

REGIONE PUGLIA
PROVINCIA DI FOGGIA

Comune:
Bovino -Deliceto - Castelluccio dei Sauri
Località "Monte Livagni"

**PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI
PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA E RELATIVE
OPERE DI CONNESSIONE - 10 AEROGENERATORI -**

Sezione:
INTEGRAZIONI RICHIESTE DAL "M.A.T.T.M."

Titolo elaborato:
STUDIO DELLE VIBRAZIONI INDOTTE

N. Elaborato: **D.11**

Scala: -

Committente

WINDERG S.r.l.

Via Trento, 64
Vimercate (MB)
P.IVA 04702520968

Amministratore Delegato
Michele GIAMBELLI

Progettazione



sede legale e operativa

San Giorgio Del Sannio (BN) via de Gasperi 61

sede operativa

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

P.IVA 01465940623

Azienda con sistema gestione qualità Certificato N. 50 100 11873




Progettista

Dott. Ing. Massimo Lepore

Tecnico competente in Acustica Ambientale iscritto nell'elenco nazionale ENTECA al n° 8866 riconosciuto con DDR Campania n° 1396 del 19/12/2007, n° Rif. 653/07 ai sensi della legge 447/92 e DPCM 31/3/98



Rev.	Data	Elaborazione	Approvazione	Emissione	DESCRIZIONE	
00	SETTEMBRE 2019	PI sigla	DF sigla	ML sigla	Prima emissione	
Nome File sorgente		GE.BOV01.PD.D.11.doc	Nome file stampa		GE.BOV01.PD.D.11.pdf	Formato di stampa A4

 TENPROJECT	IMPATTO ACUSTICO IN FASE DI CANTIERE IMPIANTO EOLICO BOVINO (FG)	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.BOV01.PD.D11 04/09/2019 16/09/2019 04 2 di 31
---	---	---	--

INDICE

1. INTRODUZIONE	4
1.1 DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO	4
2 RUMORE IN FASE DI CANTIERE	5
2.1 INDIVIDUAZIONE E SCELTA DEI RECETTORI	5
2.2 AREE DI CANTIERE FISSE E MOBILI	7
2.3 MEZZI DI CANTIERE	10
2.4 METODOLOGIA	12
2.5 RISULTATI FASE DI CANTIERE	13
2.6 STIMA PREVISIONALE AI RECETTORI DEL RUMORE IN FASE DI CANTIERE	14
3 VIBRAZIONI	18
3.1 DEFINIZIONI E NOZIONI GENERALI (FONTE ISPRA)	18
3.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	20
3.3 VIBRAZIONE ED AREE DI CANTIERE PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTI EOLICI	21
3.4 CASO STUDIO E PARAMETRI DI TRASMISSIONE DELLE VIBRAZIONI	23
3.5 MODELLO PREVISIONALE	25
3.1 RISCHIO DEL DANNO A STRUTTURE ED EDIFICI	26
3.2 RISCHIO ESPOSIZIONE UMANA – RISCHIO DISTURBO	27
3.3 FASE DI ESERCIZIO	27
3.4 FASE DI CANTIERE	28
3.5 CONCLUSIONI	31

1. INTRODUZIONE

In data 12/08/2019 il “Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare” ha inviato alla società Winderg S.r.l richiesta di integrazione relativa al progetto di un impianto eolico previsto in località “Monte Livagni” del comune di Bovino e con opere di connessione da ubicare anche nei comuni di Castelluccio dei Sauri e Deliceto (nota m_ante.DVA.REGISTROUFFICIALE.I.0020405.02-08-2019).

Il punto 11 di tale richiesta così recita: “(...) *La componente non appare sufficientemente affrontata. E’ necessario che il Proponente effettui una stima previsionale dell’impatto dovuto alle vibrazioni (UNI 9916 - UNI 9614) su eventuali ricettori potenzialmente impattati in fase di cantiere e più prossimi alle aree di cantiere stesse, fornendo, oltre ai parametri di emissione dei singoli macchinari impiegati, la caratterizzazione della sorgente in termini di modalità, di fasi di cantiere ed attività”.*

In riscontro a tale richiesta, il presente elaborato ha lo scopo di valutare il contributo in termini di vibrazioni e l’apporto acustico fornito ai ricettori e all’ambiente circostante durante la fase di cantiere in merito alla futura installazione di un impianto

1.1 Descrizione sintetica del progetto

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto eolico denominato “Valle Verde” costituito da dieci aerogeneratori di cui sette della potenza di 3 MW e tre della potenza di 3,45 MW da installare nel comune di Bovino (FG) in località “Monte Livagni” e con opere di connessione ricadenti anche nei Comuni di Castelluccio dei Sauri (FG) e Deliceto (FG). Proponente dell’iniziativa è la società WINDERG Srl. Il collegamento dell’impianto alla rete elettrica di trasmissione nazionale avviene mediante un cavidotto interrato in media tensione che si collegherà ad una sottostazione di trasformazione e consegna 30/150 KV prevista in prossimità della stazione elettrica RTN “Deliceto” esistente. La produzione di energia elettrica attesa per l’impianto di progetto è pari a 95,329 GWh annui.

2 RUMORE IN FASE DI CANTIERE

Nell'elaborato GE.BOV01.PD.D10 è stata trattata la problematica legata alla propagazione del rumore generato dai mezzi e dalle apparecchiature che rientrano nell'attività di cantiere relativa alla futura realizzazione dell'impianto eolico oggetto di studio.

Si riportano di seguito sinteticamente l'inquadramento, le assunzioni di lavoro, ed i risultati ottenuti utili ad una opportuna rappresentazione per lo studio delle vibrazioni.



Figura 1: inquadramento territoriale dell'area di progetto su ortofoto piana estratta da Google Earth.

2.1 Individuazione e scelta dei recettori

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

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

Negli elaborati di dettaglio già agli atti GE.BOV01.PD.IR.SIA01; GE.BOV01.PD.IR.SIA02;

GE.BOV01.PD.IR.SIA03; GE.BOV01.PD.IR.SIA04 è chiaramente illustrata e descritta la metodologia di individuazione dei ricettori considerati nel prescritto buffer dei 1000 m.

In prossimità dell'area di cantiere, sono stati individuate 15 strutture aventi caratteristiche di abitabilità e/o catastalmente identificate in categoria A e pertanto, sebbene a distanze ragguardevoli dalle sorgenti emissive, risultano essere le uniche strutture potenzialmente esposte alle emissioni acustiche derivanti dal funzionamento dei macchinari e dei mezzi di movimentazione che operano durante la fase di cantiere.

Tabella 1: Recettoti individuati

ID RECETTORE	WGS 84 33T Est [m]	WGS 84 33T Nord [m]	Quota [m]
R01	536783	4572170	213
R02	537062	4572068	226
R03	535161	4571396	232
R04	537625	4571429	230
R05	538118	4570272	216
R06	537604	4569760	227
R07	535410	4568990	300
R08	536668	4568721	257
R09	536996	4568731	253
R10	537132	4568755	251
R11	537864	4570025	220
R12	537429	4569463	236
R13	537427	4569222	240
R14	536811	4568994	250
R15	535160	4568556	302

E' in ogni caso importate sottolineare che sono stati considerati diversi scenari in fase di simulazione, in particolare quelli più gravosi che potessero avere un maggior apporto acustico sui recettori individuati. La tabella a seguire mostra la distanza intercorrente tra ciascuna turbina di progetto ed i recettori sensibili considerati. L'immagine a seguire ne identifica la posizione su stralcio di foto satellitare piana estratta da Google Earth insieme ad una rappresentazione schematica delle posizioni degli aerogeneratori in relazione ai recettori individuati di progetto e la prevista viabilità interna di cantiere (ivi compresi i raccordi alla viabilità esterna).

