

REGIONE LAZIO
PROVINCIA DI VITERBO

Comuni:
Tuscania e Arlena di Castro

Località "Mandria Casaletto - San Giuliano - Cioccatello - Campo Villano"

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI
PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA

Sezione :

IMPATTO ACUSTICO - IA

Titolo elaborato:

STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI

N. Elaborato: int1.MITE04

Scala: -

Committente



WPD San Giuliano S.r.l. Viale
Aventino, 102
00153 Roma(RM)
c.f. e P.IVA 15443461007

Amministratore Delegato
Mauro FERRARI

Progettazione




sede legale e operativa
San Martino Sannita (BN), Loc. Chianarile Z.I
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



Rev.	Data	Elaborazione	Approvazione	Emissione	DESCRIZIONE
00	Marzo 2022	GT sigla	PI sigla	ML sigla	Integrazioni
Nome File sorgente		GE.TSC01.PD_int1.MITE.04.docx	Nome file stampa	GE.TSC01.PD_int1.MITE.04.pdf	Formato di stampa A4

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.TSC01.PD_int1.MITE.04 07/03/2022 00 2 di 30
---	---	---	---

	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.TSC01.PD_int1.MITE.04 07/03/2022 00 3 di 30
---	---	---	---

INDICE

1.	PREMESSA	4
1.1.	DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO	5
1.2.	INDIVIDUAZIONE E SCELTA DEI RECETTORI	10
2.	CENNI TEORICI SULLE VIBRAZIONI	15
2.1.	DEFINIZIONI E NOZIONI GENERALI (FONTE ISPRA)	15
2.2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	17
2.3.	CASO STUDIO E PARAMETRI DI TRASMISSIONE DELLE VIBRAZIONI	18
2.4.	MODELLO PREVISIONALE	19
2.5.	RISCHIO DEL DANNO A STRUTTURE ED EDIFICI	21
2.6.	RISCHIO ESPOSIZIONE UMANA – RISCHIO DISTURBO	21
2.7.	VIBRAZIONE ED AREE DI CANTIERE PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTI EOLICI	22
2.8.	VIBRAZIONI DI IMPIANTI EOLICI IN FASE DI ESERCIZIO	23
3.	STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI ESERCIZIO	24
4.	STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI CANTIERE	27
5.	CONCLUSIONI	29
	BIBLIOGRAFIA	30

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.TSC01.PD_int1.MITE.04 07/03/2022 00 4 di 30
---	---	---	---

1. PREMESSA

La società "WPD San Giuliano S.r.l." nel maggio 2020 ha avviato la Procedura di Valutazione di Impatto Ambientale ai sensi dell'art.23 del D.Lgs.n.152/2006 relativa al progetto di un impianto per la produzione di energia da fonte eolica denominato "Parco eolico Toscana" costituito da 16 aerogeneratori, sito nel Comune di Toscana (VT) e con opere di connessione nei comuni di Toscana (VT) e Arlena di Castro (VT).

Nel corso del procedimento, a seguito degli approfondimenti richiesti dal Ministero per i beni e le Attività culturali ai sensi dell'art. 24 del D.Lgs. 152/2006 pervenuti alla WPD San Giuliano S.r.l. con la comunicazione del MiTE prot. 83896 del 30-07-2021, è emerso che gli aerogeneratori A15 e A16 e parte delle opere connesse ricadono in aree interessate dalla presenza di usi civici. Si sottolinea che in fase di elaborazione del progetto gli usi civici non erano riscontrabili né dal PTPR della Regione Lazio, né dai Certificati di Destinazione Urbanistica rilasciati dal Comune di Toscana.


Al fine di evitare l'interessamento di qualsiasi ambito soggetto a tutele paesaggistiche, **la WPD San Giuliano S.r.l. ha deciso di eliminare dal progetto i suddetti aerogeneratori e le relative opere accessorie interferenti con i terreni gravati da usi civici, rimodulando di conseguenza, seppur di poco, anche il tracciato del cavidotto** (rif. elenco elaborati riportato in calce al paragrafo), rimarcando che il Piano Territoriale Paesaggistico Regionale (PTPR) della Regione Lazio non riporta alcun bene paesaggistico ai sensi dell'art. 142, comma 1 del D.Lgs. 42/2004 sulle aree occupate dalle opere.

La WPD San Giuliano S.r.l., a fronte della riduzione del numero degli aerogeneratori, intende utilizzare lo stesso modello di aerogeneratore presentato in progetto, Siemens-Gamesa SG170 con altezza al mozzo pari a 165 metri e diametro del rotore pari a 170 metri, mantenendo invariata la potenza complessiva dell'impianto presentato, pari a 90 MW. A tal proposito, è stata operata un diverso settaggio delle potenze nominali degli aerogeneratori, differenziate come segue:

- Potenza pari a 6.5 MW per gli aerogeneratori identificati con le sigle A1, A 2, A3 e A4;
- Potenza pari a 6.4 MW per gli aerogeneratori identificati con le sigle A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A13 e A14.

Il progetto descritto nella presente relazione riguarda la realizzazione di un impianto eolico costituito da 14 aerogeneratori della potenza di 6,4 e 6,5 MW ciascuno, per una potenza complessiva di 90,0 MW, da installare in agro dei territori comunali di Toscana (VT).

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.

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.TSC01.PD_int1.MITE.04 07/03/2022 00 5 di 30
---	---	---	---

1.1. Descrizione sintetica del progetto

Come detto il progetto prevede la realizzazione di un parco eolico composto da 14 aerogeneratori modello Siemens SG170 di potenza nominale unitaria pari a 6,4 e 6,5 MW, con altezza al mozzo 165 m s.l.t. e diametro rotore pari a 170 m.

Il sito in esame, oggetto di futura installazione della Wind farm di progetto, è ubicato in Italia, in Regione Lazio, in provincia di Viterbo e coinvolge 2 aree: la prima localizzata a circa 8 km in linea d'aria in direzione Ovest dal centro abitato del Comune di Tuscania (Area A); la seconda distante circa 5 km in linea d'aria in direzione Nord dal centro abitato del comune di Tuscania (Area B).

Le aree si presentano a carattere sostanzialmente collinare con l'orografia che presenta una variabilità altimetrica modesta e con valori che si attestano tra i 50 e 350 m s.l.m.

Le tabelle a seguire individuano le coordinate e le caratteristiche degli aerogeneratori di progetto e nelle figure successive l'inquadramento territoriale delle aree di installazione su cartografia OpenStreetMap e ortofoto satellitare estratta da Google Earth.


