

Sibilla Wind S.r.l.

**Parco Eolico "Sibilla" sito nei comuni di:
Canino e Montalto di Castro (VT) - Manciano (GR)**

Studio sulle vibrazioni

Novembre 2022



Regione LAZIO comuni di:



Canino (VT)



Montalto di Castro (VT)



Regione TOSCANA comune di:



Manciano (GR)

Committente:

Sibilla Wind S.r.l.

Sibilla Wind S.r.l.

Via Sardegna, 40
00187 Roma
P.IVA/C.F. 16422481008

Titolo del Progetto:

**Parco Eolico "Sibilla" sito nei Comuni di:
Canino e Montalto di Castro (VT) - Manciano (GR)**

Documento:

Studio sulle vibrazioni

N° Documento:

IT-VESSIB-TEN-SIA-TR-09

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



Rev	Data Revisione	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
00	NOVEMBRE 2022		GDS	GT	ML

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESSIB-TEN-SIA-TR09 24/11/2022 24/11/2022 00 3 di 28
---	---	---	---

INDICE

1.	PREMESSA	4
1.1.	DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO	4
1.2.	INDIVIDUAZIONE E SCELTA DEI RECETTORI	7
1.2.1.	RECETTORI RELATIVI ALLA REALIZZAZIONE DEL CAVIDOTTO	10
2.	CENNI TEORICI SULLE VIBRAZIONI	13
2.1.	DEFINIZIONI E NOZIONI GENERALI (FONTE ISPRA)	13
2.2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	15
2.3.	CASO STUDIO E PARAMETRI DI TRASMISSIONE DELLE VIBRAZIONI	16
2.4.	MODELLO PREVISIONALE	17
2.5.	RISCHIO DEL DANNO A STRUTTURE ED EDIFICI	19
2.6.	RISCHIO ESPOSIZIONE UMANA – RISCHIO DISTURBO	19
2.7.	VIBRAZIONE ED AREE DI CANTIERE PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTI EOLICI	20
2.8.	VIBRAZIONI DI IMPIANTI EOLICI IN FASE DI ESERCIZIO	21
3.	STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI ESERCIZIO	22
4.	STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI CANTIERE	25
5.	CONCLUSIONI	27
	BIBLIOGRAFIA	28

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice	IT-VESSIB-TEN-SIA-TR09
		Data creazione	24/11/2022
		Data ultima modif.	24/11/2022
		Revisione	00
		Pagina	4 di 28

1. PREMESSA

Il progetto descritto nella presente relazione riguarda la realizzazione di un impianto eolico costituito da nove aerogeneratori della potenza di 7,2 MW ciascuno, per una potenza complessiva di 64,8 MW, da installare nei comuni di Montalto di Castro (VT) e Canino (VT) in località "Parco San Nicola" con opere di connessione alla rete di trasmissione nazionale ricadenti nel comune di Manciano (GR) in località "Cerquanella".

Proponente dell'iniziativa è la società Sibilla Wind Srl.

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.

1.1. Descrizione sintetica del progetto

Come detto il progetto prevede la realizzazione di un parco eolico composto da nove aerogeneratori Vestas V162 di potenza nominale unitaria pari a 7,2 MW, con altezza al mozzo 119 m s.l.t. e diametro rotore pari a 162 m. Il sito d'installazione si colloca a nord est del centro di Montalto di Castro da cui dista circa 5 km in linea d'area, e a sud/est del centro di Canino dal quale dista circa 8,5 km in linea d'aria. L'area mostra un carattere sostanzialmente pianeggiante con l'orografia che presenta una variabilità altimetrica sostanzialmente uniforme con moderate diversità di quota altimetrica e con valori che si attestano tra i 60 e 80 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 dell'area di installazione su cartografia OpenTopoMap e ortofoto satellitare estratta da Google Earth.

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 [m]	Modello Aerogeneratore	Altezza mozzo [m]	Potenza nominale [MW]
T01	721336	4696742	75,0	Vestas V162	119	7,2
T02	722381	4696181	90,0	Vestas V162	119	7,2
T03	720712	4696265	70,0	Vestas V162	119	7,2
T04	721549	4695750	73,5	Vestas V162	119	7,2
T05	721790	4695292	80,0	Vestas V162	119	7,2
T06	720848	4695175	70,0	Vestas V162	119	7,2
T07	721888	4694721	80,0	Vestas V162	119	7,2
T08	721241	4693302	68,6	Vestas V162	119	7,2
T09	721659	4693030	56,0	Vestas V162	119	7,2



Figura 1: Inquadramento geografico del sito GE.MDC03: regione Lazio, provincia di Viterbo.

