

## **Analisi vibrazionale in esercizio e durante il cantiere del progetto di parco eolico denominato “Rosamarina” nel comune di Lavello (PZ)**

Sponsor: EDPR



---

### ***SR International s.r.l.***

Sede legale: C..so Vittorio Emanuele II, 282-284 – 00186 Roma - +39 06 8079555

Partita IVA e Cod. Fisc. 13457211004 - Capitale Sociale € 10.000.

Azienda con sistema di gestione qualità ISO 9001 certificata da Bureau Veritas Italia S.p.A.

[www.studiorinnovabili.it](http://www.studiorinnovabili.it) - [info@studiorinnovabili.it](mailto:info@studiorinnovabili.it)

*Progetto*                    **NA**  
*Project*

*Cliente/Proponente*    **EDPR**  
*Customer/Developer*

Nr. Doc:                    O1809018AB

Tipo di documento: **C**  
*Document type:*

File:                        Data: 26.09.2019  
*Date:*

Materia:                    **E**  
*Subject:*

---


REV	DATA	DESCRIZIONE DELLA REVISIONE
	<i>Date</i>	<i>Description of revisions</i>
A	25.9.19	Emissione draft

PREPARATO  
*Prepared*  
AB, FL

CONTROLLATO  
*Checked*  
AB

APPROVATO  
*Approved*

AUTORIZZAZIONE SR International srl  
*Approval*

  
Ing. ANDREA BARTOLAZZI  
TECNICO COMPETENTE  
IN ACUSTICA AMBIENTALE  
REGIONE LAZIO n° 583

Copyright © 2019 SR international s.r.l.  
Tutti i diritti riservati

Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta, memorizzata in sistemi di recupero o trasmessa in qualsiasi forma o con qualsiasi mezzo elettronico, meccanico, fotocopie, registrazione o altrimenti, senza la previa autorizzazione scritta della società SR international srl.

### **Avviso di non responsabilità**

Studio Rinnovabili ritiene che le informazioni e le opinioni espresse in questo lavoro siano valide, ma manifesta che tutte le parti debbano fare affidamento sulla loro competenza e giudizio nel farne uso. Studio Rinnovabili non rende alcuna garanzia, espressa o implicita, per quanto riguarda l'accuratezza o la completezza delle informazioni contenute nella presente relazione e ricevute dal cliente e non si assume alcuna responsabilità per l'accuratezza o la completezza di tali informazioni. Studio Rinnovabili non si assume alcuna responsabilità verso chiunque per qualsiasi perdita o danno derivante da questa relazione.

**GLOSSARIO**

SR	Studio Rinnovabili
MAP	Ministero delle attività produttive
AC	Corrente alternata
DC	Corrente continua
MT	Media tensione
AEEG	Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas
BAT	Migliori Tecniche Disponibili
CIP	Comitato interministeriale dei prezzi
CIPE	Comitato interministeriale programmazione economica
DPCM	Decreto del Presidente Consiglio dei ministri
DM	Decreto ministeriale
GHG	Gas ad effetto serra
GME	Gestore del mercato elettrico
TERNA	Operatore del sistema di trasmissione nazionale (ex GRTN)
ENEL	Operatore locale del sistema di trasmissione
IAFR	Domanda da presentare al GSE per iniziare un impianto di ER
NC	Non comunicati
NA	Non ammissibili
NN	Non necessario
PRG	Piano Regolatore Comunale
ER	Energia rinnovabile
UTF	Ufficio tecnico di finanza
RTI	Raggruppamento temporaneo di imprese

## INDICE

<b>1. SINTESI E CONCLUSIONI</b> .....	<b>6</b>
<b>2. PREMESSA</b> .....	<b>7</b>
<b>3. CENNI SUL FENOMENO VIBRAZIONALE</b> .....	<b>7</b>
<b>4. LEGISLAZIONE ITALIANA</b> .....	<b>8</b>
<b>5. DIRETTIVE REGIONALI</b> .....	<b>10</b>
<b>6. DESCRIZIONE DEL PROGETTO</b> .....	<b>10</b>
<b>7. ANALISI DEI RICETTORI</b> .....	<b>10</b>
<b>8. ANALISI GEOLOGICA DELLA ZONA</b> .....	<b>13</b>
<b>9. SITUAZIONE POST-OPERAM</b> .....	<b>14</b>
<b>10. SITUAZIONE IN FASE DI CANTIERE</b> .....	<b>14</b>
<b>11. BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>19</b>

### Indice figure

Figura 1 – Inquadramento del progetto con posizione delle turbine e dei ricettori.....	12
Figura 2 – Inquadramento geologica del progetto nell’area con posizione delle turbine.....	13
Figura 3 – Inquadramento della zona cantiere.....	15
Figura 4 – Inquadramento della zona cantiere principale e delle zone cantiere relative agli scavi fondazione con buffer 500 metri rispetto ai ricettori sensibili.....	16

### Indice tabelle

Tabella 1 - Limiti di vibrazioni negli edifici (UNI 9614).....	9
Tabella 2 – Localizzazione delle turbine del parco con G158.....	10
Tabella 3 - Anagrafica Ricettori nel raggio di 1 km dall’impianto.....	11
Tabella 4 - Parametri del terreno.....	13
Tabella 5 - Calcolo della vibrazione post operam in esercizio.....	14
Tabella 6 - Macchine considerate nella valutazione dell’impatto vibrazionale in fase di cantiere misurate a 5m dalla sorgente.....	17
Tabella 7 - Calcolo della vibrazione post operam in fase di cantiere.....	18

## **1. SINTESI E CONCLUSIONI**

EDPR Holding Italia sta sviluppando il Parco Eolico denominato “Rosamarina” nel comune di Lavello (PZ) in Regione Basilicata, e ha incaricato Studio Rinnovabili di effettuare una valutazione delle vibrazioni del progetto proposto tramite un modello geologico – vibrazionale della zona.

