

REGIONI PUGLIA e CAMPANIA
Province di Avellino
COMUNI DI Andretta (AV) – Bisaccia (AV)

PROGETTO

POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA



PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE:

ERG Wind 4



PROGETTISTA:



GOLDER
Via Sante Berghellini, 4
00157 - Roma (RM)

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

OGGETTO DELL'ELABORATO:
ALLEGATO 7

STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI



CODICE PROGETTISTA	DATA	SCALA	FOGLIO	FORMATO	CODICE DOCUMENTO				
					IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.
	06/2020	/	1 di 34	A4	BIS	ENG	REL	0036	00

NOME FILE: BIS.ENG.REL.0036.00.doc

G Wind 4 2 S.r.l. si riserva tutti i diritti su questo documento che non può essere riprodotto neppure parzialmente senza la sua autorizzazione scritta.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	2
BIS	ENG	REL	0036	00		

Storia delle revisioni del documento

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	06/2020	PRIMA EMISSIONE	TP	LSP	VBR

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	3
BIS	ENG	REL	0036	00		

INDICE

1. PREMESSA	4
1.1 DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO	4
1.2 INDIVIDUAZIONE E SCELTA DEI RECETTORI	11
2. CENNI TEORICI SULLE VIBRAZIONI	17
2.1 DEFINIZIONI E NOZIONI GENERALI (FONTE ISPRA)	17
2.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	19
2.3 CASO STUDIO E PARAMETRI DI TRASMISSIONE DELLE VIBRAZIONI	20
2.4 MODELLO PREVISIONALE	22
2.5 RISCHIO DEL DANNO A STRUTTURE ED EDIFICI	23
2.6 RISCHIO ESPOSIZIONE UMANA – RISCHIO DISTURBO	24
2.7 VIBRAZIONE ED AREE DI CANTIERE PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTI EOLICI	25
2.8 VIBRAZIONI DI IMPIANTI EOLICI IN FASE DI ESERCIZIO	26
3. STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI ESERCIZIO	27
4. STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI CANTIERE	30
5. CONCLUSIONI	33
BIBLIOGRAFIA	34

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	4
BIS	ENG	REL	0036	00		

1. PREMESSA

In riscontro alle richieste di integrazione pervenute alla società proponente dell'iniziativa progettuale di Repowering relativa al progetto di potenziamento del parco eolico previsto nei Andretta (AV) e Bisaccia (AV) e con opere di connessione ricadenti nel comune di Bisaccia (AV), il presente elaborato ha lo scopo di valutare e relazionare circa il contributo in termini di vibrazioni indotte in fase di esercizio della nuova windfarm riconfigurata a seguito della dismissione delle turbine attualmente in esercizio.

In ottemperanza alle più ampie prescrizioni, la valutazione della componente vibrazioni sarà trattato nel dettaglio anche in relazione alla fase di cantiere che sottende al progetto in questione.

1.1 Descrizione sintetica del progetto

Il progetto in essere prevede il "repowering" del parco eolico di Andretta (AV) e di Bisaccia (AV) in Regione Campania, con relative opere di connessione che si sviluppano nei suddetti comuni. Per "repowering" eolico si intende la dismissione di vecchi impianti e sostituzione degli aerogeneratori mediante integrale ricostruzione di un nuovo impianto con nuove turbine eoliche più performanti.

Gli impianti in questione sono di proprietà di società del Gruppo ERG Wind 4 Srl.

Nello specifico, l'impianto di Andretta - Bisaccia è composto da 47 aerogeneratori tripala modello Vestas V-47, con torre tralicciata, di cui n.30 con potenza nominale pari a 0,66 MW e n.17 con potenza nominale pari a 0,60 MW, per una potenza complessiva di 30 MW.

L'impianto, attualmente in esercizio, è collegato tramite cavidotti interrati all'esistente stazione elettrica di trasformazione 150/20 kV "Bisaccia" ubicata nell'omonimo Comune.

Il presente progetto consisterà dunque in:

- dismissione dei 47 aerogeneratori esistenti dell'impianto di Andretta - Bisaccia (potenza in dismissione pari a 30 MW) e delle relative opere accessorie, oltre che nella rimozione dei cavidotti attualmente in esercizio;
- realizzazione nelle stesse aree di un nuovo impianto eolico costituito da 14 aerogeneratori e relative opere accessorie per una potenza complessiva di 63 MW. In particolare, l'impianto sarà costituito da aerogeneratori della potenza unitaria di 4,5 MW, diametro del rotore massimo di 150 m ed altezza massima complessiva di 180 m.

Visto l'incremento di potenza atteso al termine degli interventi di repowering (circa 33 MW di differenza tra l'impianto esistente in dismissione e la wind farm di progetto) il nuovo impianto si collegherà presso una sottostazione elettrica di nuova realizzazione, ubicata sempre Comune di Bisaccia (AV), ma nelle immediate vicinanze dell'esistente sottostazione 380/150 kV Terna.

I modelli di turbina previsti in sostituzione delle dismesse sono attualmente ancora al vaglio nella scelta tra le differenti tipologie in virtù di quanto autorizzato per le collocazioni nei territori comunali interessati.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	5
BIS	ENG	REL	0036	00		

Le caratteristiche dimensionali massime delle turbine di progetto sono sintetizzate nella tabella a seguire.

Tabella 1: caratteristiche dimensionali massime degli aerogeneratori di progetto

IMPIANTO	Max TIP [m]	Diametro rotore massimo [m]	Potenza massima del singolo aerogeneratore [MW]
ANDRETTA/BISACCIA	180	150	4,5

Per la realizzazione dell'impianto si prenderanno in considerazione modelli di aerogeneratori con caratteristiche geometriche e di potenza simili a quelle riportate in tabella e comunque che non eccedono i valori indicati. Tra gli aerogeneratori oggi presenti sul mercato si possono annoverare diversi modelli di produttori quali Siemes-Gamesa, Nordex e Vestas

Nello specifico sono oggetto di valutazione i seguenti modelli di aerogeneratore:

- SIEMENS SG145 4.5 HH107.5:
- NORDEX N149 4.5 HH105:
- VESTAS V150 4.2 HH105:

Nel caso in oggetto, trattandosi di una valutazione per la stima dell'impatto associato alla propagazione delle vibrazioni che il progetto nel suo complesso può apportare ai recettori individuati, non essendo ancora stato scelto il modello di aerogeneratore previsto per i due siti di installazione, in tale studio saranno considerati i valori più elevati di emissione vibrazionale al fine di validare i risultati ottenuti con un adeguato livello di sicurezza.

Il layout definitivo prevede quindi la rimozione di 47 aerogeneratori di tipo "a traliccio" per una potenza complessiva pari a 30 MW in sostituzione dei quali è prevista l'installazione di soli 14 aerogeneratori per una potenza totale di impianto pari a 63 MW. Le tabelle a seguire individuano le coordinate delle turbine oggetto di dismissione e a seguire le coordinate di inquadramento dei punti di futura installazione degli aerogeneratori di progetto.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	6
BIS	ENG	REL	0036	00		

Tabella 2: Coordinate di inquadramento geografico di tutti gli aerogeneratori di prossima dismissione oggetto di Repowering. L'indicazione BS individua le turbine di Bisaccia mentre con AD sono individuate le turbine in Andretta.