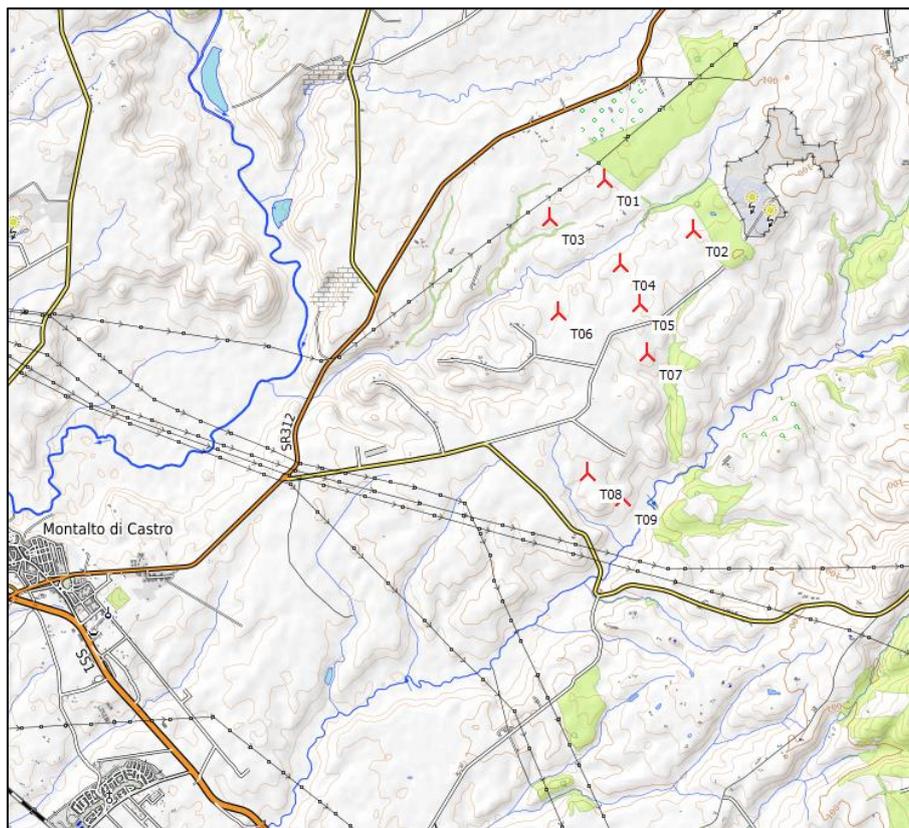


Figura 2: Individuazione geografica degli aerogeneratori di progetto su stralcio cartografico OpenTopoMap (icone in rosso).

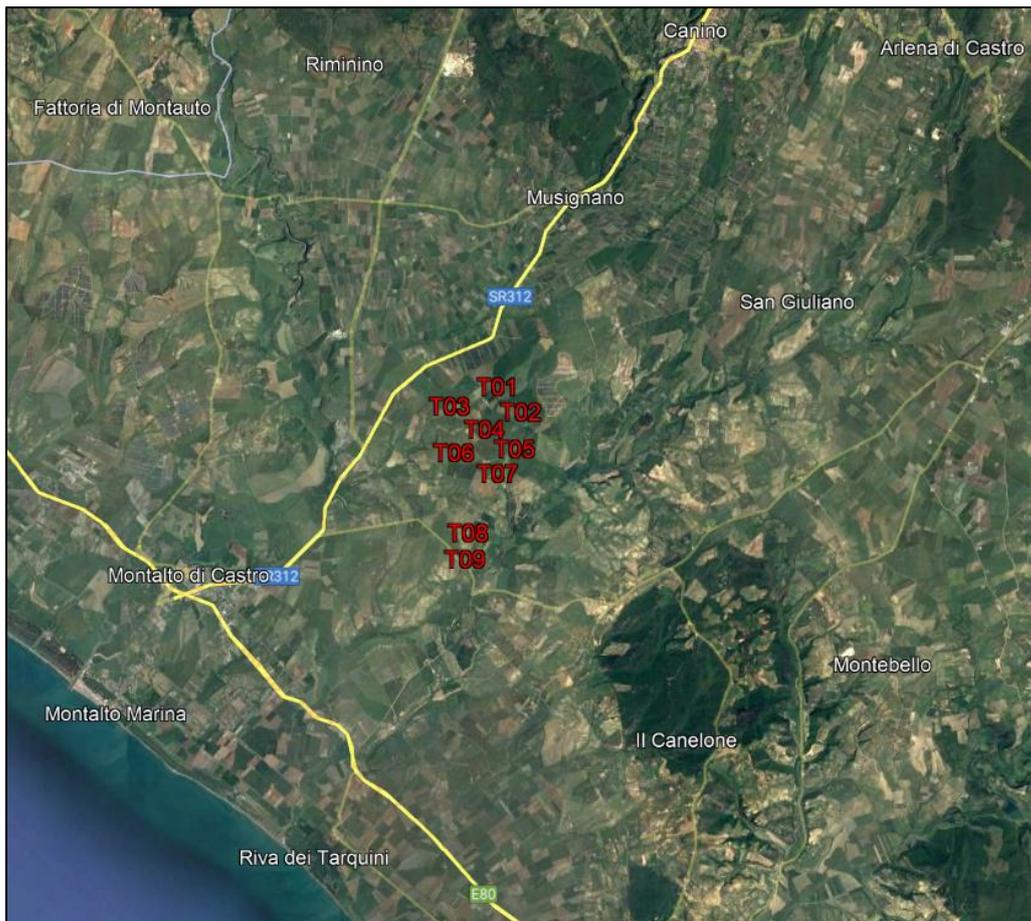


Figura 3: Inquadramento territoriale su ortofoto planimetrica degli aerogeneratori di progetto (etichette in rosso).