Il sito si trova nel comune di Lavello in Basilicata, al confine con la Puglia. Il layout del progetto consiste attualmente di 7 generatori General Electric GE158 da 5,3 MW che operano in modalità standard e una cabina di consegna con trasformatore.

Sulla base dello studio effettuato, applicando ipotesi conservative e cautelative e considerando le caratteristiche dell’aerogeneratore previsto, sono stati calcolati i livelli di vibrazioni dovuti alla presenza del futuro impianto eolico. Come si evince dalla Tabella 5, la vibrazione post operam è di  $0,939 \text{ mm/s}^2$  e cioè inferiore ai  $5 \text{ mm/s}^2$  presi come livello limite.

La verifica è stata effettuata anche per la fase di cantiere per la quale si evince dalla Tabella 7, la vibrazione massima post operam è di  $3,01 \text{ mm/s}^2$  e cioè inferiore ai  $5 \text{ mm/s}^2$  presi come livello limite.

**Sono perciò verificati i livelli di vibrazione percepiti agli edifici sottostanti che risultano ampiamente entro i limiti della norma ISO 2631 e UNI 9614.**

## **2. PREMESSA**

EDPR è una società attiva nello sviluppo, realizzazione e gestione di impianti per la produzione di energia da fonte rinnovabile, in particolare eolica.

Studio Rinnovabili è una società di consulenza in vari settori delle energie rinnovabili e in particolare quello eolico. Il presente documento rappresenta la valutazione acustica del rumore ante-operam nella zona del futuro parco eolico San Potito situato nel Comune di Lavello (PZ) e della situazione post-operam.

Per l'eventuale disturbo creato dalle vibrazioni la Regione Basilicata chiede la valutazione dell'impatto dovuto alle vibrazioni del parco.

Questo impatto e la conseguente legislazione sulle vibrazioni nascono dall'osservazione dei problemi ambientali in casi come la presenza di macchine rotative o vibranti e gli effetti sulla salute dei lavoratori che vi sono sottoposti, o come l'effetto del passaggio di un autobus, tram, metro e treno sulle strade circostanti all'edificio ricettore.

Viceversa non sono stati mai riscontrati casi di vibrazioni percepite come disturbanti da una abitazione sita nei pressi di un impianto eolico. Nel seguito daremo una interpretazione tecnica del fenomeno anche al fine di verificarne i possibili impatti. Nel seguente paragrafo esamineremo le caratteristiche principali del fenomeno vibrazionale, i limiti di legge e delle norme tecniche internazionali, l'applicazione al caso in oggetto.

## **3. CENNI SUL FENOMENO VIBRAZIONALE**

La vibrazione è un fenomeno oscillatorio propagato attraverso un mezzo continuo e causato da una forzante. Nel nostro caso le forzanti sono date dal vento, dallo squilibrio che il rotore può avere e dall'effetto aerodinamico meccanico combinato dell'interazione pala/torre. Il mezzo attraverso cui si trasmette la vibrazione è la torre (in metallo), la fondazione, il terreno, la fondazione del ricettore e la struttura della casa del ricettore.

In particolare il terreno è il mezzo entro il quale il fenomeno vibratorio deve percorrere la gran parte del suo cammino per raggiungere il ricettore, infatti, la torre è un mezzo molto permeabile alle vibrazioni ed è relativamente corta (fino a 100-150 metri) rispetto alla distanza su terreno (300-500 metri) che è normalmente mai inferiore a 200 metri a causa dei possibili impatti acustici sui ricettori.

La previsione dei meccanismi di propagazione avviene nel dominio delle frequenze (analisi spettrale) e può essere condotta per via numerica mettendo in conto una serie di dipendenze parametriche:

- caratteristiche dell'infrastruttura;
- natura e caratteristiche del suolo;
- distanza plano-altimetrica tra sorgente ed edificio ricettore;
- caratteristiche del sistema fondazionale degli edifici;



- caratteristiche strutturali degli edifici (strutture verticali ed orizzontali);
- propagazione delle vibrazioni da piano a piano;

oppure per via sperimentale attraverso la determinazione delle fdt fornite da indagini con vibrodina.

Il risultato operativo consiste sempre nella valutazione dei livelli vibrazionali presenti all'interno dei ricettori (vibrazioni e rumore solido).

Le vibrazioni di livello costante o variabile, di tipo non impulsivo, vengono rilevate misurando il valore efficace (r.m.s.) dell'accelerazione oppure il corrispondente livello: il valore dell'accelerazione viene espresso in  $m/s^2$ , il livello dell'accelerazione in dB.

Il livello dell'accelerazione è definito dalla relazione:

$$L = 20 \log_{10} (a/a_0)$$

dove L è il livello espresso in dB, a è l'accelerazione espressa in  $m/s^2$  e  $a_0 = 10^{-6} m/s^2$  è il valore dell'accelerazione di riferimento.

Le misurazioni si eseguono sui pavimenti dell'edificio.

Si considerano tre assi di propagazione delle vibrazioni. Tali assi vengono riferiti alla persona del soggetto esposto: l'asse x passa per la schiena ed il petto, l'asse y per le due spalle, l'asse z per la testa e i piedi (per la testa e i glutei se il soggetto è seduto). Se in un edificio si fa riferimento all'asse verticale, quest'ultimo coincide con l'asse z se il soggetto è in piedi o seduto, con l'asse x se il soggetto è disteso.

