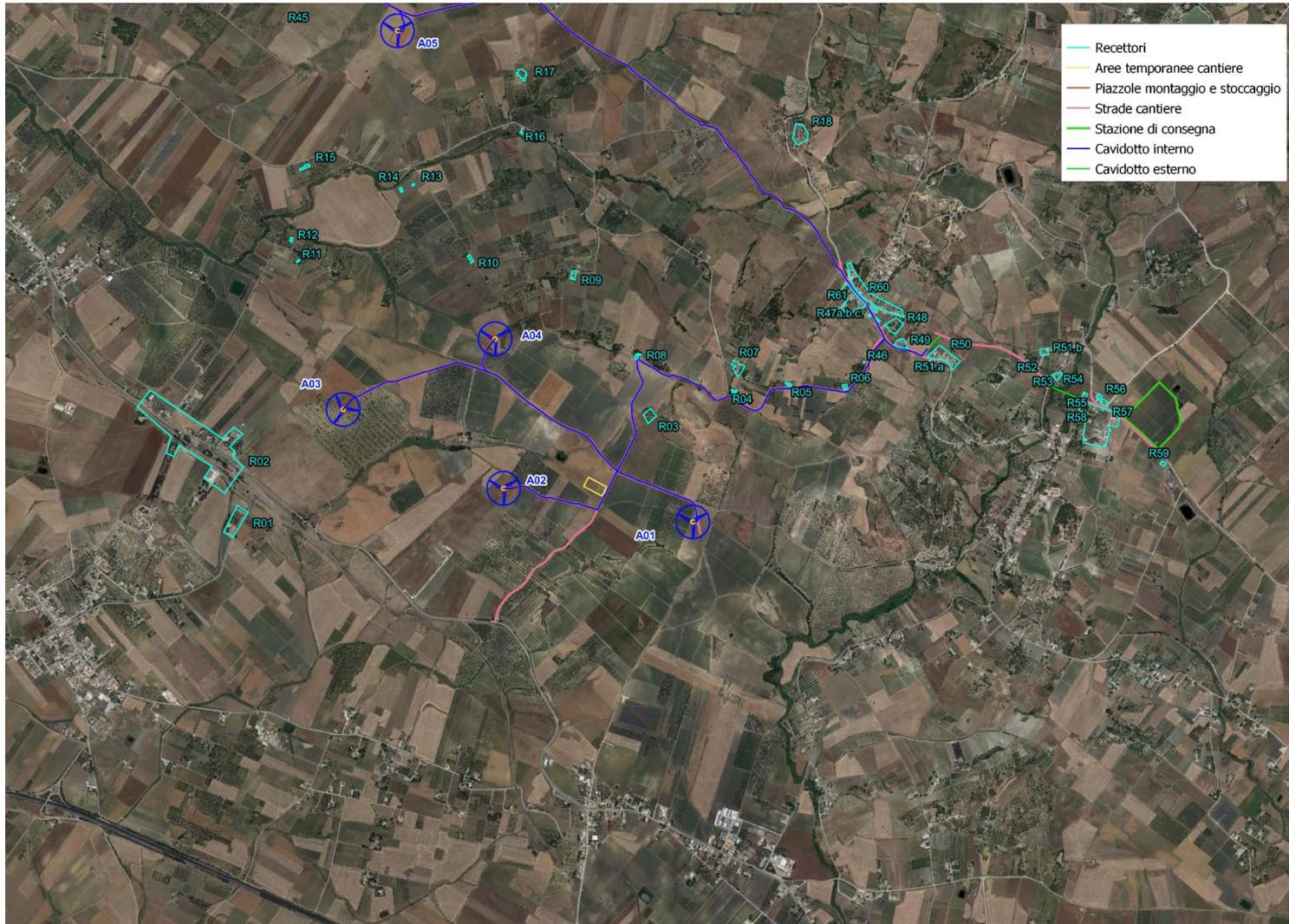
<b>ID Recettore</b>	<b>UTM WGS 84 Long. Est [m]</b>	<b>UTM WGS 84 Lat. Nord [m]</b>	<b>Altitudine s.l.m. [m]</b>
<b>R38</b>	294110	4209387	117
<b>R39</b>	293178	4209121	124
<b>R40</b>	293064	4208864	139
<b>R41</b>	292893	4208895	123
<b>R42</b>	292900	4208417	158
<b>R43</b>	292839	4208288	155
<b>R44</b>	293513	4208165	167
<b>R45</b>	293816	4208139	193
<b>R46 *</b>	296514	4206366	320
<b>R47.a *</b>	296568	4206602	332
<b>R47.b *</b>	296546	4206592	326
<b>R47.c *</b>	296581	4206566	326
<b>R48 *</b>	296630	4206529	327
<b>R49 *</b>	296673	4206440	315
<b>R50 *</b>	296901	4206371	292
<b>R51.a *</b>	296834	4206370	294
<b>R51.b *</b>	297393	4206398	264
<b>R52 *</b>	297329	4206349	262
<b>R53 *</b>	297404	4206280	252
<b>R54 *</b>	297442	4206288	252
<b>R55 *</b>	297579	4206196	262
<b>R56 *</b>	297651	4206190	271
<b>R57 *</b>	297677	4206160	273
<b>R58 *</b>	297625	4206159	265
<b>R59 *</b>	297975	4205883	242
<b>R60 *</b>	296495	4206688	342
<b>R61 *</b>	296483	4206688	342