 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.TSC01.PD_int1.MITE.04 07/03/2022 00 6 di 30
---	---	---	---

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	Potenza [MW]	Altezza al mozzo s.l.m. [m]
A01	724779	4695805	84	SIEMENS GAMES 170	6,5	165
A02	726367	4697127	101	SIEMENS GAMES 170	6,5	165
A03	727085	4698122	114	SIEMENS GAMES 170	6,5	165
A04	727162	4700519	140	SIEMENS GAMES 170	6,5	165
A05	728101	4700388	153	SIEMENS GAMES 170	6,4	165
A06	728627	4701108	162	SIEMENS GAMES 170	6,4	165
A07	735351	4703675	251	SIEMENS GAMES 170	6,4	165
A08	735053	4704223	263	SIEMENS GAMES 170	6,4	165
A09	735183	4704966	270	SIEMENS GAMES 170	6,4	165
A10	735084	4705858	289	SIEMENS GAMES 170	6,4	165
A11	734925	4706997	313	SIEMENS GAMES 170	6,4	165
A12	735708	4706457	290	SIEMENS GAMES 170	6,4	165
A13	736594	4706075	278	SIEMENS GAMES 170	6,4	165
A14	737233	4706835	290	SIEMENS GAMES 170	6,4	165



Figura 1: Inquadramento geografico del sito di installazione GE:TSC01: regione Lazio, provincia di Viterbo.

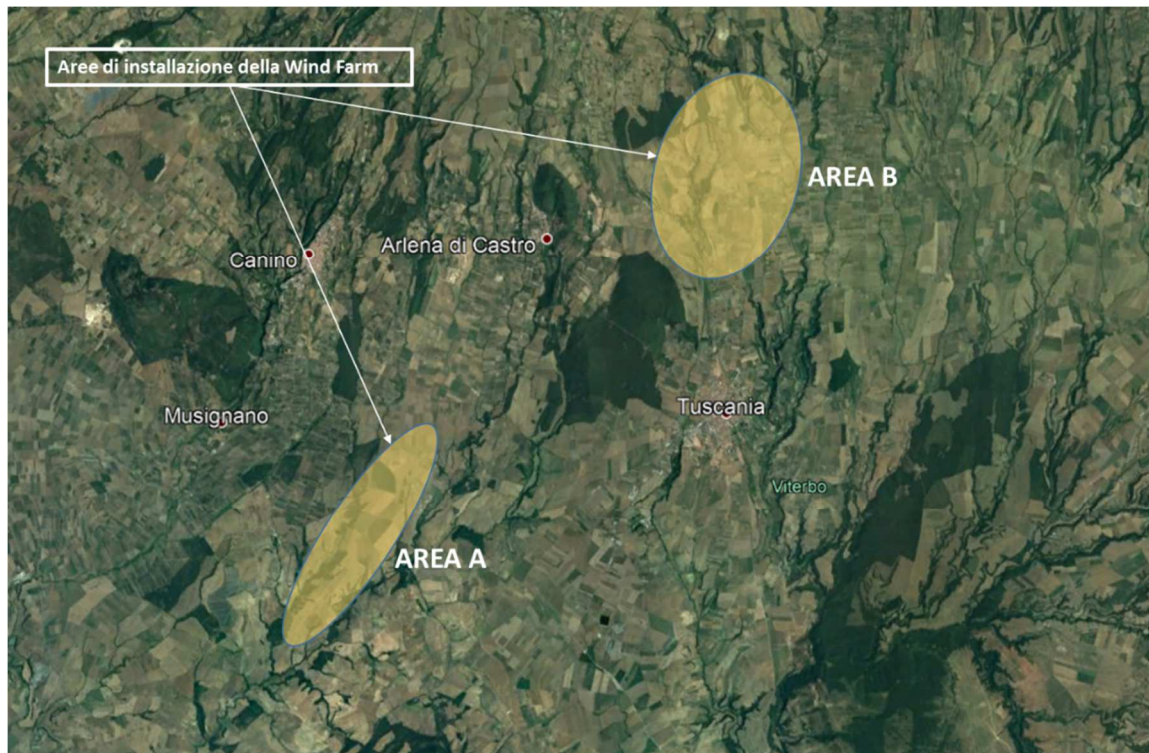


Figura 2: Individuazione delle aree di installazione della Windfarm su immagine ortofotografica.

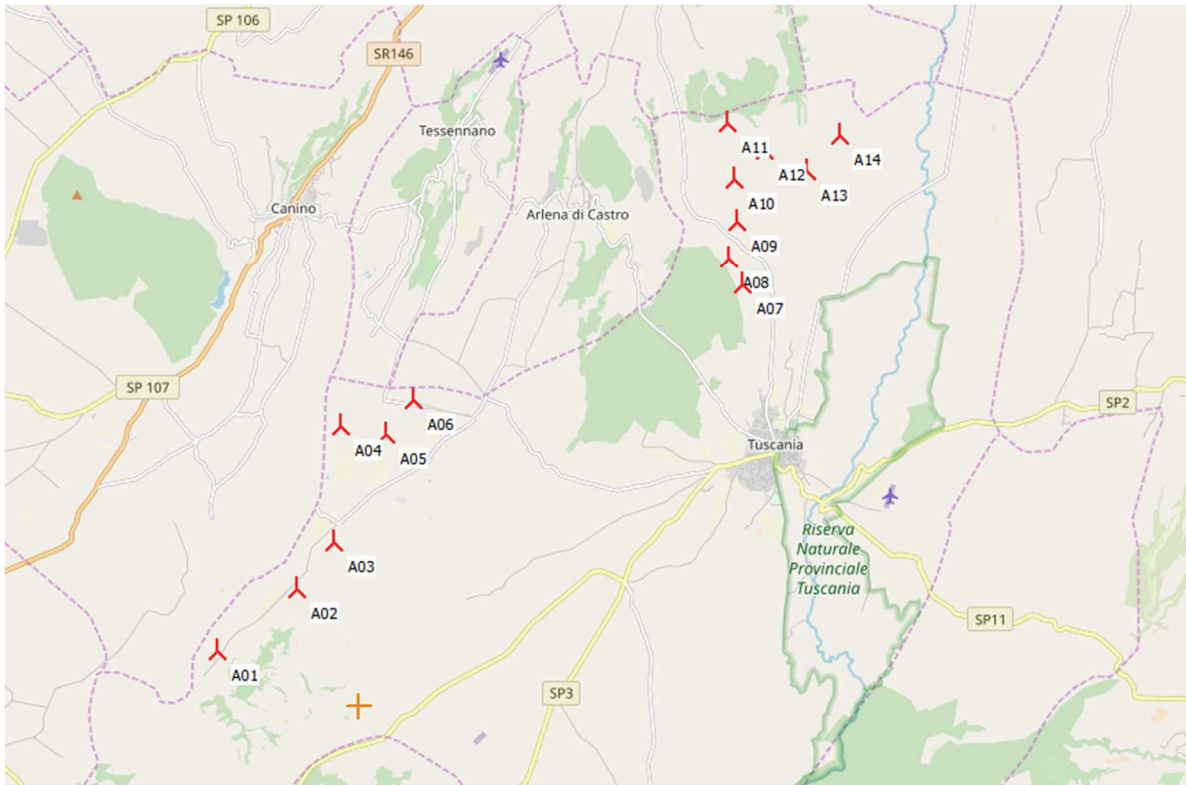


Figura 3: Individuazione geografica degli aerogeneratori di progetto su stralcio cartografico OpenStreetMap (icone in rosso).

