



Engineering & Construction



GRE CODE

GRE.EEC.K.99.IT.W.09317.05.028.00

PAGE

1 di/of 39

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

INTEGRALE RICOSTRUZIONE DELL' IMPIANTO EOLICO "GANGI", UBICATO NEL COMUNE DI GANGI (PA)

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione studio vibrazionale

File: GRE.EEC.K.99.IT.W.09317.05.028.00- Relazione studio vibrazionale.

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
00	06/12/2023	Prima emissione (Recepimento integrazioni MASE (richiesta 5.3))	L. Magni D.Irto	M. Sergenti	M. Sergenti

GRE VALIDATION

	<i>F. Lenci</i>	<i>L. Iacifano</i>
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT Gangi	GRE CODE																		
	GROUP	FUNCTION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT			SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION							
	GRE	EEC	K	9	9	I	T	W	0	9	3	1	7	0	5	0	2	8	0

CLASSIFICATION	PUBLIC	UTILIZATION SCOPE	BASIC DESIGN
----------------	---------------	-------------------	---------------------

This document is property of Enel Green Power Italia s.r.l. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green Power Italia s.r.l.

INDEX

1. INTRODUZIONE	3
2. CONTENUTI DELLA RELAZIONE.....	3
3. RIFERIMENTI NORMATIVI	4
3.1. La norma UNI 9614:2017.....	5
4. DEFINIZIONI TECNICHE.....	10
5. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	12
5.1. Stato di fatto	12
5.2. Stato di progetto.....	13
5.3. I Ricettori.....	14
6. ANALISI DELLE PRINCIPALI SORGENTI VIBRAZIONALI	16
6.1. Descrizione del cantiere di progetto	16
6.2. Le fasi del cantiere	18
6.3. Mezzi di cantiere	20
6.4. Viabilità di cantiere.....	23
7. MODELLO DI PROPOGAZIONE.....	24
7.1. Realizzazione del modello matematico	24
7.2. Creazione dell'orografia del terreno	25
7.3. Il modello di propagazione nel terreno delle onde vibrazionali	26
7.4. La propagazione delle vibrazioni negli edifici	27
7.5. Accoppiamento terreno-edificio	30
8. MISURE DI VIBRAZIONE RESIDUA (ANTE OPERAM).....	32
9. PREVISIONE DEI LIVELLI DI VIBRAZIONI NEL TERRITORIO CIRCOSTANTE	34
10. CONCLUSIONI.....	37
11. APPENDICE A - LA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	38
ALLEGATO 01 - MISURE DI VIBRAZIONE RESIDUA	
ALLEGATO 02 - CERTIFICATI DI TARATURA DEGLI STRUMENTI	
ALLEGATO 03 - MAPPE DI PROPAGAZIONE VIBRAZIONALE	

1. INTRODUZIONE

Stantec S.p.A., in qualità di Consulente Tecnico, è stata incaricata da Enel Green Power Italia Srl ("EGP Italia") di redigere il progetto definitivo per il potenziamento dell'esistente impianto eolico ubicato nel Comune di Gangi (PA), costituito da 32 turbine eoliche (WTG), di potenza 0,85 MW ciascuna, per un totale di 27,2 MW installati.

L'energia prodotta dagli aerogeneratori dell'impianto viene convogliata tramite cavidotto interrato MT, alla Sottostazione di trasformazione MT/AT ubicata in adiacenza della Stazione E-distribuzione "Monte Zimmara", collegata alla linea 150 kV "Petralia - Nicosia".

La soluzione di connessione che verrà adottata per il nuovo impianto in progetto ricalcherà l'esistente, prevedendo dunque una connessione in AT alla Stazione elettrica di AT Monte Zimmara, riadeguando l'infrastruttura esistente alla nuova taglia dell'impianto.

L'intervento in progetto prevede l'integrale ricostruzione dell'impianto, tramite l'installazione di nuove turbine eoliche, in linea con gli standard più alti presenti sul mercato, che consente di ridurre il numero di macchine da 32 a 7, diminuendo in questo modo l'impatto visivo, in particolare il cosiddetto "effetto selva". Inoltre, la maggior efficienza dei nuovi aerogeneratori comporta un aumento considerevole dell'energia specifica prodotta, riducendo in maniera proporzionale la quantità di CO2 equivalente.

2. CONTENUTI DELLA RELAZIONE

In relazione al repowering dell'esistente impianto eolico ubicato nel Comune di Gangi (PA), costituito da 32 turbine eoliche (WTG), di potenza 0,85 MW ciascuna, per un totale di 27,2 MW installati, la scrivente società è stata incaricata della realizzazione della valutazione di impatto vibrazionale. La presente relazione è da considerarsi in risposta alle osservazioni avanzate dal MASE (richiesta 5.3).

Scopo del presente documento è la valutazione degli impatti che saranno indotti sulla componente vibrazione nelle aree interessate dalla realizzazione del progetto.

Le emissioni vibrazionali sono determinate principalmente dalle fasi di cantiere previste per la posa del parco eolico in oggetto e le opere collegate ad esso.

Tali operazioni richiederanno l'impiego di mezzi pesanti di impatto rilevante che lavoreranno, in modo transitorio, con scavi a cielo aperto lungo quasi tutta l'estensione dell'opera.

Nello studio saranno caratterizzate le principali fasi di cantiere per la realizzazione di tali opere e stimati gli impatti associati alla fase più critica.

Al termine delle attività per la realizzazione dell'opera, il parco eolico non produrrà emissioni vibrazionali percepibili, pertanto il presente lo studio riguarda solamente la fase in corso d'opera del cantiere.

Lo studio è stato articolato nelle seguenti fasi:

- analisi dei riferimenti normativi;
- analisi del contesto territoriale, individuazione dei ricettori potenzialmente impattati;
- analisi della situazione vibrazionale Ante Operam;
- analisi delle principali sorgenti vibrazionali delle fasi di cantiere;
- stima degli impatti acustici con calcoli previsionali;
- verifica del rispetto dei limiti di legge.

Per quanto riguarda la valutazione dell'esposizione umana, l'indicatore ambientale delle vibrazioni, tratto dalla norma UNI 9614:2017 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo", è il valore vettoriale della massima accelerazione statistica ($a_{w,95}$), risultante dalle 3 componenti X, Y e Z delle accelerazioni pesate attraverso la curva W_m .

3. RIFERIMENTI NORMATIVI

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"

UNI 11568:2015 "Vibrazioni - Strumentazione e analisi per la misura delle vibrazioni - Strumenti di misura.

UNI ISO 5348:2021 "Mechanical vibration and shock - Mechanical mounting of accelerometers"

ISO 2631-1:1997 Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 1: General requirements

ISO 2631-2:2003 Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)

ISO 20283-5:2016 - Mechanical vibration — Measurement of vibration on ships — Part 5: Guidelines for measurement, evaluation and reporting of vibration with regard to habitability on passenger and merchant ships

ISO 8041-1:2017 Human response to vibration — Measuring instrumentation — Part 1: General purpose vibration meters

ISO 2041:2009 Mechanical vibration, shock and condition monitoring - Vocabulary

ISO 10055:1996 Mechanical vibration -- Vibration testing requirements for shipboard equipment and machinery components

ISO 19201:2013. Mechanical vibration – Methodology for selecting appropriate machinery vibration standards.

ISO 20816-1:2016 Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 1: General guidelines

ISO 20816-2:2017 Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 2: Land-based gas turbines, steam turbines and generators in excess of 40 MW, with fluid-film bearings and rated speeds of 1 500 r/min, 1 800 r/min, 3 000 r/min and 3 600 r/min

ISO 20816-3:2022 Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 3: Industrial machinery with a power rating above 15 kW and operating speeds between 120 r/min and 30 000 r/min

ISO 20816-4:2018 Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 4: Gas turbines in excess of 3 MW, with fluid-film bearings

ISO 5348:1987. Mechanical mounting of accelerometers for measuring mechanical vibration and shock

ISO 5349-1:2001. Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 1: General requirements

ISO 5349-2:2001. Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace

European Directive 89/656/EEC on the Minimum Health and Safety Requirements for the Use by Workers of Personal Protective Equipment at the Workplace

3.1. LA NORMA UNI 9614:2017

In Italia, a differenza di quanto avviene per il rumore, non esiste una legislazione specifica sulla problematica vibrazioni, per cui è necessario rifarsi a normative tecniche, siano queste italiane o internazionali.

La recente UNI 9614 del 2017 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo" prende spunto dalla norma internazionale ISO 2631-2:2003 e dalla norma norvegese NS 8176.E.

La norma definisce il metodo di misurazione delle vibrazioni immesse negli edifici ad opera di sorgenti interne od esterne agli edifici e i criteri di valutazione del disturbo delle persone all'interno degli edifici stessi.

La norma si applica a tutti i fenomeni che possono dare origine a vibrazioni negli edifici; a titolo esemplificativo e non esaustivo: traffico su gomma e su rotaia, attività industriali e funzionamento di macchinari, attività stradali e di cantiere di varia natura, esplosioni e scoppi, attività umane di qualsiasi natura.

La norma non si applica:

- alle vibrazioni derivanti da eventi sismici e affini;
- alle valutazioni di possibili danni strutturali, architettonici o cosmetici negli edifici, all'esame di problematiche di igiene del lavoro, né infine alle valutazioni di danni a macchinari o strumentazione sensibile;
- alle vibrazioni con frequenza minore del limite di banda inferiore al terzo d'ottava con centro a 1 Hz

Per quanto attiene le situazioni esistenti o già autorizzate la presente norma, i valori limite e i metodi in essa indicati non si applicano per i casi in cui la data di pubblicazione della norma è posteriore a:

l'inizio dell'attività della sorgente delle vibrazioni;

l'autorizzazione formale alla costruzione (per esempio: permesso di costruire dichiarazione di inizio attività, ecc.) di sorgenti di vibrazioni o manufatti che partecipano ai fenomeni;

la data di modifiche di destinazione d'uso di edifici o di opere dove ha sede la generazione delle vibrazioni

Variazioni a situazioni esistenti attraverso modifiche sostanziali ai manufatti o alle caratteristiche delle sorgenti delle vibrazioni, per quanto di interesse nella generazione e propagazione della vibrazione, se avvenute dopo la data di pubblicazione della presente norma rientrano nel campo di applicazione.

Misurazioni

La misurazione deve essere eseguita soltanto dopo un attento esame di tutti gli aspetti rilevanti ai fini di una chiara descrizione del fenomeno sotto osservazione in particolare: la tipologia della sorgente, la tipologia dell'edificio con le posizioni normalmente occupate dalle persone e i tempi di permanenza nelle stesse. In base a tali informazioni sarà possibile predisporre un piano delle secondo quanto indicato nei punti successivi.

Grandezza da misurare e direzioni di misura

La grandezza cinematica scelta per la valutazione del disturbo è l'accelerazione assoluta; si deve quindi ricorrere alla misurazione diretta e, quindi, all'impegno dei sensori accelerometrici; non è ammesso l'impiego di velocimetri o altri tipi di sensori e trasduttori.

Le vibrazioni devono essere misurate simultaneamente secondo 3 direzioni ortogonali e il sistema di assi ortogonali deve essere riferito alla struttura dell'edificio, oppure al corpo umano.

Il sistema di riferimento deve essere indicato nel rapporto di misurazione con la motivazione della scelta.

Preferibilmente, per assodata convenzione si utilizzerà l'asse Z per la direzione verticale.

Va comunque sottolineato l'orientamento del sistema di riferimento non influisce sul risultato delle elaborazioni successive, necessarie per la valutazione del disturbo, che fanno riferimento alla combinazione delle elaborazioni delle accelerazioni assiali: è tuttavia suggerito il mantenimento della traccia delle singole componenti assiali dell'accelerazione misurata, per una miglior comprensione dei fenomeni meccanici che generano la vibrazione.

Postazione di misurazione

Le postazioni di misura devono essere scelte sulla base delle reali condizioni di utilizzo degli ambienti da parte degli abitanti.

Sono quindi esclusi dalle valutazioni seguenti ambienti in quanto considerati ai fini dell'applicazione della presente norma non abitati ripostigli servizi igienici cantine solai corridoio eccetera sono inoltre da escludere zone esterne dell'abitazione quali Giardini video di accesso balconi e terrazzi scale, pianerottoli e simili.

Sono altresì da escludere dalle indagini ambienti privi di requisiti di abitabilità previsti dalla legislazione vigente indipendentemente dal loro reale uso.