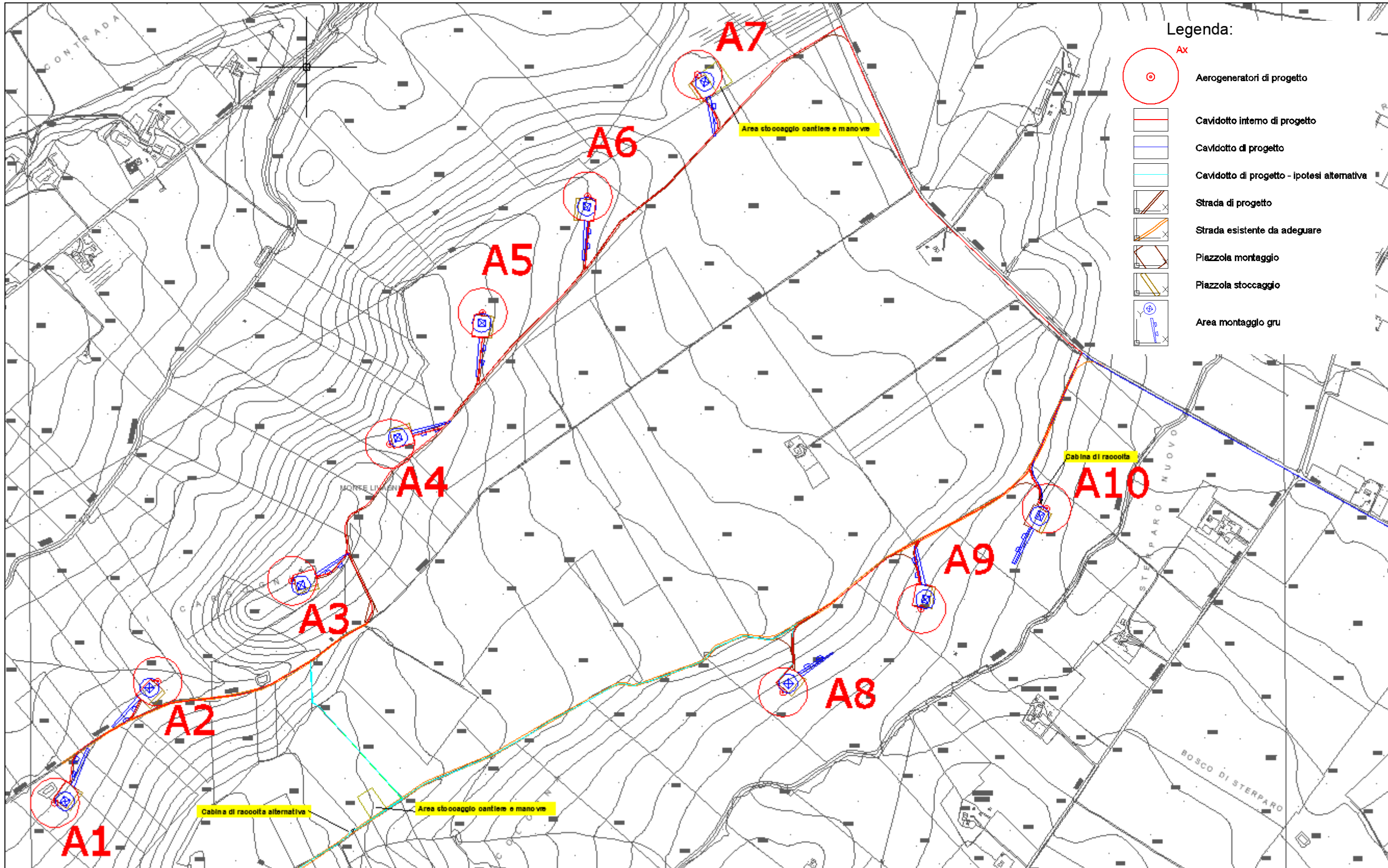
Tabella 2: Matrice delle distanze WTG/Recettori e coordinate dei recettori e delle turbine di progetto nel sistema UTM WGS 84 fuso 33. In rosso sono riportate le distanze dei recettori rispetto alla più vicina delle turbine di progetto.

	COORDINATE E MATRICE DISTANZE WTG / RECETTORI [m]										
	Aerogeneratore	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10
Recettore	Coordinate UTM WGS 84	534922	535157	535579	535848	536081	536373	536701	536933	537315	537632
		4569517	4569832	4570117	4570527	4570846	4571169	4571516	4569844	4570077	4570310
R01	536783 4572170	3241	2848	2380	1890	1499	1082	659	2331	2160	2045
R02	537062 4572068	3330	2937	2451	1962	1567	1133	660	2228	2007	1848
R03	535161 4571396	1894	1564	1346	1108	1072	1233	1545	2356	2526	2699
R04	537625 4571429	3311	2940	2431	1993	1650	1279	928	1729	1387	1119
R05	538118 4570272	3284	2994	2544	2284	2116	1962	1886	1260	826	487
R06	537604 4569760	2693	2448	2056	1916	1871	1871	1975	676	429	551
R07	535410 4568990	718	879	1140	1598	1974	2382	2837	1746	2193	2585
R08	536668 4568721	1919	1875	1771	1983	2205	2466	2795	1154	1502	1859
R09	536996 4568731	2218	2143	1982	2132	2304	2516	2801	1115	1383	1702
R10	537132 4568755	2338	2250	2066	2188	2340	2531	2794	1107	1335	1633
R11	537864 4570025	2986	2714	2287	2078	1963	1879	1891	948	551	367
R12	537429 4569463	2508	2302	1962	1906	1931	2006	2178	625	624	871
R13	537427 4569222	2522	2351	2053	2048	2109	2214	2406	794	862	1107
R14	536811 4568994	1960	1854	1667	1810	1991	2219	2524	859	1195	1551
R15	535160 4568556	990	1276	1616	2088	2468	2881	3337	2191	2638	3031

2.2 Aree di cantiere fisse e mobili

In riferimento all'elaborato GE.BOV01.PD.3.1.1. che descrive gli interventi a farsi nella fase di cantiere, è riportata nel paragrafo successivo un'immagine ortofotografica con la rappresentazione della viabilità di cantiere e dei principali interventi che interessano la stessa, sono anche indicate le piazzole degli aerogeneratori, le aree di stoccaggio e le aree di montaggio gru.