ID WTG	Long. Est WGS 84 [m]	Lat. Nord WGS 84 [m]	Altitudine [m]	Modello Aerogeneratore	Altezza mozzo [m]	Potenza nominale [kW]
BS01	527046	4540100	876,1	VESTAS 47	50	600
BS02	526995	4539628	889,9	VESTAS 47	50	600
BS03	527054	4539491	902,8	VESTAS 47	50	600
BS04	527103	4539362	913,2	VESTAS 47	50	600
BS05	527153	4539237	922,0	VESTAS 47	50	600
BS06	527194	4539135	930,0	VESTAS 47	50	660
BS07	527236	4539006	940,0	VESTAS 47	50	660
BS08	527296	4538858	955,3	VESTAS 47	50	660
BS09	527206	4542294	816,3	VESTAS 47	50	660
BS10	527298	4542209	820,0	VESTAS 47	50	660
BS11	527367	4542109	820,0	VESTAS 47	50	660
BS12	527449	4542007	820,0	VESTAS 47	50	660
BS13	527560	4541932	828,5	VESTAS 47	50	660
BS14	527630	4541866	825,6	VESTAS 47	50	660
BS15	527678	4541808	830,0	VESTAS 47	50	660
BS16	527786	4541705	840,0	VESTAS 47	50	660
BS17	527858	4541610	840,0	VESTAS 47	50	660
BS18	527921	4541526	840,0	VESTAS 47	50	660
BS19	527993	4541410	840,0	VESTAS 47	50	660
BS20	527983	4541226	842,7	VESTAS 47	50	660
BS21	527991	4541114	858,1	VESTAS 47	50	660
BS22	528044	4541014	863,6	VESTAS 47	50	660
BS23	528125	4540913	870,0	VESTAS 47	50	660
BS24	528178	4540763	870,0	VESTAS 47	50	660
BS25	528204	4540685	870,0	VESTAS 47	50	660
BS26	528251	4540524	854,0	VESTAS 47	50	660
BS27	528252	4540410	842,3	VESTAS 47	50	660
BS28	528256	4540221	842,0	VESTAS 47	50	660
BS29	528353	4540135	854,2	VESTAS 47	50	660
BS30	528391	4539891	876,9	VESTAS 47	50	660
BS31	528522	4539821	887,4	VESTAS 47	50	660
BS32	528609	4539730	890,0	VESTAS 47	50	660
BS33	528663	4539603	890,0	VESTAS 47	50	660
BS34	528874	4539516	890,0	VESTAS 47	50	660
BS35	529022	4539403	880,0	VESTAS 47	50	660
BS36	531081	4536781	840,0	VESTAS 47	50	600
BS37	531210	4536708	840,0	VESTAS 47	50	600
BS38	531351	4536563	837,1	VESTAS 47	50	600
BS39	531439	4536478	830,3	VESTAS 47	50	600
BS40	531354	4536053	840,0	VESTAS 47	50	600
BS41	531855	4535567	844,8	VESTAS 47	50	600
BS42	531900	4535426	850,0	VESTAS 47	50	600
AD01	526462	4535561	887,5	VESTAS 47	50	600
AD02	526539	4535475	880,0	VESTAS 47	50	600
AD03	526608	4535369	880,0	VESTAS 47	50	600
AD04	526686	4535279	873,0	VESTAS 47	50	600
AD05	526775	4535181	860,9	VESTAS 47	50	600

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	7
BIS	ENG	REL	0036	00		

Tabella 3: Coordinate di inquadramento geografico e tipologia di aerogeneratori del layout di progetto di nuova installazione in sostituzione delle turbine dismesse

ID WTG	Long. Est WGS 84 [m]	Lat. Nord WGS 84 [m]	Altitudine [m]	Modello Aerogeneratore	Altezza mozzo [m]	Potenza nominale [kW]
R-BS01	526714	4540077	864,1	NORDEX N149	105	4500
R-BS02	526968	4539562	894,1	NORDEX N149	105	4500
R-BS03	527194	4539136	930,0	NORDEX N149	105	4500
R-BS04	527016	4542299	810,0	NORDEX N149	105	4500
R-BS05	527373	4542009	820,0	NORDEX N149	105	4500
R-BS06	527682	4541611	829,9	NORDEX N149	105	4500
R-BS07	527997	4541103	859,5	NORDEX N149	105	4500
R-BS08	528149	4540659	870,0	NORDEX N149	105	4500
R-BS09	528285	4539958	864,0	NORDEX N149	105	4500
R-BS10	528688	4539415	888,7	NORDEX N149	105	4500
R-BS11	531055	4536825	840,0	NORDEX N149	105	4500
R-BS12	531399	4536500	833,3	NORDEX N149	105	4500
R-BS13	532006	4536200	814,1	NORDEX N149	105	4500
R-AD01	526777	4535164	860,0	NORDEX N149	105	4500

