



REGIONE SICILIA

CITTA' METROPOLITANA DI PALERMO

PROGETTO:

Località Impianto
 COMUNE DI PARTINICO (PA) CONTRADA BOSCO
 COMUNE DI MONREALE (PA) CONTRADA CAMBUCA
 Località Connessione
 COMUNE DI PARTINICO (PA) CONTRADA TAMMI'

Oggetto:

PROGETTO DEFINITIVO

Realizzazione impianto eolico
 denominato "S&P 16" di 109,4 MW

CODICE ELABORATO:

PROPONENTE	TIPOLOGIA DOCUMENTO	PROGRESSIVO	REV
SP16	REL	036	00

EPD = ELABORATO DEL PROGETTO DIGITALE; REL = RELAZIONE;
 ADD = ALTRA DOCUMENTAZIONE; IST = ISTANZA

DATA:

12/04/2024

ELABORATO:

SP16REL036_00-
 Studio_matrice_vibrazioni

Rev.	Data Rev.	Data Rev.

TAV:

REL036

PAG:

31

PROGETTISTI:

Ing. Sapienza Angelo



Ing. Rizzuto Vincenzo



SPAZIO RISERVATO PER LE APPROVAZIONI

SOCIETA':

S&P 16 S.R.L.

SICILIA E PROGRESSO
 sede legale: Corso dei Mille 312, 90047 Partinico (PA)
 P.iva.: 07035610828 tel.: 0915567418
 email: sviluppousep16@gmail.com
 pec: sviluppousep16@pec.it



INDICE

1. PREMESSA	3
1.1 Breve descrizione del progetto.....	3
2. SCELTA DEI RICETTORI	7
3. DEFINIZIONI E NOZIONI GENERALI (FONTE ISPRA)	15
4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	18
5. PARAMETRI DI RIFERIMENTO TRASMISSIONE E PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI.....	19
5.1 Modalità operative e tipologie di sorgenti impiegate nelle fasi di cantiere.....	19
5.2 Fattori Geologici.	20
5.3 Caratteristiche e fattori strutturali di edifici e fabbricati	20
6. APPLICAZIONE DEL MODELLO PREVISIONALE	21
6.1 Rischio del danno a strutture ed edifici	22
6.2 Rischio esposizione umana – Rischio disturbo.....	23
6.3 Vibrazioni relative alle aree di cantiere	24
6.4 Vibrazioni di impianti eolici in fase di esercizio.....	25
7. STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI ESERCIZIO.....	26
8. FASE DI CANTIERE.....	29
9. CONCLUSIONI	31

1. PREMESSA

Il progetto descritto nella presente relazione riguarda la realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica costituito da 19 aerogeneratori di due diversi modelli, rispettivamente di potenza unitaria di 5 MW e di 6.6 MW, per una potenza complessiva di impianto pari a 109,4 MW. L'installazione insisterà in Contrada Bosco e Tammi, nel Comune di Partinico (PA), e in Contrada Cambuca, nel Comune di Monreale (PA), con opere di connessione ricadenti sugli stessi territori comunali. Proponente dell'iniziativa è la società S&P 16 s.r.l. iscritta presso la Camera di Commercio di Palermo con n. Rea PA-432743, Partita IVA 07035610828, ha sede legale presso Partinico (PA) in corso dei Mille n. 312.

Scopo dell'elaborato in oggetto è analizzare il fenomeno delle vibrazioni fornendo, sulla base delle caratteristiche tecniche degli aerogeneratori di progetto, delle opere civili di fondazione e delle caratteristiche geotecniche dei terreni e di stabilità dei versanti, una stima previsionale dell'impatto su eventuali ricettori potenzialmente interessati dal fenomeno (rif. UNI 9916 – UNI9614).

La valutazione di tipo previsionale è stata effettuata anche in relazione alla fase di cantiere, fornendo oltre ai parametri di emissione dei singoli macchinari impiegati, anche la caratterizzazione della sorgente in termini di modalità, fasi di cantiere e attività.

Nello specifico è stato valutato il contributo in termini di vibrazioni dell'impianto eolico in oggetto sia in relazione alla fase di esercizio, sia in relazione alla fase di cantiere che permette la realizzazione del progetto in questione.

1.1 Breve descrizione del progetto

Il presente elaborato è riferito al progetto, presentato da S&P 16 s.r.l., per la costruzione e l'esercizio di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica ed opere di connessione annesse.

S&P 16 s.r.l. è una società attiva nella produzione di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili, in particolar modo dall'eolico e dal solare fotovoltaico.

L'impianto che la S&P 16 srl presenta in autorizzazione è composto da:

- N. 19 turbine eoliche, ricadenti in C. da Bosco (Partinico, PA) e in C. da Cambuca (Monreale, PA);
- Stazione Utente-Rete, ricadente in C. da Tammi (Partinico, PA), denominata "Partinico 2";
- Stazione di distribuzione, ricadente in C. da Bosco nel comune di Partinico (PA);
- Cavidotti di collegamento MT (30 kV), ricadenti nei territori dei Comuni di Partinico e

Monreale (PA);

- Cavidotti di collegamento AT (220 kV), ricadenti nel Comune di Partinico (PA).

Gli aerogeneratori che verranno installati nel nuovo impianto sono stati selezionati sulla base delle più innovative tecnologie disponibili sul mercato.

Per il progetto in esame sono state selezionate due tipologie di aerogeneratori:

- Siemens Gamesa SG 5.0-132
- Siemens Gamesa SG 6.6-155.

L'impianto eolico convoglierà l'energia prodotta alla stazione di trasformazione che la eleverà da 30 kV a 220 kV. Tutta l'energia elettrica prodotta verrà poi trasferita tramite cavidotti AT alla costruenda Stazione Elettrica RTN, dove verrà dunque consegnata alla rete.

