

PROGETTO DELLA CENTRALE SOLARE

"Energia del Panaro"

da 83,2 MWp - Finale Emilia (MO)



ENRICO TOMMASEL
13.01.2026 11:01:59
GMT+01:00

ER06.1

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE PREVISIONALE VIBRAZIONI



Proponente

ENGIE FINALE EMILIA S.r.l.

Via Chiese, 72, 20126 Milano MI



Progetto dell'inserimento paesaggistico e mitigazione

Coordinamento alla progettazione: Dott. Agr. Fabrizio Cembalo Sambiasi/
Arch. Alessandro Visalli/ Arch. Riccardo Festa

Progettisti: Arch. Paola Ferraioli, Arch. Anna Manzo

Collaboratori: Dott. Carmine Perna, Dott. Agr. Giuseppe Maria Massa,
Dott. Agr. Francesco Palombo, Dott. Agr. Vincenzo Meola
Urb. Patrizia Ruggiero, Arch. Ilaria Garzillo, Marco Chezzi



AEDES GROUP
ENGINEERING

Progettazione elettrica e civile

Progettisti: Ing. Rolando Roberto, Ing. Giselle Roberto

Collaboratori: Ing. Giuseppe Fava, Ing. Filippo Angarano,
Ing. Karim Ait Hamd, Ing. Marco Balzano,
Ing. Simone Bonacini



**MARE
RINNOVABILI**

Progettazione mandorleto superintensivo

Progettisti: Dott. Agr. Fabrizio Cembalo Sambiasi, Dott. Agr. Giuseppe Maria Massa,
Dott. Agr. Francesco Palombo

Consulenza geologica

Geol. Gaetano Ciccaredelli

Consulenza archeologica

GeA Archeologia Preventiva

Consulenza agronomica

iGreen System, Imola



01 2026

| rev | descrizione | formato | elaborazione | controllo | approvazione |
|-----|--------------------------------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 00 | | | | | |
| 01 | | | | | |
| 02 | | | | | |
| 03 | Risposta osservazioni Arpae | A4 | Rolando Roberto | Giselle Roberto | Rolando Roberto |
| 04 | | | | | |
| 05 | | | | | |
| 06 | | | | | |
| 07 | | | | | |

Prodotto e distribuito da: ENRICO TOMMASEL - Prot. 13/01/2026-0019301-E - Copia conforme dell'originale sottoscritto digitalmente da TOMMASEL ENRICO, VISALLI ALESSANDRO GIUSEPPE ARCHIMEDE, ROBERTO ROLANDO

Sommario

1 STUDIO SULLE VIBRAZIONI

| | |
|--|----|
| | 2 |
| 1.1 Inquadramento generale | 2 |
| 1.2 Cenni teorici sulle vibrazioni | 3 |
| 1.3 Normativa di riferimento..... | 6 |
| 1.4 Parametri di trasmissione delle vibrazioni..... | 7 |
| 1.5 Modello previsionale | 9 |
| 1.6 Danno a strutture ed edifici..... | 10 |
| 1.7 Rischio esposizione umana..... | 11 |
| 1.8 Stima previsionale delle vibrazioni in fase di esercizio | 12 |
| 1.9 Stima previsionale delle vibrazioni in fase di cantiere..... | 14 |
| 1.10 Conclusioni | 21 |



1.1 Inquadramento generale

Engie Finale Emilia S.r.l. intende proporre la realizzazione di un impianto agrivoltaico da ubicarsi nel Comune di Finale Emilia (MO), localizzazione 44°50'28.54"N, 11°20'23.45"E, progetto in linea con gli obiettivi della Strategia Elettrica Nazionale e del Piano Nazionale integrato per l'Energia e il Clima.

L'obiettivo del presente progetto è la realizzazione di un impianto agrivoltaico di potenza di picco pari a 83.232 kWp costituito da 110.976 moduli fotovoltaici in silicio cristallino.

In campo saranno installati n. 220 inverter di stringa di potenza nominale 320 kW.

Lo schema di allacciamento alla RTN prevede che la centrale venga collegata in antenna a 132 kV su un ampliamento/adeguamento della Stazione Elettrica (SE) della RTN a 132 kV denominata "Massa Finalese" previa realizzazione di una nuova sezione a 380 kV nella SE "Massa Finalese" da collegare in entra-esce alla linea RTN a 380 kV "Martignone-Sermide".

L'impianto sarà esercito in parallelo alla rete elettrica nazionale di TERNA con una potenza massima in immissione pari a 70.400 kW. L'intera produzione sarà immessa in rete e venduta secondo le modalità previste dal mercato libero dell'energia.

La superficie riporta un'estensione totale pari a 140,7 ha, la morfologia del terreno risulta prevalentemente pianeggiante.

I moduli del generatore erogheranno corrente continua (DC) che, prima di essere immessa in rete, sarà trasformata in corrente alternata (AC) da gruppi di conversione DC/AC (inverter) ed infine elevata dalla bassa tensione (BT) alla media tensione (MT 30 kV) della rete di raccolta interna per il convogliamento alla stazione di trasformazione AT/MT per l'elevazione al livello di tensione della connessione alla rete nazionale.

Preliminarmente l'apertura dei cantieri per la realizzazione dell'impianto saranno effettuati i saggi e i test di portanza per verificare la struttura della sede viaria e le relative capacità strutturali. Sulla base delle risultanze delle analisi citate in precedenza, verranno concordate con gli enti gestori delle strade, le soluzioni idonee per la posa del cavidotto.