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	8
BIS	ENG	REL	0036	00		

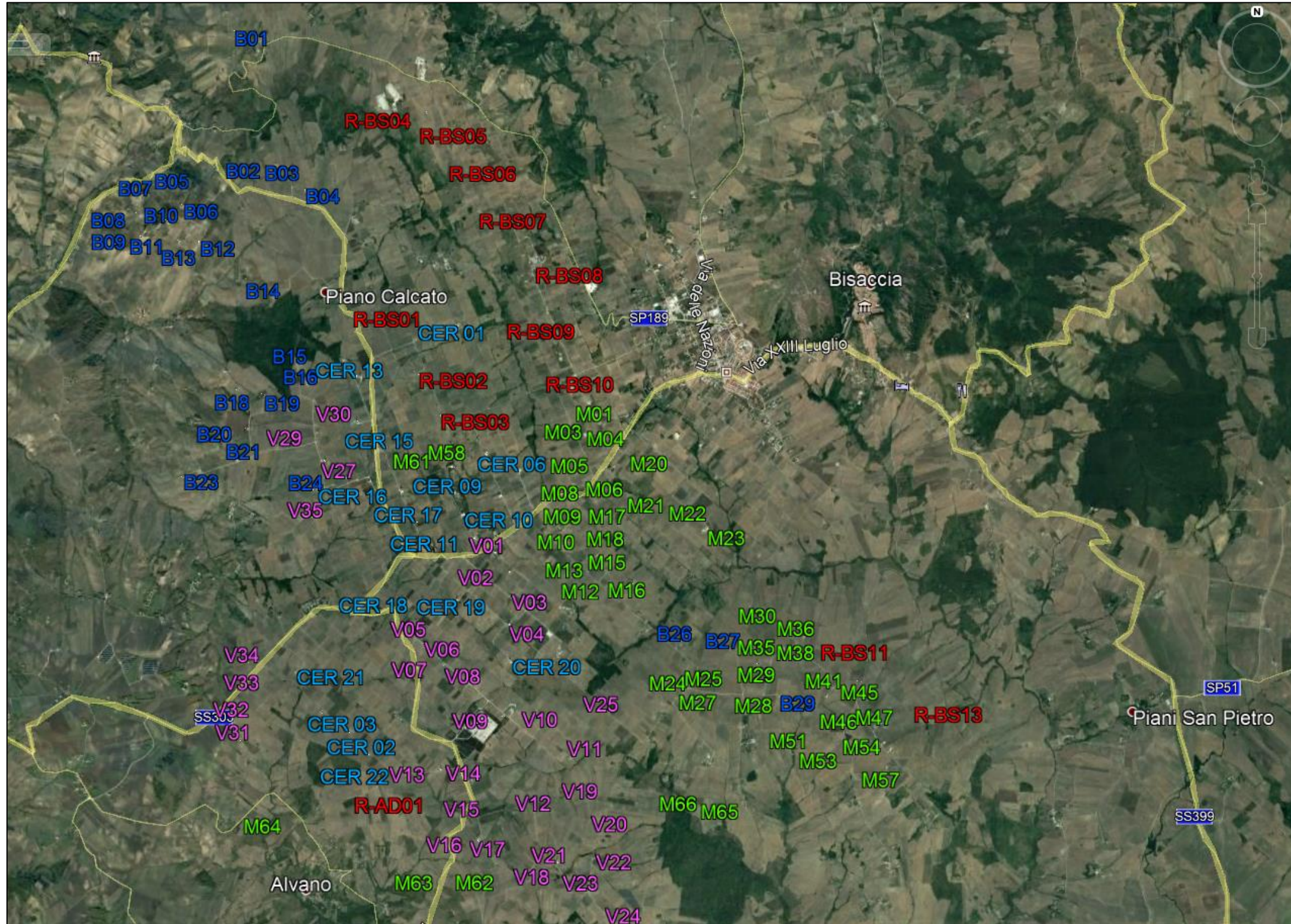


Figura 1: Inquadramento territoriale su ortofoto planimetrica dello scenario futuro (post operam). Le etichette in Rosso (R-BS e R-AD) individuano le turbine oggetto di nuova installazione per il progetto di Repowering in esame in sostituzione delle precedenti V47

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	9
BIS	ENG	REL	0036	00		

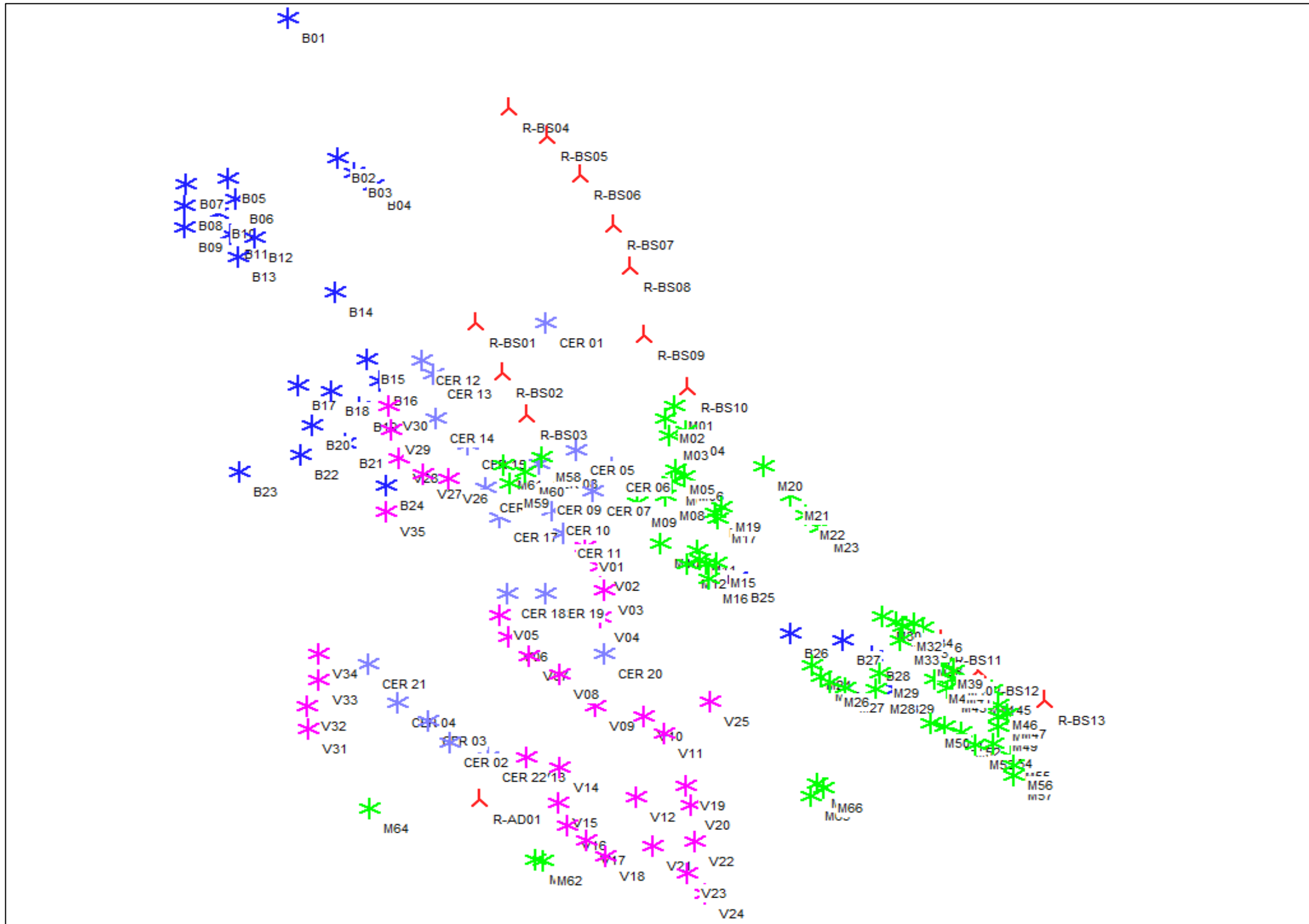


Figura 2: Inquadramento territoriale in assenza di base cartografica dello scenario futuro (post operam). Le icone [] in Rosso (R-BS e R-AD) individuano le turbine oggetto di nuova installazione per il progetto di Repowering in esame

