

REGIONE EMILIA-ROMAGNA
PROVINCIA DI FERRARA
Comuni di Codigoro e Fiscaglia (FE)
LOCALITA' "Valle Giralda"

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN AVENTE POTENZA NOMINALE PARI A 71 MWp

Sezione SIA:
IMPATTO ACUSTICO

Titolo elaborato:
Studio sulle vibrazioni

N. Elaborato: **SIA06.IA.03**

Scala:

Proponente

VIRGO ALPHA S.r.l.

Via Piave, 7
CAP 00187 - ROMA (RM)
P.Iva 17296991007

Progettazione



sede legale e operativa
Loc. Chianarile snc Area Industriale - 82010 San Martino Sannita (BN)
sede operativa
Via A.La Cava 114 - 71036 Lucera (FG)

P.IVA 01465940623

Azienda con sistema gestione qualità Certificato N. 50 100 11873



Procuratore

Dott. Ing. SALVATORE FLORENI

Progettista

Dott. Ing. Massimo Lepore

Tecnico competente in Acustica Ambientale iscritto nell'elenco nazionale ENTECA al n° 8866 riconosciuto con DDR Campania n° 1396 del 19/12/2007, n° Rif. 653/07 ai sensi della legge 447/95 e DPCM 31/3/98



Rev.	Data	Elaborazione	Approvazione	Emissione	DESCRIZIONE
00	MAGGIO 2024	MR sigla	GDS sigla	ML sigla	Emissione progetto definitivo

Nome file sorgente	FV.CDG01.PD.SIA06.IA.03.R00.doc	Nome file stampa	FV.CDG01.PD.SIA06.IA.03.R00.pdf	Formato di stampa	A4
--------------------	---------------------------------	------------------	---------------------------------	-------------------	----

INDICE

1. PREMESSA	3
2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO	4
3. INDIVIDUAZIONE E SCELTA DEI RECETTORI	10
4. CENNI TEORICI SULLE VIBRAZIONI	21
5. DEFINIZIONI E NOZIONI GENERALI (FONTE ISPRA)	21
6. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	23
7. CASO STUDIO E PARAMETRI DI TRASMISSIONE DELLE VIBRAZIONI	24
8. MODELLO PREVISIONALE	25
9. RISCHIO DEL DANNO A STRUTTURE ED EDIFICI	27
10. RISCHIO ESPOSIZIONE UMANA – RISCHIO DISTURBO	28
11. STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI ESERCIZIO	29
12. STIMA PREVISIONALE DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI CANTIERE	30
13. CONCLUSIONI	32
BIBLIOGRAFIA	33

1. PREMESSA

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto agrivoltaico di potenza nominale installata pari a 71 MWp e potenza nominale di connessione pari a 60 MW da installare in provincia di Ferrara, nel comune di Codigoro in località "Valle Giralda", con opere di connessione ricadenti nei comuni di Codigoro e Fiscaglia.

Proponente dell'iniziativa è la società VIRGO ALPHA S.r.l. con sede in Via Piave, 7 - 00187 Roma (RM).

L'impianto agrivoltaico è costituito da 98628 moduli in silicio monocristallino, ognuno di potenza pari a 720 Wp. La configurazione dei pannelli, scelta in via preliminare, è costituita da un blocco di 7 file di tracker monoassiali. Ciascuna di esse consta di 24 moduli, ripartiti in n.12 moduli a valle ed a monte rispetto ad una barra di trasmissione tra le file parallele che traslerà in direzione est-ovest facendo ruotare, contemporaneamente, tutte le file ad esso collegate lungo la medesima direzione. Si precisa che la struttura descritta è la dimensione massima prevedibile, ma la stessa è modulabile per numero di moduli. Il limite di 7 file è dato, infatti, dalla massima trazione trasmissibile dalla barra per far scorrere le strutture ad esso collegate.

L'impianto è organizzato in n.6 campi delimitati da una recinzione perimetrale e provvisti di un cancello di accesso. Ogni stringa di moduli fotovoltaici è montata su una struttura metallica in acciaio zincato ancorata al terreno. All'esterno della recinzione, lungo il perimetro visibile dell'impianto, è prevista una fascia a verde di ampiezza pari a 3 m per garantire la mitigazione ambientale e paesaggistica dell'intervento.

L'impianto è organizzato in gruppi di stringhe collegati alle cabine di campo attraverso gli inverter di stringa. In particolare, l'energia elettrica viene prodotta da ogni gruppo di stringhe collegate in parallelo tramite quadri di parallelo DC in corrente continua (denominati "string box") e viene trasmessa agli inverter installati in campo e ancorati ai pali di sostegno di una delle strutture, che provvedono alla conversione in corrente alternata. Gli inverter attraverso linee BT vengono collegati ai trasformatori BT/AT ubicati all'interno delle cabine di campo. Le linee AT 36 kV in cavo interrato collegano tra loro le cabine di campo, e quindi proseguono alla cabina di smistamento utente, prevista all'interno del campo 5.

Dalla cabina di smistamento utente si sviluppa una linea 36 kV interrata per il trasferimento dell'energia dell'impianto agrivoltaico alla futura Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/132/36 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN 380 kV "Ravenna Canala – Porto Tolle" e alle linee RTN 132 kV afferenti alla Cabina Primaria Codigoro ricollegata in doppia antenna alla suddetta Stazione Elettrica.

La proposta progettuale presentata è stata sviluppata in modo da ottimizzare al massimo il rapporto tra le opere di progetto ed il territorio, limitare al minimo gli impatti ambientali e paesaggistici e garantire la sostenibilità ambientale dell'intervento.

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.

2. Descrizione del progetto

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto agrivoltaico di potenza nominale installata pari a 71 MWp e potenza nominale di connessione pari a 60 MW da installare in provincia di Ferrara, nel comune di Codigoro in località "Valle Giralda", con opere di connessione ricadenti nei comuni di Codigoro e Fiscaglia.

Di fatto un impianto agrivoltaico è una tipologia di impianto fotovoltaico installato su suoli agricoli che consente non solo di produrre energia elettrica da fonte solare, ma anche di continuare la coltivazione delle aree o di prevedere nuove coltivazioni. Si tratta, quindi, di un impianto fotovoltaico combinato all'attività di coltivazione dei campi.

L'impianto è organizzato in n. 6 campi all'interno dei quali si prevede l'installazione delle pannellature fotovoltaiche disposte su supporti su tracker monoassiali, a loro volta, ancorati al suolo tramite sostegni infissi. La distanza tra le file parallele delle pannellature, disposte con asse in direzione est-ovest, è pari a 5,50 m dal palo centrale di ogni fila ed è tale da evitare l'ombreggiamento reciproco tra le strutture, consentire le operazioni di pulizia e manutenzione dei pannelli, nonché permettere la coltivazione delle fasce di terreno d'interfila in maniera agevole, garantendo l'accesso ai mezzi agricoli.

Il progetto prevede, inoltre, la realizzazione di una fascia arborea di mitigazione posta lungo il perimetro visibile del campo agrivoltaico, di larghezza pari a 3 m.

In particolare, la fascia si estende dal lato nord-ovest al lato sud-est dell'impianto, ovvero in corrispondenza dell'affaccio all'Abbazia di Santa Maria di Pomposa e della Chiavica dell'Agrifoglio, entrambe tutelate, in quanto beni architettonici, ai sensi dell'art. 142 del D.lgs 42/2004.

La zona di impianto è caratterizzata dalla presenza di numerosi canali di scolo che si dispongono su tutta la superficie. Si tratta di canali atti alla regimentazione idraulica del territorio, necessaria per l'intensa irrigazione delle coltivazioni o per le precipitazioni abbondanti, vista la natura pianeggiante dell'area stessa.

Per la definizione del layout di impianto, si è perseguita la scelta di pannellare tutta l'area tombando, quindi, i canali presenti. Data la necessità di mantenere l'invarianza idraulica dell'area, sarà garantita una lieve pendenza al fine di convogliare, attraverso delle tubazioni di scarico in PVC, le acque eventualmente presenti sulla superficie di impianto verso i collettori e gli scoli presenti nelle immediate vicinanze, ovvero: Scolo Cinesio, Collettore Giralda e Scolo Usviglio.