Figura 1 – Impianto fotovoltaico e tracciati cavidotto MT

1.2 Cenni teorici sulle vibrazioni

Le vibrazioni sono oscillazioni meccaniche generate da onde di pressione che si trasmettono attraverso i corpi ovvero è definito vibrazione un fenomeno ondulatorio, generalmente a bassa frequenza, trasmesso attraverso un mezzo solido, liquido o gassoso. Una vibrazione è costituita da una fluttuazione rapida intorno ad una posizione di equilibrio; il movimento netto dell'elemento posto in vibrazione è quindi nullo.

L'oscillazione è il movimento che un punto mobile compie per ritornare alla posizione di partenza.

Il tempo che intercorre tra due passaggi nel punto di equilibrio (o punto di partenza) è detto periodo (o ciclo). Il numero di periodi al secondo costituisce la frequenza di una vibrazione, espressa in Hertz (Hz).

In funzione degli effetti fisiopatologici sull'uomo le vibrazioni sono suddivise in tre principali bande di frequenza:

- 0-2 Hz: oscillazioni a bassa frequenza, generate dai mezzi di trasporto (terrestri aerei, marittimi);
- 2-20 Hz: oscillazioni a media frequenza, generate da macchine ed impianti industriali;
- > 20-30 Hz: oscillazioni ad alta frequenza, generate da una gamma ampia di strumenti vibranti diffusi in ambito industriale.



Le vibrazioni sono caratterizzate inoltre da tre ulteriori parametri: l'ampiezza, la velocità e l'accelerazione dello spostamento. Un'onda è una perturbazione di tipo elastico che si propaga da un punto ad un altro attraversando un materiale oppure sulla superficie dello stesso, anche se non è implicito il suo spostamento definitivo. Le onde si distinguono pertanto in onde di volume ed onde di superficie.

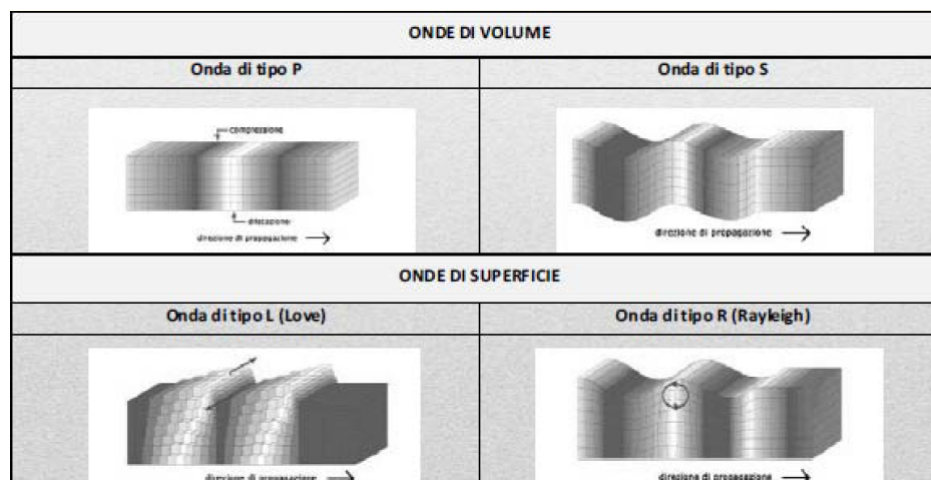


Figure 1 - Varie tipologie di onde di volume e superficie

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

La caratterizzazione della qualità dell'ambiente in relazione agli effetti delle vibrazioni deve consentire di individuare e stimare le modifiche e/o le interferenze introdotte dall'intervento proposto e valutarne la compatibilità con gli standard esistenti, in riferimento alla verifica sia del disturbo sull'uomo, sia del danno agli edifici per la salvaguardia del patrimonio architettonico/archeologico.

Quando viene imposto sul terreno un prefissato livello di vibrazione, questo si propaga nel mezzo, subendo una attenuazione dipendente da natura del terreno, frequenza del segnale, distanza tra sorgente e ricevitore.

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

$$w_2(d, f) = w_1(d_0, f) \cdot \left(\frac{d}{d_0}\right)^n \cdot e^{-\alpha f(d-d_0)}$$

dove: α è il coefficiente di attenuazione del materiale, c la velocità di propagazione in m/s, f la frequenza in Hz, d la distanza in m e d_0 la distanza di riferimento a cui è noto lo spettro di emissione.

Il modello semplificato di propagazione si riferisce ai soli fenomeni che avvengono nel terreno, ipotizzato omogeneo ed isotropo. In presenza di edifici con struttura complessa, collegati al terreno attraverso fondazioni, i livelli di vibrazione riscontrabili all'interno delle strutture possono presentare attenuazioni e/o amplificazioni secondo lo schema riportato nell'immagine seguente.

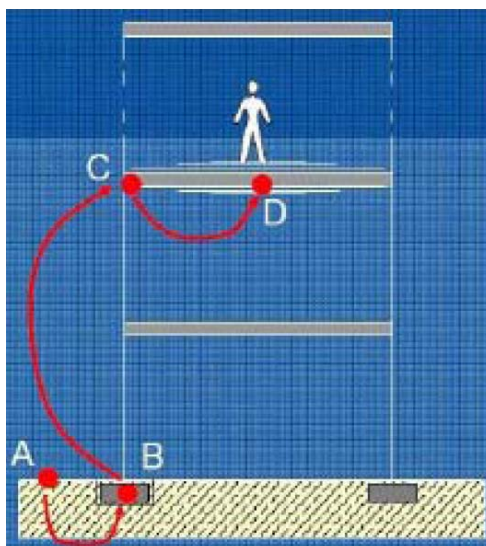


Figure 2 – Esempio di propagazione delle vibrazioni in un sistema terreno-edificio

Nella seguente immagine si evidenziano le variazioni degli effetti di attenuazione e amplificazione del fenomeno vibratorio in funzione delle diverse tipologie di fondazioni.



