

REGIONE SARDEGNA

Provincia del Nord-Est Sardegna

COMUNI DI LURAS E TEMPIO PAUSANIA



REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROL.	APPROV.
1	EMISSIONE PER ENTI ESTERNI	25/02/22	SIGNORELLO A.	FURNO C.	NASTASI A.
0	EMISSIONE PER COMMENTI	31/01/22	SIGNORELLO A.	FURNO C.	NASTASI A.

Committente:

VGE 04

Volta Green Energy

Piazza Manifattura, 1 - 38068 Rovereto (TN)
Tel. +39 0464 625100 - Fax +39 0464 625101 - PEC vge04@legalmail.it



Società di Progettazione:



Ingegneria & Innovazione

Via Jonica, 16 - Loc. Belvedere - 96100 Siracusa (SR) Tel. 0931.1663409
Web: www.antexgroup.it e-mail: info@antexgroup.it

Progetto:

PARCO EOLICO PETRA BIANCA

Progettista/Resp. Tecnico

Dott. Ing. Cesare Furno
Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Catania
n° 6130 sez. A

Elaborato:

STUDIO IMPATTO DA VIBRAZIONI

Scala:

NA

Nome DIS/FILE:

C20042S05-VA-RT-10-01

Allegato:

1/1

F.to:

A4

Livello:

DEFINITIVO

Il presente documento è di proprietà della ANTEX GROUP srl.
È vietato la comunicazione a terzi o la riproduzione senza il permesso scritto della suddetta.
La società tutela i propri diritti a rigore di Legge.



INDICE

1. Premessa	3
2. Generalità e Metodologia adottata.....	6
3. Caratterizzazione delle sorgenti	10
4. Calcoli e Verifica	11
5. Conclusioni	18

1. Premessa

VGE 04 S.r.l. (di seguito anche la “Società”) è una società appartenente al Gruppo Volta Green Energy (di seguito anche “VGE”).

Volta Green Energy, con sede in 38068 Rovereto (TN), Piazza Manifattura n. 1, iscritta alla CCIAA di Trento al n° 02469060228, REA TN – 226969, Codice Fiscale e Partita IVA 02469060228 opera nel settore della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili e nasce dall’esperienza più che decennale di professionisti, con oltre 500 MW di parchi eolici e 100 MW di impianti fotovoltaici sviluppati, costruiti e gestiti.

Ad oggi, Volta Green Energy impiega poco più di una ventina di risorse e svolge in proprio la ricerca, lo sviluppo e la costruzione di nuovi progetti.

Ogni attività è svolta sulla base della conoscenza delle specifiche criticità e nel rispetto degli equilibri sociali, ambientali e territoriali in cui si inseriscono gli impianti in esercizio e le nuove iniziative.

Le attività svolte da Volta Green Energy afferiscono all’intero processo che porta alla produzione di energia da fonti rinnovabili: sviluppo di nuovi progetti, finanziamento, costruzione, Operation & Maintenance, vendita dell’energia; queste attività coinvolgono direttamente l’ambiente e le comunità dove sono presenti gli impianti. Per questo, Volta Green Energy è dotata di un Sistema di Gestione Integrato che include temi etici e legali (D.Lgs. 231/01), requisiti di sistema ambientale (ISO 14001:2015) e di gestione salute e sicurezza (UNI ISO 45001:2018).

Volta Green Energy ha recentemente completato i lavori di una delle prime installazioni eoliche in Italia che, da aprile 2020 con successo, è operativa su base merchant, e cioè si sostiene economicamente senza il ricorso a produzione incentivata.

Si tratta di due ampliamenti di un parco eolico già in esercizio da 48 MW con una potenza aggiuntiva di 18 MW. Tutte le altre attività di realizzazione dei due impianti (ingegneria, permitting, lavori civili ed elettrici, acquisti, consulenze, ecc), le attività di collaudo, nonché gestione, coordinamento e armonizzazione tra tutti i diversi soggetti coinvolti e le rispettive attività, sono state svolte da Volta Green Energy, le cui professionalità avevano portato avanti anche lo sviluppo delle iniziative.

Oggi Volta Green Energy, insieme ad un partner di primaria importanza nel settore delle energie rinnovabili, sta realizzando un impianto eolico della potenza di circa 44 MW, costituito da 9 aerogeneratori dopo aver portato avanti direttamente anche lo sviluppo dell’iniziativa.

VGE 04, anch’essa con sede in 38068 Rovereto (TN), Piazza Manifattura n. 1, iscritta alla CCIAA di Trento al n° 02630420228, REA n° TN - 238605, Codice Fiscale e Partita IVA 02630420228, ha in progetto la realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, mediante l’installazione di 14 aerogeneratori di potenza unitaria pari a 6 MW, per una potenza complessiva di 84 MW, sito nei Comuni di

Luras e di Tempio Pausania, in provincia del Nord-Est Sardegna (di seguito anche “Parco Eolico Petra Bianca”).