Le strutture di sostegno ipotizzate hanno la caratteristica di poter essere infisse nel terreno senza bisogno di alcun tipo di fondazione in calcestruzzo, compatibilmente alle caratteristiche geotecniche del terreno ed alle prove penetrometriche che verranno effettuate in fase esecutiva. Come certificato dal costruttore, le strutture sono in grado di supportare il peso dei moduli anche in presenza di raffiche di vento di elevata velocità, di neve ed altri carichi accidentali. Le caratteristiche dimensionali delle strutture sono riportate nell'elaborato grafico "Particolari costruttivi della struttura di fissaggio dei moduli fotovoltaici" (cfr. elab. FV.CDG01.PD.4.1.R00).

I pannelli fotovoltaici hanno dimensioni 2384 x 1303 mm, incapsulati in una cornice di alluminio anodizzato dello spessore di 33 mm, per un peso totale di 38,3 kg ognuno.

Il suddetto impianto è costituito da 98628 moduli fotovoltaici, suddivisi in sottocampi e stringhe, i quali sono collegati in serie o in parallelo a seconda del livello. Genericamente, una serie di moduli costituisce una stringa, la quale si collega in parallelo ad altre stringhe per formare il sottocampo, il quale forma, con altri sottocampi sempre collegati in parallelo, il campo agrivoltaico.

L'impianto agrivoltaico è costituito da 98628 moduli in silicio monocristallino, ognuno di potenza pari a 720 Wp. La configurazione dei pannelli, scelta in via preliminare, è costituita da un blocco di 7 file di tracker monoassiali. Ciascuna di esse consta di 24 moduli, ripartiti in n.12 moduli a valle ed a monte rispetto ad una barra di trasmissione tra le file parallele che traslerà in direzione est-ovest facendo ruotare, contemporaneamente, tutte le file ad esso collegate lungo la medesima direzione. Si precisa che la struttura descritta è la dimensione massima prevedibile, ma la stessa è modulabile per numero di moduli. Il limite di 7 file è dato, infatti, dalla massima trazione trasmissibile dalla barra per far scorrere le strutture ad esso collegate.

Le strutture di sostegno sono realizzate in acciaio al carbonio galvanizzato, resistente alla corrosione, costituite da pali verticali infissi al suolo e collegati superiormente ad un telaio piano orizzontale con tilt predefinito sul quale sono alloggiati i pannelli.

L'intero impianto è suddiviso in 6 campi gestiti da più inverter. Più in dettaglio i campi sono organizzati nel seguente modo:

- **CAMPO 1:** composto da 15870 moduli installati su strutture a tracker monoassiali con rotazione in direzione est-ovest (potenza del campo fotovoltaico pari a 11,43 MWp);
- **CAMPO 2:** composto da 19164 moduli installati su strutture a tracker monoassiali con rotazione in direzione est-ovest (potenza del campo fotovoltaico pari a 13,80 MWp);
- **CAMPO 3:** composto da 41610 moduli installati su strutture a tracker monoassiali con rotazione in direzione est-ovest (potenza del campo fotovoltaico pari a 29,96 MWp);
- **CAMPO 4:** composto da 15972 moduli installati su strutture a tracker monoassiali con rotazione in direzione est-ovest (potenza del campo fotovoltaico pari a 11,50 MWp);
- **CAMPO 5:** composto da 1056 moduli installati su strutture a tracker monoassiali con rotazione in direzione est-ovest (potenza del campo fotovoltaico pari a 0,76 MWp);
- **CAMPO 6:** composto da 4956 moduli installati su strutture a tracker monoassiali con rotazione in direzione est-ovest (potenza del campo fotovoltaico pari a 3,57 MWp).

Durante il giorno l'impianto agrivoltaico converte la radiazione solare in energia elettrica in corrente continua. Tale corrente è inviata attraverso i quadri di campo e sottocampo agli inverter, i quali la trasformano in corrente alternata trifase. Le uscite in corrente alternata degli inverter di ogni sottocampo si collegano a relativi trasformatori BT/AT che elevano la tensione a 36 kV; in particolare le 20 cabine di campo (comprendenti di cabine di campo "Spare") presenti in progetto saranno collegate tra di loro mediante un cavidotto AT 36 kV interrato che suddivise in gruppi giungeranno alla cabina di smistamento utente a partire dalla quale si svilupperà un cavidotto AT 36 kV interrato per il collegamento dell'impianto agrivoltaico alla futura Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/132/36 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN 380 kV "Ravenna Canala – Porto Tolle" e alle linee RTN 132 kV afferenti alla Cabina Primaria Codigoro ricollegata in doppia antenna alla suddetta Stazione Elettrica.

Le aree d'impianto (ovvero quelle destinate all'installazione dei pannelli fotovoltaici) saranno delimitate da una recinzione realizzata con rete in acciaio zincato plastificata verde collegata a pali in acciaio tinteggiati verdi infissi direttamente nel suolo. Per consentire il passaggio della fauna selvatica di piccola taglia si prevede di installare la recinzione in modo da garantire lungo tutto il perimetro dell'impianto un varco di 20 cm rispetto al piano campagna. L'accesso all'area d'impianto avverrà attraverso due cancelli carrai a due ante, con luce

netta 5 m ed ante montate su pali in acciaio fissati al suolo con plinti di fondazione in cls armato collegati da cordolo.

All'interno dell'area d'impianto e perimetralmente alla recinzione è previsto un sistema di illuminazione associato alla videosorveglianza che emette luce artificiale solo in caso di rilevamento di persone e/o mezzi o in caso di interventi di emergenza, il quale sarà montato su pali in acciaio zincato fissati al suolo con plinto di fondazione in cls armato. L'illuminazione avverrà dall'alto verso il basso in modo da evitare la dispersione verso il cielo della luce artificiale in accordo con quanto previsto dalla normativa regionale e nazionale in materia di inquinamento luminoso (ad esempio L.R. Emilia-Romagna 19/2003). All'interno dell'area di impianto è prevista, infine, l'installazione di cabine destinate ai servizi ausiliari del campo agrivoltaico ovvero illuminazione, sistema di video sorveglianza ecc.

Come descritto precedentemente, a partire dall'area d'impianto si sviluppa il cavidotto AT 36 kV esterno di collegamento tra la cabina di smistamento utente e la futura Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/132/36 kV.

Il cavidotto AT 36 kV sarà interrato, per la totalità del suo percorso su strada esistente, fino ad arrivare alla futura Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/132/36 kV che sarà ubicata nel comune di Fiscaglia (FE).

Si riporta di seguito l'inquadramento territoriale su stralcio di cartografia IGM e a seguire su planimetria satellitare estratta da Google Earth con evidenza dei campi fotovoltaici, del cavidotto di connessione e delle posizioni delle cabine elettriche di campo.