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

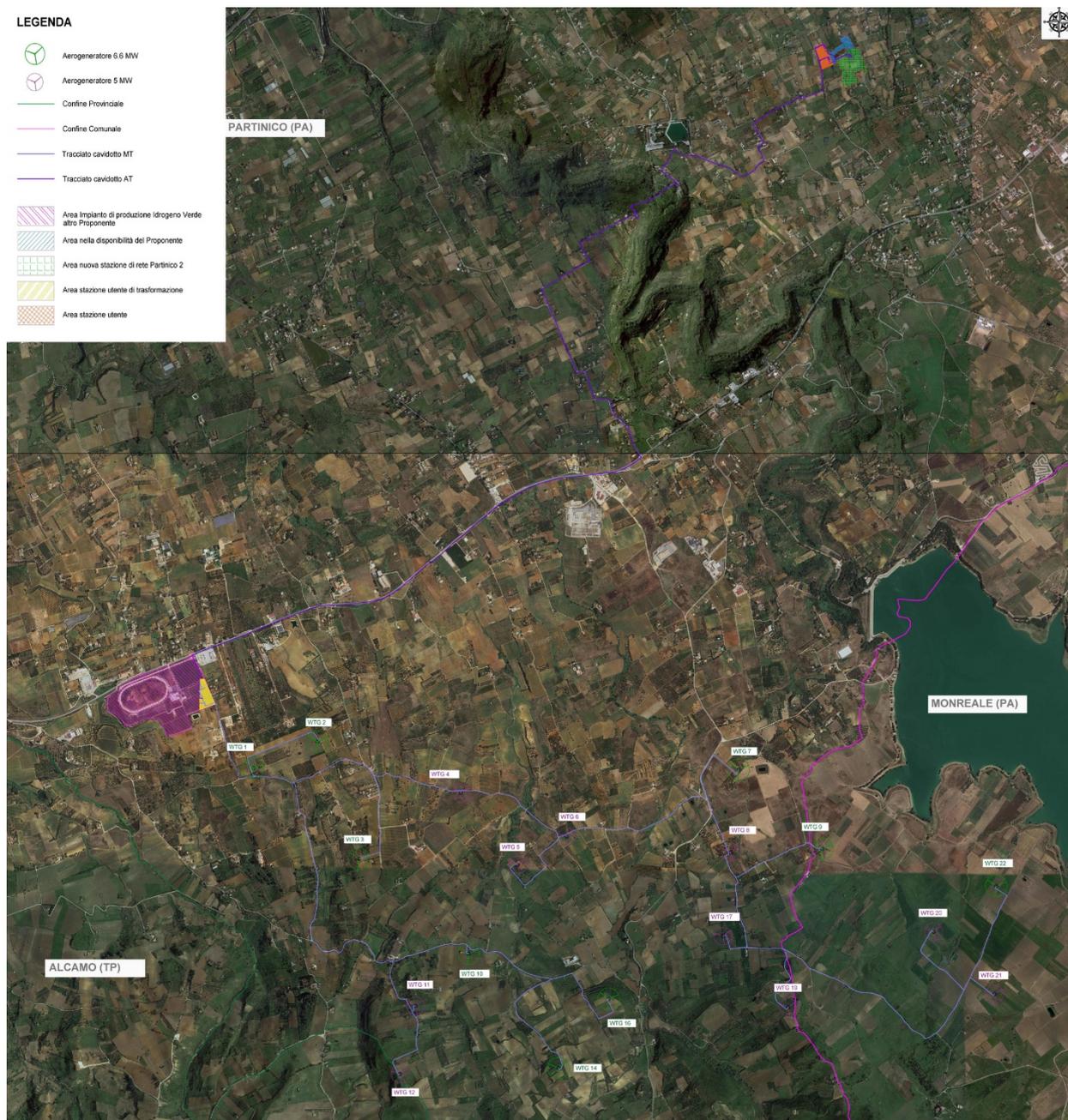


Figura 1 - Ortofoto dell'area di impianto, della stazione Utente-Rete e della stazione di trasformazione ricadenti in Contrada Bosco e Contrada Tammi (Partinico, PA) e Contrada Cambuca (Monreale, PA)

Cod. Turbina	Potenza aerogeneratore	Comune	Coordinate	
			Latitudine	Longitudine
WTG-1	6.6 MW	Partinico	37°59'16.28"N	13°1'43.77"E
WTG-2	6.6 MW	Partinico	37°59'23.08"N	13°2'2.85"E
WTG-3	6.6 MW	Partinico	37°58'55.23"N	13°2'16.37"E
WTG-4	5 MW	Partinico	37°59'11.39"N	13°2'46.58"E
WTG-5	5 MW	Partinico	37°58'55.26"N	13°3'4.71"E
WTG-6	5 MW	Partinico	37°59'1.58"N	13°3'20.00"E

WTG-7	6.6 MW	Partinico	37°59'18.11"N	13°4'10.65"E
WTG-8	5 MW	Partinico	37°58'58.54"N	13°4'8.80"E
WTG-9	6.6 MW	Monreale	37°58'59.89"N	13°4'36.36"E
WTG-10	6.6 MW	Partinico	37°58'33.21"N	13°2'50.00"E
WTG-11	5 MW	Partinico	37°58'19.84"N	13°2'34.44"E
WTG-12	5 MW	Partinico	37°58'3.74"N	13°2'30.40"E
WTG-14	6.6 MW	Partinico	37°58'5.34"N	13°3'17.28"E
WTG-16	6.6 MW	Partinico	37°58'22.72"N	13°3'32.66"E
WTG-17	5 MW	Partinico	37°58'38.43"N	13°4'6.58"E
WTG-19	5 MW	Partinico	37°58'21.36"N	13°4'27.42"E
WTG-20	5 MW	Monreale	37°58'40.47"N	13°5'10.40"E
WTG-21	5 MW	Monreale	37°58'27.21"N	13°5'27.47"E
WTG-22	6.6 MW	Monreale	37°58'51.66"N	13°5'29.09"E
Stazione Utente-Rete "Partinico 2"		Partinico	38°2'9.53"N	13°4'38.95"E

Tabella 1 – Coordinate e potenza degli aerogeneratori di progetto.

2. SCELTA DEI RICETTORI

Ai fini della previsione degli impatti indotti dall'impianto eolico di progetto, sono stati individuati i ricettori nei confronti dei quali condurre le analisi specialistiche. Per quanto riguarda i criteri di classificazione, l'individuazione dei ricettori è stata effettuata facendo riferimento al DPCM 14/11/97 e della legge quadro n. 447/1995, che stabiliscono che la verifica dei limiti di immissione acustica va effettuata in corrispondenza degli ambienti abitativi. Questi ultimi sono definiti come: *"ogni ambiente interno ad un edificio destinato alla permanenza di persone o di comunità ed utilizzato per le diverse attività umane, fatta eccezione per gli ambienti destinati ad attività produttive per i quali resta ferma la disciplina di cui al d.lgs. 15 agosto 1991, n. 277 (2), salvo per quanto concerne l'immissione di rumore da sorgenti sonore esterne ai locali in cui si svolgono le attività produttive"*.

Per il sito in esame, sono state prese in considerazione e valutate tutte le strutture presenti nell'area limitrofa i punti di futura installazione delle turbine di progetto accatastate in categoria A.

In prossimità dell'area di cantiere, sono state individuate 199 strutture aventi caratteristiche di abitabilità e che risultano essere potenzialmente esposte alle emissioni acustiche derivanti dal funzionamento dei macchinari e dei mezzi di movimentazione che operano durante la fase di cantiere.

A seguire sono proposte la tabella di inquadramento dei recettori, la tabella con le distanze intercorrenti tra i recettori sensibili considerati e la turbina di progetto più vicina.

Recettore	Categoria catastale	Coordinate UTM zone 33	
		Long E	Lat N
R1	A3	327451.02	4204271.403
R2	A3	327428.4	4204207.506
R3	A4	327525.03	4203751.893
R4	A4	327947.81	4203170.967
R5	A3	331152.08	4204464.78
R6	A3	331096.12	4204546.536
R7	A7	332048.72	4203717.464
R8	A4	331985.22	4203769.058
R9	A7	332156.07	4204343.138
R10	A7	326244.66	4207088.959
R11	A7	326287.63	4207122.948
R12	A7	326314.59	4207127.245
R13	A7	326367.33	4207172.173
R14	A7	326406.01	4207195.613
R15	A7	326426.32	4207194.441
R16	A7	326485.31	4207226.867
R17	A4	326510.32	4207231.555
R18	A4	326526.33	4207220.03
R19	A7	326632.99	4207255.386
R20	A3	326373.29	4206830.626

