

ERG Solar Holding S.r.l.

Via De Marini 1 – 16149 Genova - Italy

Realizzazione di un impianto agrivoltaico di potenza nominale DC pari a 60,58 MWp, da realizzarsi nel comune di Poggio Imperiale (FG) in località Zancardi e delle relative opere di connessione anche nel comune di Apricena (FG).



Tecnico

ing. Danilo POMPONIO

Via Degli Arredatori, 8
70026 Modugno (BA) - Italy
www.bfpgroup.net - info@bfpgroup.net
tel. (+39) 0805046361

Azienda con Sistema di Gestione Certificato
UNI EN ISO 9001:2015
UNI EN ISO 14001:2015
UNI ISO 45001:2018

Collaborazioni

ing. Milena MIGLIONICO
ing. Giulia CARELLA
ing. Valentina SAMMARTINO
ing. Alessia NASCENTE
ing. Roberta ALBANESE
ing. Tommaso MANCINI
ing. Fabio MASTROSERIO
ing. Martino LAPENNA
Per.ind. Lamberto FANELLI
ing. Carlo TEDESCO

Responsabile Commessa

ing. Danilo POMPONIO

ELABORATO		TITOLO	COMMESSA	TIPOLOGIA	
E02		VALUTAZIONE PRELIMINARE CAMPI ELETTROMAGNETICI	22150	D	
			CODICE ELABORATO		
			DC22150D-E02		
REVISIONE		Tutte le informazioni tecniche contenute nel presente documento sono di proprietà esclusiva della Studio Tecnico BFP S.r.l e non possono essere riprodotte, divulgate o comunque utilizzate senza la sua preventiva autorizzazione scritta. All technical information contained in this document is the exclusive property of Studio Tecnico BFP S.r.l. and may neither be used nor disclosed without its prior written consent. (art. 2575 c.c.)	SOSTITUISCE	SOSTITUITO DA	
00			-	-	
			NOME FILE	PAGINE	
			DC22150D-E02.doc	27+copertina	
REV	DATA	MODIFICA	Elaborato	Controllato	Approvato
00	31/03/23	Emissione	Mastroserio	Mancini	Pomponio
01					
02					
03					
04					
05					
06					

INDICE

1. PREMESSA	2
2. GENERALITA' SULLE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE	2
3. NORME E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	4
3.1. DEFINIZIONI	4
4. INQUADRAMENTO NORMATIVO	6
4.1. NORMATIVA RELATIVA ALLA PROTEZIONE DELLA POPOLAZIONE	6
4.2. NORMATIVA RELATIVA ALLA PROTEZIONE DEI LAVORATORI	8
5. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO	13
5.1. CARATTERISTICHE GENERALI DEL PARCO FOTOVOLTAICO	13
5.2. CABINE DI CONVERSIONE E TRASFORMAZIONE	13
5.3. LINEE DI DISTRIBUZIONE IN MT	14
5.4. QUADRI MT DELLA SOTTOSTAZIONE ELETTRICA	15
5.5. SOTTOSTAZIONE ELETTRICA 150/30 KV	15
5.6. LINEA DI CONNESSIONE IN AT	15
6. METODO DI CALCOLO DEL CAMPO MAGNETICO	16
6.1. CENNI TEORICI	16
6.2. METODO DI CALCOLO	17
7. VALUTAZIONE PREVENTIVA DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI GENERATI DALLE COMPONENTI DELL'IMPIANTO	18
7.1. APPLICAZIONE DELLA NORMATIVA SULLA TUTELA DELLA POPOLAZIONE	18
7.2. APPLICAZIONE DELLA NORMATIVA SULLA TUTELA DEI LAVORATORI	18
7.3. DETERMINAZIONE DEI CAMPI MAGNETICI	22
7.3.1. DETERMINAZIONE DEI CAMPI MAGNETICI PER I CAVIDOTTI ESTERNI ALL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO	22
7.4. DISTANZE DI PRIMA APPROSSIMAZIONE LINEE MT	29
8. SOTTOSTAZIONE ELETTRICA 150/30 KV	30
8.1. DETERMINAZIONE DEI CAMPI MAGNETICI	32
8.2. DISTANZE DI PRIMA APPROSSIMAZIONE	34
9. CONCLUSIONI	35

1. PREMESSA

Il presente studio è finalizzato al calcolo preventivo delle emissioni elettromagnetiche non ionizzanti determinate dalle installazioni elettriche previste nel progetto di un impianto agrivoltaico della potenza DC di 60,58 MWp da realizzarsi nel comune di Poggio Imperiale (FG), in località "Zancardi", e delle relative opere connesse anche nel comune Apricena (FG).