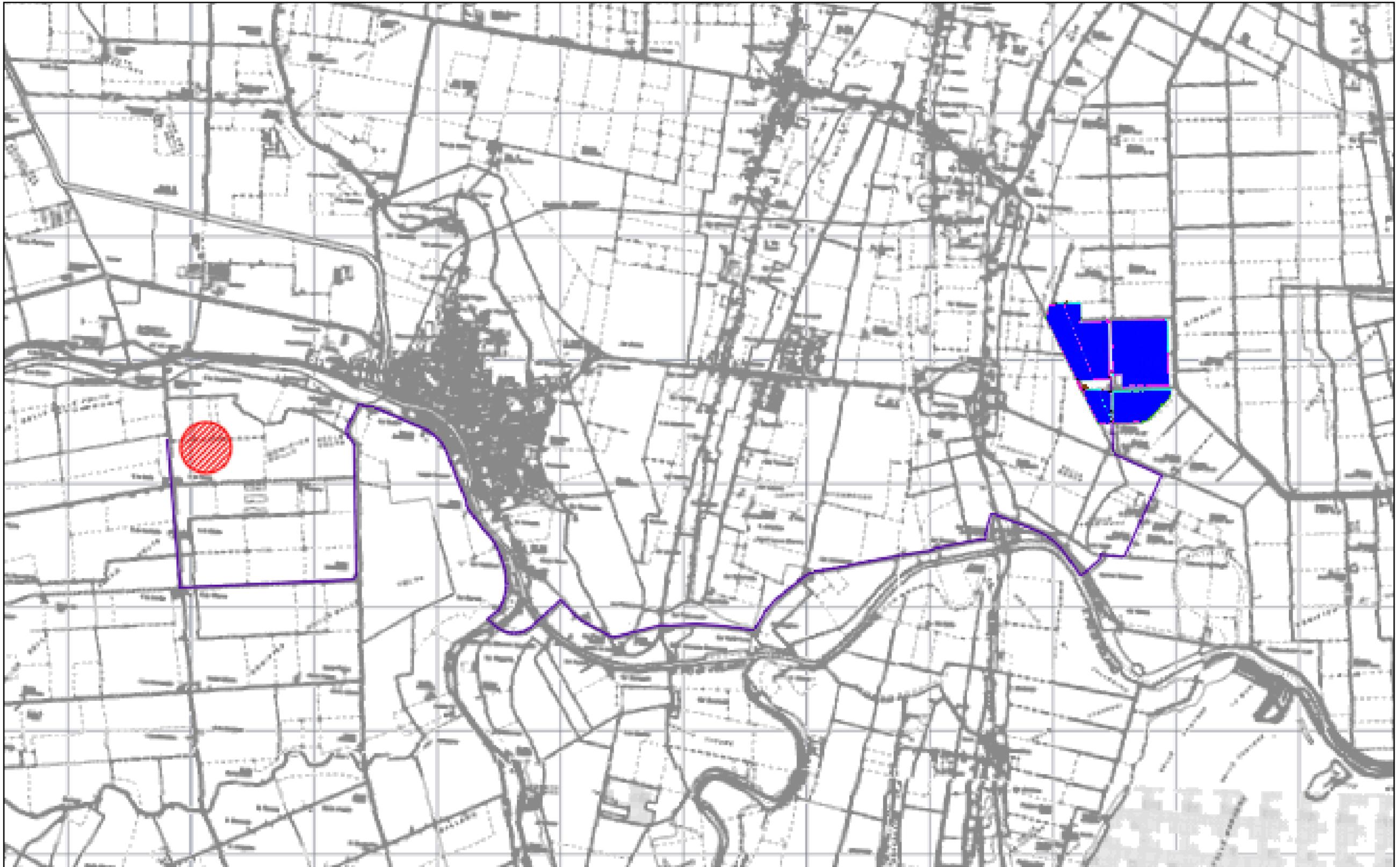


Figura 1: Inquadramento territoriale dell'area di installazione dei campi fotovoltaici e del tracciato del cavidotto di connessione su stralcio cartografico IGM 25.000.

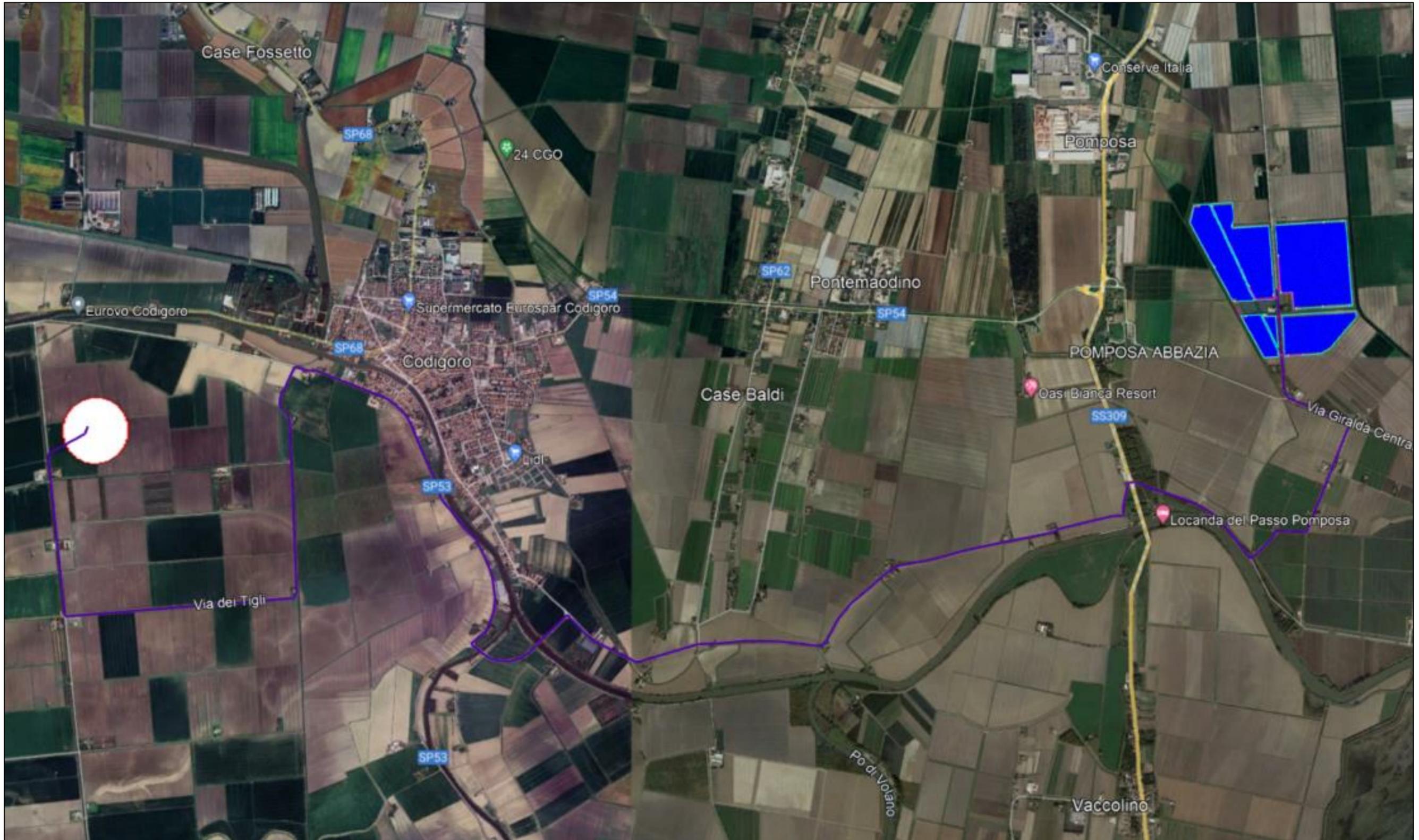


Figura 2: Inquadramento territoriale dell'area di installazione dei campi fotovoltaici e del tracciato del cavidotto di connessione su stralcio ortofotografico estratto da Google Earth.



Figura 3: Dettaglio dell'area centrale dell'impianto e parte del cavidotto di connessione e collegamento su stralcio ortofotografico estratto da Google Earth.

3. Individuazione e scelta dei recettori

Ai fini della previsione degli impatti indotti dall'impianto di progetto ed in particolare dell'impatto acustico, 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".

In prossimità dell'area di cantiere sono state individuate 8 strutture aventi caratteristiche di abitabilità e che risultano essere le uniche strutture potenzialmente esposte alle emissioni acustiche derivanti dal funzionamento dei macchinari e dei mezzi di movimentazione che operano durante la fase di cantiere relative all'allestimento dei campi fotovoltaici e durante le attività di scavo e di posa in opera del cavidotto di connessione.

Di seguito le tabelle di inquadramento geografico dei recettori individuati per le lavorazioni relative all'area campo fotovoltaico e al cavidotto di connessione con dettaglio del Comune di appartenenza e dei limiti di immissione acustica previsti dalla normativa vigente.

