



PROGETTO DI COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN
IMPIANTO FOTOVOLTAICO DELLA POTENZA DI 10,002
MW_P DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI GONNESA (SU),
CON LE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ELETTRICHE
DENOMINATO “GENERE”

RELAZIONE IMPIANTI
ELETTROMAGNETICI

Rev. 0.0

Data: 28 NOVEMBRE 2022

PV015-DOC005B

Committente:

Ecosardinia 2 S.r.l.

Via Manzoni, 30

20121 MILANO (MI)

C. F. e P. IVA: 11117500964

PEC: ecosardinia2srl@legalmail.it

Incaricato:

Queequeg Renewables, Ltd

Unit 3.03, 1110 Great West Road

TW80GP London (UK)

Company number: 111780524

email: mail@quenter.co.uk

Progettista:

ing. Alessandro Zanini



Sommario

1.	Premessa	4
2.	Generalità sulle emissioni elettromagnetiche	5
3.	Norme e documentazione di riferimento	6
4.1	Definizioni	6
4.	Inquadramento Normativo	7
5.	Descrizione dell'impianto	9
6.	Metodo di calcolo del campo magnetico	12
7.	Linee di distribuzione MT e BT impianto fotovoltaico	13
8.	Risultati di calcolo	14
9.	Conclusioni	14

1. Premessa

La presente relazione sulla valutazione dei campi elettromagnetici è parte integrante del procedimento di **Autorizzazione Unica** Regionale ai sensi dell'articolo 12 del Decreto Legislativo numero 387 del 2003 e del D. G. R. 3/15 del 23 Gennaio 2018, e valido ai fini della **Verifica di Assoggettabilità a Valutazione di Impatto Ambientale** ai sensi del D. G. R. 45/24 del 27 Settembre 2017.

Il presente studio è finalizzato al calcolo preventivo delle emissioni elettromagnetiche non ionizzanti determinate dalle installazioni elettriche previste dal progetto di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica di potenza di picco nominale pari a 10.002,33 kWp da localizzarsi su un terreno Agricolo (E5), Servizi generali (G11, ex cava) e sito archeologico censito (H2) nel Comune di Gonnese (SU). L'impianto avrà una potenza di immissione AC nella Rete Elettrica Nazionale pari a 7.980 kW, attraverso una connessione in antenna da cabina primaria AT/MT "Sulcis 2" di proprietà dell'operatore e-distribuzione.

L'impianto fotovoltaico è suddiviso in 7 sottocampi (Sottocampo 1, Sottocampo 2, Sottocampo 3, Sottocampo 4, Sottocampo 5, Sottocampo 6, Sottocampo 7) così connessi:

- Sottocampo 1 – n.7 inverter – n.18 stringhe per inverter;
- Sottocampo 2 – n.7 inverter - n.18 stringhe per inverter;
- Sottocampo 3 – n.6 inverter – n.18 stringhe per inverter;
- Sottocampo 4 – n.3 inverter per 18 stringhe; n.3 inverter per 17 stringhe;
- Sottocampo 5 – n.6 inverter – n.17 stringhe per inverter;
- Sottocampo 6 – n.6 inverter – n.17 stringhe per inverter;
- Sottocampo 7 - n.6 inverter - n.13 stringhe per inverter.

Le uscite degli inverter si attesteranno ai quadri di bassa tensione QBT(QBT1, QBT2,QBT3, QBT4, QBT5, QBT6 e QBT7) che a loro volta si attesteranno ai trasformatori elevatori MT/BT (TR1, TR2, TR3, TR4, TR5, TR6, TR7); i trasformatori saranno del tipo in resina con rapporto di trasformazione 15/0,8 kV di potenza apparente pari a 1600 kVA. I trasformatori saranno sottesi ai quadri di media tensione QMT (QMT1, QMT2, QMT3, QMT4, QMT5, QMT6, QMT7). I quadri QBT, i trasformatori e i quadri QMT saranno posizionati nelle cabine di trasformazione. I quadri QMT , e di conseguenza tutte le cabine di trasformazione, collegate tra di loro in "entra-esci", saranno sottesi al quadro QMTT di parallelo con la rete posizionato all'interno della cabina di parallelo. Per l'alimentazione dei servizi ausiliari ed accessori è previsto un trasformatore MT/BT da 50 kVA.

Si riporta di seguito le modalità del calcolo nel dimensionamento dell'impianto.