R21	A3	326326.41	4206801.716
R22	A3	326276.4	4206730.614
R23	A4	325971.77	4206504.707
R24	A4	325981.25	4206505.879
R25	A4	326009.86	4206488.787
R26	A4	325985.93	4206477.555
R27	A7	326057.62	4206248.034
R28	A4	326017.38	4206307.026
R29	A4	326023.63	4206295.696
R30	A4	326013.09	4206333.201
R31	A3	326039.65	4206333.982
R32	A3	326002.54	4206438.683
R33	A7	326728.31	4207060.245
R34	A7	326625.96	4206962.576
R35	A7	326586.89	4206913.742
R36	A7	326610.33	4206915.695
R37	A7	326948.65	4207078.606
R38	A4	327369.9	4207002.23
R39	A3	326989.38	4206947.731
R40	A7	326610.62	4206868.815
R41	A7	326659.46	4206840.1
R42	A7	326727.43	4206783.843
R43	A4	326611.31	4206412.703
R44	A7	327125.04	4206634.801
R45	A7	327133.64	4206662.93
R46	A4	327152.97	4206649.451
R47	A4	327151.22	4206639.294
R48	A3	327172.8	4206622.495
R49	A3	327182.37	4206619.858
R50	A4	327192.04	4206634.899
R51	A4	327181.1	4206659.218
R52	A7	327181.49	4206671.329
R53	A4	327562.79	4206645.154
R54	A7	327613.38	4206577.177
R55	A7	327604.79	4206538.109
R56	A7	327608.31	4206489.666
R57	A4	327373.41	4207431.483
R58	A7	327403.89	4207401.791
R59	A7	327420.29	4207423.669
R60	A7	327432.01	4207455.704
R61	A2	327464.05	4207443.593
R62	A7	327472.64	4207480.317
R63	A4	327477.33	4207325.219
R64	A4	327462.1	4207316.917
R65	A7	327581.25	4207122.948
R66	A7	327633.99	4206999.886
R67	A7	327642.59	4206999.886
R68	A7	327649.23	4206999.495
R69	A7	327634.38	4206989.728
R70	A7	328039.51	4207042.86
R71	A7	328012.55	4206972.539
R72	A4	327736.06	4206523.654
R73	A4	328592.61	4207008.969

R74	A7	328617.22	4207019.126
R75	A4	328643.79	4207005.453
R76	A4	328650.82	4207012.876
R77	A4	328651.21	4206991.389
R78	A4	328653.94	4206998.421
R79	A7	330356.96	4207281.073
R80	A7	330889.44	4206774.592
R81	A4	330562.02	4206892.464
R82	A4	330575.91	4206908.736
R83	A7	326169.45	4205914.008
R84	A7	326182.74	4205897.99
R85	A7	326443.61	4206085.709
R86	A4	326362.54	4205717.597
R87	A7	326410.21	4205683.217
R88	A4	326348.48	4205645.713
R89	A4	326443.02	4205611.333
R90	A7	326457.09	4205575.391
R91	A3	326450.06	4205528.51
R92	A4	326523.5	4205457.408
R93	A3	326591.48	4205642.587
R94	A3	326585.23	4205655.87
R95	A3	326585.62	4205642.782
R96	A4	326750.68	4205646.299
R97	A4	326746.38	4205651.963
R98	A4	326677.82	4205369.115
R99	A3	326723.53	4205365.599
R100	A7	326730.95	4205391.384
R101	A7	327604.01	4206324.606
R102	A3	327613.38	4206295.696
R103	A4	327443.54	4206165.309
R104	A7	327506.83	4206065.296
R105	A7	327695.13	4206126.241
R106	A7	327758.42	4206147.338
R107	A7	327473.23	4205987.552
R108	A7	327475.96	4205980.129
R109	A7	327478.7	4205971.144
R110	A7	327628.33	4205901.604
R111	A7	327647.86	4205899.26
R112	A7	327634.97	4205889.493
R113	A7	327647.08	4205893.4
R114	A7	327649.03	4205887.54
R115	A7	327648.25	4205883.633
R116	A7	327539.2	4205282.972
R117	A4	327359.3	4205185.303
R118	A7	327033.09	4205208.744
R119	A7	327060.82	4205157.175
R120	A3	328036.78	4205891.837
R121	A7	328152.27	4205705.681
R122	A4	327976.86	4205493.545
R123	A4	328249.06	4205126.898
R124	A4	328938.5	4205744.944
R125	A4	328955.69	4205731.661
R126	A4	328908.64	4205250.989

R127	A4	329158.27	4205286.708
R128	A4	328915.78	4204896.58
R129	A3	329232.89	4204868.799
R130	A7	329331.31	4205045.805
R131	A7	329355.92	4205061.68
R132	A4	329411.08	4204920.789
R133	A7	329575.69	4204784.066
R134	A7	329491.3	4205902.385
R135	A7	329996.08	4206334.061
R136	A4	329849.93	4206196.494
R137	A4	329396	4205448.633
R138	A7	329428.15	4205390.292
R139	A7	329732.26	4205744.206
R140	A7	329891.87	4206843.225
R141	A3	330073.14	4206666.934
R142	A7	330136.43	4207004.867
R143	A7	330194.25	4207102.535
R144	A4	330193.47	4207129.882
R145	A4	330190.34	4207145.509
R146	A7	330186.44	4207152.932
R147	A7	330216.32	4207111.521
R148	A7	330330.01	4207206.65
R149	A7	330337.43	4207205.868
R150	A7	330419.86	4207115.427
R151	A7	330393.75	4206659.102
R152	A7	330523.52	4206699.98
R153	A7	330030.11	4206229.038
R154	A7	330145.01	4205720.393
R155	A7	330180.72	4205724.759
R156	A7	330327.96	4205796.99
R157	A7	330875.55	4206669.421
R158	A7	331088.28	4206760.305
R159	A7	329662.31	4205017.627
R160	A4	329723.82	4205101.764
R161	A7	329727.39	4205241.861
R162	A7	329814.71	4205296.63
R163	A4	330214.76	4205428.392
R164	A7	330494.95	4205479.986
R165	A4	327067.08	4205100.527
R166	A7	327033.09	4205032.55
R167	A4	327187.6	4204847.957
R168	A4	327198.15	4204848.738
R169	A7	327194.24	4204802.248
R170	A3	327354.81	4204821
R171	A4	327501.7	4204840.143
R172	A7	327352.85	4204703.798
R173	A7	327234.09	4204678.795
R174	A7	327564.21	4204689.734
R175	A7	327636.87	4204938.202
R176	A7	327094.43	4204213.31
R177	A3	327462.92	4204526.246
R178	A4	327866.35	4204678.051
R179	A3	328055.95	4204761.444

R180	A7	328062.3	4204697.547
R181	A4	328082.94	4204701.913
R182	A4	328094.85	4204636.032
R183	A4	328724.09	4204869.592
R184	A7	328127.99	4204433.427
R185	A7	328709.41	4204345.717
R186	A4	329311.87	4204719.177
R187	A7	329484.01	4204820.578
R188	A4	329748.13	4204374.292
R189	A3	328762.74	4204068.748
R190	A7	330538.51	4204932.894
R191	A7	330720.28	4204645.358
R192	A7	330223.98	4204308.411
R193	A7	329828.79	4203902.507
R194	A7	329618.85	4203777.095
R195	A4	329650.6	4203303.623
R196	A7	329210.81	4203871.452
R197	A7	329312.81	4203719.052
R198	A7	329866.2	4204261.382
R199	A7	331160.81	4204015.021

Tabella 2 - Tabella riepilogativa recettori sensibili

Recettore	WTG	Distanza (m)
R1	WTG-12	580
R2	WTG-12	566
R3	WTG-12	516
R4	WTG-12	869
R5	WTG-19	300
R6	WTG-19	234
R7	WTG-21	984
R8	WTG-21	934
R9	WTG-21	351
R10	WTG-1	1001
R11	WTG-1	1012
R12	WTG-1	997
R13	WTG-1	1005
R14	WTG-1	1010
R15	WTG-1	992
R16	WTG-1	996
R17	WTG-1	989
R18	WTG-1	973
R19	WTG-1	976
R20	WTG-1	715
R21	WTG-1	729
R22	WTG-1	732
R23	WTG-1	895
R24	WTG-1	916
R25	WTG-1	880
R26	WTG-1	901
R27	WTG-1	821
R28	WTG-1	850
R29	WTG-1	850