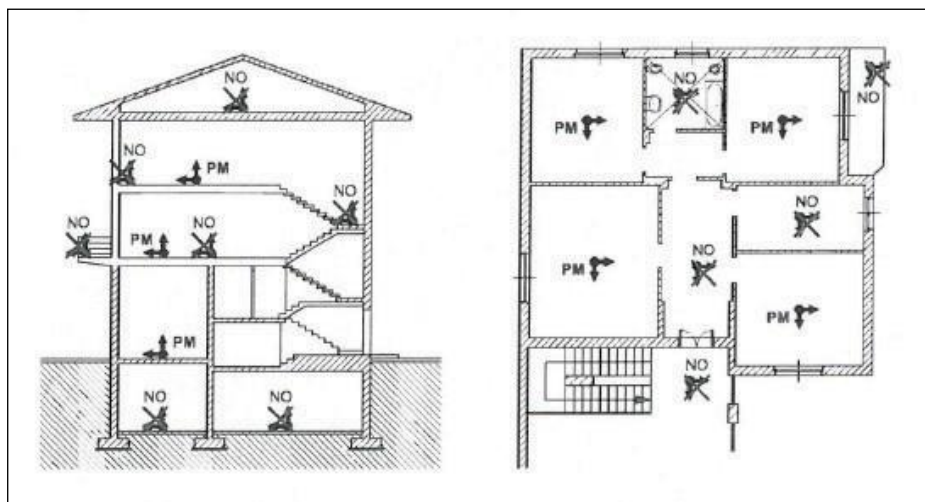
Poiché il fine della misura e la valutazione del disturbo alla persona le misurazioni devono essere effettuate in generale sui pavimenti o in subordine su elementi strutturali che possono essere:

- in diretto contatto con il corpo umano durante l'attività normale all'interno dell'ambiente
- superficie di appoggio per mobili utilizzati per il riposo

Sono invece da escludere soffitti controsoffitti mensole, vetrate, suppellettili, mobili, letti, ecc.

Devono inoltre essere evitate misurazioni su superfici che manifestano scarsa aderenza con le strutture, per esempio, piastrelle poco aderenti al massetto simile superfici morbide e cedevoli tappeti moquette o per le quali l'ampiezza delle vibrazioni può derivare anche da cattivo stato di manutenzione.

Le vibrazioni devono essere misurate nella posizione all'interno dell'ambiente di misura dove si osserva il più elevato dei valori efficaci dell'accelerazione ponderata $a_w(t)$ ma lontano dai punti singolari.



Indicazione dei punti di misura ideali

Durata della misurazione e numero di eventi

La durata complessiva delle misurazioni è legata al numero di eventi del fenomeno in esame necessario assicurare una ragionevole accuratezza statistica, tenendo conto non solo della variabilità della sorgente ma anche dell'ambiente di misura.

Se l'esposizione completa deriva da fenomeni di tipo diverso presenti in diversi periodi,

occorrerà all'analisi separata delle vibrazioni in ciascuno di questi periodi.

L'appendice A fornisce i criteri con cui individuare gli eventi considerare per il calcolo della massima accelerazione statistica aw_{95} per i casi di maggiore interesse: è però fondamentale lo sperimentatore verifichi che le condizioni di misurazione e gli eventi siano effettivamente ed esaurientemente rappresentative della situazione in esame.

Misurazioni delle vibrazioni immesse e residue

Per il calcolo delle vibrazioni associate alla sorgente ritenuta fonte di disturbo è necessario procedere alla misurazione delle vibrazioni immesse e delle vibrazioni residuo.

La vibrazione residua deve essere misurata nello stesso punto scelto per la misura delle vibrazioni immesse e con le medesime modalità e criteri. Negli ambienti destinati ad uso lavorativo le vibrazioni connesse con l'attività produttiva stessa (per esempio funzionamento di macchinari, movimentazione di merci ecc) o agli impianti al servizio di tali attività sono da considerare come vibrazioni residue. Per sorgenti continue ricadenti definizione delle attività essenziali di pubblico servizio, la misurazione delle Vibrazioni residue non è, generalmente, un'opzione attuabile. Per queste sorgenti si possono quindi misurare, in generale, le sole vibrazioni immesse.

Tuttavia per questo tipo di Sorgenti quando possibile, è opportuno procedere a misurazioni periodi di manutenzione di regime ridotto allo scopo di ottenere una stima delle vibrazioni residue.

Per le sorgenti continue legate ad attività non interrompibili ma non ricadenti nelle attività essenziali, la misura della vibrazione residua è un'opzione attuabile.

Pertanto si deve procedere azioni delle vibrazioni residue attraverso disattivazione programmata delle sorgenti specifiche, previa valutazione cautelativa della significatività delle vibrazioni residue stesse e del loro peso posto alle vibrazioni immesse.

Per sorgenti semi-continue, intermittenti o temporanee, la misurazione delle vibrazioni residuo è per principio possibile e quindi da effettuare.

Strumentazione

La valutazione del disturbo può essere effettuata con l'impiego di strumentazione dedicata che, oltre all'acquisizione e registrazione del segnale accelerometrico, esegue l'elaborazione in linea dei dati.

In alternativa è possibile far ricorso a sistemi acquisizione dati che memorizzano la storia temporale dell'accelerazione in forma digitale e di un software specifico per l'elaborazione fuori linea.

Metodo di calcolo

Il metodo di calcolo illustrato nel seguito è da considerarsi valido per tutti i tipi di sorgente e adeguato a coprire sia i fenomeni di media e breve durata sia fenomeni impulsivi caratterizzati da un fattore di cresta molto elevato.

L'elaborazione del segnale corrispondente ad ogni singolo evento comporta una serie di passaggi da eseguirsi nella sequenza indicata.

L'accelerazione misurata sui tre assi $a_x(t)$, $a_y(t)$, $a_z(t)$ deve essere filtrata con un filtro passa banda (band-limiting) con le caratteristiche riportate nella ISO 2631-2 e UNI EN ISO 8041-1:2017 punto 5.6.2, e successivamente con il filtro di ponderazione W_m . Si ottiene per l' j -esimo asse, l'accelerazione ponderata $a_{w,j}(t)$.

Per l'intera storia temporale del segnale ponderato viene calcolato l'andamento nel tempo del valore efficace dell'accelerazione ponderata, per ogni singolo asse cartesiano $[a_{w,rms,j}(t)]$

$$a_{w,rms,j}(t) = \frac{1}{\tau} \sqrt{\int_{t-\tau}^t a_{w,j}^2(\epsilon) d\epsilon} \quad (1)$$

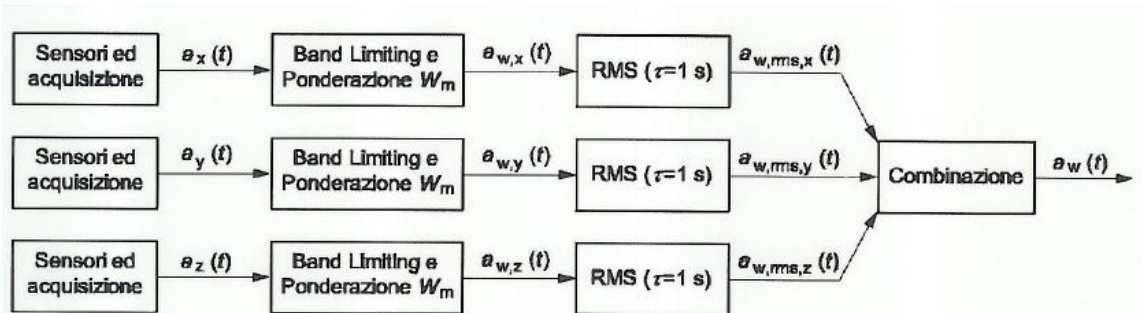
Dove j indica l'asse di misura (x , y o z).

Il tempo di integrazione τ è pari a 1 secondo.

Il calcolo dell'accelerazione totale ponderata $a_w(t)$ sarà ottenuta dalla somma vettoriale dei valori sui tre assi x, y e z, attraverso la relazione

$$a_w(t) = \sqrt{a_{w,rms,x}^2(t) + a_{w,rms,y}^2(t) + a_{w,rms,z}^2(t)} \quad (2)$$

Secondo lo schema riportato qui sotto



Di questo valore variabile nel tempo, verrà considerato il valore massimo dell'i-esimo evento.

$$a_{w,max,i} = \max(a_w(t)) \quad (3)$$

La massima accelerazione statistica $a_{w,95}$ sarà ottenibile dalla relazione

$$a_{w,95} = \overline{a_{w,max}} + 1,8 \cdot \sigma \quad (4)$$

Dove

$\overline{a_{w,max}}$ è la media dei valori massimi degli eventi considerati

σ è lo scarto tipo dei valori massimi degli eventi considerati.

In questo modo è quindi calcolabile il valore di accelerazione vibrazionale immessa nell'ambiente abitativo, ma il valore associato alla sorgente viene ricavato come differenza quadratica rispetto alle vibrazioni residue presenti.

Le vibrazioni residue andranno misurate con lo stesso principio seguito per la misura delle vibrazioni immesse.

$$V_{sor} = \sqrt{V_{imm}^2 - V_{res}^2} \quad (5)$$

Per questo motivo si è resa necessaria una campagna di misure Ante Operam al fine di determinare i valori delle vibrazioni residue sul territorio.

La valutazione del disturbo viene a differenziarsi in base alla destinazione d'uso degli edifici per cui si esegue tale valutazione.

Nel nostro caso non essendovi ricettori sensibili (come ospedali o case di riposo), i valori limite saranno quelli per gli ambienti ad uso abitativo limitatamente al periodo diurno e quindi un valore di $V_{sor} = 7,2 \text{ mm/s}^2$.

4. DEFINIZIONI TECNICHE

- Accelerazione; $a(t)$: Valore istantaneo del modulo del vettore accelerazione in un punto, calcolato come somma vettoriale delle sue tre componenti cartesiane.
- Accelerazione assiale; $a_x(t)$, $a_y(t)$, $a_z(t)$: Valore istantaneo di ciascuna delle tre componenti cartesiane del vettore accelerazione in un punto.
- Accelerazione assiale "band limited"; $a_{bl,j}(t)$: Valore istantaneo dell'accelerazione ottenuta filtrando l'accelerazione $a_j(t)$ con un filtro passabanda.
- Accelerazione ponderata assiale $a_{w,j}(t)$: Valore istantaneo dell'accelerazione ponderata in frequenza nel dominio del tempo per il j-esimo asse, ottenuta utilizzando la curva W_m secondo quanto previsto dalla norma UNI EN ISO 8041-1.
- Accelerazione ponderata assiale efficace; $a_{w,rms}(t)$: Valore efficace valutato all'istante t di $a_{w,j}(t)$, calcolato in conformità alla UNI EN ISO 8041-1 :2017.
- Accelerazione ponderata totale efficace; $a_w(t)$: Valore efficace totale valutato all'istante t sui tre assi.
- Ambiente di misura: Ambiente significativo in termini di permanenza del soggetto esposto delle attività svolte o ambiente nel quale il soggetto esposto lamenta il maggior disturbo.
- Disturbo: Sensazione personale legata ai livelli di vibrazioni che determinano irrequietezza, fastidio, ansia, irritazione.
- Edificio: Costruzione utilizzata come abitazione o per altre attività umane, inclusi uffici, fabbriche, ospedali, scuole, luoghi ricreativi e di culto, spazi commerciali.
- Evento: Elemento minimo del fenomeno vibratorio oggetto di misura, al quale viene associata, come descrittore della vibrazione, la massima accelerazione ponderata.
- Giornate festive: Giorni di domenica e giornate festive ufficialmente riconosciute dalla legislazione e regolamentazione nazionale e locale.
- Massima accelerazione ponderata; $a_{w,max}$: Il più elevato dei valori efficaci dell'accelerazione ponderata $a_w(t)$ misurati durante uno specifico evento.
- Massima accelerazione statistica; $a_{w,95}$: stima del 95° percentile della distribuzione cumulata di probabilità della massima accelerazione ponderata $a_{w,max}$, misurata sui singoli eventi.
- Periodo di attività: periodo di permanenza dei fenomeni vibratorii, definito dall'orario di inizio e dall'orario di fine.
- Periodo diurno: fascia oraria fra le ore 06.00 e le ore 22.00.
- Periodo notturno: fascia oraria fra le ore 22.00 e le ore 06.00.
- Punti singolari: punti dell'ambiente di misura caratterizzati da condizioni strutturali, di vincolo e di modi di vibrare che li rendano unici rispetto al resto dell'ambiente e quindi non rappresentativi della situazione generale.
- Valutazione del disturbo: Insieme delle attività di misurazione delle vibrazioni, di calcolo dei descrittori del disturbo e di confronto con i limiti di riferimento suggeriti.
- Vibrazioni della sorgente, V_{sor} : Vibrazioni immesse nell'edificio dalla specifica sorgente oggetto di indagine. Se la sorgente è di tipo stazionario, sono caratterizzate dal valore dell'accelerazione $a_{w,95}$.
- Vibrazioni residue, V_{res} : Vibrazioni presenti nell'edificio in assenza della specifica sorgente oggetto di indagine. Sono caratterizzate dal valore dell'accelerazione $a_{w,95}$.
- Vibrazioni immesse, V_{imm} : Vibrazioni che vengono immesse nell'edificio da tutte le sorgenti attive di qualsiasi origine (V_{sor} , e V_{res}). Sono caratterizzate dal valore dell'accelerazione $a_{w,95}$.