Secondo quanto previsto dalla soluzione di connessione con Codice Pratica 202002705, rilasciata da Terna SpA in data 14/04/2021, poi accettata in data 21/05/2021, l’impianto si collegherà alla RTN per la consegna della energia elettrica prodotta attraverso una sottostazione elettrica utente di trasformazione e consegna (di seguito anche “SSEU”) da collegare in antenna a 150 kV sulla nuova Stazione Elettrica (SE) di Smistamento della RTN a 150 kV in GIS denominata “Tempio” da inserire in entra – esce alla linea 150 kV “Olbia - Tempio” previa realizzazione di un nuovo elettrodotto di collegamento della RTN a 150 kV tra la SE di Santa Teresa e la nuova SE Buddusò.

Il modello tipo di aerogeneratore (di seguito anche “WTG”) scelto, dopo opportune considerazioni tecniche ed economico finanziarie, è il modello tipo Siemens Gamesa SG170 da 6 MW con altezza mozzo pari a 115 m, diametro rotore pari a 170 m e altezza massima al top della pala pari a 200 m. Questo modello tipo di aerogeneratore è allo stato attuale quello ritenuto più idoneo per il sito di progetto dell’impianto.

L’area interessata dal posizionamento degli aerogeneratori ricade in località Silonis, Calvonai, Cae’e Figu/Labias e Bisettara del Comune di Luras e in località La Menta, Monte Cuscuscione, Padru di Lampada, Petra Ruia, Li Espi, Funtana di casa, Tanca Longa e Bonifica Padulo del Comune di Tempio Pausania entrambi in provincia di Nord-Est Sardegna, su una superficie prevalentemente destinata a pascolo.

I terreni sui quali si intende realizzare l’impianto sono tutti di proprietà privata; di questi, quelli su cui è prevista l’installazione degli aerogeneratori sono per lo più già nella disponibilità della Società proponente. Il territorio è caratterizzato da un’orografia prevalentemente collinare, le posizioni delle macchine hanno all’incirca un’altitudine che varia dai 260 m ai 520 m s.l.m.

Il parco eolico in progetto convoglierà l’energia prodotta verso la Sotto Stazione Elettrica (SSEU) in progetto di proprietà di VGE 04 S.r.l. nel Comune di Calangianus, in provincia del Nord-Est Sardegna, nelle particelle 216 e 213 del foglio 45, per la trasformazione e la consegna dell’energia elettrica alla rete di trasmissione nazionale.

Detta Sotto Stazione sarà collegata alla stazione 150 kV “Tempio” nel Comune di Calangianus, in provincia del Nord-Est Sardegna, in catasto nel foglio 45, particella n. 271, da connettere alla rete di trasmissione nazionale.

L’elettrodotto in media tensione (“MT”) collegherà tutti gli aerogeneratori e serve per il vettoriamento dell’energia elettrica prodotta dagli stessi fino alla sottostazione elettrica utente. Un breve tratto di elettrodotto, previsto all’interno di una strada pubblica, ricadrà anche nel territorio del Comune di Aggius.

Le attività di progettazione definitiva e di studio di impatto ambientale sono state sviluppate dalla società di ingegneria Antex Group Srl, con sede in Siracusa.

Antex Group Srl è una società che fornisce servizi globali di consulenza e management ad Aziende private ed Enti pubblici che intendono realizzare opere ed investimenti su scala nazionale ed internazionale, nel settore della transizione ecologica e non solo.

È costituita da selezionati e qualificati professionisti uniti dalla comune esperienza professionale nell'ambito delle consulenze tecniche, ingegneristiche, ambientali, gestionali, legali e di finanza agevolata.

La società pone a fondamento delle proprie attività ed iniziative, i principi fondamentali della qualità, dell'ambiente e della sicurezza come espressi dalle norme ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001 nelle loro ultime edizioni.

2. Generalità e Metodologia adottata

L'energia vibratoria generata da mezzi e macchinari di cantiere si propaga nel terreno a ridosso delle aree di cantiere, e può interessare edifici situati in prossimità. Tali moti vibratorii, filtrati dalla natura geolitologica dei terreni, interagiscono con le fondazioni e le strutture degli edifici, e possono essere percepiti dalle persone che vi abitano (effetti di disturbo) ed anche determinare moti con risposte strutturali e di integrità architettonica (effetti di danno o cosiddetti "cosmetici"). Questi due aspetti sono trattati da norme specifiche, ed in particolare:

- UNI 9614 (2017) Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo;
- UNI 9916 (2014) Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici.