LAYOUT DI IMPIANTO CON VIABILITA' DI CANTIERE ED AREE DI LAVORO



LAYOUT DI IMPIANTO CON VIABILITA DI CANTIERE E RECETTORI

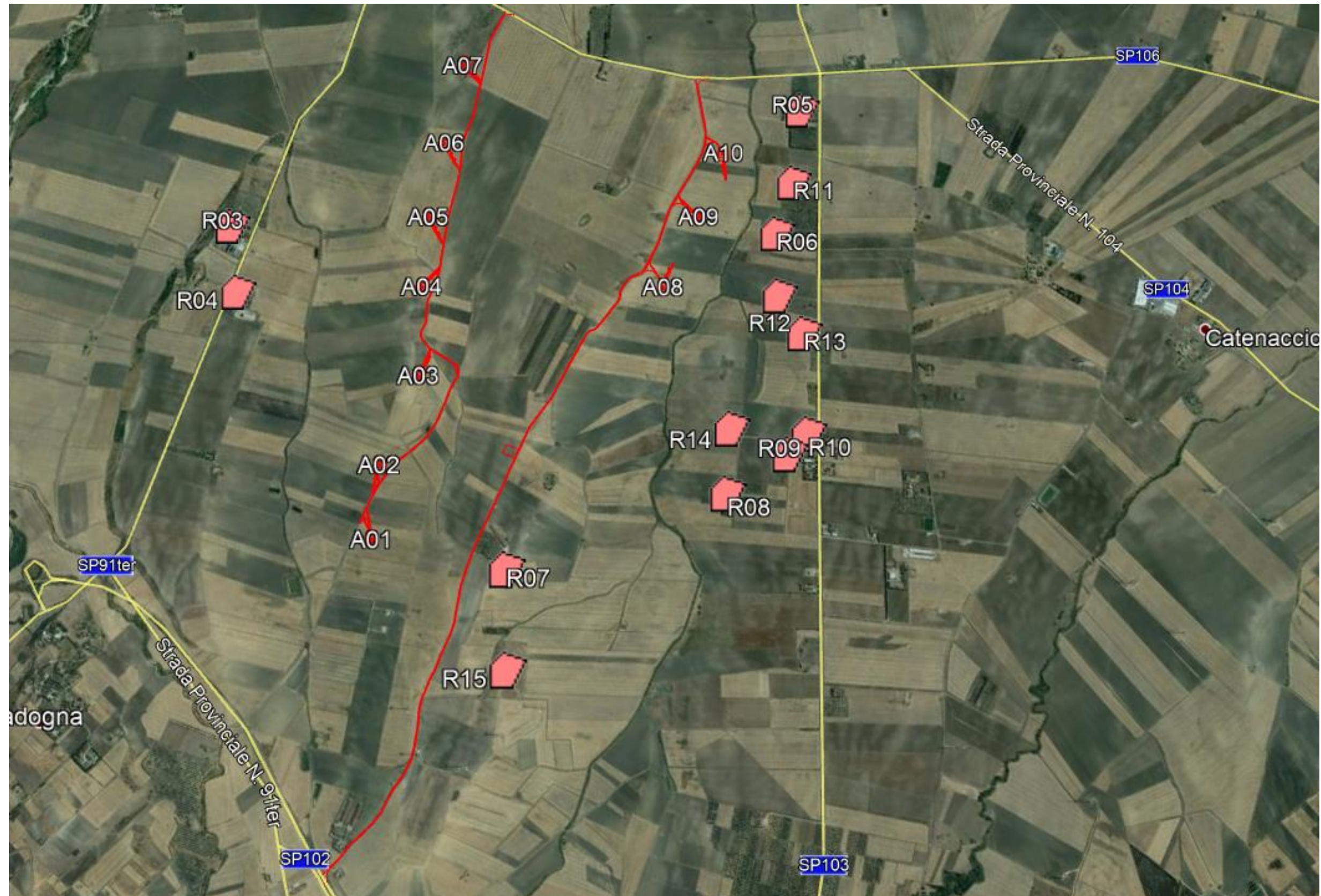


Figura 3: Layout di impianto e recettori individuati su immagine ortofotografica

2.3 Mezzi di cantiere

Per la stima previsionale del rumore in fase di cantiere, si sono utilizzati i dati forniti dal CFS (Centro per la Formazione e Sicurezza in edilizia) della provincia di Avellino, dall'ANCE e dal C.P.T. (Comitato Paritetico Territoriale per la Prevenzione Infortuni, l'Igiene e l'Ambiente di Lavoro) di Torino e Provincia. Per ogni tipologia di macchinario sono disponibili diverse schede relative a diversi modelli (es. 6 tipologie di autocarro, 4 tipologie di Autobetoniere, etc..). Data la dimensione e tipologia di cantiere assimilabile a grande opera, per le simulazioni del caso sono state scelti i modelli di macchina più grandi e maggiormente emissivi, al fine di ottenere simulazioni rappresentative di un "worst case" e maggiormente tutelante nei confronti dei recettori considerati. I livelli di emissione sonora prodotti da ogni singolo macchinario presente in cantiere durante le diverse fasi lavorative, nell'ambito delle simulazioni prodotte sono esposti nella tabella a seguire.

Tabella 3: - Livelli di emissione sonora dei macchinari di cantiere scelti per le simulazioni

Macchine ed attrezzi adoperati per simulazione scenari	Macchine a maggiore emissione tra le schede disponibili	Livello di Potenza Sonora [dB(A)]
Autocarro	Autocarro_Iveco_eurotrakker 410 [940-rpo]	103
Attrezzi manuali d'uso comune per lavorazioni in ferro	Da libreria	84
Escavatore	Escavatore_Amman Yanmar_vio25 [917-rpo]	112
Autocarro con GRU	Fiat Iveco Eurocargo Tector	121,8
Gruppo elettrogeno	Generatore_Gen Set_mg 5000 [958-rpo]	99
Rullo compattatore	Rullo compressore Dynapac_cc211 [977-rpo]	115
Trivellatrice	Da libreria	110
Apparecchi di sollevamento	Da libreria	86
Saldatrice elettrica	Da libreria	80
Smerigliatrice (flessibile portatile)	Smerigliatrice_Hilti_ag 230-s_ [931-rpo]	113
Attrezzi manuali di uso comune per lavorazioni in calcestruzzo	Da libreria	80
Autobetoniera	Autobetoniera_Volvo_fm 12-420 [947-rpo]	112
Autopompa	Putzmeister bsf2016	109,5
Vibratore	Verdini fast	117,3
Pala meccanica	Pala meccanica_New Holland_l170 [969-rpo]	109
Sega circolare	Sega circolare_nuova Camet_euro 350_ [908-rpo]	113

Macchine ed attrezzi adoperati per simulazione scenari	Macchine a maggiore emissione tra le schede disponibili	Livello di Potenza Sonora [dB(A)]
Attrezzi manuali d'uso comune per assemblaggi	Da libreria	85
Attrezzi manuali d'uso comune per smontaggi	Da libreria	85
Attrezzi manuali d'uso comune per scavi e movimentazioni	Da libreria	88
Tagliasfalto a disco	Imer e.c.d.group lux 450b	117,4
Attrezzi manuali d'uso comune per posa e taglio materiali	Da libreria	88
Minipala	Bob Cat s130	107,5
Caldaia semovente	Da libreria	100,2

In merito al posizionamento dei cantieri mobili, tutte le fasi di lavorazione interessano tutte le posizioni dei 10 aerogeneratori, ed i macchinari utilizzati nelle diverse fasi di lavorazione sono stati schematizzati come sorgenti puntiformi caratterizzate da valori di emissione forniti dalle schede tecniche. Due aree di stoccaggio sono previste vicino alla WTG A07 e a valle della WTG A08 (come mostrato nella figura seguente) e sono state schematizzate come "sorgenti area" che generano un'emissione con direttività 2D o 3D utile a simulare la presenza simultanea di più mezzi di movimentazione che effettuano operazioni di carico e scarico in contemporanea.