La percezione delle vibrazioni da parte dei soggetti esposti varia a seconda della frequenza e dell'asse di propagazione. La sensibilità è massima negli intervalli di frequenza compresi tra 4 e 8 Hz (asse z) e tra 1 e 2 Hz (assi x e y); all'esterno di tali intervalli la sensibilità via via si riduce. Per tale motivo le accelerazioni misurate sperimentalmente devono essere ponderate in frequenza, attenuando le componenti esterne agli intervalli di massima sensibilità in modo da rendere tutte le componenti omogenee in termini di percezione (e quindi di disturbo).

Dato che gli effetti delle vibrazioni di frequenza diversa sono cumulativi è necessario sommare (in termini quadratici) le diverse componenti delle accelerazioni, ovviamente dopo la ponderazione delle componenti stesse.

La tollerabilità delle vibrazioni dipende dalla destinazione d'uso degli edifici: nel caso delle aree critiche in cui si svolgono attività delicate (camere operatorie ospedaliere, laboratori, ecc.) vengono adottati come limiti i livelli di soglia di percezione delle vibrazioni: questi coincidono con  $5,0 mm/s^2$  per l'asse z e con  $3,6 mm/s^2$  per gli assi x e y. I limiti per le abitazioni durante i periodi notturno e diurno, per gli uffici e per le fabbriche superano i livelli di soglia di un fattore 1,4; 2; 4; 8.

#### **4. LEGISLAZIONE ITALIANA**

La legislazione italiana sull'impatto dovuto alla presenza di vibrazioni consiste nel DLgs 187/05, il quale impone limiti di vibrazione per gli ambienti lavorativi. Oltre



al 187 esistono varie altre leggi, ma nessuna in particolare da conto di parametri per le vibrazioni percepite fuori da luoghi di lavoro:

- DLG.s 187 del 19 Agosto 2005. Attuazione della direttiva 2002/44/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti da vibrazioni meccaniche.
- DPR n.547 del 27/4/1955, artt. 28, 29, 30, 31, 32, 175, 225, 304, 307, 308, 332, 341.  
Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro
- DPR n.303 del 19.3.1956, art.8  
Norme generali per l'igiene del lavoro
- D.Lgs n.626 del 19.9.1994:  
Attuazione di direttive CEE sul miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro.
- D.Lgs. n.475 del 4.12.1992, in attuazione della direttiva 89/686 in materia di ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative ai dispositivi di protezione individuale.

Esistono però alcune norme tecniche sull'argomento e in particolare la ISO 2631, e la UNI 9614 che danno alcuni parametri per la valutazione delle vibrazioni:

- 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"
- UNI ISO 5982 - vibrazioni ed urti, impedenza meccanica di ingresso del corpo umano
- ISO 5349-86 - vibrazioni meccaniche, linee guida per la misurazione e la valutazione dell'esposizione a vibrazione
- ISO 8041 - risposta degli individui alle vibrazioni, strumenti di misurazioni

Edificio	Limite (dB)	Limite (x,y) mm/s <sup>2</sup>
Aree critiche	71	3,54813
Abitazioni (notte)	74	5,01187
Abitazioni(giorno)	77	7,07946
Uffici	83	14,1254
Fabbriche	89	28,1838

Tabella 1 - Limiti di vibrazioni negli edifici (UNI 9614)

In particolare, considerato che gli edifici della zona sono tuttalpiù residenziali, sarà usato il valore di  $5 \text{ mm/s}^2$  come limite minimo per l'intensità di vibrazione.

## 5. DIRETTIVE REGIONALI

Non ci sono specifiche direttive sulle vibrazioni dei parchi eolici in regione Basilicata, solo norme che richiamano norme nazionali.

## 6. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il progetto di impianto consta di 7 aerogeneratori. A questi andranno aggiunte le linee di collegamento e la stazione di consegna. La disposizione è indicata nelle tabelle e figure seguenti:

Turbine/ Sorgenti	Comune	Altitudine	Long	Lat	Prop.	Tipo
T1	Lavello (PZ)	410	574399	4546704	EDPR	GE158
T2	Lavello (PZ)	408	575499	4547317	EDPR	GE158
T3	Lavello (PZ)	405	575215	4546780	EDPR	GE158
T4	Lavello (PZ)	331	579877	4550531	EDPR	GE158
T5	Lavello (PZ)	337	579018	4550604	EDPR	GE158
T6	Lavello (PZ)	344	578131	4550234	EDPR	GE158
T7	Lavello (PZ)	326	578208	4550856	EDPR	GE158

Tabella 2 – Localizzazione delle turbine del parco con G158

Il progetto come descritto nella parte precedente prevede il posizionamento degli aerogeneratori a distanze rilevanti dalle abitazioni.

## 7. ANALISI DEI RICETTORI

La prima fase della verifica della compatibilità vibrazionale dell'opera in progetto con i limiti di legge consiste nella determinazione dello stato dei ricettori sensibili attorno alla zona del progetto.

Per la valutazione ante-operam si è quindi proceduto a:

- definire l'area di impatto dell'opera e l'ubicazione dei siti sensibili;
- analizzare la struttura del terreno sottostante;
- modellizzare la trasmissione delle vibrazioni tra i generatori e i ricettori.

I Comuni interessati dal progetto sono quelli di Lavello (PZ).

Nella tabella seguente sono indicati i ricettori sensibili per cui si è fatto il calcolo.