La complessità fenomenologica del campo vibratorio, a partire dai diversi modi e tipologia di generazione, dalle possibili modalità di propagazione nel terreno ed attenuazione con la distanza, fino alle varie interazioni con strutture edificate (che dipendono da tipologia di costruzione e di fondazione), fa sì che normalmente si ricorre ad un approccio di tipo analitico empirico per la valutazione previsionale. In generale è possibile schematizzare i modi di trasmettere sollecitazioni meccaniche nel suolo con tre tipi diversi di onde:

- onde di compressione (modi longitudinali);
- onde di taglio (modi trasversali);
- onde di superficie.

Le prime due sono onde di volume, dette anche di tipo P e S, mentre le onde di superficie, che si propagano sull'interfaccia fra due strati con diverse proprietà meccaniche (e quindi anche tra terreno ed aria), possono essere distinte nelle cosiddette onde di Love e di Rayleigh, caratterizzate queste ultime da un moto delle particelle di tipo ellittico con componente verticale ed orizzontale.

In un mezzo isotropo l'energia sviluppata da un impulso verticale si trasmette per il:

- 67% come onda superficiale
- 6% come onda di taglio
- 7 % come onda di compressione

Da questi dati si comprende che è l'onda di superficie quella che va maggiormente ad interessare le fondazioni di edifici posti nelle vicinanze di una forza impulsiva. Tenendo conto che in genere le perturbazioni oscillatorie sono predominanti in senso verticale rispetto a quello trasversale, le onde di Rayleigh diventano il modo di propagazione di maggior interesse. Vi è una relazione dispersiva tra le frequenze e la velocità di propagazione; si può dimostrare come un'onda di superficie nella sua propagazione non mantiene la stessa forma, e come un'onda ad alta frequenza si propaga più velocemente di una a bassa frequenza. Come ordine di grandezza si consideri che le frequenze per un'onda superficiale in un terreno medio variano tra i 5 e i 35 Hz e che le ampiezze delle accelerazioni prodotte si attenuano disperdendosi nel suolo fino a diventare inefficaci per valori prossimi a 0.02m/s². Questo limite può ottenersi per una distanza dalla sorgente compresa tra i 40 e 80 m.

Il modello di propagazione si basa sulla seguente formula:

$$a(d, f) = a(d_o, f) \left(\frac{d}{d_o} \right)^n e^{-\frac{2\pi f \eta}{c}(d-d_o)} \quad (1)$$

dove

a è l'ampiezza dell'oscillazione

d_o è la distanza di riferimento a cui è noto lo spettro di

d è la distanza di calcolo

η è il fattore di perdita del terreno

c è la velocità di propagazione.

È possibile riscrivere l'equazione (1) in termini di livelli, considerando la definizione:

$$L_a = 20 \log \left(\frac{a}{a_o} \right), \quad a_o = 10^{-6} \text{ m/s}^2$$

quindi

$$L_a(d, f) = L_a(d_o, f) - 20 \log \left(\frac{d}{d_o} \right)^n - 20 \log \left(e^{-\frac{2\pi f \eta}{c}(d-d_o)} \right) \quad (2)$$

L'esponente n varia secondo il tipo di onda e di localizzazione della sorgente di vibrazione. Il termine esponenziale nelle equazioni (1) e (2) descrive il fenomeno della dissipazione energetica, che cresce proporzionalmente alla frequenza. In altri termini le vibrazioni alle alte frequenze si estinguono dopo un breve percorso, mentre quelle alle frequenze più basse si propagano a distanze maggiori.

Il rapporto η/c dipende dal tipo di terreno.

C'è un'altra formulazione del livello di accelerazione alla distanza r dalla sorgente, fornita da Rudder (citato da R. Pisani, "Origine, propagazione e modelli previsionali delle vibrazioni dei mezzi di trasporto"):

$$L(d) = L(d_o) + 10 \log \left(\frac{d_o}{d} \right) - 8.69 \alpha (d - d_o) \quad (3)$$

dove α è la costante di attenuazione del terreno.

Il termine relativo all'attenuazione per dissipazione dell'energia meccanica è ottenuto dalla relazione Riguardo alle vibrazioni indotte dal transito di veicoli, è applicabile la seguente relazione (Rudder):

$$L_o = -4.1(PSR) + 17.2 \log(V) + 10 \log(W_G) + 52 \quad \text{dB re } 10^{-6} \text{ m/s}^2 \quad (4)$$

L_o = livello a 2 m di distanza dal ciglio della strada
 PSR coefficiente dipendente dal tipo di rugosità (4.5 per un asfalto nuovo, 2 per un asfalto usurato, 1 per sterrato)
 V velocità in km/h
 W_G peso lordo del veicolo in tonnellate.

Nell'effettuare un calcolo analitico della propagazione di vibrazioni si effettuano diverse ipotesi semplificatrici:

- si considera il terreno omogeneo e isotropo;
- la propagazione dell'energia vibrazionale avviene sulla superficie del suolo per mezzo di onde di Rayleigh; l'effetto delle onde primarie, secondarie e di Love è trascurato;
- ogni sorgente emette energia vibrazionale in superficie in modo omnidirezionale.