2. Generalità sulle emissioni elettromagnetiche

I campi elettromagnetici consistono in onde elettriche (E) e magnetiche (H) che viaggiano insieme. Esse si propagano alla velocità della luce e sono caratterizzate da una frequenza ed una lunghezza d'onda.

I campi ELF si identificano nei campi a frequenza fino a 300 Hz. A frequenze così basse corrispondono lunghezze d'onda in aria molto grandi e, in situazioni pratiche, il campo elettrico e quello magnetico agiscono in modo indipendente l'uno dall'altro e vengono misurati e valutati separatamente.

I campi elettrici sono prodotti dalle cariche elettriche. Essi governano il moto di altre cariche elettriche che vi siano immerse. La loro intensità viene misurata in Volt al metro (V/m) o in chiloVolt al metro (kV/m). Quando delle cariche si accumulano su di un oggetto, fanno sì che cariche di segno uguale od opposto vengano, rispettivamente, respinte o attratte. L'intensità di questo effetto viene caratterizzata attraverso la tensione, misurata in Volt (V). L'intensità dei campi elettrici è massima vicino alla sorgente e diminuisce con la distanza (proporzionale alla tensione della sorgente). Molti materiali comuni, come il legno ed il metallo, costituiscono uno schermo per questi campi.

I campi magnetici sono prodotti dal moto delle cariche elettriche, cioè dalla corrente. Essi governano il moto delle cariche elettriche. La loro intensità si misura in Ampere al metro (A/m), ma è spesso espressa in termini di una grandezza corrispondente, l'induzione magnetica, che si misura in Tesla (T), milliTesla (mT) o microTesla (μ T).

I campi magnetici sono massimi vicino alla sorgente e diminuiscono con la distanza (proporzionale alla corrente della sorgente). Essi non vengono schermati dalla maggior parte dei materiali di uso comune, e li attraversano facilmente.

Ai fini dell'esposizione umana alle radiazioni non ionizzanti, considerando le caratteristiche fisiche delle grandezze elettriche in gioco in un impianto fotovoltaico (tensioni fino a 150.000 V e frequenze di 50 Hz) i campi elettrici e magnetici sono da valutarsi separatamente perché disaccoppiati.

Come già accennato il campo elettrico, a differenza del campo magnetico, subisce una attenuazione per effetto della presenza di elementi posti fra la sorgente e il punto irradiato.

Pertanto le situazioni più critiche sono rappresentate dagli impianti installati in ambiente esterno, rappresentando le schermature dei cavi, la presenza di opere civili e la blindatura degli scomparti validi elementi di schermatura. Inoltre la distanza tra le apparecchiature e le recinzioni sono tali da contenere i valori di campo elettrico entro i valori limite da eventuali ricettori sensibili. Ai fini del presente studio si valuteranno, quindi, i soli campi magnetici.

3. Norme e documentazione di riferimento

Legge 22 febbraio 2001, n. 36 "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici".

- DPCM 8 luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, valori di attenzione ed obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti".
- DM 29 maggio 2008, GU n. 156 del 5 luglio 2008, "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti".
- CEI 11-17 "Impianti di produzione, trasmissione, distribuzione pubblica di energia elettrica Linee in cavo".
- CEI 11-60, "Portata al limite termico delle linee elettriche aeree esterne con tensione maggiore a 100 kV",
- CEI 20-21 "Calcolo della portata di corrente" (IEC 60287).
- CEI 106-11 "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6). Parte I: linee elettriche aeree e in cavo".

7.1 Definizioni

Si introducono le seguenti definizioni anche in riferimento a quanto indicato nell'allegato del D.M. del 29 Maggio 2008 "Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto":

Corrente: Valore efficace dell'intensità di corrente elettrica.

Portata in corrente in servizio normale: Corrente che può essere sopportata da un conduttore per il 100% del tempo con limiti accettabili del rischio di scarica sugli oggetti mobili e sulle opere attraversate e dell'invecchiamento. Essa è definita nella norma CEI 11-60 e sue successive modifiche e integrazioni.

La corrente di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto è la "portata di corrente in servizio normale relativa al periodo stagionale in cui essa è più elevata":

- Per le linee con tensione >100 kV, è definita dalla norma CEI 11-60;
- Per gli elettrodotti aerei con tensione < 100 kV, i proprietari/gestori fissano la portata in corrente in regime permanente in relazione ai carichi attesi con riferimento alle condizioni progettuali assunte per il dimensionamento dei conduttori;
- Per le linee in cavo è definita dalla norma CEI 11-17 come portata in regime permanente;

Portata in regime permanente: Massimo valore della corrente che, in regime permanente e in condizioni specificate, il conduttore può trasmettere senza che la sua temperatura superi un valore specificato.