Per maggiori dettagli e informazioni riguardo le modalità di analisi e individuazione dei ricettori sensibili considerati nel presente studio si faccia riferimento a quanto riportato negli elaborati di dettaglio:

FV.CDG01.PD.SIA05.IR.R00	Metodologia di analisi dei recettori
---------------------------------	--------------------------------------

Tabella 1: Recettori individuati per la fase di cantiere – Area Campo FV

ID RICEVITORE	Coordinate UTM		Quota	Comune	Limite da PZA	
	WGS 84 32N				Giorno	Notte
	X	Y				
	[m]	[m]	[m]		dB(A)	dB(A)
R01	278003	4969575	-3	Codigoro (FE)	60	50
R02	278149	4969578	-3	Codigoro (FE)	60	50
R03	278153	4968493	-2	Codigoro (FE)	60	50
R04	278029	4968487	-2	Codigoro (FE)	60	50
R05	278042	4968037	-2	Codigoro (FE)	60	50
R06	278181	4967803	-2	Codigoro (FE)	60	50
R07	278676	4967654	-3	Codigoro (FE)	60	50
R08	279254	4968762	-1	Codigoro (FE)	60	50

Tabella 2: Inquadramento geografico – coordinate dei recettori dell'area campo FV nel sistema UTM WGS 84 fuso 32 e distanze con i trasformatori (TRAS) e gli inverter posti a base struttura (INV).

COORDINATE E MATRICE DISTANZE SORGENTI / RECETTORI [m]										
recettore		R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	
sorgente sonora	Coordinate WGS 84 UTM34 [m]		278003	278149	278153	278029	278042	278181	278676	279254
			4969575	4969578	4968493	4968487	4968037	4967803	4967654	4968762
INV01	277524	4969293	555	686	1018	951	1358	1629	2003	1810
INV02	277536	4969310	537	669	1024	959	1370	1639	2010	1804
INV03	277524	4969293	555	686	1018	951	1358	1629	2003	1810
INV04	277536	4969310	537	669	1024	959	1370	1639	2010	1804
INV05	277513	4969293	565	696	1025	957	1363	1633	2010	1821
INV06	277547	4969310	527	659	1017	954	1365	1635	2004	1793
INV07	277502	4969293	575	707	1032	963	1367	1638	2016	1832
INV08	277558	4969310	518	648	1010	948	1361	1630	1997	1782
INV09	277490	4969293	585	717	1039	970	1372	1643	2023	1843
INV10	277570	4969310	508	638	1004	942	1357	1626	1991	1772
INV11	277479	4969293	595	728	1047	976	1376	1647	2030	1854
INV12	277581	4969310	498	628	997	937	1353	1622	1985	1761
INV13	277592	4969293	498	625	977	917	1334	1602	1965	1745
INV14	277475	4969260	615	745	1024	951	1348	1619	2005	1848
INV15	277604	4969277	498	622	957	897	1314	1583	1945	1729
INV16	277615	4969244	510	630	923	862	1279	1548	1911	1709
INV17	277464	4969227	642	770	1007	931	1322	1594	1985	1850
INV18	277627	4969210	524	638	890	828	1244	1513	1877	1689
INV19	277638	4969194	528	639	870	808	1225	1493	1857	1673
INV20	277609	4968846	828	909	648	552	917	1189	1599	1647
INV21	277632	4968796	862	937	603	503	862	1135	1547	1623
INV22	277600	4968863	818	901	665	570	936	1208	1618	1657
INV23	277644	4968780	873	945	585	484	842	1114	1527	1611
INV24	277655	4968746	899	967	559	455	808	1080	1495	1600
INV25	277589	4968896	795	882	693	601	970	1243	1650	1671
INV26	277577	4968912	787	877	712	620	991	1263	1670	1684
INV27	277566	4968946	766	860	741	651	1025	1297	1702	1698
INV28	277555	4968962	759	856	760	671	1045	1317	1722	1712
INV29	277543	4968979	753	852	780	691	1065	1337	1742	1725
INV30	277532	4969012	734	837	809	723	1100	1372	1775	1741
INV31	277521	4969029	729	834	829	743	1120	1392	1795	1754
INV32	277666	4968729	910	976	541	436	787	1059	1474	1588
INV33	277678	4968713	921	985	524	417	767	1039	1455	1578
INV34	277649	4968763	886	956	572	469	825	1097	1511	1605

COORDINATE E MATRICE DISTANZE SORGENTI / RECETTORI [m]

recettore		R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08
sorgente sonora	Coordinate WGS 84 UTM34 [m]	278003	278149	278153	278029	278042	278181	278676	279254
		4969575	4969578	4968493	4968487	4968037	4967803	4967654	4968762
INV35	277627 4968813	850	926	616	518	879	1152	1563	1629
INV36	277854 4968563	1022	1056	307	191	558	828	1225	1414
INV37	277843 4968563	1024	1060	318	201	562	832	1233	1426
INV38	277831 4968563	1026	1063	330	212	566	837	1241	1437
INV39	277820 4968563	1028	1066	341	223	571	842	1249	1448
INV40	277808 4968563	1030	1070	352	234	575	847	1256	1460
INV41	277797 4968563	1032	1074	363	244	580	852	1264	1471
INV42	277786 4968563	1034	1078	374	255	585	857	1272	1482
INV43	277774 4968563	1037	1081	386	266	590	862	1280	1493
INV44	277763 4968580	1023	1070	400	282	610	882	1300	1503
INV45	277752 4968580	1026	1074	411	293	615	888	1308	1514
INV46	277740 4968580	1029	1078	422	303	621	893	1316	1525
INV47	277729 4968596	1016	1067	437	320	641	913	1336	1535
INV48	277723 4968613	1002	1054	447	331	658	930	1351	1539
INV49	277712 4968646	973	1029	467	355	692	965	1383	1547
INV50	277700 4968663	961	1019	484	373	712	985	1403	1557
INV51	277689 4968679	949	1009	500	391	732	1005	1423	1568
INV52	277633 4969270	480	601	935	877	1298	1566	1923	1699
INV53	277644 4969253	482	600	915	857	1279	1546	1903	1684
INV54	277650 4969237	489	604	898	840	1262	1529	1886	1673
INV55	277656 4969221	496	609	881	823	1245	1512	1869	1663
INV56	277661 4969204	504	614	865	806	1227	1494	1852	1653
INV57	277667 4969188	512	620	848	789	1210	1477	1836	1644
INV58	277673 4969188	509	615	845	786	1208	1475	1833	1638
INV59	277678 4969172	518	621	828	769	1191	1458	1816	1629
INV60	277684 4969155	527	628	812	752	1174	1441	1799	1619
INV61	277690 4969139	537	635	795	735	1157	1423	1782	1610
INV62	277695 4969123	547	642	778	718	1139	1406	1765	1600
INV63	277701 4969123	543	638	775	715	1138	1404	1762	1595
INV64	277707 4969107	554	646	759	698	1120	1387	1746	1586
INV65	277712 4969090	565	654	742	681	1103	1370	1729	1577
INV66	277718 4969074	576	663	726	664	1086	1352	1712	1568
INV67	277724 4969057	588	672	709	647	1068	1335	1695	1559
INV68	277729 4969041	600	681	692	629	1051	1317	1679	1550
INV69	277735 4969025	612	691	676	612	1034	1300	1662	1542
INV70	277741 4969025	609	687	673	610	1032	1299	1659	1536
INV71	277747 4969008	622	697	656	593	1015	1281	1642	1528

