

REGIONE PUGLIA
PROVINCIA DI FOGGIA

Comune:
Troia

Località "Perazzone - S. Andrea - Convegna"

PROGETTO DEFINITIVO DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO E RELATIVE OPERE
DI CONNESSIONE ALLA RTN NEL COMUNE DI TROIA AVENTE POTENZA
NOMINALE PARI A 40 MW E POTENZA DI CONNESSIONE PARI A 34,825 MW

Sezione SIA:

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE ED ALLEGATI

Titolo elaborato:

STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI

N. Elaborato: SIA07.IA.03

Scala: -

Committente

ENGIE NDT S.r.l.

Via Chiese, 72 -
20126 MILANO
PART.IVA/CF: 12112940965

Progettazione



sede legale e operativa

San Giorgio Del Sannio (BN) via de Gasperi 61

sede operativa

Lucera (FG) Via Alfonso La Cava 114

P.IVA 01465940623

Azienda con sistema gestione qualità Certificato N. 50 100 11873



Progettista

Dott. Ing. Massimo Lepore



Rev.	Data	Elaborazione	Approvazione	Emissione	DESCRIZIONE
00	GENNAIO 2022	GT sigla	PI sigla	ML sigla	Emissione Progetto Definitivo

Nome File sorgente	FV.TRO03.PD.SIA07.IA03.doc	Nome file stampa	FV.TRO03.PD.SIA07.IA03.pdf	Formato di stampa	A4
--------------------	----------------------------	------------------	----------------------------	-------------------	----

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03 25/01/2022 00 1 di 28
---	---	---	--

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03 25/01/2022 00 2 di 28
---	---	---	--

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03 25/01/2022 00 3 di 28
---	---	---	--

INDICE

1. PREMESSA	4
1.1. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO	4
1.2. INDIVIDUAZIONE E SCELTA DEI RECETTORI	8
1.2.1. RECETTORI RELATIVI ALLA REALIZZAZIONE DEL CAVIDOTTO IN FASE DI CANTIERE	14
2. CENNI TEORICI SULLE VIBRAZIONI	16
2.1. DEFINIZIONI E NOZIONI GENERALI (FONTE ISPRA)	16
2.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	18
2.3. CASO STUDIO E PARAMETRI DI TRASMISSIONE DELLE VIBRAZIONI	19
2.4. MODELLO PREVISIONALE	20
2.5. RISCHIO DEL DANNO A STRUTTURE ED EDIFICI	22
2.6. RISCHIO ESPOSIZIONE UMANA – RISCHIO DISTURBO	22
3. STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI ESERCIZIO	24
4. STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI CANTIERE	25
5. CONCLUSIONI	27
BIBLIOGRAFIA	28

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03 25/01/2022 00 4 di 28
---	---	---	--

1. PREMESSA

Il progetto descritto nella presente relazione riguarda la realizzazione di un impianto fotovoltaico di potenza nominale 40,065 MWp, da installarsi nel territorio del comune di Troia (FG) in località “Perazzone - S. Andrea – Convegna”.

Proponente dell’iniziativa è la società ENGIE NDT S.r.l. con sede in Via Chiese, 72 - 20126 MILANO.

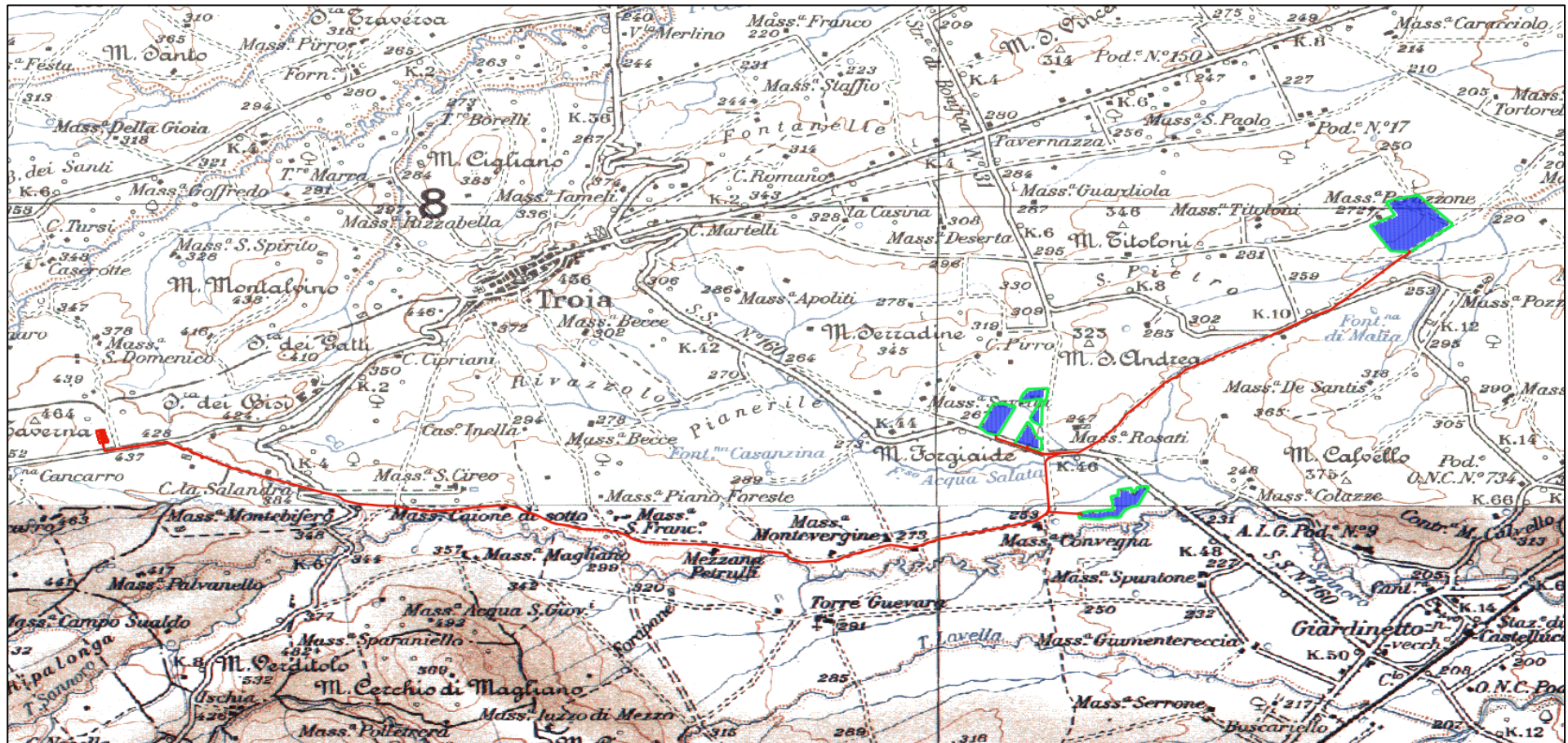
La presente relazione, nel dettaglio, si pone lo scopo di valutare l’entità delle vibrazioni generate durante la fase di cantiere, per la realizzazione del progetto, e durante la fase di esercizio dell’impianto fotovoltaico al fine di verificare che queste non arrechino disturbo alle attività circostanti, alla popolazione umana ed in generale ai recettori sensibili presenti.