Green Power

Engineering & Construction



GRE CODE

GRE.EEC.K.99.IT.W.09317.05.028.00

PAGE

11 di/of 39

5. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

5.1. Stato di fatto

Allo stato attuale, il sito è occupato da 32 aerogeneratori della stessa tipologia (Gamesa 52), disposti nel seguente modo, con altezza mozzo di 50m:

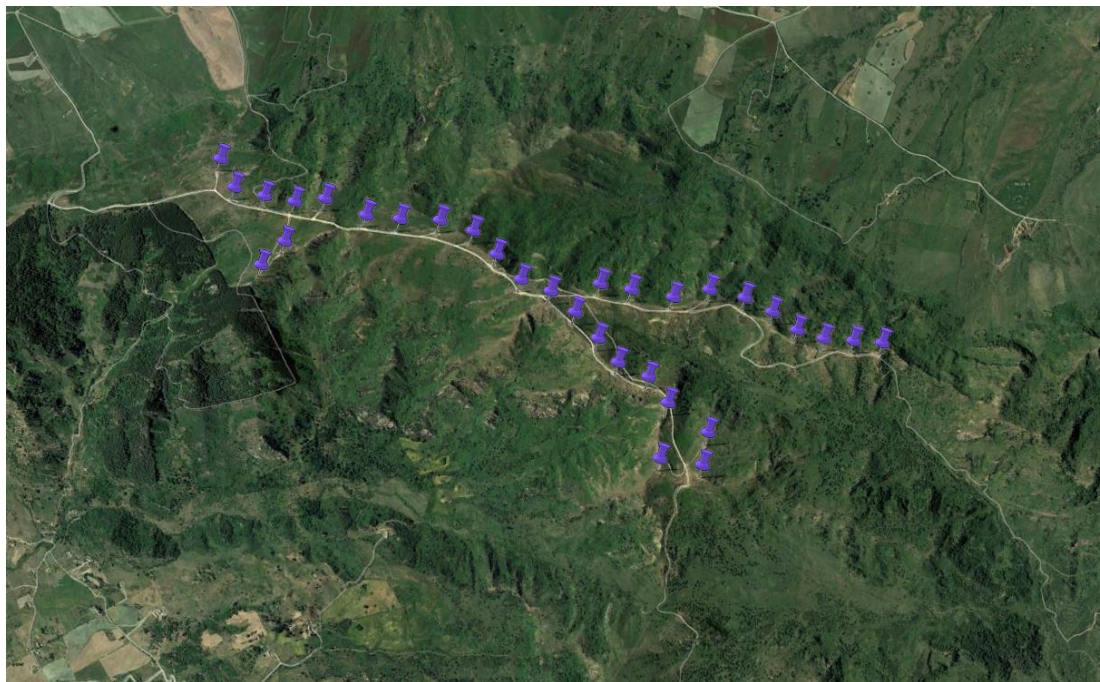


Figura 5-1: Configurazione stato di fatto su ortofoto

5.2. Stato di progetto

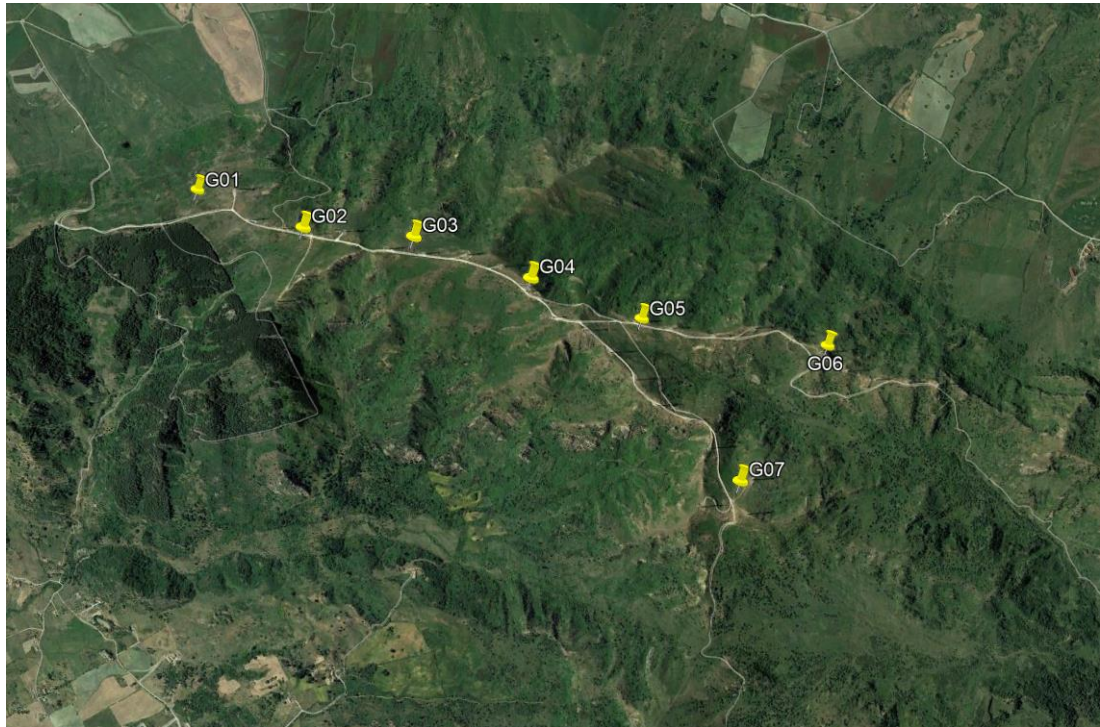


Figura 5-2: Configurazione proposta su ortofoto

Si riporta invece in formato tabellare un dettaglio sulla localizzazione delle WTG di nuova costruzione, in coordinate WGS84 UTM fuso 33 N:

Tabella 1: Coordinate aerogeneratori

ID	Comune	Est [m]	Nord [m]	Altitudine [m s.l.m.]
G01	Gangi	433594,19	4179907,20	1199
G02	Gangi	434083,00	4179721,00	1234
G03	Gangi	434593,00	4179671,00	1279
G04	Gangi	435122,00	4179478,00	1302
G05	Gangi	435621,29	4179298,27	1300
G06	Gangi	436466,97	4179171,98	1248
G07	Gangi	436058,00	4178560,00	1301

5.3. I Ricettori

Per la presente valutazione sono stati considerati i ricettori potenzialmente impattati in fase di cantiere e più prossimi alle aree di cantiere stesse. I ricettori presenti nelle zone limitrofe allo stabilimento sono quelli rappresentati nella figura sottostante.

La scelta dei ricettori è stata effettuata considerando:

- Prossimità agli accessi stradali: I ricettori selezionati sono nelle vicinanze agli accessi stradali principali utilizzati per il trasporto dei materiali e delle attrezzature da cantiere.
- Riduzione delle emissioni: La scelta dei ricettori in prima schiera può anche essere influenzata dalla necessità di ridurre al minimo l'esposizione alle vibrazioni prodotte dai lavori di cantiere, specialmente se si tratta di aree residenziali.
- Comunicazione e coinvolgimento della comunità: Approccio strategico per facilitare la comunicazione e il coinvolgimento della comunità locale, consentendo una maggiore trasparenza e la possibilità di rispondere prontamente a eventuali preoccupazioni o richieste della comunità.
- Requisiti normativi: Le normative locali o nazionali possono richiedere la considerazione di specifici ricettori in base al tipo di progetto e all'area geografica, garantendo così la conformità legale.
- Pianificazione del traffico e della logistica: criterio basato sulla pianificazione del traffico e della logistica per garantire un flusso efficiente dei veicoli e dei materiali da e verso il cantiere.

Nell'area oggetto di indagine sono presenti i seguenti ricettori abitativi che possono essere coinvolti dalle componenti vibrazionali delle fasi di cantiere.

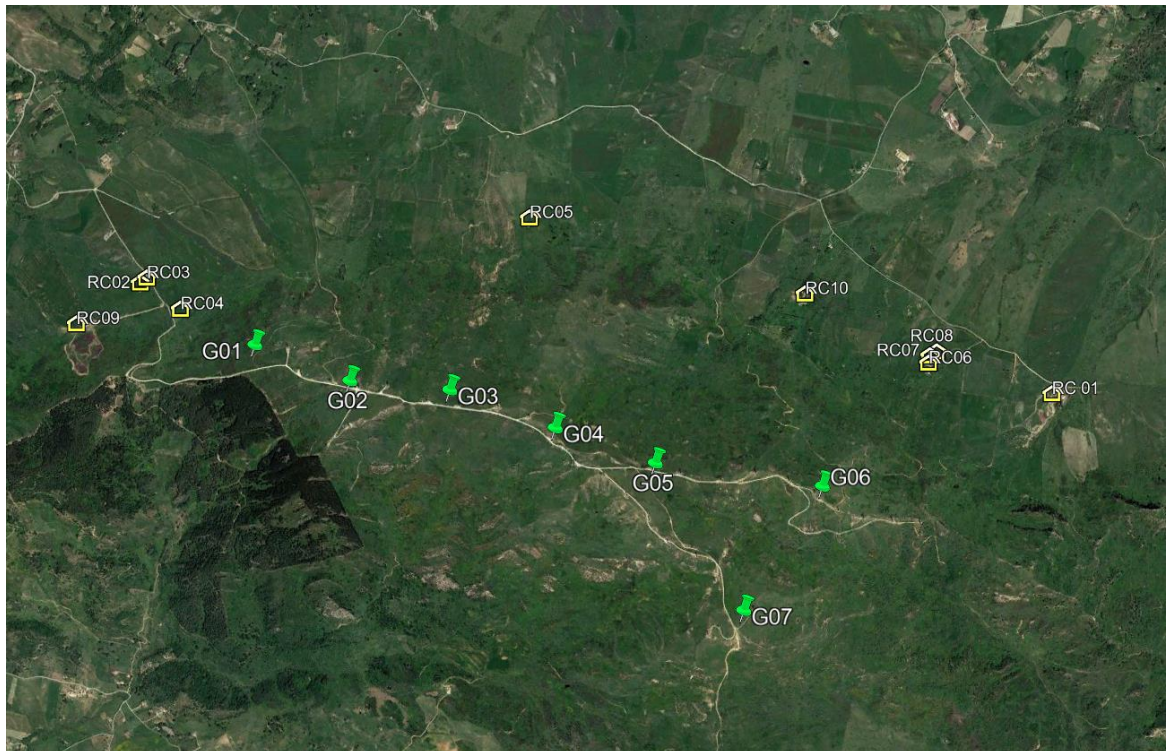



Figura 5-3: Ricettori in prossimità delle turbine eoliche dell'impianto in progetto

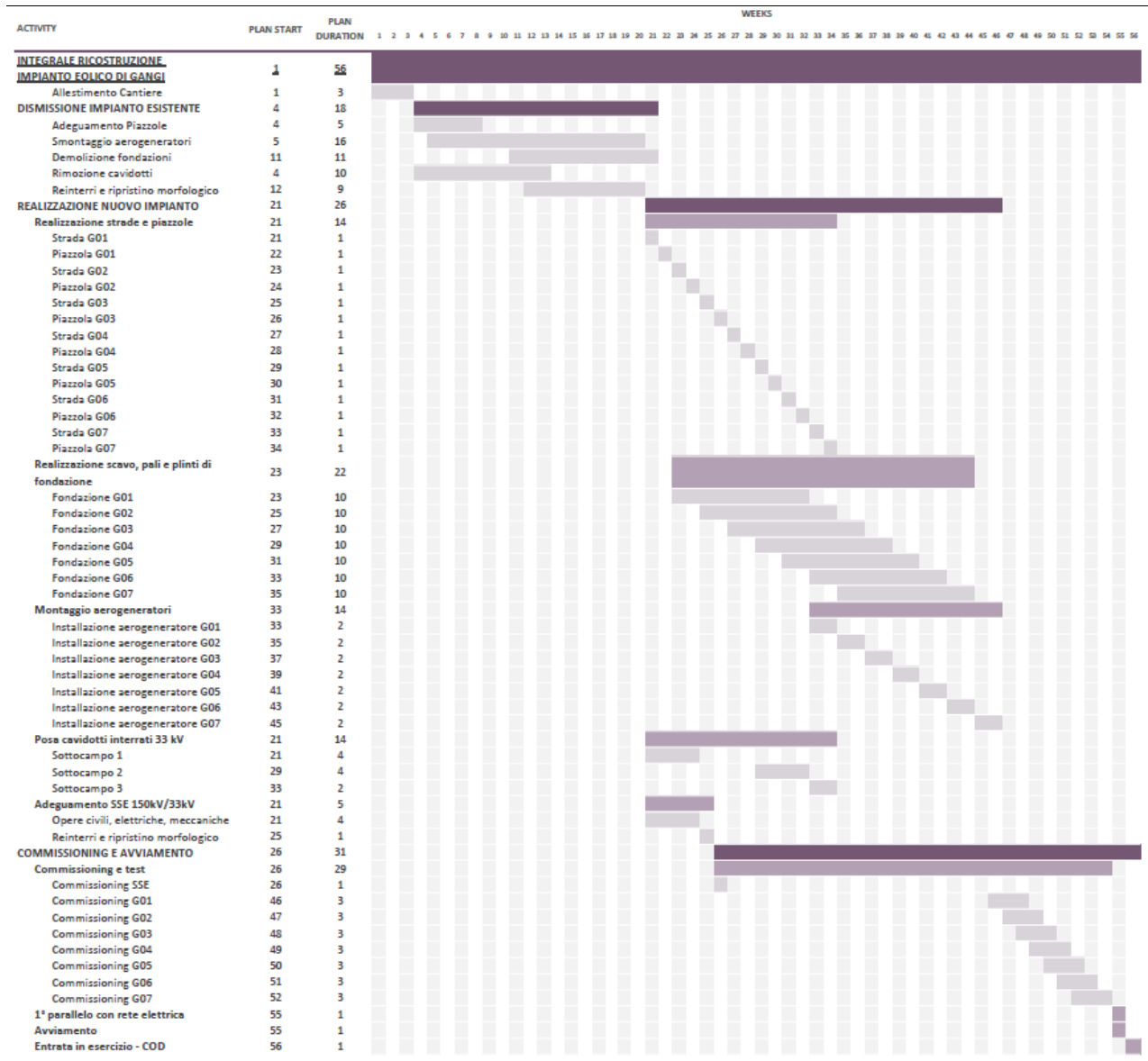
Di seguito è possibile osservare i cluster di edifici vicino ai quali sono state condotte le misure e i ricettori utilizzati nel modello :