COORDINATE E MATRICE DISTANZE SORGENTI / RECETTORI [m]

recettore		R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08
sorgente sonora	Coordinate WGS 84 UTM34 [m]	278003	278149	278153	278029	278042	278181	278676	279254
		4969575	4969578	4968493	4968487	4968037	4967803	4967654	4968762
INV72	277883 4968673	910	943	325	236	655	919	1291	1374
INV73	277889 4968640	942	973	303	207	622	886	1261	1371
INV74	277900 4968624	957	986	285	188	603	867	1241	1361
INV75	277894 4968640	941	972	298	204	620	885	1258	1366
INV76	277906 4968607	972	1001	273	172	586	850	1225	1358
INV77	277911 4968607	972	999	268	168	585	848	1222	1352
INV78	277917 4968591	987	1014	256	153	568	831	1205	1348
INV79	277923 4968575	1003	1028	245	138	550	814	1189	1345
INV80	277928 4968575	1003	1027	239	133	549	812	1186	1339
INV81	277934 4968575	1002	1025	234	129	548	810	1182	1333
INV82	277877 4968689	894	929	339	253	672	937	1307	1379
INV83	277872 4968689	895	931	343	256	673	938	1310	1385
INV84	277866 4968706	879	917	358	273	691	956	1327	1390
INV85	277860 4968722	865	903	372	289	708	973	1343	1395
INV86	277855 4968738	850	890	386	306	725	990	1360	1400
INV87	277849 4968755	835	876	401	322	743	1008	1376	1406
INV88	277843 4968771	820	863	416	339	760	1025	1393	1411
INV89	277838 4968787	805	850	432	356	777	1042	1409	1417
INV90	277832 4968804	790	836	447	373	795	1060	1426	1423
INV91	277828 4968804	791	838	449	375	795	1061	1428	1427
INV92	278050 4968579	997	1004	134	94	541	786	1116	1218
INV93	278044 4968579	997	1005	139	93	541	787	1119	1224
INV94	278038 4968579	997	1005	143	92	541	788	1123	1230
INV95	278033 4968578	997	1006	148	91	541	789	1126	1235
INV96	278027 4968578	997	1007	152	91	541	790	1129	1241
INV97	278021 4968578	997	1008	157	91	541	791	1132	1247
INV98	278016 4968578	997	1009	162	91	541	792	1135	1252
INV99	278010 4968578	997	1010	166	92	541	793	1138	1258
INV100	278004 4968577	997	1011	171	93	541	794	1141	1264
INV101	277999 4968577	997	1012	176	95	542	795	1145	1269
INV102	278056 4968612	964	971	154	127	575	818	1141	1208
INV103	277991 4968577	998	1013	183	98	542	797	1149	1277
INV104	277985 4968577	998	1014	188	100	542	798	1152	1283
INV105	277980 4968577	998	1015	193	102	543	799	1156	1288
INV106	277974 4968577	999	1017	198	105	543	801	1159	1294
INV107	277968 4968576	999	1018	203	108	544	802	1162	1300
INV108	277963 4968576	999	1019	208	111	545	803	1165	1305

COORDINATE E MATRICE DISTANZE SORGENTI / RECETTORI [m]

recettore		R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08
sorgente sonora	Coordinate WGS 84 UTM34 [m]	278003	278149	278153	278029	278042	278181	278676	279254
		4969575	4969578	4968493	4968487	4968037	4967803	4967654	4968762
INV109	277957 4968576	1000	1020	213	114	545	805	1169	1311
INV110	277951 4968576	1000	1021	218	118	546	806	1172	1317
INV111	277945 4968576	1001	1023	224	122	547	807	1175	1322
INV112	278106 4969079	506	501	587	597	1043	1278	1534	1191
INV113	278112 4968913	671	666	422	434	878	1112	1379	1153
INV114	278117 4968913	671	666	421	435	879	1112	1377	1147
INV115	278118 4968863	721	716	371	386	829	1061	1331	1141
INV116	278122 4968664	918	914	174	200	632	863	1152	1136
INV117	278129 4968615	968	963	124	162	584	813	1105	1135
INV118	278135 4968615	969	963	123	165	585	813	1102	1130
INV119	278140 4968615	970	963	122	169	586	813	1100	1124
INV120	278146 4968615	970	963	122	173	587	812	1097	1118
INV121	278152 4968615	971	963	122	177	588	812	1094	1113
INV122	278157 4968615	972	963	122	181	589	812	1092	1107
INV123	278163 4968615	973	963	122	185	590	812	1089	1101
INV124	278169 4968615	973	963	123	189	592	812	1087	1096
INV125	278174 4968615	974	963	124	194	593	812	1084	1090
INV126	278180 4968616	975	963	125	198	594	812	1081	1084
INV127	278186 4968616	976	963	126	202	596	812	1079	1079
INV128	278191 4968616	977	963	128	207	597	813	1076	1073
INV129	278197 4968616	978	963	130	211	599	813	1074	1067
INV130	278203 4968616	979	964	132	216	601	813	1072	1062
INV131	278208 4968616	980	964	134	221	602	813	1069	1056
INV132	278214 4968616	981	964	137	225	604	814	1067	1051
INV133	278220 4968500	1096	1080	67	191	496	698	961	1067
INV134	278225 4968500	1097	1080	72	197	498	698	958	1062
INV135	278231 4968500	1098	1081	78	202	500	699	956	1056
INV136	278237 4968500	1099	1081	84	208	503	699	953	1051
INV137	278243 4968501	1101	1081	89	214	505	700	951	1045
INV138	278248 4968501	1102	1082	95	219	507	701	948	1040
INV139	278254 4968501	1103	1082	101	225	510	701	946	1034
INV140	278260 4968501	1104	1083	106	231	512	702	943	1029
INV141	278265 4968501	1105	1083	112	237	515	703	941	1023
INV142	278271 4968501	1107	1084	118	242	517	703	938	1017
INV143	278288 4968501	1111	1086	135	259	525	706	931	1001
INV144	278282 4968501	1109	1085	129	254	523	705	934	1006
INV145	278299 4968502	1113	1087	146	271	531	708	927	990

COORDINATE E MATRICE DISTANZE SORGENTI / RECETTORI [m]

recettore		R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08
sorgente sonora	Coordinate WGS 84 UTM34 [m]	278003	278149	278153	278029	278042	278181	278676	279254
		4969575	4969578	4968493	4968487	4968037	4967803	4967654	4968762
INV146	278311 4968502	1116	1088	158	282	537	710	923	979
INV147	278436 4968504	1155	1112	283	407	611	745	883	858
INV148	278441 4968504	1157	1113	288	413	614	747	881	853
INV149	278430 4968504	1153	1110	277	401	607	743	884	864
INV150	278447 4968504	1159	1115	294	418	618	750	880	847
INV151	278424 4968504	1151	1109	271	396	603	741	886	869
INV152	278470 4968504	1168	1121	317	441	634	758	875	826
INV153	278419 4968504	1149	1108	266	390	600	739	887	875
INV154	278459 4968504	1163	1118	305	430	626	754	877	837
INV155	278413 4968503	1147	1107	260	384	596	737	889	880
INV156	278407 4968503	1145	1105	254	379	592	736	890	886
INV157	278402 4968503	1143	1104	248	373	589	734	892	891
INV158	278396 4968503	1141	1103	243	367	585	732	894	897
INV159	278390 4968503	1139	1102	237	362	582	730	895	902
INV160	278385 4968503	1138	1101	231	356	578	729	897	908
INV161	278373 4968503	1134	1098	220	345	571	725	901	918
INV162	278362 4968503	1131	1096	209	333	565	722	904	929
INV163	278351 4968502	1127	1094	197	322	558	719	908	940
INV164	278339 4968502	1124	1092	186	310	552	717	912	951
INV165	278328 4968502	1121	1091	175	299	546	714	916	962
INV166	278657 4968508	1252	1185	504	629	775	850	854	649
INV167	278652 4968508	1249	1183	499	623	770	847	854	654
INV168	278646 4968508	1246	1180	493	617	766	844	854	659
INV169	278640 4968507	1243	1178	487	612	761	841	854	665
INV170	278481 4968505	1172	1124	328	452	642	763	872	815
INV171	278629 4968507	1237	1174	476	600	752	834	854	675
INV172	278561 4968506	1205	1148	408	532	699	799	859	739
INV173	278618 4968507	1232	1169	464	589	743	828	855	686
INV174	278549 4968506	1200	1145	396	521	691	793	861	750
INV175	278606 4968507	1226	1165	453	578	734	822	855	697
INV176	278538 4968506	1195	1141	385	509	682	788	862	761
INV177	278595 4968507	1221	1161	442	566	726	816	856	707
INV178	278527 4968505	1191	1137	373	498	674	783	864	772
INV179	278584 4968506	1216	1156	430	555	717	810	857	718
INV180	278515 4968505	1186	1134	362	487	666	777	866	782
INV181	278572 4968506	1211	1152	419	543	708	804	858	729
INV182	278504 4968505	1181	1130	351	475	658	772	868	793