R30	WTG-1	850
R31	WTG-1	834
R32	WTG-1	885
R33	WTG-1	777
R34	WTG-1	700
R35	WTG-1	672
R36	WTG-1	665
R37	WTG-2	699
R38	WTG-2	499
R39	WTG-2	571
R40	WTG-1	618
R41	WTG-1	576
R42	WTG-1	494
R43	WTG-1	294
R44	WTG-2	267
R45	WTG-2	274
R46	WTG-2	255
R47	WTG-2	247
R48	WTG-2	222
R49	WTG-2	213
R50	WTG-2	209
R51	WTG-2	235
R52	WTG-2	243
R53	WTG-2	239
R54	WTG-2	242
R55	WTG-2	226
R56	WTG-2	228
R57	WTG-2	918
R58	WTG-2	887
R59	WTG-2	910
R60	WTG-2	949
R61	WTG-2	934
R62	WTG-2	970
R63	WTG-2	818
R64	WTG-2	810
R65	WTG-2	643
R66	WTG-2	551
R67	WTG-2	552
R68	WTG-2	554
R69	WTG-2	353
R70	WTG-2	842
R71	WTG-2	782
R72	WTG-2	351
R73	WTG-4	882
R74	WTG-4	891
R75	WTG-4	879
R76	WTG-4	909
R77	WTG-4	880
R78	WTG-4	887
R79	WTG-7	992
R80	WTG-7	629
R81	WTG-7	603
R82	WTG-7	620

R83	WTG-1	813
R84	WTG-1	807
R85	WTG-1	492
R86	WTG-1	789
R87	WTG-1	784
R88	WTG-1	844
R89	WTG-1	820
R90	WTG-1	844
R91	WTG-1	889
R92	WTG-1	922
R93	WTG-1	722
R94	WTG-1	723
R95	WTG-1	722
R96	WTG-1	665
R97	WTG-1	667
R98	WTG-1	960
R99	WTG-1	957
R100	WTG-1	918
R101	WTG-2	290
R102	WTG-2	317
R103	WTG-2	346
R104	WTG-2	459
R105	WTG-3	484
R106	WTG-3	519
R107	WTG-3	415
R108	WTG-3	410
R109	WTG-3	409
R110	WTG-3	266
R111	WTG-3	253
R112	WTG-3	251
R113	WTG-3	256
R114	WTG-3	250
R115	WTG-3	245
R116	WTG-3	377
R117	WTG-3	551
R118	WTG-3	774
R119	WTG-3	778
R120	WTG-3	432
R121	WTG-3	465
R122	WTG-3	319
R123	WTG-10	310
R124	WTG-5	165
R125	WTG-5	158
R126	WTG-5	345
R127	WTG-5	419
R128	WTG-10	415
R129	WTG-16	397
R130	WTG-16	491
R131	WTG-16	492
R132	WTG-16	346
R133	WTG-16	200
R134	WTG-6	302
R135	WTG-7	475

R136	WTG-7	627
R137	WTG-6	376
R138	WTG-6	448
R139	WTG-6	521
R140	WTG-7	803
R141	WTG-7	544
R142	WTG-7	790
R143	WTG-7	859
R144	WTG-7	892
R145	WTG-7	898
R146	WTG-7	910
R147	WTG-7	861
R148	WTG-7	927
R149	WTG-7	926
R150	WTG-7	820
R151	WTG-7	376
R152	WTG-7	415
R153	WTG-7	436
R154	WTG-8	276
R155	WTG-8	242
R156	WTG-8	142
R157	WTG-7	545
R158	WTG-7	767
R159	WTG-16	437
R160	WTG-16	541
R161	WTG-17	658
R162	WTG-17	590
R163	WTG-8	324
R164	WTG-8	212
R165	WTG-3	808
R166	WTG-3	877
R167	WTG-3	912
R168	WTG-3	915
R169	WTG-11	925
R170	WTG-11	773
R171	WTG-11	655
R172	WTG-11	743
R173	WTG-11	858
R174	WTG-11	530
R175	WTG-11	605
R176	WTG-12	889
R177	WTG-11	612
R178	WTG-11	261
R179	WTG-11	230
R180	WTG-11	164
R181	WTG-11	163
R182	WTG-11	96
R183	WTG-10	237
R184	WTG-11	104
R185	WTG-14	509
R186	WTG-16	238
R187	WTG-16	226
R188	WTG-16	306

R189	WTG-14	383
R190	WTG-17	201
R191	WTG-19	170
R192	WTG-19	651
R193	WTG-14	689
R194	WTG-14	539
R195	WTG-14	904
R196	WTG-14	205
R197	WTG-14	381
R198	WTG-16	475
R199	WTG-19	586

Tabella 3 - Distanze dei recettori dall'aerogeneratore più vicino

3. DEFINIZIONI E NOZIONI GENERALI (FONTE ISPRA)

Le vibrazioni sono oscillazioni meccaniche generate da onde di pressione che si propagano attraverso i corpi. La vibrazione è quindi definita come quel fenomeno ondulatorio, generalmente a bassa frequenza, trasmesso attraverso un mezzo solido, liquido o gassoso. Una vibrazione rappresenta una celere fluttuazione intorno ad una posizione di equilibrio, il movimento netto dell'elemento posto in vibrazione è quindi nullo. L'oscillazione è invece 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), ed 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.

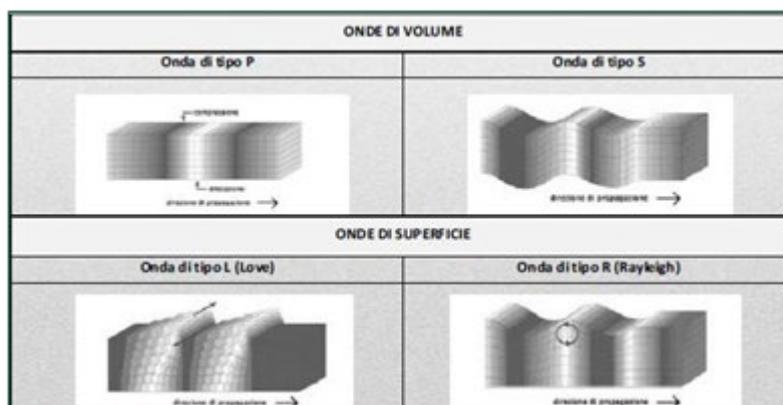


Figura 2 - Differenti tipologie di onde di volume e superficie.

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 un'attenuazione dipendente da natura del terreno, frequenza del segnale, distanza tra sorgente e recettore.

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

$$w_2(d, f) = w_1(d_0, f) \cdot \left(\frac{d}{d_0}\right)^n \cdot e^{-\frac{2\pi f \eta}{c}(d-d_0)}$$

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 metri,
- 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 nella figura seguente.

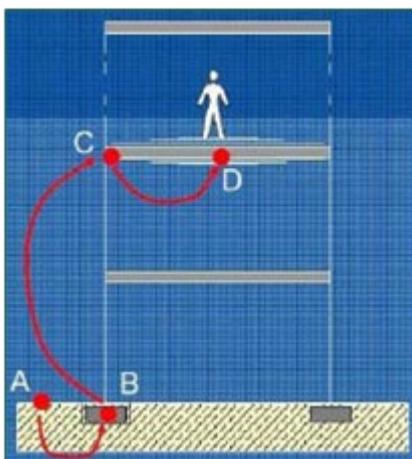


Figura 3 - Schematizzazione semplificata della propagazione delle vibrazioni nel sistema terreno-edificio.

