

# REGIONI PUGLIA e CAMPANIA

Province di Foggia e Avellino

COMUNI DI Greci (AV) – Montaguto (AV) – Faeto (FG) –  
Celle di San Vito (FG) – Orsara (FG)- Castelluccio  
Valmaggiore (FG) – Troia (FG)

PROGETTO

## POTENZIAMENTO PARCO EOLICO GRECI-MONTAGUTO



### PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE:

*ERG Wind 4*



PROGETTISTA:



**GOLDER**  
Via Sante Bargellini, 4  
00157 - Roma (RM)

Elaborazione e redazione a cura di:  
**ing. Massimo Lepore**  
tecnico competente in acustica ambientale  
iscritto nell'elenco nazionale "ENTECA" al  
n.8866, riconosciuto con DDR Campania  
1396/2007, 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 13**

### STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)

CODICE PROGETTISTA	DATA	SCALA	FOGLIO	FORMATO	CODICE DOCUMENTO				
					IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.
	12/2019	/	1 di 30	A4	GRE	ENG	REL	0041	00

NOME FILE: GRE-ENG-REL-0041\_00\_Studio di impatto delle vibrazioni.doc

ERG 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 IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	2
<b>GRE</b>	<b>ENG</b>	<b>REL</b>	0041	00		

Storia delle revisioni del documento

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	12/2019	PRIMA EMISSIONE	TP	LSP	VBR

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	3
GRE	ENG	REL	0041	00		

## INDICE

<b>1. PREMESSA</b>	<b>4</b>
1.1 DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO	4
1.2 INDIVIDUAZIONE E SCELTA DEI RECETTORI	10
<b>2. CENNI TEORICI SULLE VIBRAZIONI</b>	<b>12</b>
2.1 DEFINIZIONI E NOZIONI GENERALI (FONTE ISPRA)	12
2.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	14
2.3 CASO STUDIO E PARAMETRI DI TRASMISSIONE DELLE VIBRAZIONI	15
2.4 MODELLO PREVISIONALE	17
2.5 RISCHIO DEL DANNO A STRUTTURE ED EDIFICI	18
2.6 RISCHIO ESPOSIZIONE UMANA – RISCHIO DISTURBO	19
2.7 VIBRAZIONE ED AREE DI CANTIERE PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTI EOLICI	21
2.8 VIBRAZIONI DI IMPIANTI EOLICI IN FASE DI ESERCIZIO	22
<b>3. STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI ESERCIZIO</b>	<b>23</b>
<b>4. STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI CANTIERE</b>	<b>26</b>
<b>5. CONCLUSIONI</b>	<b>29</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>30</b>

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	4
GRE	ENG	REL	0041	00		

## 1. PREMESSA

In data 11/07/2019 il “Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare” ha inviato alla società proponente dell’iniziativa di Repowering, una richiesta di integrazione relativa al progetto di potenziamento del parco eolico previsto nei Comuni Greci (AV) e Montaguto (AV) e con opere di connessione ricadenti anche nei comuni di Celle San Vito (FG), Troia (FG), Faeto (FG), Orsara (FG) e Castelluccio Valmaggiore (FG) (nota m\_amte.DVA.REGISTROUFFICIALE.I.0017976. 11-07-2019).

Il punto 15 di tale richiesta così recita: *“Per la componente vibrazioni è opportuno che il Proponente effettui una stima previsionale dell’impatto dovuto alle vibrazioni (UNI 9916 – UNI9614) su eventuali ricettori potenzialmente impattati in fase di cantiere e più prossimi alle aree di cantiere stesse, fornendo, oltre ai parametri di emissione dei singoli macchinari impiegati, la caratterizzazione della sorgente in termini di modalità, di fasi di cantiere ed attività”.*

Al contempo, con riferimento Doc. “Staff 501792, con prot. N. 2019.0477900 del 30/07/2019, il “Dirigente dello Staff Valutazioni Ambientali della Giunta Regionale della Campania-Direzione Generale per il Ciclo Integrato delle acque e dei rifiuti, Valutazioni e Autorizzazioni Ambientali” ha inviato alla società proponente una richiesta di integrazione all’interno della quale: *per la componente vibrazioni, si richiede di fornire una valutazione previsionale del relativo impatto, sulla base delle caratteristiche tecniche degli effettivi modelli di torre eolica da installare, delle opere civili di fondazione previste, in correlazione alle caratteristiche geotecniche dei terreni e di stabilità dei versanti.*

Infine, anche il Comune di Montaguto, relativamente alle influenze delle vibrazioni in fase di esercizio, esprime una nota per la quale richiede di: *affrontare il tema legato ai microtremiti indotti che, protratti nel tempo, possono causare fenomeni di innesco di movimenti gravitanti soprattutto su un versante già soggetto a tali problematiche quale quello oggetto di intervento.*

In riscontro a tali richieste, il presente elaborato ha lo scopo di valutare il contributo in termini di vibrazioni in merito alla fase di esercizio del nuovo impianto a seguito della dismissione delle vecchie turbine.

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” di due impianti eolici le cui turbine più prossime ai rispettivi centri urbano sono localizzate a circa 0.7 km a nord del centro abitato di Greci ed a circa 1.5 km a nord-est del centro urbano di Montaguto.

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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	5
GRE	ENG	REL	0041	00		

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.

Nello specifico, gli impianti di Greci e Montaguto sono composti da aerogeneratori tripala modello Vestas V-47, con torre tralicciata, ciascuno di potenza nominale pari a 0,66 MW.