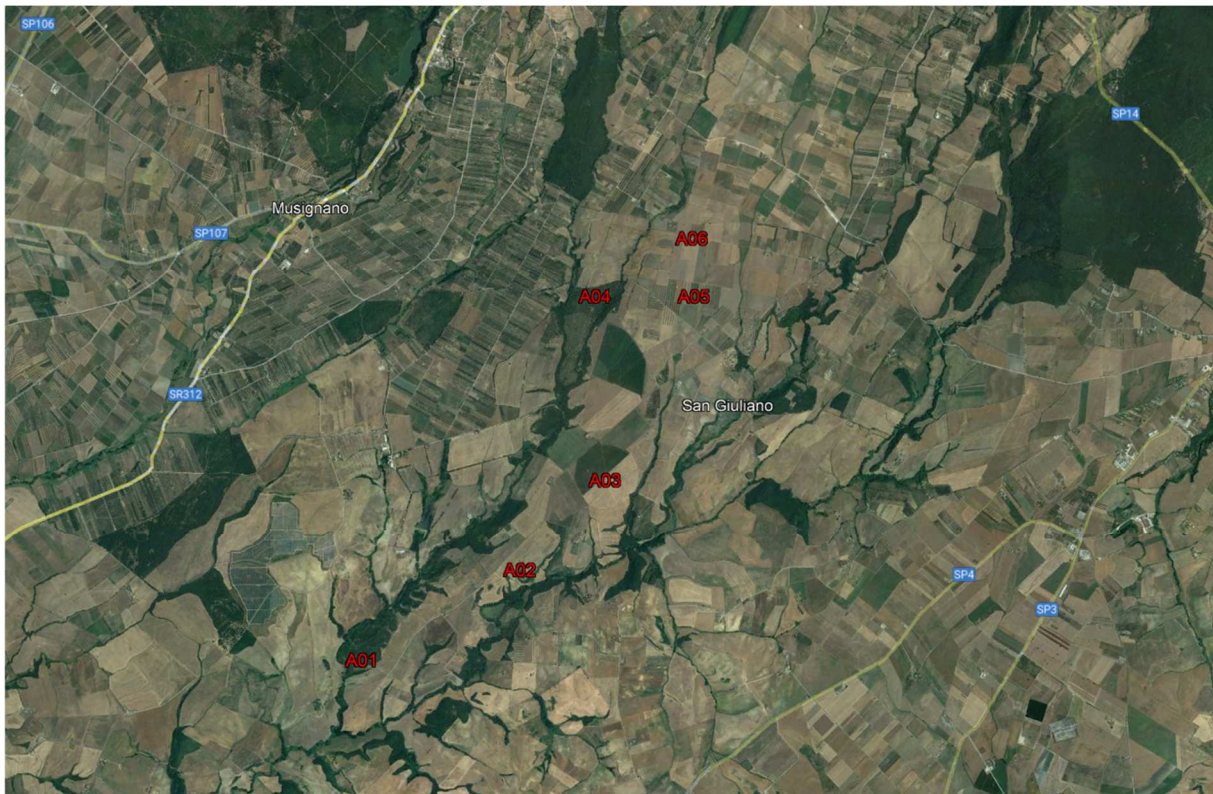


Figura 4: Inquadramento territoriale su ortofoto planimetrica degli aerogeneratori di progetto previsti nell'area A (etichette in rosso).



Figura 5: Inquadramento territoriale su ortofoto planimetrica degli aerogeneratori di progetto previsti nell'area B (etichette in rosso).

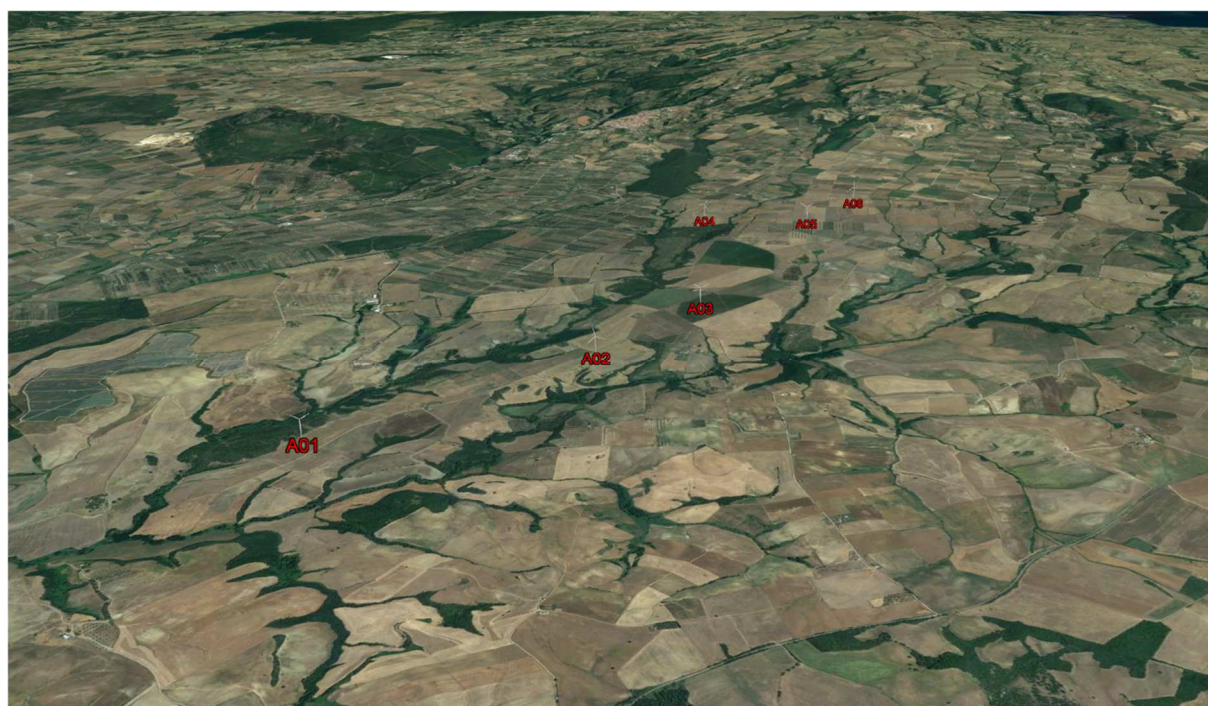


Figura 6: Individuazione degli aerogeneratori di progetto previsti nell'area A (etichette in rosso) su ortofoto 3D con vista da Sud verso Nord.