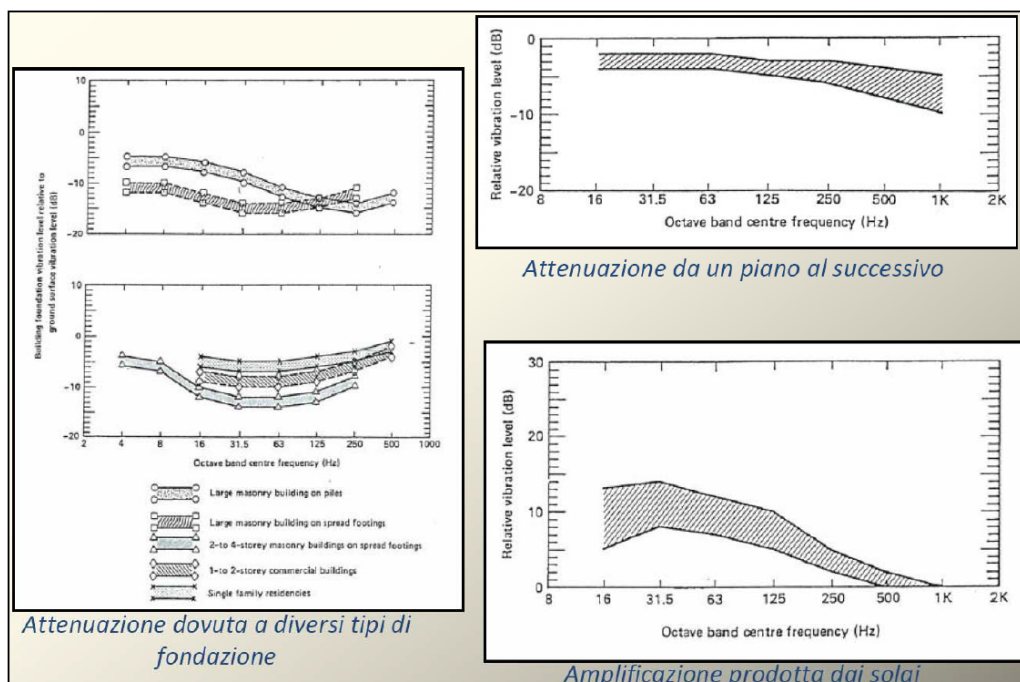


Figure 3 – Esempi di attenuazione e amplificazione del fenomeno vibratorio

1.3 Normativa di riferimento

Attualmente non esiste una norma a livello nazionale che stabilisca valori limite per l'esposizione alle vibrazioni ma solo alcune norme tecniche nazionali ed internazionali relative sia all'esposizione umana che ai danni ad edifici. Di seguito sono riportate le norme tecniche:

- ISO 2631-2: Valutazione dell'esposizione umana alla vibrazione del corpo intero - Vibrazione negli edifici;
- UNI 9614: Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo;
- UNI 11048: Metodo di misura delle vibrazioni negli edifici al fine della valutazione del disturbo;
- ISO 9916: Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici.

Le aree di cantiere per la realizzazione di impianti agrivoltaici, e le tematiche ad esse relative oggetto di tale relazione, interessano solitamente suoli e zone a carattere quasi esclusivamente di tipo rurale localizzate e pertanto in luoghi ove la presenza di strutture ed edifici è solitamente scarsa, poco concentrata e costituita per lo più da fabbricati per il ricovero di mezzi agricoli o, in casi meno frequenti, da strutture abitative di altezza comunque contenuta (max 2-3 piani) e le cui distanze, anche nell'ottica del rispetto dei requisiti di impatto acustico per la realizzazione delle turbine, risulta quasi sempre non inferiore i 200-300 m in linea



d'aria. In questo, risulta chiaramente evidente come la tematica legata ai potenziali danni agli edifici sia intrinsecamente esclusa, e quanto poco probabile e/o rilevante possano essere invece le ripercussioni in termini di esposizione umana essendo le aree di cantiere, di tipo temporaneo, dislocate in ambiente aperto ove la propagazione di rumore e vibrazioni è di tipo sferico (quindi proiettata lungo tutte le direzioni e non in modo esclusivo e diretto nei confronti di una o più zone edificate) e dove non sono valutati e considerati tutti gli elementi di tipo naturale e/o artificiale, la cui presenza esercita un effetto barriera alla propagazione delle onde.

1.4 Parametri di trasmissione delle vibrazioni

Le vibrazioni possono essere valutate in tre diverse modalità:

- In termini di spostamento (variazione della posizione di un corpo o di una particella, che è di solito misurata a partire dalla media delle posizioni assunte dal corpo o dalla particella stessa oppure dalla posizione di quiete);
- In termini di velocità (variazione dello spostamento rispetto al punto di riferimento, in un determinato intervallo di tempo).

Si utilizza il valore di picco (PPV peak particle velocity) definito come il picco massimo istantaneo positivo o negativo del segnale di vibrazione.

Tale grandezza è utile per valutare potenziali danni agli edifici ma non è adeguata per valutare la risposta umana.

Per poter studiare la risposta umana alle vibrazioni occorre considerare il valore efficace della velocità (RMS),

definito come la radice quadrata della media della velocità istantanea al quadrato.