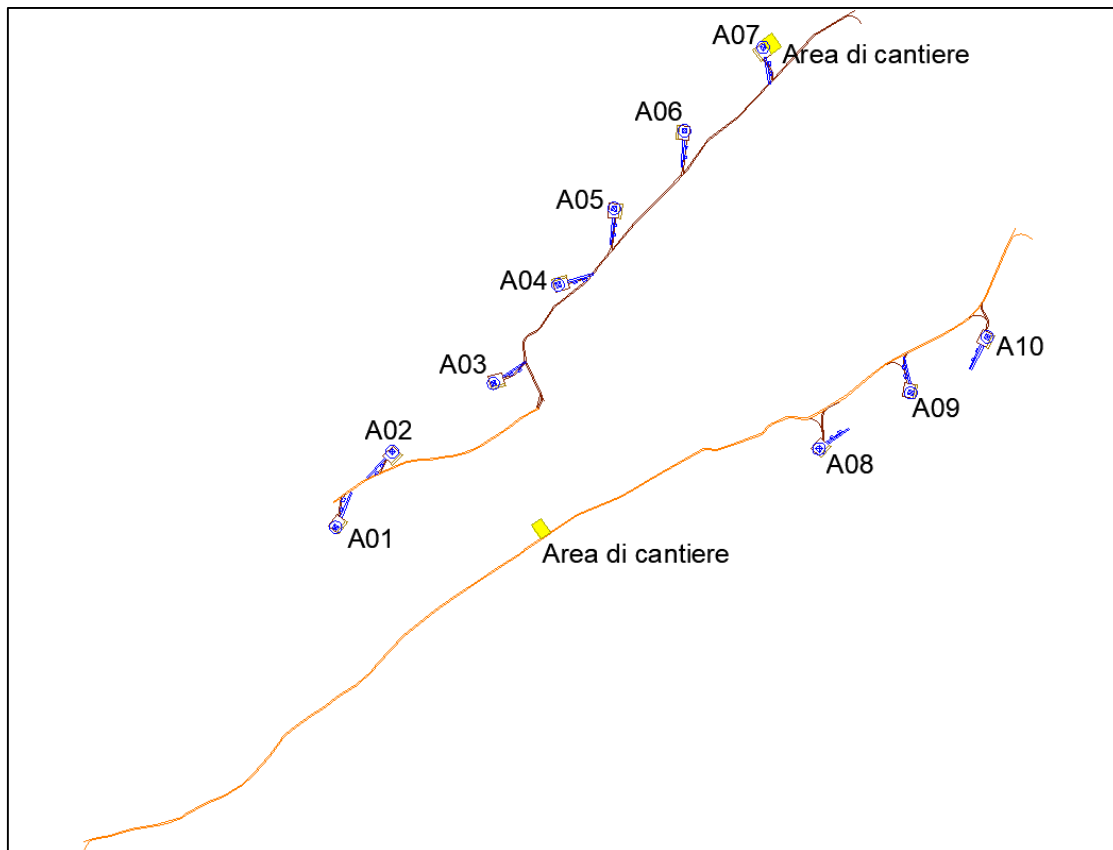



Figura 4: Schematizzazione dell'area di cantiere con dettaglio delle WTG di progetto, delle strade interne al

 TENPROJECT	IMPATTO ACUSTICO IN FASE DI CANTIERE IMPIANTO EOLICO BOVINO (FG)	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.BOV01.PD.D11 04/09/2019 16/09/2019 04 12 di 31
---	---	---	---


cantiere e delle aree temporanee di stoccaggio e movimentazione.

2.4 Metodologia

Per la stima previsionale di impatto acustico delle fasi ed aree di lavoro, sulla base della conoscenza effettiva della specificità del cantiere si sono individuate le principali fasi di lavorazione che coinvolgono l'utilizzo dei diversi macchinari. Le fasi di lavorazione individuate sono 20 e sono dettagliate nella tabella a seguire:

Tabella 4: Fasi di lavorazione del cantiere per la costruzione della windfarm

Fase di lavoro	Descrizione
Fase 1	Allestimento del cantiere mediante realizzazione recinzione, vie di circolazione e presidi di cantiere
Fase 2	Scotico del terreno e scavo di sbancamento per realizzazione di strade e piazzole
Fase 3	Realizzazione di rilevati e massicciata stradale per strade e piazzole.
	Riempimenti – Livellamenti per creazione piano di stazione
Fase 4	Scavi di fondazione eseguiti con scavatore
Fase 5	Trivellazioni per esecuzione pali di fondazione
Fase 6	Posa delle gabbie dei pali presagomate - Getto di calcestruzzo con autobetoniera
Fase 7	Fondazioni – Preparazione del piano
Fase 8	Montaggio casseraura per plinti
Fase 9	Posa armature presagomate
Fase 10	Posa dell'anchor cage
Fase 11	Getto del calcestruzzo con autobetoniera e autopompa
Fase 12	Disarmi e pulizie del plinto
Fase 13	Rinterri del plinto
Fase 14	Montaggio aerogeneratore – torri – rotori - navicella
Fase 15	Taglio dell'asfalto con tagliasfalto a disco
Fase 16	Scavi a sezione ristretta per realizzazione cavidotto
Fase 17	Realizzazione cavidotti – posa tubazioni
Fase 18	Realizzazione cavidotti – rinterri
Fase 19	Realizzazione cavidotti – finitura e asfaltatura
Fase 20	Ripristino stato dei luoghi

 TENPROJECT	IMPATTO ACUSTICO IN FASE DI CANTIERE IMPIANTO EOLICO BOVINO (FG)	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.BOV01.PD.D11 04/09/2019 16/09/2019 04 13 di 31
---	---	---	---

L'approccio utilizzato, ha previsto due step principali, riassumibili come segue:

Primo step: simulazione e propagazione delle singole fasi di lavorazione con output di valori di immissione a distanze fisse dai cantieri mobili sino a 300 m (utilizzo del modulo DECIBEL di WindPro).

Secondo step: generazione di mappe acustiche relative a scenari di lavorazione del cantiere particolarmente complessi e gravosi con rappresentazione delle curve isolivello e valori attesi ai recettori (utilizzo del software SounPLAN Essential 4.1).