Il progetto prevede la realizzazione di:

- Linee elettriche BT, MT e cabine di conversione e trasformazione;
- Cavidotti MT di collegamento dell'impianto fotovoltaico alla sottostazione 150/30 kV;
- Quadri MT all'interno della sottostazione elettrica 150/30 kV;
- Sottostazione elettrica 150/30 kV;
- Linea di connessione in AT tra la sottostazione 150/30 kV e la stazione elettrica a 150 kV della RTN.

2. GENERALITA' 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".
- D.Lgs. 09.04.2008 n.81 ss.mm.ii. "Testo unico per la sicurezza";
- D.Lgs. 01.08.2016 n.159 "Attuazione della direttiva 2013/35/UE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) e che abroga la direttiva 2004/40/CE";
- CEI EN 50499 "Procedura per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori a campi elettromagnetici".

3.1. 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.

Sottostazione di trasformazione

La sottostazione di trasformazione (SSE) è un impianto elettrico che ha la funzione di trasformare l'energia in ingresso in alta tensione (220/150 kV) da media tensione (30 kV).

Limite di esposizione

È il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, definito ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori.

Esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici

È ogni tipo di esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici che, per la loro specifica attività lavorativa, sono esposti a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici.

Esposizione della popolazione

È ogni tipo di esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici ad eccezione dell'esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici e di quella intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici.

4. INQUADRAMENTO NORMATIVO

4.1. Normativa relativa alla protezione della popolazione

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 Definizioni 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	5.000
	Limite d'attenzione	10	
	Obiettivo di qualità	3	
Racc. 1999/512/CE	Livelli di riferimento (ICNIRP1998, OMS)	100	5.000

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).

Si precisa, inoltre, che secondo quanto previsto dal Decreto 29 maggio 2008 sopra citato, la tutela in merito alle fasce di rispetto di cui all'art. 6 del DPCM 8 luglio 2003 si applica alle linee elettriche aeree ed interrate, esistenti ed in progetto ad esclusione di:

- *linee esercite a frequenza diversa da quella di rete di 50 Hz (ad esempio linee di alimentazione dei mezzi di trasporto);*
- *linee di classe zero ai sensi del DM 21 marzo 1988, n. 449 (come le linee di telecomunicazione);*
- *linee di prima classe ai sensi del DM 21 marzo 1988, n. 449 (quali le linee di bassa tensione);*
- *linee di Media Tensione in cavo cordato ad elica (interrate o aeree);*

in quanto le relative fasce di rispetto hanno un'ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal DM 21 marzo 1988, n. 449 e s.m.i..

4.2. Normativa relativa alla protezione dei lavoratori

Per quanto riguarda l'esposizione dei lavoratori vanno seguite le disposizioni del D.lgs. 81/08 (D.Lgs. 01.08.2016 n. 159).

In un ambiente di lavoro ove vi siano sorgenti di campi elettromagnetici, è in prima battuta da verificare nell'ambito della valutazione di quest'ultimi, quali siano i lavoratori professionalmente esposti a CEM, per i quali saranno validi i livelli di azione contenuti nel D.Lgs 81/08, e quali lavoratori siano da considerarsi "popolazione generale", e per questi saranno da rispettare i limiti descritti nel paragrafo precedente (limiti di esposizione).

Per il caso in oggetto all'interno dell'impianto agrivoltaico si vedranno impegnati due tipologie di lavoratori relativi alla gestione e manutenzione dell'impianto fotovoltaico e dei lavoratori interessati alla gestione della parte agronomica. Per quest'ultimi trovano applicazione i limiti di esposizione per la popolazione (campo magnetico 100 μ T e campo elettrico 5.000 V/m).

Per tutti gli altri lavoratori si dovrà fare riferimento ai Valori di Azione (VA) e ai Valori Limite di Esposizione (VLE) del D.Lgs 81/08 e s.m.i. (che recepisce le modifiche dettate dal D.Lgs. 01.08.2016 n.159).

Per Valori di Azione (VA) si intendono i valori massimi calcolati o misurati nello spazio occupato dal corpo del lavoratore. La verifica di tali limiti comporta una valutazione dell'esposizione conservativa e, alla conformità rispetto a detti valori massimi, consegue la conformità ai VLE.