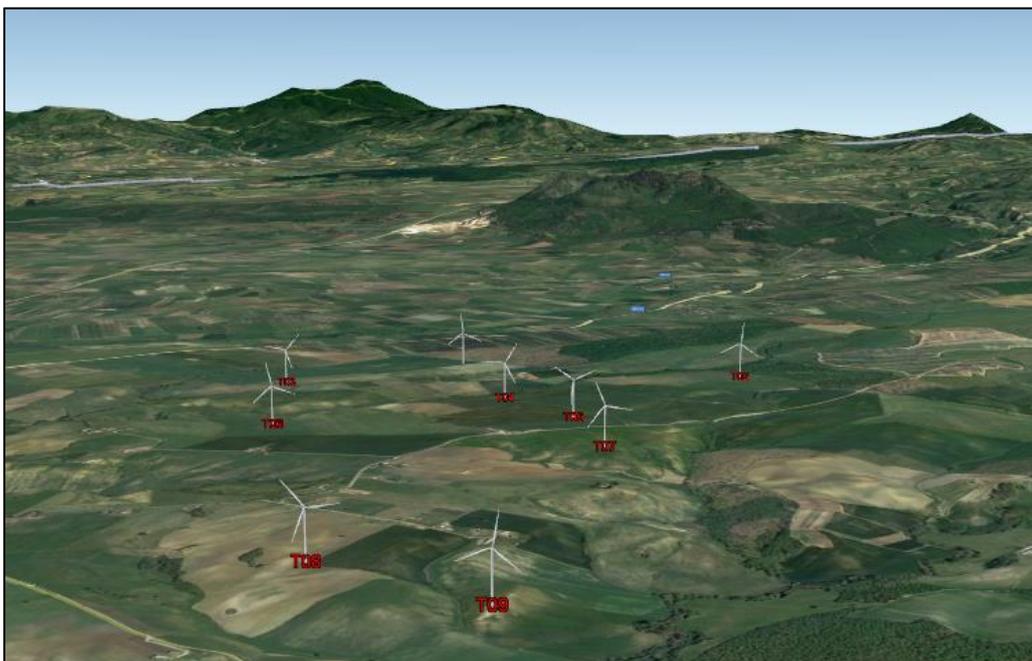


Figura 4: Individuazione degli aerogeneratori di progetto (etichette in rosso) su ortofoto 3D con vista da Sud verso Nord.

	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice	IT-VESSIB-TEN-SIA-TR09
		Data creazione	24/11/2022
		Data ultima modif.	24/11/2022
		Revisione	00
		Pagina	7 di 28

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:

Tabella 2: Descrizione elaborati di censimento e scelta dei recettori

ID Elaborato	Descrizione elaborato di progetto
IT-VESSIB-TEN-SIA-DW-01.1	Planimetria su C.T.R. e ortofoto contenente l'individuazione dei fabbricati e recettori desunti da cartografie - Quadro 1
IT-VESSIB-TEN-SIA-DW-01.2	Planimetria su C.T.R. e ortofoto contenente l'individuazione dei fabbricati e recettori desunti da cartografie - Quadro 2
IT-VESSIB-TEN-SIA-DW-01.3	Planimetria su C.T.R. e ortofoto contenente l'individuazione dei fabbricati e recettori desunti da cartografie - Quadro 3
IT-VESSIB-TEN-SIA-DW-01.4	Planimetria su C.T.R. e ortofoto contenente l'individuazione dei fabbricati e recettori desunti da cartografie - Quadro 4
IT-VESSIB-TEN-SIA-DW-01.5	Planimetria su C.T.R. e ortofoto contenente l'individuazione dei fabbricati e recettori desunti da cartografie - Quadro 5
IT-VESSIB-TEN-SIA-DW-01.6	Planimetria su C.T.R. e ortofoto contenente l'individuazione dei fabbricati e recettori desunti da cartografie - Quadro 6
IT-VESSIB-TEN-SIA-DW-02.1	Planimetria su catastale contenente l'individuazione dei fabbricati e recettori desunti da cartografie - Quadro 1
IT-VESSIB-TEN-SIA-DW-02.2	Planimetria su catastale contenente l'individuazione dei fabbricati e recettori desunti da cartografie - Quadro 2
IT-VESSIB-TEN-SIA-DW-02.3	Planimetria su catastale contenente l'individuazione dei fabbricati e recettori desunti da cartografie - Quadro 3
IT-VESSIB-TEN-SIA-DW-02.4	Planimetria su catastale contenente l'individuazione dei fabbricati e recettori desunti da cartografie - Quadro 4
IT-VESSIB-TEN-SIA-DW-02.5	Planimetria su catastale contenente l'individuazione dei fabbricati e recettori desunti da cartografie - Quadro 5
IT-VESSIB-TEN-SIA-DW-02.6	Planimetria su catastale contenente l'individuazione dei fabbricati e recettori desunti da cartografie - Quadro 6
IT-VESSIB-TEN-SIA-DW-02.7	Planimetria su catastale contenente l'individuazione dei fabbricati e recettori desunti da cartografie - Quadro 7
IT-VESSIB-TEN-SIA-TR-06	Documentazione fotografica relativa ai fabbricati non considerati recettori

Pertanto, sono state individuate 20 strutture aventi caratteristiche di abitabilità, e sebbene a distanze ragguardevoli dalle sorgenti emmissive, 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	IT-VESSIB-TEN-SIA-TR09 24/11/2022 24/11/2022 00 8 di 28
---	---	---	---

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 3: 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	720428	4693224	70,0
R02	721657	4693545	70,0
R03	720380	4693657	70,0
R04	720502	4693791	70,0
R05	720707	4693787	70,0
R06	721178	4693894	78,5
R07	721283	4694008	80,0
R08	721147	4694104	78,8
R09	721890	4694086	80,0
R10	720460	4694503	70,0
R11	720931	4694572	75,6
R12	720891	4694645	76,7
R13	720524	4694650	70,0
R14	720351	4694997	70,0
R15	721293	4696193	70,0
R16	721575	4696352	80,0
R17	720541	4697230	70,0
R18	721396	4697526	79,3
R19	720709	4697317	70,0
R20	720371	4693252	70,0

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESSIB-TEN-SIA-TR09 24/11/2022 24/11/2022 00 9 di 28
---	---	---	---

Tabella 4: Matrice delle distanze intercorrenti tra le turbine di progetto e i recettori considerati con evidenza, in rosso, del valore minimo riscontrato.