Ricettore	Comune	Long	Lat	Altitudine	Legge	Tipo
1	Canosa di Puglia	578242	4551432	240	DM	sensibile

Ricettore	Comune	Long	Lat	Altitudine	Legge	Tipo
2	Canosa di Puglia	578302	4551736	247	DM	sensibile
3	Canosa di Puglia	577397	4551961	182	DM	sensibile
4	Canosa di Puglia	578878	4551558	227	DM	sensibile
5	Lavello	578806	4549849	255	DM	sensibile
6	Lavello	578257	4549270	272	DM	sensibile
7	Lavello	576598	4548606	293	DM	sensibile
8	Lavello	576678	4547566	297	DM	sensibile
9	Lavello	576479	4547474	303	DM	sensibile
10	Lavello	576298	4547415	306	DM	sensibile
11	Lavello	576666	4546904	312	DM	sensibile
12	Lavello	576687	4546865	313	DM	sensibile
13	Lavello	575923	4546652	319	DM	sensibile
14	Lavello	575940	4546603	320	DM	sensibile
15	Lavello	574046	4545928	312	DM	sensibile
16	Lavello	575303	4545554	313	DM	sensibile
17	Lavello	579528	4550905	232	DM	non sens.
18	Canosa di Puglia	578271	4551573	246	DM	non sens.
19	Lavello	578907	4549590	254	DM	non sens.
20	Lavello	579697	4549850	247	DM	non sens.
21	Lavello	574722	4546681	317	DM	non sens.
22	Lavello	575450	4546772	317	DM	non sens.
23	Lavello	575927	4547233	316	DM	non sens.
24	Lavello	576118	4547295	311	DM	non sens.
25	Lavello	574115	4547222	247	DM	non sens.
26	Lavello	574087	4547682	225	DM	non sens.
27	Montemilone	575652	4546244	317	DM	non sens.
28	Canosa di Puglia	578743	4551429	228	DM	non sens.
29	Canosa di Puglia	577506	4551692	224	DM	non sens.
30	Canosa di Puglia	577512	4551852	199	DM	non sens.
31	Lavello	578576	4551275	229	DM	non sens.
32	Lavello	573756	4546681	252	DM	non sens.
33	Lavello	574237	4546048	312	DM	non sens.

Tabella 3 - Anagrafica Ricettori nel raggio di 1 km dall'impianto.

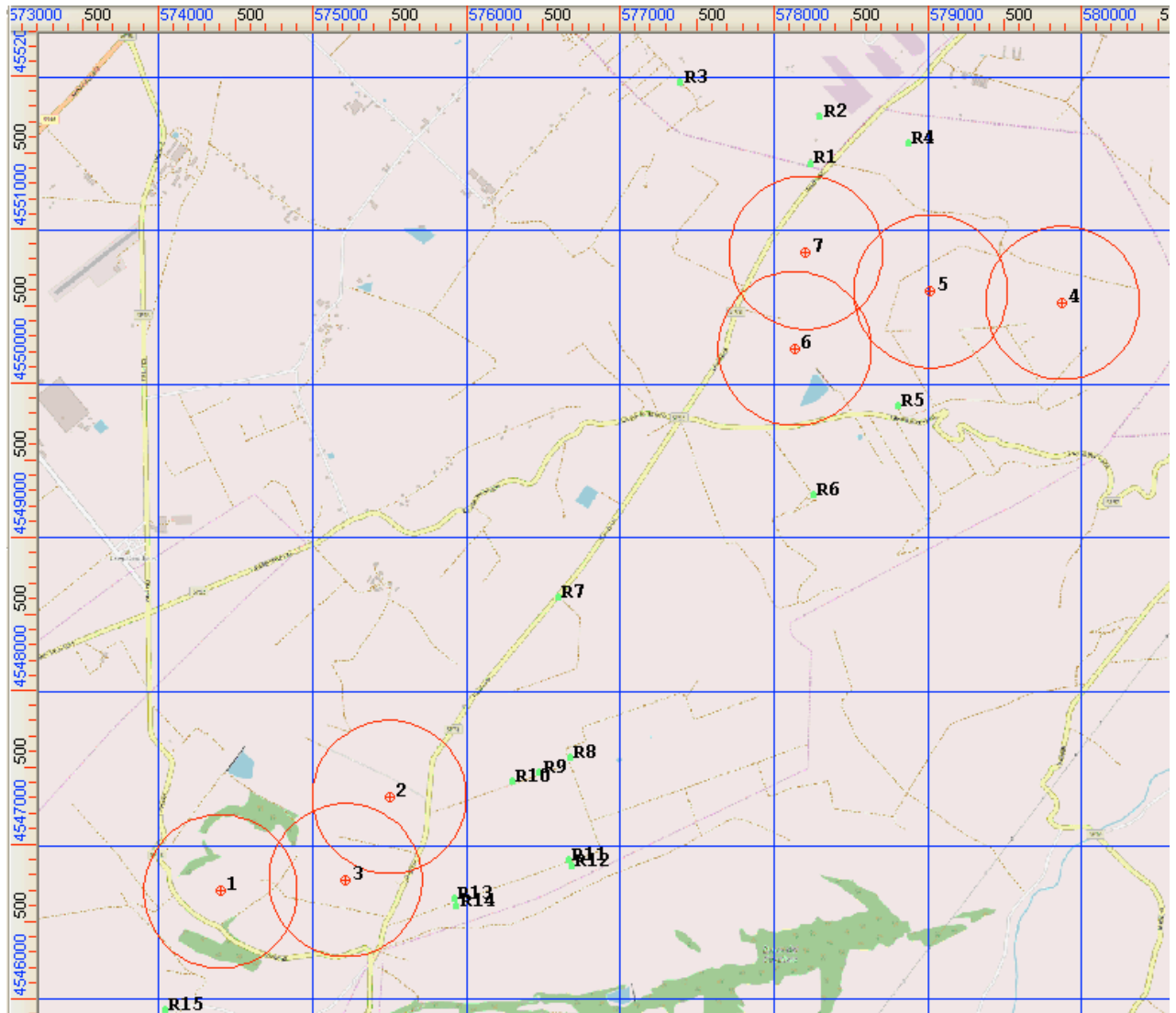


Figura 1 – Inquadramento del progetto con posizione delle turbine e dei ricettori.