Di seguito si riporta una tabella che mostra la matrice delle distanze intercorrenti tra i recettori considerati nell'analisi e gli aerogeneratori di progetto. In tale matrice, per comodità rappresentativa, sono stati esclusi i recettori relativi al cavidotto, distanti oltre 1 km da ogni aerogeneratore

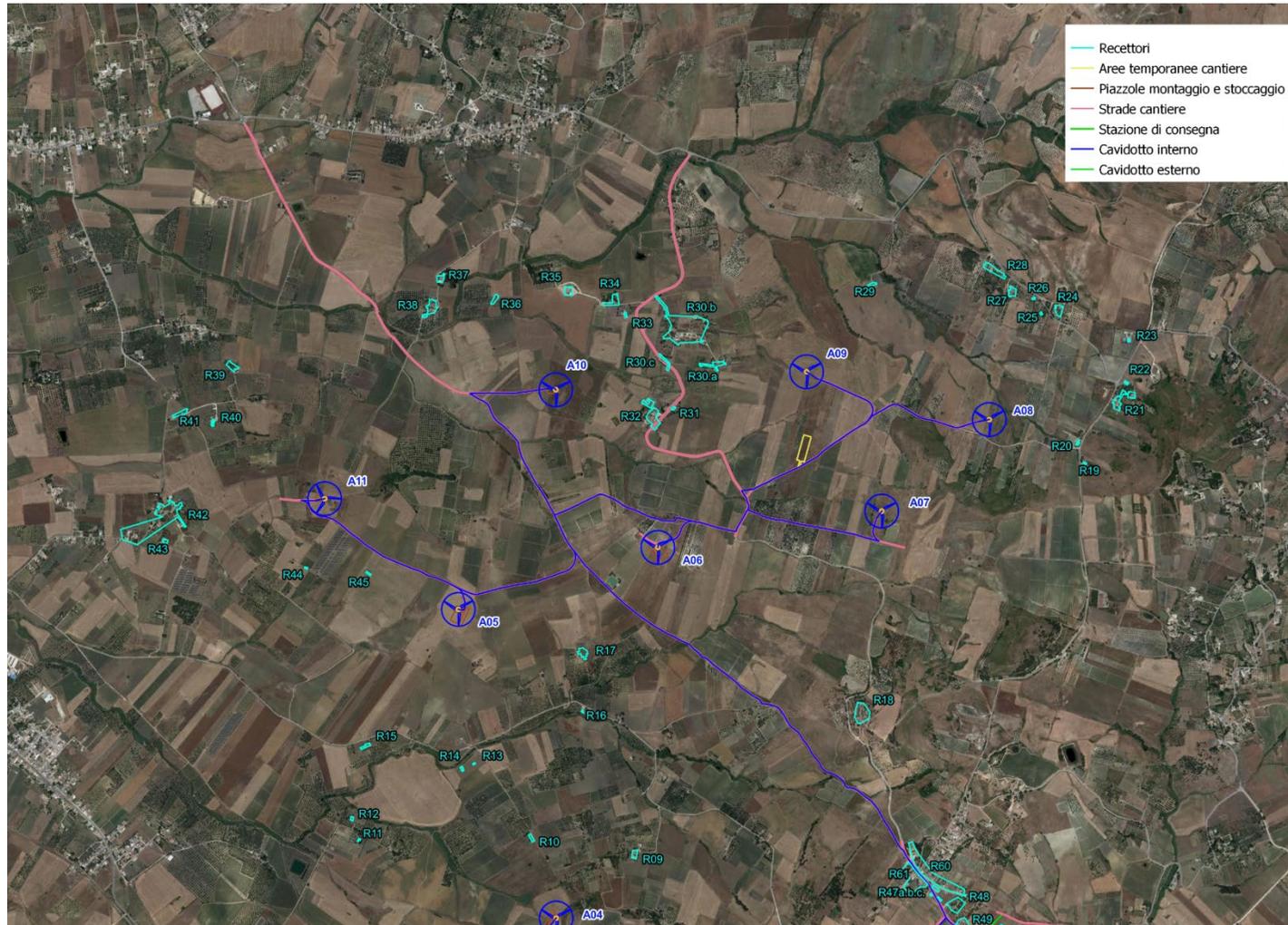
**Tabella 4: Matrice delle distanze recettori / aerogeneratori di progetto, autorizzati ed esistenti con evidenza delle distanze inferiori ai 500 m**