COORDINATE E MATRICE DISTANZE SORGENTI / RECETTORI [m]

recettore		R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08
sorgente sonora	Coordinate WGS 84 UTM34 [m]	278003	278149	278153	278029	278042	278181	278676	279254
		4969575	4969578	4968493	4968487	4968037	4967803	4967654	4968762
INV183	278493 4968505	1177	1127	339	464	650	768	870	804
INV184	278231 4969130	500	455	642	674	1109	1328	1541	1088
INV185	278476 4969134	646	551	717	786	1180	1363	1493	863
INV186	278635 4969137	768	656	804	888	1249	1409	1483	724
INV187	278623 4969137	759	648	797	880	1244	1405	1483	734
INV188	278254 4969131	510	460	645	681	1114	1329	1535	1066
INV189	278612 4969137	750	640	790	873	1238	1401	1484	744
INV190	278243 4969130	505	457	643	677	1111	1328	1538	1077
INV191	278601 4969137	741	632	783	865	1233	1398	1484	754
INV192	278532 4969135	688	586	746	820	1203	1378	1488	813
INV193	278589 4969136	732	624	777	857	1228	1394	1484	763
INV194	278521 4969135	679	579	740	813	1198	1375	1489	823
INV195	278578 4969136	723	616	770	850	1223	1391	1485	773
INV196	278510 4969135	671	572	734	806	1193	1372	1490	833
INV197	278567 4969136	714	608	764	842	1217	1387	1486	783
INV198	278498 4969135	662	565	728	800	1189	1369	1491	843
INV199	278555 4969136	705	601	758	835	1212	1384	1486	793
INV200	278487 4969135	654	558	723	793	1184	1366	1492	853
INV201	278544 4969136	697	593	752	828	1208	1381	1487	803
INV202	278466 4969134	639	546	713	781	1176	1361	1495	872
INV203	278299 4969131	533	471	654	698	1124	1333	1524	1024
INV204	278455 4969134	631	539	708	774	1172	1359	1496	882
INV205	278311 4969131	539	475	657	703	1127	1335	1522	1014
INV206	278444 4969134	623	533	703	768	1168	1356	1497	892
INV207	278322 4969132	546	479	660	708	1130	1336	1519	1003
INV208	278432 4969134	615	527	698	762	1164	1354	1499	902
INV209	278333 4969132	552	483	663	713	1133	1337	1517	993
INV210	278421 4969133	608	521	694	755	1160	1351	1501	913
INV211	278345 4969132	559	487	667	718	1136	1339	1514	982
INV212	278409 4969133	600	516	689	749	1156	1349	1503	923
INV213	278356 4969132	566	492	670	723	1139	1340	1512	972
INV214	278265 4969131	516	462	647	685	1116	1330	1532	1056
INV215	278392 4969133	589	507	683	741	1150	1346	1505	938
INV216	278277 4969131	521	465	649	689	1118	1331	1529	1045
INV217	278381 4969133	581	502	679	735	1147	1344	1507	949
INV218	278288 4969131	527	468	652	694	1121	1332	1527	1035
INV219	278370 4969132	574	497	675	729	1143	1342	1509	959

COORDINATE E MATRICE DISTANZE SORGENTI / RECETTORI [m]

recettore		R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08
sorgente sonora	Coordinate WGS 84 UTM34 [m]	278003	278149	278153	278029	278042	278181	278676	279254
		4969575	4969578	4968493	4968487	4968037	4967803	4967654	4968762
INV220	278646 4968806	1002	919	583	694	977	1105	1152	610
INV221	278637 4968805	997	914	575	686	972	1101	1152	619
INV222	278625 4968805	990	908	566	676	965	1096	1152	630
INV223	278614 4968805	983	902	556	666	958	1091	1152	642
INV224	278603 4968805	976	897	547	656	951	1087	1153	653
INV225	278591 4968805	969	891	537	646	944	1082	1153	664
INV226	278580 4968804	962	886	528	636	937	1078	1154	676
INV227	278569 4968804	956	880	519	626	930	1073	1155	687
INV228	278557 4968804	949	875	509	616	924	1069	1156	698
INV229	278546 4968804	943	870	500	606	917	1065	1157	710
INV230	278534 4968804	936	865	491	596	911	1061	1158	721
INV231	278523 4968803	930	860	483	586	905	1057	1159	733
INV232	278512 4968803	924	856	474	577	899	1053	1160	744
INV233	278500 4968803	918	851	465	567	893	1049	1162	755
INV234	278489 4968803	912	847	456	558	887	1046	1164	767
INV235	278478 4968803	906	842	448	548	881	1042	1165	778
INV236	278466 4968802	900	838	440	539	875	1039	1167	789
INV237	278455 4968802	895	834	432	530	869	1036	1169	801
INV238	278133 4968134	1447	1444	360	369	133	334	724	1285
INV239	278145 4968134	1447	1444	359	372	141	333	716	1275
INV240	278156 4968135	1448	1443	358	374	150	333	708	1265
INV241	278162 4968135	1449	1443	359	377	154	332	703	1260
INV242	278173 4968135	1450	1443	359	381	164	332	695	1250
INV243	278184 4968135	1451	1443	359	385	173	332	687	1240
INV244	278196 4968136	1452	1443	360	389	183	333	680	1230
INV245	278207 4968136	1453	1443	361	394	193	334	672	1220
INV246	278218 4968136	1454	1443	363	399	203	335	664	1210
INV247	278230 4968137	1456	1444	365	404	213	337	657	1200
INV248	278247 4968137	1458	1444	368	413	228	340	646	1186
INV249	278258 4968137	1460	1445	371	418	239	343	638	1176
INV250	278270 4968138	1462	1445	374	424	249	346	631	1166
INV251	278281 4968138	1463	1446	378	431	260	349	624	1156
INV252	278292 4968138	1465	1447	381	437	270	353	617	1146
INV253	278313 4968139	1469	1448	389	449	290	361	605	1129
INV254	278324 4968139	1471	1449	393	456	301	365	599	1119
INV255	278336 4968140	1473	1450	398	464	311	370	592	1110
INV256	278347 4968140	1475	1452	403	471	322	375	586	1100

COORDINATE E MATRICE DISTANZE SORGENTI / RECETTORI [m]