In particolare, dall'analisi sul software Windfarm si desume che l'abitazione più colpita dal fenomeno vibratorio è il ricettore R1 che si trova a 577 metri dalla turbina T7, la più vicina.

Questa turbina emette a 5 metri dalla base una vibrazione di 80 dB, corrispondente ad una vibrazione di  $1 \text{ mm/s}^2$ .

La vibrazione ha due punti di frequenza corrispondenti alle pulsazioni 1p e 3p.

La somma delle vibrazioni delle turbine agenti sul ricettore R1 entro 1,8 km sarà presa come livello di vibrazione presso il ricettore.

## 8. ANALISI GEOLOGICA DELLA ZONA

La geologia della zona è riportata nell'immagine seguente.

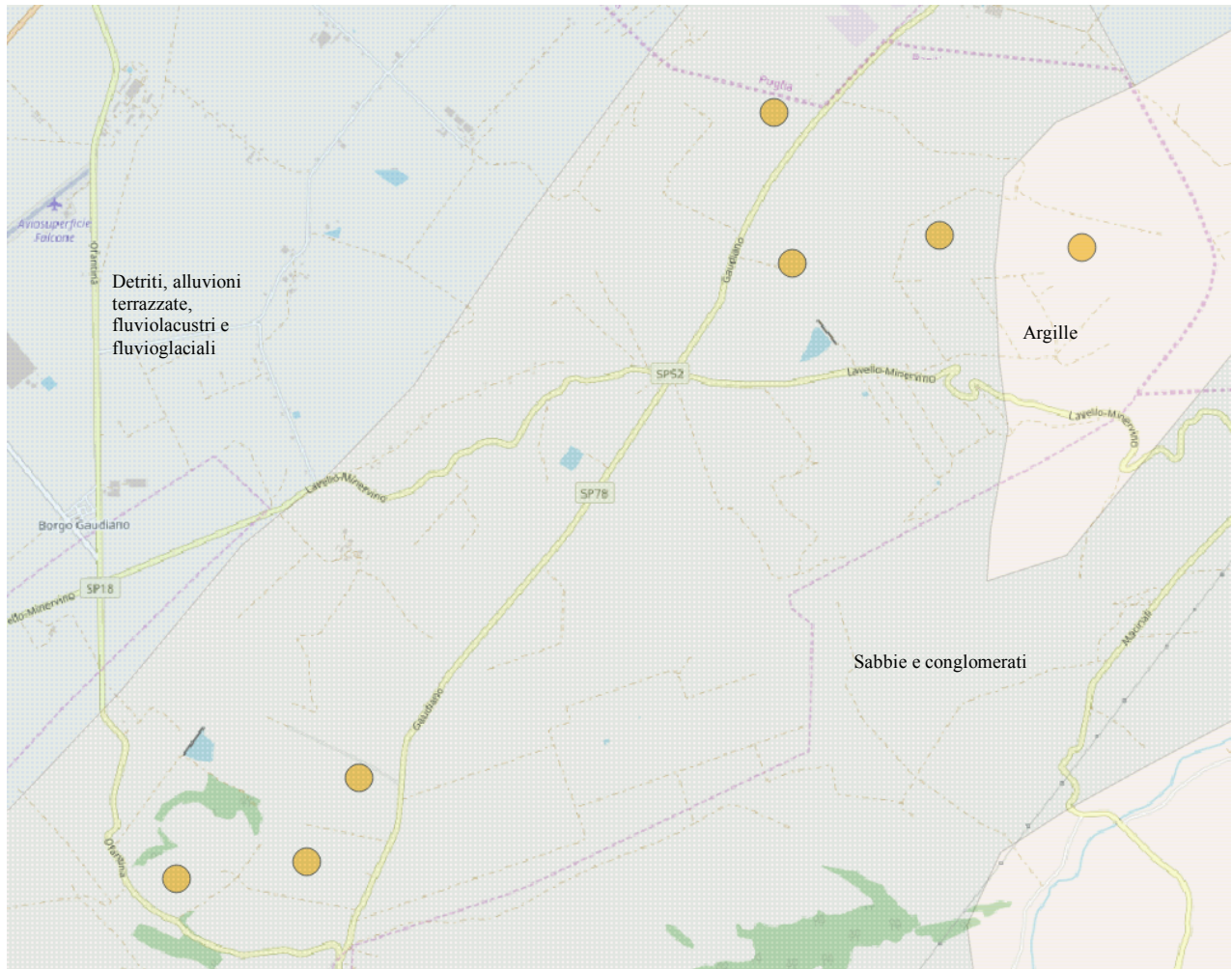


Figura 2 – Inquadramento geologica del progetto nell'area con posizione delle turbine.

Nella figura soprastante le turbine sono rappresentate con i cerchi gialli. Le turbine e i ricettori sono posizionati in gran parte in area di sabbie e conglomerati originati da sedimenti marini. Una turbina ad est su argille. I parametri di trasmissione della vibrazioni sono riportati in tabella:

Parametro	Valore
Tipologia del fondo	Sabbie e conglomerati
Coefficiente di assorbimento del terreno	0,1
Velocità di propagazione	1500 m/s
Densità del mezzo	1600 kg/mc

Tabella 4 - Parametri del terreno

## 9. SITUAZIONE POST-OPERAM

Il ricettore più sollecitato durante l'esercizio è il ricettore R1. Si mostra in tabella il calcolo dell'effetto delle turbine sul ricettore considerato. Per entrambi i layout le turbine più rilevanti sono le turbine T7, T5, T6, e T4. In particolare l'analisi tiene conto di due fenomeni, l'attenuazione della vibrazione per la espansione geometrica, e l'attenuazione dovuta al terreno che nella zona è composto di sabbie e conglomerati.