L'impianto di Greci risulta costituito da 25 aerogeneratori, per una potenza complessiva di 16,5 MW, mentre l'impianto di Montaguto è composto da 10 aerogeneratori per una potenza complessiva di 6,60 MW. Entrambi gli impianti, attualmente in esercizio, sono collegati tramite cavidotti interrati all'esistente stazione elettrica di Celle San Vito.

Il potenziamento dei due impianti sarà portato in autorizzazione come un unico impianto.

Il presente progetto consisterà dunque in:

- Dismissione di 22 dei 25 aerogeneratori esistenti dell'impianto di Greci (potenza in dismissione pari a 14,52 MW) e di tutti i 10 aerogeneratori dell'impianto di Montaguto (potenza in dismissione pari a 6,60 MW) e delle relative opere accessorie, oltre che nella rimozione dei cavidotti attualmente in esercizio. Resteranno in esercizio esclusivamente tre aerogeneratori dell'impianto di Greci, individuati dalle sigle G11, G12 e G13, caratterizzati da una connessione in antenna, separata rispetto al resto delle macchine di impianto, che saranno sottoposti ad un intervento di reblading seguendo un iter autorizzativo separato. Il numero complessivo degli aerogeneratori da dismettere, pertanto, è pari a 32 per una potenza complessiva in dismissione pari a 21,12 MW.
- Realizzazione nelle stesse aree di un nuovo impianto eolico costituito da 10 aerogeneratori di grande taglia e relative opere accessorie per una potenza complessiva di 43,8 MW. In particolare, l'impianto sarà costituito da:
  - n.6 aerogeneratori nel territorio comunale di Greci, della potenza unitaria di 4,5 MW (per una potenza complessiva di 27 MW), diametro del rotore massimo di 145 m ed altezza massima complessiva di 180 m;
  - n.4 aerogeneratori nel territorio comunale di Montaguto, della potenza unitaria di 4,2 MW (per una potenza complessiva di 16,8 MW), diametro del rotore massimo di 117 m e altezza massima complessiva di 180 m

Per i due differenti siti sono state pertanto considerate l'installazione di n. 6 aerogeneratori Mod. Siemens Gamesa – SG-145 di altezza mozzo 107.5 m e potenza unitaria nominale 4.5 MW; e di n. 4 aerogeneratori Mod. Vestas – V-117 di altezza mozzo 121.5 m e potenza unitaria nominale 4.2 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 IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	6
GRE	ENG	REL	0041	00		

**Tabella 1: Coordinate di inquadramento geografico di tutti gli aerogeneratori esistenti oggetto di Repowering. In evidenza gli unici tre aerogeneratori non soggetti a prossima dismissione.**

ID WTG	Long. Est WGS 84 [m]	Lat. Nord WGS 84 [m]	Altitudine [m]	Modello Aerogeneratore	Altezza mozzo [m]	Potenza nominale [kW]
GR02	514120	4567527	876,4	VESTAS 47	50	660
GR01	514140	4567656	896,0	VESTAS 47	50	660
GR03	514183	4567803	900,0	VESTAS 47	50	660
GR04	514146	4567945	905,9	VESTAS 47	50	660
GR05	514053	4568010	910,0	VESTAS 47	50	660
GR06	514033	4568089	910,0	VESTAS 47	50	660
GR07	513973	4568166	904,4	VESTAS 47	50	660
GR08	513903	4568214	906,0	VESTAS 47	50	660
GR09	513856	4568361	889,0	VESTAS 47	50	660
GR10	513801	4568467	869,8	VESTAS 47	50	660
GR11	514685	4569508	885,7	VESTAS 47	50	660
GR12	514622	4569585	870,3	VESTAS 47	50	660
GR13	514525	4569697	893,0	VESTAS 47	50	660
GR14	514438	4569828	890,0	VESTAS 47	50	660
GR15	514735	4570102	900,0	VESTAS 47	50	660
GR16	514700	4570236	901,0	VESTAS 47	50	660
GR18	515006	4570067	900,0	VESTAS 47	50	660
GR17	515102	4570010	906,0	VESTAS 47	50	660
GR19	515878	4569481	907,0	VESTAS 47	50	660
GR20	515814	4569581	900,2	VESTAS 47	50	660
GR21	515775	4569630	903,6	VESTAS 47	50	660
GR22	515724	4569695	908,1	VESTAS 47	50	660
GR23	515678	4569760	911,0	VESTAS 47	50	660
GR25	515256	4570349	886,0	VESTAS 47	50	660
GR26	515132	4570506	874,8	VESTAS 47	50	660
MA01	519627	4567486	880,0	VESTAS 47	50	660
MA03	519555	4567521	897,0	VESTAS 47	50	660
MA02	519468	4567557	906,0	VESTAS 47	50	660
MA04	519413	4567611	924,0	VESTAS 47	50	660
MA05	519406	4567786	928,0	VESTAS 47	50	660
MA06	519412	4567960	898,0	VESTAS 47	50	660
MA07	519351	4568051	912,0	VESTAS 47	50	660
MA08	519299	4568149	921,0	VESTAS 47	50	660
MA09	519243	4568239	920,0	VESTAS 47	50	660
MA10	519189	4568415	927,0	VESTAS 47	50	660