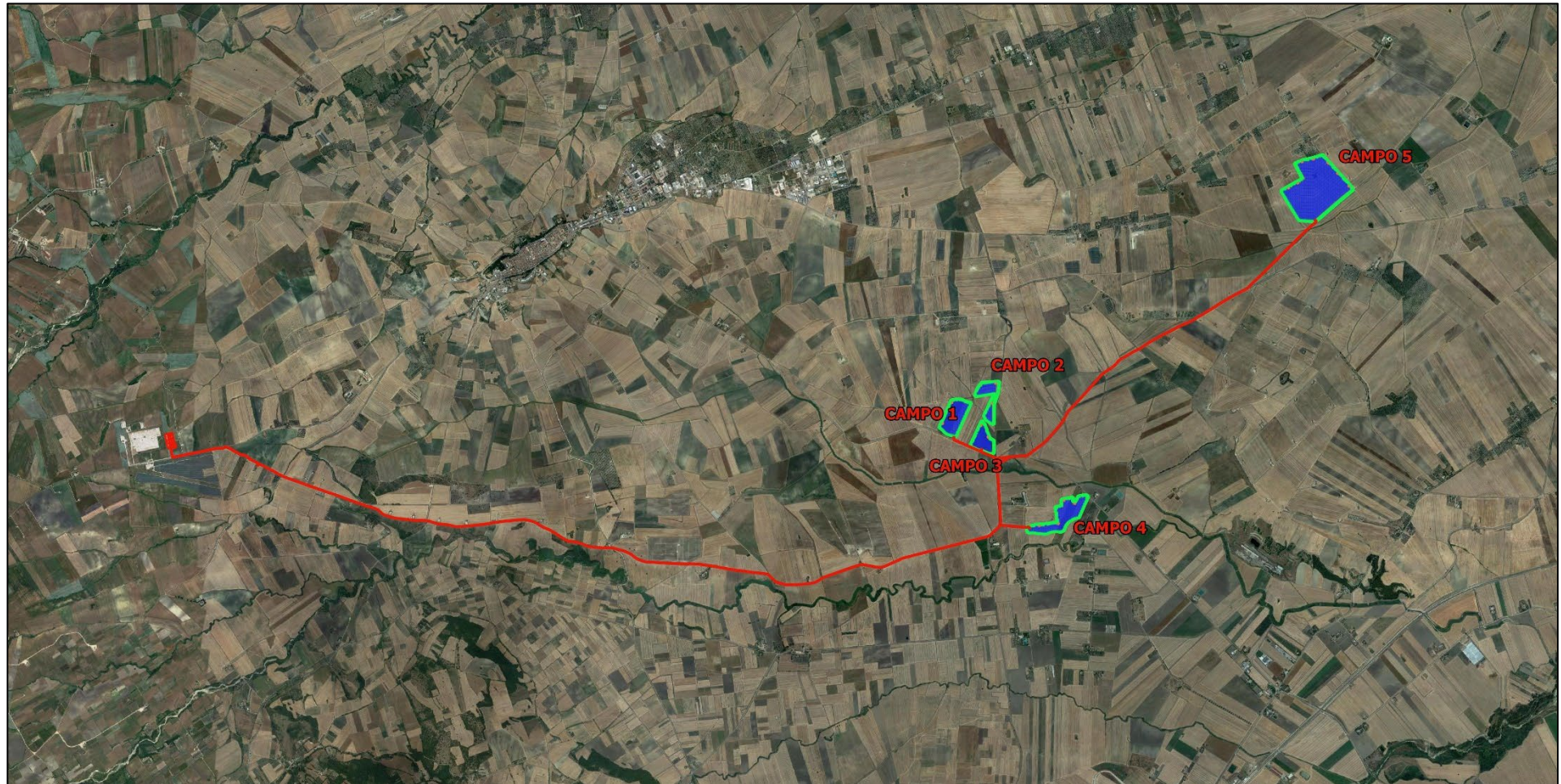
1.1. Descrizione sintetica del progetto

Come detto il progetto prevede la realizzazione di un nuovo impianto fotovoltaico di potenza nominale 40,065 MWp ed è costituito da 60704 moduli in silicio monocristallino ognuno di potenza pari a 660 Wp la cui installazione è prevista in agro del comune di Troia (FG) in località “Perazzone - S. Andrea – Convegna”.

L’impianto è organizzato in cinque campi: un campo è previsto in adiacenza alla SP 114 in località “Perazzone” a circa 8,6 km in direzione Est dal centro urbano del Comune di Troia; un secondo campo è localizzato in adiacenza alla SP 109 in località “Convegna” e i restanti campi sono localizzati in prossimità dell’incrocio tra la SP112 e la SP109 in località “S. Andrea”, questi ultimi localizzati rispettivamente a circa 5,5 e 5,2 km in direzione Sud-Est dal centro urbano del Comune di Troia. L’area è a carattere sostanzialmente pianeggiante con l’orografia che presenta una variabilità altimetrica modesta, con valori che si attestano tra i 200 e 300 m s.l.m.

Si riporta di seguito l’inquadramento territoriale su stralcio di cartografia IGM e a seguire su planimetria satellitare estratta da Google Earth.





 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03 25/01/2022 00 8 di 28
---	---	---	--

1.2. Individuazione e scelta dei recettori

Ai fini della previsione degli impatti indotti dall'impianto di progetto, sono stati individuati i "ricettori sensibili", facendo riferimento al **DPCM 14/11/97** e alla **Legge Quadro n.447/95**, che stabiliscono che la verifica dei limiti di immissione acustica va effettuata in corrispondenza degli ambienti abitativi, definiti come:

"ogni ambiente interno ad un edificio destinato alla permanenza di persone o di comunità ed utilizzato per le diverse attività umane, fatta eccezione per gli ambienti destinati ad attività produttive per i quali resta ferma la disciplina di cui al D.Lgs. 15 agosto 1991, n. 277 (2), salvo per quanto concerne l'immissione di rumore da sorgenti sonore esterne ai locali in cui si svolgono le attività produttive".

Per il sito in esame, sono state prese in considerazione e valutate tutte le strutture presenti nell'area limitrofa i punti di futura installazione dell'impianto di progetto. In particolare, per la scelta dei recettori da considerare per l'impatto dovuto alle vibrazioni derivante dall'installazione delle apparecchiature dell'impianto si faccia riferimento agli elaborati specifici:

- **SIA06.IR.01** - PLANIMETRIA SU ORTOFOTO CONTENENTE L'INDIVIDUAZIONE DEI FABBRICATI DESUNTI DA CARTOGRAFIE
- **SIA06.IR.02** - PLANIMETRIA SU CATASTALE CONTENENTE L'INDIVIDUAZIONE DEI FABBRICATI DESUNTI DA CARTOGRAFIE
- **SIA06.IR.03** - DOCUMENTAZIONE RELATIVA AI FABBRICATI NON CONSIDERATI RECETTORI

Pertanto, sono state individuate 18 strutture aventi caratteristiche di abitabilità, e sebbene a distanze significative dalle sorgenti emissive, risultano essere le uniche strutture potenzialmente esposte alle emissioni acustiche e alle vibrazioni derivanti dal funzionamento delle apparecchiature durante la fase di esercizio dell'impianto e dei macchinari e dei mezzi di movimentazione che operano durante la fase di cantiere. Ulteriori 3 strutture sono state selezionate in quanto ricadenti in un buffer di 100 m di distanza dal tracciato del cavidotto di connessione dell'impianto fotovoltaico alla stazione elettrica 150/380 kV RTN-TERNA di Troia. La scelta di queste ulteriori strutture è stata effettuata al fine di valutare l'impatto indotto dalle vibrazioni generate nella sola fase di cantiere durante le attività di scavo e di posa in opera del cavidotto di connessione. Maggiori dettagli rispetto a questi ulteriori recettori sono riportati nel paragrafo a seguire.