<b>Emissione alla sorgente</b>	<b>Sgen</b>	<b>T7</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T4</b>
vibrazione alla sorgente	85,1 dB	85,1	85,1	85,1	85,1 dB
accelerazione alla sorgente	17,989 mm/s <sup>2</sup>	17,989	17,989	17,989	17,989 mm/s <sup>2</sup>
<b>Attenuazione geometrica</b>					
distanza del ricettore dall'aerogeneratore	200 m	577	1203	1134	1806 m
posizione di misura (distanza dalla sorgente)	1 m	1	1	1	1 m
coefficiente di attenuazione geometrica	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
attenuazione geometrica	23,010 dB	27,612	30,803	30,546	32,567 dB
<b>Attenuazione per assorbimento del terreno</b>					
frequenza di rotazione	19 rpm	19	19	19	19 rpm
f- frequenza onda vibrazione	0,95 Hz	0,95	0,95	0,95	0,95 Hz
omega - pulsazione onda	5,969 rad/s	5,969	5,969	5,969	5,969 rad/s
eta - coefficiente di assorbimento del terreno	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
c - velocità di propagazione	1500 m/s	1500	1500	1500	1500 m/s
densità del mezzo di propagazione	1600 kg/m <sup>3</sup>	1600	1600	1600	1600 kg/m <sup>3</sup>
attenuazione per assorbimento	0,344 dB	0,995	2,076	1,957	3,117 dB
attenuazione per assorbimento (2ndo calc)	4,868 dB	6,294	7,770	7,626	8,930 dB
<b>Vibrazione al ricettore</b>					
vibrazione al ricettore	61,746 dB	56,493	52,221	52,597	49,416 dB
accelerazione al ricettore	1,223 mm/s <sup>2</sup>	0,668	0,408	0,426	0,296 mm/s <sup>2</sup>
<b>accelerazione al ricettore totale</b>	<b>0,939 mm/s<sup>2</sup></b>				

Tabella 5 - Calcolo della vibrazione post operam in esercizio

Come si evince dalla tabella la vibrazione post operam è di 0,939 mm/s<sup>2</sup> e cioè inferiore ai 5 mm/s<sup>2</sup> presi come livello limite.

## 10. SITUAZIONE IN FASE DI CANTIERE

Le attività di cantiere relative al progetto oggetto di studio produrranno un incremento delle vibrazioni limitatamente al periodo diurno. Tale incremento è ipotizzabile in relazione alle seguenti attività:

- trasporto di materiale da e per l'area di sviluppo dell'impianto eolico;
- adeguamento della viabilità di accesso all'area d'impianto;
- realizzazione delle piazzole e relative piste di accesso;



- realizzazione delle fondazioni;
- montaggio dell'aerogeneratore;
- realizzazione del cavidotto d'impianto (collegamento elettrico tra gli aerogeneratori e tra questi ed il centro collettore di parco) e di collegamento alla rete di distribuzione.
- aumento del traffico veicolare

Dato che abbiamo supposto un sostrato geologico uniforme nella zona la verifica del punto più sollecitato dal punto di vista vibrazionale assicura che anche per le altre zone cantiere la situazione sia verificata. Il punto più sollecitato, il ricettore R6 si trova 940 ml a sud dell'aerogeneratore T6 e a 750m dall'area di cantiere come indicato in figura.