Fascia di rispetto: Spazio circostante un elettrodotto, che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità.

Distanza di prima approssimazione: È la distanza in pianta dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto, la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più della DPA, si trovi all'esterno della fascia di rispetto. Per le cabine è la distanza da tutte le facce del parallelepipedo della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra.

Cabina primaria: La cabina primaria (CP), denominata di seguito anche sottostazione 150/30 kV, è un impianto elettrico che ha la funzione di trasformare l'energia in ingresso in alta tensione (solitamente 120kV, 132kV o 150kV, raramente anche 60kV o 220kV) ad media tensione (8.4, 10, 15 o 20 kV).

4. Inquadramento Normativo

La normativa nazionale per la tutela della popolazione dagli effetti dei campi elettromagnetici disciplina separatamente le basse frequenze (es. elettrodotti) e le alte frequenze (es. impianti radiotelevisivi, stazioni radiobase, ponti radio).

Il 14 febbraio 2001 è stata approvata dalla Camera dei deputati la legge quadro sull'inquinamento elettromagnetico (L.36/01). In generale il sistema di protezione dagli effetti delle esposizioni agli inquinanti ambientali distingue tra:

- Effetti acuti (o di breve periodo), basati su una soglia, per cui si fissano limiti di esposizione che garantiscono, con margini cautelativi, la non insorgenza di tali effetti;
- Effetti cronici (o di lungo periodo), privi di soglia e di natura probabilistica (all'aumentare dell'esposizione aumenta non l'entità ma la probabilità del danno), per cui si fissano livelli operativi di riferimento per prevenire o limitare il possibile danno complessivo.

È importante dunque distinguere il significato dei termini utilizzati nelle leggi (riportiamo nella tabella 1 le definizioni inserite nella legge quadro).

Limiti di esposizione	Valori di CEM che non devono essere superati in alcuna condizione di esposizione, ai fini della tutela dagli effetti acuti.
Valori di attenzione	Valori di CEM che non devono essere superati negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate. Essi costituiscono la misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti di lungo periodo.
Obiettivi di qualità	Valori di CEM causati da singoli impianti o apparecchiature da conseguire nel breve, medio e lungo periodo, attraverso l'uso di tecnologie e metodi di risanamento disponibili. Sono finalizzati a consentire la minimizzazione dell'esposizione della popolazione e dei lavoratori ai CEM anche per la protezione da possibili effetti di lungo periodo.

Tabella 1: Definizione di limiti di esposizione, di valori di attenzione e di obiettivi di qualità secondo la legge quadro

La normativa di riferimento in Italia per le linee elettriche è il DPCM del 08/07/2003 (G.U. n. 200 del 29.08.2003) "Fissazione dei limiti massimi di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti"; tale decreto, per effetto di quanto fissato dalla legge quadro sull'inquinamento elettromagnetico, stabilisce:

- I limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la tutela della salute della popolazione nei confronti dei campi elettromagnetici generati a frequenze non contemplate dal D.M. 381/98, ovvero i campi a bassa frequenza (ELF) e a frequenza industriale (50 Hz);
- Parametri per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti.

Relativamente alla definizione di limiti di esposizione, valori di attenzione e obiettivi di qualità per l'esposizione della popolazione ai campi di frequenza industriale (50 Hz) relativi agli elettrodotti, il DPCM 08/07/03 propone i valori descritti in tabella 2, confrontati con la normativa europea.

Normativa	Limiti previsti	Induzione magnetica B (μT)	Intensità del campo elettrico E (V/m)
DPCM	Limite d'esposizione	100	5000
	Limite d'attenzione	10	
	Obiettivo di qualità	3	
Racc. 1999/512/CE	Livelli di riferimento (ICNIRP1998, OMS)	100	5000

Tabella 2: Limiti di esposizione, limiti di attenzione e obiettivi di qualità del DPCM 08/07/03, confrontati con i livelli di riferimento della Raccomandazione 1999/512CE

Il valore di attenzione di 10 μT si applica nelle aree di gioco per l'infanzia, negli ambienti abitativi, negli ambienti scolastici e in tutti i luoghi in cui possono essere presenti persone per almeno 4 ore al giorno. Tale valore è da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

L'obiettivo di qualità di 3 μT si applica ai nuovi elettrodotti nelle vicinanze dei sopraccitati ambienti e luoghi, nonché ai nuovi insediamenti ed edifici in fase di realizzazione in prossimità di linee e di installazioni elettriche già esistenti (valore inteso come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio).