NSA\WTG	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10	A11
R01	2192	1277	693	1484	2435	3131	3959	4640	4236	3589	2850
R02	2233	1300	510	1318	2095	2837	3714	4397	3947	3252	2488
R03	550	775	1477	830	2226	2179	2487	3097	3048	3016	3036
R04	657	1213	1902	1190	2391	2149	2256	2819	2888	3033	3225
R05	809	1475	2171	1447	2559	2216	2188	2708	2862	3115	3398
R06	983	1728	2441	1716	2773	2352	2198	2665	2906	3258	3612
R07	775	1273	1922	1181	2313	2039	2136	2702	2768	2927	3150
R08	844	906	1447	691	1953	1879	2231	2859	2766	2716	2774
R09	1324	1082	1292	488	1457	1483	2042	2710	2469	2269	2278
R10	1661	1113	951	398	1162	1532	2318	3000	2615	2166	1922
R11	2294	1483	749	1028	1211	2022	2990	3667	3131	2369	1652
R12	2380	1583	858	1101	1133	1978	2967	3641	3082	2290	1546
R13	2118	1527	1135	842	749	1372	2322	2999	2484	1845	1469
R14	2139	1524	1097	852	767	1427	2383	3060	2538	1880	1461
R15	2542	1825	1187	1237	787	1699	2736	3397	2786	1938	1204
R16	2054	1718	1591	1003	777	871	1744	2423	1965	1554	1616
R17	2329	2013	1845	1296	630	617	1602	2267	1728	1259	1444
R18	1973	2258	2602	1797	2007	1246	944	1513	1630	2123	2785
R19	3466	3852	4160	3371	3118	2109	1011	508	1418	2589	3689
R20	3538	3904	4194	3411	3109	2098	1006	444	1359	2545	3662
R21	3794	4170	4457	3676	3337	2324	1246	615	1503	2712	3860
R22	3903	4278	4560	3781	3419	2407	1338	689	1552	2768	3928
R23	4090	4445	4702	3931	3501	2493	1453	777	1571	2790	3974
R24	4069	4349	4543	3794	3240	2245	1279	609	1254	2466	3669
R25	4040	4304	4486	3742	3165	2174	1225	568	1172	2383	3588
R26	4097	4347	4514	3777	3167	2182	1261	622	1157	2359	3571
R27	4079	4305	4452	3723	3076	2098	1215	611	1055	2251	3467
R28	4164	4366	4490	3772	3071	2108	1279	714	1035	2206	3432
R29	3973	4053	4079	3411	2541	1635	1091	865	524	1612	2845
R30a	3555	3467	3367	2778	1720	927	1071	1352	441	786	2005
R30b	3714	3587	3442	2887	1731	1041	1276	1525	611	691	1928
R30c	3594	3442	3283	2738	1568	902	1272	1591	682	555	1786
R31	3359	3218	3085	2519	1423	673	1124	1533	669	578	1746
R32	3355	3187	3030	2482	1341	652	1205	1629	768	486	1648
R33	3837	3637	3418	2923	1634	1129	1559	1833	918	495	1707
R34	3912	3700	3466	2984	1667	1204	1642	1903	990	514	1699
R35	4005	3741	3454	3020	1624	1308	1852	2132	1218	480	1549
R36	4066	3721	3356	3000	1510	1435	2134	2463	1548	529	1274
R37	4244	3847	3424	3130	1595	1670	2417	2749	1833	775	1198
R38	4128	3716	3283	3000	1459	1589	2388	2753	1840	717	1059
R39	4349	3740	3109	3084	1602	2239	3225	3679	2785	1572	777
R40	4192	3543	2879	2908	1492	2240	3272	3766	2890	1671	654
R41	4325	3660	2975	3036	1642	2398	3428	3917	3037	1818	807
R42	3999	3286	2565	2697	1445	2334	3412	3956	3117	1917	712
R43	3929	3191	2447	2624	1459	2389	3478	4039	3216	2030	800
R44	3363	2713	2080	2075	764	1708	2805	3389	2604	1484	347
R45	3156	2563	2007	1892	468	1409	2507	3101	2336	1268	419