Differenti tipologie di fondazioni forniscono diversi effetti di attenuazione o amplificazione del fenomeno vibratorio come evidenziato nella figura seguente:

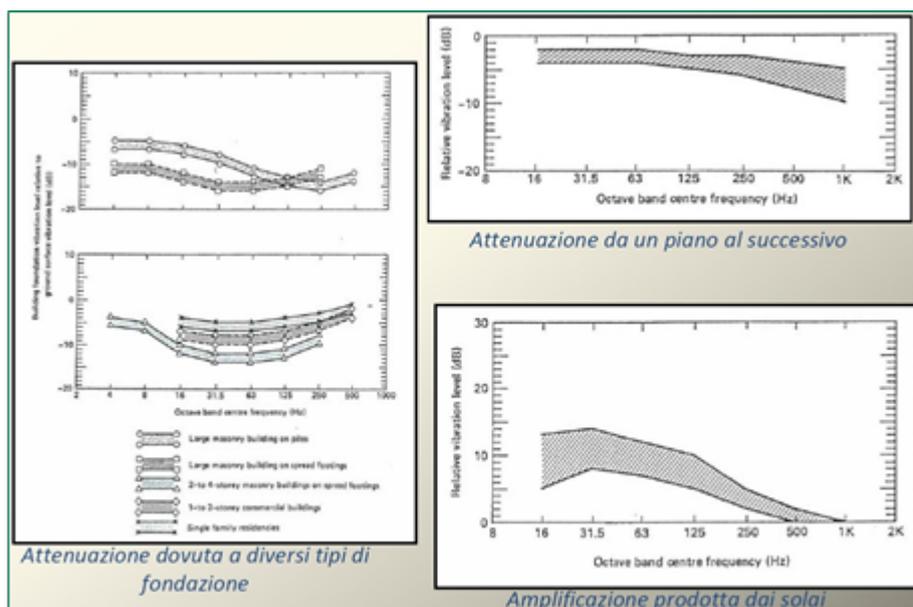


Figura 4 - Esempi di attenuazione/amplificazione dei fenomeni vibratorii/oscillatori nei differenti elementi

4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Allo stato attuale non esiste una norma a livello nazionale che stabilisca valori limite per l'esposizione alle vibrazioni, quindi si fa riferimento ad altre normative in materia di sicurezza che possano essere di indirizzo per la stima dei livelli di accelerazione e di esposizione:

- **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 applicazioni in ambito eolico e le tematiche ad esse relative, oggetto di tale relazione (aree di cantiere, viabilità ecc.), interessano solitamente suoli e zone a carattere quasi esclusivamente di tipo rurale ove la presenza di strutture ed edifici è solitamente scarsa. Solo in casi meno frequenti, le strutture risultano essere a carattere abitativo, di altezza comunque contenuta (max 2-3 piani) e le distanze dalle turbine risultano quasi sempre non inferiori ai 200-300 m in linea d'aria, anche nell'ottica del rispetto dei requisiti di impatto acustico, shadow-flickering, gittata ecc.

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.

5. PARAMETRI DI RIFERIMENTO TRASMISSIONE E PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI

La modalità di valutazione del fenomeno afferente alle vibrazioni può essere determinata:

- in termini di spostamento, ossia la variazione della posizione di un corpo o di una particella generalmente misurata a partire dalla posizione di quieto o dalla media delle posizioni assunte dal corpo (o dalla particella in questione);
- in termini di velocità, ossia la variazione in un determinato intervallo di tempo dello spostamento del corpo rispetto al punto di riferimento.

Si identifica il PPV (Peak Particle Velocity - valore di picco) ossia il picco massimo istantaneo positivo o negativo del segnale di vibrazione, valido per la valutazione dei potenziali danni agli edifici, ma risulta poco idoneo per una valutazione inerente alla risposta umana per la quale invece è indicata la valutazione del valore efficace della velocità (RMS), definita come la radice quadrata della media della velocità istantanea al quadrato.

Infine, al pari delle grandezze in acustica, viene utilizzato il livello associato al valore efficace della velocità L_v , misurato in dB e definito attraverso l'equazione:

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

dove:

- v è indicato il valore efficace della velocità istantanea;
- v_0 è indicato il valore di riferimento ($v_0 = 10^{-9}$ m/s).

Al contempo, le grandezze impiegate per l'accelerazione risultano le corrispondenti a quelle espresse per la velocità.

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

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

dove:

- a è indicato il valore efficace dell'accelerazione istantanea;
- a_0 è indicato il valore di riferimento ($a_0 = 10^{-6}$ m/s²).

I fattori che incidono ed influiscono sulla propagazione delle vibrazioni attraverso il suolo sono legati a parametri di tipo fisico e definiscono tre diverse 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).

5.1 Modalità operative e tipologie di sorgenti impiegate nelle fasi di cantiere

Nella fase di cantiere rientrano tutte quelle attività afferenti alla preparazione dei suoli e della viabilità necessaria al trasporto ed installazione degli aerogeneratori. Attività di scavo, sbancamento, trasporto e stoccaggio del materiale necessitano naturalmente di mezzi adeguati che generano vibrazioni di livello diverso in virtù dei mezzi e dei macchinari utilizzati nelle differenti fasi. Le attività che tipicamente generano livelli di vibrazioni pericolosi sono associate all'uso di esplosivi ed attrezzature d'impatto (es. battipalo), che sostanzialmente non rientrano nelle attività afferenti alle installazioni di impianti eolici.

5.2 Fattori Geologici

I livelli di vibrazione e propagazione dei fenomeni vibratorii, sono fortemente dipendenti dalla natura dei terreni affioranti ed in particolare dalla profondità, morfologia del substrato roccioso, la rigidità e lo smorzamento interno del terreno. Una conseguenza di ciò è la registrazione di fenomeni di rifrazione e riflessione causati dalla diversa modalità di propagazione delle vibrazioni in strati con caratteristiche fisico-meccaniche differenti oppure fenomeni di rallentamento o mancata propagazione delle stesse a causa della presenza di falde acquifere.

5.3 Caratteristiche e fattori strutturali di edifici e fabbricati

La propagazione delle vibrazioni via terra possono provocare sensazioni di fastidio quasi esclusivamente, quando si avvertono all'interno degli edifici. Quindi le caratteristiche dei recettori costituiscono una componente fondamentale nella valutazione delle vibrazioni. È possibile che vibrazioni generate dai mezzi di escavazione possano essere avvertite all'esterno dei fabbricati, ma raramente è capitato che possano essere causa di problematiche o lamenti. I livelli di vibrazione che si propagano all'interno di 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 stesso. Generalmente si può affermare che quanto maggiore è la massa della struttura coinvolta, tanto minore è la sua risposta all'energia vibratoria incidente sul terreno. Le sorgenti di vibrazione provocano effetti che si propagano attraverso il terreno e tendono a diminuire di intensità con l'aumentare della 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.

6. APPLICAZIONE DEL MODELLO PREVISIONALE

Per un esame previsionale volto all'individuazione di potenziali situazioni che possano provocare rischi o danni alle strutture, si può utilizzare un modello matematico empirico semplificato basato sulla classica procedura di valutazione della propagazione per la stima delle vibrazioni indotte.

Anche in tale elaborato la valutazione previsionale viene elaborata attraverso l'utilizzo di un modello di propagazione classico la cui procedura segue gli step riportati a seguire:

- si considerano i livelli di accelerazione lungo i tre assi: per la fase di esercizio misurati alla distanza di 1 m dagli aerogeneratori, per la fase di cantiere misurati al sedile del mezzo;
- si applica il modello di propagazione classico per la stima del livello di accelerazione per assegnata distanza, che presenta la 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 è l'ampiezza delle vibrazioni alla distanza r_1 dalla sorgente;
- w_2 è l'ampiezza delle vibrazioni alla distanza r_2 ;
- n è il coefficiente di smorzamento geometrico;
- α è il coefficiente di smorzamento del materiale.