La propagazione delle sollecitazioni meccaniche dal suolo all'interno degli edifici dipende in ultima analisi delle caratteristiche costruttive dell'edificio, che determinano la risposta locale di pareti e solai. Ai fini della valutazione si dovrà tenere conto di due aspetti fondamentali:

- interazione suolo fondazione;
- propagazione nel corpo dell'edificio.

La differenza tra il livello di vibrazione nel terreno e quello della fondazione è detta Coupling Loss (attenuazione per perdita di accoppiamento); nella seguente tabella sono forniti i valori sperimentali medi della perdita di accoppiamento in funzione di alcuni tipi caratteristici di fondazione:

Edificio	FREQUENZA C.B. 1/3 OTTAVA [HZ]														
	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Perdita di Accoppiamento [dB]															
Edifici in muratura su pali nel terreno	5.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10	11	12	13	14	14.5	14.5	15	14
Edifici in muratura	12	13	13.5	14.5	15	15	15	15	14	13	13.5	13	12.5	12	11.5
Edifici con telaio in C.A. e muratura, plinti	10	11	11.5	12.5	13	13	13	13	12.5	12.5	12	11	9.5	8.5	8

Coupling Loss

Per quanto riguarda invece le caratteristiche strutturali degli edifici che influiscono sulla propagazione, si considerano le due componenti:

1. propagazione da piano a piano;
2. amplificazione degli orizzontamenti.

Valori empirici in funzione della frequenza sono riportati nelle seguenti tabelle:

Piano	SPETTRO DI ATTENUAZIONE PER PROPAGAZIONE DA PIANO A PIANO														
	(RE 10-6 M/S2) [DB]														
	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
1° ORIZZONTAMENTO	-2	-2	-2	-2	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-	-	-
2° ORIZZONTAMENTO	-4	-2	-2	-4	-5	-5	-5	-5.5	-6	-6	-6	-6	-	-	-
3° ORIZZONTAMENTO	-6	-6	-6	-6	-7	-7	-7	-7	-7.5	-8	-9	-9	-	-	-

Attenuazione per frequenza

Considerando tipologie standard di solai:

LUCE DEL SOLAIO	SPETTRO DI AMPLIFICAZIONE DEGLI ORIZZONTAMENTI (RE 10-6 M/S2) [DB]														
	FREQUENZA C.B. 1/3 OTTAVA [HZ]														
	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
luce da 4 m	1	4.4	16.5	4	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
luce da 5 m	2.5	20	1.2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Amplificazione degli orizzontamenti

I valori di riferimento - soglie di accettabilità in riferimento al disturbo sulle persone ("annoyance"), dipendono in misura variabile dall'intensità e frequenza dell'evento vibratorio e dal tipo di attività svolta. Le potenziali situazioni di danno strutturale agli edifici si verificano in corrispondenza di livelli di vibrazione notevoli, superiori di almeno un ordine di grandezza rispetto ai livelli tipici dell'annoyance: **la verifica quindi del rispetto dei limiti per il disturbo alle persone (ai sensi della UNI 9614) può escludere effetti seppur minimi di danneggiamento sugli edifici (ai sensi della UNI 9916).**

Considerando cumulativo l'effetto di tutte le componenti di accelerazione per frequenze da 1 a 80 Hz, sono introdotti filtri di ponderazione che dipendono dalla postura della persona. Il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza L_w è fornito dalla relazione:

$$L_w = 10 \log \sum_1 10^{L_{i,w}/10}$$

dove $L_{i,w}$ sono i livelli di vibrazione in accelerazione calcolati per terzi di ottava, ponderati in frequenza secondo il filtro per postura non nota.

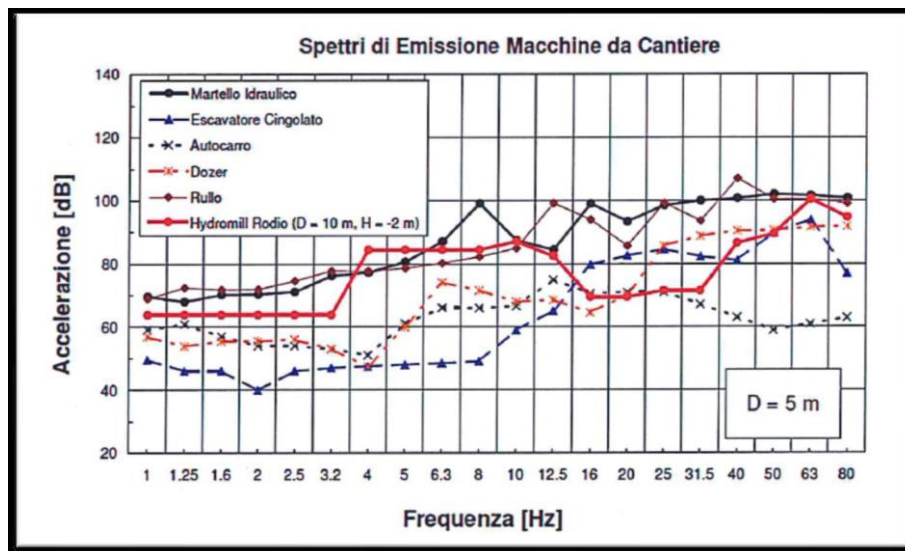
I valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza per postura non nota (per vibrazioni di tipo continuo) sono:

Luogo	A [m/s ²]	L [dB]
Aree critiche	3.3 * 10 ⁻³	71
Abitazioni (notte)	5.0*10 ⁻³	74
Abitazioni (giorno)	7.2*10 ⁻³	77
Uffici	14.4*10 ⁻³	83
Fabbriche	28.8*10 ⁻³	89

L'ultima riga della tabella è in realtà ormai inapplicabile a seguito dell'entrata in vigore del decreto legislativo che fissa i limiti di esposizione alle vibrazioni in ambiente di lavoro.

3. Caratterizzazione delle sorgenti

Per la valutazione dei livelli delle singole sorgenti si può far riferimento agli spettri di emissione dei macchinari di cantiere rilevati sperimentalmente in studi analoghi o presenti in letteratura tecnica.



Spettro tipo emissione di macchine da cantiere

Nella figura precedente gli spettri, misurati ad una distanza di 5 m dalla sorgente vibratoria, sono riferiti alla componente verticale dei seguenti macchinari:

- martello idraulico (tipo Hitachi H50 - FH450LCH.3 o similari);
- escavatore cingolato (tipo Fiat-Hitachi FH300, in fase di scavo e carico autocarro);
- autocarro (tipo Mercedes Benz 2629 o similari);
- rullo (tipo Dynapac FD25 o similari);
- idrofresa (tipo Rodio Hydromill o similari).

Altri dati bibliografici - spettri di accelerazione in mm/s² rilevati a 1-20 m di distanza (L. H. Watkins "Environmental impact of roads and traffic", Appl. Science Publ.):

Macchina / Attrezzatura	Camion da cantiere	Camion ribaltabile	Rullo compattatore vibrante	Rullo compattatore pesante (non vibrante)	Pala gommata carica	Pala gommata scarica	Ruspa cingolata piccola	
Distanza	10	10	10	10	10	20	10	
Spettro (Hz)	1	0	0	0	0	0	0	
	1.25	0	0	0	0	0	0	
	1.6	0	0	0	0	0	0	
	2	0	0	0.3	1.6	0.41	0.35	1.1
	2.5	0	0	0.3	1.7	0.41	0.35	1.1
	3.15	0	0	0.3	2	0.41	0.35	1.1
	4	0	0	0.3	0.85	0.48	0.35	1.1
	5	0.15	0.11	0.8	5.8	0.52	0.35	1.4
	6.3	0	0.23	0.7	11	0.50	0.4	1.6
	8	0.12	0.41	0.8	18	0.76	1.2	3.2
	10	0.15	0.5	1.1	20	1.10	0.9	4.2
	12.5	0.29	0.6	1	40	1.25	1.75	8
	16	0.5	1.1	2	20	2	1.26	6
	20	1.67	2.99	1.55	4	3	2	18
	25	1.85	9	6	12	17	5.2	24
	31.5	2.5	3.9	29	7	17	2.6	16
	40	6	3.3	3	3.7	7.8	1.6	10
50	5.5	4	1	3.7	15	1.6	9	
63	5.2	10	1.6	5	14	1.5	6	
80	4	8	2	4	7.8	2	5.5	

Spettri di accelerazione

4. Calcoli e Verifica

Le attività di cantiere saranno svolte esclusivamente nelle ore diurne, pertanto è da escludersi un qualsiasi impatto notturno. Si prenderanno in considerazione i ricettori che risultano più vicini alle aree di cantiere nelle fasi a maggior emissione. Tutti gli altri ricettori saranno esposti quindi a livelli inferiori.

È stata effettuata una verifica delle previste attività di cantiere al fine di individuare gli scenari più significativi in termini di impatto; il calcolo dei livelli vibrazionali ai ricettori risultanti dalle configurazioni di macchinari da cantiere negli scenari previsti è stato condotto assumendo la regola SRSS (Square Root of the Sum of Squares), valida nel caso di accoppiamento incoerente di sorgenti multiple. Questo significa che si assume, a titolo precauzionale, che tutti i macchinari associati ad una specifica fase lavorativa operino contemporaneamente.