I Valori di Azione si distinguono in VA relativi ai campi elettrici, ai campi magnetici, in VA inferiori e VA superiori:

- Valori di Azione inferiori per esposizione ai campi elettrici ambientali sono stabiliti al fine di prevenire scariche elettriche nell'ambiente di lavoro, e garantiscono il rispetto del VLE;
- Valori di Azione superiori per esposizione ai campi elettrici ambientali garantiscono il rispetto dei VLE ma non assicurano l'assenza di scariche elettriche a meno che non siano intraprese le misure di protezione di cui al D.Lgs n.159/2016 (art. 208);
- Valori di Azione inferiori per esposizioni ai campi magnetici garantiscono per le frequenze al di sotto di 400 Hz il rispetto dei VLE relativi agli effetti sensoriali, mentre per le frequenze al di sopra di 400 Hz coincidono con i VA superiori assicurando il rispetto dei VLE relativi agli effetti sanitari;
- Valori di Azione superiori per esposizioni ai campi magnetici garantiscono il rispetto dei VLE relativi agli effetti sanitari correlati alla stimolazione elettrica dei tessuti nervosi periferici e centrali. L'osservanza dei VA superiori assicura che non siano superati i VLE relativi agli effetti sanitari ma, se l'esposizione della testa supera i VA inferiori per esposizioni a frequenze fino a 400 Hz, sono possibili effetti sensoriali.

Di seguito si riportano le tabelle, estratte dalla norma, relativi ai Valori di Azione e ai Valori Limite di Esposizione.

Tabella B1

VA per i campi elettrici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

Intervallo di frequenza	VA (E) inferiori per l'intensita' del campo elettrico [Vm^{-1}] (valori RMS)	VA (E) superiori per l'intensita' del campo elettrico [Vm^{-1}] (valori RMS)
$1 \leq f < 25$ Hz	$2,0 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$
$25 \leq f < 50$ Hz	$5,0 \times 10^5 / f$	$2,0 \times 10^4$
$50 \text{ Hz} \leq f < 1,64$ kHz	$5,0 \times 10^5 / f$	$1,0 \times 10^6 / f$
$1,64 \leq f < 3$ kHz	$5,0 \times 10^5 / f$	$6,1 \times 10^2$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10$ MHz	$1,7 \times 10^2$	$6,1 \times 10^2$

Tabella 3 Tabella B1 del D.Lgs n. 159/2016 relativa ai Valori di Azione per i campi elettrici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

Tabella B2

VA per i campi magnetici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

Intervallo di frequenza	VA (B) inferiori per l'induzione magnetica [μT] (valori RMS)	VA (B) superiori per l'induzione magnetica [μT] (valori RMS)	VA (B) per l'induzione magnetica per esposizione localizzata degli arti [μT] (valori RMS)
$1 \leq f < 8 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^5 / f^2$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$8 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,5 \times 10^4 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$25 \leq f < 300 \text{ Hz}$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^5 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

Tabella 4 Tabella B2 del D.Lgs n. 159/2016 relativa ai Valori di Azione per i campi magnetici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

Tabella A2

VLE relativi agli effetti sanitari per l'intensità di campo elettrico interno a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

Intervallo di frequenza	VLE relativi agli effetti sanitari [Vm^{-1}] (valore di picco)
$1 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	1,1
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$3,8 \times 10^{-4} f$

Tabella 5 Tabella A2 del D.Lgs n. 159/2016 dei Valori Limite di Esposizione relativi agli effetti sanitari per l'intensità di campo elettrico interno a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

VLE relativi agli effetti sensoriali per il campo elettrico interno a frequenze comprese tra 1 Hz e 400 Hz

Intervallo di frequenza	VLE relativi agli effetti sensoriali [Vm ⁻¹] (valore di picco)
1 Hz ≤ f < 10 Hz	0,7/f
10 Hz ≤ f < 25 Hz	0,07
25 Hz ≤ f ≤ 400 Hz	0,0028 f

Tabella 6 Tabella A3 del D.Lgs n. 159/2016 dei Valori Limite di Esposizione relativi agli effetti sensoriali per l'intensità di campo elettrico interno a frequenze comprese tra 1 Hz e 400 Hz

Uno dei principali riferimenti utilizzabili ai fini della valutazione per i lavoratori esposti a campi elettromagnetici è la norma CEI EN 50499 "Procedura per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori a campi elettromagnetici". Essa prevede una prima valutazione iniziale, che consiste sostanzialmente in un censimento dei luoghi e delle attrezzature di lavoro. Queste devono essere classificate in base a criteri che riguardano la possibilità che possano essere superati i livelli di riferimento per la popolazione. In particolare sono considerati "conformi a priori" alla norma:

- tutte le apparecchiature che non sono in grado di emettere campi di intensità superiore ai livelli di riferimento per la popolazione (e talvolta sono denominate come sorgenti giustificabili);
- tutti i luoghi di lavoro in cui sono rispettati i livelli di riferimento per la popolazione sono considerati anch'essi conformi a priori.