Infine si utilizza, come per le grandezze acustiche, il livello associato al valore efficace della velocità L_V , che si misura in dB ed è definito a seguire attraverso l'equazione:

$$L_V = 20 \log \left(\frac{v}{v_0} \right)$$

dove v è il valore efficace della velocità istantanea e v_0 è il valore di riferimento ($v_0 = 10^{-9}$ m/sec)

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

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

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

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

I parametri fisici che influenzano le vibrazioni via terra si possono dividere in tre categorie:

- Fattori legati a tipologie di sorgenti e modalità operative (Fase di Cantiere);
- Fattori Geologici;
- Fattori Strutturali e caratteristiche dei recettori (Edifici-Strutture e Fabbricati).

Nella prima categoria rientrano tutti i parametri collegati ai mezzi di escavazione e sbancamento del materiale. Le attività connesse alla fase di escavazione generano livelli vibratorii di vari gradi in relazione ai macchinari e ai mezzi impiegati. Le attività che tipicamente generano livelli di vibrazioni pericolosi sono associate all'uso di esplosivi e attrezzature d'impatto (battipalo).

Nella categoria "Fattori Geologici" rientrano le condizioni e la tipologia del suolo e del substrato in quanto influenzano fortemente i livelli vibratorii.

In tali condizioni rientrano:

- Rigidità del terreno;
- Livello di smorzamento interno del terreno;
- Profondità del substrato roccioso.

Inoltre, esistono ulteriori fattori che possono avere effetti significativi sulla propagazione delle vibrazioni nel terreno:

- Stratificazione del terreno;
- Profondità delle falde acquifere.

Mentre per quanto concerne le caratteristiche dei recettori, esse costituiscono una componente fondamentale nella valutazione delle vibrazioni via terra.

Tali vibrazioni, indotte da mezzi di cantiere, possono essere percepite da persone che si trovano sia all'esterno che all'interno di un edificio.

Ovviamente i livelli di vibrazioni dentro un edificio dipendono dall'energia vibratoria che interessa le fondazioni, dall'accoppiamento tra le fondazioni e il terreno e dalla propagazione della vibrazione attraverso la struttura dell'edificio. Le sorgenti di vibrazioni provocano effetti che si propagano attraverso il terreno e diminuiscono di intensità con la distanza. Gli edifici subiscono effetti che si possono classificare in una scala da non percepibili (livelli di vibrazione bassi), a suoni a bassa frequenza e vibrazioni percepibili (livelli di vibrazione medi) fino a livelli tali da provocare danni alle strutture.

1.5 Modello previsionale

Il modello di propagazione classico per la stima delle vibrazioni indotte prevede la seguente procedura:

- si determinano le apparecchiature impiegate e i relativi livelli di vibrazione forniti, generalmente, a una distanza di riferimento;
- si applica il modello di propagazione classico per la stima del livello di accelerazione prevista descritto dalla seguente equazione (Dong-Soo, Jin-Sun Lee):

$$w_2 = w_1 \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^n e^{-\alpha(r_2-r_1)}$$

dove, w_1 e w_2 rappresentano le ampiezze delle vibrazioni rispettivamente alla distanza r_1 e r_2 dalla sorgente; n è il coefficiente di smorzamento geometrico e α è il coefficiente di smorzamento del materiale.

Il coefficiente di smorzamento geometrico rappresenta l'attenuazione che si verifica a causa della diminuzione della densità di energia all'aumentare della distanza dalla sorgente e può essere determinato conoscendo il tipo onda che si propaga, il tipo di sorgente e il luogo di emissione della vibrazione, che generalmente varia tra 0,5 e 2,0. Il coefficiente di smorzamento del materiale tiene conto della riduzione di energia delle vibrazioni a causa dell'attrito e della coesione tra le particelle di terreno, essendo quest'ultimo non perfettamente elastico. Tale attenuazione, dovuta allo smorzamento del materiale, è influenzata sia dal tipo di terreno che dalla frequenza delle vibrazioni.

Il coefficiente α può essere calcolato come con la seguente formula:

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

Dove η rappresenta il fattore di perdita del terreno e c la velocità di propagazione dell'onda [m/s].

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

In Tabella 1 vengono riportati gli esempi di valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali in relazione ai differenti substrati litologici che si possono incontrare.

| Tipologia di substrato | Velocità di propagazione onda longitudinale [m/s] | Fattore di perdita [η] | Massa volumica [kg/m ³] |
|------------------------|---|-------------------------------|-------------------------------------|
| Roccioso | 3.500 | 0,01 | 2.650 |
| Sabbioso | 600 | 0,1 | 1.600 |
| Argilloso | 1.500 | 0,5 | 1.700 |

Tabella 1 - Esempi di valori di velocità di propagazione, fattore di perdita e massa volumica nelle diverse tipologie di substrato

Una volta determinato il valore dell'accelerazione si può procedere con il calcolo del livello ponderato di accelerazione che occorre confrontare con i criteri di valutazione del disturbo o del danno degli edifici.

1.6 Danno a strutture ed edifici

L'utilizzo di macchine battipalo, demolizioni, perforazioni, scavi in prossimità di strutture o edifici sensibili costituiscono le attività principali soggette a valutazione per quanto concerne il rischio per strutture ed edifici. I livelli di impulso e di vibrazione di grande ampiezza devono essere valutati con riferimento ai loro potenziali effetti sui fabbricati e sulle strutture. La definizione di un limite di sicurezza per la velocità di

vibrazione non è univoca: una rassegna completa dei valori di riferimento per la valutazione degli effetti delle vibrazioni, proprio in termini di velocità di picco puntuale (PPV) è riportata nella normativa di riferimento UNI 9916. Il criterio adottato pone i seguenti limiti:

- 5 mm/s per edifici residenziali (vibrazioni durature);
- 2.5 mm/s per edifici storici estremamente fragili (vibrazioni durature).