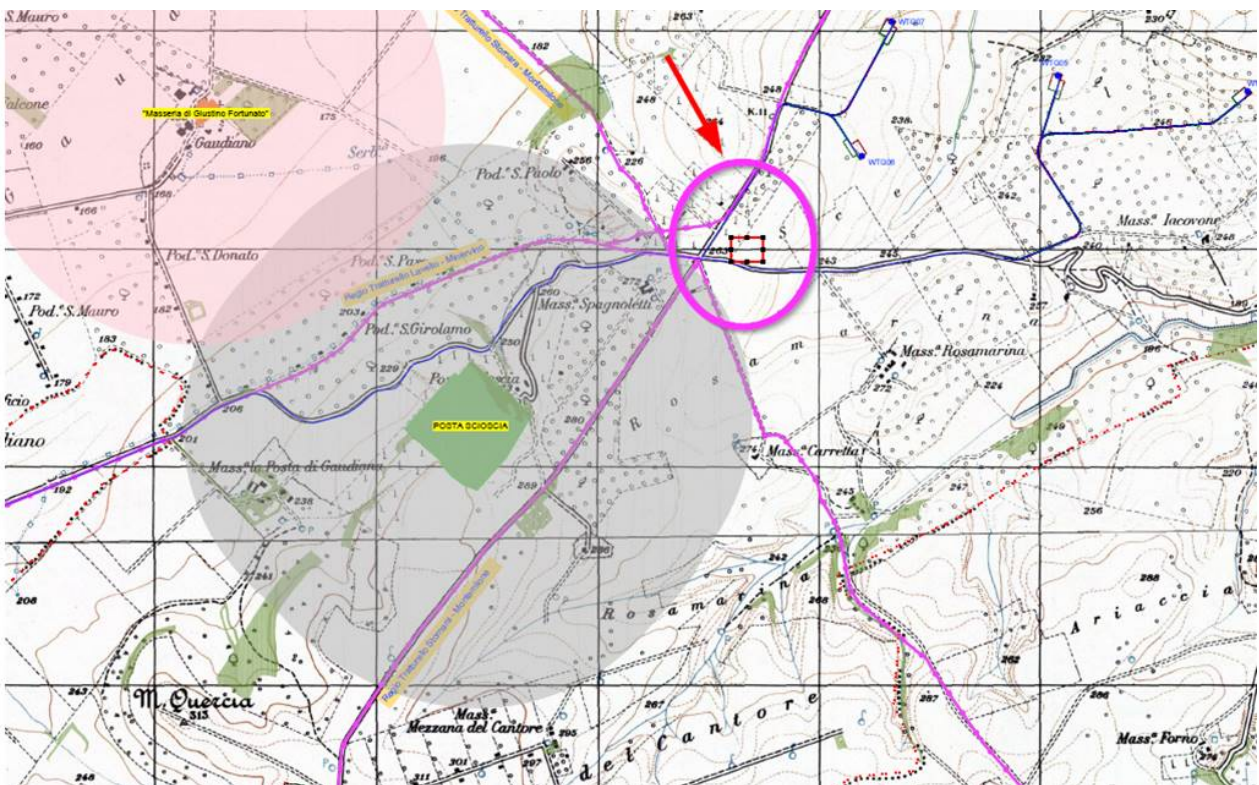


Figura 3 – Inquadramento della zona cantiere.



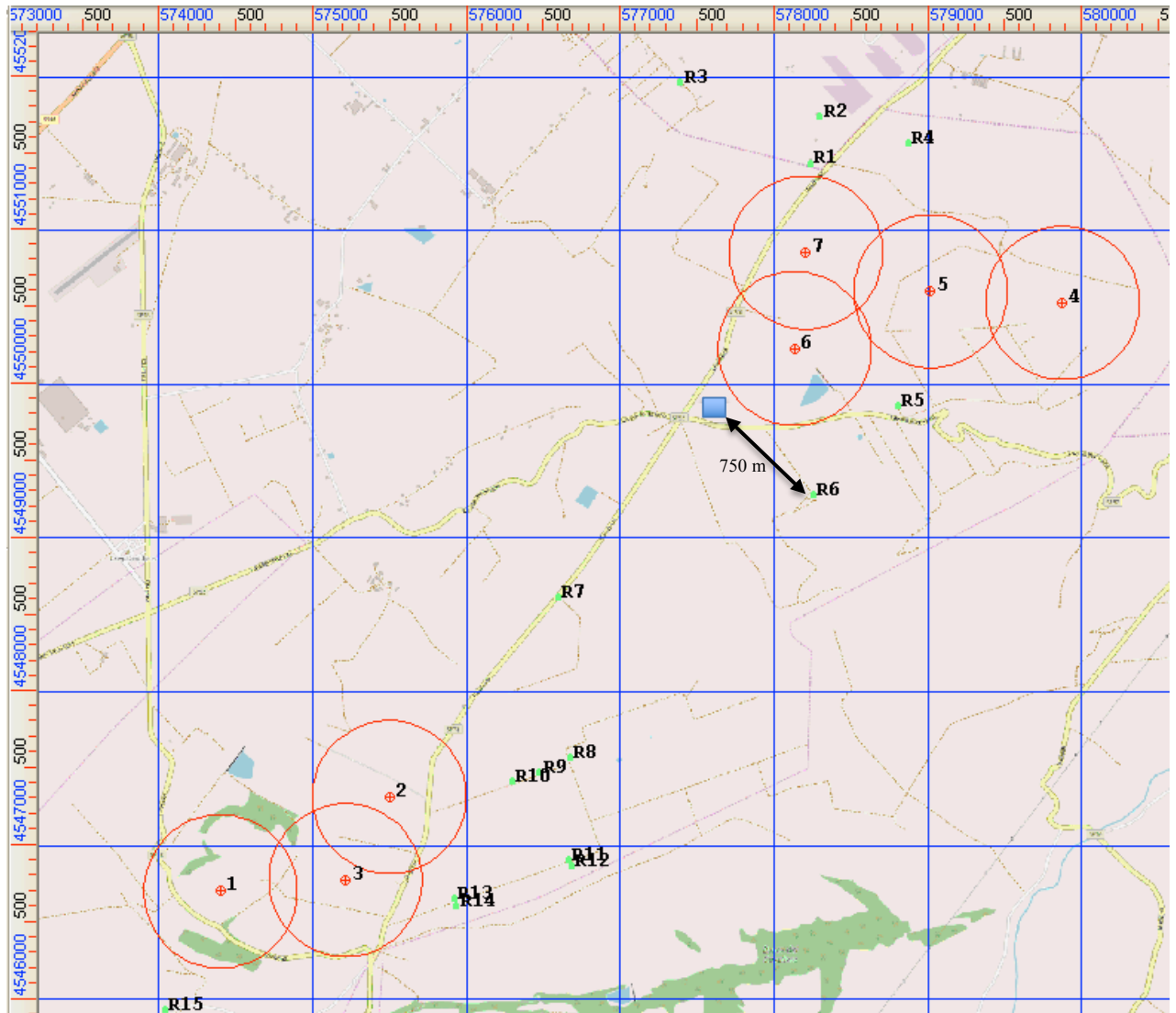


Figura 4 – Inquadramento della zona cantiere principale e delle zone cantiere relative agli scavi fondazione con buffer 500 metri rispetto ai ricettori sensibili.

Sulla base dei dati disponibili relativamente alla tipologia delle opere da realizzare, sono state identificate le macchine per movimento terra e le macchine stazionarie che verranno utilizzate. Nell'impostazione dello scenario di cantiere si è ipotizzata la presenza non contemporanea delle attività descritte.