RecettoriWTG	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09
R01	3633	3544	3054	2764	2476	1996	2091	817	1246
R02	3213	2734	2879	2208	1752	1820	1198	482	515
R03	3230	3221	2629	2397	2159	1589	1846	931	1424
R04	3067	3040	2483	2221	1978	1427	1669	886	1385
R05	3021	2921	2478	2136	1854	1395	1506	721	1216
R06	2852	2584	2416	1893	1526	1323	1090	595	989
R07	2735	2435	2328	1762	1380	1245	935	707	1048
R08	2645	2416	2204	1694	1351	1112	964	807	1190
R09	2713	2152	2477	1699	1210	1507	635	1018	1081
R10	2404	2551	1780	1656	1546	776	1445	1433	1899
R11	2207	2166	1707	1330	1121	609	969	1307	1705
R12	2144	2140	1630	1286	1108	532	1000	1388	1788
R13	2244	2407	1626	1504	1419	617	1366	1527	1978
R14	2004	2350	1318	1415	1469	528	1562	1914	2362
R15	551	1088	585	512	1029	1111	1588	2891	3184
R16	457	824	867	603	1082	1383	1661	3068	3323
R17	933	2118	980	1791	2306	2078	2848	3990	4346
R18	786	1667	1435	1783	2268	2414	2848	4227	4504
R19	851	2021	1052	1778	2295	2147	2851	4050	4391
R20	3621	3552	3032	2762	2485	1981	2112	871	1307

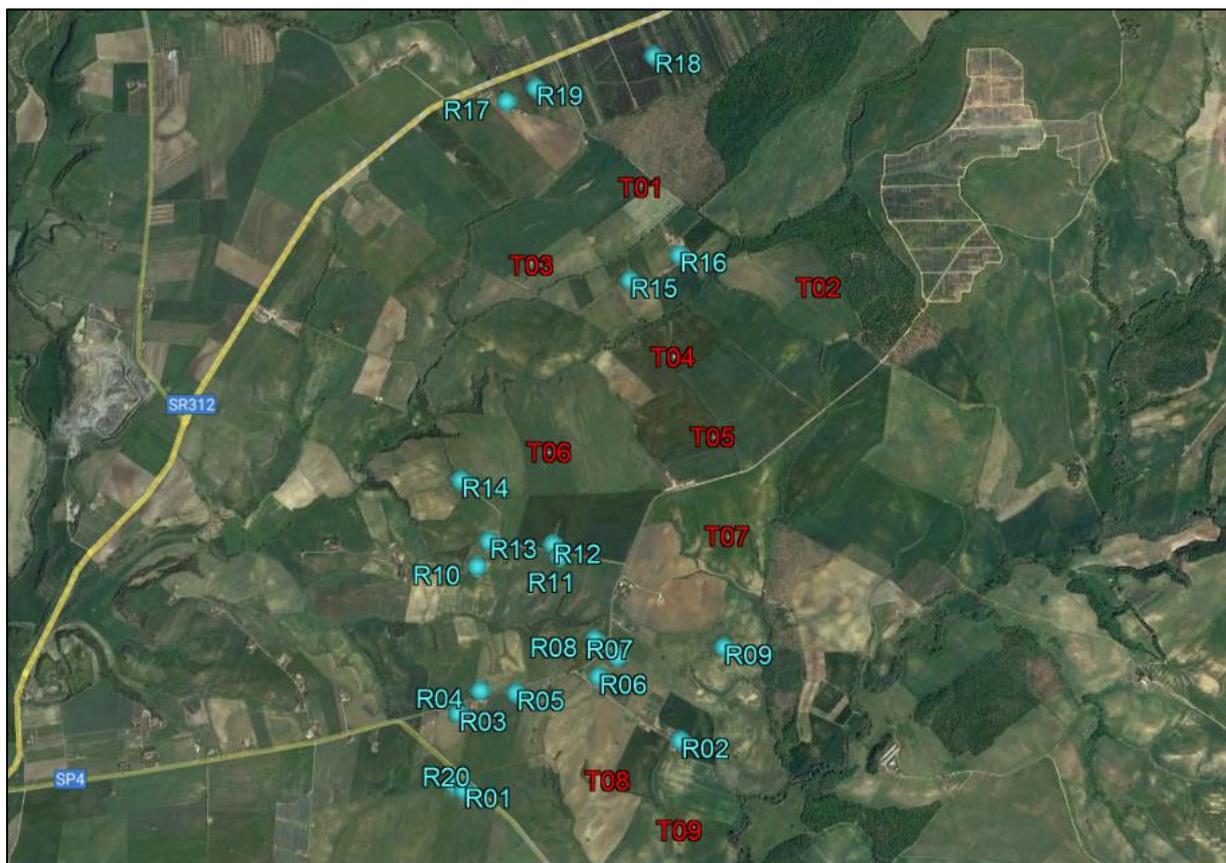


Figura 5: Inquadramento territoriale su ortofoto estratta da Google Earth degli aerogeneratori di progetto (etichette rosse con sigla T) e dei recettori individuati (etichette azzurre con sigla R)

1.2.1. Recettori relativi alla realizzazione del cavidotto

Oltre ai recettori individuati in prossimità dell'impianto di progetto, sono stati individuati ulteriori recettori al fine di valutare l'impatto indotto dalle vibrazioni generate in fase di cantiere durante le attività di scavo e di posa in opera del cavidotto di connessione dell'impianto eolico alla stazione elettrica di trasformazione 30/132kV. Dalla sottostazione di trasformazione si sviluppa il cavidotto in alta tensione a 132 kV che percorre principalmente il tracciato della viabilità esistente fino a raggiungere la stazione elettrica in condivisione con altri produttori.

I recettori in questione sono stati individuati in un buffer di 100 m di distanza dal tracciato, per ulteriori informazioni riguardo la scelta dei recettori da considerare per l'impatto dovuto alle vibrazioni derivante dalle lavorazioni di posa in opera del cavidotto si faccia riferimento agli elaborati specifici sopra dettagliati.

A seguire una tabella di inquadramento degli ulteriori recettori individuati e le immagini rappresentanti le posizioni delle turbine di progetto, il percorso del cavidotto e la posizione degli ulteriori recettori individuati su ortofoto estratta da Google Earth.