Tali valori rappresentano i limiti più cautelativi ed essi sono generalmente più elevati di quelli derivanti dal non disturbo alle persone. Solo in presenza di un fattore di cresta molto elevato, maggiore di 18 dB, potrebbe infatti verificarsi il caso di superamento del limite di danno strutturale senza che si verifichi il superamento del limite di disturbo alle persone. Si definisce pertanto “fattore di cresta” la differenza fra il valore massimo di picco di una forma d’onda e il suo valore efficace. Per una forma d’onda sinusoidale, il fattore di cresta risulta essere pari a 3 dB, per un segnale con più componenti e con forma d’onda molto “aspra”, il fattore di cresta può facilmente essere superiore ai 10 dB, ed in alcuni casi (eventi impulsivi quali martellate, esplosioni, etc.) può anche superare i 20 dB. La circostanza in oggetto risulta però altamente improbabile tanto che è possibile assumere che il rispetto dei limiti di non-disturbo alle persone, fornisce sufficienti garanzie di non avere effetti dannosi per le strutture edilizie.

1.7 Rischio esposizione umana

Nel caso di strutture classificate come recettori, ed in generale in tutti i corpi o edifici il disturbo può essere percepito sia come vibrazione meccanica degli elementi edilizi (groundborne vibration), sia come rumore irraggiato nei locali dagli orizzontamenti, dalle pareti e dagli infissi (groundborne noise). Tali disturbi diminuiscono con la distanza dalla sorgente in modo rapido. L’entità dell’effetto disturbante legato alla vibrazione dipende da molti altri fattori oltre la distanza dalla sorgente. Tali fattori sono legati alle attenuazioni o amplificazioni nella struttura degli edifici, dovuti principalmente alla tipologia dei sistemi di fondazione. La UNI 9614, norma di riferimento relativamente alla soglia di percezione delle vibrazioni individua il valore di riferimento pari a: $a_{soglia\ z} = 5 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$ corrispondenti a 74 dB (per $a_0 = 10^{-6} \text{ m/sec}^2$) per l’asse z e $a_{soglia\ x/y} = 3.6 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$ corrispondenti a 71 dB (per $a_0 = 10^{-6} \text{ m/sec}^2$) per gli assi x e y.

In Tabella 2 viene sintetizzata ed evidenziata la soglia dei valori limite utili ad evitare il disturbo in relazione alle destinazioni d’uso delle aree/strutture oggetto di analisi. Inoltre, deve essere assegnata una classificazione di sensibilità dei recettori adiacenti alle sorgenti. Le classi di sensibilità devono essere

definite sulla base della destinazione d'uso dell'immobile, in conformità con la Norma UNI 9614, prescindendo da considerazioni delle caratteristiche dei singoli fabbricati quali, ad esempio, lo stato di conservazione e la tipologia costruttiva dell'immobile.

| Valori e livelli limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza per gli assi X e Y | | |
|---|-----------------------|----|
| Destinazione d'uso | Accelerazione | |
| | m/s ² | dB |
| Aree critiche | 3,6x10 ⁻³ | 71 |
| Abitazioni notte | 5,0x10 ⁻³ | 74 |
| Abitazioni giorno | 7,0x10 ⁻³ | 77 |
| Uffici | 14,4x10 ⁻³ | 83 |
| Fabbriche | 28,8x10 ⁻³ | 89 |

| Valori e livelli limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza per l'asse Z | | |
|---|-----------------------|----|
| Destinazione d'uso | Accelerazione | |
| | m/s ² | dB |
| Aree critiche | 5,0x10 ⁻³ | 74 |
| Abitazioni notte | 7,0x10 ⁻³ | 77 |
| Abitazioni giorno | 10,0x10 ⁻³ | 80 |
| Uffici | 20,0x10 ⁻³ | 86 |
| Fabbriche | 40,0x10 ⁻³ | 92 |

Tabella 2 - Valutazione del disturbo UNI 9614 - Valori e livelli limite delle accelerazioni

Le aree critiche corrispondono alle aree archeologiche di importanza storico-monumentale, infrastrutture sanitarie, fabbricati scolastici di qualsiasi genere. Rientrano in tali classi aree anche le attività industriali che impiegano macchinari di precisione. Per fabbriche e affini devono essere inoltre applicati i valori limite sanciti nel D.Lgs 81/2008 per l'esposizione dei lavoratori a vibrazioni meccaniche

1.8 Stima previsionale delle vibrazioni in fase di esercizio

L'impianto agrivoltaico in oggetto è composto sostanzialmente da tre componenti tecnici principali: il generatore fotovoltaico, i gruppi di conversione di energia elettrica e la stazione di elevazione AT/MT. Il

generatore è costituito dai moduli fotovoltaici, connessi in serie/parallelo per ottenere livelli di tensione e corrente idonei all'accoppiamento con i gruppi di conversione. Tali moduli, colpiti dalla luce solare, producono energia elettrica in corrente continua, che prima di poter essere immessa in rete deve preventivamente essere convertita in corrente alternata ed elevata a opportuni valori di tensione. Tali operazioni si realizzano mediante l'uso inverter e trasformatori, che generalmente vengono alloggiati in cabine poste all'interno del layout del campo fotovoltaico. Nel caso in esame, la conversione della corrente continua in alternata viene effettuata da opportuni gruppi di conversione (inverter) detti di

Stringa. La fase di adattamento della tensione ai livelli necessari alla distribuzione è a carico di trasformatori posti all'interno di cabine di trasformazione. Tali cabine sono a loro volta collegate a una rete di raccolta dalla quale poi si sviluppa una linea MT interrata per il trasferimento dell'energia alla rete elettrica.