A seguire saranno proposte la tabella di inquadramento dei recettori, la matrice delle distanze dei recettori dalle cabine di campo presenti nel layout dell'impianto e le immagini relative alle porzioni di territorio interessate rispettivamente dall'impianto di progetto e dai recettori individuati e considerati nel modello di stima previsionale.

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03 25/01/2022 00 9 di 28
---	---	---	--

Tabella 1: Coordinate di inquadramento geografico dei recettori sensibili individuati.

ID RICEVITORE	Coordinate WGS 84 UTM 33 [m]		Quota s.l.m. [m]
	X	Y	
R 1	534518	4580157	252
R 2	534401	4580119	257
R 3	531269	4576937	247
R 4	531269	4576937	247
R 5	531245	4576784	246
R 6	531194	4576117	247
R 7	531227	4576101	247
R 8	531879	4576129	237
R 9	532099	4576173	232
R 10	532241	4576021	232
R 11	530954	4575704	247
R 12	530964	4575625	249
R 13	531082	4575664	247
R 14	532089	4575592	232
R 15	531692	4575288	242
R 16	531561	4575290	242
R 17	531336	4575251	242
R 18	531262	4575237	243

	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03 25/01/2022 00 10 di 28
---	---	---	---

Tabella 2: Inquadramento geografico – coordinate dei recettori nel sistema UTM WGS 84 fuso 33 e distanze con le cabine di campo

COORDINATE E MATRICE DISTANZE SORGENTI / RECETTORI [m]																			
Sorgente sonora			CAB 1	CAB 2	CAB 3	CAB 4	CAB 5	CAB 6	CAB 7	CAB 8	CAB 9	CAB 10	CAB 11	CAB 12	CAB 13	CAB 14	CAB 15	CAB 16	CAB 17
Recettore	Coordinate WGS 84 UTM33 [m]		534281	534386	534433	534559	534723	534830	534957	531881	531763	531700	531485	530834	530909	530949	530994	530403	530507
			4579630	4579687	4579924	4579953	4579911	4579794	4579652	4576095	4576131	4575871	4575846	4576971	4576839	4577220	4577443	4576994	4577229
R 1	534518	4580157	578	488	248	208	321	478	669	4843	4878	5129	5271	4870	4902	4621	4447	5190	4966
R 2	534401	4580119	503	432	198	229	384	537	726	4748	4781	5033	5172	4757	4791	4507	4331	5074	4849
R 3	531269	4576937	4041	4157	4351	4464	4558	4565	4580	1041	946	1150	1112	436	373	427	576	868	816
R 4	531269	4576937	4041	4157	4351	4464	4558	4565	4580	1041	946	1150	1112	436	373	427	576	868	816
R 5	531245	4576784	4162	4277	4474	4586	4677	4681	4691	937	833	1020	967	452	341	528	706	869	863
R 6	531194	4576117	4677	4789	4998	5103	5181	5171	5163	687	570	563	397	927	776	1130	1341	1181	1307
R 7	531227	4576101	4667	4779	4989	5094	5171	5160	5150	654	538	527	363	954	804	1153	1362	1215	1338
R 8	531879	4576129	4246	4353	4574	4670	4732	4706	4679	34	116	314	485	1342	1203	1434	1585	1712	1759
R 9	532099	4576173	4088	4193	4418	4511	4567	4536	4503	232	338	500	695	1496	1364	1555	1684	1885	1911
R 10	532241	4576021	4146	4248	4476	4565	4614	4576	4535	369	491	561	776	1698	1564	1763	1892	2081	2114
R 11	530954	4575704	5146	5258	5469	5573	5648	5635	5623	1006	915	765	550	1273	1136	1516	1740	1403	1589
R 12	530964	4575625	5201	5312	5524	5627	5701	5686	5672	1030	946	777	566	1353	1216	1595	1819	1480	1668
R 13	531082	4575664	5095	5206	5419	5521	5594	5577	5560	907	826	652	442	1330	1188	1562	1781	1493	1667
R 14	532089	4575592	4595	4696	4925	5013	5059	5017	4971	545	630	478	655	1865	1717	1988	2151	2193	2277
R 15	531692	4575288	5056	5159	5385	5476	5528	5491	5451	829	846	583	596	1889	1738	2070	2266	2139	2274
R 16	531561	4575290	5122	5227	5451	5544	5599	5566	5528	866	865	597	562	1831	1681	2025	2227	2060	2207
R 17	531336	4575251	5277	5384	5606	5701	5761	5731	5699	1004	978	719	614	1792	1645	2007	2219	1978	2145
R 18	531262	4575237	5330	5437	5658	5755	5816	5788	5757	1058	1025	771	649	1786	1641	2008	2222	1956	2130

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03 25/01/2022 00 11 di 28
---	---	---	---