Secondo la norma, nei luoghi di lavoro in cui siano presenti solo attrezzature conformi a priori, la valutazione si conclude sostanzialmente con il censimento iniziale. Nei luoghi di lavoro in cui siano presenti apparati capaci di emettere campi di intensità superiore ai livelli di riferimento per la popolazione, la norma indica invece come necessaria una procedura di valutazione ulteriore.

Per facilitare il compito del valutatore, la norma CEI EN 50499 contiene due tabelle, delle quali la prima comprende tutti i luoghi e le attrezzature di lavoro conformi a priori, mentre la seconda un elenco non esaustivo delle attrezzature per le quali è necessario procedere alla valutazione ulteriore.

Il datore di lavoro dovrà assicurare che l'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici non superi i VLE relativi agli effetti sanitari e i VLE relativi agli effetti sensoriali.

Qualora l'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici superi uno qualsiasi dei VLE, il datore di lavoro adotta misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto dei VLE. Il datore di lavoro individua e registra le cause del superamento dei VLE relativi agli effetti sanitari e dei VLE relativi agli effetti sensoriali e modifica di conseguenza le misure di protezione e prevenzione per evitare un nuovo superamento.

Si considera che i VLE siano rispettati qualora il datore di lavoro dimostri che i pertinenti VA non siano stati superati. Nel caso in cui l'esposizione superi i VA, il datore di lavoro adotta tutte le misure dettate dalla norma, salvo che la valutazione effettuata dimostri che non sono superati i pertinenti VLE e che possono essere esclusi rischi per la sicurezza.

Il datore di lavoro valuta tutti i rischi per i lavoratori derivanti da campi elettromagnetici sul luogo di lavoro e, quando necessario, misura o calcola i livelli dei campi elettromagnetici ai quali sono esposti i lavoratori. La valutazione, la misurazione e il calcolo devono essere effettuati tenendo anche conto delle guide pratiche della Commissione europea, delle pertinenti norme tecniche europee e del Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI), delle specifiche buone prassi individuate o emanate dalla Commissione consultiva e delle informazioni reperibili presso banche dati dell'INAIL o delle regioni. La valutazione, la misurazione e il calcolo devono essere effettuati, inoltre, tenendo anche conto delle informazioni sull'uso e sulla sicurezza rilasciate dai fabbricanti o dai distributori delle attrezzature, ovvero dei livelli di emissione indicati in conformità alla legislazione europea, ove applicabili alle condizioni di esposizione sul luogo di lavoro o sul luogo di installazione.

Il datore di lavoro garantisce, inoltre, che i lavoratori che potrebbero essere esposti ai rischi derivanti dai campi elettromagnetici sul luogo di lavoro e i loro rappresentanti ricevano le informazioni e la formazione necessarie in relazione al risultato della valutazione.

5. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

5.1. Caratteristiche generali del parco fotovoltaico

L'impianto agrivoltaico è composto da più aree interconnesse tra loro.

L'ottimizzazione del numero di moduli e quindi delle stringhe installabili ha previsto l'installazione di 19 inverter centralizzati (opportunamente limitati in modo tale da non superare la potenza autorizzata) aventi potenza nominale in c.a. pari a 2933 kW (a $\cos\varphi = 1$) e installati ciascuno all'interno di una cabina di conversione e trasformazione in soluzione di Power Skid. Ciascun inverter sarà poi collegato ad un trasformatore MT/BT. Per maggiori dettagli di installazione si rimanda allo schema elettrico unifilare dell'impianto.

L'impianto avrà una potenza installata pari a circa 60581,00 kWp e una potenza in uscita lato AC pari a circa 55727,00 kW (a $\cos\varphi = 1$).

Si prevede di installare n. 90.420 moduli fotovoltaici della potenza di 670 Wp le cui stringhe saranno formate da 30 moduli.

Tali numeri potranno variare a seconda delle caratteristiche tecniche dei convertitori scelti in fase esecutiva.

5.2. Cabine di conversione e trasformazione

Il passaggio da corrente continua a corrente alternata avverrà per mezzo di convertitori statici trifase centralizzati, collocati in apposite cabine nelle quali avverrà anche l'elevazione della tensione mediante opportuni trasformatori MT/BT.

Gli inverter centralizzati, che raccoglieranno la potenza del campo agrivoltaico, mediante opportuni string box distribuiti per tutto il campo, saranno dotati di idonei dispositivi atti a sezionare e proteggere sia il lato in corrente continua che il lato in corrente alternata.