Ricettore	Foto	Coordinate X	Coordinate Y	Ricettori nelle vicinanze
VIB_01		37.766941	14.239057	RC02, RC03, RC04
VIB_02		37.765644	14.235672	RC09
VIB_03		37.767001	14.278321	RC10, RC05
VIB_04		37.763672	14.285657	RC06, RC07, RC08
VIB_05		37.761237	14.292319	RC01
VIB_06		37.761087	14.241531	-

6. ANALISI DELLE PRINCIPALI SORGENTI VIBRAZIONALI

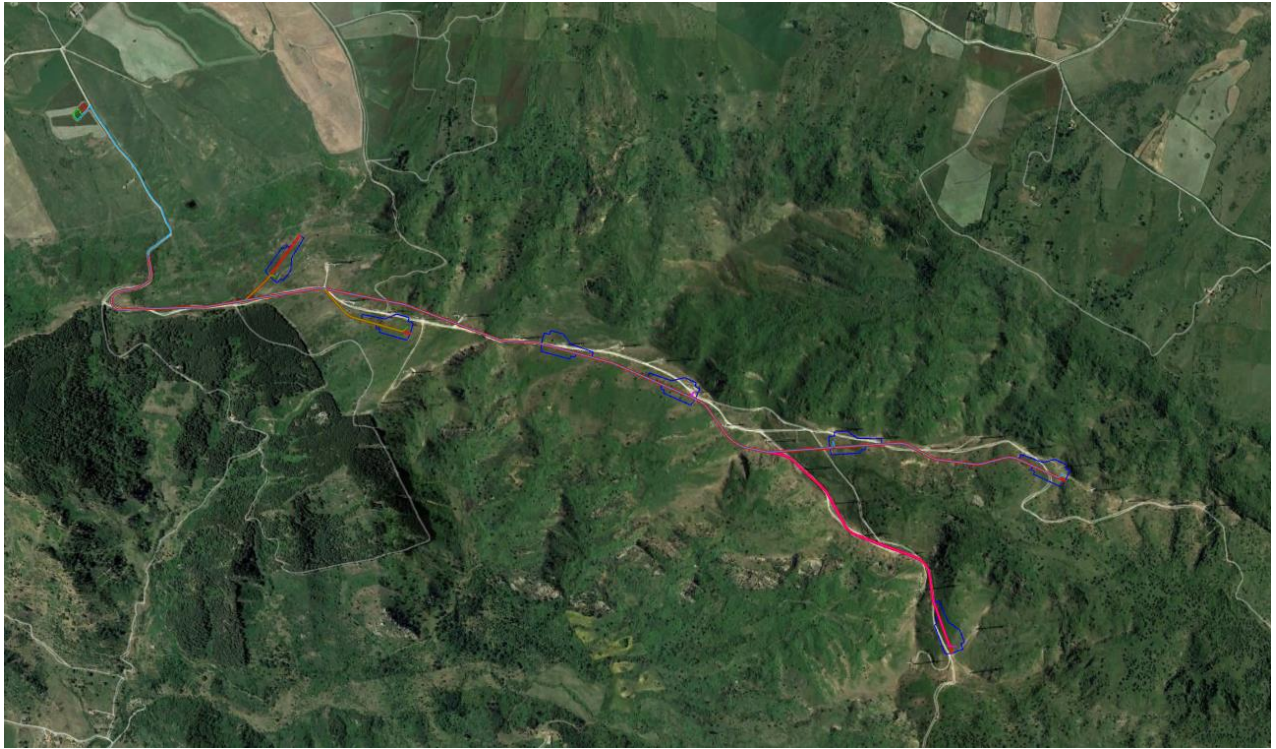
6.1. Descrizione del cantiere di progetto

La realizzazione del progetto impiegherà la costituzione di un cantiere per lo smontaggio e quindi l'installazione delle nuove pale eoliche.
Le attività di cantiere avranno una durata di circa 56 settimane, come descritto nel cronoprogramma qui riportato:



Cronoprogramma attività di cantiere

In aggiunta alle fasi di cantiere riportate nel cronoprogramma soprastante sarà valutato anche l'impatto acustico per la fase di dismissione a fine vita dell'impianto.



Inquadramento delle attività di cantiere (zona principale)

6.2. Le fasi del cantiere

Come descritto nel capitolo precedente il cantiere avrà una durata stimata pari a circa 56 settimane.

Le attività possono essere suddivise in due macrofasi:

- Fase 1: Dismissione impianto esistente
- Fase 2: Realizzazione nuovo impianto

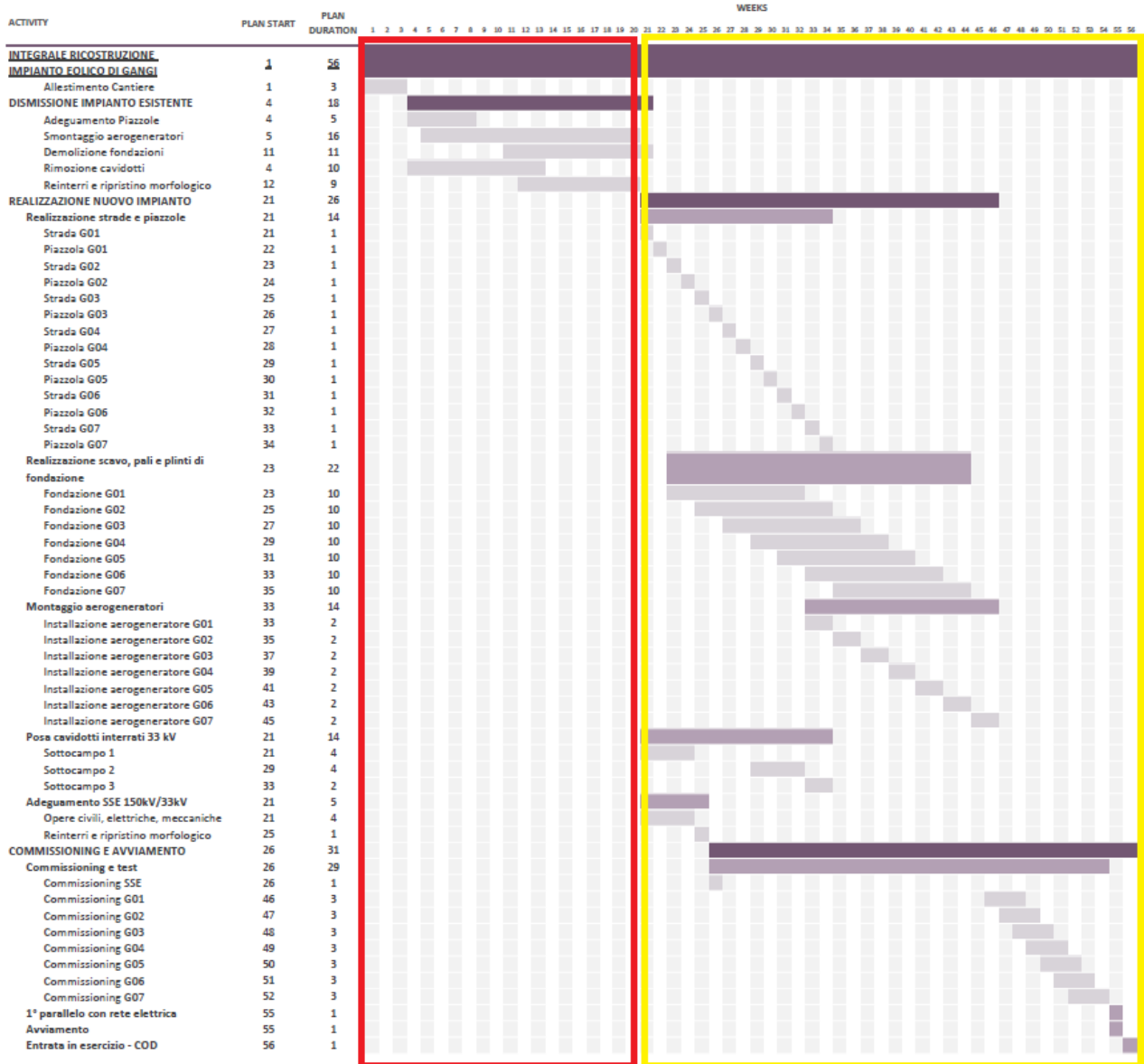
La Fase 1 comprende le seguenti operazioni:

- Allestimento cantiere
- Adeguamento viabilità di cantiere
- Smontaggio aerogeneratori
- Demolizione fondazioni
- Rimozioni cavidotti
- Reinterri e ripristino morfologico

La Fase 2 comprende le seguenti operazioni:

- Realizzazione piazzole e strade
- Realizzazione scavo, pali e plinti di fondazione
- Montaggio aerogeneratori
- Posa cavidotti interrati 33 kV
- Adeguamento SSE10/33 Kv
- Avvio di tutti gli aerogeneratori

In aggiunta alle fasi di cantiere riportate nella parte soprastante sarà valutato anche l'impatto acustico per la fase di dismissione a fine vita dell'impianto. Le attività tipiche di questa fase saranno assimilabili a quelle della Fase 1.



Individuazione fasi di cantiere

6.3. Mezzi di cantiere

La fase realizzativa del progetto richiederà l'utilizzo complessivo stimato delle sottoelencate macchine di trasporto ed operatrici, da impiegarsi nel periodo dei lavori di costruzione in funzione della programmazione delle attività.

Opera	Lavorazione	Mezzo
Fondazione	Scavo	Escavatore cingolato
		Autocarro
	Perforazione pali	Trivella perforazione pali
	Trasporto e installazione ferri	Autocarro
	Posa calcestruzzo pali	Betoniera (2)
		Pompa
	Posa magrone	Betoniera (2)
		Pompa
	Trasporto e installazione ferri	Autocarro
Posa calcestruzzo plinto	Pompa	
	Autocarro	
Reinterro	Escavatore cingolato	
Strade e piazzole	Scavo / riporto	Pala meccanica cingolata
		Bobcat
		Rullo ferro-gomma
		Autocarro
Cavidotti	Scavo a sezione obbligat	Escavatore cingolato
Sottostazione elettrica	Scavo / riporto	Pala meccanica cingolata
		Bobcat
		Rullo ferro-gomma
		Autocarro
	Posa calcestruzzo / platea	Betoniera
		Pompa
Trasporto componenti	Automezzo speciale	
	Gru	
Montaggio	Gru	
Montaggio aerogeneratori	Trasporto componenti	Automezzo speciale (4)
		Gru
	Montaggio	Gru
Adegamenti strade /piazze	Scavo / riporto	Pala meccanica cingolata
		Bobcat
		Autocarro
Smontaggio aerogeneratori	Smontaggio	Gru
	Trasporto componenti	Automezzo speciale
		Gru
Rimozione fondazioni	Scavo	Escavatore cingolato
		Autocarro
	Demolizione plinto	Martello demolitore
Trasporto detriti	Autocarro	

	Reinterro	Escavatore cingolato
Rimozione cavidotti	Scavo a sezione obbligata	Escavatore cingolato
Ripristini ambientali / rinaturalizzazione	Scavo / riporto	Pala meccanica cingolata
		Bobcat
		Rullo ferro-gomma
		Autocarro

Tabella6-1: Elenco dei mezzi e strumenti utilizzati nel cantiere

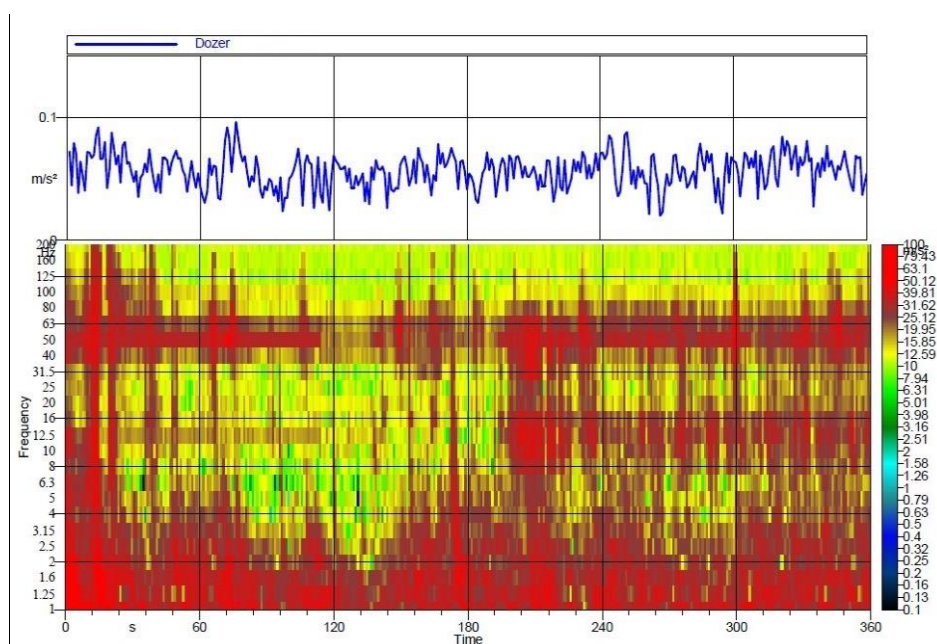
Si precisa che i mezzi elencati non saranno tutti presenti contemporaneamente in cantiere e che il loro funzionamento sarà alternato in base alle attività da svolgere di volta in volta.