Il coefficiente di smorzamento α è definito a partire dal tipo di onda, dal tipo di sorgente e dal luogo di emissione della vibrazione e generalmente varia tra 0,5 e 2,0. Tale parametro considera la riduzione di energia di vibrazione causata dall'attrito e dalla coesione tra le particelle di terreno. Questa attenuazione, dovuta allo smorzamento del materiale, è influenzata dalla litologia, dal tipo di terreno e dalla frequenza di vibrazione. α può essere calcolato come:

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

dove:

- η è il fattore di perdita del terreno;
- c è la velocità di propagazione dell'onda espressa in m/s;
- f è la frequenza di propagazione dell'onda espressa in Hz.

Ne consegue pertanto che per terreni molto rigidi, da litoidi a semi-litoidi, l'attenuazione del mezzo di propagazione avrà valori minori rispetto a quelli riferiti a terreni a grana grossa mediamente addensati o a grana fine mediamente consistenti. Tanto più sarà compatta la roccia del substrato, tanto meno sarà attenuato il fenomeno di propagazione. Anche il livello di frequenza delle vibrazioni

incide sensibilmente sulla loro propagazione nel mezzo, infatti la propagazione delle vibrazioni ad alte frequenze risultano più attenuate delle vibrazioni a basse frequenze. Risulta quindi che la maggiore propagazione possibile delle vibrazioni si ottiene per la condizione e combinazione di vibrazioni a bassa frequenza che si propagano in terreni rigidi.

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

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

Tabella 4 - Valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali per differenti litologie

L'applicazione del suddetto modello, a partire dai livelli di accelerazione noti, permette di calcolare la distanza alla quale le vibrazioni indotte dalla sorgente raggiungono i livelli di accelerazione accettabili ai sensi della UNI 9614:

$$w_2 = w_1 \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^n e^{-\alpha(r_2-r_1)} \rightarrow L(d) = L(0) \left(\frac{1}{d}\right)^n e^{-\alpha(d-1)} \rightarrow d$$

dove:

- L(0) è il livello di accelerazione misurato alla distanza di 1 m dalla sorgente di emissione;
- L(d) è indicato il livello di accelerazione corrispondente al limite di accettabilità (UNI 9614).

6.1 Rischio del danno a strutture ed edifici

Le principali attività che solitamente si valutano quando si parla di rischio per strutture derivanti da vibrazioni sono quelle che prevedono l'utilizzo di macchine battipalo, esplosivi, perforazioni, demolizioni e/o scavi in prossimità di edifici e zone residenziali. In tali circostanze devono essere valutati i differenti livelli di vibrazione ed impulsi derivanti da tali attività ed i cui effetti possono generare potenziali conseguenze sui fabbricati e sulle strutture sollecitate.

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.

Nella specifica circostanza viene adottato il criterio che fissa come limiti i valori a seguire:

- 5 mm/s per edifici residenziali (vibrazioni durature);
- 2,5 mm/s per edifici storici ed estremamente fragili (vibrazioni durature).

Tali valori rappresentano i limiti più cautelativi utilizzati in via generale e risultano maggiori dei limiti considerati a riferimento per il 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 fattore di cresta la differenza fra il valore massimo di picco di una forma d'onda e il suo valore efficace.

Il fattore di cresta per una forma d'onda sinusoidale è pari a 3 dB, mentre per un segnale con diverse componenti e con forma d'onda molto irregolare, il fattore di cresta può superare i 10 dB. In alcuni casi può anche superare i 20 dB se sono presenti eventi impulsivi (martellate, esplosioni, ecc.).

Tale circostanza risulta però altamente improbabile al punto che è possibile assumere che il rispetto dei limiti di non-disturbo alle persone, fornisce comunque sufficienti garanzie tali da evitare effetti dannosi nei confronti delle strutture edilizie sollecitate.

6.2 Rischio esposizione umana – Rischio disturbo

Internamente a tutti i corpi di fabbrica, edifici o strutture ricettive, il disturbo può essere percepito sia come vibrazione meccanica delle strutture edilizie (groundborn vibration) sia come rumore trasmesso ed irradiato orizzontalmente dalle pareti, dagli infissi, da pensili o suppellettili presenti all'interno degli edifici (groundborn noise). In entrambi i casi, tali disturbi o la loro percezione, tendono a diminuire rapidamente fino a sparire completamente in funzione della distanza dalla sorgente. Naturalmente vi sono molti altri fattori che inducono la riduzione percettiva, legati sia alle attenuazioni delle vibrazioni sia alle amplificazioni del fenomeno dovuti principalmente alla tipologia dei sistemi di fondazione.

La soglia di percezione delle vibrazioni è definita nella normativa UNI 9614 che individua come valori di riferimento per i tre assi x, y e z i seguenti valori:

- asse x ed asse y - $a_{soglia}(x/y) = 3,6 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$ corrispondenti a 71 dB (per $a_0 = 10^{-6} \text{ m/s}^2$);
- asse z - $a_{soglia}(z) = 5 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$ pari a 74 dB (per $a_0 = 10^{-6} \text{ m/s}^2$).

Deve inoltre essere assegnata una classificazione di sensibilità dei recettori adiacenti alle sorgenti, tale classificazione di sensibilità è definita in relazione alla destinazione d'uso dell'immobile, indipendentemente dal suo stato conservativo o dalla tipologia costruttiva in conformità alla UNI 9614.

Le aree critiche corrispondono alle aree archeologiche, le zone di importanza storico-monumentale, le aree con presenza di infrastrutture ospedaliere o sanitarie, le aree con edifici scolastici e le aree con attività industriali a carattere specialistico con impiego di meccanica di precisione.

Per le fabbriche e similari vigono i valori limite per l'esposizione dei lavoratori a vibrazioni meccaniche sanciti nel D.lgs. 81/2008.

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.

CLASSIFICAZIONE DI SENSIBILITÀ E DESTINAZIONE D'USO	LIVELLI DI ACCELERAZIONE			
	asse x,y		asse z	
	m/s ²	dB	m/s ²	dB
AREE CRITICHE	$3,6 \times 10^{-3}$	71	$5,0 \times 10^{-3}$	74
ABITAZIONI (notturno)	$5,0 \times 10^{-3}$	74	$7,0 \times 10^{-3}$	77
ABITAZIONI (diurno)	$7,0 \times 10^{-3}$	77	$10,0 \times 10^{-3}$	80
UFFICI	$14,4 \times 10^{-3}$	83	$20,0 \times 10^{-3}$	86
FABBRICHE	$28,8 \times 10^{-3}$	89	$40,0 \times 10^{-3}$	92

Tabella 5 - Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza in relazione alla destinazione d'uso degli immobili – Rif. UNI 9614 – valutazione del disturbo.

6.3 Vibrazioni relative alle aree di cantiere

Gli impianti eolici sono localizzati generalmente in aree collinari a prevalente carattere agricolo e rurale. Tali aree, che risultano già essere interessate dal transito di mezzi per la lavorazione agricola e per il trasporto dei materiali, sono per lo più caratterizzate da una viabilità esistente di tipo sterrato o nel caso di transito sostenuto di mezzi pesanti, da una viabilità con un fondo stradale in pietrisco per permettere l'assorbimento delle acque meteoriche e minimizzare gli effetti di avvallamenti legati al transito sui suoli bagnati. Il passaggio di tali mezzi genera normalmente un livello di rumore e vibrazioni già insite nei siti oggetto di installazione eolica, tuttavia in fase di cantiere per la realizzazione di un nuovo impianto, potrebbero essere previsti alcuni accorgimenti operativi e forme di mitigazione volte a minimizzare gli apporti acustici e vibrazionali e la conseguente potenziale sensazione di fastidio o disturbo legato alla temporanea presenza del cantiere.