La minima distanza intercorrente tra la struttura più prossima e l'aerogeneratore di progetto è di 347 m ed è relativo al recettore individuato come R44 rispetto alla turbina di progetto A11



**Figura 4: Inquadramento territoriale degli aerogeneratori di progetto area sud dell'impianto**



**Figura 5: Inquadramento territoriale degli aerogeneratori di progetto area nord dell'impianto.**

 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESLVT-TEN-SIA-TR-08 30/06/2022 30/06/2022 00 13 di 29
---	---	---	---

## 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).

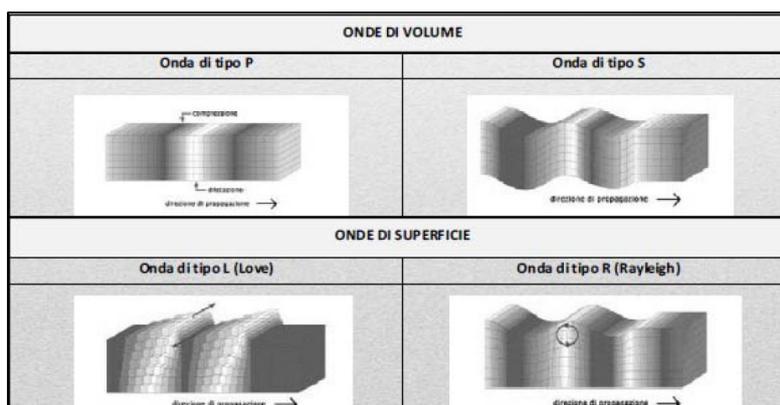
Il numero di periodi al secondo costituisce la frequenza di una vibrazione, espressa in Hertz (Hz).

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 6: 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

 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESLVT-TEN-SIA-TR-08 30/06/2022 30/06/2022 00 14 di 29
---	---	---	---

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.