La mancanza di dati specifici sulle vibrazioni prodotte dalle macchine di cantiere impiegate rappresenta una problematica significativa nell'effettuare valutazioni precise degli impatti delle attività di costruzione. Per affrontare questa situazione, è stato necessario fare affidamento su misurazioni effettuate in passato su mezzi o macchine simili.

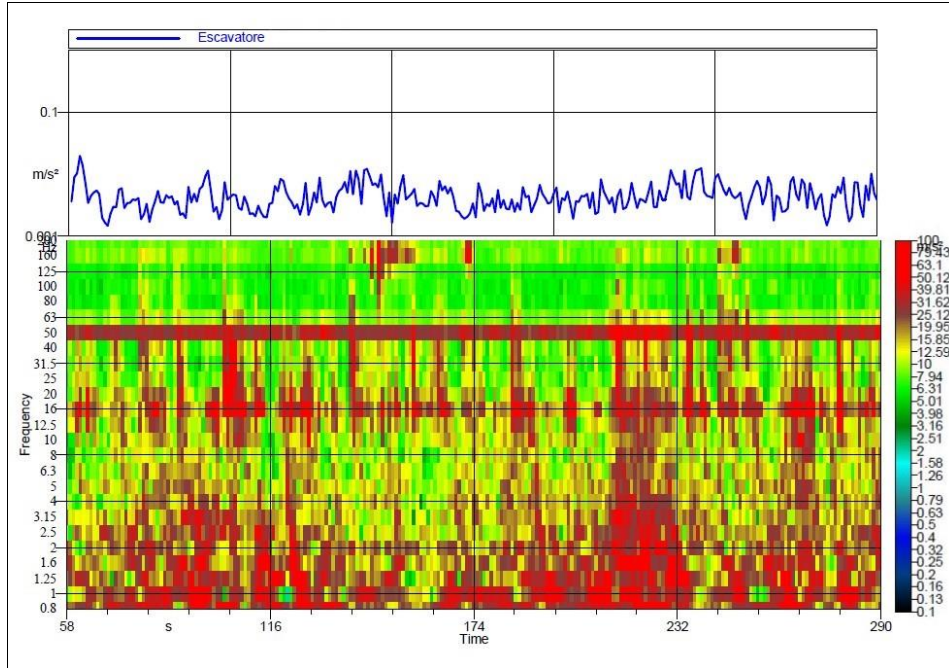
Questa pratica riflette un approccio prudente e ragionevole, in quanto l'esperienza pregressa può fornire una base solida per comprendere e stimare le vibrazioni che potrebbero essere generate dalle attrezzature del cantiere attuali. Utilizzare dati storici da macchine simili può consentire una valutazione preliminare degli impatti e delle possibili misure di mitigazione da adottare.

Nella presente valutazione sono state considerate solo le sorgenti con una certa rilevanza in termini di livelli di vibrazioni, ovvero macchinari impiegati per le operazioni di scavo e di perforazione. Il periodo di attività delle sorgenti s'intende a funzionamento parziale e ciò dipende direttamente dal tipo di lavorazione in corso, che varia in base alla pianificazione come da cronoprogramma. Le sorgenti rimanenti mostrano un livello di vibrazioni modesto, e quindi possono essere ritenute trascurabili.

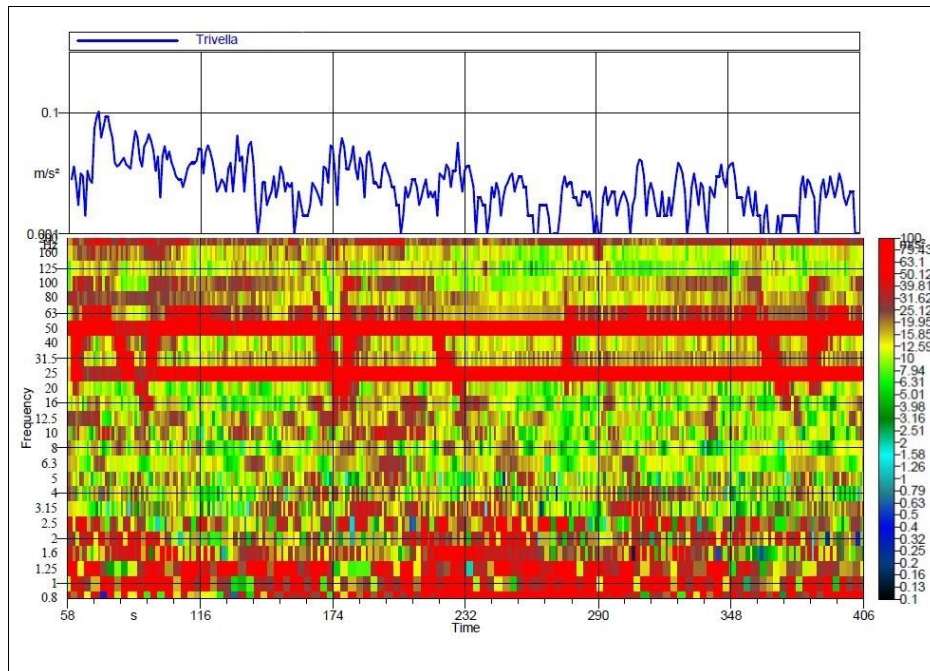
Qui di seguito si riportano le time history e gli spettrogrammi delle sorgenti più impattanti:



Vibrazione prodotta dal funzionamento di un dozer



Vibrazione prodotta dal funzionamento di un escavatore



Vibrazione prodotta dal funzionamento di una trivella

6.4. VIABILITÀ DI CANTIERE

Per quanto riguarda la gestione della viabilità all'interno del cantiere, sono stati presi in considerazione il sistema di percorsi per i veicoli sia interni che esterni, al fine di garantire un collegamento sicuro tra le diverse aree del cantiere e facilitare le operazioni di carico e scarico dei materiali da costruzione e dei rifiuti.

In accordo con quanto comunicato dalla committenza, è previsto un numero totale di transiti giornalieri di circa 20 veicoli, includendo sia gli spostamenti in andata che in ritorno. Questo modesto volume di transiti contribuirà a mantenere bassi i livelli di emissione da questa specifica fonte. Per questo motivo l'analisi prevederà una valutazione mirata dei ricettori situati nelle immediate vicinanze delle zone di cantiere.

Dalle mappe risultanti dai nostri studi, è possibile osservare i livelli di vibrazione in tutte le zone, comprese quelle non direttamente coinvolte dai ricettori designati. Questa pratica contribuisce a garantire una visione comprensiva degli impatti potenziali, rafforzando la nostra capacità di anticipare e gestire qualsiasi effetto collaterale che potrebbe verificarsi a causa delle attività di cantiere.

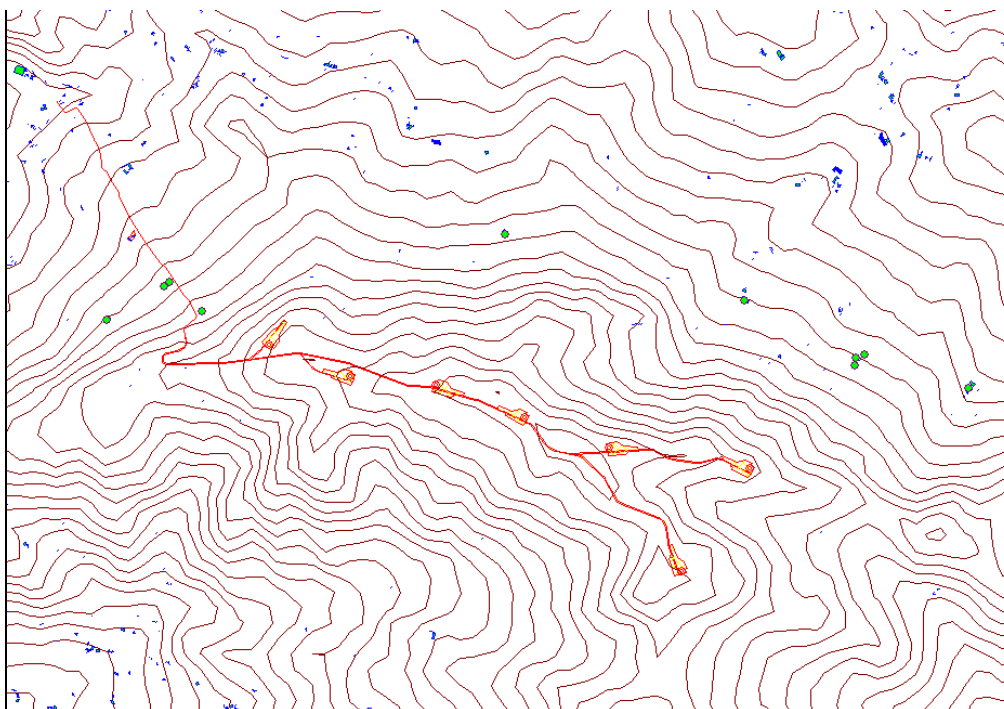
In sintesi, nonostante il limitato numero di transiti previsti, la metodologia di analisi mirata e completa ci permette di assicurare una valutazione accurata e dettagliata degli effetti delle vibrazioni sull'ambiente circostante, garantendo al contempo una gestione responsabile e sostenibile del progetto di cantiere.

7. MODELLO DI PROPOAGAZIONE

7.1. REALIZZAZIONE DEL MODELLO MATEMATICO

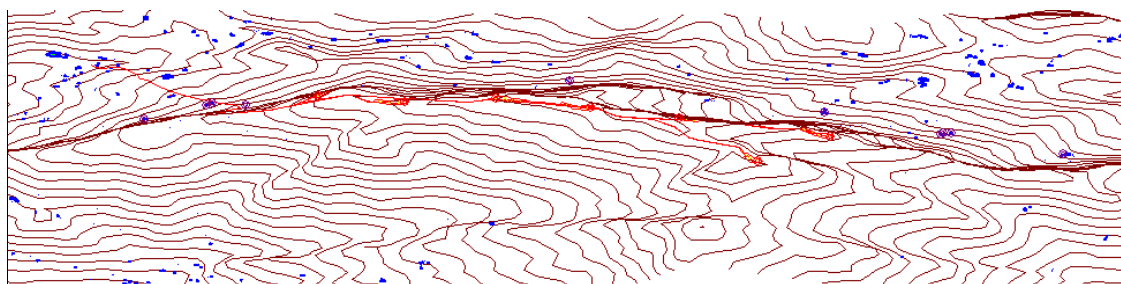
Per rappresentare la situazione esistente è stato realizzato un apposito modello matematico in cui vengono inseriti tutti gli elementi che concorrono a determinare la situazione di vibrazione residua dell'area oggetto di studio.

Il primo passaggio per la definizione dello scenario di calcolo all'interno del modello previsionale è stato la ricostruzione dell'orografia dell'area di interesse, inserendo gli edifici e le strade locali.



Inserimento degli edifici e delle strade nel modello (vista planimetrica)

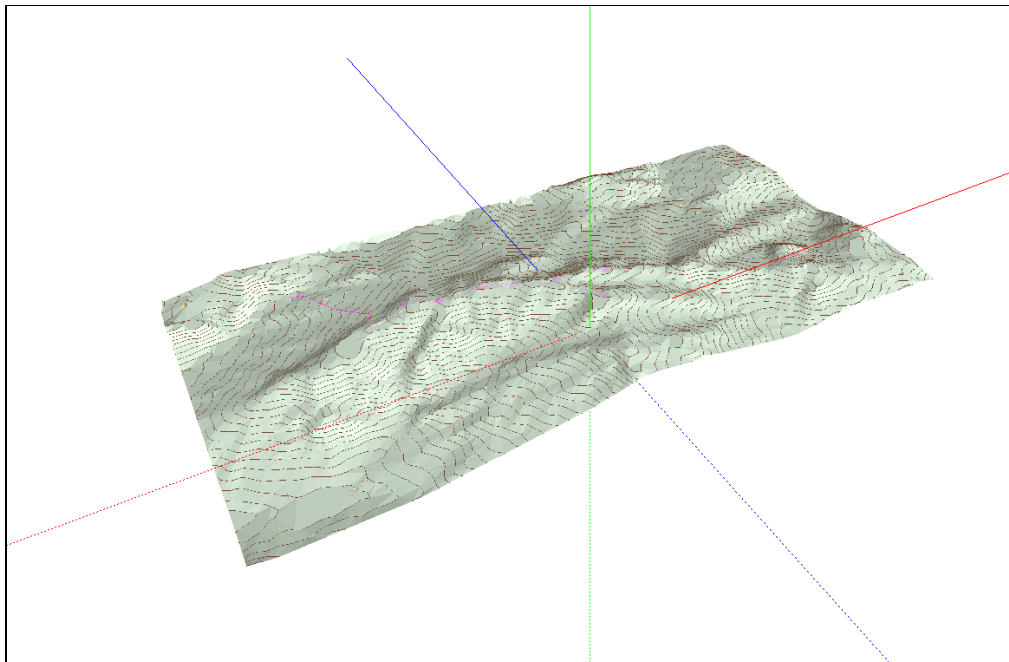
Il modello rappresenta in modo tridimensionale la situazione territoriale dell'area.