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESSIB-TEN-SIA-TR09 24/11/2022 24/11/2022 00 11 di 28
---	---	---	--

Tabella 5: Coordinate di inquadramento geografico dei recettori sensibili individuati per la fase di cantiere relativa alle attività di realizzazione del cavidotto esterno.

ID Recettore	UTM WGS 84 Long. Est [m]	UTM WGS 84 Lat. Nord [m]	Altitudine s.l.m. [m]
R03	720380	4693657	70,0
R04	720502	4693791	70,0
R05	720707	4693787	70,0
R21	714913	4698495	70,0
R22	715007	4698367	70,0
R23	715063	4697996	70,0
R24	715208	4697891	70,0
R25	715351	4697502	66,6
R26	715379	4697351	65,2
R27	715339	4697084	60,0
R28	716044	4696655	60,0
R29	717711	4695275	23,9
R30	717892	4693670	40,0
R31	717937	4693436	50,0
R32	718487	4693308	52,6
R33	718886	4693418	60,0
R34	718974	4693403	60,0
R35	719180	4693461	60,0
R36	719523	4693515	60,4
R37	719035	4693307	60,0
R38	719770	4693493	66,1
R39	719907	4693447	65,3
R40	715017	4699596	66,9
R41	719557	4693554	62,2
R42	715136	4700441	80,0
R43	714856	4698867	75,0
R44	715007	4698552	76,0
R45	718609	4693367	56,0

Dall'analisi dei dati in tabella si evince che i recettori R03, R04 ed R05 rientrano in entrambe le classificazioni, trovandosi ad essere quindi recettori sia per la fase di esercizio che per quella di cantiere relativa alla posa del cavidotto.

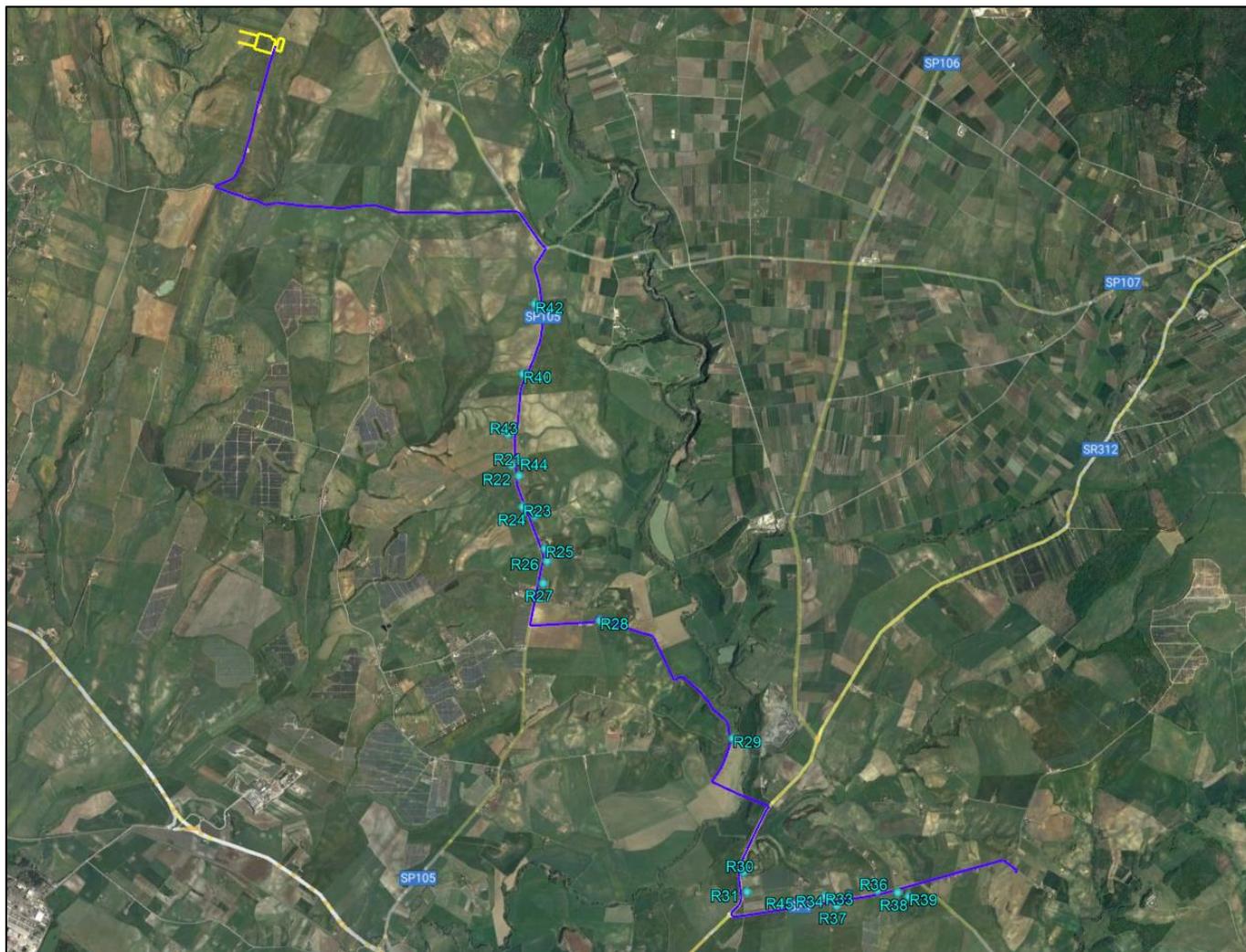


Figura 6: Inquadramento territoriale su ortofoto estratta da Google Earth degli ulteriori recettori (icone azzurre con etichetta R) individuati per la fase di cantiere relativa alle attività di realizzazione del cavidotto esterno (tracciato blu).