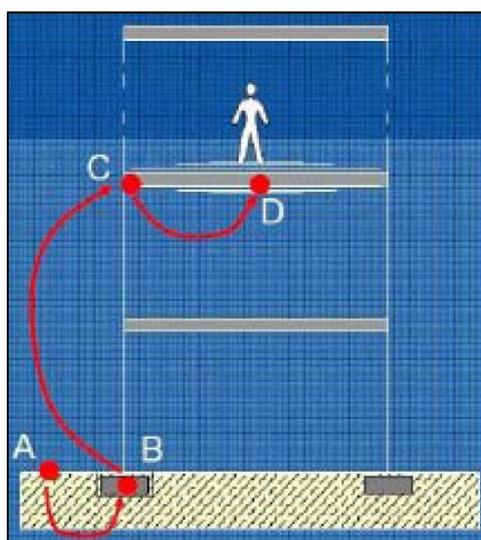
Il modello di propagazione valido per tutti i tipi di onde si basa sulla seguente relazione matematica:

$$w_2(d, f) = w_1(d_0, f) \cdot \left(\frac{d}{d_0}\right)^n \cdot e^{-\alpha f(d-d_0)}$$

dove:  $\alpha$  è il coefficiente di attenuazione del materiale,  $c$  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.

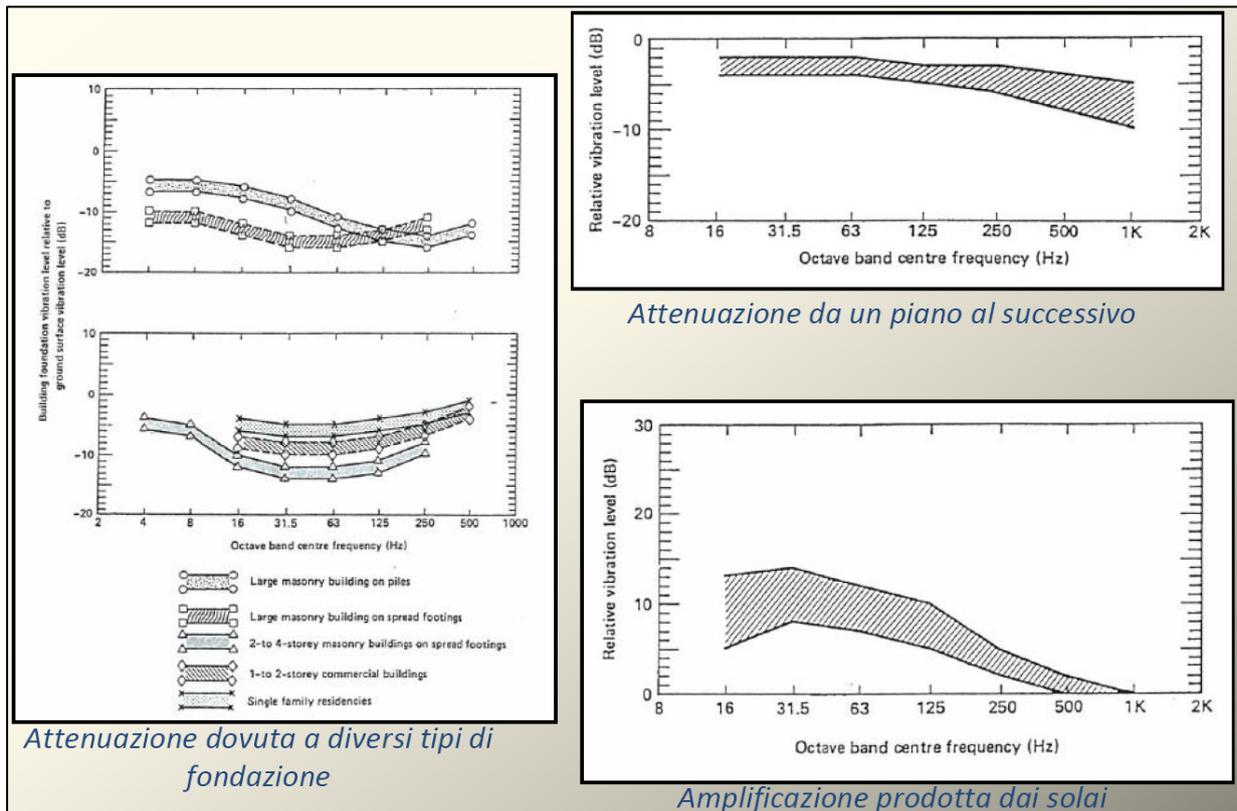
Il modello semplificato di propagazione si riferisce ai soli fenomeni che avvengono nel terreno, ipotizzato omogeneo ed isotropo.