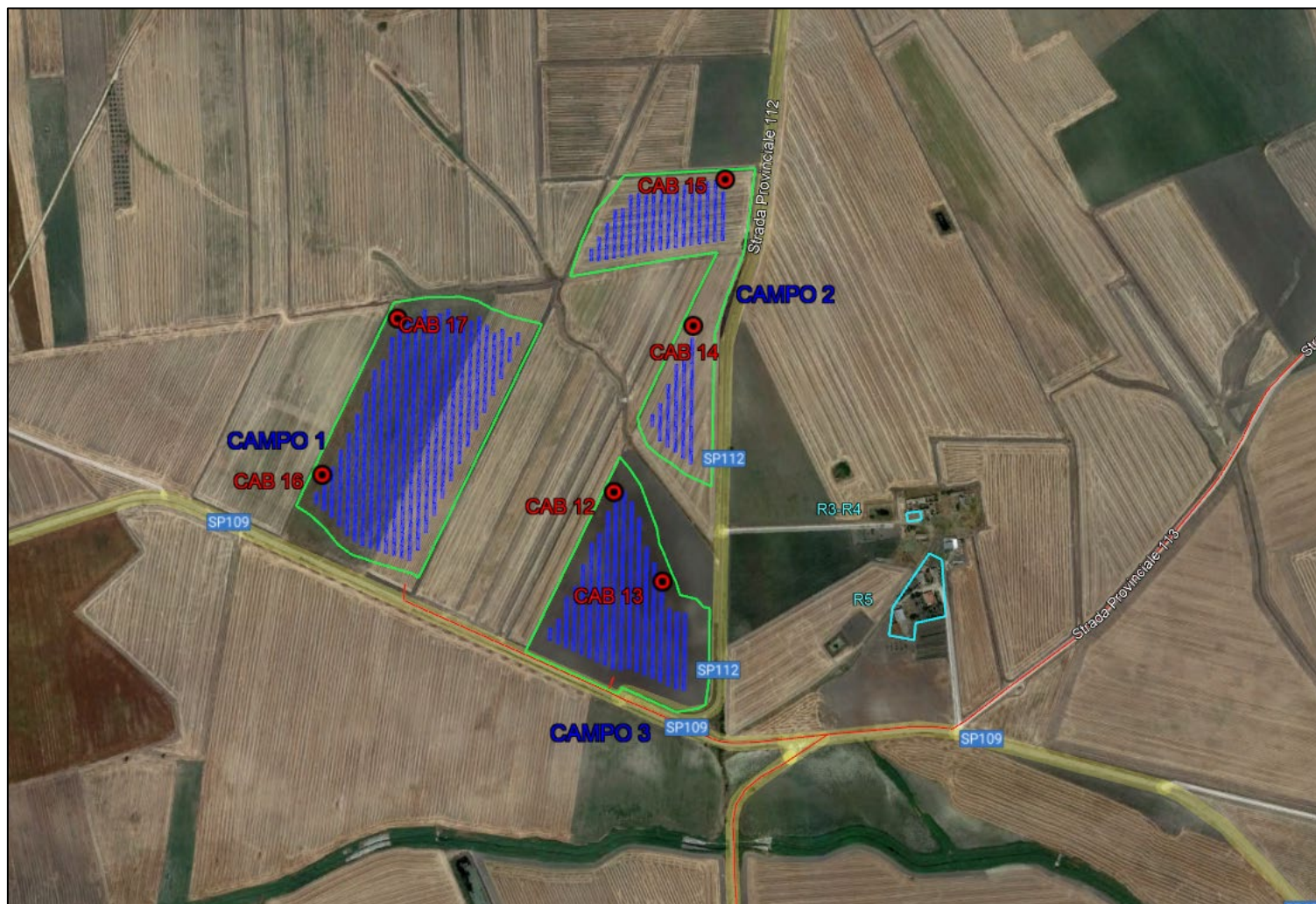


Figura 4: Inquadramento territoriale su ortofoto estratta da Google Earth dell'area di installazione dei moduli dei CAMPI 1-2-3 (perimetro di colore verde), con evidenza dei recettori individuati (etichette azzurre con sigle R2, R3,....,etc) e delle cabine di campo (etichette rosse con sigle CAB12, CAB13,....,etc).

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03 25/01/2022 00 12 di 28
---	---	---	---



Figura 5: Inquadramento territoriale su ortofoto estratta da Google Earth dell'area di installazione dei moduli del CAMPO 4 (perimetro di colore verde), con evidenza dei recettori individuati (etichette azzurre con sigle R6, R7,....,etc) e delle cabine di campo (etichette rosse con sigle CAB 8, CAB 9,....,etc).

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03 25/01/2022 00 13 di 28
---	---	---	---

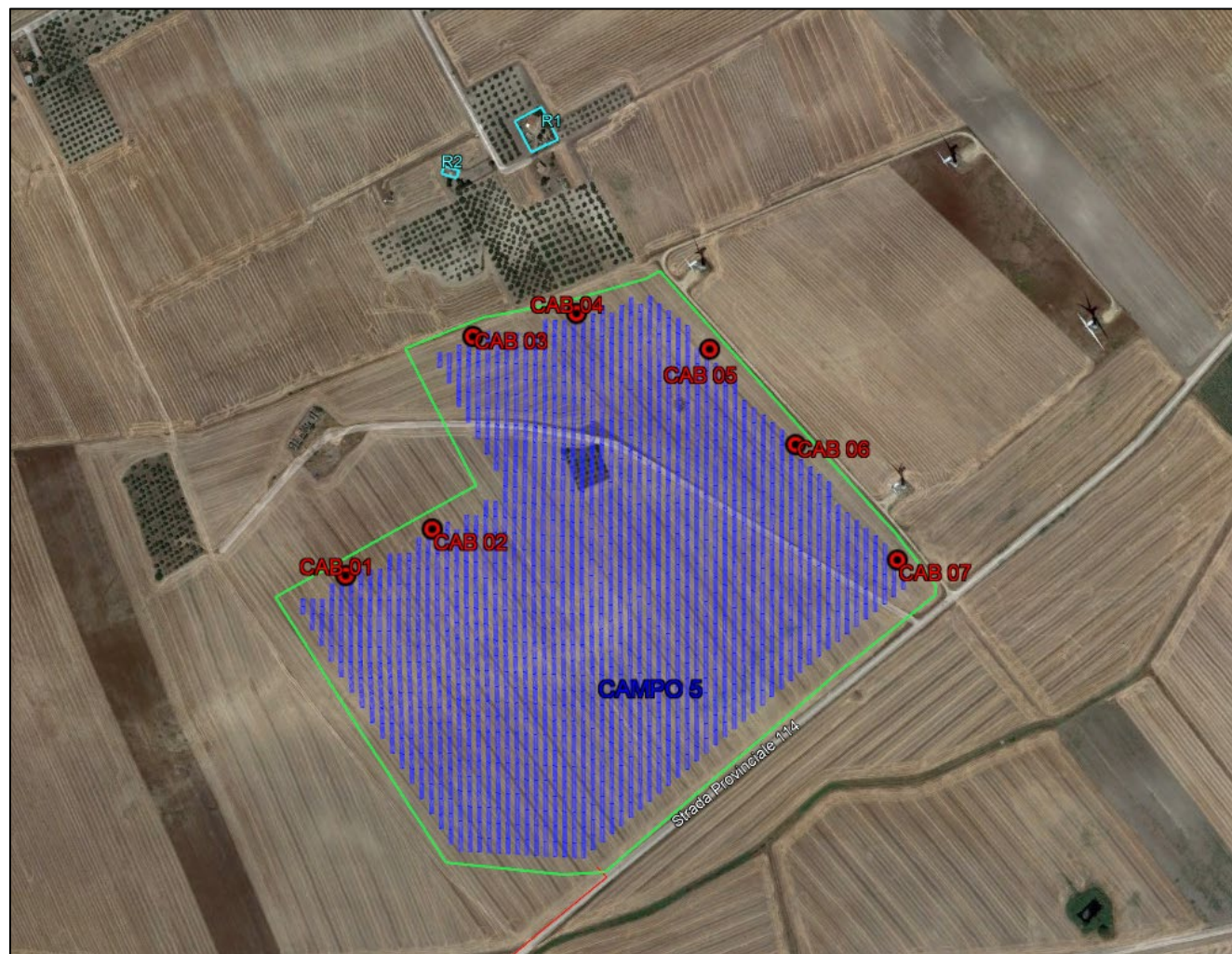


Figura 6: Inquadramento territoriale su ortofoto estratta da Google Earth dell'area di installazione dei moduli del CAMPO 5 (perimetro di colore verde), con evidenza dei recettori individuati (etichette azzurre con sigle R1, R2,...,etc) e delle cabine di campo (etichette rosse con sigle CAB1, CAB2,...,etc).