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESSIB-TEN-SIA-TR09 24/11/2022 24/11/2022 00 13 di 28
---	---	---	--

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.

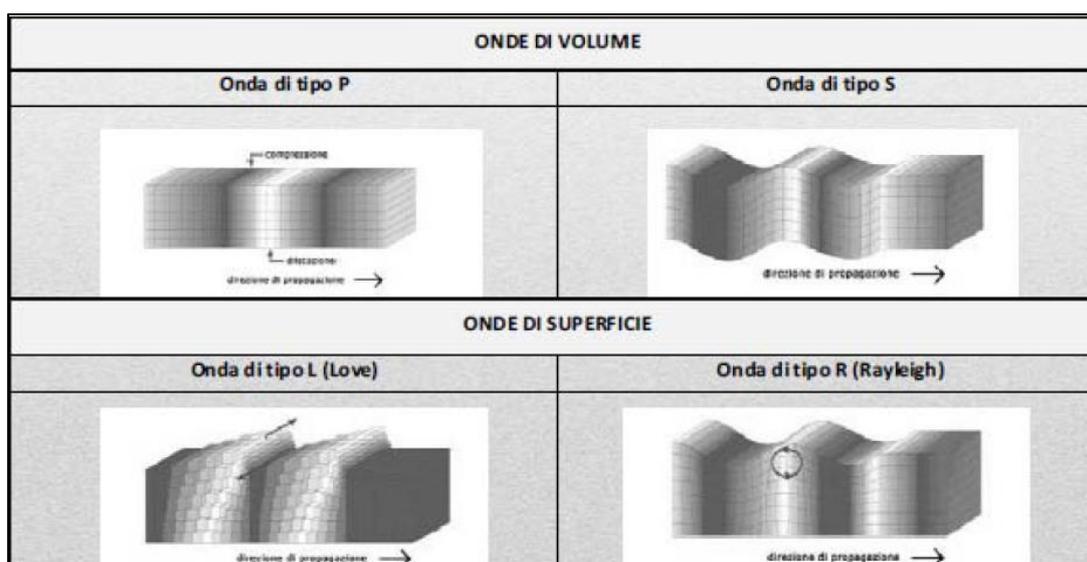


Figura 7: Differenti tipologie di Onde di Volume e Superficie

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESSIB-TEN-SIA-TR09 24/11/2022 24/11/2022 00 14 di 28
---	---	---	--

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.

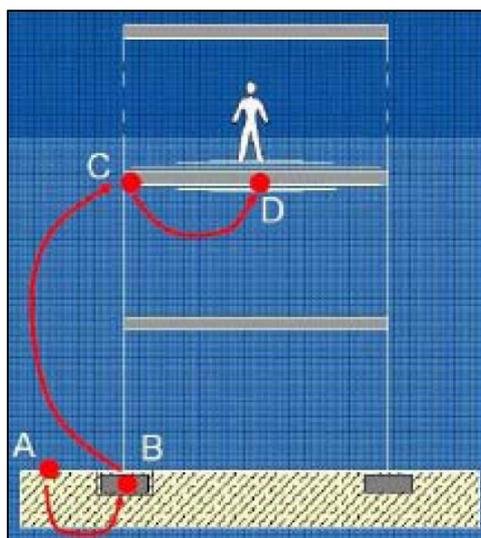


Figura 8: Schematizzazione semplificata della propagazione delle vibrazioni nel sistema terreno-edificio