Le cabine di conversione e trasformazione saranno del tipo power skid, assemblate con inverter centralizzati, trasformatori MT/BT, quadri di media tensione e quadri di bassa tensione posate su un magrone di sottofondazione in cemento. Le cabine saranno internamente suddivise nei seguenti vani:

- Il vano di conversione dove verrà alloggiato l'inverter centralizzato;
- il vano di trasformazione all'interno del quale sarà posizionato il trasformatore MT/BT che provvederà ad elevare la tensione a 30.000 V;
- il vano quadri di media tensione, in cui sono alloggiati i quadri elettrici di media tensione; all'interno di questo vano troveranno posto anche i quadri BT, il trasformatore per i servizi ausiliari della cabina e i quadri per i servizi ausiliari

All'interno delle aree di impianto saranno presenti anche un locale con funzione di magazzino e un locale con funzione di monitoraggio.

5.3. Linee di distribuzione in MT

La potenza elettrica raccolta dalle aree di produzione, attraverso le 19 cabine di conversione e trasformazione, convergerà in elettrodotto MT interrato nella Sottostazione 30/150 kV.

L'elettrodotto si comporrà delle seguenti sezioni fondamentali, tutte costituite da linee in cavo interrate a 30 kV:

- collegamenti tra le cabine di conversione e trasformazione;
- collegamenti tra le cabine di conversione e trasformazione e la Sottostazione;

I cavi impiegati saranno del tipo unipolari **ARE4H5E 18/30 kV¹** o similare con posa in cavidotto a "trifoglio", direttamente interrati e con protezione meccanica tramite lastre o tegoli.

Essi sono costituiti da un conduttore in alluminio a corda rotonda compatta di alluminio e tra il conduttore e l'isolante in mescola in elastomero termoplastico (qualità HEPR), sarà interposto uno strato di semiconduttore estruso. Tra l'isolante e lo schermo metallico invece sarà interposto uno strato di semiconduttore a mescola estrusa che, a sua volta sarà coperto da un rivestimento protettivo costituito da un nastro semiconduttore igroespandente. La schermatura sarà fatta mediante fili di rame rosso con nastro di rame in controspirale. La guaina sarà costituita da una mescola a base di PVC di colore rosso.

In fase di installazione sarà prevista la posa all'interno del proprio scavo del tegolino di protezione nel caso di posa direttamente interrata mentre saranno utilizzate tubazioni in PVC negli altri casi.

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.

Ai fini della valutazione dei campi magnetici, di seguito descritta, sono state considerate come portate in servizio normale le correnti massime generate dall'impianto fotovoltaico. 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 determinate condizioni di funzionamento, funzione di diversi parametri quali per esempio le condizioni atmosferiche, rendimento delle apparecchiature ecc.

¹ Per quanto riguarda i cavi non "CPR", se immessi sul mercato dopo il 01/07/2017, dovranno essere sostituiti con cavi "CPR" corrispondenti, qualora disponibili sul mercato prima dell'esecuzione dell'impianto (**D.lgs n 106 del 16/06/2017**)

5.4. Quadri MT della sottostazione elettrica

All'interno della cabina di stazione sono ubicati i quadri in MT, per la protezione ed il sezionamento delle linee elettriche in arrivo dal campo fotovoltaico e in partenza verso il trasformatore di potenza AT/MT 150/30 kV.

Per gli edifici di stazione la DPA da considerare è quella della linea MT entrante/uscente.

5.5. Sottostazione elettrica 150/30 kV

La sottostazione elettrica di utenza sarà costituita da un'area chiusa composta da un locale comando e controllo, locale BT, locale MT (contenente i quadri MT, il trasformatore MT/BT, quadri MT di arrivo dall'impianto fotovoltaico) e un'area aperta composta da una sezione di trasformazione MT/AT ed una sezione di partenza in AT per la consegna dell'energia prodotta alla Rete di Trasmissione Nazionale.

5.6. Linea di connessione in AT

La sottostazione elettrica di utenza condivisa, sarà collegata alla stazione Terna con una terna di cavi AT interrati ad un'altezza di 1,5 m dal piano di calpestio.

Ai fini del dimensionamento dei cavi in AT e della valutazione dei campi magnetici, di seguito descritta, è stata considerata come potenza massima trasmessa un valore di 225 MW (potenza massima ammessa da TERNA per un singolo stallo in stazione).