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03 25/01/2022 00 14 di 28
---	---	---	---

1.2.1. Recettori relativi alla realizzazione del cavidotto in fase di cantiere

Oltre ai recettori individuati in prossimità dell'impianto di progetto, sono stati individuati ulteriori recettori al fine di valutare l'impatto indotto dalle vibrazioni generate in fase di cantiere durante le attività di scavo e di posa in opera del cavidotto di connessione dell'impianto fotovoltaico alla stazione elettrica di trasformazione 150/380 kV RTN-TERNA di Troia. Il tracciato del cavidotto di connessione ha origine presso il CAMPO 5, si sviluppa lungo la viabilità esistente in direzione degli altri campi fotovoltaici dislocati a Sud e prosegue verso la stazione elettrica 150/380 kV RTN-TERNA per una lunghezza complessiva pari a circa 15,7 km. I recettori in questione sono stati individuati in un buffer di 100 m di distanza dal tracciato del cavidotto, risultando essere complessivamente in numero di 4 strutture, una delle quali (R11) è stata considerata anche per la valutazione relativa alle aree di impianto dei moduli fotovoltaici trovandosi nel buffer di analisi anche per queste ultime.

Per ulteriori informazioni riguardo la scelta dei recettori da considerare per l'impatto dovuto alle vibrazioni derivante dalle lavorazioni di posa in opera del cavidotto si faccia riferimento agli elaborati specifici:

- **SIA06.IR.01** - PLANIMETRIA SU ORTOFOTO CONTENENTE L'INDIVIDUAZIONE DEI FABBRICATI DESUNTI DA CARTOGRAFIE
- **SIA06.IR.02** - PLANIMETRIA SU CATASTALE CONTENENTE L'INDIVIDUAZIONE DEI FABBRICATI DESUNTI DA CARTOGRAFIE
- **SIA06.IR.03** - DOCUMENTAZIONE RELATIVA AI FABBRICATI NON CONSIDERATI RECETTORI

A seguire una tabella di inquadramento degli ulteriori recettori individuati e le immagini rappresentanti il percorso del cavidotto e la posizione degli ulteriori recettori individuati su ortofoto estratta da Google Earth.

Tabella 3: Coordinate di inquadramento geografico dei recettori sensibili individuati per la fase di cantiere relativa alle attività di realizzazione del cavidotto esterno.

ID RICEVITORE	Coordinate WGS 84 UTM 33 [m]		Quota s.l.m. [m]
	X	Y	
R 11	530954	4575704	247
R 19	527734	4575294	307
R 20	526847	4575742	327
R 21	529471	4575423	274

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03 25/01/2022 00 15 di 28
---	---	---	---



Figura 7: Inquadramento territoriale su ortofoto estratta da Google Earth degli ulteriori recettori individuati per la fase di cantiere relativa alle attività di realizzazione del cavidotto di connessione alla stazione 150/380 kV RTN-TERNA di Troia (icone azzurre indicate con etichetta R11, R19,...,etc).

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03 25/01/2022 00 16 di 28
---	---	---	---

2. CENNI TEORICI SULLE VIBRAZIONI

2.1. Definizioni e nozioni generali (fonte ISPRA)

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.

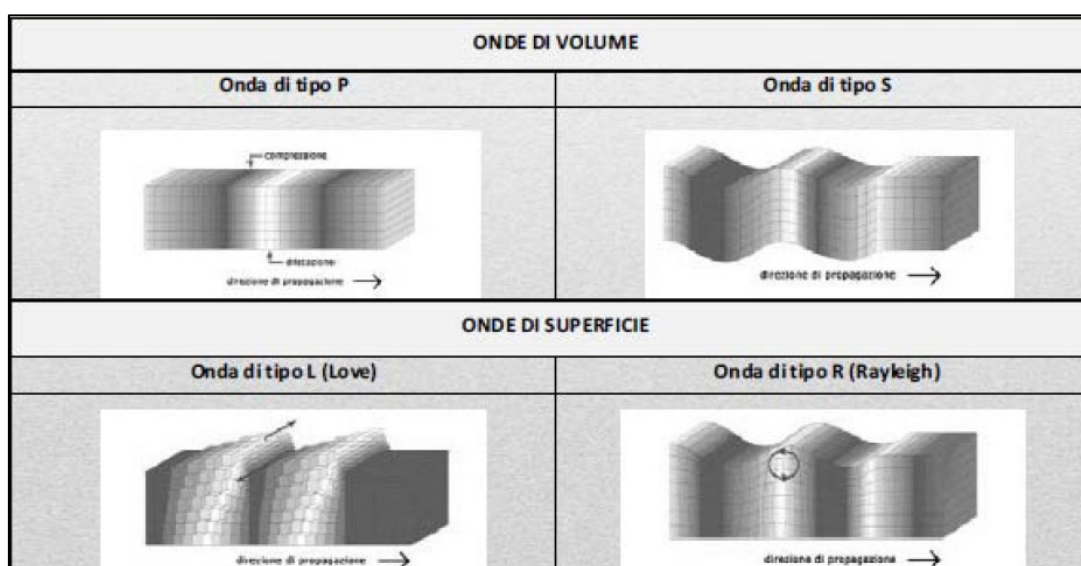


Figura 8: Differenti tipologie di Onde di Volume e Superficie

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03 25/01/2022 00 17 di 28
---	---	---	---

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.

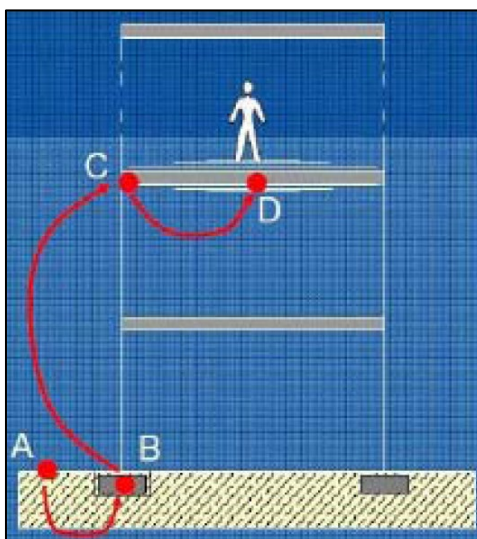


Figura 9: Schematizzazione semplificata della propagazione delle vibrazioni nel sistema terreno-edificio

Differenti tipologie di fondazioni forniscono diversi effetti di attenuazione o amplificazione del fenomeno vibratorio come evidenziato nelle immagini a seguire.