Da notare che questo valore corrisponde approssimativamente al livello di induzione prevedibile, per linee a pieno carico, alle distanze di rispetto stabilite dal vecchio DPCM 23/04/92.

Si ricorda che i limiti di esposizione fissati dalla legge sono di 100 μT per lunghe esposizioni e di 1000 μT per brevi esposizioni.

Per quanto riguarda la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, sentite le ARPA, ha approvato, con Decreto 29 Maggio 2008, "La metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti".

Tale metodologia, ai sensi dell'art. 6 comma 2 del D.P.C.M. 8 luglio 2003, ha lo scopo di fornire la procedura da adottarsi per la determinazione delle fasce di rispetto pertinenti alle linee elettriche aeree e interrate, esistenti e in progetto. I riferimenti contenuti in tale articolo implicano che le fasce di rispetto debbano attribuirsi ove sia applicabile l'obiettivo di qualità: "Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree di gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione di nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio" (Art. 4).

Al fine di semplificare la gestione territoriale e il calcolo delle fasce di rispetto è stato introdotto nella metodologia di calcolo un procedimento semplificato che trasforma la fascia di rispetto (volume) in una distanza di prima approssimazione (distanza).

5. Descrizione dell'impianto

Generalità

Le opere elettriche di impianto sulle quali rivolgere l'attenzione al fine della valutazione dell'impatto elettrico e magnetico sono di seguito descritte:

- Linee elettriche e cabine di trasformazione dell'impianto fotovoltaico;
- Cavidotti MT di collegamento interno tra le cabine di conversione 15 kV;
- Quadri MT all'interno dell'impianto fotovoltaico 15 kV;
- Linea di connessione in MT tra la cabina di parallelo MT di impianto e la cabina di consegna del distributore.

Impianto fotovoltaico

Per tutto ciò che attiene la valutazione dei campi magnetici ed elettrici all'interno dell'impianto fotovoltaico, essendo l'accesso alla centrale ammesso esclusivamente a personale lavoratore autorizzato, non trova applicazione il DPCM 8 luglio 2003.

Essendo tutte le apparecchiature installate all'interno della recinzione dell'impianto fotovoltaico a distanza opportuna da essa e le zone esterne direttamente confinanti con l'impianto fotovoltaico non adibite né ad una permanenza giornaliera superiore alle 4 ore né a zone gioco per l'infanzia/abitazioni scuole, vanno verificati esclusivamente i limiti di esposizione.

Non trovano applicazione, per le stesse motivazioni, gli obiettivi di qualità del DPCM 8 luglio 2003.

Rimane comunque inteso che i limiti esposti dal DPCM si applicano esclusivamente alla parte esterna della centrale e per quanto su descritto è possibile considerare i valori dei campi elettromagnetici inferiori ai limiti normativi.

Per la valutazione dei campi magnetici statici prodotti dalla sezione in corrente continua, se necessario, si farà riferimento alla raccomandazione del Consiglio dell'Unione Europea del 12 luglio 1999.

Si procederà comunque alla valutazione dei diversi campi magnetici prodotti all'interno dell'impianto fotovoltaico, considerando il funzionamento dello stesso al valore nominale (parametri elettrici al valore nominale).

Linee di distribuzione BT

Gli inverter AC/DC all'interno dell'impianto fotovoltaico sono collegati ai rispettivi quadri di parallelo AC in cabina di trasformazione mediante cavo interrato.

I cavi impiegati saranno del tipo unipolari FG16R 0.6/1 Kv con posa in cavidotto a "trifoglio". Essi sono costituiti da conduttore a corda rotonda flessibile di rame rosso ricotto rivestito da un primo strato di isolante in gomma HEPR ad alto modulo qualità G16, e da una guaina in PVC speciale di qualità G16.

Il cavo suddetto è definito a campo radiale in quanto le linee di forza elettriche risultano perpendicolari agli strati dell'isolante.