2.5 Risultati fase di cantiere


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

Tali simulazioni sono importanti per rendere espliciti gli impatti delle singole fasi di lavorazione a partire da un qualunque punto interno all'area di cantiere e sono riportate in dettaglio nell'elaborato GE.BOV01.PD. D10,

Ai fini di valutare l'impatto sui recettori interessati sono state ipotizzati degli scenari di lavorazione con fasi contemporanee, eseguite simulazioni specifiche, e generate delle mappe acustiche con assunzioni particolarmente gravose ed alti fattori di contemporaneità i cui risultati grafici sono riportati in dettaglio nell'elaborato GE.BOV01.PD.D10:

- **Scenario mappa acustica 1:**
 - Generica fase distribuita sull'area che prevede l'ipotesi di circolazione di 10 mezzi pesanti all'ora e la presenza delle 2 aree di stoccaggio temporanee.
 - FASE 1 presso la WTG A01;
 - FASE 2 presso le WTG A04 e WTG A05;
 - FASE 3 (la più emissiva) presso le WTG A09 e WTG A10 che risultano le più vicine ai recettori;
 - FASE 4 presso le WTG A06 e WTG A07

- **Scenario mappa acustica 2:**
 - Generica fase distribuita sull'area che prevede l'ipotesi di circolazione di 10 mezzi pesanti all'ora e la presenza delle 2 aree di stoccaggio temporanee.
 - FASE 5 presso la WTG A02
 - FASE 6 presso la WTG A03
 - FASE 7 (la più emissiva) presso la WTG A10 che risulta essere la più vicina a uno dei

 TENPROJECT	IMPATTO ACUSTICO IN FASE DI CANTIERE IMPIANTO EOLICO BOVINO (FG)	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.BOV01.PD.D11 04/09/2019 16/09/2019 04 14 di 31
---	---	---	---

recettori individuati.

- FASE 8 presso la WTG A08
 - FASE 9 presso la WTG A01
 - FASE 10 presso la WTG A04
 - FASE 11 presso la WTG A05
 - FASE 12 presso la WTG A06
 - FASE 13 presso la WTG A07
- **Scenario mappa acustica 3:**
 - Generica fase distribuita sull'area che prevede l'ipotesi di circolazione di 10 mezzi pesanti all'ora e la presenza delle 2 aree di stoccaggio temporanee.
 - FASE 14 presso la WTG A08
 - FASE 15 (la più emissiva) presso la WTG A10 che risulta essere la più vicina a uno dei recettori individuati.
 - FASE 16 presso la WTG A09
 - FASE 17 presso la WTG A04
 - FASE 18 presso la WTG A07
 - FASE 19 presso la WTG A06

2.6 Stima previsionale ai recettori del rumore in fase di cantiere

Si riportano di seguito i risultati delle elaborazioni desunte dal modello di calcolo SoundPLAN 4.1 proposti in forma tabellare per i tre scenari descritti precedentemente. Le mappe acustiche sono riportate nell'elaborato GE.BOV01.PD.D10

Tabella 5: Tabella riepilogativa dei risultati delle elaborazioni ed evidenza dei valori attesi ai ricettori/ricevitori individuati.


SIMULAZIONE 1											
ID RICEVITORE	Coordinate WGS 84 33T		Lato Edificio	Piano	Altezza	Limite		Livello		Superamento dei Limiti	
	X	Y				Giorno	Notte	Giorno	Notte	Giorno	Notte
	[m]	[m]			[m]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB]	[dB]
R01	536783	4572170	Sud Ovest	1Fl	213	70	60	53,2	-	-	-
R02	537062	4572068	Sud Ovest	1Fl	226	70	60	47,4	-	-	-
R03	535161	4571396	Sud Est	1Fl	232	70	60	47,6	-	-	-
R04	537625	4571429	Sud Est	1Fl	230	70	60	44,6	-	-	-
R05	538118	4570272	Nord Ovest	1Fl	216	70	60	49,7	-	-	-
R06	537604	4569760	Nord Ovest	1Fl	227	70	60	51,4	-	-	-
R07	535410	4568990	Nord Ovest	1Fl	300	70	60	47,2	-	-	-
R08	536668	4568721	Nord Ovest	1Fl	257	70	60	40,2	-	-	-
R09	536996	4568731	Nord Ovest	1Fl	253	70	60	40,1	-	-	-
R10	537132	4568755	Nord Ovest	1Fl	251	70	60	40,5	-	-	-
R11	537864	4570025	Nord Ovest	1Fl	220	70	60	52,1	-	-	-
R12	537429	4569463	Nord Ovest	1Fl	236	70	60	47,6	-	-	-
R13	537427	4569222	Nord Ovest	1Fl	240	70	60	44,4	-	-	-
R14	536811	4568994	Nord Ovest	1Fl	250	70	60	42	-	-	-
R15	535160	4568556	Nord Est	1Fl	302	70	60	42,4	-	-	-

SIMULAZIONE 2											
ID RICEVITORE	Coordinate WGS 84 33T		Lato Edificio	Piano	Altezza	Limite		Livello		Superamento dei Limiti	
	X	Y				Giorno	Notte	Giorno	Notte	Giorno	Notte
	[m]	[m]			[m]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB]	[dB]
R01	536783	4572170	Sud Ovest	1Fl	213	70	60	53	-	-	-
R02	537062	4572068	Sud Ovest	1Fl	226	70	60	46,5	-	-	-
R03	535161	4571396	Sud Est	1Fl	232	70	60	46,6	-	-	-
R04	537625	4571429	Sud Est	1Fl	230	70	60	42,7	-	-	-
R05	538118	4570272	Nord Ovest	1Fl	216	70	60	50,1	-	-	-
R06	537604	4569760	Nord Ovest	1Fl	227	70	60	49,5	-	-	-
R07	535410	4568990	Nord Ovest	1Fl	300	70	60	42,9	-	-	-
R08	536668	4568721	Nord Ovest	1Fl	257	70	60	39	-	-	-
R09	536996	4568731	Nord Ovest	1Fl	253	70	60	38,9	-	-	-
R10	537132	4568755	Nord Ovest	1Fl	251	70	60	39,4	-	-	-
R11	537864	4570025	Nord Ovest	1Fl	220	70	60	51,8	-	-	-
R12	537429	4569463	Nord Ovest	1Fl	236	70	60	45,9	-	-	-
R13	537427	4569222	Nord Ovest	1Fl	240	70	60	43	-	-	-
R14	536811	4568994	Nord Ovest	1Fl	250	70	60	41,4	-	-	-
R15	535160	4568556	Nord Est	1Fl	302	70	60	37,4	-	-	-

SIMULAZIONE 3											
ID RICEVITORE	Coordinate WGS 84 33T		Lato Edificio	Piano	Altezza	Limite		Livello		Superamento dei Limiti	
	X	Y				Giorno	Notte	Giorno	Notte	Giorno	Notte
	[m]	[m]			[m]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB]	[dB]
R01	536783	4572170	Sud Ovest	1FI	213	70	60	52,8	-	-	-
R02	537062	4572068	Sud Ovest	1FI	226	70	60	45,8	-	-	-
R03	535161	4571396	Sud Est	1FI	232	70	60	46,0	-	-	-
R04	537625	4571429	Sud Est	1FI	230	70	60	37	-	-	-
R05	538118	4570272	Nord Ovest	1FI	216	70	60	52,6	-	-	-
R06	537604	4569760	Nord Ovest	1FI	227	70	60	53,8	-	-	-
R07	535410	4568990	Nord Ovest	1FI	300	70	60	39	-	-	-
R08	536668	4568721	Nord Ovest	1FI	257	70	60	42,2	-	-	-
R09	536996	4568731	Nord Ovest	1FI	253	70	60	42,7	-	-	-
R10	537132	4568755	Nord Ovest	1FI	251	70	60	43,3	-	-	-
R11	537864	4570025	Nord Ovest	1FI	220	70	60	55,1	-	-	-
R12	537429	4569463	Nord Ovest	1FI	236	70	60	50,8	-	-	-
R13	537427	4569222	Nord Ovest	1FI	240	70	60	47,6	-	-	-
R14	536811	4568994	Nord Ovest	1FI	250	70	60	45,5	-	-	-
R15	535160	4568556	Nord Est	1FI	302	70	60	36,1	-	-	-