Sulla base delle premesse formulate nei paragrafi precedenti, con riferimento allo spettro di emissione delle macchine operatrici e dell'incremento previsto nei flussi di traffico stradale e di mezzi pesanti, è stato sviluppato un modello di calcolo previsionale dell'impatto della componente vibrazioni relativo alle attività di costruzione, in prossimità dei possibili ricettori sensibili.

Il modello previsionale utilizzato per la valutazione dell'impatto dovuto a vibrazioni nell'area di installazione dell'aerogeneratore comprende:

- Escavatore
- Pala caricatrice
- Autocarro
- Martello pneumatico
- Mezzo di compattazione a rullo

Gli scenari di calcolo prevedono un orario di lavoro compreso tra le 8:00 e le 12:00 e poi tra le 13:00 e le 17:00 e perciò solo diurno. I mezzi d'opera si prevedono in opera continuamente. La tabella che segue riporta i macchinari ed i mezzi che si è ipotizzato vengano utilizzati da ciascuna squadra.

Le emissioni massime per singola macchina sono ricavate da dati di letteratura e sono descritte in Tabella 6

Macchinari/Mezzi	dB (max)	Freq. (Hz)	Attività
Escavatore, mezzi semoventi o gommati o cingolati che scavano, sollevano e scaricano il materiale per mezzo di una benna montata su un cinematismo a braccio articolato o su un braccio telescopico	93	62	Realizzazione della piazzola e fondazione
Autocarro	77	12,5	Trasporto materiali di strade, della piazzola e fondazione
Mezzo di compattazione, utilizzato per l'addensamento dei materiali in sito, ad esempio pietrame, terreno o materiale di rivestimento del suolo, mediante azioni di rullatura, battitura o vibrazione dell'attrezzo	105	40	Realizzazione di tratti di strada ex novo e oggetto di ampliamenti
Martello pneumatico	102	50	
Pala caricatrice a ruote gommate	90	50	Realizzazione della piazzola e fondazione

Tabella 6 - Macchine considerate nella valutazione dell'impatto vibrazionale in fase di cantiere misurate a 5m dalla sorgente

Di seguito si riporta una tabella descrittiva con i livelli di vibrazioni al ricettore al R12.

<b>Emissione alla sorgente</b>	<b>Rullo</b>	<b>Esc</b>	<b>Aut</b>	<b>Martello</b>	<b>Pala</b>
vibrazione alla sorgente	105 dB	93	77	102	90 dB
accelerazione alla sorgente	177,828 mm/s <sup>2</sup>	44,668	7,079	125,893	31,623 mm/s <sup>2</sup>
<b>Attenuazione geometrica</b>					
distanza del ricevitore dalla sorgente	500 m	500	500	500	500 m
posizione di misura (distanza dalla sorgente)	5 m	5	5	5	5 m
coefficiente di attenuazione geometrica	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
attenuazione geometrica	20,000 dB	20,000	20,000	20,000	20,000 dB
<b>Attenuazione per assorbimento del terreno</b>					
frequenza di rotazione	800 rpm	250	250	125	1000 rpm
f- frequenza onda vibrazione	40 Hz	12,5	12,5	50	50 Hz
omega - pulsazione onda	251,327 rad/s	78,540	78,540	314,159	314,159 rad/s
eta - coefficiente di assorbimento del terreno	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
c - velocità di propagazione	3500 m/s	3500	3500	3500	3500 m/s
densità del mezzo di propagazione	1700 kg/m <sup>3</sup>	1700	1700	1700	1700 kg/m <sup>3</sup>
attenuazione per assorbimento	15,426 dB	4,821	4,821	19,283	19,283 dB
attenuazione per assorbimento (2 <sup>ndo</sup> calc)	15,959 dB	7,737	7,737	18,949	18,949 dB
<b>Vibrazione al ricevitore</b>					
vibrazione al ricevitore	69,574 dB	68,179	52,179	62,717	50,717 dB
accelerazione al ricevitore	3,011 mm/s <sup>2</sup>	2,564	0,406	1,367	0,343 mm/s <sup>2</sup>
<b>accelerazione al ricevitore totale</b>	<b>2,954 mm/s<sup>2</sup></b>				

Tabella 7 - Calcolo della vibrazione post operam in fase di cantiere

Sulla base dello studio effettuato, applicando ipotesi conservative e cautelative e considerando le caratteristiche delle macchine operatrici previste, sono stati calcolati i livelli di vibrazioni dovuti alla presenza del futuro impianto eolico. Come si evince dalla Tabella 7, la vibrazione massima post operam è di 3,011 mm/s<sup>2</sup> e cioè inferiore ai 5 mm/s<sup>2</sup> presi come livello limite.

Si conclude perciò che nessuna delle posizioni ha limiti superiori alla norma.

## **11. BIBLIOGRAFIA**

[ADR01] - Relazione acustica del parco con le informazioni sui ricettori confermate via email, da Adr, a A. Bartolazzi, Studio Rinnovabili, 13 maggio 2019, "A.6.pdf".

[MAT02] – Carta geologica d’Italia estratta da <http://www.pcn.minambiente.it/mattm/servizio-wms/> il 13.5.2019.

[ISO03] – ISO 2631 - Guida per la valutazione dell’esposizione umana alle vibrazioni su tutto il corpo

[UNI04] – UNI 9614:1990 “Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo”, 1990

[UNI05] – UNI 9916:2014 “Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici”, 2014

[AND06] – Anderson, J.S.; Solving problems in vibrations; London, Longman Scientific & Technical, 1987

[COS07] – Cosa, M. e Nicoli, M.; Valutazione e controllo del rumore e delle vibrazioni; Milano, ESA, 1989

[WAT81] – L.H. Watkins - "Environmental impact of roads and traffic" - Appl. Science Publ. 1981