**Tabella 2: 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-GR01	514131	4567801	900,3	Siemens Gamesa SG145	107,5	4500
R-GR02	513976	4568167	904,3	Siemens Gamesa SG145	107,5	4500
R-GR03	513779	4568528	854,4	Siemens Gamesa SG145	107,5	4500
R-GR04	514567	4570207	891,1	Siemens Gamesa SG145	107,5	4500
R-GR05	515005	4570139	900,0	Siemens Gamesa SG145	107,5	4500
R-GR06	515776	4569633	903,6	Siemens Gamesa SG145	107,5	4500
R-MA05	519257	4568229	920,0	VESTAV V117	121,5	4200
R-MA04	519405	4567933	895,1	VESTAV V117	121,5	4200
R-MA03	519438	4567588	910,0	VESTAV V117	121,5	4200
R-MA02	520036	4567033	833,7	VESTAV V117	121,5	4200



CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	7
GRE	ENG	REL	0041	00		

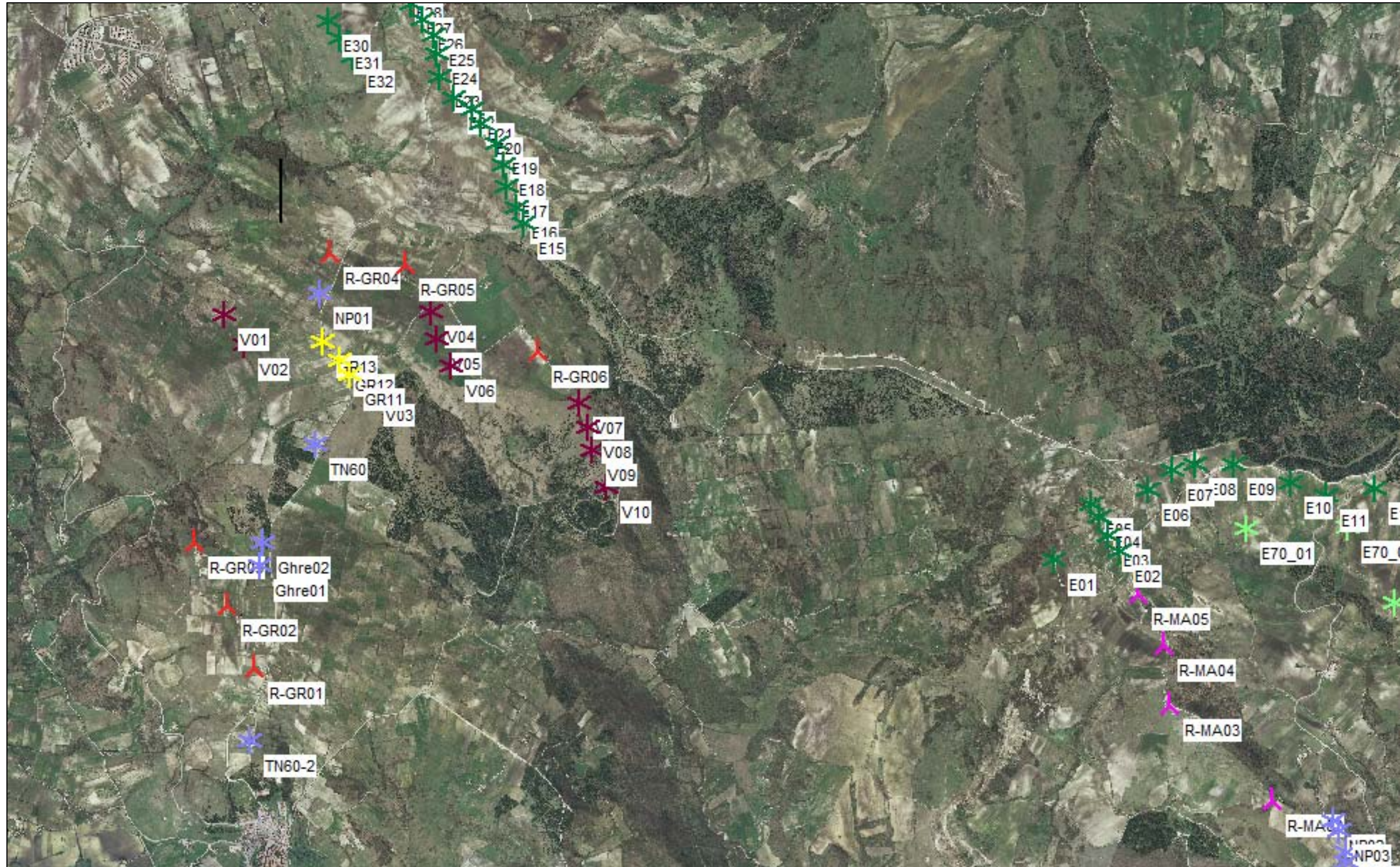


Figura 1: - Inquadramento territoriale su ortofoto planimetrica dello scenario futuro (post operam). Le icone [★] in Rosso e Magenta (R-GR e R-MA) individuano le turbine oggetto di nuova installazione per il progetto di Repowering in esame



CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	8
GRE	ENG	REL	0041	00		

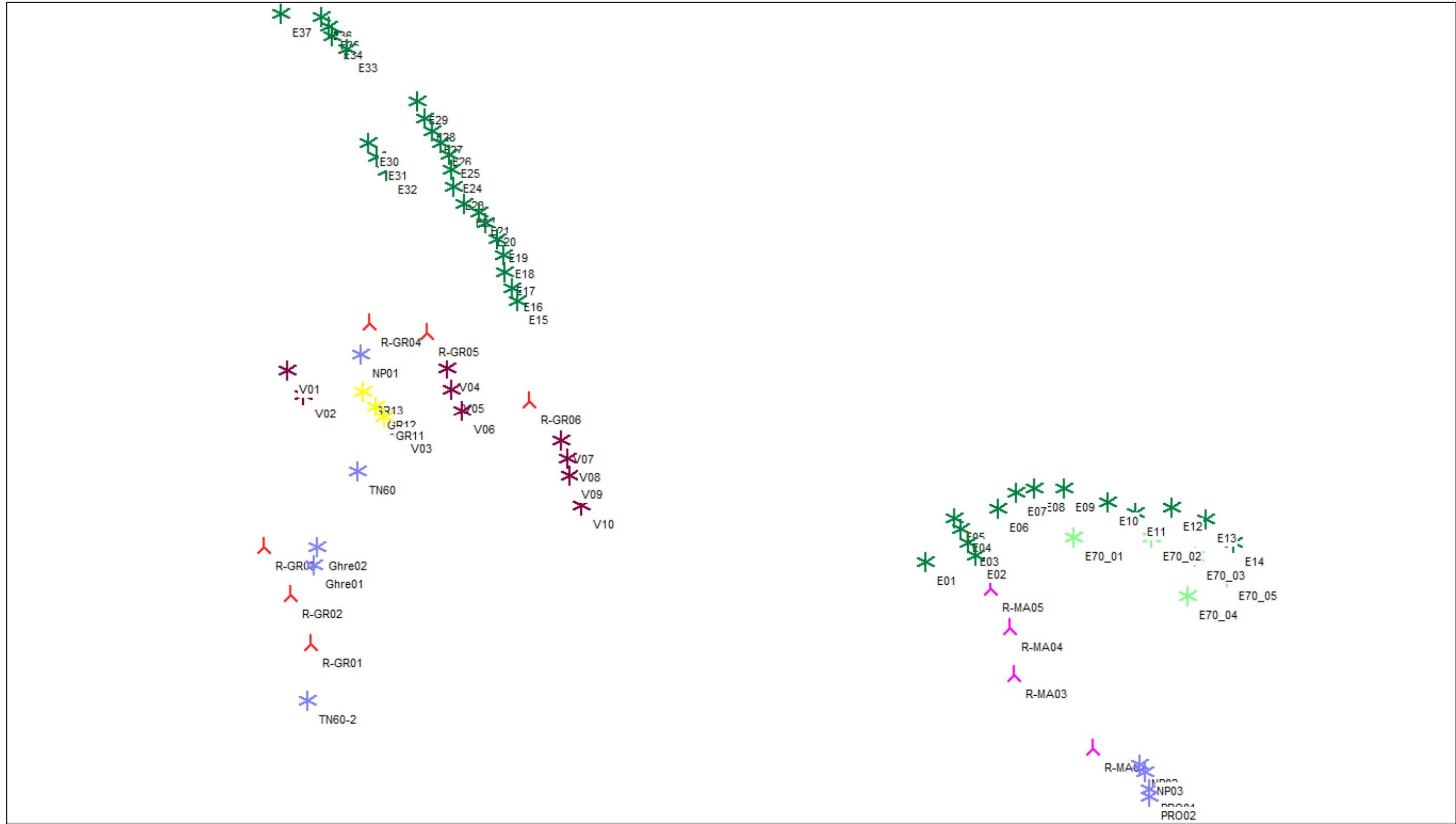


Figura 2: - Inquadramento territoriale in assenza di base cartografica dello scenario futuro (post operam). Le icone [^] in Rosso e Magenta (R-GR e R-MA) individuano le turbine oggetto di nuova installazione per il progetto di Repowering in esame



CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	9
GRE	ENG	REL	0041	00		

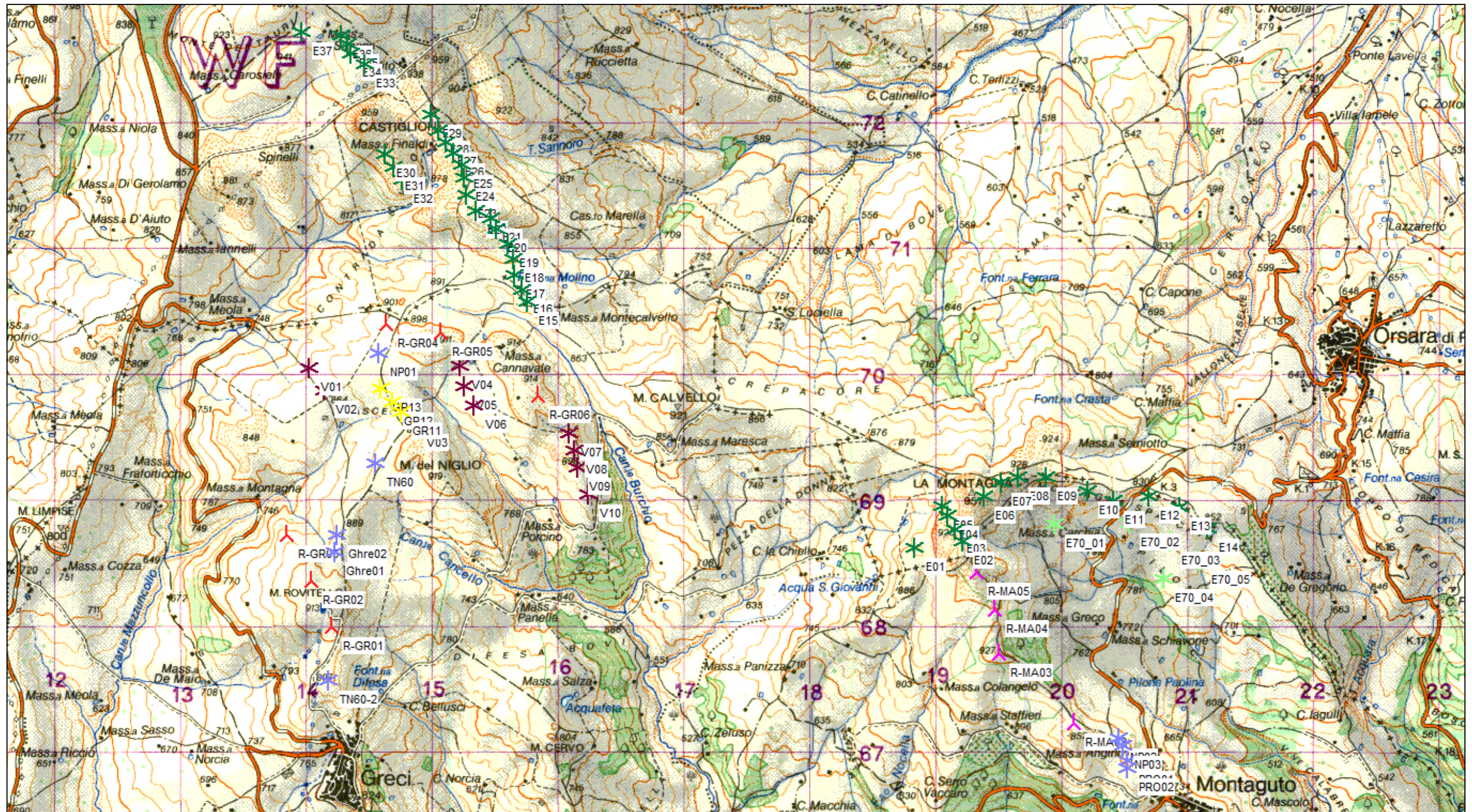




Figura 3: Inquadramento territoriale del parco eolico di progetto (icone rosse e magenta ) con evidenza delle turbine di grande e piccola taglia già insistenti sul territorio (icone colorate ). Per maggiore chiarezza l'immagine viene proposta nella versione con e senza base di stralcio cartografico IGM 1:50000.



CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	10
GRE	ENG	REL	0041	00		

## 1.2 Individuazione e scelta dei recettori

Ai fini della previsione degli impatti indotti dall'impianto di, 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"*.

Nell'elaborato di dettaglio GRE.ENG.TAV.0049.00 è chiaramente illustrata e descritta la metodologia di individuazione dei ricettori considerati nel prescritto buffer dei 1000 m.

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

**Tabella 3: Recettori individuati**

ID RECETTORE	Long. Est WGS 84 [m]	Lat. Nord WGS 84 [m]	Altitudine [m]
N-A	514441	4567248	786
N-B	514272	4567278	837
N-C	513684	4567475	802
N-D	513544	4568815	750
N-E	515475	4570023	909
N-F	513474	4570332	780
N-G	513870	4570977	802
N-H	514133	4571642	888
N-I	519863	4566725	760
N-L	519484	4567042	780
N-M	520214	4567274	758
N-N	520421	4567442	746
N-O	520385	4567510	752
N-P	520299	4567781	772
N-Q	520216	4568486	807

E' in ogni caso importate sottolineare che sono stati considerati diversi scenari in fase di simulazione, in particolare quelli più gravosi che potessero avere un maggior apporto acustico sui recettori individuati. La tabelle a seguire mostrano la distanza intercorrente tra ciascuna turbina di progetto ed i recettori sensibili considerati.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	11
GRE	ENG	REL	0041	00		

Tabella 4: Matrice delle distanze WTG/Recettori e coordinate dei recettori e delle turbine di nuova installazione nel sistema UTM WGS 84 fuso 33. In rosso sono riportate le distanze dei recettori rispetto alla più vicina delle turbine di progetto.

COORDINATE E MATRICE DISTANZE NUOVE WTG / RECETTORI [m]																	
Recettore		N-A	N-B	N-C	N-D	N-E	N-F	N-G	N-H	N-I	N-L	N-M	N-N	N-O	N-P	N-Q	
Aerogeneratore	Coordinate UTM WGS 84		514441	514272	513684	513544	515475	513474	513870	514133	519863	519484	520214	520421	520385	520299	520216
			4567248	4567278	4567475	4568815	4570023	4570332	4570977	4571642	4566725	4567042	4567274	4567442	4567510	4567781	4568486
<b>R-GR01</b>	514131	4567801	<b>634</b>	<b>542</b>	<b>553</b>	1172	2597	2615	3187	3841	5832	5407	6106	6300	6261	6168	6123
<b>R-GR02</b>	513976	4568167	1030	937	751	779	2386	2222	2812	3479	6061	5622	6302	6486	6443	6335	6248
<b>R-GR03</b>	513779	4568528	1441	1344	1057	<b>371</b>	2261	1830	2451	3134	6346	5895	6556	6730	6684	6563	6437
<b>R-GR04</b>	514567	4570207	2962	2944	2871	1727	926	<b>1100</b>	<b>1039</b>	<b>1499</b>	6338	5848	6363	6474	6413	6224	5905
<b>R-GR05</b>	515005	4570139	2946	2953	2974	1972	<b>484</b>	1543	1411	1738	5938	5445	5945	6050	5988	5795	5467
<b>R-GR06</b>	515776	4569633	2733	2794	3006	2377	493	2406	2332	2595	5016	4524	5026	5136	5074	4887	4586
<b>R-MA02</b>	520036	4567033	5599	5769	6367	6732	5454	7345	7319	7489	353	552	300	562	591	793	1464
<b>R-MA03</b>	519438	4567588	5009	5175	5755	6020	4651	6565	6518	6677	962	548	837	994	950	882	<b>1188</b>
<b>R-MA04</b>	519405	4567933	5011	5175	5739	5927	4451	6398	6317	6446	1292	<b>894</b>	1043	1128	1067	907	982
<b>R-MA05</b>	519257	4568229	4915	5075	5624	5743	4186	6154	6047	6157	<b>1621</b>	1209	<b>1352</b>	<b>1405</b>	<b>1338</b>	<b>1134</b>	993



CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	12
GRE	ENG	REL	0041	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.

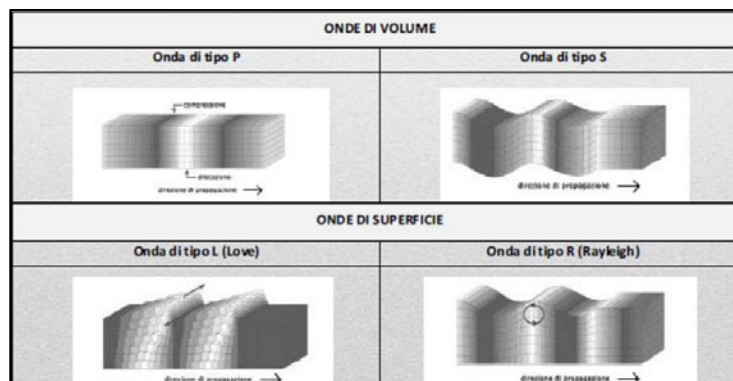


Figura 4: Differenti tipologie di Onde di Volume e Superficie

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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	13
GRE	ENG	REL	0041	00		

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 ricettore.

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

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

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

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

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

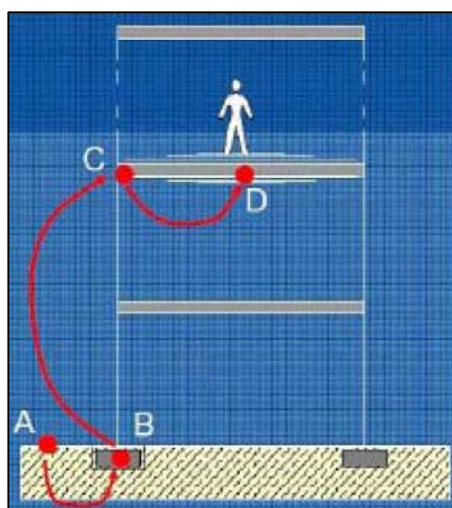


Figura 5: Schematizzazione semplificata della propagazione delle vibrazioni nel sistema terreno-edificio

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	14
GRE	ENG	REL	0041	00		

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

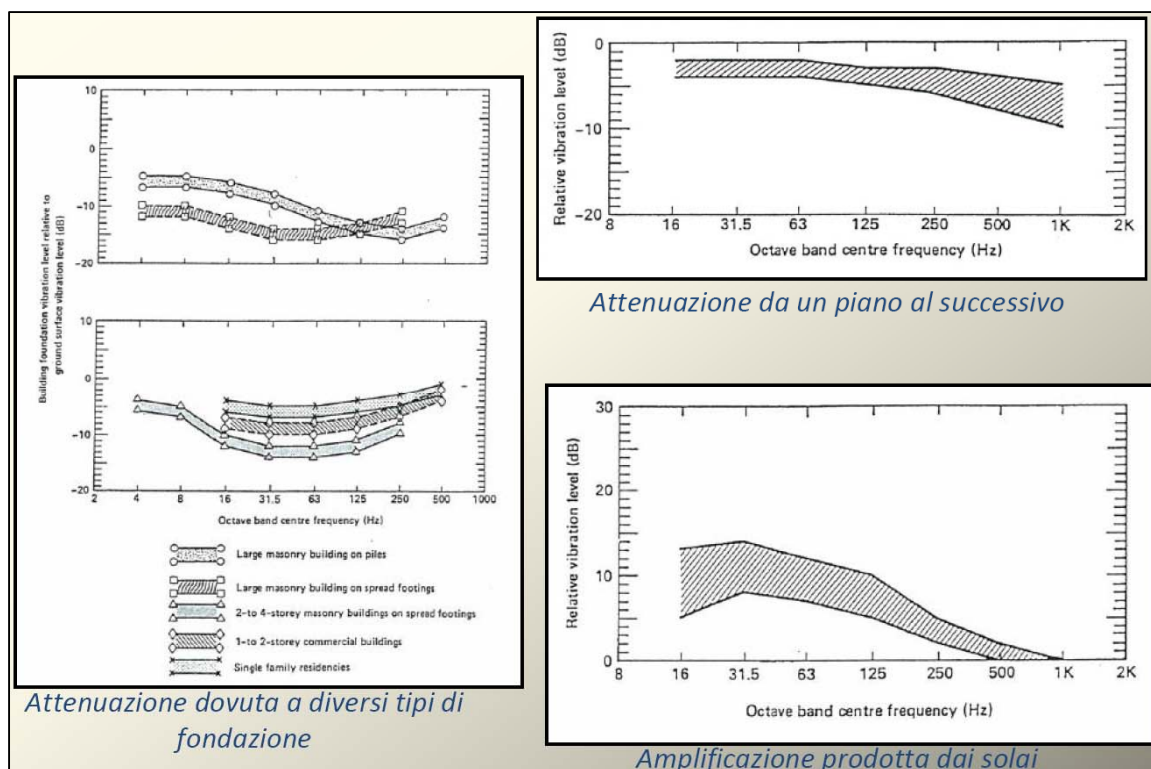


Figura 6: Esempi di Attenuazione/Amplificazione dei fenomeni vibratorii/oscillatori nei differenti elementi

