






REGIONE SARDEGNA

Provincia di Sassari

COMUNE DI CALANGIANUS



| REV. | DESCRIZIONE | DATA | REDATTO | CONTROL. | APPROV. |
|------|----------------------------|------------|---------------|-------------|----------|
| 01 | EMISSIONE PER ENTI ESTERNI | 10/05/2024 | SIGNORELLO A. | BELFIORE G. | FURNO C. |
| 00 | EMISSIONE PER COMMENTI | 28/03/2024 | SIGNORELLO A. | BELFIORE G. | FURNO C. |

| | | | | | |
|--|-----------------------|---|-------|---|--|
| Committente: | |  <p>AEI WIND PROJECT XVI S.R.L. P.I. 17264911003 Via Savoia 78 00198 Roma</p> | | | |
| Società di Progettazione: | | <i>Ingegneria & Innovazione</i> | | Progettista/Resp. Tecnico: | |
|  <p>Via Jonica, 16 – Loc. Belvedere 96100 Siracusa (SR) Tel. 0931.1663409 Web: www.antexgroup.it e-mail: info@antexgroup.it</p> | | | | Dott. Ing. Cesare Furno Ordine degli Ingegneri della Provincia di Catania n° 6130 sez. A | |
| Progetto: | | | | | |
| IMPIANTO EOLICO TEMPIO II | | | | | |
| Tavola: | | | | | |
| STUDIO IMPATTO DA VIBRAZIONI | | | | | |
| Scala: | Nome DIS/FILE: | Allegato: | F.to: | Livello: | |
| —:— | C23046S05-VA-RT-10-01 | 1/1 | A4 | DEFINITIVO | |
| Il presente documento è di proprietà della ANTE GROUP S.r.l. 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 | 4 |
| 3. Caratterizzazione delle sorgenti | 8 |
| 4. Calcoli e Verifica | 10 |
| 5. Conclusioni | 16 |

1. PREMESSA

Per conto della società proponente, AEI WIND PROJECT XVI S.R.L., società soggetta all'attività di direzione e coordinamento di ABEI ENERGY & INFRASTRUCTURE S.L., dedicata allo sviluppo, realizzazione e gestione per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile, la società Antex Group S.r.l. ha redatto il progetto definitivo relativo alla realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, denominato Impianto eolico "Tempio II" da realizzarsi nel territorio del Comune di Calangianus, appartenente alla provincia di Sassari. Il progetto prevede l'installazione di n. 6 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno, per una potenza complessiva pari a 39,6 MW. Tutta l'energia elettrica prodotta verrà ceduta alla rete elettrica nazionale tramite la posa di un cavidotto interrato su strade esistenti e la realizzazione di una nuova cabina utente per la consegna collegata in antenna a 36 kV sulla nuova Stazione Elettrica (SE) di Smistamento della RTN a 150 kV in GIS denominata "Tempio" (prevista dal Piano di sviluppo Terna) da collegare, tramite due nuovi elettrodotti a 150 kV, a una nuova Stazione Elettrica di Trasformazione della RTN a 380/150 kV da collegare tramite un elettrodotto 380 kV al futuro ampliamento della Stazione Elettrica di Trasformazione della RTN di Codrongianos. Le attività di progettazione definitiva e di studio di impatto ambientale sono state sviluppate dalla società di ingegneria Antex Group Srl. 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.

Antex Group pone a fondamento delle proprie attività, quale elemento essenziale della propria esistenza come unità economica organizzata ed a garanzia di un futuro sviluppo, i principi della qualità, 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.