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	10
BIS	ENG	REL	0036	00		

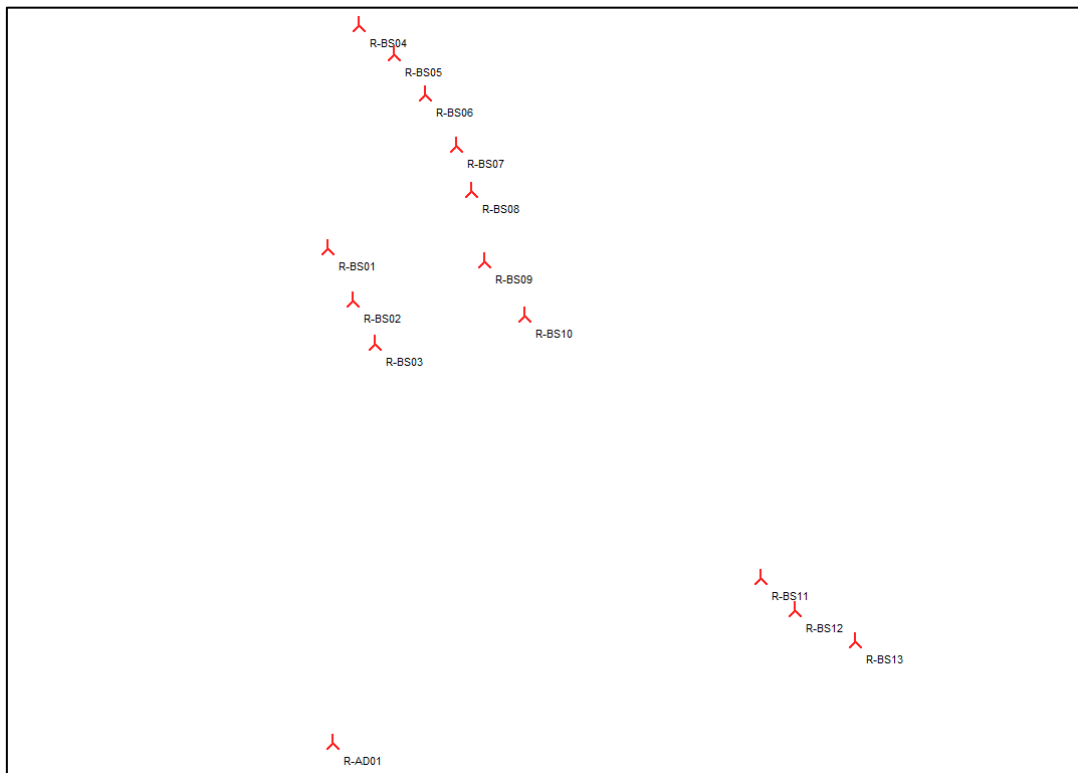
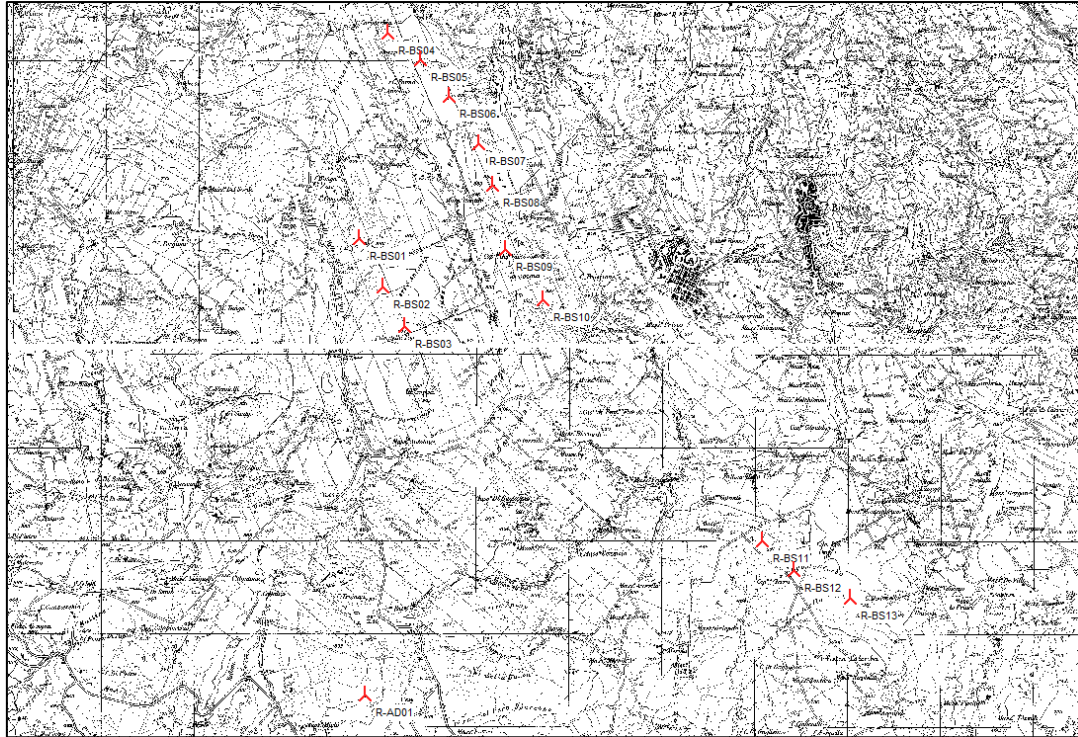


Figura 3: Inquadramento territoriale del parco eolico di progetto post-operam (icone rosse , R-BS e R-AD). Per maggiore chiarezza l'immagine viene proposta nella versione con e senza base di stralcio

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	11
BIS	ENG	REL	0036	00		

cartografico IGM 1:25000 ed in assenza delle turbine di grande e piccola taglia già insistenti sul territorio.

1.2 Individuazione e scelta dei recettori

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

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

Negli elaborati di dettaglio BIS.ENG.TAV.0033.01 e BIS.ENG.TAV.0034.01 è chiaramente illustrata e descritta la metodologia di individuazione dei recettori considerati nel prescritto buffer dei 1000 m.

Inoltre, si ritiene idoneo utilizzare lo stesso principio di esclusione dei recettori utilizzato per la stima previsionale dell'impatto acustico (BIS.ENG.REL.0007.01), considerando che la massima distanza intercorrente tra gli aerogeneratori di progetto e i recettori inclusi nell'analisi è superiore ad 800 m, distanza alla quale, come si vedrà nei risultati, l'entità delle vibrazioni trasmesse risulta trascurabile o nulla. Naturalmente la verifica del rispetto dei limiti imposti per la tollerabilità del fenomeno per le strutture o fabbricati considerati, implica necessariamente il rispetto dei suddetti limiti anche per qualsiasi altro tipo di struttura o fabbricato posto a distanze maggiori dalla sorgente emissiva.

Pertanto, sono state individuate 54 strutture aventi caratteristiche di abitabilità, e sebbene a distanze ragguardevoli dalle sorgenti emmissive, risultano essere le uniche strutture potenzialmente esposte alle emissioni acustiche derivanti dal funzionamento dei macchinari e dei mezzi di movimentazione che operano durante la fase di cantiere.

A seguire saranno proposte la tabella di inquadramento dei recettori, la tabella con le distanze intercorrenti tra ciascuna turbina di progetto ed i recettori sensibili considerati e le immagini (privata della cartografia IGM 1:25000 onde rendere più comprensibile l'individuazione) relative alle porzioni di territorio interessate rispettivamente dalle turbine di progetto e dai recettori individuati e considerati nel modello di stima previsionale.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	12
BIS	ENG	REL	0036	00		

Tabella 4: Coordinate di inquadramento geografico dei recettori sensibili individuati

ID RECETTORE	Long. Est WGS 84 [m]	Lat. Nord WGS 84 [m]	Altitudine [m]
Rec01	527408	4542745	749
Rec02	527394	4542686	758
Rec03	527463	4542632	764
Rec04	527397	4542562	780
Rec05	527306	4542548	789
Rec06	526648	4542480	733
Rec07	527499	4542522	778
Rec08	527484	4542499	780
Rec09	527424	4542464	787
Rec10	527566	4542364	788
Rec11	527657	4542329	785
Rec12	527600	4542290	788
Rec13	527697	4542174	786
Rec14	528165	4542135	780
Rec15	528169	4542056	779
Rec16	528191	4542003	783
Rec17	528185	4541919	794
Rec18	528296	4541876	788
Rec19	528212	4541726	818
Rec20	528220	4541382	812
Rec21	526105	4540438	845
Rec22	526091	4540327	849
Rec23	526108	4540254	851
Rec24	526462	4540490	840
Rec25	526783	4540892	810
Rec26	526917	4540778	803
Rec27	527079	4540729	795
Rec28	527187	4540868	783
Rec29	527237	4540808	790
Rec30	527243	4540741	791
Rec31	527322	4540666	799
Rec32	527365	4540669	798
Rec33	527387	4540636	801
Rec34	527319	4540626	804
Rec35	528366	4541020	832
Rec36	528505	4540837	822
Rec37	528587	4540792	816
Rec38	528577	4540587	820
Rec39	528535	4540284	830
Rec40	528857	4539990	840
Rec41	528064	4539805	834
Rec42	529338	4539564	840
Rec43	529314	4539523	840
Rec44	529312	4539456	840
Rec45	529079	4539172	859
Rec46	530271	4537151	803
Rec47	532218	4535381	831
Rec52	526118	4534855	815
Rec53	526155	4534803	815
Rec57	526375	4534818	831
Rec58	526361	4534736	817
Rec59	526350	4534677	808
Rec60	526398	4534679	806
Rec61	526425	4534622	794