## 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 IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	15
GRE	ENG	REL	0041	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)

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	16
GRE	ENG	REL	0041	00		

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

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

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

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

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 lamentele. I livelli di vibrazione dentro un edificio dipendono dall'energia vibratoria che raggiunge le fondazioni, dall'accoppiamento tra le fondazioni ed il terreno e dalla propagazione della vibrazione attraverso la struttura dell'edificio. Come regola generale si può affermare che più è massivo l'edificio, minore è la sua risposta all'energia vibratoria incidente sul terreno. Le sorgenti di vibrazioni, provocano effetti che si propagano attraverso il terreno e diminuiscono di intensità con la distanza.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	17
GRE	ENG	REL	0041	00		

Gli edifici subiscono effetti che si possono classificare in una scala da non percepibili (livelli di vibrazione bassi), a suoni a bassa frequenza e vibrazioni percepibili (livelli di vibrazione medi) fino a livelli tali da provocare danni alle strutture.

## 2.4 Modello previsionale

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

- 1) si determinano le apparecchiature impiegate e i relativi livelli di vibrazione forniti, generalmente, a una distanza di riferimento; nel caso in oggetto è stato considerato il valore relativo all'utilizzo della ruspa cingolata [rif. A. Farina "Valutazione dei livelli di vibrazioni in edifici residenziali, 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;  $\alpha$  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:  $\alpha$  può essere calcolato come:

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

dove:

$\eta$  rappresenta il fattore di perdita del terreno e

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



CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	18
GRE	ENG	REL	0041	00		

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

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

**Tabella 5: Velocità di propagazione delle onde longitudinali e fattore di perdita per le differenti tipologie di substrato litologico**

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

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

## 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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	19
GRE	ENG	REL	0041	00		

un fattore di cresta molto elevato, maggiore di 18 dB, potrebbe infatti verificarsi il caso di superamento del limite di danno strutturale senza che si verifichi il superamento del limite di disturbo alle persone.

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

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

La circostanza in oggetto risulta però altamente improbabile tanto che è possibile assumere che il rispetto dei limiti di non-disturbo alle persone, fornisce sufficienti garanzie (e quindi necessariamente implica) di non avere effetti dannosi per le strutture edilizie.

## 2.6 Rischio Esposizione Umana – Rischio Disturbo

Nelle strutture classificate come recettori, ed in generale in tutti i corpi di fabbrica o edifici il disturbo può 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 6: Valutazione del disturbo UNI 9614 - Valori e livelli limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza**

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	20
<b>GRE</b>	<b>ENG</b>	<b>REL</b>	0041	00		

VALORI E LIVELLI LIMITE DELLE ACCELERAZIONI COMPLESSIVE PONDERATE IN FREQUENZA VALIDI PER L'ASSE z		
Destinazione d'uso	Accelerazione	
	m/s <sup>2</sup>	dB
Aree critiche	5,0 10 <sup>-3</sup>	74
Abitazioni notte	7,0 10 <sup>-3</sup>	77
Abitazioni giorno	10,0 10 <sup>-3</sup>	80
Uffici	20,0 10 <sup>-3</sup>	86
Fabbriche	40,0 10 <sup>-3</sup>	92

VALORI E LIVELLI LIMITE DELLE ACCELERAZIONI COMPLESSIVE PONDERATE IN FREQUENZA VALIDI PER GLI ASSI x E y		
Destinazione d'uso	Accelerazione	
	m/s <sup>2</sup>	dB
Aree critiche	3,6 10 <sup>-3</sup>	71
Abitazioni notte	5,0 10 <sup>-3</sup>	74
Abitazioni giorno	7,0 10 <sup>-3</sup>	77
Uffici	14,4 10 <sup>-3</sup>	83
Fabbriche	28,8 10 <sup>-3</sup>	89

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	21
<b>GRE</b>	<b>ENG</b>	<b>REL</b>	0041	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 pensanti ed agricoli per il raggiungimento e la lavorazione dei suoli coltivati in aree limitrofe, al fine di minimizzare le potenziali fonti di rumore e vibrazione, con conseguente potenziale temporanea sensazione di fastidio o disturbo indotto, potranno essere previsti alcuni accorgimenti operativi a carattere preventivo come ad esempio:

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

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

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

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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	22
<b>GRE</b>	<b>ENG</b>	<b>REL</b>	0041	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 IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	23
GRE	ENG	REL	0041	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) = 500 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 IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	24
GRE	ENG	REL	0041	00		

**Tabella 7: 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 <sup>2</sup> ]	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		
Coefficiente di assorbimento	0,1	0,1	0,1
Velocità di propagazione [m/s]	500	500	500
Densità del mezzo [kg/mc]	1900	1900	1900
Valore 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 $\omega$ [rad/s]	4,084	4,084	4,084
eta - coefficiente di assorbimento del terreno	0,1	0,1	0,1

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.