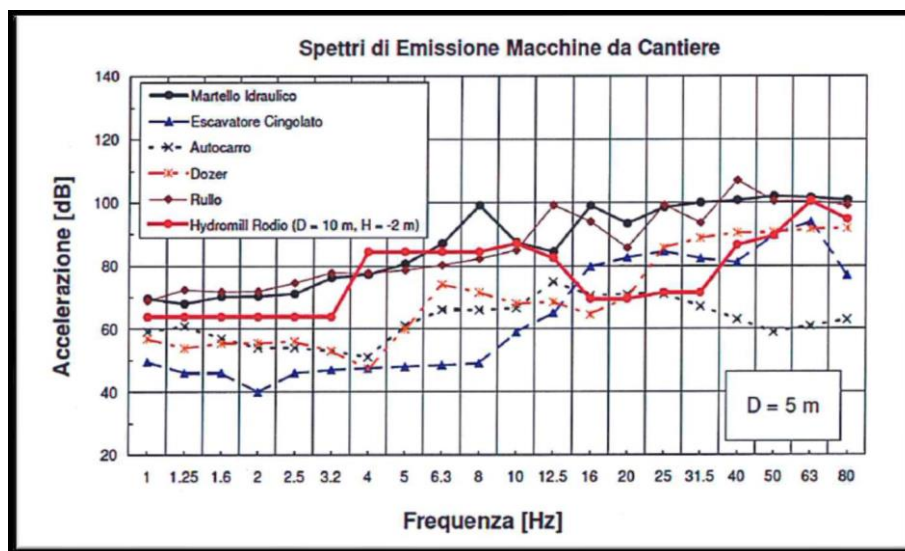
I valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza per postura non nota (per vibrazioni di tipo continuo) sono:

| 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 (non 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

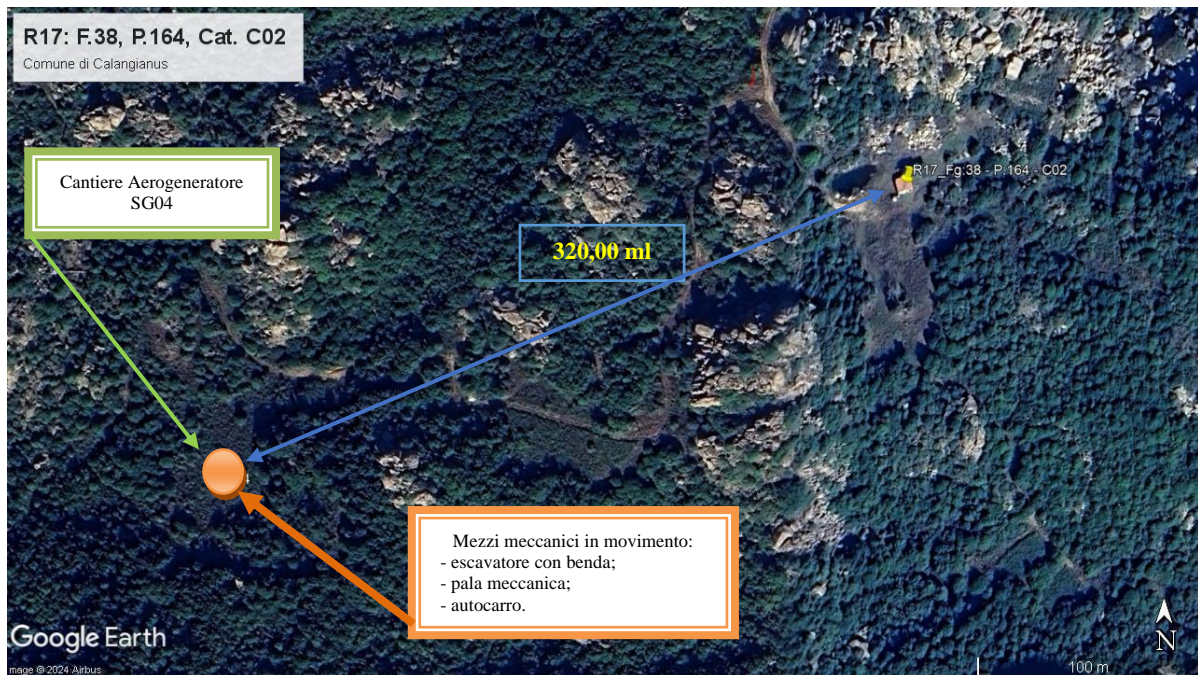


Figura 2: scenario 2 fondazioni WTG SG04

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

1. Viabilità di cantiere, adeguamento tratto stradale di accesso alla turbina SG03, sul ricettore R25 per la condizione più sfavorevole alla distanza di 8,00 m;
2. Fondazioni in C.A. nuovo aerogeneratore SG04 con ricettore R17 a distanza 320,00 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 e residenziale |
|-------------|-----------|---------|------------------|-------------------|---|
| | | | | | |
| CALANGIANUS | R25 | A/3 | 521421.00 m E | 4529041.00 m N | |
| CALANGIANUS | R17 | C02 | 522128.00 m E | 4530615.00 m N | |