Si considerano i seguenti scenari:

FASE LAVORATIVA	MACCHINARI UTILIZZATI
1. Modifica e sistemazione della Viabilità	Pala meccanica cingolata
	Escavatore cingolato con benna
	Autocarro
	Rullo compattatore / compressore
2. Realizzazione di opere in C.A. (fondazioni)	Pala meccanica cingolata
	Escavatore cingolato con benna
	Autocarro

Individuazione dei ricettori maggiormente esposti e della disposizione dei macchinari nelle due fasi lavorative:

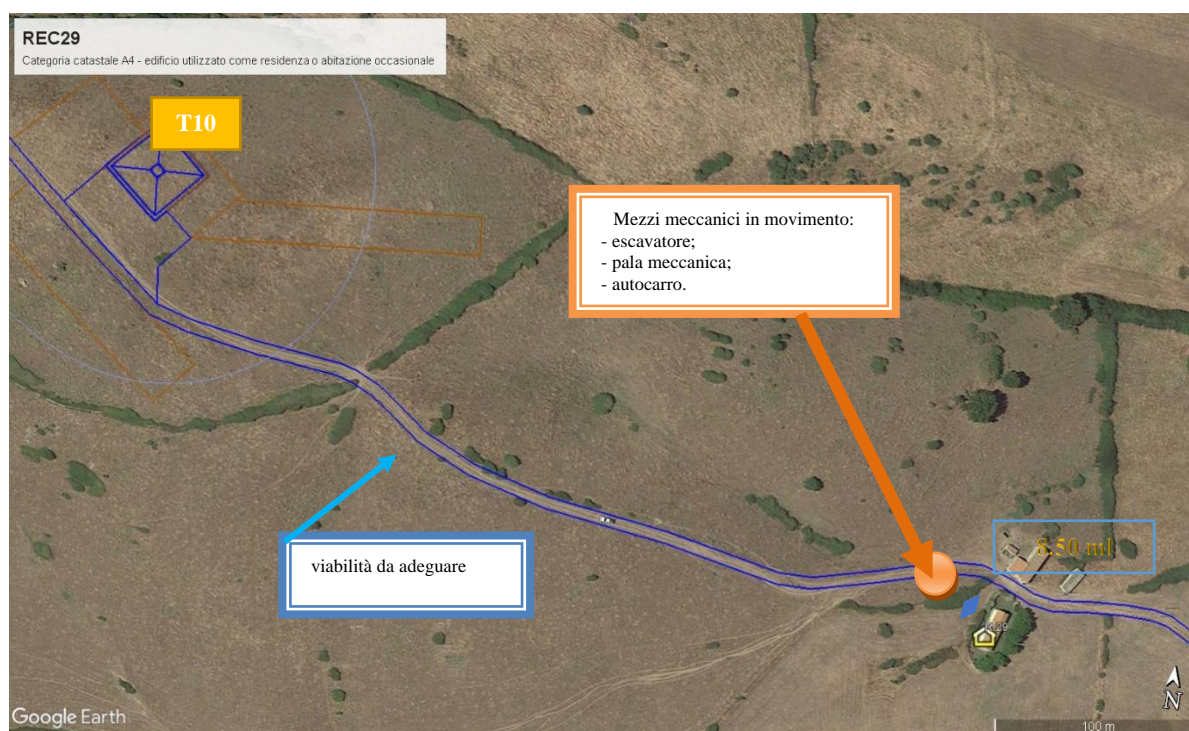


Figura 1: scenario n.1 adeguamento viabilità

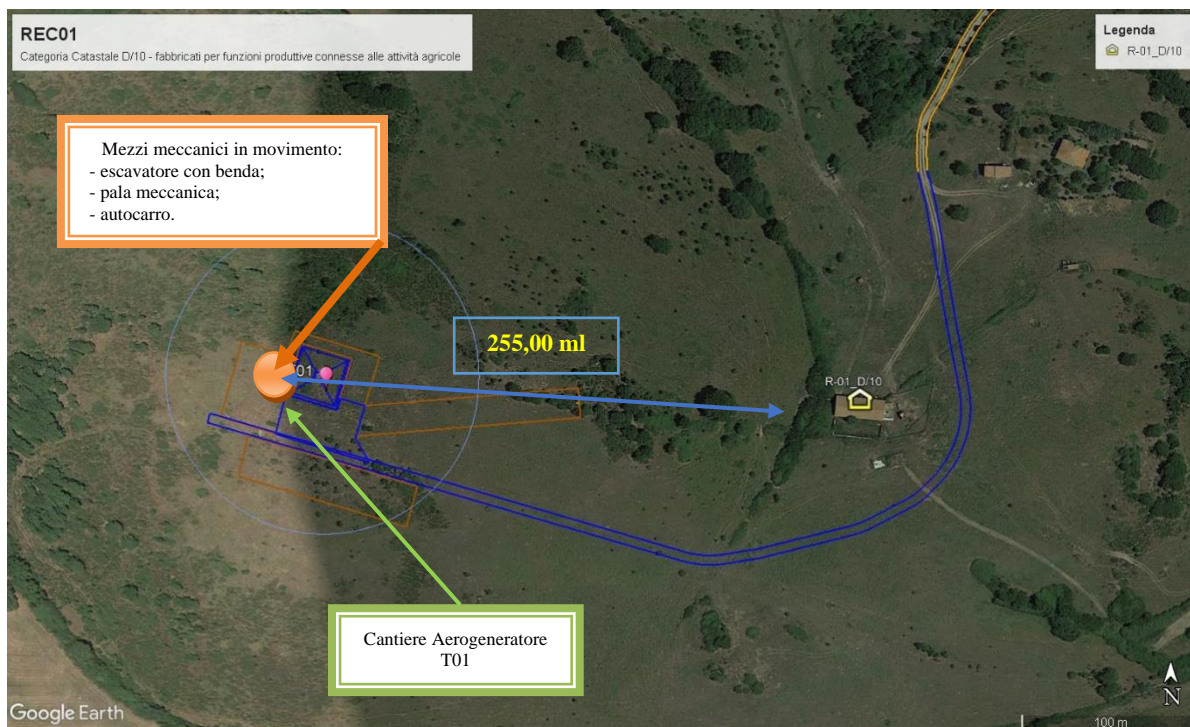


Figura 2: scenario 2 fondazioni WTG T01

Nelle immagini precedenti sono descritte le due condizioni al limite più sfavorevoli:

1. Viabilità di cantiere, adeguamento tratto stradale di accesso alla turbina T10, sul ricettore REC29 per la condizione più sfavorevole alla distanza di 8,5 m;
2. Fondazioni in C.A. nuovo aerogeneratore con ricettore REC01 a distanza 255,00 m dal cantiere, individuato come recettore sensibile con condizione più sfavorevole.

Scheda Ricettori:

COMUNE	RICETTORE	C. CAT.	COORDINATE WGS84		Corpo aziendale a uso agro-pastorale Presenza umana diurna 6-22h
TEMPIO PAUSANIA	REC01	D/10	506761.80 m E	4536186.92 m N	
TEMPIO PAUSANIA	REC29	A/4	505381.93 m E	4535979.48 m N	



Figura 3: Ricettore REC01



Figura 4: ricettore REC29

Entrambi i fabbricati oggetto di verifiche sono costruiti con un solo piano fuori terra con copertura a falde, con struttura in muratura. Le fondazioni sono ipotizzate come cordoli in pietra a contorno del perimetro portante dell'edificio. Utilizzati come fabbricati per attività agricole e prevalentemente per ricovero di attrezzature agricole e deposito.