	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03
		Data creazione	25/01/2022
		Data ultima modif.	
		Revisione	00
		Pagina	18 di 28

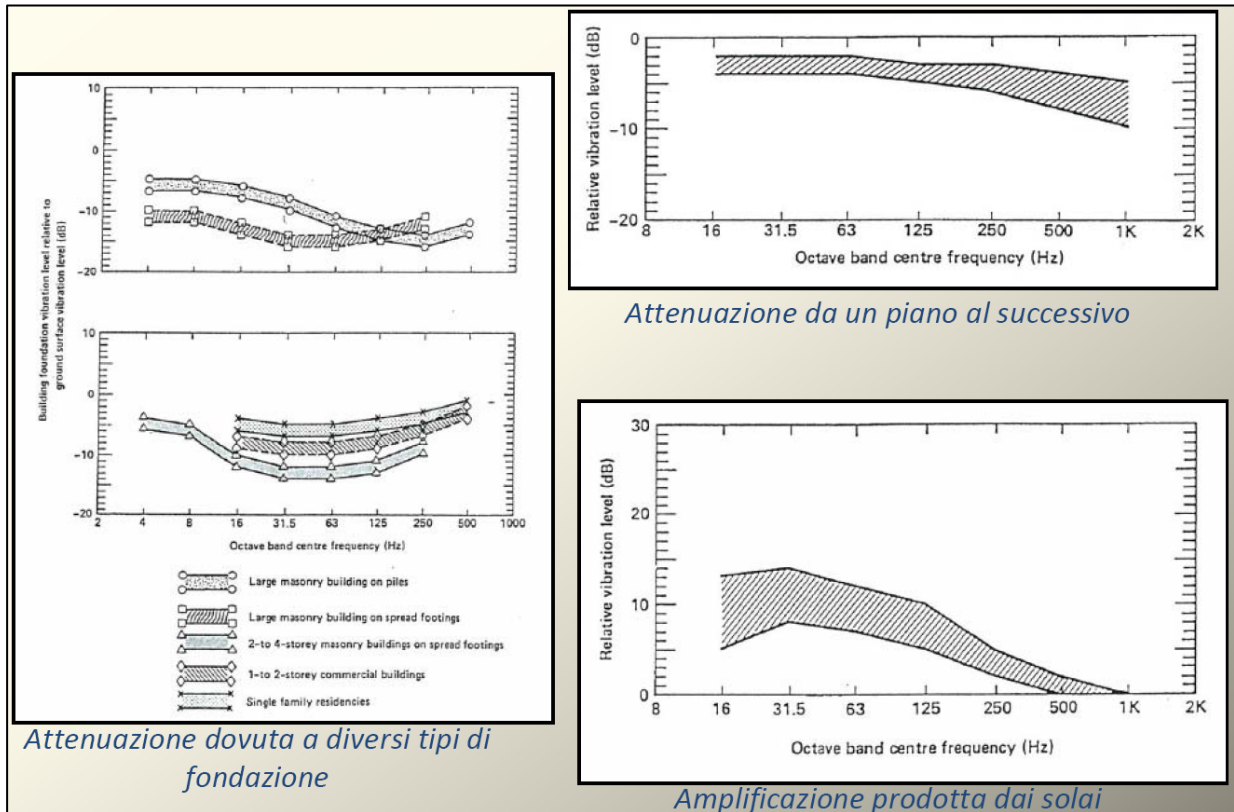


Figura 10: Esempi di Attenuazione/Amplificazione dei fenomeni vibratorii/oscillatori nei differenti elementi

2.2. Normativa di riferimento

Allo stato attuale non esiste una norma a livello nazionale che stabilisca valori limite per l'esposizione alle vibrazioni; tuttavia esistono alcune norme tecniche nazionali ed internazionali cui si può far riferimento e che possono fungere da indicatori. Tali norme sono distintamente orientate e relative a:

Esposizione Umana:

- 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

Danni ad edifici:

- ISO 9916: Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici

Le aree di cantiere per la realizzazione di impianti eolici, 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

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03 25/01/2022 00 19 di 28
---	---	---	---

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.

2.3. Caso studio e 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 o 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 i danni potenziali agli edifici ma non è adeguata per valutare la risposta umana.

La grandezza collegata alla risposta umana alle vibrazioni è 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 ($a_0 = 10^{-6}$ m/sec²)

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

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03 25/01/2022 00 20 di 28
---	---	---	---

1) Fattori legati a tipologie di sorgenti e modalità operative (Fase di Cantiere)

2) Fattori Geologici

3) Fattori Strutturali e caratteristiche dei recettori (Edifici-Strutture e Fabbricati)

1. Sorgenti e modalità operative:

In questa categoria sono inclusi 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) che, però questo nello specifico caso dell'eolico, non sono impiegati.

2. Fattori Geologici:

Le condizioni e la tipologia del suolo e del substrato influenzano fortemente i livelli vibratorii, in particolare assumono particolare rilievo la rigidità, lo smorzamento interno del terreno e la profondità del substrato roccioso. Fattori quali la stratificazione del terreno e profondità delle falde acquifere possono avere effetti significativi sulla propagazione delle vibrazioni via terra.

3. Fattori Strutturali e caratteristiche dei recettori (Edifici-Strutture e Fabbricati):

I problemi legati alla vibrazione via terra si hanno quasi esclusivamente all'interno degli edifici. Quindi le caratteristiche dei recettori costituiscono una componente fondamentale nella valutazione delle vibrazioni. Le vibrazioni indotte da mezzi di escavazione possono essere percepite da persone che si trovano all'esterno, ma è raro che provochino lamentele. I livelli di vibrazione dentro un edificio dipendono dall'energia vibratoria che raggiunge le fondazioni, dall'accoppiamento tra le fondazioni ed il terreno e dalla propagazione della vibrazione attraverso la struttura dell'edificio. Come regola generale si può affermare che più è massivo l'edificio, minore è la sua risposta all'energia vibratoria incidente sul terreno. 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.

2.4. Modello previsionale

Tutte le fonti bibliografiche ai fini delle elaborazioni dei modelli previsionali indicano l'utilizzo di modelli semplificati globali in luogo alle stime afferenti all'utilizzo degli elementi finiti. Pertanto anche in tale elaborato la valutazione previsionale viene elaborata attraverso l'utilizzo di un modello di propagazione classico la cui procedura per la stima delle vibrazioni indotte viene riportata a seguire:

1. si determinano le apparecchiature impiegate e i relativi livelli di vibrazione forniti, generalmente, a una distanza di riferimento; nel caso in oggetto è stato considerato il valore relativo all'utilizzo della ruspa cingolata [rif. A. Farina "Valutazione dei livelli di vibrazioni in edifici residenziali,

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03 25/01/2022 00 21 di 28
---	---	---	---

Normativa, tecniche di misura e di calcolo”, neo- Eubios n. 16 (2006)] misurato a distanza di 5 m dal centro della sorgente

2. 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; 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. Questa attenuazione, dovuta allo smorzamento del materiale, è influenzata dal tipo di terreno e dalla frequenza delle vibrazioni: α può essere calcolato come:

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

dove:

η rappresenta il fattore di perdita del terreno,

c rappresenta 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.

La tabella proposta a seguire evidenzia e sintetizza esempi di valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali in relazione ai differenti substrati litologici che si possono incontrare.