Figura 3: Ricettore R25

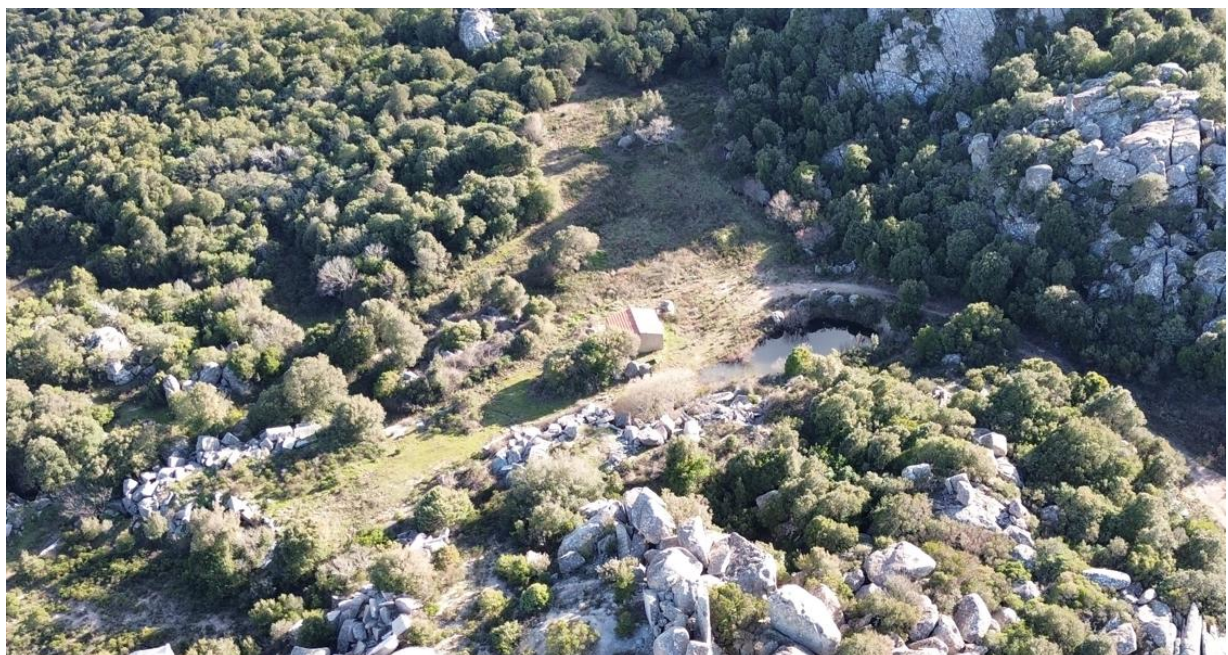


Figura 4: ricettore R17

Il ricettore R25 è costituito da due piani fuori terra, con struttura in muratura e con copertura a falde, il ricettore R17 ha un solo piano fuori terra, realizzato in muratura e con copertura a falde. Le fondazioni, per entrambi i fabbricati, sono ipotizzate come cordoli in pietra a contorno del perimetro portante dell'edificio. Il ricettore R25, al catasto denunciato come A3, è destinato a residenza, con molta probabilità vista la collocazione è destinato a residenza occasionale. Il ricettore R17, individuato al catasto come C02, è utilizzato probabilmente come deposito per attrezzature agricole.

Vista la categoria catastale assegnata ad uno dei due immobili A3, 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 R25 e dal ricettore R17, 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 molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)".

| PARAMETRO | VALORE | U.M |
|-----------------------------|--------|-------|
| Cr | 500 | m/s |
| n | 0,5 | Adim. |
| η | 0,2 | Adim. |
| α | 0,023 | Adim. |
| d fase 1 – viabilità su R25 | 8 | m |
| d fase 2 – C.A. su R17 | 320 | 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 ml) 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 | 55,63 | 8 | | 7 | | 40,63 |
| 1,25 | 73,4 | 57,59 | 9 | | 5 | | 43,59 |
| 1,60 | 71,6 | 56,18 | 9 | | 4 | | 43,18 |
| 2,00 | 71,8 | 56,34 | 9 | | 3 | | 44,34 |
| 2,50 | 72,8 | 57,12 | 9 | | 2,5 | 0,50 | 45,12 |
| 3,15 | 74,2 | 58,22 | 10 | | 1 | 1 | 46,22 |
| 4,00 | 73 | 57,28 | 10 | | | | 47,28 |
| 5,00 | 74,1 | 58,14 | 10 | | | | 48,14 |
| 6,30 | 75,6 | 59,32 | 10 | | | | 49,32 |
| 8,00 | 79,4 | 62,30 | 11 | | | | 51,30 |
| 10,00 | 82,5 | 64,73 | 11 | | | | 53,73 |
| 12,50 | 93,3 | 73,21 | 12 | 2 | | | 59,21 |
| 16,00 | 90,2 | 70,77 | 13 | 2 | | | 55,77 |
| 20,00 | 98,5 | 77,29 | 13,5 | 2 | | | 61,79 |
| 25,00 | 103,7 | 81,37 | 14,5 | 2 | | | 64,87 |
| 31,50 | 103,3 | 81,05 | 15 | 3 | | | 63,05 |
| 40,00 | 105 | 82,39 | 15 | 3 | | | 64,39 |
| 50,00 | 107,9 | 84,66 | 15 | 3 | | | 66,66 |
| 63,00 | 111 | 87,09 | 15 | 3 | | | 69,09 |
| 80,00 | 118,7 | 93,14 | 14 | 3 | | | 76,14 |