recettore		R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08
sorgente sonora	Coordinate WGS 84 UTM34 [m]	278003	278149	278153	278029	278042	278181	278676	279254
		4969575	4969578	4968493	4968487	4968037	4967803	4967654	4968762
INV257	278359 4968140	1478	1453	408	479	333	381	580	1090
INV258	278370 4968141	1480	1454	414	486	344	386	574	1081
INV259	278381 4968141	1483	1456	420	494	355	392	569	1072
INV260	278393 4968141	1485	1457	426	502	366	399	563	1062
INV261	278404 4968141	1488	1459	432	510	377	405	558	1053
INV262	278415 4968142	1491	1461	438	518	388	412	553	1043
INV263	278427 4968159	1478	1446	432	516	404	432	562	1024
INV264	278438 4968159	1481	1448	439	524	415	439	558	1015
INV265	278449 4968159	1484	1450	446	533	426	446	553	1005
INV266	278461 4968176	1471	1436	442	532	442	466	564	986
INV267	278472 4968176	1475	1438	449	541	452	473	560	977
INV268	278484 4968194	1462	1424	446	541	469	494	572	958
INV269	278495 4968194	1466	1427	454	551	480	501	569	948
INV270	278501 4968211	1452	1412	448	547	491	518	583	934
INV271	278512 4968211	1456	1415	456	556	501	525	580	925
INV272	278518 4968228	1442	1400	451	553	513	542	595	910
INV273	278529 4968228	1446	1403	460	563	523	549	592	901
INV274	278546 4968262	1421	1375	456	564	552	586	621	867
INV275	278557 4968262	1425	1378	466	574	563	593	619	858
INV276	278588 4968296	1406	1355	477	591	604	639	648	813
INV277	278614 4968330	1387	1332	489	606	643	682	678	772
INV278	278620 4968330	1389	1334	494	611	648	686	678	767
INV279	278569 4968279	1414	1365	467	579	580	614	634	839
INV280	278540 4968245	1434	1389	460	566	540	569	606	882
INV281	278599 4968313	1396	1343	481	596	622	659	663	794
INV282	278639 4968347	1382	1325	507	626	673	711	694	742
INV283	278631 4968347	1379	1322	500	618	666	706	694	749
INV284	277858 4968438	1146	1176	300	178	441	712	1133	1433
INV285	277875 4968439	1143	1172	284	161	434	705	1121	1417
INV286	277892 4968439	1141	1167	267	145	429	698	1109	1400
INV287	277909 4968439	1139	1163	250	129	423	692	1097	1383
INV288	277926 4968440	1137	1160	233	113	419	686	1086	1367
INV289	277943 4968440	1136	1156	217	98	415	680	1074	1350
INV290	277960 4968402	1173	1191	213	109	374	638	1035	1343
INV291	277978 4968368	1207	1222	216	130	337	600	998	1336
INV292	277989 4968335	1239	1253	228	157	303	566	967	1335
INV293	278001 4968302	1273	1285	245	188	268	530	936	1336

COORDINATE E MATRICE DISTANZE SORGENTI / RECETTORI [m]

recettore		R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08
sorgente sonora	Coordinate WGS 84 UTM34 [m]	278003	278149	278153	278029	278042	278181	278676	279254
		4969575	4969578	4968493	4968487	4968037	4967803	4967654	4968762
INV294	278023 4968253	1322	1331	274	235	216	476	885	1332
INV295	278040 4968220	1356	1363	296	268	182	440	850	1330
INV296	278016 4968424	1151	1161	154	65	388	642	1013	1283
INV297	278028 4968425	1150	1159	143	63	388	640	1006	1272
INV298	278039 4968424	1151	1159	134	64	387	637	999	1261
INV299	278051 4968425	1151	1157	123	66	388	635	992	1250
INV300	278062 4968409	1167	1172	125	85	372	617	973	1244
TRAS01	277614 4968831	839	918	637	539	902	1174	1585	1642
TRAS02	277757 4968560	1044	1090	402	281	595	867	1290	1511
TRAS03	277513 4969309	558	690	1037	970	1377	1647	2022	1826
TRAS04	277620 4969304	469	596	971	914	1335	1603	1959	1722
TRAS05	277876 4968672	911	946	330	240	656	921	1294	1381
TRAS06	278059 4968591	985	991	136	108	554	797	1122	1208
TRAS07	278122 4968619	963	959	129	161	587	818	1112	1142
TRAS08	278232 4968487	1112	1095	79	203	488	685	943	1059
TRAS09	278438 4968493	1166	1123	285	409	604	736	871	859
TRAS10	278643 4968497	1253	1189	490	614	757	833	843	666
TRAS11	278653 4968805	1008	923	589	700	981	1107	1151	603
TRAS12	278625 4969148	754	642	807	890	1254	1416	1494	738
TRAS13	278479 4969143	642	546	726	795	1189	1372	1501	864
TRAS14	278154 4968124	1459	1454	370	384	141	322	702	1272
TRAS15	278263 4968126	1471	1456	383	430	238	333	627	1178
TRAS16	278380 4968131	1492	1466	428	501	351	383	560	1078
TRAS17	277839 4968436	1150	1183	319	197	447	719	1145	1452



Figura 4: Inquadramento territoriale su ortofoto estratta da Google Earth dell'area di installazione dei moduli (pannellatura in blu) con evidenza dei recettori individuati con etichette gialle (R01, R02,...,etc).

4. CENNI TEORICI SULLE VIBRAZIONI

5. 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.

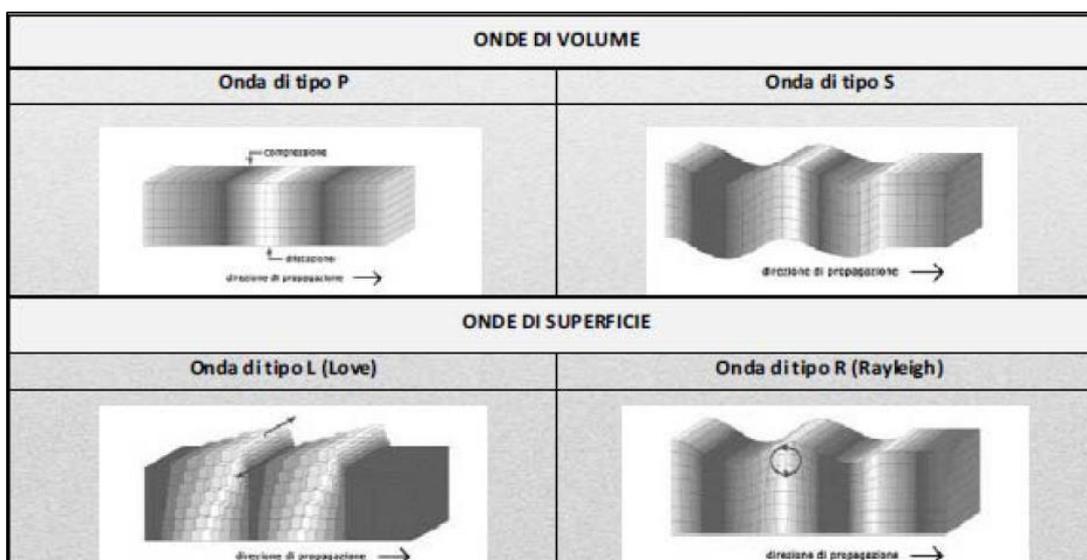


Figura 5: Differenti tipologie di Onde di Volume e Superficie

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.

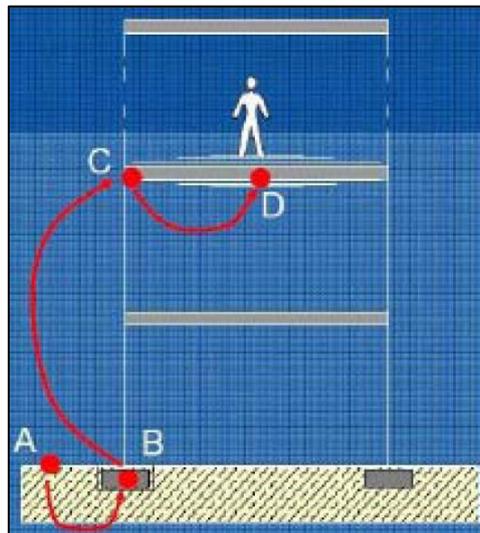


Figura 6: Schematizzazione semplificata della propagazione delle vibrazioni nel sistema terreno-edificio