Nel complesso, per tale tipologia di impianti, le apparecchiature elettriche utilizzate possibili fonte di rumore e vibrazioni sono dunque:

- moduli fotovoltaici;
- inverter;
- trasformatori.

I moduli fotovoltaici sono apparecchiature statiche che non comportano né emissioni acustiche, né la trasmissione di vibrazioni al terreno per cui possono essere escluse dallo studio in esame. Inverter e trasformatori sono generalmente i dispositivi responsabili di emissioni acustiche a causa dell'esigenza di raffreddamento dei componenti elettronici di cui sono costituiti mediante l'utilizzo di ventole di raffreddamento in numero e dimensioni variabili in funzione della tipologia e della potenza. Tuttavia, per quanto riguarda le vibrazioni emesse da tali dispositivi, queste hanno intensità estremamente contenute, tali da risultare efficacemente smorzate dal terreno già a distanze di pochi metri (1-2 m). Per cui si ritiene che le vibrazioni prodotte dalle apparecchiature elettriche oggetto di studio risultino sostanzialmente non rilevabili/impercettibili a distanza di pochi metri. Dunque si può concludere che l'apporto in termini di effetti o sensazioni di vibrazione nei confronti di specifici recettori e/o strutture e fabbricati di qualsiasi natura, durante la fase di esercizio si attesta su livelli di vibrazione con valori inferiori la soglia di percezione umana e pertanto il loro contributo può essere considerato trascurabile e/o nullo.



1.9 Stima previsionale delle vibrazioni in fase di cantiere

Per quanto concerne le fasi di cantiere per la costruzione delle opere elettriche descritte, non è previsto l'impiego di esplosivi durante i lavori di demolizione o scavo, e pertanto risulta assolutamente improbabile che vi possano essere danni alle strutture ed edifici nel corso delle escavazioni, anche per quei recettori posti a distanze relativamente più vicine.

Nelle seguenti immagini sono stati individuati i recettori sensibili sia in prossimità dell'impianto che delle linee di collegamento MT esterne.



Figura 2 - Recettori sensibili macro-area Est





Figura 3 - Recettori sensibili lungo la linea di collegamento MT le macro-aree Est e Sud



Figura 4 - Recettori sensibili macro-area Sud





Figura 5 - Recettori sensibili lungo la linea di collegamento MT le macro-area Sud e piastra Nord





Figura 6 - Recettori sensibili piastra Nord

Nella seguente tabella sono riportati tutti i recettori sensibili con le relative localizzazioni e distanze.

| Tabella recettori sensibili | | | |
|-----------------------------|---------------|---------------|-----------|
| Recettore | Latitudine | Longitudine | Quota (m) |
| R1 da impianto | 44°51'31.23"N | 11°20'6.36"E | 102 |
| R2 da impianto | 44°51'27.59"N | 11°20'15.64"E | 86 |
| R3 da impianto | 44°51'18.19"N | 11°20'25.93"E | 166 |
| R4 da impianto | 44°51'14.92"N | 11°19'52.14"E | 172 |
| R5 da impianto | 44°51'11.61"N | 11°19'51.34"E | 149 |
| R6 da impianto | 44°51'1.63"N | 11°19'55.48"E | 65 |
| R7 da impianto | 44°50'57.77"N | 11°19'59.57"E | 152 |
| R8 da impianto | 44°51'7.18"N | 11°20'13.89"E | 158 |
| R9 da impianto | 44°50'48.86"N | 11°20'30.29"E | 82 |
| R10 da impianto | 44°50'41.06"N | 11°20'31.82"E | 78 |
| R11 da impianto | 44°50'40.40"N | 11°20'24.41"E | 86 |
| R12 da impianto | 44°50'36.22"N | 11°20'20.39"E | 92 |
| R13 da impianto | 44°50'32.51"N | 11°20'21.80"E | 89 |
| R14 da impianto | 44°50'6.09"N | 11°20'36.41"E | 72 |
| R15 da impianto | 44°50'30.43"N | 11°19'58.02"E | 40 |
| R16 da impianto | 44°50'39.56"N | 11°19'55.54"E | 65 |
| R17 da impianto | 44°50'26.62"N | 11°19'51.50"E | 68 |
| R18 da impianto | 44°50'24.78"N | 11°19'38.68"E | 46 |