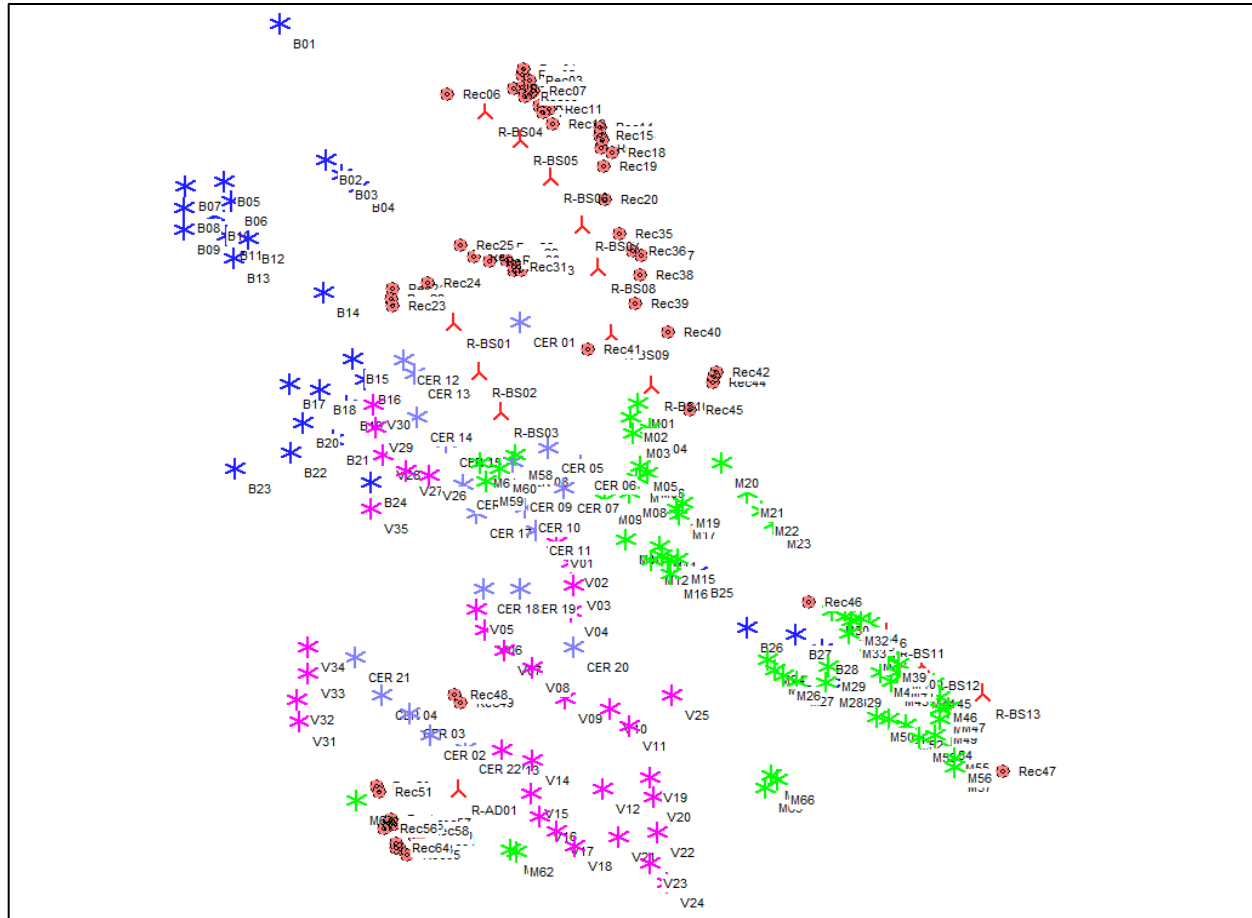
CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	13
BIS	ENG	REL	0036	00		

Tabella 5: Matrice delle distanze intercorrenti tra le turbine di progetto e i 54 recettori considerati con evidenza, in rosso, del valore minimo riscontrato.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO								PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI								14
BIS	ENG	REL	0036	00									

TABELLA MATRICE DELLE DISTANZE WTG DI PROGETTO/RECETTORI														
-----	R-BS01	R-BS02	R-BS03	R-BS04	R-BS05	R-BS06	R-BS07	R-BS08	R-BS09	R-BS10	R-BS11	R-BS12	R-BS13	R-AD01
Rec01	2757	3213	3615	594	737	1167	1744	2214	2922	3568	6953	7411	7999	7607
Rec02	2696	3153	3556	541	677	1113	1694	2163	2870	3518	6910	7369	7959	7547
Rec03	2663	3110	3506	557	629	1044	1620	2089	2797	3442	6828	7287	7875	7499
Rec04	2577	3031	3432	463	554	993	1578	2046	2751	3402	6804	7264	7856	7424
Rec05	2541	3005	3414	382	543	1010	1602	2069	2769	3424	6842	7303	7899	7403
Rec06	2404	2935	3388	410	865	1351	1928	2360	3007	3682	7169	7638	8255	7317
Rec07	2568	3007	3400	532	528	929	1504	1973	2682	3327	6716	7175	7764	7393
Rec08	2541	2982	3375	509	502	910	1487	1956	2664	3311	6704	7163	7754	7369
Rec09	2490	2938	3336	440	458	891	1477	1945	2650	3301	6707	7167	7761	7329
Rec10	2441	2865	3249	554	404	762	1333	1802	2511	3155	6546	7006	7597	7243
Rec11	2441	2851	3226	642	428	718	1272	1741	2453	3091	6468	6927	7515	7219
Rec12	2384	2800	3180	584	361	684	1252	1721	2431	3074	6466	6925	7517	7173
Rec13	2316	2712	3079	692	364	563	1112	1581	2293	2932	6316	6775	7366	7070
Rec14	2518	2838	3152	1161	802	713	1046	1476	2180	2770	6046	6497	7069	7108
Rec15	2456	2768	3078	1178	797	660	968	1397	2101	2692	5974	6427	7001	7031
Rec16	2427	2730	3035	1212	818	642	921	1345	2047	2635	5917	6370	6945	6984
Rec17	2357	2653	2954	1229	817	590	837	1261	1964	2554	5847	6300	6878	6900
Rec18	2396	2668	2953	1348	933	669	829	1226	1918	2492	5755	6207	6781	6882
Rec19	2228	2496	2783	1326	885	542	659	1069	1770	2360	5666	6121	6703	6717
Rec20	1993	2209	2469	1513	1054	585	357	726	1425	2022	5367	5826	6418	6383
Rec21	708	1230	1697	2072	2019	1965	2005	2056	2232	2778	6128	6598	7265	5317
Rec22	671	1164	1623	2178	2115	2044	2058	2085	2225	2752	6075	6544	7212	5208
Rec23	631	1104	1559	2238	2163	2078	2071	2081	2197	2713	6019	6487	7157	5134
Rec24	484	1057	1539	1892	1771	1657	1653	1695	1899	2472	5876	6348	7010	5335
Rec25	818	1343	1803	1426	1263	1151	1232	1386	1769	2411	5898	6372	7021	5728
Rec26	730	1217	1665	1524	1313	1131	1128	1238	1595	2235	5723	6196	6845	5616
Rec27	747	1172	1597	1571	1313	1068	991	1072	1431	2077	5572	6045	6692	5573
Rec28	922	1324	1732	1441	1156	893	843	984	1426	2089	5595	6068	6709	5719
Rec29	899	1275	1673	1507	1209	918	815	924	1349	2011	5517	5990	6632	5663
Rec30	849	1211	1606	1574	1275	974	836	910	1303	1961	5465	5938	6581	5596
Rec31	847	1159	1535	1661	1344	1011	804	827	1195	1852	5356	5829	6472	5529
Rec32	880	1176	1543	1667	1340	994	767	784	1163	1823	5328	5801	6443	5536
Rec33	875	1153	1512	1704	1373	1019	768	762	1125	1784	5289	5762	6404	5506
Rec34	817	1120	1495	1700	1384	1050	829	831	1174	1828	5330	5803	6447	5489
Rec35	1902	2020	2219	1860	1401	904	378	421	1065	1637	4983	5443	6040	6068
Rec36	1946	1997	2148	2087	1629	1130	573	398	906	1434	4754	5214	5810	5930
Rec37	2005	2033	2164	2177	1719	1221	667	458	887	1381	4672	5131	5725	5912
Rec38	1932	1908	2005	2317	1863	1360	776	434	693	1177	4505	4967	5568	5714
Rec39	1833	1725	1765	2523	2080	1578	980	538	411	882	4280	4746	5360	5413
Rec40	2145	1937	1869	2953	2506	2002	1407	974	573	599	3853	4318	4928	5255
Rec41	1377	1123	1097	2705	2310	1846	1300	858	269	736	4222	4695	5342	4816
Rec42	2674	2370	2186	3588	3137	2633	2041	1616	1124	667	3233	3693	4294	5091
Rec43	2658	2346	2155	3604	3154	2650	2057	1627	1117	635	3211	3672	4277	5044
Rec44	2671	2346	2142	3654	3206	2702	2108	1673	1143	625	3156	3618	4226	4985
Rec45	2532	2147	1885	3746	3310	2811	2213	1754	1117	460	3068	3539	4171	4622
Rec46	4606	4089	3662	6091	5657	5157	4560	4100	3439	2763	849	1302	1979	4019
Rec47	7235	6711	6272	8656	8210	7706	7110	6664	6035	5360	1854	1387	846	5445
Rec52	5256	4783	4414	7498	7263	6935	6524	6149	5544	5234	5316	5531	6040	728
Rec53	5304	4828	4456	7545	7308	6977	6564	6186	5578	5262	5301	5512	6015	719
Rec57	5270	4781	4395	7508	7260	6918	6491	6104	5483	5146	5092	5298	5798	530
Rec58	5353	4864	4478	7591	7343	7001	6574	6187	5565	5226	5138	5338	5832	597
Rec59	5412	4924	4538	7651	7403	7061	6634	6247	5624	5283	5172	5368	5857	648
Rec60	5407	4916	4528	7645	7395	7050	6620	6231	5606	5261	5128	5322	5811	616
Rec61	5463	4970	4579	7700	7448	7101	6669	6278	5651	5300	5127	5317	5800	646