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03 25/01/2022 00 22 di 28
---	---	---	---

Tabella 4: Velocità di propagazione delle onde longitudinali, fattore di perdita e massa volumica per le differenti tipologie di substrato litologico

Tipologia di substrato	Velocità di propagazione onda longitudinale [m/s]	Fattore di perdita [η]	Massa volumica [kg/m ³]
Roccioso	3500	0,01	2650
Sabbioso	600	0,1	1600
Argilloso	1500	0,5	1700

- Il valore dell'accelerazione determinato al punto 2 permette di calcolare il livello ponderato di accelerazione da confrontare con i criteri di valutazione del disturbo o del danno degli edifici in base alla loro destinazione d'uso.

2.5. Rischio del danno a strutture ed edifici

Esplosioni, utilizzo ed operazioni effettuate da macchine battipalo, demolizioni, perforazioni, scavi in prossimità di strutture particolarmente sensibili rappresentano le principali attività che solitamente si valutano quando si parla di rischio per strutture derivanti da vibrazioni. 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 in questa sede 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 noti in letteratura

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 (e quindi necessariamente implica) di non avere effetti dannosi per le strutture edilizie.

2.6. Rischio Esposizione Umana – Rischio Disturbo

Nelle strutture classificate come recettori, ed in generale in tutti i corpi di fabbrica o edifici il disturbo può

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03
		Data creazione	25/01/2022
		Data ultima modif.	
		Revisione	00
		Pagina	23 di 28

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, in virtù dei differenti meccanismi dissipativi citati, diminuiscono con la distanza dalla sorgente in modo rapido. Come anticipato, 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: $a_{soglia,z} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$ corrispondenti a 74 dB (per $a_0 = 10^{-6} \text{ m/sec}^2$) per l'asse z e $a_{soglia, x/y} = 3.6 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$ corrispondenti a 71 dB (per $a_0 = 10^{-6} \text{ m/sec}^2$) per gli assi x e y.

Nella tabella a seguire 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.

Devono essere infine 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. Nella tabella a seguire sono evidenziate le classi di sensibilità:

Tabella 5: Valutazione del disturbo UNI 9614 - Valori e livelli limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza

VALORI E LIVELLI LIMITE DELLE ACCELERAZIONI COMPLESSIVE PONDERATE IN FREQUENZA VALIDI PER GLI ASSI x E y			VALORI E LIVELLI LIMITE DELLE ACCELERAZIONI COMPLESSIVE PONDERATE IN FREQUENZA VALIDI PER L'ASSE z		
Destinazione d'uso	Accelerazione		Destinazione d'uso	Accelerazione	
	m/s ²	dB		m/s ²	dB
Aree critiche	$3,6 \cdot 10^{-3}$	71	Aree critiche	$5,0 \cdot 10^{-3}$	74
Abitazioni notte	$5,0 \cdot 10^{-3}$	74	Abitazioni notte	$7,0 \cdot 10^{-3}$	77
Abitazioni giorno	$7,0 \cdot 10^{-3}$	77	Abitazioni giorno	$10,0 \cdot 10^{-3}$	80
Uffici	$14,4 \cdot 10^{-3}$	83	Uffici	$20,0 \cdot 10^{-3}$	86
Fabbriche	$28,8 \cdot 10^{-3}$	89	Fabbriche	$40,0 \cdot 10^{-3}$	92

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

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03 25/01/2022 00 24 di 28
---	---	---	---

3. STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI ESERCIZIO

Gli impianti fotovoltaici sono costituiti da singoli moduli fotovoltaici collegati elettricamente tra di loro secondo schemi serie/parallelo. In particolare, il layout di impianto viene realizzato collegando i moduli in modo da costituire stringhe, queste a loro volta sono collegate in modo da formare gruppi di stringhe. I gruppi di stringhe, 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 e 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. Per gli impianti di grande potenza generalmente il numero complessivo dei pannelli costituente l'intero campo viene suddiviso in sottocampi di potenza dell'ordine di alcuni MW, ognuno dei quali afferra a una cabina di conversione nella quale sono alloggiati un singolo inverter e trasformatore. Le cabine di campo sono a loro volta collegate a un'unica cabina di raccolta dalla quale poi si sviluppa una linea MT interrata per il trasferimento dell'energia alla rete elettrica pubblica.

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.

.

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03 25/01/2022 00 25 di 28
---	---	---	---

4. STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI CANTIERE

Per quanto concerne le fasi di cantiere per la costruzione delle opere elettriche descritte, non è in generale 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.

Nell'applicazione del modello previsionale al fine di valutare il potenziale possibile disturbo, sono stati ipotizzati i seguenti parametri come di seguito esplicitati:

1. In funzione della tipologia di substrato litologico si assumono i seguenti valori:
 - $\eta = 0.1$ (fattore di perdita del substrato nell'ipotesi peggiore possibile nell'ottica della valutazione a maggior carattere cautelativo nei confronti dei recettori);
 - c (velocità di propagazione dell'onda di Rayleigh VR) = 119.6 m/s (valore coerente con i dati di letteratura per macro categorie di sottosuolo come evidenziato nella tabella a seguire)

Tabella 6: Valori tipici di velocità di propagazione delle onde per differenti tipologie di sottosuolo

Sottosuolo di tipo A	roccia o altra formazione geologica caratterizzata da una velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s pari almeno a 800 m/s, includendo al massimo uno strato superficiale di materiale a più debole consistenza di 5 m.
Sottosuolo di tipo B	depositi profondi di sabbie mediamente addensate, ghiaia e argille mediamente rigide con spessori che vanno dalle diverse decine di metri alle molte centinaia, caratterizzati da valori minimi della V_s che vanno da 200 m/s ad una profondità di 10 m, fino a 350 m/s a 50 m.
Sottosuolo di tipo C	depositi privi di coesione con o senza qualche morbido strato coesivo, caratterizzati da valori di V_s sotto ai 200 m/s nei primi 20 m e depositi di terreni coesivi caratterizzati da rigidità basse/medie e con valori di V_s sotto ai 200 m/s nei primi 20 m.

Classi di suolo ($V_r=0.92 V_s$)

2. Livelli di riferimento per il mezzo meccanico impiegato in cantiere:
L'immagine a seguire riporta lo spettro emissivo ed il calcolo del livello di accelerazione ponderata in frequenza a diverse distanze dalla sorgente emissiva ipotizzata (escavatore cingolato con spettro misurato a 10 m di distanza) per il tipo di substrato ipotizzato (in ottica altamente cautelativa per i recettori) per un'area di intervento "tipo".
3. Livelli di riferimento – valore soglia limite di disturbo:
Il valore soglia di livello ponderato di accelerazione è stato considerato essere pari a 77 VdB .
Ciò in virtù del fatto che le attività di cantiere (e quindi anche di escavazione) sono concentrate esclusivamente nel periodo di riferimento diurno e che pertanto il potenziale disturbo non può essere associato al periodo di riferimento notturno e quindi non può incidere nelle ore dedicate al riposo e al sonno.