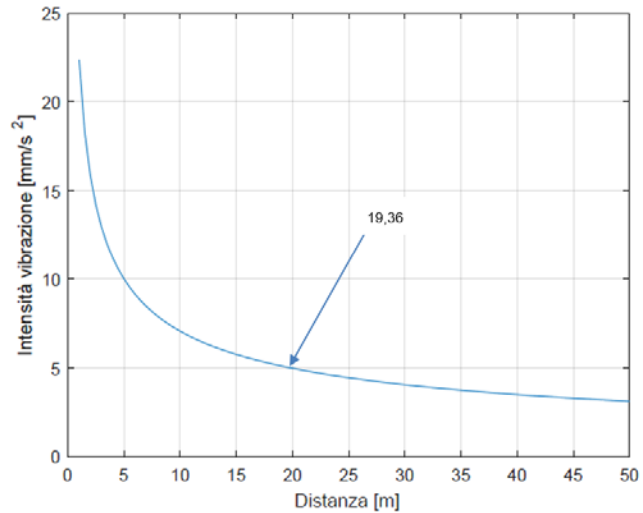
**Tabella 8: risultati in termini di distanza di rispetto dei limiti UNI 9614**

	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)	9,86	3,53	7,34
	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)	19,36	7,01	14,47
	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)	37,5	13,83	28,23

Poiché gli aerogeneratori di progetto sono distanti tra loro oltre i 300 m, ed il primo recettore sensibile risulta dislocato a distanze inferiori a più di dieci 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 e che nessun recettore riceve un fenomeno vibrazionale tale da ingenerare disturbo. Ciò risulta valido anche considerando l'effetto cumulato di tutti gli aerogeneratori.

Si riporta di seguito l'andamento del decadimento delle vibrazioni calcolate per l'asse x:

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	25
<b>GRE</b>	<b>ENG</b>	<b>REL</b>	0041	00		



I valori soglia raccomandati per le abitazioni di notte sono rispettati ad una distanza inferiore ai 20 m. Ad una distanza di circa 37 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 IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	26
<b>GRE</b>	<b>ENG</b>	<b>REL</b>	0041	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.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	27
GRE	ENG	REL	0041	00		

INAIL DIREZIONE REGIONALE PIEMONTE		COMITATO PARITETICO TERRITORIALE PER LA PREVENZIONE INFORTUNI L'IGIENE E L'AMBIENTE DI LAVORO DI TORINO E PROVINCIA		C.P.T. TORINO	
<b>AUTOBETONIERA</b>				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 <sup>2</sup> :	0,67				



VIBRAZIONI CORPO INTERO			
Posizione misure: Sedile			
N.	$a_{hwz}$ (m/s <sup>2</sup> )	$a_{hwy}$ (m/s <sup>2</sup> )	$a_{hwz}$ (m/s <sup>2</sup> )
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 (Cl) Dytran	SV3185D	2608	28/07/2014
Acc. Triassiale (Cl) Dytran	3143M1	1318	14/07/2014
Calibratore (VIB) PCB	394C06	4114	15/07/2014

**Figura 7: Caratteristiche vibrazionali del mezzo di cantiere caratterizzato da maggiori vibrazioni indotte**

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:

Potenziali fenomeni di attenuazione o amplificazione relativi alle tipologia 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



CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	28
GRE	ENG	REL	0041	00		

parametri di input come di seguito esplicitati:

**Tabella 9: 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 <sup>2</sup> ]	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	0,1	0,1	0,1
Velocità di propagazione [m/s]	500	500	500
Densità del mezzo [kg/mc]	1900	1900	1900
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 $\omega$ [rad/s]	1,571	1,571	1,571
$\eta$ - coefficiente di assorbimento del terreno	0,1	0,1	0,1

**Tabella 10: 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)	13,7	64,95	43,49

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

Ad una distanza di circa 65 m risultano dunque rispettati i valori raccomandati dalla normativa.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	29
<b>GRE</b>	<b>ENG</b>	<b>REL</b>	0041	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).

Poiché è stato espressamente richiesto anche un eventuale effetto dei fenomeni vibrazionali sui fenomeni franosi particolarmente delicati nell'area, è opportuno rimarcare che l'elemento oggetto di valutazione in tal senso, sotto l'aspetto geologico e geotecnico, è la stabilità globale del pendio in condizioni sismico-dinamiche, e che quindi tiene conto delle accelerazioni massime che il pendio e le sovrastrutture di progetto subiranno in condizioni di esercizio e di cantiere; il potenziale innesco di fenomeni di liquefazione delle sabbie, anche con origine dai citati moti vibrazionali, è una verifica prevista nell'ambito delle analisi geologiche e dai risultati geotecnici si evince che non ricorrono le condizioni di liquefazione nei terreni di sedime, sia per l'assenza di livelli sabbiosi sciolti monogranulari (le analisi granulometriche condotte in laboratorio evidenziano la costante presenza di percentuali argillose nei suoli), sia per l'assenza di falda, e infine sia per l'esito delle prove geotecniche in sito di tipo SPT, che hanno fornito valori sempre superiori a quelli previsti da normativa (Cfr rel geologica).

Lo specifico calcolo previsionale ha inoltre evidenziato che ad una distanza di circa 37 m sono rispettati i valori soglia val per le aree critiche; l'area compresa a tale distanza dagli aerogeneratori rientra tranquillamente nelle valutazioni di stabilità eseguite.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI (IN FASE DI ESERCIZIO E DI CANTIERE)	30
<b>GRE</b>	<b>ENG</b>	<b>REL</b>	0041	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