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

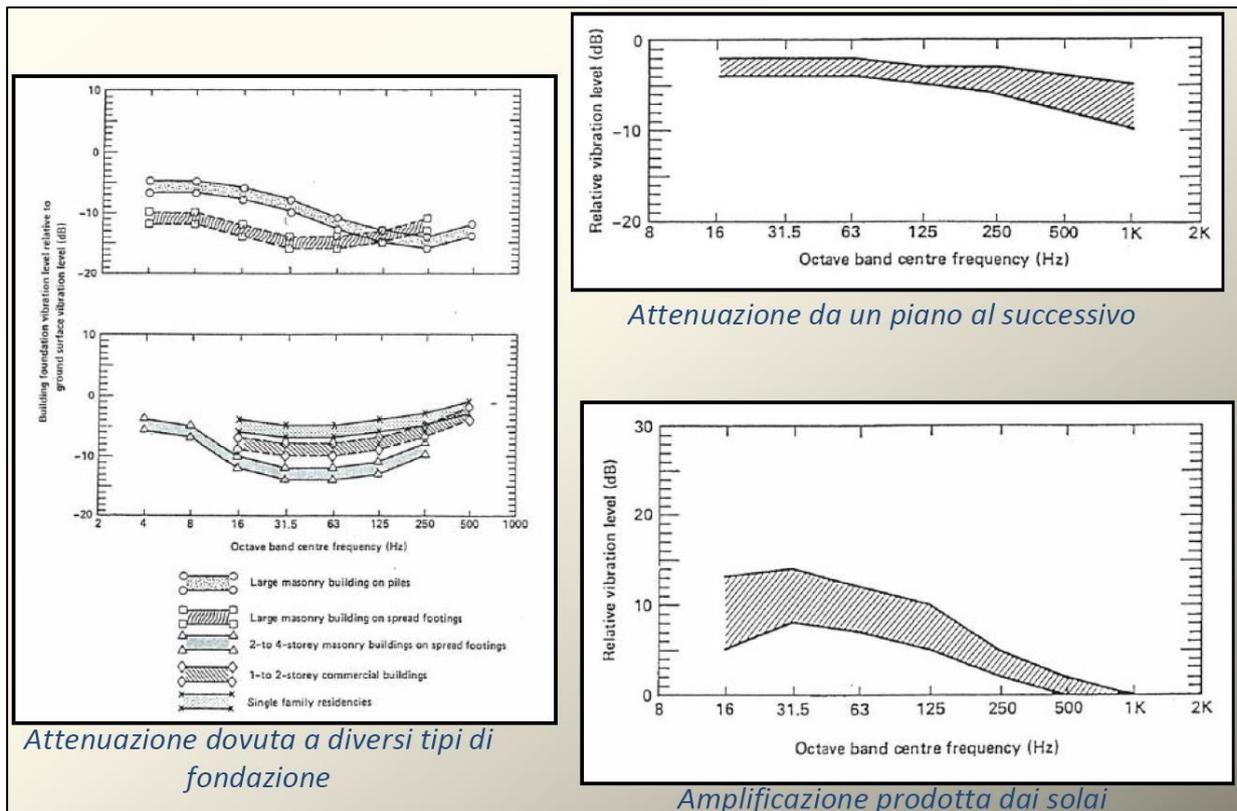


Figura 9: Esempi di Attenuazione/Amplificazione dei fenomeni vibratorii/oscillatori nei differenti elementi

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 del rispetto dei requisiti di impatto acustico per la realizzazione delle turbine, risulta quasi sempre non

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESSIB-TEN-SIA-TR09 24/11/2022 24/11/2022 00 16 di 28
---	---	---	--

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 a 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:

1) Fattori legati a tipologie di sorgenti e modalità operative (Fase di Cantiere)

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESSIB-TEN-SIA-TR09 24/11/2022 24/11/2022 00 17 di 28
---	---	---	--

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 lamenti. 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 vibrazione 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	IT-VESSIB-TEN-SIA-TR09 24/11/2022 24/11/2022 00 18 di 28
---	---	---	--

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; 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	IT-VESSIB-TEN-SIA-TR09
		Data creazione	24/11/2022
		Data ultima modif.	24/11/2022
		Revisione	00
		Pagina	19 di 28

Tabella 6: 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	IT-VESSIB-TEN-SIA-TR09
		Data creazione	24/11/2022
		Data ultima modif.	24/11/2022
		Revisione	00
		Pagina	20 di 28

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 7: 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 pesanti ed agricoli per il raggiungimento e la lavorazione dei suoli coltivati in aree limitrofe, al fine di minimizzare le potenziali fonti di rumore e vibrazione, con conseguente potenziale temporanea sensazione di fastidio o disturbo indotto, potranno essere previsti alcuni accorgimenti operativi a carattere preventivo come ad esempio:

- L'impiego di mezzi gommati al fine di contenere il rumore di fondo nell'area durante il passaggio su strada (solitamente di tipo imbrecciato o sterrato);

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESSIB-TEN-SIA-TR09 24/11/2022 24/11/2022 00 21 di 28
---	---	---	--

- 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	IT-VESIB-TEN-SIA-TR09 24/11/2022 24/11/2022 00 22 di 28
---	---	---	---

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.

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

In particolare, i valori r.m.s di accelerazione (non ponderati in frequenza) in corrispondenza della torre di sostegno lungo i tre assi (x, y, z), presi come riferimento per il calcolo in base a valori reali misurati su strutture analoghe sono:

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

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	IT-VESSIB-TEN-SIA-TR09
		Data creazione	24/11/2022
		Data ultima modif.	24/11/2022
		Revisione	00
		Pagina	23 di 28

Tabella 8: 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 a prevalente componente calcarea-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]	12	12	12
Frequenza onda di vibrazione di riferimento per il calcolo [Hz]	0,600	0,600	0,600
Pulsazione d'onda ω [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 9: 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]	39,3	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 417 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	IT-VESSIB-TEN-SIA-TR09 24/11/2022 24/11/2022 00 24 di 28
---	---	---	--

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:

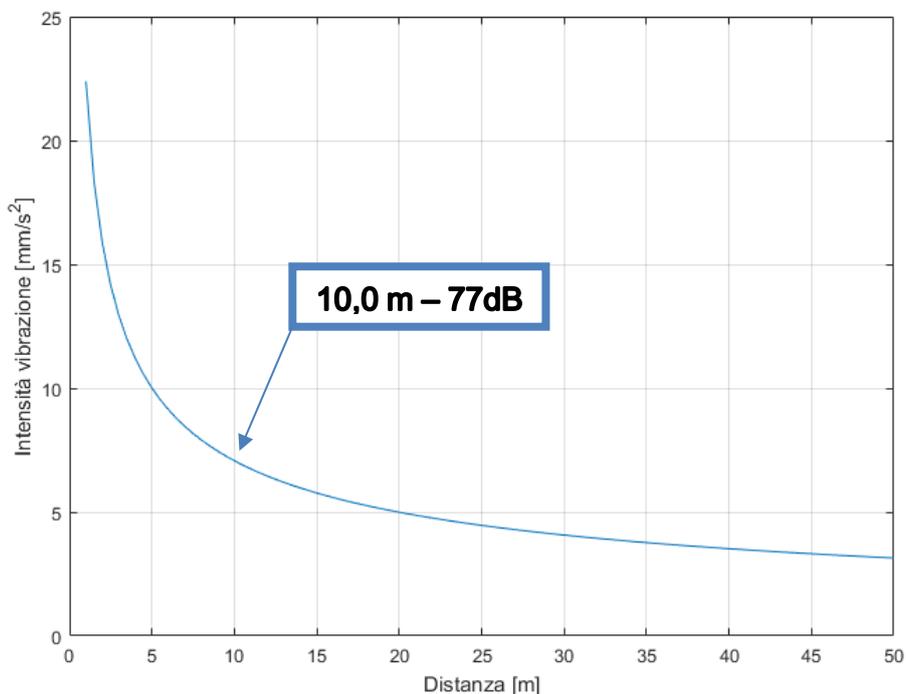


Figura 10: Andamento del decadimento dell'intensità delle vibrazioni lungo l'asse x rispetto alla distanza dalla sorgente con evidenza della distanza di rispetto del valore raccomandato per le abitazioni nel periodo diurno.