Vista la categoria catastale assegnata all'immobile D/10 opificio/residenza e all'immobile A4 residenza, considerando il caso più sfavorevole di utilizzo in termini vibrazione, si considera di assegnare la tipologia "Abitazioni (giorno)" dalla tabella che riporta i livelli suggeriti come limite dalla norma UNI 9614.

Luogo	A [m/s ²]	L [dB]
Aree critiche	3.3 * 10 ⁻³	71
Abitazioni (notte)	5.0*10 ⁻³	74
Abitazioni (giorno)	7.2*10 ⁻³	77
Uffici	14.4*10 ⁻³	83
Fabbriche	28.8*10 ⁻³	89

Si assume, sempre a titolo cautelativo, che tutti i macchinari siano posizionati alla minima distanza dal ricettore REC01 e dal ricettore REC29, nella seguente tabella i parametri di riferimento ed i valori in frequenza utilizzati nei calcoli, tenendo in considerazione la natura del terreno come rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa :

PARAMETRO	VALORE	U.M
Cr	700	m/s
n	0,5	Adim.
η	0,01	Adim.
α	0,053	Adim.
d fase 1 – viabilità su REC29	8,5	m
d fase 2 – C.A. su REC01	255	m

Devono essere "normalizzati" gli spettri sorgenti (cioè riportati alla stessa distanza di riferimento) e quindi combinati mediante la regola SRSS; vanno quindi propagati al ricettore (introducendo l'attenuazione per la distanza, indipendente dalla frequenza, e quella per l'assorbimento del terreno, dipendente dal terreno). A questo punto il livello di vibrazione va fatto interagire con le fondazioni dell'edificio (coupling loss), e con gli orizzontamenti presenti, ed infine pesato con la curva di ponderazione per postura non nota al fine di confrontarlo con i valori limite della UNI 9614.

Calcolo attenuazione distanza: $A_g = 20 \log(x/x_0)^n$ dove $n=0,5$, x distanza della sorgente dal punto di emissione (stimata 5,00 m) e x_0 la distanza di riferimento.