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	15
BIS	ENG	REL	0036	00		



CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	16
BIS	ENG	REL	0036	00		

Figura 4: Inquadramento territoriale in assenza di base cartografica del parco eolico di progetto (icone rosse ) , di tutti i recettori individuati (icone rosa [] indicati con etichetta Rec01,02 etc) e di tutte le turbine esistenti (di grande e piccola taglia).

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	17
BIS	ENG	REL	0036	00		

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.

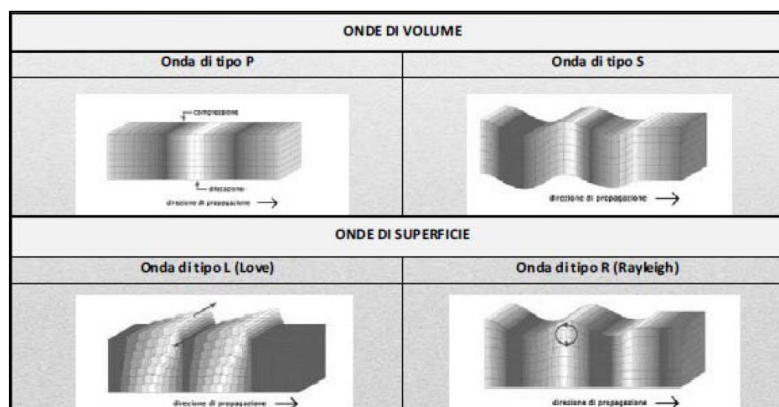


Figura 5: Differenti tipologie di Onde di Volume e Superficie

Tra quelle esistenti, le più veloci sono le onde di compressione, mentre le onde di taglio e di superficie

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	18
BIS	ENG	REL	0036	00		

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.

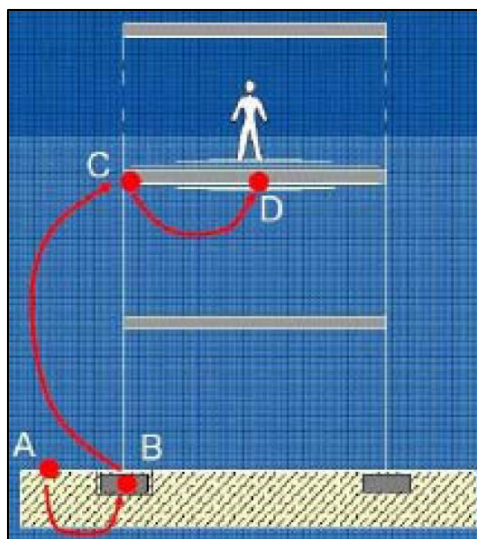


Figura 6: Schematizzazione semplificata della propagazione delle vibrazioni nel sistema terreno-edificio

Differenti tipologie di fondazioni forniscono diversi effetti di attenuazione o amplificazione del fenomeno

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	19
BIS	ENG	REL	0036	00		

vibratorio come evidenziato nelle immagini a seguire:

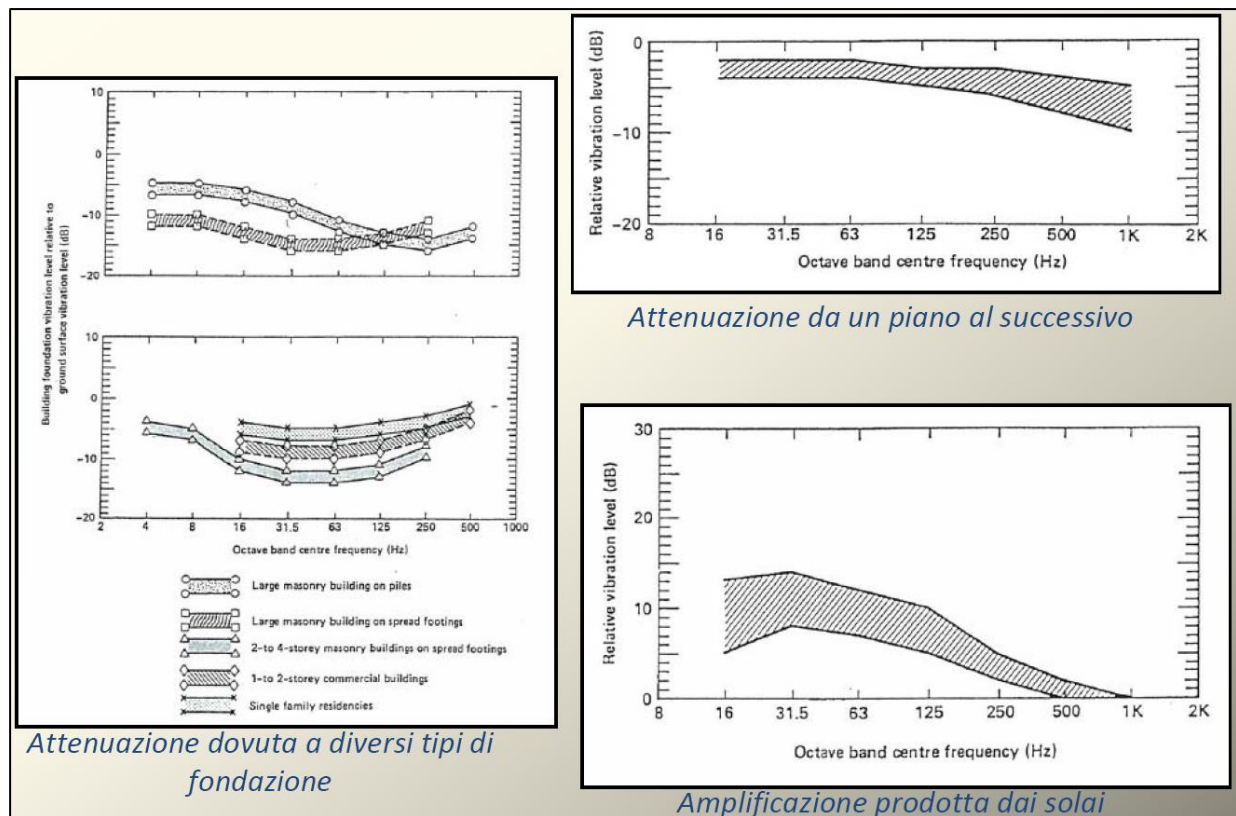


Figura 7: Esempi di Attenuazione/Amplificazione dei fenomeni vibratorii/oscillatori nei differenti elementi

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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	20
BIS	ENG	REL	0036	00		

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 inferiore i 200-300 m in linea d'aria.

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

2.3 Caso studio e parametri di trasmissione delle vibrazioni

Le vibrazioni possono essere valutate in tre diverse modalità:

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

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

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

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

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

dove v è il valore efficace della velocità istantanea e v_0 è il valore di riferimento ($v_0 = 10^{-9}$ m/sec)
 In termini di accelerazione: le grandezze impiegate sono le corrispondenti a quelle descritte per la

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	21
BIS	ENG	REL	0036	00		

velocità.

In particolare il livello dell'accelerazione L_A (espresso in dB) è definito come:

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

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

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

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

1. Sorgenti e modalità operative:

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

2. Fattori Geologici:

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

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

I problemi legati alla vibrazione via terra si hanno quasi esclusivamente all'interno degli edifici. Quindi le caratteristiche dei recettori costituiscono una componente fondamentale nella valutazione delle vibrazioni. Le vibrazioni indotte da mezzi di escavazione possono essere percepite da persone che si trovano all'esterno, ma è raro che provochino 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 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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	22
BIS	ENG	REL	0036	00		

provocare danni alle strutture.

2.4 Modello previsionale

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

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

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

dove, w_1 e w_2 rappresentano le ampiezze delle vibrazioni rispettivamente alla distanza r_1 e r_2 dalla sorgente; n è il coefficiente di smorzamento geometrico; 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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	23
BIS	ENG	REL	0036	00		

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.

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.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	24
BIS	ENG	REL	0036	00		

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 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 10 ⁻³	71	Aree critiche	5,0 10 ⁻³	74
Abitazioni notte	5,0 10 ⁻³	74	Abitazioni notte	7,0 10 ⁻³	77
Abitazioni giorno	7,0 10 ⁻³	77	Abitazioni giorno	10,0 10 ⁻³	80
Uffici	14,4 10 ⁻³	83	Uffici	20,0 10 ⁻³	86
Fabbriche	28,8 10 ⁻³	89	Fabbriche	40,0 10 ⁻³	92

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	25
BIS	ENG	REL	0036	00		

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);
- 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).

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	26
BIS	ENG	REL	0036	00		

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.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	27
BIS	ENG	REL	0036	00		

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) = 800 m/s (valore coerente con i dati geotecnici riportati nell'elaborato specialistico)

Livelli di riferimento per la sorgente in esercizio: sono stati considerati valori di accelerazione misurati presso strutture analoghe.

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

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

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

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

Nel dettaglio, al fine di eseguire il calcolo del potenziale possibile disturbo, sono stati assunti i parametri di input come di seguito esplicitati:

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	28
BIS	ENG	REL	0036	00		

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	Litologie limoso argillose e sabbiose		
Fattore di perdita del terreno	0,1	0,1	0,1
Velocità di propagazione nel terreno [m/s]	800	800	800
Densità del terreno [kg/mc]	1950	1950	1950
Velocità di rotazione di riferimento [rpm]	13	13	13
Frequenza onda di vibrazione di riferimento per il calcolo [Hz]	0,650	0,650	0,650
Pulsazione d'onda ω [rad/s]	4,084	4,084	4,084

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]	9,9	3,5	7,4
	Valore rif. asse x 74 dB	Valore rif. asse y 74 dB	Valore rif. asse z 77 dB
Distanza di rispetto del valore raccomandato UNI 9614 (Abitazioni notte) [m]	19,6	7,0	14,6
	Valore rif. asse x 71 dB	Valore rif. asse y 71 dB	Valore rif. asse z 74 dB
Distanza di rispetto del valore raccomandato UNI 9614 (Aree critiche) [m]	38,3	13,9	28,7

Poiché gli aerogeneratori di progetto sono distanti tra loro oltre i 400 m, ed il primo recettore sensibile risulta dislocato a distanze superiori a più di sei volte quelle indicate nella precedente tabella, si può senz'altro affermare che l'impatto causato dalle vibrazioni prodotto dal parco eolico in oggetto sia assolutamente trascurabile o nullo e che nessun recettore subisce un fenomeno vibrazionale tale da

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	29
BIS	ENG	REL	0036	00		

ingenerare disturbo. Ciò risulta valido anche considerando l'effetto cumulato di tutti gli aerogeneratori. Di seguito si riporta l'andamento del decadimento delle vibrazioni calcolate per l'asse x:

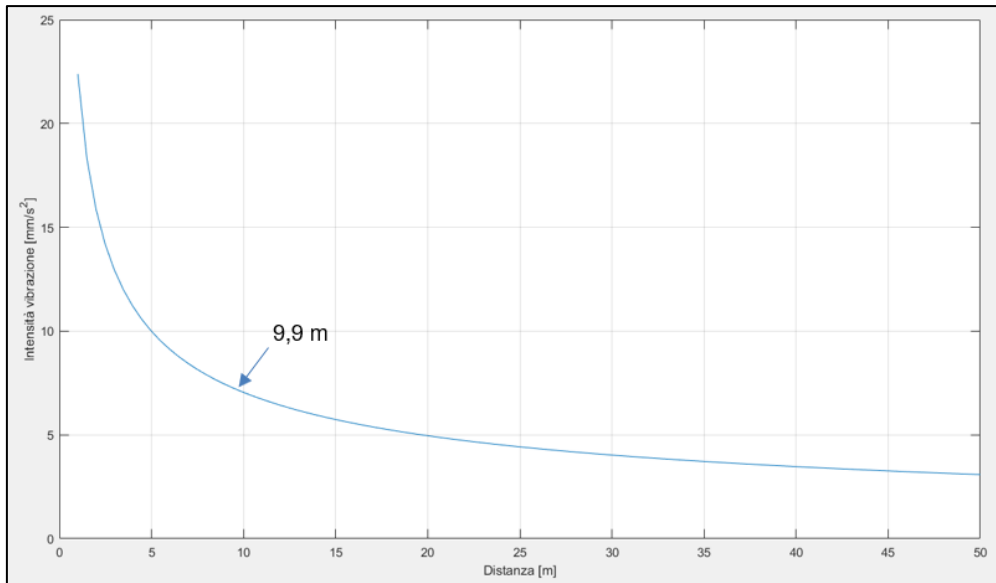


Figura 8: Andamento del decadimento dell'intensità delle vibrazioni lungo l'asse x rispetto alla distanza dalla sorgente.