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 7: Schematizzazione semplificata della propagazione delle vibrazioni nel sistema terreno-edificio**

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



**Figura 8: Esempi di Attenuazione/Amplificazione dei fenomeni vibratorii/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

 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESLVT-TEN-SIA-TR-08 30/06/2022 30/06/2022 00 16 di 29
---	---	---	---

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 ( $a_0 = 10^{-6}$  m/sec<sup>2</sup>)

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

 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESLVT-TEN-SIA-TR-08 30/06/2022 30/06/2022 00 17 di 29
---	---	---	---

## 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):

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

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,

$c$  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.

 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESLVT-TEN-SIA-TR-08 30/06/2022 30/06/2022 00 19 di 29
---	---	---	---

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

Tipologia di substrato	Velocità di propagazione onda longitudinale [m/s]	Fattore di perdita [η]	Massa volumica [kg/m <sup>3</sup> ]
Roccioso	3500	0,01	2650
Sabbioso	600	0,1	1600
Argilloso	1500	0,5	1700

- 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

 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESLVT-TEN-SIA-TR-08 30/06/2022 30/06/2022 00 20 di 29
---	---	---	---

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 GLI ASSI x E y			VALORI E LIVELLI LIMITE DELLE ACCELERAZIONI COMPLESSIVE PONDERATE IN FREQUENZA VALIDI PER L'ASSE z		
Destinazione d'uso	Accelerazione		Destinazione d'uso	Accelerazione	
	m/s <sup>2</sup>	dB		m/s <sup>2</sup>	dB
Aree critiche	$3,6 \cdot 10^{-3}$	71	Aree critiche	$5,0 \cdot 10^{-3}$	74
Abitazioni notte	$5,0 \cdot 10^{-3}$	74	Abitazioni notte	$7,0 \cdot 10^{-3}$	77
Abitazioni giorno	$7,0 \cdot 10^{-3}$	77	Abitazioni giorno	$10,0 \cdot 10^{-3}$	80
Uffici	$14,4 \cdot 10^{-3}$	83	Uffici	$20,0 \cdot 10^{-3}$	86
Fabbriche	$28,8 \cdot 10^{-3}$	89	Fabbriche	$40,0 \cdot 10^{-3}$	92

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 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:

 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESLVT-TEN-SIA-TR-08 30/06/2022 30/06/2022 00 21 di 29
---	---	---	---

- 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.

 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESLVT-TEN-SIA-TR-08 30/06/2022 30/06/2022 00 22 di 29
---	---	---	---

### 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) = 600 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.

Potenziali 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:

$$w_1(x) = 0,0224 \frac{m}{s^2} \qquad w_1(y) = 0,01333 \frac{m}{s^2} \qquad w_1(z) = 0,0272 \frac{m}{s^2}$$

I valori dei coefficienti presenti nell'espressione sopra proposta, sono stati ricavati da dati misurati disponibili per strutture analoghe facendo riferimento alle condizioni di funzionamento più gravose compatibili con le caratteristiche delle sorgenti ed al fine di avere una valutazione cautelativa dell'entità delle vibrazioni trasmesse.

Nel dettaglio, al fine di eseguire il calcolo del potenziale possibile disturbo, sono stati assunti i parametri di input come esplicitati nella tabella seguente.