Figura 7: Individuazione degli aerogeneratori di progetto previsti nell'area B (etichette in rosso) su ortofoto 3D con vista da Sud verso Nord.


1.2. Individuazione e scelta dei recettori

Ai fini della previsione degli impatti indotti dall'impianto di progetto, sono stati individuati i "recettori 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 della turbina di progetto. In particolare, per la scelta dei recettori da considerare per l'impatto dovuto alle vibrazioni derivante dall'installazione delle turbine della wind farm si faccia riferimento agli elaborati specifici di progetto IR.SIA 01, IR.SIA02, IR.SIA03 e IR.SIA04. Pertanto, sono state individuate 28 strutture aventi caratteristiche di abitabilità, e sebbene a distanze ragguardevoli dalle sorgenti emissive, risultano essere le uniche strutture potenzialmente esposte alle emissioni acustiche e alle vibrazioni 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

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.TSC01.PD_int1.MITE.04 07/03/2022 00 11 di 30
---	---	---	--

intercorrenti tra ciascuna turbina di progetto ed i recettori sensibili considerati e le immagini relative alle porzioni di territorio interessate rispettivamente dalle turbine di progetto e dai recettori individuati e considerati nel modello di stima previsionale.

Tabella 2: Coordinate di inquadramento geografico dei recettori sensibili individuati

ID Recettore	UTM WGS 84 Long. Est [m]	UTM WGS 84 Lat. Nord [m]	Altitudine s.l.m. [m]
R01	725273	4696225	91
R02	725295	4696310	90
R03	725407	4696307	92
R04	725370	4696353	90
R05	725877	4696792	99
R06	726932	4697243	104
R07	727027	4697318	108
R08	726605	4697970	101
R09	726640	4698009	102
R10	727098	4698518	119
R11	728431	4699890	149
R12	729204	4700899	161
R13	729431	4701013	165
R14	729066	4700074	150
R15	734372	4706110	294
R16	734147	4706279	300
R17	734272	4706387	300
R18	734089	4706484	302
R19	734080	4706613	305
R20	734070	4706703	308
R21	734224	4706870	310
R22	735193	4706352	301
R23	736557	4705569	270
R24	736722	4705596	269
R25	736241	4706727	290
R26	736656	4707475	305
R27	736710	4707505	305
R28	736543	4705503	270


	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.TSC01.PD_int1.MITE.04 07/03/2022 00 12 di 30
---	---	---	--

Tabella 3: Matrice delle distanze intercorrenti tra le turbine di progetto e i recettori considerati con evidenza, in rosso, del valori inferiori ai 700 m.

COORDINATE E MATRICE DELLE DISTANZE WTG / RECETTORI [m]																
Recettore	WTG		A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10	A11	A12	A13	A14
		Coordinate UTM WGS 84		724779	726367	727085	727162	728101	728627	735351	735053	735183	735084	734925	735708	736594
			4695805	4697127	4698122	4700519	4700388	4701108	4703675	4704223	4704966	4705858	4706997	4706457	4706075	4706835
R01	725273	4696225	648	1418	2623	4691	5033	5924	12533	12634	13214	13750	14464	14614	15006	15988
R02	725295	4696310	722	1348	2547	4604	4950	5841	12465	12563	13141	13674	14386	14539	14934	15915
R03	725407	4696307	804	1263	2472	4563	4890	5781	12376	12478	13059	13597	14313	14461	14851	15833
R04	725370	4696353	806	1262	2464	4535	4872	5764	12379	12478	13057	13591	14304	14456	14849	15830
R05	725877	4696792	1476	594	1797	3942	4228	5118	11710	11808	12386	12921	13638	13786	14178	15160
R06	726932	4697243	2589	577	892	3284	3355	4220	10595	10708	11301	11861	12611	12725	13090	14075
R07	727027	4697318	2710	687	806	3204	3252	4114	10474	10588	11181	11741	12492	12605	12970	13955
R08	726605	4697970	2832	876	503	2609	2843	3733	10442	10510	11069	11581	12276	12446	12864	13840
R09	726640	4698009	2885	923	459	2564	2792	3681	10392	10459	11017	11529	12224	12393	12812	13788
R10	727098	4698518	3569	1571	396	2002	2122	3008	9732	9789	10341	10847	11539	11712	12136	13111
R11	728431	4699890	5479	3449	2222	1416	597	1234	7887	7914	8447	8938	9627	9802	10242	11212
R12	729204	4700899	6748	4720	3493	2077	1216	614	6745	6728	7231	7692	8362	8555	9022	9985
R13	729431	4701013	6983	4949	3723	2322	1470	810	6491	6474	6979	7445	8124	8309	8771	9735
R14	729066	4700074	6050	3996	2781	1955	1015	1123	7244	7284	7833	8347	9069	9212	9627	10602
R15	734372	4706110	14079	12032	10812	9124	8489	7617	2624	2006	1402	755	1045	1380	2222	2951
R16	734147	4706279	14052	12012	10789	9054	8441	7564	2869	2247	1673	1027	1059	1571	2455	3136
R17	734272	4706387	14216	12175	10953	9219	8606	7729	2919	2301	1688	969	894	1438	2343	2995
R18	734089	4706484	14167	12132	10908	9141	8545	7664	3079	2458	1871	1176	981	1619	2538	3164
R19	734080	4706613	14259	12226	11001	9219	8631	7749	3201	2580	1982	1256	928	1635	2571	3161
R20	734070	4706703	14321	12290	11065	9272	8690	7806	3288	2668	2063	1320	904	1656	2601	3166
R21	734224	4706870	14548	12516	11291	9498	8917	8033	3388	2774	2132	1328	712	1540	2500	3009
R22	735193	4706352	14822	12767	11553	9926	9266	8403	2682	2134	1386	506	698	526	1428	2096
R23	736557	4705569	15299	13233	12049	10666	9917	9099	2245	2018	1500	1501	2169	1229	507	1435
R24	736722	4705596	15443	13377	12196	10824	10072	9256	2360	2161	1663	1659	2279	1330	496	1340
R25	736241	4706727	15832	13772	12565	10999	10317	9463	3179	2772	2054	1447	1343	597	741	998
R26	736656	4707475	16651	14593	13382	11770	11109	10247	4018	3626	2909	2255	1796	1391	1401	862
R27	736710	4707505	16710	14652	13442	11831	11170	10308	4064	3677	2963	2314	1856	1450	1435	850
R28	736543	4705503	15246	13180	11997	10623	9871	9054	2182	1964	1462	1502	2202	1268	574	1500