Inserimento degli edifici e delle strade nel modello (vista 3D)

7.2. Creazione dell'orografia del terreno

Sulla base delle informazioni altimetriche raccolte nelle cartografie vettoriali dell'area, è stato ricreato il modello digitale del terreno (DGM) fino a una distanza di almeno 500 metri dal confine d'impianto in modo da comprendere le abitazioni limitrofe potenzialmente interessate dalle emissioni.



Creazione del modello digitale del terreno (vista 3D)

Una volta definita l'orografia del territorio, sono stati inseriti nello scenario di calcolo tutti gli elementi che si comportano come ostacoli alla propagazione dell'onda sonora come, ad esempio, i muretti di contenimento interni, il muro perimetrale e gli edifici.

7.3. IL MODELLO DI PROPAGAZIONE NEL TERRENO DELLE ONDE VIBRAZIONALI

Lo studio della propagazione vibratoria sui terreni vede la concorrenza di due fenomeni che interagiscono tra di loro:

- l'attenuazione materiale del mezzo, legata alle caratteristiche dissipative del terreno all'interno del quale avviene la propagazione di energia vibratoria. L'attenuazione materiale del mezzo è un fenomeno complesso (dipende ad esempio dalla frequenza e ampiezza del moto), risultante dalla interazione di diversi meccanismi tra cui le perdite di energia di natura viscosa per attrito tra le particelle di terreno e le dissipazioni dovute al movimento relativo tra fasi solida e fluida.
- l'attenuazione geometrica, legata al fenomeno di propagazione dell'energia vibratoria entro volumi di terreno sempre crescenti con l'aumentare della distanza dalla sorgente. In un mezzo omogeneo essa è legata alla geometria della sorgente (puntuale, lineare, etc.), alla sua profondità, alle caratteristiche del dominio sede dei fenomeni propagatori (presenza di ostacoli, discontinuità, etc.). L'attenuazione geometrica dipende poi dal particolare tipo di campo vibratorio studiato e si manifesta in modo diverso per le onde di volume rispetto alle onde di superficie o di interfaccia.

L'approccio scelto per creare un modello propagativo delle vibrazioni nel terreno durante le attività per la realizzazione del parco eolico parte dalle relazioni presenti in letteratura, definendo poi i parametri specifici del terreno in modo che vi sia una buona rispondenza tra i valori misurati alle diverse distanze e i valori teorici. In questo senso possiamo fare alcune considerazioni (visibili anche nei grafici precedenti) per cui:

- la sorgente specifica, il cantiere che si sviluppa lungo la linea del parco eolico (e dei cavidotti) è assumibile come una sorgente di tipo lineare;
- l'attenuazione dissipativa del mezzo è stata calcolata nell'ipotesi di mezzo debolmente dissipativo e campo vibratorio costituito in prevalenza da onde di volume nelle vicinanze della sorgente, e di superficie di tipo Rayleigh per distanze maggiori;
- l'attenuazione geometrica pertinente alla sorgente puntuale nel campo vicino è stata assunta proporzionale a r^{-1} , mentre nel campo lontano si è considerata una prevalenza di onde di Rayleigh con una legge di attenuazione proporzionale a r^n , dove n varia in funzione della distanza.

Pertanto, l'attenuazione delle vibrazioni è stata calcolata in condizioni di campo libero mediante la seguente espressione:

$$A(r, f) = A(r_0, f) \cdot \left(\frac{r_0}{r}\right)^n \cdot e^{-2\mu f \epsilon / c(r-r_0)} \quad (7)$$

dove

$A(r, f)$ è il valore dell'accelerazione alla frequenza f misurabile alla distanza r dalla sorgente;

$A(r_0, f)$ è il valore dell'accelerazione alla frequenza f misurato alla distanza r_0 dalla sorgente;

ϵ è un parametro legato alle caratteristiche geotecniche del terreno;

c è la velocità di propagazione dell'onda vibratoria nel terreno.

Nel nostro caso, ϵ e c variano in funzione dell'area considerata lungo la linea di sviluppo del parco eolico.

7.4. La propagazione delle vibrazioni negli edifici

La propagazione delle vibrazioni negli edifici e la risposta di pareti e solai dipende dalle caratteristiche costruttive dell'edificio. Al fine delle valutazioni è importante separare due aspetti fondamentali del fenomeno:

- l'interazione suolo-fondazioni
- la propagazione nel corpo dell'edificio

Il primo aspetto è legato al fatto che la mancanza di solidarietà all'interfaccia terreno-struttura dà luogo a fenomeni dissipativi, configurandosi come un fenomeno limitante della trasmissione. Detto fenomeno è perciò condizionato dalla tipologia delle fondazioni (fondazioni a platea, fondazioni su plinti isolati, pali di fondazioni, ecc.).

Nel caso di fondazioni a platea la grande area di contatto con il terreno determina una perdita di accoppiamento praticamente nulla alle basse frequenze fino alla frequenza di risonanza della fondazione.

Per le altre tipologie di fondazioni possono essere utilizzate curve empiriche che consentono la stima dei livelli di vibrazione della fondazione in funzione dei livelli di vibrazione del terreno.

La propagazione nel corpo dell'edificio è determinante sia per gli abitanti sia per le strutture in quanto i pavimenti, pareti e soffitti degli edifici sono soggetti a significative amplificazioni delle vibrazioni rispetto a quelle trasmesse dalle fondazioni. In molti casi la risonanza delle strutture orizzontali può causare un'amplificazione delle vibrazioni nel campo di frequenze comprese tra 10 e 30 Hz. I problemi maggiori si verificano quando la frequenza di risonanza dei solai coincide con la frequenza di picco dello spettro di vibrazione del terreno.

Negli edifici multipiano un valore di attenuazione delle vibrazioni da piano a piano è approssimativamente pari a 3 dB. I risultati di misure sperimentali svolti da Ishii e Tachibana in un edificio a 10 piani fuori terra con struttura in calcestruzzo armato e acciaio mostrano un'attenuazione di circa 1 dB alle basse frequenze in corrispondenza dei piani alti e maggiore di 3 dB ai primi piani.

La norma DIN 4150 riferisce che, nel caso di vibrazioni orizzontali le frequenze proprie dei piani di un edificio seguono all'incirca la legge $f = 10/n$, essendo n il numero del piano. Per la componente verticale si hanno circa $f = 10$ Hz per pavimenti poco rigidi e $f = 30$ Hz per pavimenti molto rigidi. Gli incrementi per risonanza possono essere dell'ordine di 3÷8 volte, con rari casi di incrementi fino a 15 volte.

Risultati analoghi sono stati ottenuti nel corso di misure eseguite dalle Ferrovie Svizzere: generalmente si ha un'attenuazione nelle componenti orizzontali x e y ($f = 0\div 80$ Hz) tra suolo e piano terra degli edifici ma si verifica un'amplificazione della componente verticale z tra suolo e piano terra e suolo-primo piano.

Mediamente l'amplificazione sul pavimento è di 5 dB per frequenze di risonanza di circa 20 Hz, ma può arrivare anche a 20 dB nel caso del pavimento del piano terra con frequenza di risonanza di circa 40 Hz.

Le caratteristiche strutturali degli edifici che influiscono sulla propagazione delle vibrazioni trasmesse dal terreno alla fondazione vengono considerate composte da due componenti:

propagazione da piano a piano;

amplificazione degli orizzontamenti.

I due fenomeni comportano evidentemente due effetti contrari, il primo di attenuazione, il secondo di amplificazione. In relazione alle condizioni specifiche che caratterizzano gli immobili, uno dei due effetti può prevalere sull'altro, come pure i due effetti si possono elidere vicendevolmente.

In generale i fenomeni si differenziano in relazione al campo di frequenza in cui hanno specifica rilevanza.

Le vibrazioni, prevalentemente verticali in corrispondenza del sistema fondazionale dell'edificio, si propagano verso l'alto con una attenuazione progressiva da piano a piano.

Nella seguente tabella riportiamo tale attenuazione in funzione della frequenza per altezze di interpiano sino a 3.2 m e per 3 orizzontamenti.

Il primo orizzontamento connota la posizione di minima attenuazione che viene considerata nelle verifiche previsionali.

Piano	Frequenze in terzi d'ottava (Hz)								
	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
1° Orizzontamento	-2	-2	-2	-2	-3	-3	-3	-3	-3
2° Orizzontamento	-4	-4	-4	-4	-5	-5	-5	-5.5	-6
3° Orizzontamento	-6	-6	-6	-6	-7	-7	-7	-7	-7.5

Attenuazioni di interpiano (espressi in dB)

Per ciò che riguarda la propagazione delle vibrazioni nel corpo della struttura i problemi maggiori riguardano i solai: la vibrazione può essere amplificata in corrispondenza della frequenza fondamentale degli orizzontamenti, che dipende dalla luce del solaio e dalla loro tipologia costruttiva.

L'amplificazione dei solai spazia in un ambito che va da 5 dB per frequenze proprie di circa 20 Hz a valori limite di 20 dB per frequenze proprie di circa 40 Hz. Le frequenze proprie degli orizzontamenti più diffusi si situano tra 10 Hz e 20 Hz.

Per le frequenze orizzontali, come già citato, la norma DIN 4150 suggerisce di calcolare le frequenze proprie ai vari piani con la formula $f = 10/n$, dove n è il numero del piano.

Per le frequenze connesse a modi verticali, la frequenza propria di un solaio si può esprimere come:

$$f_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (\text{Hz}) \quad (8)$$

dove "k" viene assunto approssimativamente come la rigidità per carichi concentrati in mezzera ed "m" come la massa della striscia di solaio considerata (il calcolo preciso proviene dalla risoluzione di un integrale di Duhamel).

Nella figura seguente sono riportati, a titolo esemplificativo, i valori di amplificazione attesi per orizzontamenti in latero-cemento di classico dimensionamento per differenti luci.

Le curve tabellate fornite dalla letteratura indicano che non sono attese amplificazioni per le componenti in frequenza superiori a 50 Hz.

Nel caso di struttura portante orizzontale in acciaio e legno, sono messe in conto, in relazione ai minori smorzamenti strutturali che caratterizzano tali materiali costruttivi, maggiori amplificazioni, dell'ordine del 10% per l'acciaio e del 20% per il legno.

Luce del solaio	Frequenze in terzi d'ottava (Hz)								
	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
Luce da 4 m	1.5	2,6	4.4	8.4	20	4.1	-	-	-
Luce da 5 m	4.3	8.7	20	4.8	-	-	-	-	-
Luce da 6 m	20	3.7	-	-	-	-	-	-	-
Luce da 7 m	4.8	-	-	-	-	-	-	-	-

Amplificazioni in funzione della luce del solaio (espressi in dB)

7.5. Accoppiamento terreno-edificio

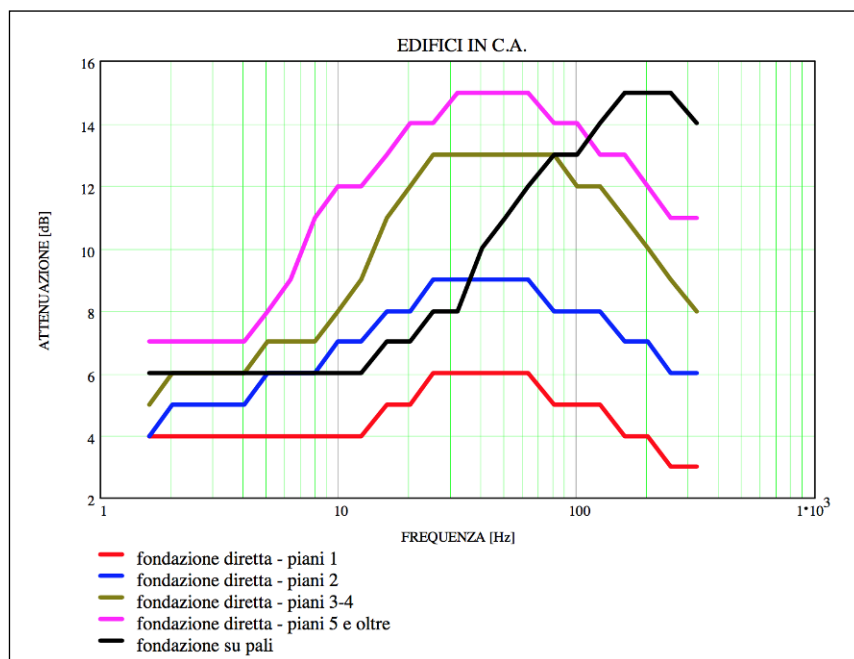
La differenza tra il livello di vibrazione del terreno e quello delle strutture di fondazione è detta attenuazione per perdita di accoppiamento (coupling loss).