*1FI = First floor – primo piano

Le tabelle proposte mostrano i valori numerici della massima pressione sonora stimata ed attesa ai ricettori/ricevitori nel periodo di riferimento diurno (periodo di reale attività di cantiere) ottenuti dall'elaborazione con il software SoundPLAN. In tabella è evidenziato anche il confronto con i limiti prestabiliti e fissati di 60 e 70 dB(A) validi per tutto il territorio nazionale ed è evidenziato, in rosso, il massimo valore di pressione sonora riscontrato. Le tabelle a seguire invece mostrano i contributi in termini di massima pressione sonora che ciascuna sorgente, tra cui anche le strade di cantiere e le strade circostanti, apportano al recettore maggiormente esposto. I risultati ottenuti dimostrano come la rumorosità prodotta dal cantiere, data la discreta distanza che intercorre tra il cantiere e la maggior parte degli edifici presenti attualmente o previsti nell'area, non provoca superamenti dei valori limite di emissione e di immissione assoluta presso i ricettori abitativi. Ciò chiaramente, se da una parte non esclude che in alcuni periodi della giornata possano comunque essere effettuate lavorazioni ed operazioni che possono comportare momentanei superamenti dei valori limite di zona, dall'altra garantisce che non si dovrebbero comunque evidenziare superamenti dei valori limite relativi all'intero periodo di riferimento diurno (dalle ore 6.00 alle ore 22.00), se non per le aree poste nelle immediate vicinanze del cantiere stesso. Sono fatti salvi in ogni caso gli orari di lavoro giornaliero consentiti dalla Legge Regionale n. 3 del 12/02/2002 che per le emissioni sonore provenienti da cantieri edili sono fissati dalle 7.00 alle 12.00 e dalle 15.00 alle 19.00, fermo restando la conformità alla normativa della Unione Europea dei macchinari utilizzati e il ricorso a tutte le misure necessarie a ridurre il disturbo, e salvo deroghe autorizzate dal Comune. Il Comune interessato infatti, sentita la ASL competente, può concedere deroghe su richiesta scritta e motivata, prescrivendo comunque che siano adottate tutte le misure necessarie a ridurre il rumore emesso. Il limite di immissione assoluto previsto in fase di massima

 TENPROJECT	IMPATTO ACUSTICO IN FASE DI CANTIERE IMPIANTO EOLICO BOVINO (FG)	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.BOV01.PD.D11 04/09/2019 16/09/2019 04 17 di 31
---	---	---	---

emissione di rumore di cantiere, risulta pertanto rispettato presso tutti i recettori sensibili individuati.

3 VIBRAZIONI

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

3.1 Definizioni e nozioni generali (fonte ISPRA)

- Le vibrazioni sono oscillazioni meccaniche generate da onde di pressione che si trasmettono attraverso i corpi ovvero è definito vibrazione un fenomeno ondulatorio, generalmente a bassa frequenza, trasmesso attraverso un mezzo solido, liquido o gassoso. Una vibrazione è costituita da una fluttuazione rapida intorno ad una posizione di equilibrio; il movimento netto dell'elemento posto in vibrazione è quindi nullo.
- L'oscillazione è il movimento che un punto mobile compie per ritornare alla posizione di partenza.
- Il tempo che intercorre tra due passaggi nel punto di equilibrio (o punto di partenza) è detto periodo (o ciclo).
- Il numero di periodi al secondo costituisce la frequenza di una vibrazione, espressa in Hertz (Hz).
- In funzione degli effetti fisiopatologici sull'uomo le vibrazioni sono suddivise in tre principali bande di frequenza:
 - 0-2 Hz: oscillazioni a bassa frequenza, generate dai mezzi di trasporto (terrestri aerei, marittimi)
 - 2-20 Hz: oscillazioni a media frequenza, generate da macchine ed impianti industriali
 - > 20-30 Hz: oscillazioni ad alta frequenza, generate da una gamma ampia di strumenti vibranti diffusi in ambito industriale.
- Le vibrazioni sono caratterizzate inoltre da tre ulteriori parametri: l'ampiezza, la velocità e l'accelerazione dello spostamento
- Un'Onda è una perturbazione di tipo elastico che si propaga da un punto ad un altro attraversando un materiale oppure sulla superficie dello stesso anche se non è implicito il suo spostamento definitivo. Le onde si distinguono pertanto in onde di volume ed onde di superficie.

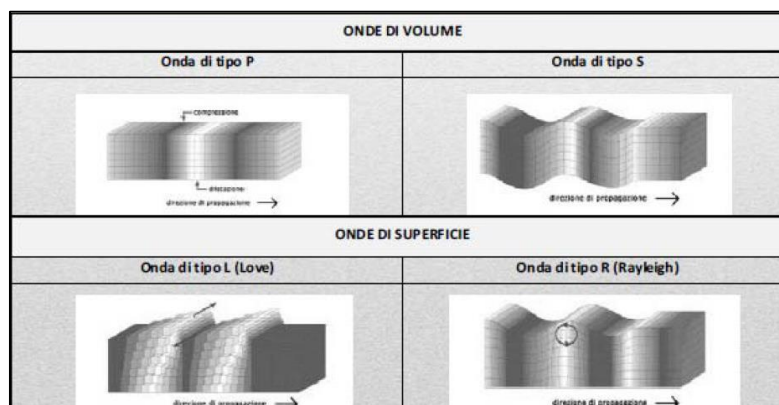


Figura 5: Differenti tipologie di Onde di Volume e Superficie

Tra quelle esistenti, le più veloci sono le Onde di Compressione, mentre le Onde di Taglio e di Superficie decadono più lentamente con la distanza.

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

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

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

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

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

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

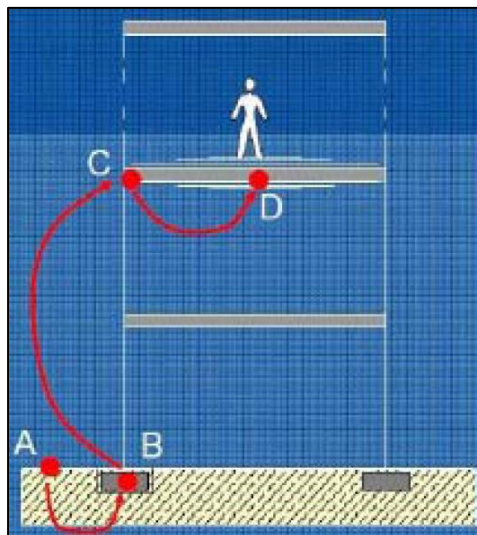


Figura 6: Schematizzazione semplificata della propagazione delle vibrazioni nel sistema terreno-edificio