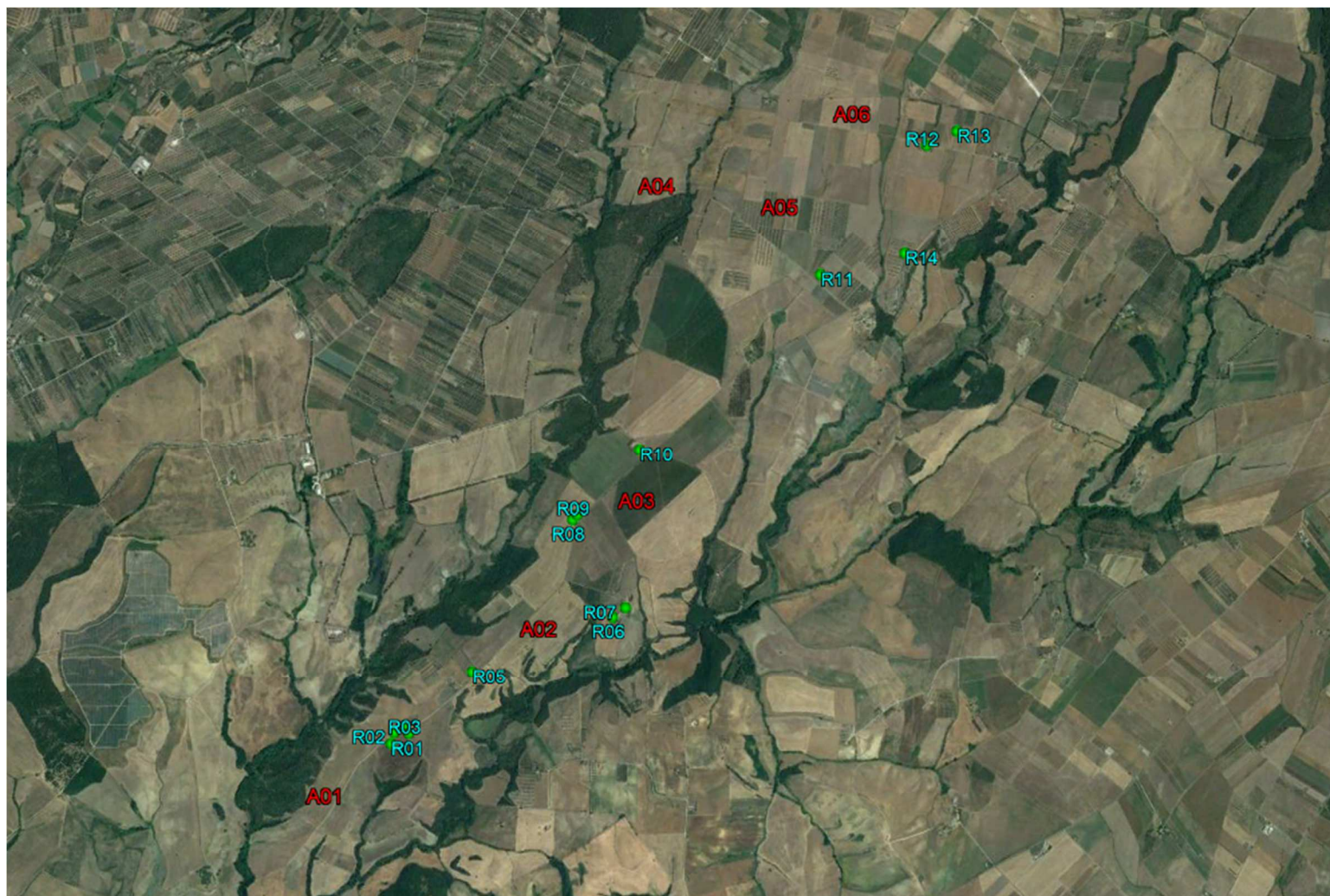


Figura 8: Inquadramento territoriale su ortofoto estratta da Google Earth degli aerogeneratori di progetto previsti nell'area A (etichette rosse), dei recettori individuati (etichette azzurre con sigle R1, R2,...,etc).