Dal punto di vista fondazionale, gli edifici possono essere classificati come edifici su fondazione diretta (plinti isolati o travi continue) ed edifici su fondazioni profonde (pali, pozzi, diaframmi, ecc).

La figura seguente fornisce i valori sperimentali medi della perdita di accoppiamento in funzione della frequenza per fondazioni su pali nel terreno o su plinti di edifici in muratura, con o senza intelaiatura.

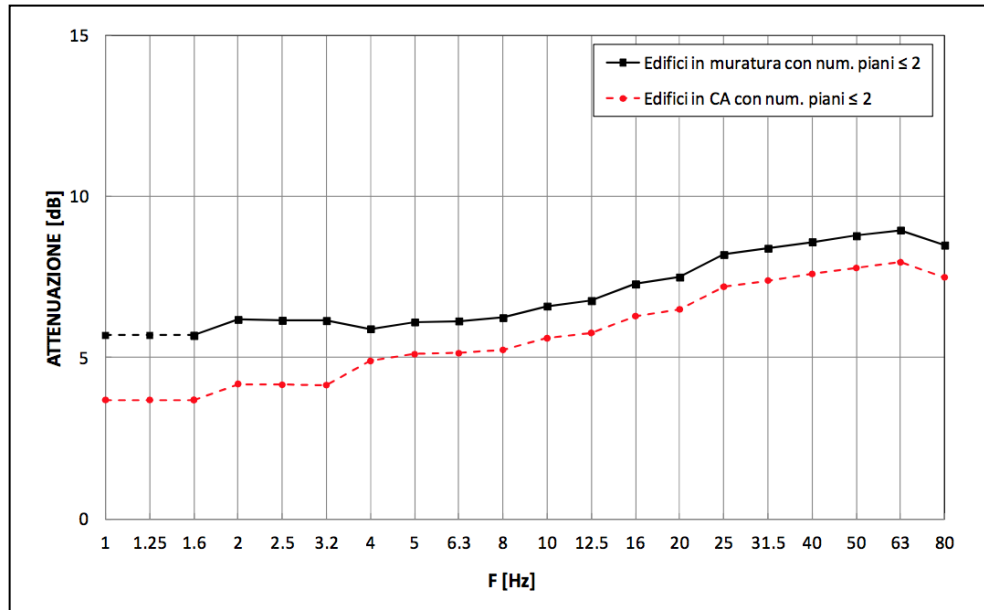
Per gli edifici con struttura portante verticale in muratura, in relazione alla maggiore massa, viene messa in conto una maggiore attenuazione pari a 2 dB. Per edifici con struttura portante verticale in acciaio, in relazione alla minore massa in gioco, viene messa in conto una riduzione di attenuazione, rispetto al caso di struttura portante in cemento armato, pari a 2 dB.

Per fondazioni a platea generale dato che la vibrazione della stessa può essere considerata simile a quella che si verificherebbe nel terreno senza la presenza della platea, la perdita di accoppiamento è zero alle basse frequenze fino alla frequenza di risonanza della platea.



Attenuazioni legate all'accoppiamento terreno-fondazioni

Il comportamento varia se le fondazioni della costruzione non sono in cemento armato. Nella figura seguente è possibile osservare la differenza di attenuazione per accoppiamento tra i diversi tipi di fondazioni.



Attenuazioni legate all'accoppiamento terreno-fondazioni

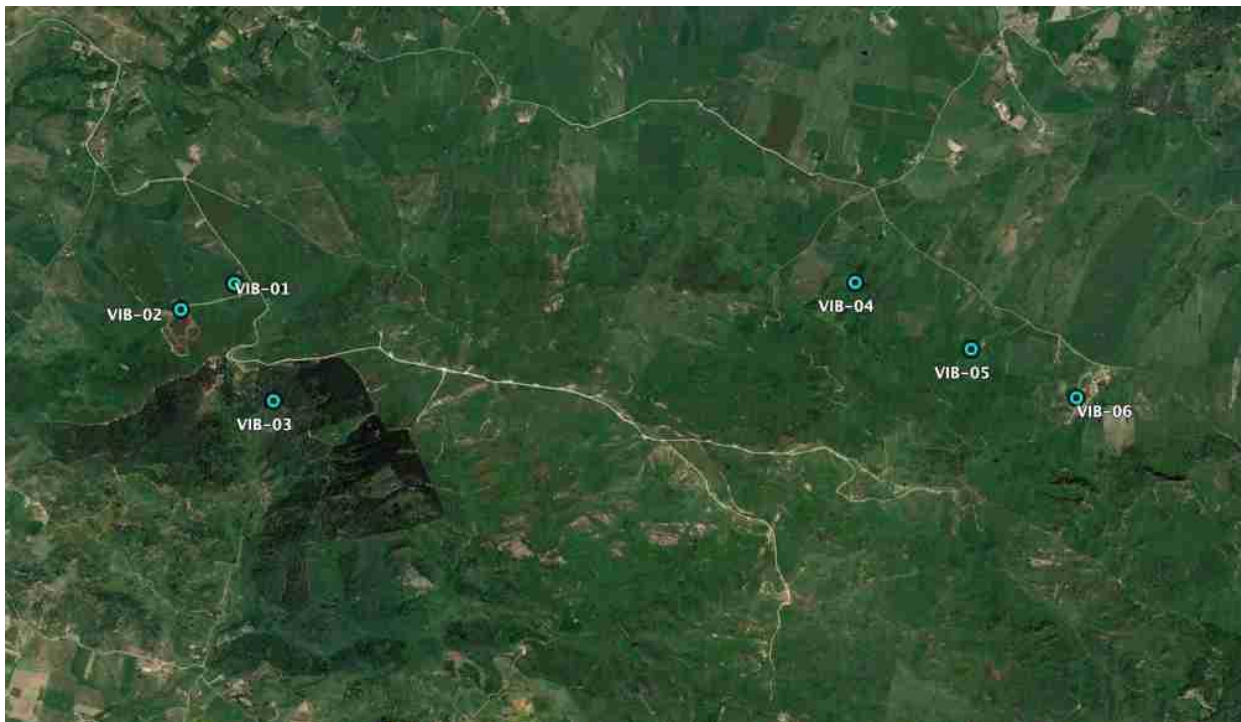
8. MISURE DI VIBRAZIONE RESIDUA (ANTE OPERAM)

Le misure sono state eseguite con accelerometri triassiali in modo da ottenere i valori di accelerazione vibrazionale su X, Y e Z.

La metodologia di fissaggio degli accelerometri è attraverso una massa sismica di adeguato peso e tale da garantire un appoggio isostatico, come previsto dalla UNI ISO 5348:2021.

Nel mese di Dicembre 2023 è stata condotta una campagna di rilievi di vibrazione ante-operam nell'area circostante il futuro sito di cantiere. La selezione dei punti di rilievo è stata effettuata tenendo conto dei ricettori più vulnerabili alle future emissioni prodotte dalle attività del cantiere.

In totale, sono stati individuati e monitorati sei punti di rilevamento, disposti in maniera strategica sull'intera area di studio, come chiaramente rappresentato nella figura sottostante. Questa distribuzione mirata consente di ottenere una panoramica completa e rappresentativa degli effetti vibrazionali potenziali che potrebbero interessare i ricettori nelle vicinanze del futuro cantiere.



Misure di vibrazione effettuate

Ai fini dell'applicazione a livello normativo i livelli di vibrazione residua sono utili per l'analisi secondo norma UNI 9614:2017, in quanto è necessario effettuare una differenza tra vibrazione immessa e vibrazione residua. Le fonti predominanti di vibrazioni attuali nell'area di studio sono principalmente attribuibili al modesto traffico veicolare. È interessante notare che i livelli di vibrazione rilevati risultano essere contenuti, e questo fenomeno può essere spiegato da una combinazione di fattori. In primo luogo, le emissioni di vibrazioni dovute al traffico veicolare sono relativamente basse. In secondo luogo, un altro elemento importante è la quantità di traffico presente nell'area. Il traffico veicolare moderato infatti comporta che le sorgenti di vibrazione siano meno frequenti, contribuendo a mantenere i livelli complessivi di vibrazione molto bassi.

Qui di seguito si riportano i dati delle misure elaborati secondo la norma UNI 9614:2017.

I valori di accelerazione totale, nell'ultimo grafico del report, vengono ottenuti dalla somma quadratica dei valori di accelerazione sui tre assi.

$$A_{w,Tot} = \sqrt{a_{w,x}^2(t) + a_{w,y}^2(t) + a_{w,z}^2(t)} \quad (6)$$

La misurazione dei livelli di vibrazione residua è stata condotta per un tempo statisticamente riproducibile (20 minuti per punto).

Punto di misura	Vibrazione residua Asse X (mm/s ²)	Vibrazione residua Asse Y (mm/s ²)	Vibrazione residua Asse Z (mm/s ²)	Vibrazione residua Asse - Vettore (mm/s ²)
VIB_01	0.3	0.1	0.1	0.2
VIB_02	0.2	0.1	0.1	0.2
VIB_03	0.2	0.1	0.1	0.2
VIB_04	0.4	0.2	0.1	0.3
VIB_05	0.4	0.2	0.1	0.3
VIB_06	0.3	0.2	0.1	0.3

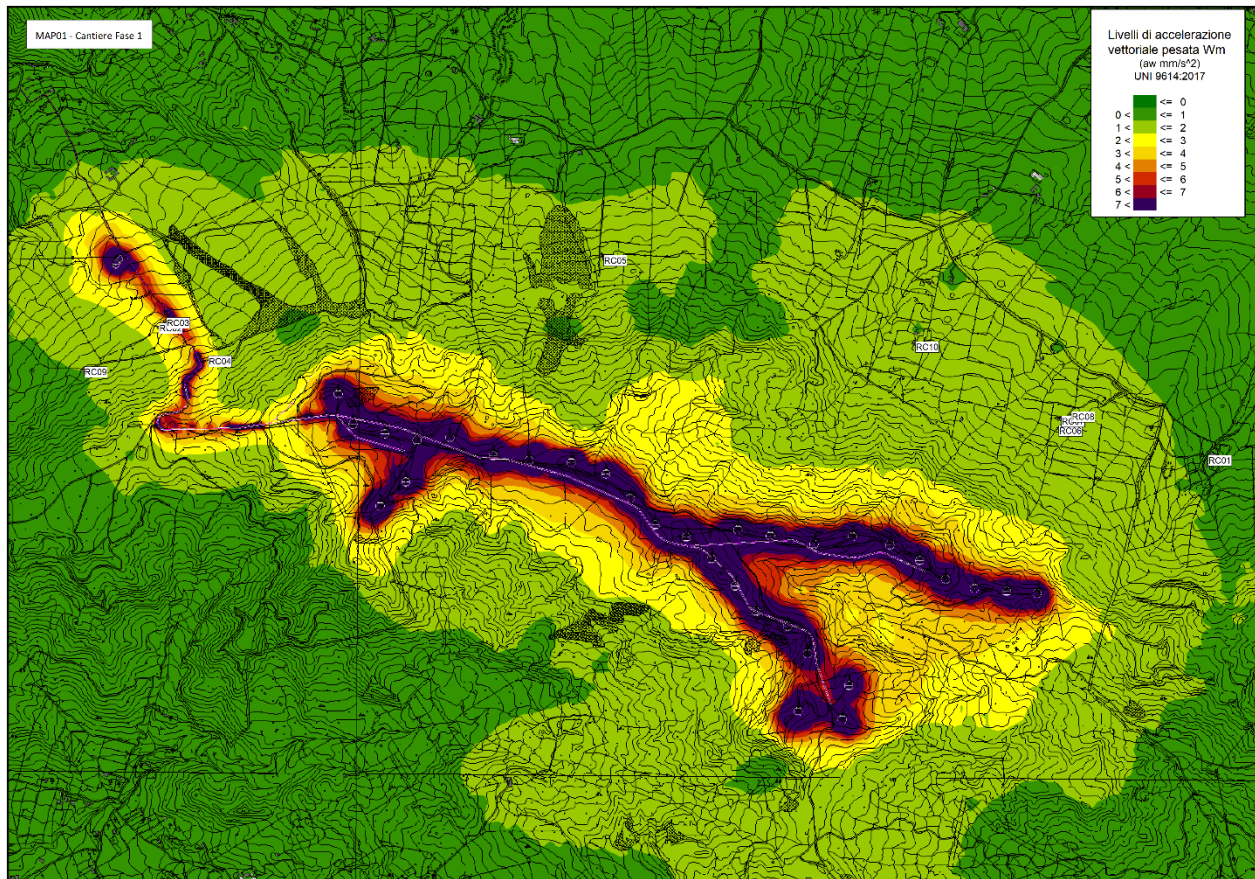
9. PREVISIONE DEI LIVELLI DI VIBRAZIONI NEL TERRITORIO CIRCOSTANTE

Al fine di comprendere l'impatto vibrazionale sul territorio, attraverso i calcoli di propagazione descritti in precedenza, sono state realizzate una serie di mappe di isolivello vibrazionale, allegate alla relazione. In questo modo è possibile individuare la propagazione sul territorio stesso delle onde vibrazionali.