 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI</b>	Codice	IT-VESLVT-TEN-SIA-TR-08
		Data creazione	30/06/2022
		Data ultima modif.	30/06/2022
		Revisione	00
		Pagina	23 di 29

**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	Litologia a prevalente componente arenitica		
Fattore di perdita del terreno	0,1	0,1	0,1
Velocità di propagazione nel terreno [m/s]	600	600	600
Densità del terreno [kg/mc]	1600	1600	1600
Velocità di rotazione di riferimento [rpm]	12	12	12
Frequenza onda di vibrazione di riferimento per il calcolo [Hz]	0,600	0,600	0,600
Pulsazione d'onda $\omega$ [rad/s]	3,768	3,768	3,768

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.

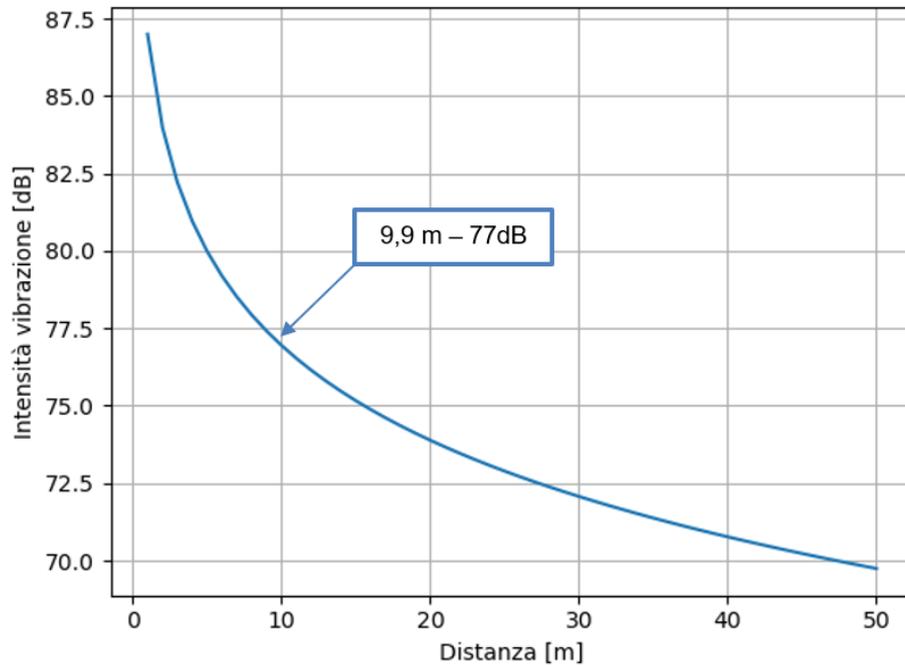
**Tabella 8: risultati in termini di distanza di rispetto dei limiti UNI 9614**

	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) [m]	9,9	3,5	7,4
	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) [m]	19,5	7,0	14,6
	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) [m]	38,0	13,9	28,5

Poiché gli aerogeneratori di progetto sono distanti tra loro oltre 700 m, ed il primo recettore sensibile risulta dislocato a distanze molto superiori rispetto a 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.



Di seguito si riporta, a titolo esemplificativo, l'andamento del decadimento delle vibrazioni calcolate per l'asse x:



**Figura 9: Andamento del decadimento dell'intensità delle vibrazioni lungo l'asse x rispetto alla distanza dalla sorgente con evidenza della distanza di rispetto del valore raccomandato per le abitazioni nel periodo diurno.**

I valori soglia raccomandati per le abitazioni di notte sono rispettati ad una distanza inferiore ai 20 m. Ad una distanza di circa 40 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.

		COMITATO PARITETICO TERRITORIALE PER LA PREVENZIONE INFORTUNI L'IGIENE E L'AMBIENTE DI LAVORO DI TORINO E PROVINCIA			
<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				
<b>VIBRAZIONI CORPO INTERO</b>					
Posizione misure: Sedile					
N.	$a_{hx}$ (m/s <sup>2</sup> )	$a_{hy}$ (m/s <sup>2</sup> )	$a_{hz}$ (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		
<b>STRUMENTAZIONE</b>					
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 10: Caratteristiche vibrazionali del mezzo di cantiere caratterizzato da maggiori vibrazioni indotte.