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	IT-VESSIB-TEN-SIA-TR09 24/11/2022 24/11/2022 00 25 di 28
---	---	---	--

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 macrocategorie di sottosuolo come evidenziato nella tabella a seguire)

Tabella 10: 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 alla tipologia di fondazioni cui sono dotati i recettori non sono stati tenuti in conto.

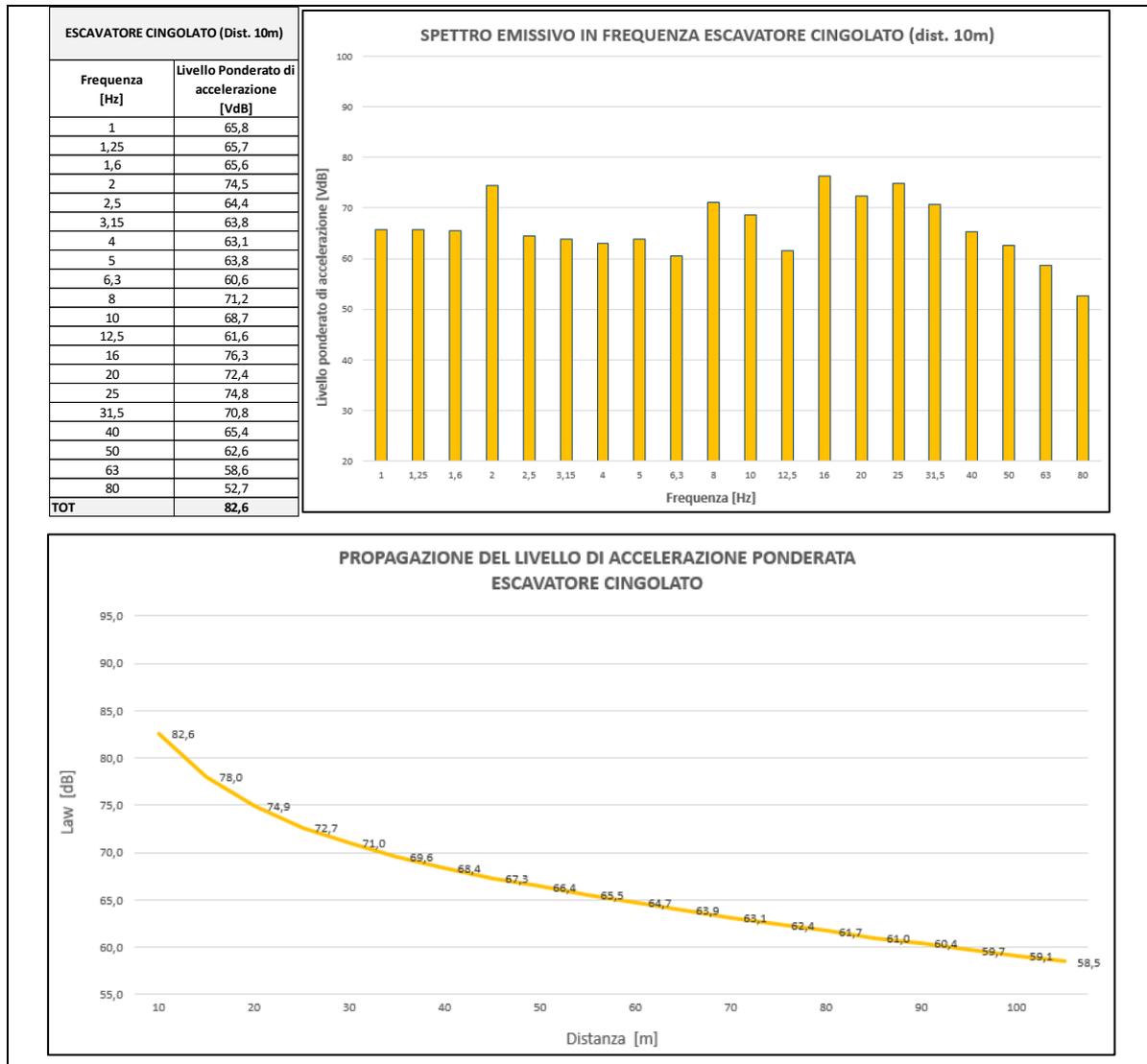


Figura 11: Spettro emissivo in frequenza e andamento grafico della propagazione in funzione della distanza del livello di accelerazione ponderata delle sollecitazioni prodotte da un escavatore cingolato in fase di cantiere.

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.

Le stesse considerazioni sono valide anche per le attività relative alla messa in opera del caviodotto esterno di collegamento alla stazione elettrica di trasformazione, per le quali, sebbene i recettori si trovino a distanze piuttosto ravvicinate al tracciato stradale, si ha che le lavorazioni in estrema prossimità degli edifici sono limitate a periodi di tempo molto ristretti, della durata massima di qualche giorno, in quanto in avanzamento lungo il percorso di progetto.

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESSIB-TEN-SIA-TR09 24/11/2022 24/11/2022 00 27 di 28
---	---	---	--

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. Le stesse conclusioni valgono per la fase di realizzazione del cavidotto esterno per la quale lievi disturbi possono verificarsi per i recettori posti più in prossimità del tracciato stradale, sebbene sia da evidenziare che questi sono concentrati in periodi di tempo estremamente ridotti.

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESIB-TEN-SIA-TR09 24/11/2022 24/11/2022 00 28 di 28
---	---	---	---

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