| | | | |
|-----------------|---------------|---------------|-----|
| R19 da impianto | 44°50'19.58"N | 11°19'31.20"E | 48 |
| R20 cavidotto | 44°50'17.42"N | 11°19'25.26"E | 25 |
| R21 cavidotto | 44°50'12.29"N | 11°19'18.62"E | 23 |
| R22 cavidotto | 44°50'9.49"N | 11°19'15.99"E | 16 |
| R23 cavidotto | 44°50'5.11"N | 11°19'10.99"E | 8 |
| R24 cavidotto | 44°50'0.66"N | 11°19'8.44"E | 6 |
| R25 cavidotto | 44°50'0.29"N | 11°19'5.39"E | 55 |
| R26 cavidotto | 44°49'57.57"N | 11°19'4.69"E | 16 |
| R27 cavidotto | 44°49'57.05"N | 11°18'49.57"E | 15 |
| R28 cavidotto | 44°49'59.35"N | 11°18'36.76"E | 38 |
| R29 cavidotto | 44°50'2.44"N | 11°18'31.15"E | 25 |
| R30 cavidotto | 44°50'1.90"N | 11°18'23.02"E | 46 |
| R31 cavidotto | 44°49'41.34"N | 11°18'5.98"E | 6 |
| R32 cavidotto | 44°49'23.23"N | 11°17'14.80"E | 42 |
| R33 cavidotto | 44°49'21.23"N | 11°17'0.00"E | 80 |
| R34 cavidotto | 44°49'15.94"N | 11°16'59.65"E | 15 |
| R35 cavidotto | 44°49'10.78"N | 11°16'41.39"E | 100 |
| R36 da impianto | 44°49'22.71"N | 11°16'2.04"E | 8 |
| R37 da impianto | 44°49'18.99"N | 11°15'32.85"E | 43 |
| R38 cavidotto | 44°49'26.66"N | 11°15'6.24"E | 8 |
| R39 cavidotto | 44°49'28.75"N | 11°15'6.77"E | 18 |
| R40 cavidotto | 44°49'35.41"N | 11°14'59.21"E | 15 |
| R41 cavidotto | 44°49'47.88"N | 11°14'44.91"E | 25 |
| R42 cavidotto | 44°49'51.96"N | 11°14'46.23"E | 30 |
| R43 cavidotto | 44°50'3.11"N | 11°14'46.10"E | 10 |
| R44 cavidotto | 44°50'6.18"N | 11°14'47.66"E | 65 |
| R45 cavidotto | 44°50'11.13"N | 11°14'42.98"E | 30 |
| R46 cavidotto | 44°50'11.52"N | 11°14'45.98"E | 6 |
| R47 cavidotto | 44°50'15.38"N | 11°14'50.50"E | 10 |
| R48 cavidotto | 44°50'15.45"N | 11°14'47.08"E | 42 |
| R49 cavidotto | 44°50'17.54"N | 11°14'43.09"E | 9 |
| R50 cavidotto | 44°50'19.78"N | 11°14'35.99"E | 6 |
| R51 cavidotto | 44°50'24.50"N | 11°14'28.88"E | 12 |
| R52 cavidotto | 44°50'25.88"N | 11°14'22.91"E | 12 |
| R53 cavidotto | 44°51'1.34"N | 11°14'29.20"E | 41 |
| R54 cavidotto | 44°51'3.40"N | 11°14'18.53"E | 18 |
| R55 cavidotto | 44°51'7.65"N | 11°14'21.72"E | 30 |
| R56 da impianto | 44°51'13.85"N | 11°14'22.12"E | 150 |
| R57 da impianto | 44°51'28.38"N | 11°14'23.65"E | 102 |

Tabella 3 – Localizzazione recettori sensibili

Ai fini dell'applicazione del modello previsionale per la stima del potenziale disturbo indotto, sono stati assunti i parametri di seguito riportati.

In relazione alle caratteristiche del sottosuolo, sono stati adottati i seguenti valori:

- $\eta = 0,1$, corrispondente al fattore di perdita del substrato, scelto nell'ipotesi più sfavorevole possibile e secondo un approccio fortemente cautelativo nei confronti dei recettori;
- c , ovvero la velocità di propagazione dell'onda di Rayleigh (V_R), pari a 119,6 m/s, valore in linea con quelli presenti in letteratura per le macro-categorie di sottosuolo, come riportato nella tabella seguente (Tabella 6: valori tipici delle velocità di propagazione delle onde per differenti tipologie di sottosuolo – Classi di suolo, con $V_r = 0,92 V_s$).

Attività di scavo e battitura dei pali all'interno dei lotti

Per le attività di escavazione e di movimentazione terreno all'interno del campo la sorgente considerata è stato preso in esame un escavatore cingolato di media dimensione (20 ton), il cui spettro è stato misurato a una distanza di 10 m, assumendo il tipo di substrato precedentemente descritto e adottando un'impostazione estremamente cautelativa per i recettori, riferita a un'area di intervento "tipo".

Il valore soglia del livello di accelerazione ponderata è stato fissato pari a 77 VdB. Tale scelta è motivata dal fatto che le attività di cantiere, comprese quelle di escavazione, si svolgono esclusivamente nel periodo di riferimento diurno. Di conseguenza, il potenziale disturbo non è associabile al periodo notturno e non può pertanto influire sulle ore destinate al riposo.

Già a distanze di circa 17 m dalla sorgente analizzata, i livelli di accelerazione totale ponderata in frequenza, determinati mediante la somma dei contributi relativi a tutte le bande di terzo di ottava, risultano inferiori al valore soglia di disturbo, pari a 77 VdB. Tale condizione si verifica anche adottando le ipotesi più cautelative possibili in relazione alle caratteristiche del substrato litologico e ai meccanismi di propagazione delle sollecitazioni all'interno del mezzo.

Non sono presenti recettori sensibili al di sotto dei 20 m dalle aree d'impianto delimitate dalla recinzione.

Per quanto riguarda l'attività di battitura pali, il livello di pressione sonora stimato a 70 metri generato da una macchina battipalo tipica per impianti fotovoltaici in campo aperto (fase di infissione dei pali), in condizioni di propagazione semisferica su terreno, è di circa 76 dB(A).