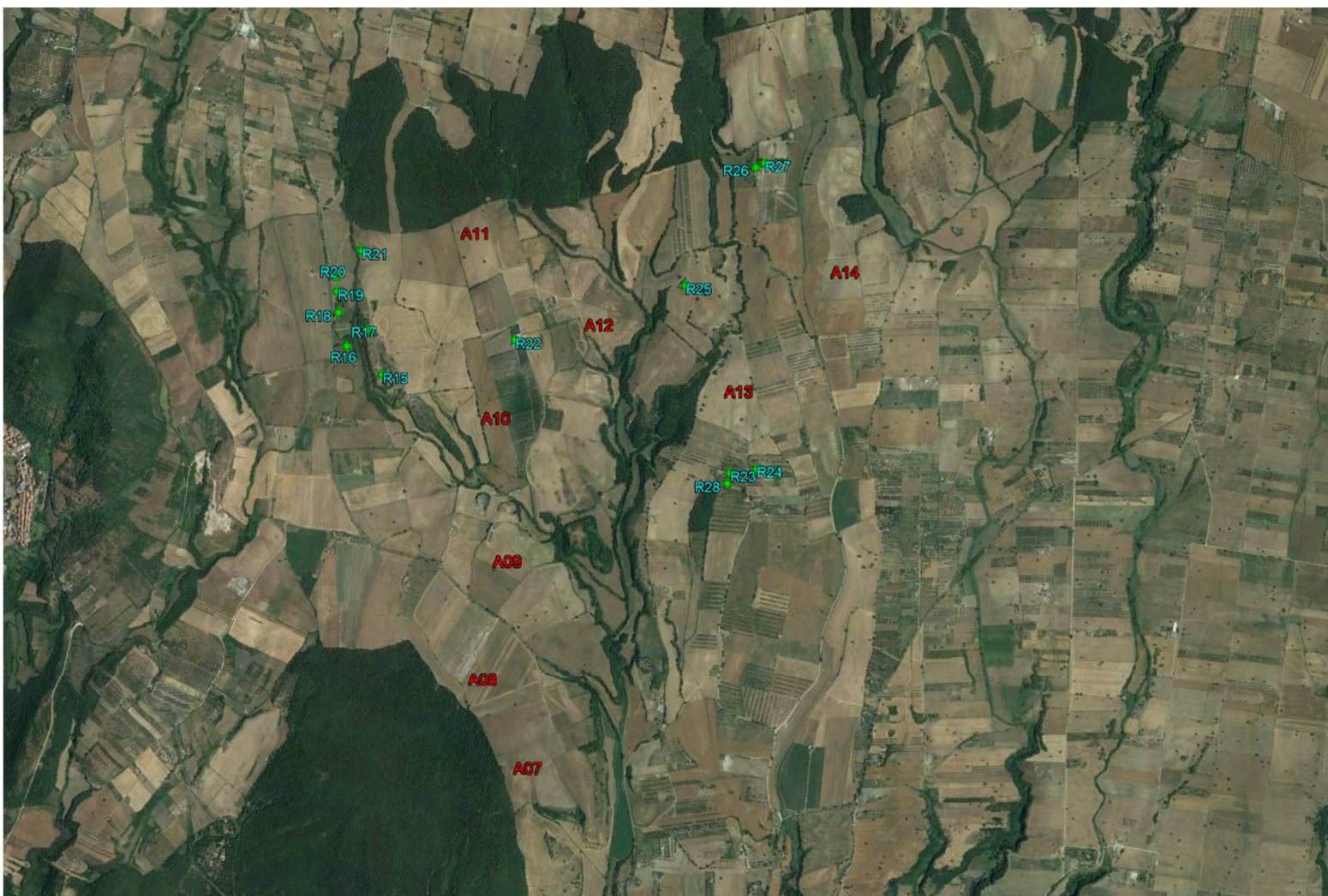



Figura 9: Inquadramento territoriale su ortofoto estratta da Google Earth degli aerogeneratori di progetto previsti nell'area B (etichette rosse), dei recettori individuati (etichette azzurre con sigle R1, R2,....,etc).

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.TSC01.PD_int1.MITE.04 07/03/2022 00 15 di 30
---	---	---	--

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.

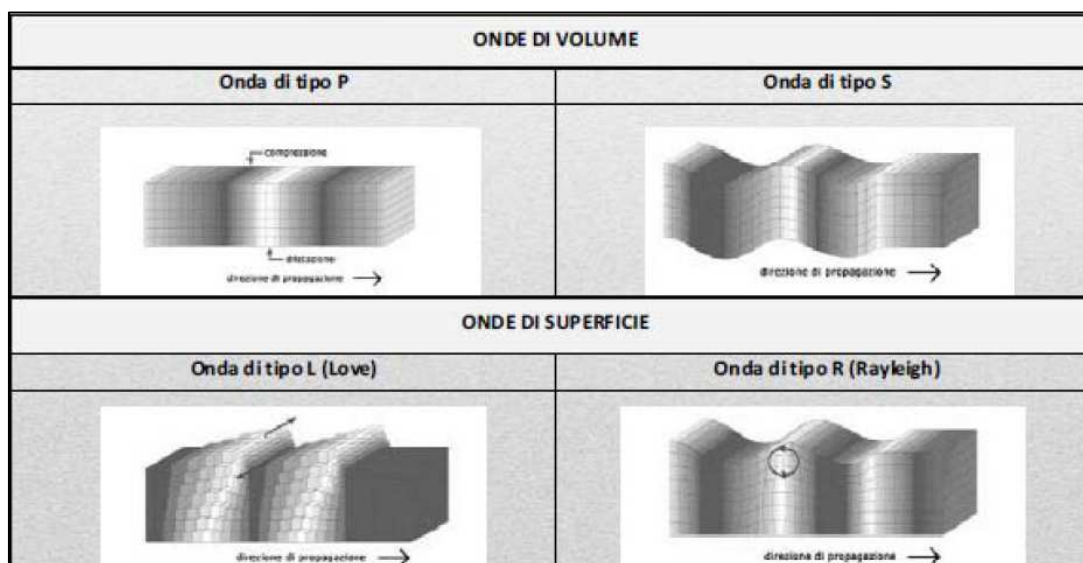



Figura 10: Differenti tipologie di Onde di Volume e Superficie

	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.TSC01.PD_int1.MITE.04 07/03/2022 00 16 di 30
---	---	---	--

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

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

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

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

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

dove: α 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.

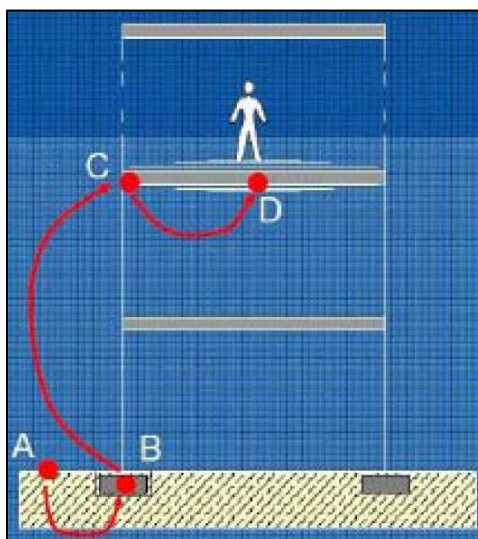


Figura 11: Schematizzazione semplificata della propagazione delle vibrazioni nel sistema terreno-edificio