La sezione dei singoli cavi componenti le terne, presenta le seguenti caratteristiche:

Tipo	Sezione nominale [mm ²]	Diametro indicativo conduttore [mm]	Spessore medio isolante [mm]	Portata di corrente [A] (posa interrata 20°C – $\rho=1,5^\circ\text{Cm/W}$)
FG16R16 0,6/1 kV	70	11,0	1,1	184
FG16R16 0,6/1 kV	95	12,5	1,1	217
FG16R16 0,6/1 kV	120	14,2	1,2	251
FG16R16 0,6/1 kV	150	15,8	1,4	287
FG16R16 0,6/1 kV	185	17,5	1,6	323

Ai fini della valutazione dei campi magnetici, di seguito descritta, sono state considerate come portate in servizio nominale le correnti massime in uscita dagli inverter AC/DC generate dall'impianto fotovoltaico, considerando la potenza massima sul lato DC di ogni sottocampo inverter. Tali valori di corrente risultano sovradimensionati e quindi di tipo conservativo in quanto i valori massimi reali, comunque inferiori ai valori indicati, si otterranno solo in alcuni periodi dell'anno e in determinate condizioni di funzionamento, funzione di diversi parametri quali per esempio le condizioni atmosferiche, rendimento delle macchine ecc.

Per quanto riguarda la valutazione dei campi per le cabine di trasformazione, si tiene conto del valore massimo di corrente alle sbarre dei trasformatori elevatori MT/bt.

Linee di distribuzione MT e quadri di protezione MT

Le stazioni di trasformazione all'interno dell'impianto fotovoltaico sono collegate tra loro e alla cabina elettrica di parallelo MT, ovvero alla cabina di consegna del distributore, da una rete di distribuzione in cavo interrato esercita in media tensione a 15 kV.

I cavi impiegati saranno del tipo unipolari ARG7H1R 12/20 kV con posa in cavidotto a "trifoglio". Essi sono costituiti con conduttori di alluminio rivestito da un primo strato di semiconduttore, da un isolante primario in elastomero termoplastico, da un successivo strato di semiconduttore, da uno schermo a nastro di alluminio, da protezione meccanica in materiale polimerico (Air Bag, consentendo la posa direttamente interrata) e guaina in polietilene di colore rosso. Sia il semiconduttore (che ha la funzione di uniformare il campo elettrico) che l'isolante primario sono di tipo estruso.

Il cavo suddetto è definito a campo radiale in quanto, essendo ciascuna anima rivestita da uno schermo metallico, le linee di forza elettriche risultano perpendicolari agli strati dell'isolante.

La sezione dei singoli cavi componenti le terne, presenta le seguenti caratteristiche:

Tipo	Sezione nominale [mm ²]	Diametro indicativo conduttore [mm]	Diametro su isolante [mm]	Portata di corrente [A] (posa interrata 20°C – $\rho=1,5^\circ\text{Cm/W}$)
ARG7H1R 12/20 kV	35	7,0	19,8	145
ARG7H1R 12/20 kV	50	8,2	21,0	175
ARG7H1R 12/20 kV	70	9,8	22,6	210
ARG7H1R 12/20 kV	95	11,5	24,3	255
ARG7H1R 12/20 kV	120	13,1	25,9	290
ARG7H1R 12/20 kV	150	14,3	27,1	320
ARE4H1RX 12/20 kV	185	16,1	28,9	355

Ai fini della valutazione dei campi magnetici, di seguito descritta, sono state considerate come portate in servizio nominale le correnti massime in media tensione in uscita dalle cabine di trasformazione MT/bt, considerando la potenza massima sul lato AC di ogni sottocampo connesso alla rispettiva cabina di trasformazione. Tali valori di corrente risultano sovradimensionati e quindi di tipo conservativo in quanto i valori massimi reali, comunque inferiori ai valori indicati, si otterranno solo in alcuni periodi dell'anno e in determinate condizioni di funzionamento, funzione di diversi parametri quali per esempio le condizioni atmosferiche, rendimento delle macchine.

6. Metodo di calcolo del campo magnetico

7.1 Cenni teorici

L'induzione magnetica B generata da NR conduttori filiformi, numerati da 0 a $(NR-1)$, può essere calcolata con l'espressione riportata di seguito. Si fa notare che solo i conduttori reali contribuiscono al campo magnetico, perché si assume il suolo perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico e non si considerano quindi i conduttori immagine.

$$\vec{B} = -\frac{\mu_0}{4\pi} \sum_{k=0}^{NR-1} \int_{C_k} \frac{i}{r^3} \vec{r} \times d\vec{l}$$

Dove μ_0 è la permeabilità magnetica del vuoto, NR è il numero dei, i la corrente, C_k il conduttore generico, di un suo tratto elementare, r la distanza tra questo tratto elementare ed il punto dove si vuole calcolare il campo. Il modello adottato (conduttori cilindrici rettilinei orizzontali indefiniti paralleli tra di loro) consente di eseguire facilmente l'integrazione e semplificare i calcoli.