 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI</b>	Codice	IT-VESLVT-TEN-SIA-TR-08
		Data creazione	30/06/2022
		Data ultima modif.	30/06/2022
		Revisione	00
		Pagina	26 di 29

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:

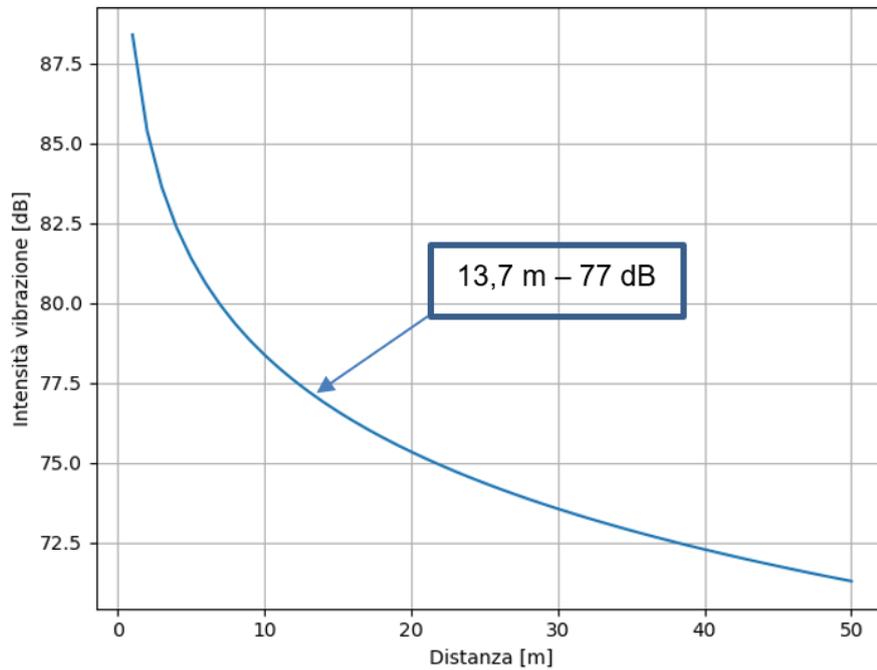
**Tabella 9: valori di input per il calcolo quantitativo delle vibrazioni indotte dal mezzo di cantiere**

	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	Litologia a prevalente componente arenitica		
Coefficiente di assorbimento del terreno	0,1	0,1	0,1
Velocità di propagazione nel terreno [m/s]	600	600	600
Densità del terreno [kg/mc]	1600	1600	1600
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

**Tabella 10: 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) [m]	13,7	65,9	43,9

Di seguito si riporta l'andamento del decadimento delle vibrazioni calcolate per l'asse x:



**Figura 11: Andamento del decadimento dell'intensità delle vibrazioni lungo l'asse x rispetto alla distanza dalla sorgente con evidenza della distanza di rispetto del valore raccomandato per le abitazioni nel periodo diurno.**

Anche in tal caso si può senz'altro affermare che l'impatto causato dalle vibrazioni prodotto in fase di cantiere durante la realizzazione del 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 66 m risultano dunque rispettati i valori raccomandati dalla normativa.

 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESLVT-TEN-SIA-TR-08 30/06/2022 30/06/2022 00 28 di 29
---	---	---	---

## 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 evidenzia 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 e diurno (UNI 9614).

Allo stesso modo il dato previsionale ottenuto per la fase di cantiere conferma che l'impatto causato dalle vibrazioni durante la realizzazione del parco eolico in oggetto sia assolutamente trascurabile e che nessun recettore riceve un fenomeno vibrazionale tale da ingenerare disturbo.

 <b>TENPROJECT</b>	<b>STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESLVT-TEN-SIA-TR-08 30/06/2022 30/06/2022 00 29 di 29
---	---	---	---

## 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

Richart Jr. FE, Hall Jr. JR, Woods RD. Vibrations of soils and foundations. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1970