Gli accorgimenti solitamente più semplici da adottare prevedono ad esempio:

- l'utilizzo di mezzi gommati che minimizzano l'impatto acustico e la conseguente generazione di fenomeni vibratorii legati all'attraversamento del percorso stradale;
- l'utilizzo di macchine operatrici di nuova generazione a norma con valori emissivi dichiarati e certificati;
- si può prevedere, a titolo meramente cautelativo, un piano di monitoraggio.

In fase di realizzazione dell'impianto, è infatti possibile ipotizzare delle campagne fonometriche in virtù delle diverse fasi di cantiere ed in considerazione dello spostamento lungo linee orizzontali dei

macchinari impiegati durante le differenti fasi lavorative.

Le campagne fonometriche di tale tipo potrebbero essere previste (ad esempio) in virtù di una variazione dei mezzi in uso per la stessa fase di lavorazione oppure in relazione ad un significativo spostamento del fronte di cantiere o in concomitanza dell'arrivo e/o dell'installazione delle turbine. La campagna di monitoraggio potrebbe essere orientata ed indirizzata a quelle strutture eventualmente già individuate in fase preliminare 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.

6.4 Vibrazioni di impianti eolici in fase di esercizio

Il rumore e le vibrazioni emesse dagli aerogeneratori sono sostanzialmente di natura aerodinamica, meccanica e cinetica. I fenomeni di natura meccanica sono legati agli attriti delle componenti del rotore con il sistema di trasmissione del generatore, quelli di natura aerodinamica sono legati alle interazioni tra il vento e le pale mentre quelli di natura cinetica sono legati alle oscillazioni ed al passaggio dallo stato stazionario allo stato combinato. Oltre all'interazione aerodinamica e meccanica delle pale con la torre, il movimento oscillatorio è dovuto alla pressione del vento sul piano del rotore che genera un momento forzante bilanciato dalle strutture di fondazione della turbina.

Studi effettuati dalla BWEA (British Wind Energy Association) hanno dimostrato che sono sufficienti poche decine di metri di distanza affinché il rumore risultante dalle vibrazioni prodotte dalle turbine eoliche risulti quasi indistinguibile rispetto al rumore residuo.

È infatti possibile analizzare come le vibrazioni si trasmettono e si propagano nel suolo nell'intorno delle fondazioni degli aerogeneratori ed è dimostrabile come l'ampiezza delle onde e l'energia ad esse associata tenda rapidamente a diminuire con l'aumentare della distanza dalla turbina. Le vibrazioni vengono trasmesse attraverso la struttura metallica della torre, le fondazioni, ed il terreno alle caratteristiche strutturali del recettore.

7. STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI ESERCIZIO

L'applicazione del modello previsionale descritto permette di poter effettuare la stima previsionale ed una valutazione quantitativa delle vibrazioni generate a regime dall'impianto al fine di poter valutare la distanza minima alla quale il potenziale disturbo legato all'effetto vibratorio sia tale da non arrecare disturbo agli edifici, alle attività circostanti ed alla popolazione umana presenti nell'area in esame.

In riferimento all'impianto eolico di progetto, non disponendo ancora di valori misurati per le turbine in esame poiché fisicamente ancora non installate, nell'ottica di poter effettuare una stima previsionale delle vibrazioni indotte dallo stesso nei confronti di strutture ricettive più prossime, saranno utilizzati come dati in input i valori noti di impianti eolici di similari e paragonabili caratteristiche, applicando ed elaborando le stesse alla condizione al contorno dello specifico sito di installazione.

In termini quantitativi per l'applicazione del modello previsionale sono state adottate, in funzione della tipologia di substrato litologico, le seguenti assunzioni legate ai parametri di input:

- relativamente ai valori legati alla componente litologica è stato assunto:
 - $\eta = 0,5$ (fattore di perdita del terreno);
 - c (velocità di propagazione dell'onda longitudinale) = 1500 m/s (valore in linea con i dati geotecnici riportati nell'elaborato specialistico);
- il coefficiente di smorzamento geometrico è scelto pari a 0,5 poiché riferito a onde superficiali (Rayleigh o Love) generate da sorgenti di emissione puntuale nell'ottica di generalizzare il modello alle condizioni più cautelative possibili frequenza di propagazione dell'onda è stata posta pari a 20 Hz costituente il valore minimo udibile dall'orecchio umano;
- relativamente ai valori di accelerazione per l'impianto in esercizio sono stati considerati dati desunti presso impianti con aerogeneratori similari e/o comparabili considerati nelle condizioni di esercizio più gravose.

In particolare, nel modello di calcolo sono stati imputati i valori di accelerazione (non ponderati in frequenza) misurati in corrispondenza della base torre per i tre assi x, y, z , presi come riferimento per il calcolo in base a valori reali misurati su strutture analoghe sono:

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

- relativamente ai valori di attenuazione e/o amplificazione legati alle fondazioni delle strutture e dei fabbricati ricettivi nessun parametro di attenuazione è stato applicato.

Le tabelle a seguire evidenziano rispettivamente la sintesi di tutti i dati ed i parametri considerati in

input al modello previsionale di calcolo e la sintesi dei risultati attesi con evidenza della rispondenza ai limiti soglia sanciti nella UNI 9614 di riferimento.

La Tabella 7 riporta come, termine di valutazione, il riferimento ai limiti più restrittivi individuati nella UNI 9614 relative alle destinazioni d'uso individuate come "aree critiche" ed aree con strutture a carattere abitativo rispettivamente per il periodo di riferimento notturno e diurno, posto che la verifica del rispetto per le aree con tali destinazioni d'uso, implica necessariamente la validità ed il rispetto dei limiti anche per le strutture poste in aree i cui valori soglia risultano meno restrittivi.

DATI IN INPUT	VALORE
Distanza di misura dalla sorgente (m)	1
Coefficiente di attenuazione geometrica	0,5
Frequenza di vibrazione (Hz)	20
Coefficiente di assorbimento del terreno	0,5
Velocità di propagazione nel mezzo (m/s)	1500

Tabella 6 - Dati in input per il calcolo delle vibrazioni indotte da un aerogeneratore in esercizio.

Distanza minima di rispetto dei valori raccomandati UNI 9614	x (m)	y (m)	z (m)
abitazioni (giorno)	7,72	3,28	6,00
abitazioni (notte)	12,42	5,79	10,24
aree critiche	18,53	9,53	15,86

Tabella 7 - Distanze per il rispetto dei limiti UNI 9614.

Gli aerogeneratori di progetto sono posizionati a distanze non inferiori i 300-400 m tra loro ed il primo recettore sensibile risulta dislocato a distanze molto superiori rispetto a quelle indicate nella precedente tabella. In ragione di ciò, si può senz'altro affermare che l'impatto causato dalle vibrazioni prodotto dal parco eolico in oggetto risulta completamente smorzato e assolutamente trascurabile e che nessun recettore riceve un fenomeno vibrazionale tale da ingenerare disturbo.

La Figura 5 mostra la curva di smorzamento del fenomeno vibratorio lungo gli assi x, y e z in riferimento alla distanza dalla sorgente.