Indicato con Q il punto dove si vuole determinare il campo, definiamo sezione normale il piano verticale passante per Q e ortogonale ai conduttori; indichiamo quindi con P_k il punto dove il generico conduttore C_k interseca la sezione normale, e con I_k la corrente nel singolo conduttore (si è preso l'asse z nella direzione dei conduttori).

Con queste posizioni, per l'induzione magnetica in Q si ottiene l'espressione

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_{k=0}^{NR-1} \frac{i_k \vec{z} \times (Q - P_k)}{|Q - P_k|^2}$$

La formula indica che l'induzione magnetica è inversamente proporzionale al quadrato della distanza del punto di interesse dai conduttori; esiste inoltre una proporzionalità diretta tra l'induzione e la distanza tra i singoli conduttori di ogni terna.

Per il calcolo del campo elettrico, invece, si ricorre al principio delle immagini in base al quale il terreno, considerato come piano equipotenziale a potenziale nullo, può essere simulato con una configurazione di cariche immagini. In altre parole per ogni conduttore reale, sia attivo che di guardia, andrà considerato un analogo conduttore immagine la cui posizione è speculare, rispetto al piano di terra, a quella del conduttore reale e la cui carica è opposta rispetto a quella del medesimo conduttore reale.

In particolare il campo elettrico di un conduttore rettilineo di lunghezza infinita con densità lineare di carica costante può essere espresso come:

$$\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 d} \vec{u}_r$$

Dove:

λ = densità lineare di carica sul conduttore;

ϵ_0 = permittività del vuoto;

d = distanza del conduttore rettilineo dal punto di calcolo;

u_r = versore unitario con direzione radiale al conduttore.

6.2 Metodo di calcolo

Lo studio dell'impatto elettromagnetico nel caso di linee elettriche aeree e non, si traduce nella determinazione di una fascia di rispetto. Per l'individuazione di tale fascia si deve effettuare il calcolo dell'induzione magnetica basata sulle caratteristiche geometriche, meccaniche ed elettriche della linea presa in esame. Esso deve essere eseguito secondo modelli tridimensionali o bidimensionali con l'applicazione delle condizioni espresse al paragrafo 6.1 della norma CEI 106-11.

Al fine di semplificare la gestione territoriale e il calcolo delle fasce di rispetto, in prima approssimazione è possibile:

- Calcolare la fascia di rispetto combinando la configurazione dei conduttori, geometrica e di fase, e la portata in corrente in servizio normale che forniscono il risultato più cautelativo sull'intero tronco;
- Proiettare al suolo verticalmente tale fascia;
- Individuare l'estensione rispetto alla proiezione del centro linea (DPA).

Come già accennato il campo Elettrico, a differenza del campo Magnetico, subisce una attenuazione per effetto della presenza di elementi posti fra la sorgente e il punto irradiato risultando nella totalità dei casi inferiore ai limiti imposti dalla norma.

Ai fini del presente studio si valuteranno i soli campi magnetici per tutte le apparecchiature elettriche costituenti l'impianto.

7. Linee di distribuzione MT e BT impianto fotovoltaico

7.1 Determinazione dei campi magnetici

Per la realizzazione dei cavidotti di collegamento, sono stati considerati tutti gli accorgimenti che consentono la minimizzazione degli effetti elettromagnetici sull'ambiente e sulle persone. In particolare, la scelta di operare con linee interrato permette di eliminare la componente elettrica del campo, grazie all'effetto

schermante del terreno; inoltre la limitata distanza tra i cavi (ulteriormente ridotta grazie all'impiego di terne posate "a trifoglio") fa sì che l'induzione magnetica risulti significativa solo in prossimità dei cavi.

In dettaglio saranno simulati i seguenti tratti di elettrodotti e aree di impianto:

- 1) Sezione in media tensione 15 kV con terna di conduttori disposti a trifoglio di sezione come da tratta individuata, interrata ad una profondità di 1,25 m;
- 2) Sezione in bassa tensione 800Vac con terna di conduttori disposti a trifoglio di sezione come da tratta individuata, interrata ad una profondità di 0,80 m e relativa valutazione per circuiti in fascio;
- 3) Cabina di trasformazione MT/bt;
- 4) Cabina di parallelo con rete MT del distributore.