6. METODO DI CALCOLO DEL CAMPO MAGNETICO

6.1. 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, $d\vec{l}$ 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 immagine. 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. VALUTAZIONE PREVENTIVA DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI GENERATI DALLE COMPONENTI DELL'IMPIANTO

7.1. Applicazione della normativa sulla tutela della popolazione

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

Essendo le zone direttamente confinanti con l'impianto non adibite né ad una permanenza giornaliera non inferiore alle 4 ore né a zone gioco per l'infanzia ad abitazioni o scuole, vanno verificati esclusivamente i limiti di esposizione. Non trovano applicazione, per le stesse motivazioni, gli obiettivi di qualità del DPCM 8 luglio 2003.

7.2. Applicazione della normativa sulla tutela dei lavoratori

Nella fase di esercizio dell'impianto non si esclude la presenza di lavoratori sugli elementi dell'impianto agrivoltaico, sia per la manutenzione dell'impianto fotovoltaico che per la gestione agronomica. Il suddetto personale sarà addestrato ad utilizzare tutti gli accorgimenti di legge per assicurare la massima sicurezza in fase di lavoro comprendendo quindi anche la sosta limitata davanti alle sorgenti di campi elettromagnetici. Particolare attenzione dovrà essere posta nella formazione ed informazione dei lavoratori sensibili che hanno accesso all'impianto apponendo adeguata segnaletica di avviso in prossimità delle sorgenti di campi elettromagnetici potenzialmente interferenti.

Al fine di valutare l'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici, di seguito, riportiamo le sorgenti individuabili all'interno dell'impianto fotovoltaico:

1. Cavidotti MT;
2. Cavidotti BT;
3. Le cabine elettriche (aree esterne ed interne);
4. Inverter;
5. I moduli fotovoltaici;
6. I motori di azionamento dei tracker;

Considerato che la frequenza dell'impianto è 50 Hz ($f = 0,050$ kHz), con riferimento alle Tabelle 3 e 4 (B1 e B2 del D.Lgs 81/08), risultano i seguenti Valori di Azione per l'esposizione dei lavoratori:

- VA inferiori per i campi elettrici a frequenza compresa tra 1 Hz e 10 MHz: 10.000 V/m;
- VA superiori per i campi elettrici a frequenza compresa tra 1 Hz e 10 MHz: 20.000 V/m;

- VA inferiori per i campi magnetici a frequenza compresa tra 1 Hz e 10 MHz: 1.000 μ T;
- VA superiori per i campi magnetici a frequenza compresa tra 1 Hz e 10 MHz: 6.000 μ T;

Il valore massimo della tensione di esercizio presente nell'impianto, pari a 30 kV per le linee MT di allaccio e distribuzione interna tra le cabine di conversione e trasformazione, è tale che i corrispondenti limiti al campo elettrico (10kV/m e 5 kV/m) sono raggiunti a distanze dai conduttori già reclusi all'accesso in quanto interrati o entro cabine (quadri MT). Allo stesso modo i valori di riferimento dell'induzione magnetica non sono mai superati sia per le linee elettriche (vedasi lo studio del caso peggiore di seguito riportato) che per le apparecchiature (si fa riferimento alle certificazioni CEM delle apparecchiature, alle banche dati e indicazioni della norma CEI EN 50499).

Per i lavoratori, per quanto sopra indicato, che rappresentano la "popolazione generale" trovano applicazione i limiti di esposizione per la popolazione (campo magnetico 100 μ T e campo elettrico 5.000 V/m).

Nel dettaglio risultano conformi a priori le apparecchiature e impianti che soddisfano una delle seguenti condizioni:

- Reti di alimentazione elettrica (50 Hz) nei luoghi di lavoro e circuiti di distribuzione e trasmissione dell'elettricità che attraversano o sorvolano il luogo di lavoro. Le esposizioni ai campi elettrici e magnetici sono considerate separatamente.

Per l'esposizione ai campi magnetici sono conformi:

- tutte le installazioni elettriche o i singoli circuiti con valore nominale della corrente di fase non superiore a 100 A;
- tutti i circuiti in cui la distanza tra i conduttori sia significativamente inferiore a quella dal posto di lavoro e con una corrente netta (differenziale) non superiore a 100 A;
- sono compresi tutti i componenti delle reti che soddisfano i criteri sopra indicati (inclusi i cablaggi, le apparecchiature di manovra, i trasformatori, ecc.);
- tutti i conduttori aerei nudi nelle sottostazioni a qualsiasi tensione.

Per l'esposizione ai campi elettrici sono conformi:

- tutti i circuiti di cavi sotterranei o isolati di qualsiasi tensione nominale,
- tutti i conduttori nudi sospesi con tensione nominale non superiore a 110 kV, o tutte le linee aeree con tensioni non superiori a 150 kV che sorvolano il luogo di lavoro,
- tutte le linee aeree a qualsiasi tensione, che sorvolano un edificio al cui interno è presente un luogo di lavoro,

- se nessuna porzione della linea sorvola il luogo di lavoro si prevede un franco minimo da terra inferiore a 16 m (per le linee da 291 kV a 420 kV), 11 m (per le linee da 226 kV a 290 kV), 9 m (per le linee da 151 kV a 225 kV).