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

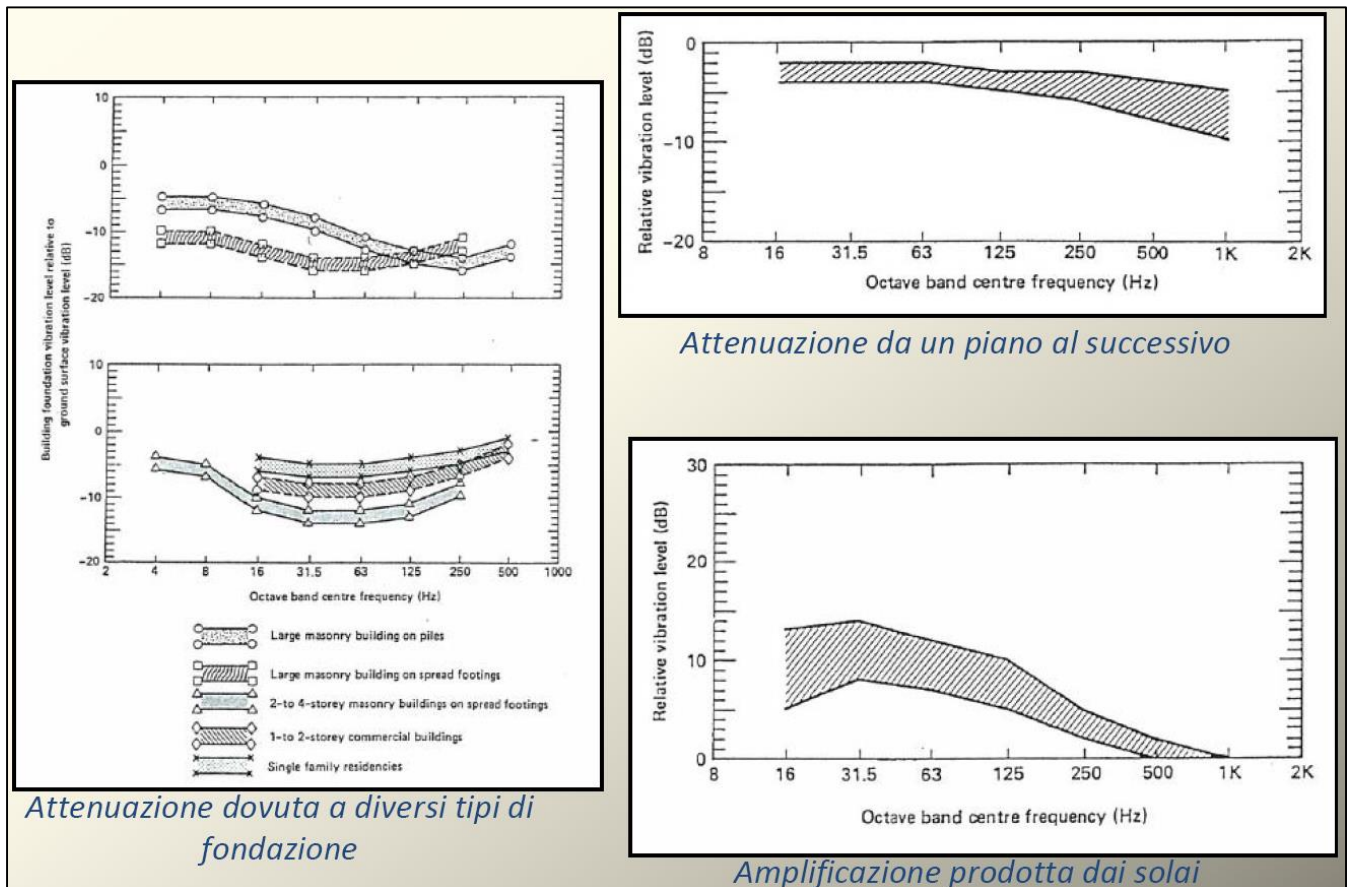


Figura 7: Esempi di Attenuazione/Amplificazione dei fenomeni vibratorii/oscillatori nei differenti elementi

3.2 Normativa di riferimento

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


Esposizione Umana:

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

Danni ad edifici:

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

Le aree di cantiere per la realizzazione di impianti eolici, e le tematiche ad esse relative oggetto di tale relazione, interessano solitamente suoli e zone a carattere quasi esclusivamente di tipo rurale localizzate e pertanto in luoghi ove la presenza di strutture ed edifici è solitamente scarsa, poco concentrata e costituita per lo più da fabbricati per il ricovero di mezzi agricoli o, in casi meno frequenti, da strutture abitative di altezza comunque contenuta (max 2-3 piani) e le cui distanze, anche nell'ottica

 TENPROJECT	IMPATTO ACUSTICO IN FASE DI CANTIERE IMPIANTO EOLICO BOVINO (FG)	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.BOV01.PD.D11 04/09/2019 16/09/2019 04 21 di 31
---	---	---	---

del rispetto dei requisiti di impatto acustico per la realizzazione delle turbine, risulta quasi sempre non inferiore i 200-300 m in linea d'aria.

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

3.3 Vibrazione ed aree di cantiere per la realizzazione di impianti eolici


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

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

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

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

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

 TENPROJECT	IMPATTO ACUSTICO IN FASE DI CANTIERE IMPIANTO EOLICO BOVINO (FG)	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.BOV01.PD.D11 04/09/2019 16/09/2019 04 22 di 31
---	---	---	---

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

3.4 Caso studio e parametri di trasmissione delle vibrazioni

Le vibrazioni possono essere valutate in tre diverse modalità:

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

Si utilizza o il valore di picco (PPV peak particle velocity) definito come il picco massimo istantaneo positivo o negativo del segnale di vibrazione: tale grandezza è utile per valutare i danni potenziali agli edifici ma non è adeguata per valutare la risposta umana.

La grandezza collegata alla risposta umana alle vibrazioni è il valore efficace della velocità (RMS), definito come la radice quadrata della media della velocità istantanea al quadrato.

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

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

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

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


In particolare il livello dell'accelerazione L_A è definito come:

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

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

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

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

 TENPROJECT	IMPATTO ACUSTICO IN FASE DI CANTIERE IMPIANTO EOLICO BOVINO (FG)	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.BOV01.PD.D11 04/09/2019 16/09/2019 04 24 di 31
---	---	---	---

1. Sorgenti e modalità operative:

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

2. Fattori Geologici:

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

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

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

Gli edifici subiscono effetti che si possono classificare in una scala da non percepibili (livelli di vibrazione bassi), a suoni a bassa frequenza e vibrazioni percepibili (livelli di vibrazione medi) fino a livelli tali da provocare danni alle strutture. Devono essere infine assegnata una classificazione di sensibilità dei recettori adiacenti alle sorgenti. Le classi di sensibilità devono essere definite sulla base della destinazione d'uso dell'immobile, in conformità con la Norma UNI 9614, prescindendo da considerazioni delle caratteristiche dei singoli fabbricati quali, ad esempio, lo stato di conservazione e la tipologia costruttiva dell'immobile. Nella tabella a seguire sono evidenziate le classi di sensibilità:

Tabella 6: - Classe di sensibilità in base delle diverse destinazioni d'uso delle aree ed edifici

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

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

precisione.

3.5 Modello previsionale

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

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

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

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

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

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

Il coefficiente di assorbimento α segue quindi la legge di variazione lineare come:

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

dove:

η rappresenta il fattore di perdita del terreno e

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

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

(rocciosi) con trasmissioni a basse frequenze.