8. Risultati di calcolo

I risultati di calcolo sono riportati su foglio allegato alla presente relazione.

9. Conclusioni

La determinazione delle fasce di rispetto è stata effettuata in accordo al D.M. del 29/05/2008 riportando per ogni opera elettrica la summenzionata DPA. Dalle analisi e considerazioni fatte si può desumere quanto segue:

- I valori di campo elettrico si possono considerare inferiori ai valori imposti dalla norma (<5000 V/m) in quanto le aree con valori superiori ricadono all'interno delle recinzioni dell'impianto fotovoltaico e dei locali quadri e subiscono un'attenuazione per effetto della presenza di elementi posti fra la sorgente e il punto irradiato;
- Per campi magnetici ed elettrici all'interno dell'impianto fotovoltaico, essendo l'accesso alla centrale ammesso esclusivamente a personale lavoratore autorizzato, essendo le apparecchiature installate all'interno della recinzione ad opportuna distanza ed essendo le zone direttamente confinanti con l'impianto fotovoltaico non adibite né ad una permanenza giornaliera superiore alle 4 ore né a zone gioco per l'infanzia/abitazioni scuole è possibile considerare i limiti normativi verificati;
- Per i cavidotti in media tensione la distanza di prima approssimazione non eccede il range di ± 2 m rispetto all'asse del cavidotto (valori al di sotto dei limiti di attenzione).

All'interno delle aree summenzionate delimitate dalle DPA non risultano recettori sensibili ovvero aree di gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici, luoghi adibiti a permanenza di persone per più di quattro ore giornaliere.

Si può quindi concludere che la realizzazione delle opere elettriche relative alla realizzazione dell'impianto fotovoltaico rispetta la normativa vigente.

QQR-PV-015_Gonnesa - Risultati di valutazione campi magnetici

Sezione	Corrente [A]	Sezione cavo [mm ²]	Distanza circuiti [mm]	Valore induzione magnetica B [μT]										
				0,10 m	0,25 m	0,50 m	0,75 m	1,00 m	1,25 m	1,50 m	1,75 m	2,00 m	2,25 m	2,50 m
				0,10	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50
Linea Inverter 1.1	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 1.2	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 1.3	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 1.4	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 1.5	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 1.6	140,00	95	0,0147	50,42	20,17	10,08	6,72	5,04	4,03	3,36	2,88	2,52	2,24	2,02
Linea Inverter 1.7	140,00	120	0,0166	56,94	22,78	11,39	7,59	5,69	4,56	3,80	3,25	2,85	2,53	2,28
Station 1	980,00	6x240	0,0480	1152,48	460,99	230,50	153,66	115,25	92,20	76,83	65,86	57,62	51,22	46,10
Linea Inverter 2.1	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 2.2	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 2.3	140,00	120	0,0166	56,94	22,78	11,39	7,59	5,69	4,56	3,80	3,25	2,85	2,53	2,28
Linea Inverter 2.4	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 2.5	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 2.6	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 2.7	140,00	95	0,0147	50,42	20,17	10,08	6,72	5,04	4,03	3,36	2,88	2,52	2,24	2,02
Station 2	980,00	6x240	0,0480	1152,48	460,99	230,50	153,66	115,25	92,20	76,83	65,86	57,62	51,22	46,10
Linea Inverter 3.1	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 3.2	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 3.3	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 3.4	140,00	95	0,0147	50,42	20,17	10,08	6,72	5,04	4,03	3,36	2,88	2,52	2,24	2,02
Linea Inverter 3.5	140,00	120	0,0166	56,94	22,78	11,39	7,59	5,69	4,56	3,80	3,25	2,85	2,53	2,28
Linea Inverter 3.6	140,00	150	0,0186	63,80	25,52	12,76	8,51	6,38	5,10	4,25	3,65	3,19	2,84	2,55
Station 3	840,00	6x240	0,0480	987,84	395,14	197,57	131,71	98,78	79,03	65,86	56,45	49,39	43,90	39,51
Linea Inverter 4.1	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 4.2	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 4.3	140,00	95	0,0147	50,42	20,17	10,08	6,72	5,04	4,03	3,36	2,88	2,52	2,24	2,02
Linea Inverter 4.4	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 4.5	140,00	95	0,0147	50,42	20,17	10,08	6,72	5,04	4,03	3,36	2,88	2,52	2,24	2,02
Linea Inverter 4.6	140,00	120	0,0166	56,94	22,78	11,39	7,59	5,69	4,56	3,80	3,25	2,85	2,53	2,28