- Utilizzo di apparecchiature Marcate CE, valutate secondo gli standard armonizzati per la protezione dai CEM.

Per quanto su elencato tutta la componentistica dell'impianto agrivoltaico risulta conforme a priori ai CEM tranne per alcuni tratti di cavidotti MT interni che necessitano di maggiore approfondimento in quanto attraversati da correnti maggiori di 100 A.

Relativamente ai valori di induzione magnetica generati dai cavidotti MT interni è stato esaminato il caso con le condizioni più severe: due terne di conduttori disposti a trifoglio di sezione 630 mm², interrate ad una profondità di 1,20 m, distanziate di 20 cm, con una portata in servizio nominale 282,2 A.

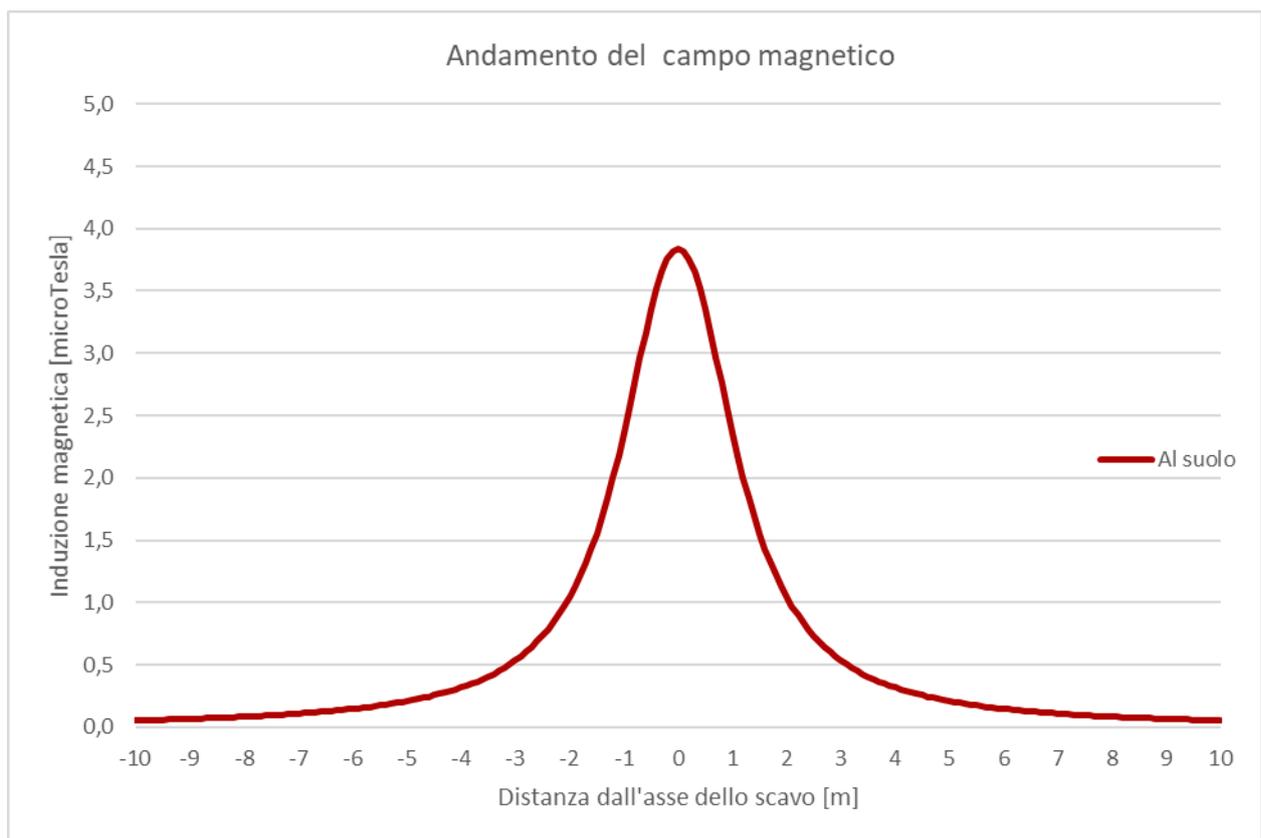


Figura 1 Andamento del campo magnetico nel caso peggiore, all'interno dell'impianto, per verificare il non superamento del limite di esposizione per la popolazione di 100 µT