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

Il livello previsto al ricevitore è sempre ≤ 77 dB.



Intervento n 2: Fondazioni C.A.

| Banda | Spettro | Atten. Modello Previsionale | Coupling | Attenuaz. | Ponder. Postura asse z | Ponderaz. | Livello |
|-------|---------|-----------------------------|----------|-----------|------------------------|-----------|---------|
| 1,00 | 75,5 | 4,28 | 8 | | 7 | | ---- |
| 1,25 | 73,7 | 4,18 | 9 | | 5 | | ---- |
| 1,60 | 72,8 | 4,12 | 9 | | 4 | | ---- |
| 2,00 | 72,2 | 4,09 | 9 | | 3 | | ---- |
| 2,50 | 71,3 | 4,04 | 9 | | 2,5 | 0,50 | ---- |
| 3,15 | 70,6 | 4,00 | 10 | | 1 | 1 | ---- |
| 4,00 | 69,9 | 3,96 | 10 | | | | ---- |
| 5,00 | 70,7 | 4,01 | 10 | | | | ---- |
| 6,30 | 71,3 | 4,04 | 10 | | | | ---- |
| 8,00 | 76,7 | 4,35 | 11 | | | | ---- |
| 10,00 | 79,7 | 4,52 | 11 | | | | ---- |
| 12,50 | 86,2 | 4,88 | 12 | 2 | | | ---- |
| 16,00 | 85,1 | 4,82 | 13 | 2 | | | ---- |
| 20,00 | 96,2 | 5,45 | 13,5 | 2 | | | ---- |
| 25,00 | 100,7 | 5,71 | 14,5 | 2 | | | ---- |
| 31,50 | 100 | 5,67 | 15 | 3 | | | ---- |
| 40,00 | 100,5 | 5,69 | 15 | 3 | | | ---- |
| 50,00 | 109,9 | 6,23 | 15 | 3 | | | ---- |
| 63,00 | 107,2 | 6,07 | 15 | 3 | | | ---- |
| 80,00 | 110,5 | 6,26 | 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 (R25-abitazione), di una autobetoniera a 4 assi a pieno carico (circa 11 metri cubi di calcestruzzo), per un peso complessivo di circa 40 tonnellate.

Nel caso specifico si prescrive l'utilizzo, per la realizzazione della viabilità di servizio del tratto stradale prossimo al ricettore R25, di finitura con spessore non inferiore a 15 cm in sabbia che deve essere mantenuta satura di acqua durante il passaggio di automezzi, questo permette di abbassare la velocità di propagazione dell'onda trasversale e utilizzare un coefficiente α pari a 0,09.

Pertanto, i valori di studio:

| PARAMETRO | VALORE | U.M. |
|-----------|--------|-------|
| PSR | 1 | Adim. |
| V | 20 | Km/h |
| Wg | 40 | Ton. |
| α | 0,09 | Adim. |

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

A questo punto, utilizzando la relazione

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

(dove $L(d_o) = L_o$), con $d = 8$ m, si ricava:

$L(d) = 75,59$ dB

Questo è il livello di vibrazione presente nel suolo al piede dell'edificio ricettore R25, 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, $L(d) = 75,59$ 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 e prescrizioni descritte nei paragrafi precedenti sui ricettori maggiormente esposti durante le fasi più impattanti delle lavorazioni di cantiere, è sempre risultato 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).

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