	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03
		Data creazione	25/01/2022
		Data ultima modif.	
		Revisione	00
		Pagina	26 di 28

4. Attenuazioni o Amplificazioni nella struttura degli edifici:

Potenziali fenomeni di attenuazione o amplificazione relativi alle tipologia di fondazioni cui sono dotati i recettori non sono stati tenuti in conto.

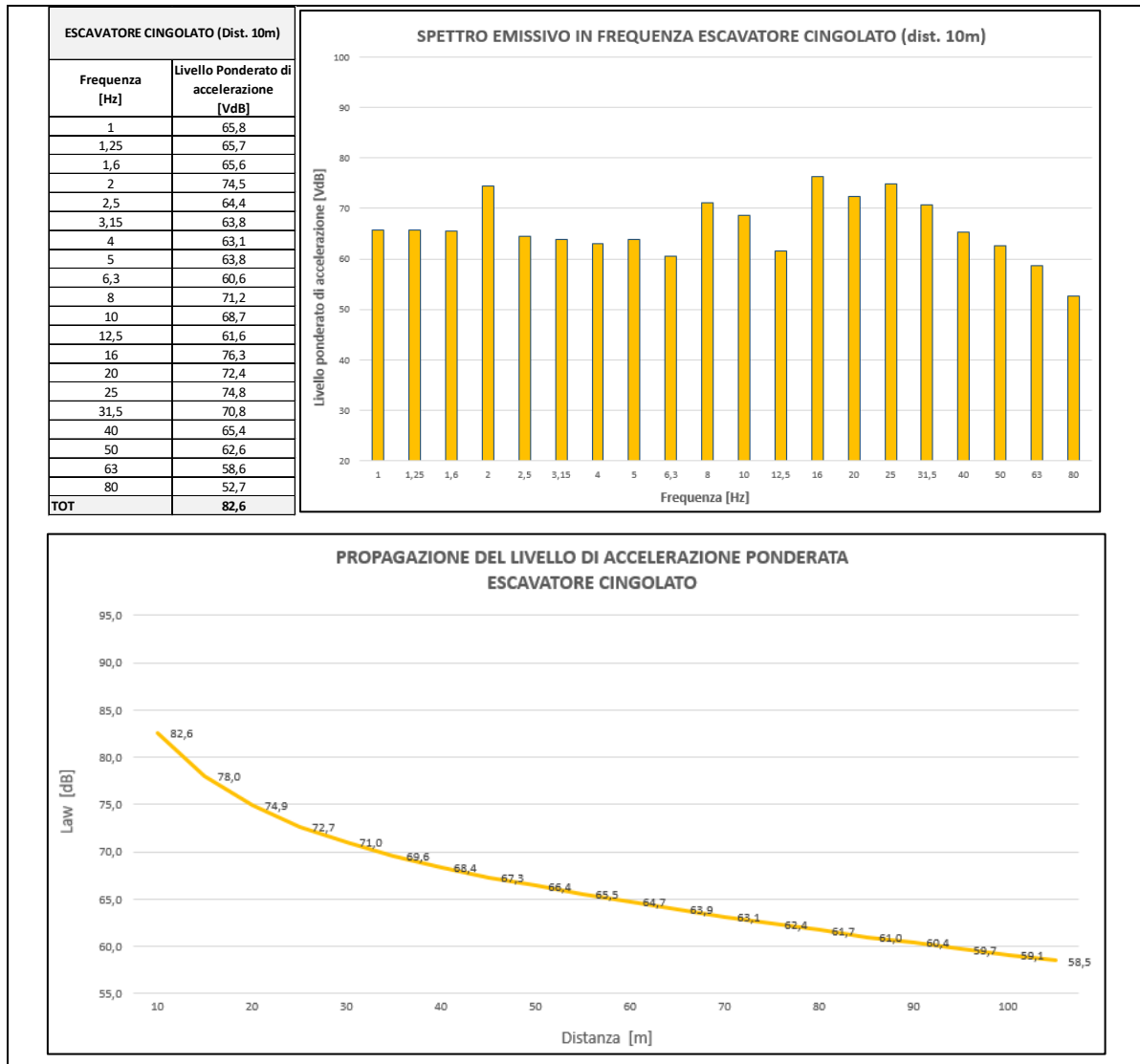


Figura 11: Spettro emissivo in frequenza e andamento grafico della propagazione in funzione della distanza del livello di accelerazione ponderata delle sollecitazioni prodotte da un escavatore cingolato in fase di cantiere.

L'immagine appena proposta evidenzia che già a distanze leggermente superiori i 15 metri dalla sorgente considerata ($d < 20$ m), i valori di accelerazione ponderata in frequenza totale (ottenuta sommando i contributi per tutte le bande di terzo di ottava) scendono al di sotto della soglia di disturbo (fissata a 77 VdB) pur considerando le caratteristiche più cautelative possibili per quanto concerne il substrato litologico e la relativa propagazione delle sollecitazioni nel mezzo.

Le stesse considerazioni sono valide anche per le attività relative alla messa in opera del cavidotto esterno di collegamento alla stazione elettrica di trasformazione, per le quali, sebbene i recettori si

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03 25/01/2022 00 27 di 28
---	---	---	---

trovino a distanze piuttosto ravvicinate al tracciato stradale, si ha che le lavorazioni in estrema prossimità degli edifici sono limitate a periodi di tempo molto ristretti, della durata massima di alcune ore, in quanto le lavorazioni sono realizzate avanzando lungo il percorso del cavidotto.

5. 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 il dato previsionale ottenuto per la fase di cantiere conferma che l'impatto causato dalle vibrazioni durante la realizzazione dell'impianto fotovoltaico in oggetto sia assolutamente trascurabile e che nessun recettore riceve un fenomeno vibrazionale tale da ingenerare disturbo. Le stesse conclusioni valgono per la fase di realizzazione del cavidotto esterno per la quale solo lievi disturbi possono verificarsi per i recettori posti più in prossimità del tracciato stradale, essendo le lavorazioni in prossimità degli edifici ma concentrate in periodi di tempo estremamente ridotti.

 TENPROJECT	STUDIO DI IMPATTO DELLE VIBRAZIONI	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.TRO03.PD.SIA07.IA.03 25/01/2022 00 28 di 28
---	---	---	---

Bibliografia

- ISO 2631 - Guida per la valutazione dell'esposizione umana alle vibrazioni su tutto il corpo.
- [UNI 9614:1990 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo", 1990.
- UNI 9916:2014 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici", 2014.
- Anderson, J.S.; Solving problems in vibrations; London, Longman Scientific & Technical, 1987
- Dong-Soo Kim, Jin-Sun Lee Propagation and attenuation characteristics of various ground vibrations Soil Dynamics and Earthquake Engineering 19, 2000
- Di Colin H. Hansen, Con J. Doolan, Kristy L. Hansen; Wind Farm Noise: Measurement, Assessment, and Control.
- Styles P, England R, Stimpson I, Toon S, Bowers D and Hayes M 2005a A detailed study of the propagation and modelling of the effects of low frequency seismic vibration and infrasound from wind turbines. First International Meeting on Wind Turbine Noise: Perspectives for Control, Berlin, Germany
- Richart Jr. FE, Hall Jr. JR, Woods RD. Vibrations of soils and foundations. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1970