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

Tabella 7: Velocità di propagazione delle onde longitudinali e fattore di perdita per le differenti tipologie di substrato litologico

Tipologia di substrato	Velocità di propagazione onda longitudinale [m/s]	Fattore di perdita [η]	Massa volumica [g/cm ³]
Roccioso	3500	0,01	0,1285
Sabbioso	600	0,10	0,0833
Argilloso	1500	0,50	0,0903

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

3.1 Rischio del danno a strutture ed edifici

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

- 5 mm/s per edifici residenziali (vibrazioni durature);
- 2.5 mm/s per edifici storici estremamente fragili (vibrazioni durature);

Tali valori rappresentano i limiti più cautelativi noti in letteratura

Essi sono generalmente più elevati di quelli derivanti dal non disturbo alle persone. Solo in presenza di un fattore di cresta molto elevato, maggiore di 18 dB, potrebbe infatti verificarsi il caso di superamento del limite di danno strutturale senza che si verifichi il superamento del limite di disturbo alle persone.

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

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

La circostanza in oggetto risulta però altamente improbabile tanto che è possibile assumere che il

 TENPROJECT	IMPATTO ACUSTICO IN FASE DI CANTIERE IMPIANTO EOLICO BOVINO (FG)	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.BOV01.PD.D11 04/09/2019 16/09/2019 04 27 di 31
---	---	---	---

rispetto dei limiti di non-disturbo alle persone, fornisce sufficienti garanzie (e quindi necessariamente implica) di non avere effetti dannosi per le strutture edilizie.

3.2 Rischio Esposizione Umana – Rischio Disturbo

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

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

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


Tabella 8: Valutazione del disturbo UNI 9614 - Valori e livelli limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza

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

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

3.3 Fase di esercizio

Le fonti di rumore e vibrazione emesse da una turbina eolica sono essenzialmente di natura aerodinamica, (causate dall'interazione tra il vento e le pale), meccanica (generate dagli attriti meccanici dei componenti del rotore e del sistema di trasmissione del generatore) e cinetica (generate dalle

 TENPROJECT	IMPATTO ACUSTICO IN FASE DI CANTIERE IMPIANTO EOLICO BOVINO (FG)	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.BOV01.PD.D11 04/09/2019 16/09/2019 04 28 di 31
---	---	---	---

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

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

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

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

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

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

3.4 Fase di cantiere

Per quanto concerne le fasi di cantiere per la costruzione di impianti eolici, non è in generale previsto

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

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

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 9: 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

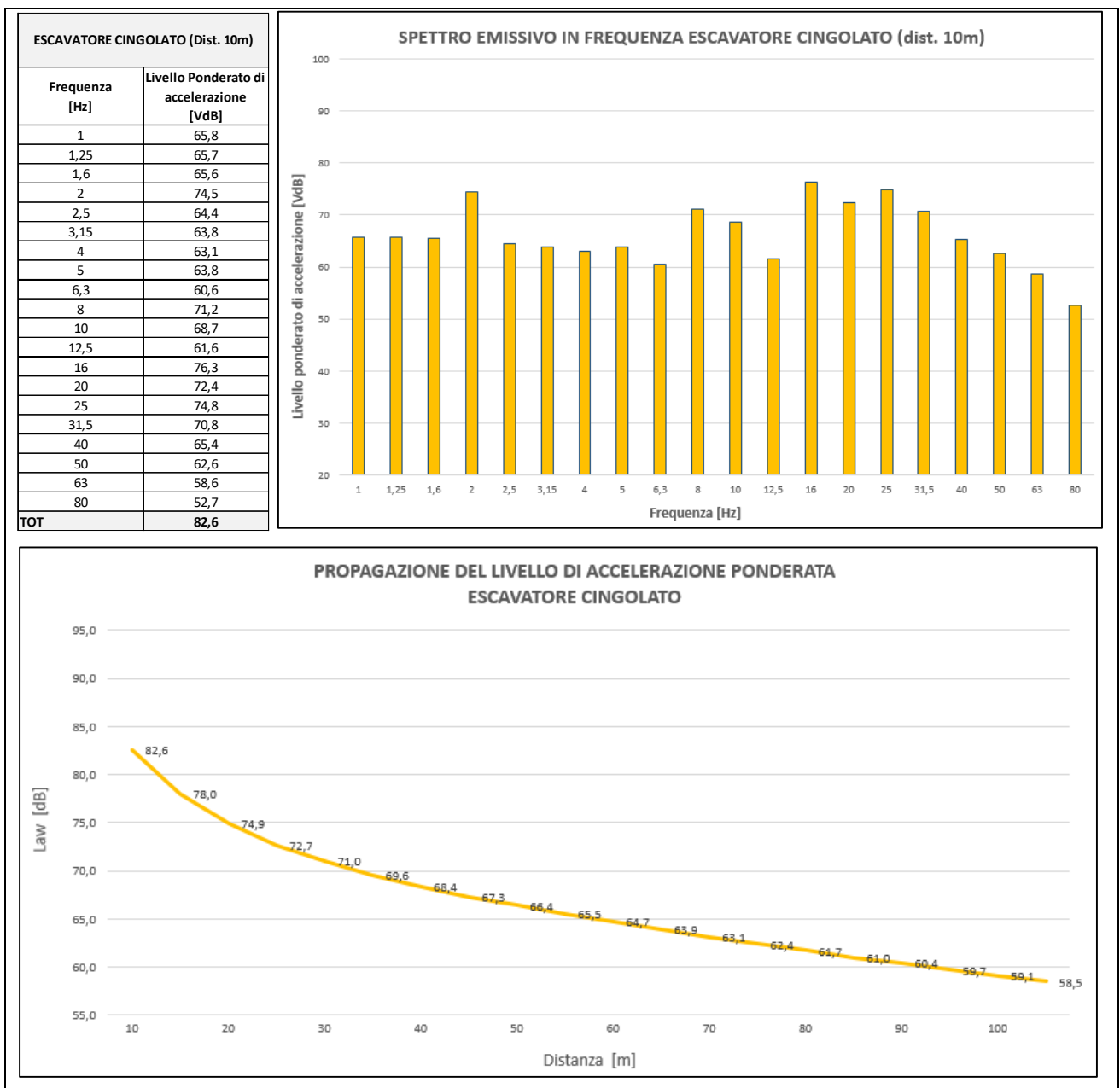



Figura 8: Spettro emissivo in frequenza e andamento grafico della propagazione in funzione della distanza

 TENPROJECT	IMPATTO ACUSTICO IN FASE DI CANTIERE IMPIANTO EOLICO BOVINO (FG)	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.BOV01.PD.D11 04/09/2019 16/09/2019 04 31 di 31
---	---	---	---

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.

3.5 CONCLUSIONI

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

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

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

Tutte le elaborazioni ed i risultati ottenuti rimangono validi per la possibile alternativa progettuale (alternativa 1) che prevede l'installazione di sole 7 macchine lungo l'unica fila a NO. Tale ipotesi prevede infatti un ridimensionamento dell'area di cantiere e della viabilità interna, e gran parte dei recettori non risulterebbero più interessati dalle immissioni sonore delle limitrofe turbine escluse nella nuova ipotesi progettuale. Tanto detto rimane valido anche per la fase di esercizio dell'impianto in quanto l'alternativa progettuale prevede appunto l'installazione di un numero inferiore di aerogeneratori con emissioni sonore comparabili o leggermente inferiori.