Di seguito sono riportate le tabelle dei ricettori coinvolti dalle emissioni vibrazionali del cantiere. I valori riportati in tabella si riferiscono al piano terra dell'edificio.

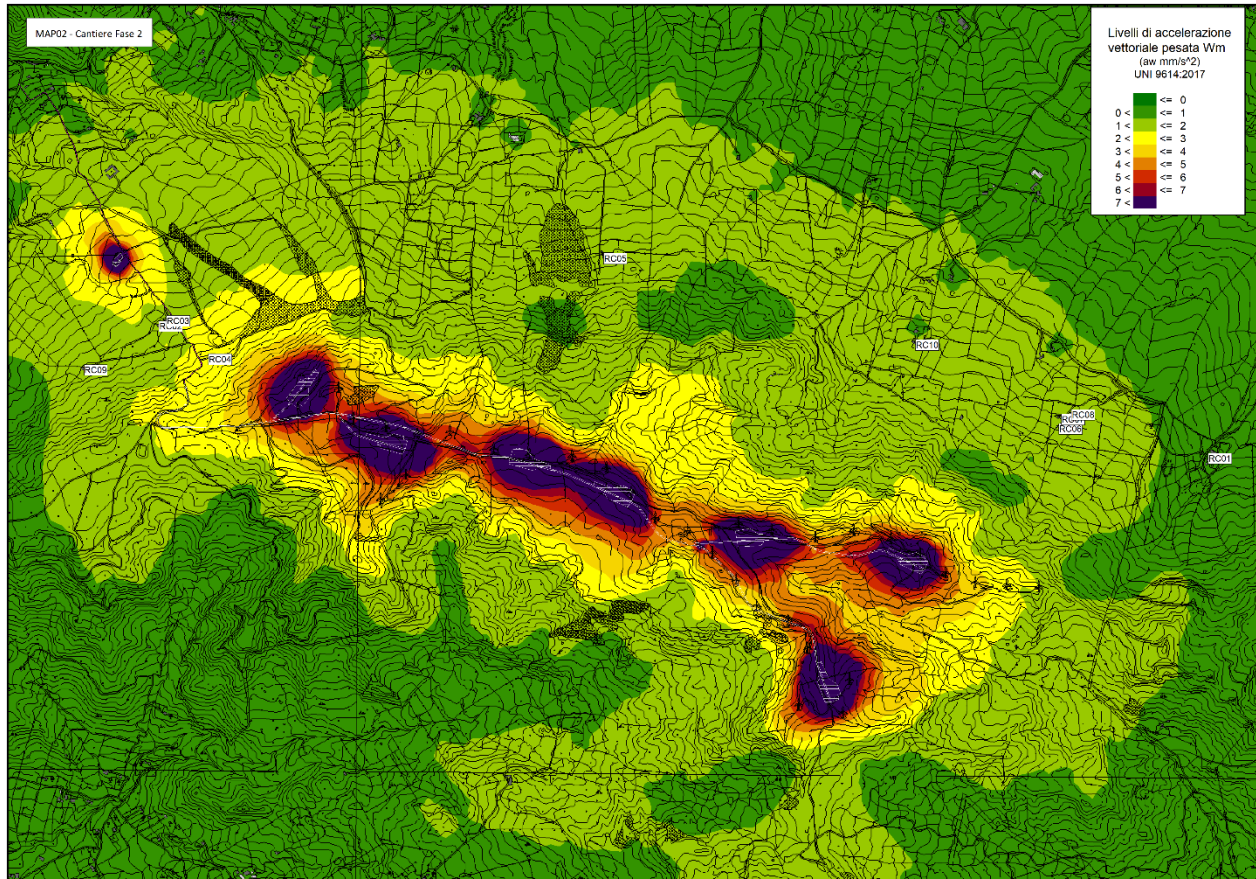
FASE DI CANTIERE 1 – UNI 9614:2017

Ricettore	Vibrazione immessa (mm/s ²)	Vibrazione residua (mm/s ²)	Vibrazione sorgente (mm/s ²)	Valore Limite (mm/s ²)
RC_01	1.1	0.3	1.1	7.2
RC_02	2.6	0.2	2.6	7.2
RC_03	4.2	0.2	4.2	7.2
RC_04	3.4	0.2	3.4	7.2
RC_05	1.4	0.2	1.4	7.2
RC_06	1.8	0.3	1.9	7.2
RC_07	1.7	0.3	1.7	7.2
RC_08	1.1	0.3	1.1	7.2
RC_09	0.9	0.2	0.9	7.2
RC_10	1.9	0.2	1.9	7.2



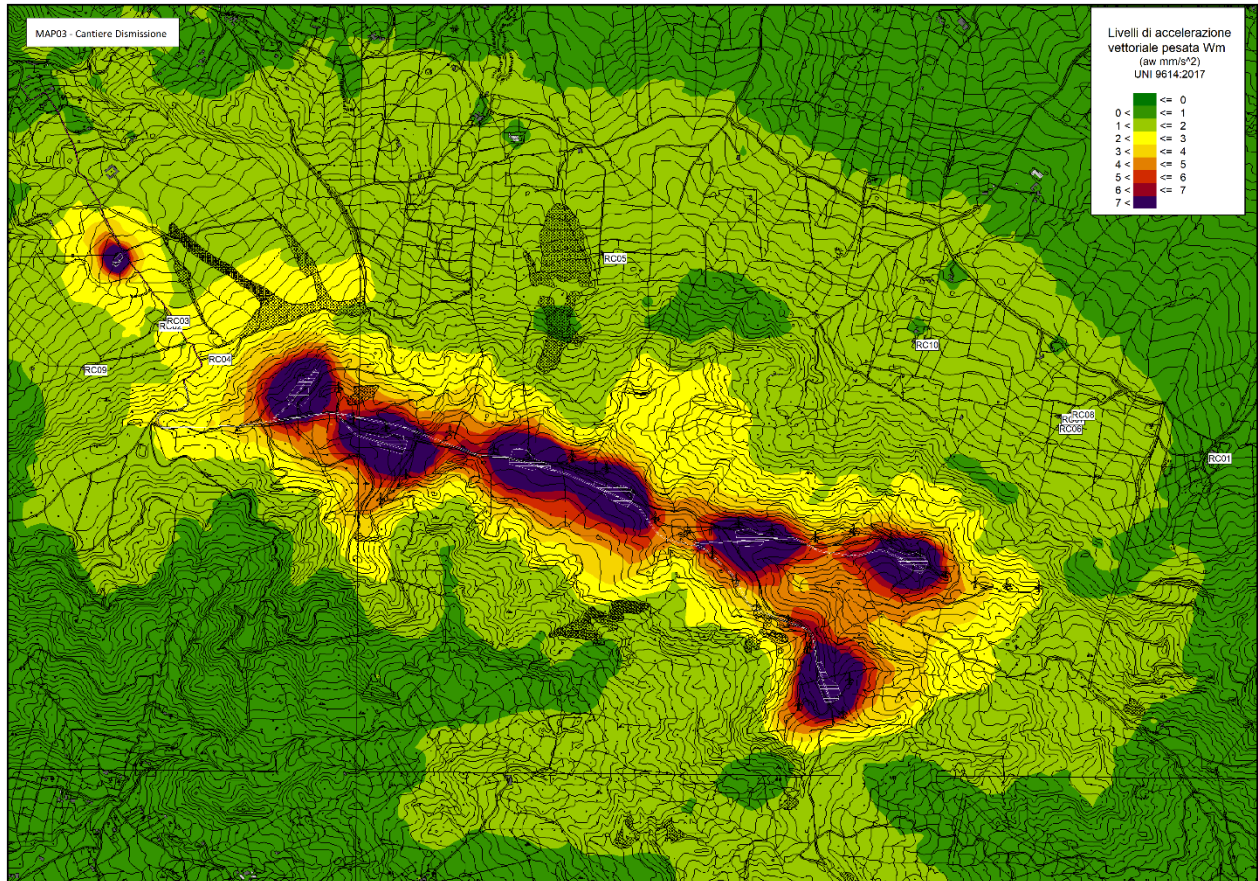
FASE DI CANTIERE 2 – UNI 9614:2017

Ricettore	Vibrazione immessa (mm/s ²)	Vibrazione residua (mm/s ²)	Vibrazione sorgente (mm/s ²)	Valore Limite (mm/s ²)
RC_01	1.0	0.3	1.1	7.2
RC_02	2.2	0.2	2.2	7.2
RC_03	2.3	0.2	2.3	7.2
RC_04	2.3	0.2	2.4	7.2
RC_05	1.4	0.2	1.5	7.2
RC_06	1.6	0.3	1.6	7.2
RC_07	1.6	0.3	1.6	7.2
RC_08	0.6	0.3	0.7	7.2
RC_09	1.4	0.2	1.4	7.2
RC_10	1.7	0.2	1.7	7.2



FASE DI CANTIERE DISMISSIONE – UNI 9614:2017

Ricettore	Vibrazione immessa (mm/s ²)	Vibrazione residua (mm/s ²)	Vibrazione sorgente (mm/s ²)	Valore Limite (mm/s ²)
RC_01	1.1	0.3	1.1	7.2
RC_02	2.3	0.2	2.3	7.2
RC_03	2.4	0.2	2.4	7.2
RC_04	2.5	0.2	2.5	7.2
RC_05	1.5	0.2	1.5	7.2
RC_06	1.7	0.3	1.7	7.2
RC_07	1.7	0.3	1.7	7.2
RC_08	0.7	0.3	0.7	7.2
RC_09	1.5	0.2	1.5	7.2
RC_10	1.8	0.2	1.8	7.2



10. CONCLUSIONI

L'analisi è stata svolta secondo la norma UNI 9614:2017. La norma UNI 9614:2017 definisce il metodo di misurazione delle vibrazioni immesse negli edifici ad opera di sorgenti interne o esterne agli edifici e i criteri di valutazione del disturbo delle persone all'interno degli edifici stessi.

I risultati della valutazione effettuata hanno evidenziato un sostanziale rispetto dei limiti per gli edifici considerati.

In allegato

Allegato 01 - Misure di vibrazione residua

Allegato 02 - Certificati di taratura degli strumenti

Allegato 03 - Mappe di propagazione vibrazionale

Gangi 06/12/2023

IL TECNICO INCARICATO

Sergenti Marco



11. APPENDICE A - LA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Come richiesto dalla UNI 9614:2017 le misure sono state eseguite con accelerometri triassiali ad alta sensibilità ($1 \text{ V/g} \sim 100 \text{ mV/m/s}^2$), connessi direttamente al sistema di analisi (analizzatore in tempo reale a 4 canali).

La catena di misura era così costituita:

- Analizzatore Svantek a 4 canali modello 948;
- Accelerometro ad alta sensibilità Dytran modello 3233A



Catena di misura

L'intera catena di misura, costituita dall'accelerometro, dall'analizzatore e dal calibratore accelerometrico, è stata certificata presso un Centro di Taratura Accreditato (LAT) ed i relativi Certificati vengono riportati in Allegato 1, mentre nella tabella che segue riportiamo gli estremi.

Estremi dei certificati della catena di misura

Strumento	Modello	Costruttore	Matricola	Certificato	Data certificato
Misuratore di vibrazioni Accelerometro triassiale	SVAN 948 3233A	Svantek Dytran	8871 123	LAT068- 49354-V	2022-07-05
Calibratore accelerometrico	394C06	PCB	1773	LAT068- 49298-V	2022-06-28

Il rilevatore di vibrazioni con il suo accelerometro è stato verificato per ogni asse con il calibratore accelerometrico, prima e dopo ogni sessione di misura, senza riscontrare variazioni superiori al 2%.



Calibratore accelerometrico

La strumentazione risponde alle richieste della norma ISO 8041:2017 richiamate dalla UNI 9614:2017.

L'accelerometro triassiale ad alta sensibilità Dytran mod. 3233A consente misurazioni a bassi livelli vibratori, Il suo rumore elettrico, nella banda di frequenza considerata per le misurazioni (circa 1-100 Hz), è di 12 $\mu\text{m/s}^2$.

Equivalent Electrical Noise		0.00008	g rms	0.00078	m/s^2 rms
Spectral Noise	1Hz	12	$\mu\text{g rms} / \sqrt{\text{Hz}}$	118	$\mu\text{m/s}^2 \text{ rms} / \sqrt{\text{Hz}}$
	10Hz	4	$\mu\text{g rms} / \sqrt{\text{Hz}}$	39	$\mu\text{m/s}^2 \text{ rms} / \sqrt{\text{Hz}}$
	100Hz	1.2	$\mu\text{g rms} / \sqrt{\text{Hz}}$	12	$\mu\text{m/s}^2 \text{ rms} / \sqrt{\text{Hz}}$
	1000Hz	0.5	$\mu\text{g rms} / \sqrt{\text{Hz}}$	5	$\mu\text{m/s}^2 \text{ rms} / \sqrt{\text{Hz}}$

Dati del rumore elettrico dell'accelerometro usato.