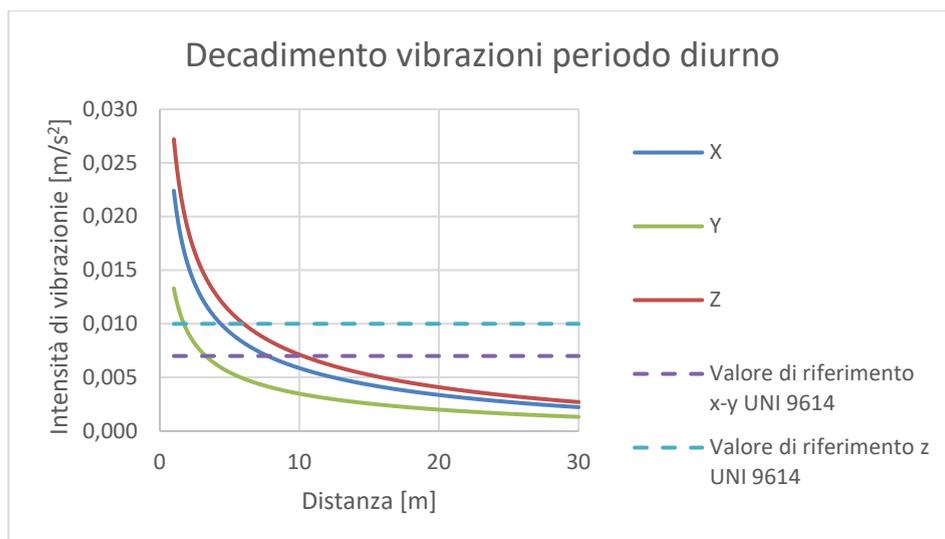


Figura 5 - Decadimento delle vibrazioni in fase preliminare

Da quanto mostrato i valori soglia risultano rispettati per le abitazioni di notte già ad una distanza inferiore ad 12,42 m e ad una distanza inferiore i 18,53 m per le aree critiche.

8. FASE DI CANTIERE

Nella fase di cantiere per la realizzazione di un impianto eolico rientrano tutte quelle attività afferenti alla preparazione dei suoli e della viabilità necessaria al trasposto ed all'installazione degli aerogeneratori; quindi, sono pertanto escluse tutte quelle attività considerate a rischio perché realmente capaci di generare livelli di vibrazioni "pericolose", ossia tutte quelle fasi che prevedono l'utilizzo di esplosivi ed attrezzature d'impatto (ad esempio battipalo). Trattasi fundamentalmente di attività di scavo, sbancamento, trasporto e stoccaggio del materiale, quindi seppur in maniera contenuta, i mezzi impiegati generano vibrazioni di livello diverso in virtù della diversa tipologia dei macchinari, utilizzati nelle differenti fasi. La possibilità che possano quindi manifestarsi pericoli o evidenze di danni di qualsiasi tipo alle strutture prossime al cantiere, è da ritenersi nulla o quantomeno altamente improbabile anche in ragione delle distanze minime (non inferiori i 200 m) alle quali le turbine sono poste rispetto alle strutture più prossime.

In termini quantitativi, per l'applicazione del modello previsionale sono state adottati in input i seguenti criteri di scelta e parametri di inserimento.

In particolare:

- relativamente ai valori emissivi dei mezzi impiegati: si è ipotizzato di valutare la propagazione delle vibrazioni in considerazione dell'utilizzo del mezzo di cantiere con emissioni più elevate tra quelli presenti nelle diverse fasi di lavorazione. Nello specifico sarà considerato un escavatore CAT Mod 320 della potenza di 129 KW per il quale sono disponibili i livelli di vibrazione realmente misurati in campo e riferite direttamente al sedile del conducente del mezzo. In questo caso quindi, rispetto alla condizione misurata al suolo alla distanza di un metro dalla sorgente, è stata considerata la condizione in assoluto più penalizzante e quindi più cautelativa ai fini della stima previsionale.
- Relativamente ai valori soglia per il limite di disturbo - livelli di riferimento: poiché tutte le attività di cantiere (e quindi anche quelle di escavazione) sono quasi esclusivamente concentrate nelle ore diurne, in assenza quindi di attività nel periodo di riferimento notturno, è stato assegnato come valore soglia di riferimento quello relativo alle destinazioni d'uso delle strutture a carattere abitativo per il periodo diurno che fissato in 77 dB. Tali attività, inoltre, essendo a carattere temporaneo, risultano non compatibili con potenziali problematiche legate ad azioni vibratorie prolungate nel tempo cui potrebbero essere soggette le aree critiche;
- relativamente ai valori di attenuazione e/o amplificazione legati alle fondazioni delle strutture

e dei fabbricati ricettivi nessun parametro di attenuazione è stato applicato.

In Tabella 8 e Tabella 9 sono riportate rispettivamente la sintesi dei dati di input (accelerazioni del mezzo di cantiere considerato, poste invariate le altre componenti), e la sintesi dei risultati/valori attesi con evidenza della rispondenza ai limiti soglia individuati nella UNI 9614 di riferimento.

Svolgendosi le attività di cantiere prevalentemente nelle ore diurne, la verifica dei risultati è stata effettuata in riferimento al limite di 77 dB individuato nella UNI 9614 relativo al periodo di riferimento diurno.

LIVELLI DI ACCELERAZIONE SORGENTE	dB(A)	m/s ²
x	108,9	0,28
y	110	0,32
z	112,4	0,42

Tabella 8 - Dati in input per il calcolo delle vibrazioni indotte dal mezzo di cantiere considerato.

Distanza minima di rispetto dei valori raccomandati UNI 9614	x (m)	y (m)	z (m)
abitazioni (giorno)	74,27	79,13	76,04

Tabella 9 - Distanze di rispetto dei limiti UNI 9614.

Anche per le attività di cantiere durante la realizzazione del parco eolico si può affermare che l'impatto causato dalle vibrazioni può ritenersi trascurabile anche considerando l'effetto cumulato con altre sorgenti emissive in utilizzo, rientrando i valori entro i limiti raccomandati dalla normativa ad una distanza massima di circa 79,13 m.

9. CONCLUSIONI

Per l'impianto eolico di progetto sono state condotte delle simulazioni attraverso l'utilizzo del modello Dong- Soo Kim, Jin-Sun Lee con il quale, a partire dai valori di accelerazione per le tre componenti x, y e z alla base della torre degli aerogeneratori in fase di esercizio, è possibile calcolare la propagazione delle vibrazioni indotte stimandone la distanza di smorzamento.

I risultati delle simulazioni di tipo previsionale hanno dimostrato che sulla base delle assunzioni esplicitate, 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, 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 valutazione della componente vibrazionale è stata trattata sia per la verificata del "criterio del disturbo" sia "danno strutturale".

Il dato previsionale ottenuto in base alle assunzioni sopracitate ha dimostrato che già a distanze di circa 12,42 m le vibrazioni indotte dagli aerogeneratori in fase di esercizio risultano inferiori ai limiti di rispetto per le abitazioni nel periodo notturno e diurno come indicato nella normativa di riferimento UNI 9614.

Anche le valutazioni eseguite relativamente la fase di cantiere hanno dimostrato che, per le modalità operative necessarie all'installazione di impianti eolici, il solo impiego di mezzi ordinari quali i mezzi di escavazione, trasporto e movimentazione dei materiali non sarà tale da produrre effetti significativi.

Si può pertanto concludere che in tutte le circostanze, l'impatto causato dalle vibrazioni indotte durante l'installazione dell'impianto eolico nei confronti degli edifici sia assolutamente trascurabile e che nessun recettore riceve un fenomeno vibrazionale tale da ingenerare disturbo.