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

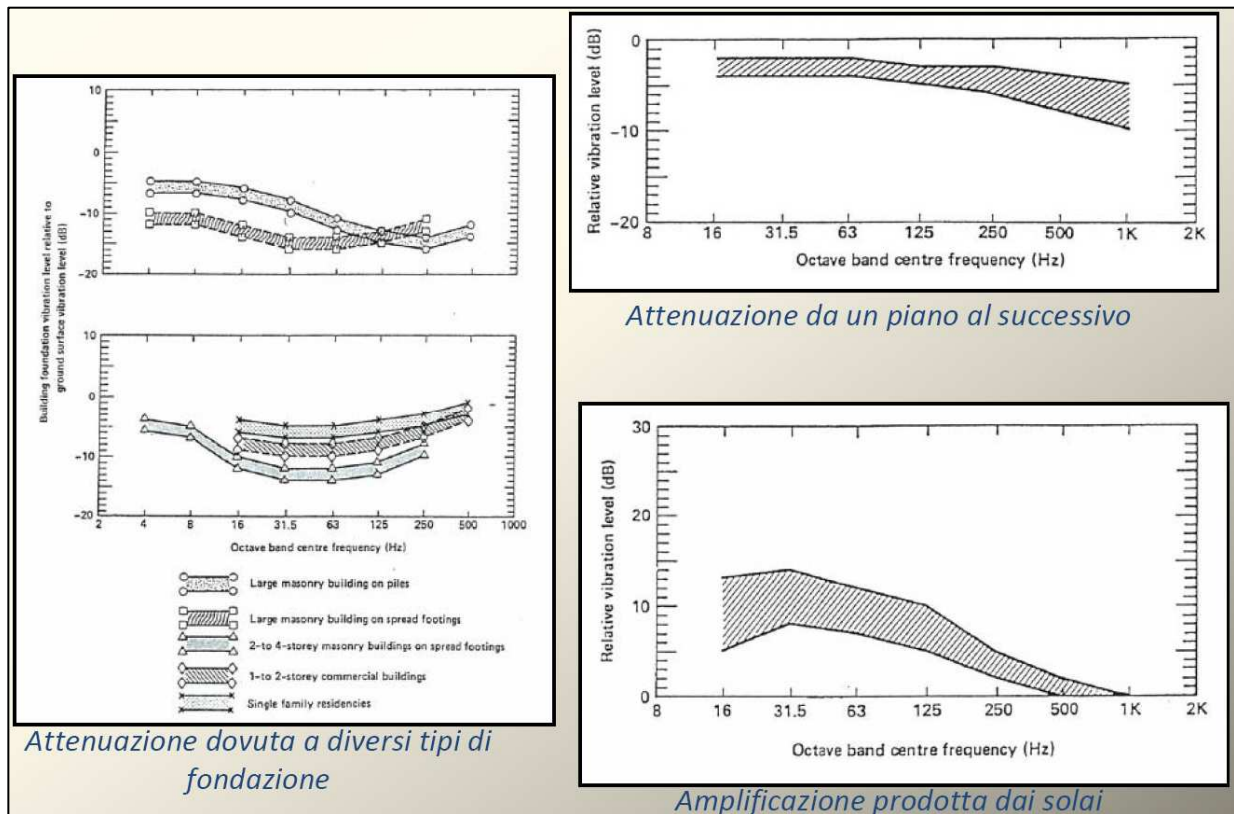


Figura 12: Esempi di Attenuazione/Amplificazione dei fenomeni vibratorii/oscillatori nei differenti elementi

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

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.TSC01.PD_int1.MITE.04 07/03/2022 00 18 di 30
---	---	---	--

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/sec²)

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

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.TSC01.PD_int1.MITE.04 07/03/2022 00 19 di 30
---	---	---	--

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,

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.TSC01.PD_int1.MITE.04 07/03/2022 00 20 di 30
---	---	---	--

Normativa, tecniche di misura e di calcolo”, neo- Eubios n. 16 (2006)] misurato a distanza di 5 m dal centro della sorgente

- 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; α 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: α può essere calcolato come:

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

dove:

η 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.


 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice	GE.TSC01.PD_int1.MITE.04
		Data creazione	07/03/2022
		Data ultima modif.	
		Revisione	00
		Pagina	21 di 30

Tabella 4: 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^3]
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

	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice	GE.TSC01.PD_int1.MITE.04
		Data creazione	07/03/2022
		Data ultima modif.	
		Revisione	00
		Pagina	22 di 30

essere percepito sia come vibrazione meccanica degli elementi edilizi (groundborne vibration), sia come rumore irradiato 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 5: 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^2	dB		m/s^2	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:

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.TSC01.PD_int1.MITE.04 07/03/2022 00 23 di 30
---	---	---	--

- 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.

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.TSC01.PD_int1.MITE.04 07/03/2022 00 24 di 30
---	---	---	--

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) = 2500 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:

$$w_1(x) = 0,02238 \frac{m}{s^2} \quad w_1(y) = 0,01333 \frac{m}{s^2} \quad w_1(z) = 0,02722 \frac{m}{s^2}$$

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.


	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice	GE.TSC01.PD_int1.MITE.04
		Data creazione	07/03/2022
		Data ultima modif.	
		Revisione	00
		Pagina	25 di 30

Tabella 6: 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 ²]	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 ad elevata eterogeneità a prevalente componente sabbiosa-argillosa.		
Fattore di perdita del terreno	0,1	0,1	0,1
Velocità di propagazione nel terreno [m/s]	2500	2500	2500
Densità del terreno [kg/mc]	1600	1600	1600
Velocità di rotazione di riferimento [rpm]	10,7	10,7	10,7
Frequenza onda di vibrazione di riferimento per il calcolo [Hz]	0,535	0,535	0,535
Pulsazione d'onda ω [rad/s]	3,360	3,360	3,360

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 7: 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]	10,0	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]	19,8	7,1	14,7
	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]	39,4	14,1	29,3

Poiché gli aerogeneratori di progetto sono distanti tra loro oltre 500 m, ed il primo recettore sensibile risulta dislocato a una distanza di 396 m si può senz'altro affermare che l'impatto causato dalle vibrazioni prodotto dal parco eolico in oggetto sia assolutamente trascurabile e che nessun recettore riceve un fenomeno vibrazionale tale da ingenerare disturbo. Ciò risulta valido anche considerando l'effetto cumulato di tutti gli aerogeneratori.

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.TSC01.PD_int1.MITE.04 07/03/2022 00 26 di 30
---	---	---	--

Di seguito si riporta, a titolo esemplificativo, l'andamento del decadimento delle vibrazioni calcolate per l'asse x con evidenza della distanza di rispetto del valore raccomandato per le abitazioni nel periodo diurno:

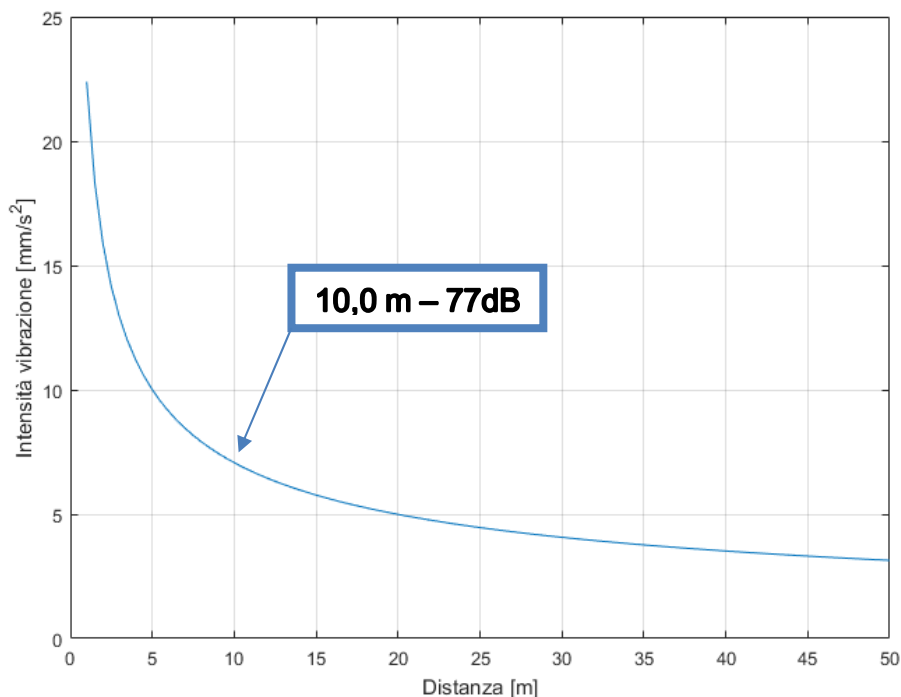



Figura 13: Andamento del decadimento dell'intensità delle vibrazioni lungo l'asse x rispetto alla distanza dalla sorgente con evidenza della distanza di rispetto del valore raccomandato per le abitazioni nel periodo diurno.

I valori soglia raccomandati per le abitazioni nel periodo notturno 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.

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.TSC01.PD_int1.MITE.04 07/03/2022 00 27 di 30
---	---	---	--

4. STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI CANTIERE

Per quanto concerne le fasi di cantiere per la costruzione delle opere elettriche descritte, non è in generale previsto l'impiego di esplosivi durante i lavori di demolizione o scavo, e pertanto risulta assolutamente improbabile che vi possano essere danni alle strutture ed edifici nel corso delle escavazioni, anche per quei recettori posti a distanze relativamente più vicine.

Nell'applicazione del modello previsionale al fine di valutare il potenziale possibile disturbo, sono stati ipotizzati i seguenti parametri come di seguito esplicitati:

1. 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 8: 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 ($V_r=0.92 V_s$)

2. 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".
3. 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.

4. 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.

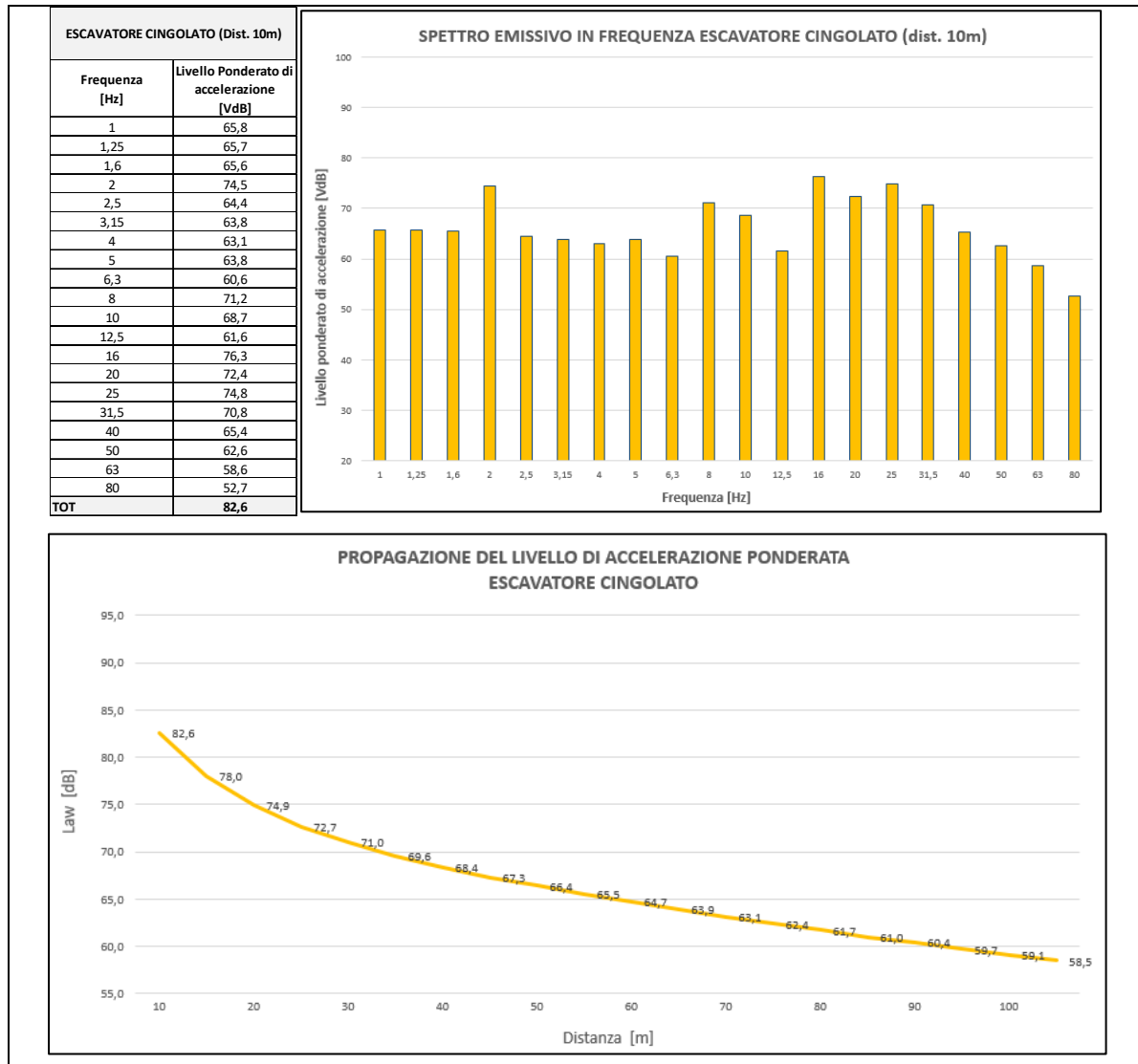



Figura 14: Spettro emissivo in frequenza e andamento grafico della propagazione in funzione della distanza del livello di accelerazione ponderata delle sollecitazioni prodotte da un escavatore cingolato in fase di cantiere.

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.

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.TSC01.PD_int1.MITE.04 07/03/2022 00 29 di 30
---	---	---	--


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.

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.TSC01.PD_int1.MITE.04 07/03/2022 00 30 di 30
---	---	---	--

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