I valori soglia raccomandati per le abitazioni di notte sono rispettati ad una distanza inferiore ai 20 m. Ad una distanza di circa 40 m dagli aerogeneratori risultano rispettati anche i valori raccomandati per le aree critiche

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	30
BIS	ENG	REL	0036	00		

4. STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI CANTIERE

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

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

1. Livelli di riferimento per il mezzo meccanico impiegato in cantiere: si è scelto di effettuare un calcolo di propagazione delle vibrazioni per il mezzo più impattante tra quelli proposti nelle diverse fasi di lavorazione, che è risultato essere l'autobetoniera caratterizzato da fenomeni vibrazionali legati sia alla rotazione del bicchiere che del motore e degli organi meccanici dell'automezzo.

INAIL		COMITATO PARITETICO TERRITORIALE PER LA PREVENZIONE INFORTUNI L'IGIENE E L'AMBIENTE DI LAVORO DI TORINO E PROVINCIA		C.P.T. TORINO	
AUTOBETONIERA			Rif: 51-TO-2248-2-VCI-01		
Marca:	IVECO				
Modello:	330-30				
Potenza:	224,00 W				
Anno produzione:					
Dati fabbricante:					
Accessorio:					
Attività:	trasporto				
Materiale:	cls				
Stile guida:	Prudente				
Tipo terreno:	Asfalto				
Condizioni:	Buone				
Annotazioni:					
Data rilievo:	23.10.2014				
$A_{w(max)}$ m/s^2 :	0,67				
VIBRAZIONI CORPO INTERO					
Posizione misure: Sedile					
N.	a_{bx} (m/s^2)	a_{by} (m/s^2)	a_{bz} (m/s^2)		
1	0,18	0,37	0,67		
2	0,18	0,39	0,66		
3	0,18	0,42	0,64		
Media	0,26	0,55	0,66		
Incert.	0,26	0,58	0,67		
STRUMENTAZIONE					
Strumento / Marca	Modello	Matricola	Data Taratura		
Analizzatore Svantek	SVAN-948	9825	14/07/2014		
Acc. Monoassiale (CI) Dytran	SV3185D	2608	28/07/2014		
Acc. Triassiale (CI) Dytran	3143M1	1318	14/07/2014		
Calibratore (VIB) PCB	394C06	4114	15/07/2014		

Figura 9: Caratteristiche vibrazionali del mezzo di cantiere caratterizzato da maggiori vibrazioni indotte.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	31
BIS	ENG	REL	0036	00		

2. Livelli di riferimento – valore soglia limite di disturbo:

Il valore soglia di livello ponderato di accelerazione è stato considerato essere pari a 77 VdB. Ciò in virtù del fatto che le attività di cantiere (e quindi anche di escavazione) sono concentrate esclusivamente nel periodo di riferimento diurno e che pertanto il potenziale disturbo non può essere associato al periodo di riferimento notturno e quindi non può incidere nelle ore dedicate al riposo e al sonno. Inoltre l'attività ha caratteristiche temporanee non compatibili con problematiche legate a prolungate azioni vibratorie eventualmente problematiche per le aree critiche.

3. Attenuazioni o Amplificazioni nella struttura degli edifici:

Potenziamenti fenomeni di attenuazione o amplificazione relativi alle tipologie di fondazioni cui sono dotati i recettori **non** sono stati tenuti in conto.

Nel dettaglio, al fine di eseguire il calcolo del potenziale possibile disturbo, sono stati assunti i parametri di input come di seguito esplicitati:

Tabella 10: Valori di input per il calcolo quantitativo delle vibrazioni indotte dal mezzo di cantiere

	Valore asse x	Valore asse y	Valore asse z
Vibrazione alla sorgente [dB]	88,4	95,3	96,5
Accelerazione alla sorgente [mm/s ²]	0,0263	0,0582	0,0668
Distanza dalla sorgente [m]	1	1	1
Coefficiente di attenuazione geometrica	0,5	0,5	0,5
Tipologia di terreno	Litologie limoso argillose e sabbiose		
Coefficiente di assorbimento del terreno	0,1	0,1	0,1
Velocità di propagazione nel terreno [m/s]	800	800	800
Densità del terreno [kg/mc]	1950	1950	1950
Valore rotazione di riferimento [rpm]	15	15	15
Frequenza onda di vibrazione di rif. per il calcolo [Hz]	0,250	0,250	0,250
Pulsazione d'onda ω [rad/s]	1,571	1,571	1,571

Tabella 11: risultati in termini di distanza di rispetto dei limiti UNI 9614

	Valore rif. asse x 77 dB	Valore rif. asse y 77 dB	Valore rif. asse z 80 dB
Distanza di rispetto del valore raccomandato UNI 9614 (Abitazioni giorno) [m]	13,7	65,9	43,9

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	32
BIS	ENG	REL	0036	00		

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

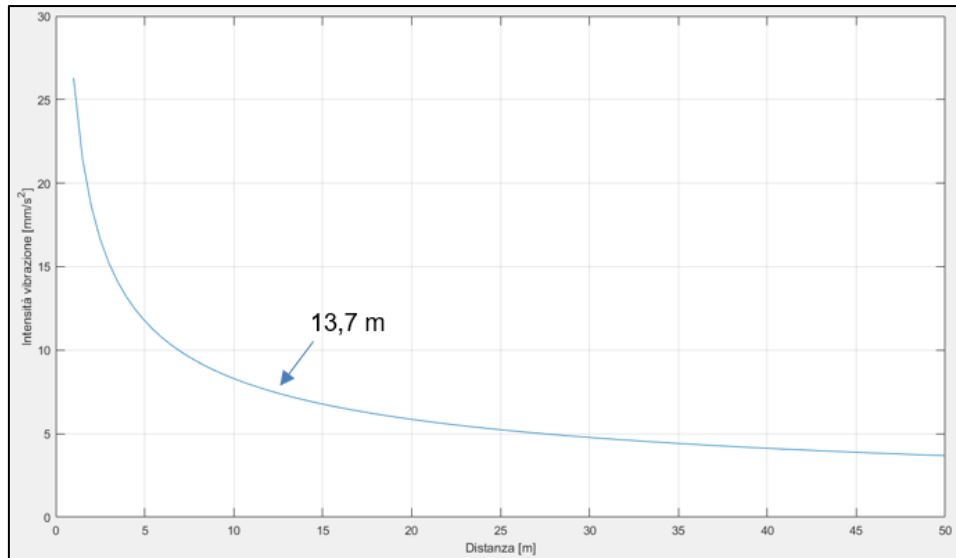


Figura 10: Andamento del decadimento dell'intensità delle vibrazioni lungo l'asse x rispetto alla distanza dalla sorgente.

Anche in tal caso si può senz'altro affermare che l'impatto causato dalle vibrazioni prodotto in fase di cantiere durante la realizzazione del parco eolico in oggetto sia assolutamente trascurabile e che nessun recettore riceve un fenomeno vibrazionale tale da ingenerare disturbo. Ciò anche considerando l'effetto cumulato di diversi mezzi.

Ad una distanza di circa 66 m risultano dunque rispettati i valori raccomandati dalla normativa.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	33
BIS	ENG	REL	0036	00		

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 evidenziano 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 (Uni 9614).

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA STUDIO DELLE VIBRAZIONI	34
BIS	ENG	REL	0036	00		

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