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

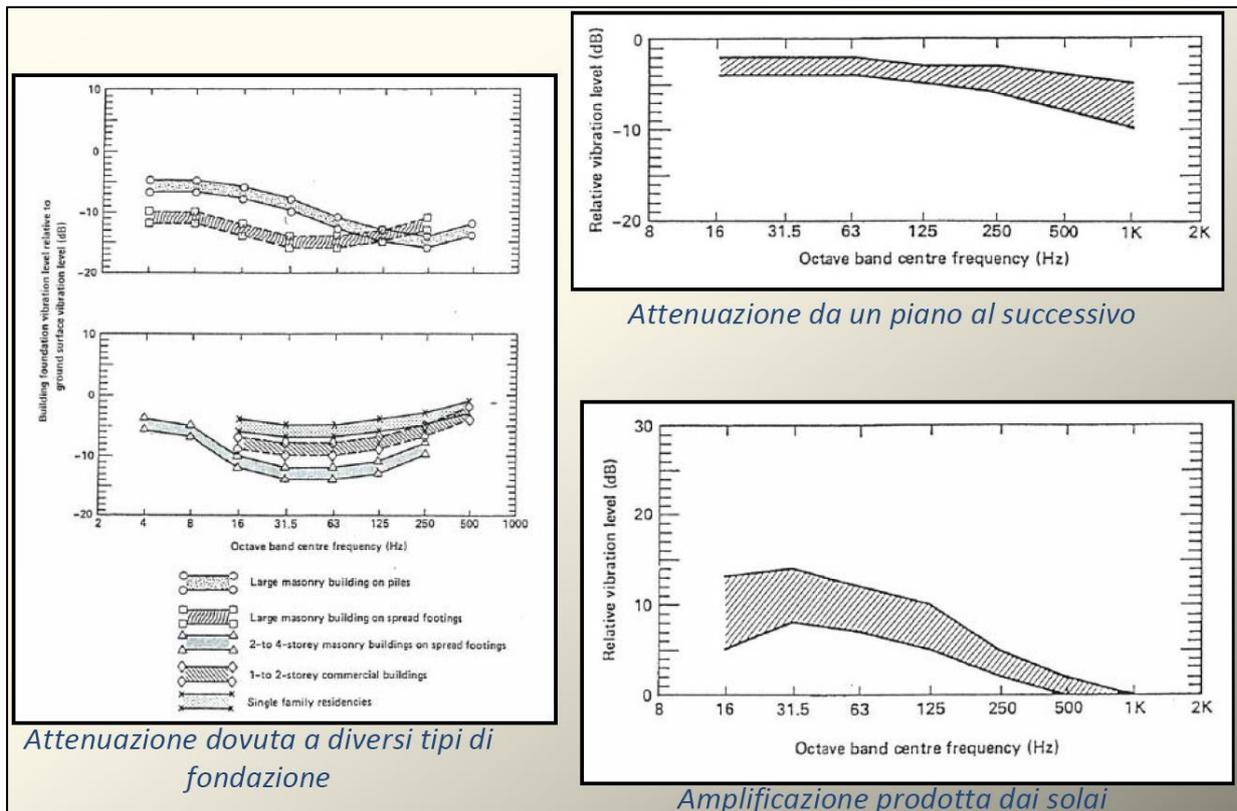


Figura 7: Esempi di Attenuazione/Amplificazione dei fenomeni vibratorii/oscillatori nei differenti elementi

6. 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 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.

7. 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:

- 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 nel caso studio, 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 lamenti. 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.

8. 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, 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.

Tabella 3: 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.

9. 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.

10. Rischio Esposizione Umana – Rischio Disturbo

Nelle strutture classificate come recettori, ed in generale in tutti i corpi di fabbrica 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, 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 4: 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 10 ⁻³	71	Aree critiche	5,0 10 ⁻³	74
Abitazioni notte	5,0 10 ⁻³	74	Abitazioni notte	7,0 10 ⁻³	77
Abitazioni giorno	7,0 10 ⁻³	77	Abitazioni giorno	10,0 10 ⁻³	80
Uffici	14,4 10 ⁻³	83	Uffici	20,0 10 ⁻³	86
Fabbriche	28,8 10 ⁻³	89	Fabbriche	40,0 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

11. 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 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 nostro caso, la conversione della corrente continua in alternata viene effettuata da opportuni inverter detti di stringa, posti alla base delle strutture di sostegno dei moduli fotovoltaici; la fase di adattamento della tensione ai livelli necessari alla distribuzione è a carico di trasformatori posti all'interno di cabine di campo. 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.

12. 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 macrocategorie di sottosuolo come evidenziato nella tabella a seguire)

Tabella 5: 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.
4. Attenuazioni o Amplificazioni nella struttura degli edifici:

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

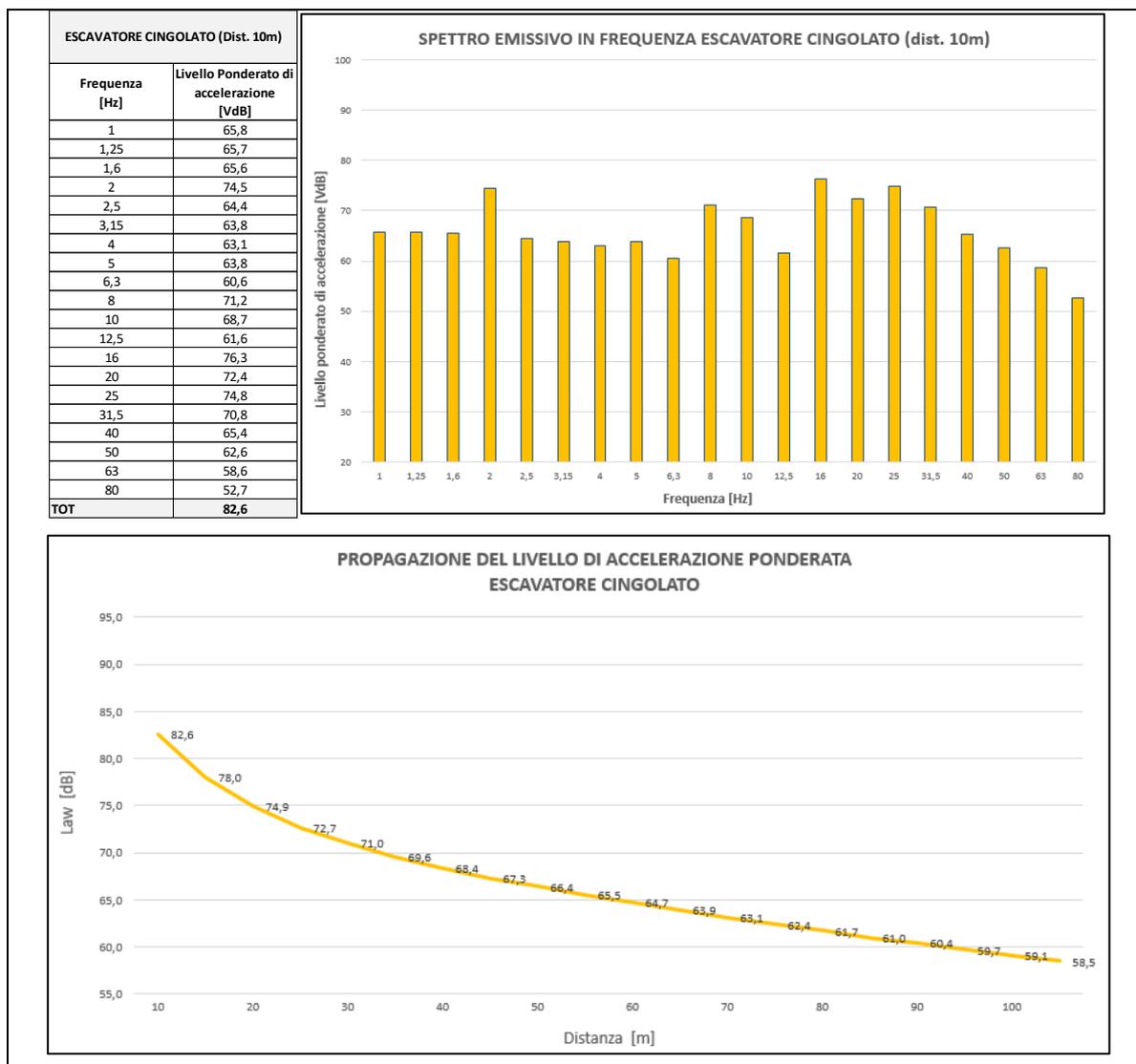


Figura 8: Spettro emissivo in frequenza e andamento grafico della propagazione in funzione della distanza del livello di accelerazione ponderata delle sollecitazioni prodotte da un escavatore cingolato in fase di cantiere.

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 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.

13. 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.

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