Rispetto ai valori riportati in tabella le strutture e quindi i pali saranno posizionate internamente alla recinzione. Si può quindi considerare un ulteriore offset di 10 metri che dovranno essere aggiunti ai valori di riferimento specificati in Tabella 3.

Per il recettore R 36 si registra una distanza di $8+10=18$ metri con relativo valore di circa 88 dB(A). Nel caso specifico trattandosi di edifici identificati ad uso abitativo per il rispetto del parametro occorrerà procedere all'infissione dei pali con mezzi idonei a garantire il rispetto dei valori specifici o altrimenti bisognerà porre una distanza di 63 metri dal recettore individuato.

Per il recettore R 37 si registra una distanza di $43+10=53$ m con relativo valore di 78,5 dB(A). Nel caso specifico si tratta di impianto Biogas e quindi il limite (come da Tabella 2, impianto industriale) è da ritenersi rispettato se inferiore a 92 dB.

Attività di scavo cavidotto esterno

Per quanto riguarda le valutazioni relative alla posa del cavidotto di collegamento alla stazione elettrica si analizza l'utilizzo di mezzo miniescavatore cingolato (max 5 ton).

In questo caso, pur in presenza di recettori localizzati a distanze relativamente ridotte rispetto al tracciato stradale, le lavorazioni svolte in prossimità immediata degli edifici sono limitate a intervalli temporali molto contenuti, con una durata massima dell'ordine di alcune ore, in quanto l'esecuzione procede progressivamente lungo il tracciato del cavidotto.

Il livello di pressione sonora stimato a 5 metri dal miniescavatore JCB 18Z-1, considerando la riflessione di un fabbricato, è di circa 74 dB(A).

Per il calcolo analitico si utilizzano i dati tecnici ufficiali del modello JCB 18Z-1 e le costanti fisiche di propagazione sonora:

- Livello di potenza sonora garantito (LWA): 93 dB(A) (Direttiva 2000/14/CE).
- Distanza dalla sorgente (r): 5 m.
- Tipo di propagazione: Semisferica (sorgente posta su piano riflettente/terreno).
- Fattore di direttività (Q): 2

In prossimità di una facciata di un fabbricato (superficie riflettente), il livello di pressione sonora aumenta a causa del contributo dell'onda riflessa. Per una riflessione energetica standard, si applica una correzione (C_{refl}).

Sal calcolo analitico per il miniescavatore JCB 18Z-1 determina un livello di pressione sonora risultante a 5 metri di distanza, in presenza di un fabbricato, di 74,0 dB(A) e pertanto al di sotto del limite dei 77 dB(A).

Non sono presenti recettori sensibili al di sotto dei 5 m dalle aree in cui sarà prevista la posa del cavidotto. Qualora per motivazioni specifiche si dovesse scendere al di sotto di questa distanza, saranno messe in atto specifiche misure di mitigazione ad esempio con impiego, nei tratti specifici, di mezzi di scavo idonei a garantire il rispetto dei limiti di legge.

1.10 Conclusioni

Per un impianto fotovoltaico in fase di esercizio si può concludere che, per quanto attiene l'emissione di vibrazioni da parte delle apparecchiature elettriche, l'apporto in termini di effetti o sensazioni di vibrazione nei confronti di specifici recettori e/o strutture e fabbricati di qualsiasi tipologia, durante l'attività produttiva si attesta su livelli inferiori la soglia di percezione umana e pertanto il loro contributo può essere considerato trascurabile e/o nullo.

Allo stesso modo per la fase di cantiere l'impatto causato dalle vibrazioni durante la realizzazione dell'impianto fotovoltaico in oggetto è assolutamente trascurabile poiché alcun recettore riceve un fenomeno vibrazionale tale da ingenerare disturbo ad eccezione del recettore R 36 per il quale dovranno essere adottate misure di mitigazione in fase di infissione pali. Si raccomanda in fase di progettazione esecutiva di eseguire in base al design finale di impianto specifiche misurazioni in campo anche in relazione ai macchinari che saranno realmente utilizzati in fase di cantiere.

In merito alla fase di realizzazione del cavidotto esterno, possono verificarsi solo lievi disturbi in elazione ai recettori posti più in prossimità del tracciato stradale, essendo le lavorazioni in prossimità di alcuni edifici ma concentrate in periodi di tempo estremamente ridotti.

Qualora per motivazioni specifiche (ad esempio variazioni di tracciato) si dovesse scendere al di sotto delle distanze minime verificate, saranno messe in atto specifiche misure di mitigazione ad esempio con impiego, nei tratti specifici, di mezzi di scavo idonei a garantire il rispetto dei limiti di legge.



INDICE DELLE FIGURE

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Impianto fotovoltaico e tracciati cavidotto MT | 3 |
| Figura 2 - Recettori sensibili macro-area Est..... | 14 |
| Figura 3 - Recettori sensibili lungo la linea di collegamento MT le macro-aree Est e Sud..... | 15 |
| Figura 4 - Recettori sensibili macro-area Sud..... | 15 |
| Figura 5 - Recettori sensibili lungo la linea di collegamento MT le macro-area Sud e piastra Nord | 16 |
| Figura 6 - Recettori sensibili piastra Nord | 17 |

INDICE DELLE TABELLE

| | |
|---|----|
| Tabella 1 - Esempi di valori di velocità di propagazione, fattore di perdita e massa volumica nelle diverse tipologie di substrato..... | 10 |
| Tabella 2 - Valutazione del disturbo UNI 9614 - Valori e livelli limite delle accelerazioni | 12 |
| Tabella 3 – Localizzazione recettori sensibili | 18 |