Station 4	840,00	6x240	0,0480	987,84	395,14	197,57	131,71	98,78	79,03	65,86	56,45	49,39	43,90	39,51
Linea Inverter 5.1	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 5.2	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 5.3	140,00	95	0,0147	50,42	20,17	10,08	6,72	5,04	4,03	3,36	2,88	2,52	2,24	2,02
Linea Inverter 5.4	140,00	95	0,0147	50,42	20,17	10,08	6,72	5,04	4,03	3,36	2,88	2,52	2,24	2,02
Linea Inverter 5.5	140,00	120	0,0166	56,94	22,78	11,39	7,59	5,69	4,56	3,80	3,25	2,85	2,53	2,28
Linea Inverter 5.6	140,00	120	0,0166	56,94	22,78	11,39	7,59	5,69	4,56	3,80	3,25	2,85	2,53	2,28
Station 5	840,00	6x240	0,0480	987,84	395,14	197,57	131,71	98,78	79,03	65,86	56,45	49,39	43,90	39,51
Linea Inverter 6.1	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 6.2	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 6.3	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 6.4	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 6.5	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 6.6	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Station 6	840,00	6x240	0,0480	987,84	395,14	197,57	131,71	98,78	79,03	65,86	56,45	49,39	43,90	39,51
Linea Inverter 7.1	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 7.2	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 7.3	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 7.4	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 7.5	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Linea Inverter 7.6	140,00	70	0,0132	45,28	18,11	9,06	6,04	4,53	3,62	3,02	2,59	2,26	2,01	1,81
Station 7	840,00	6x240	0,0480	987,84	395,14	197,57	131,71	98,78	79,03	65,86	56,45	49,39	43,90	39,51
Linea MT Consegna	285,00	3x185	0,0370	258,35	103,34	51,67	34,45	25,84	20,67	17,22	14,76	12,92	11,48	10,33
Cabina QMTT	285,00	3x120	0,0337	235,31	94,12	47,06	31,37	23,53	18,82	15,69	13,45	11,77	10,46	9,41
Linea MT Cabina QMT1	285,00	3x120	0,0337	235,31	94,12	47,06	31,37	23,53	18,82	15,69	13,45	11,77	10,46	9,41
Cabina QMT1	285,00	3x120	0,0337	235,31	94,12	47,06	31,37	23,53	18,82	15,69	13,45	11,77	10,46	9,41
Linea MT Cabina QMT2	233,00	3x95	0,0320	182,67	73,07	36,53	24,36	18,27	14,61	12,18	10,44	9,13	8,12	7,31
Cabina QMT2	233,00	3x95	0,0320	182,67	73,07	36,53	24,36	18,27	14,61	12,18	10,44	9,13	8,12	7,31
Linea MT Cabina QMT3	180,00	3x70	0,0300	132,30	52,92	26,46	17,64	13,23	10,58	8,82	7,56	6,62	5,88	5,29
Cabina QMT3	180,00	3x70	0,0300	132,30	52,92	26,46	17,64	13,23	10,58	8,82	7,56	6,62	5,88	5,29
Linea MT Cabina QMT4	135,00	3x35	0,0271	89,63	35,85	17,93	11,95	8,96	7,17	5,98	5,12	4,48	3,98	3,59
Cabina QMT4	135,00	3x35	0,0271	89,63	35,85	17,93	11,95	8,96	7,17	5,98	5,12	4,48	3,98	3,59
Linea MT Cabina QMT5	90,00	3x35	0,0271	59,76	23,90	11,95	7,97	5,98	4,78	3,98	3,41	2,99	2,66	2,39
Cabina QMT5	90,00	3x35	0,0271	59,76	23,90	11,95	7,97	5,98	4,78	3,98	3,41	2,99	2,66	2,39
Linea MT Cabina QMT6	62,00	3x35	0,0271	41,16	16,47	8,23	5,49	4,12	3,29	2,74	2,35	2,06	1,83	1,65
Cabina QMT6	62,00	3x35	0,0271	41,16	16,47	8,23	5,49	4,12	3,29	2,74	2,35	2,06	1,83	1,65