Intervento n.1: Viabilità di Cantiere

Banda	Spettro	Atten. Modello Previsionale	Coupling Loss	Attenuaz. Propagaz. Piano/piano	Ponder, Postura asse z	Ponderaz.	Livello
1,00	70,9	54,36	8		7		39,36
1,25	73,4	56,28	9		5		42,28
1,60	71,6	54,90	9		4		41,90
2,00	71,8	55,05	9		3		43,05
2,50	72,8	55,82	9		2,5	0,50	43,82
3,15	74,2	56,89	10		1	1	44,89
4,00	73	55,97	10				45,97
5,00	74,1	56,81	10				46,81
6,30	75,6	57,96	10				47,96
8,00	79,4	60,88	11				49,88
10,00	82,5	63,25	11				52,25
12,50	93,3	71,54	12	2			57,54
16,00	90,2	69,16	13	2			54,16
20,00	98,5	75,52	13,5	2			60,02
25,00	103,7	79,51	14,5	2			63,01
31,50	103,3	79,20	15	3			61,20
40,00	105	80,51	15	3			62,51
50,00	107,9	82,73	15	3			64,73
63,00	111	85,11	15	3			67,11
80,00	118,7	91,01	14	3			74,01

I livelli sono ponderati secondo le tabelle di postura, considerando lasse z (posizione verticale).

Il livello previsto al ricevitore è sempre ≤ 74 dB.

Intervento n 2: Fondazioni C.A.

Banda	Spettro	Atten. Modello Previsionale	Coupling	Attenuaz.	Ponder, Postura asse z	Ponderaz.	Livello
1,00	75,5	10,34	8		7		***
1,25	73,7	10,09	9		5		***
1,60	72,8	9,97	9		4		***
2,00	72,2	9,89	9		3		***
2,50	71,3	9,76	9		2,5	0,50	***
3,15	70,6	9,67	10		1	1	***
4,00	69,9	9,57	10				***
5,00	70,7	9,68	10				***
6,30	71,3	9,76	10				***
8,00	76,7	10,50	11				***
10,00	79,7	10,91	11				***
12,50	86,2	11,80	12	2			***
16,00	85,1	11,65	13	2			***
20,00	96,2	13,17	13,5	2			***
25,00	100,7	13,79	14,5	2			***
31,50	100	13,69	15	3			***
40,00	100,5	13,76	15	3			***
50,00	109,9	15,05	15	3			***
63,00	107,2	14,68	15	3			***
80,00	110,5	15,13	14	3			***

Il livello previsto al ricevitore è nullo.

Per calcolare il contributo dei mezzi di trasporto, anche in questo caso si farà riferimento alla situazione “peggiore”, considerando il transito sulla viabilità interna (strada sterrata), nel punto più vicino al ricevitore maggiormente esposto (Rec29-abitazione), di una autobetoniera a 4 assi a pieno carico (circa 11 metri cubi di calcestruzzo), per un peso complessivo di circa 40 tonnellate.

Valori di studio:

PARAMETRO	VALORE	U.M.
PSR	1	Adim.
V	20	Km/h
Wg	40	Ton.
α	0.023	Adim.

$L_0 = 86,3$ dB (a 2 m dal ciglio della strada).

A questo punto, utilizzando la relazione

$$L(d) = L(d_0) + 10 \log\left(\frac{d_0}{d}\right) - 8.69\alpha(d - d_0)$$

(dove $L(d_0) = L_0$), con $d = 8,5$ m, si ricava:

$$L(d) = 77 \text{ dB}$$

Questo è il livello di vibrazione presente nel suolo al piede dell'edificio ricevente REC29, che deve interagire con la fondazione (ci si attende una coupling loss di diversi dB), propagarsi ai piani sovrastanti (attenuazione di almeno 2-3 dB) ed eventualmente essere amplificato dagli orizzontamenti presenti. Il livello finale andrebbe poi filtrato con la curva di ponderazione per postura non nota, e confrontato con il valore limite per le abitazioni in periodo diurno: avendo ottenuto comunque, al piede dell'edificio, $L(d) = 77$ dB, si esclude qualsiasi effetto di disturbo ai sensi della UNI 9614, perché il valore è inferiore ai limiti previsti dalla normativa.

5. Conclusioni

Il livello di vibrazione stimato con ipotesi precauzionali sui ricettori maggiormente esposti durante le fasi più impattanti delle lavorazioni di cantiere è sempre risultato largamente inferiore ai valori limite di valutazione del disturbo (UNI 9614); di conseguenza sono da escludersi anche potenziali effetti di danno strutturale o estetico agli stessi edifici (UNI 9916).

Essendo tutti gli altri edifici a distanze maggiori rispetto ai ricettori considerati nei calcoli, anche per essi valgono le considerazioni di cui sopra.

SCENARI	LIMITI DI NORMATIVA	RISULTATI
1. Cantiere Viabilità	77 dB	Verificato
2. Fondazioni C.A.		Verificato
3. Mezzi di trasporto		Verificato