Per quanto summenzionato si ritiene che l'impatto generato dai campi elettrici e magnetici all'interno delle aree di impianto sia irrilevante ad un'analisi preliminare. Il rispetto dei valori di azione assicura il rispetto dei pertinenti limiti di esposizione. A seguito della valutazione dei livelli dei campi elettromagnetici, qualora risulti in fase esecutiva ed operativa, che siano superati i valori di azione e i limiti di esposizione per la popolazione, il datore di lavoro valuta e, quando necessario, calcola se i valori limite di esposizione sono stati superati, effettua delle procedure di valutazione e riduzione del rischio realizzando nei luoghi di lavoro una zonizzazione e valutando l'utilizzo di eventuali accorgimenti che comprendano misure tecniche e organizzative con particolare attenzione ai lavoratori sensibili.



LINEE DI DISTRIBUZIONE IN MT

7.3. Determinazione dei campi magnetici

Ai fini della valutazione dei campi magnetici, di seguito descritta, sono state considerate come portate in servizio normale le correnti massime generate dall'impianto fotovoltaico. 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 determinate condizioni di funzionamento, funzione di diversi parametri quali per esempio le condizioni atmosferiche, rendimento delle apparecchiature ecc.

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 in MT interrate 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.

I valori del campo magnetico sono stati misurati all'altezza dei conduttori (-1,20 m dal livello del suolo), al suolo e ad altezza dal suolo di 1,50 m. Più precisamente, i risultati di seguito riportati illustrano l'andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori e l'andamento del campo magnetico su di un asse ortogonale all'asse dei conduttori.

7.3.1. Determinazione dei campi magnetici per i cavidotti esterni all'impianto fotovoltaico

Per i cavidotti MT saranno utilizzati cavi del tipo **ARE4H5E 18/30 kV** o similare installati entro tubazioni.

In dettaglio saranno simulati i seguenti tratti di cavidotto alla tensione nominale di 30 kV che riguardano il collegamento fra le diverse aree dell'impianto e fra queste e la sottostazione:

- Caso S1: una terna di sezione 300 mm² interrata ad una profondità di 1,20 m con una portata in servizio nominale pari a 225,8 A (per il percorso tra le cabine di conversione e trasformazione PCU 4.1 e 3.4);
- Caso S2: due terne di sezione 95 e 630 mm² interrate ad una profondità di 1,20 m, distanti 20 cm, con una portata in servizio nominale rispettivamente pari a 112,9 A e 282,20 A (collegamenti tra le PCU3.1 e PCU2.6 e la PCU3.4 e la SSE);
- Caso S3: due terne di sezione 185 e 630 mm² interrate ad una profondità di 1,20 m, distanti 20 cm, con una portata in servizio nominale rispettivamente pari a 169,3 A e 225,8 A (collegamenti tra le PCU1.4 e PCU1.1 e la PCU1.1 e la SSE);

- Caso S4: tre terne di sezione 630 mm² interrate ad una profondità di 1,20 m, distanti 20 cm, con una portata in servizio nominale, per ciascuna terna, pari a 282,2 A (collegamento tra le PCU2.2, PCU2.1, PCU3.4 e la SSE).
- Caso S5: quattro terne di sezione 630 mm² interrate ad una profondità di 1,20 m, distanti 20 cm, con una portata in servizio nominale, per ciascuna terna, pari a 282,2 A e 225,8 (collegamento tra le PCU2.2, PCU2.1, PCU3.4 e la SSE).

Maggiori dettagli sono riportati nella di seguito:

Tratto	N. di terne	Portata in servizio normale massima	Sezione conduttore	Diametro conduttore	Diametro sull'isolante	Diametro cavo	Portata al limite termico del cavo ⁽¹⁾
	N.	[A]	[mm ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[A]
Caso S1	1	225,8	300	20,8	34,7	44	480
Caso S2	2	112,9	95	11,4	26,5	35	255
		282,2	630	30,5	45,6	56	709
Caso S3	2	169,3	185	15,8	29,5	38	368
		225,8	630	30,5	45,6	56	709
Caso S4	3	282,2	630	30,5	45,6	56	709
		282,2	630	30,5	45,6	56	709
		282,2	630	30,5	45,6	56	709
Caso S5	4	282,2	630	30,5	45,6	56	709
		282,2	630	30,5	45,6	56	709
		282,2	630	30,5	45,6	56	709
		225,8	630	30,5	45,6	56	709

Tabella 7 Tabella riepilogativa delle varie casistiche di studio con le relative informazioni tecniche necessarie

(1) posa interrata a trifoglio e resistività del terreno $\rho=1$ °Cm/W (valore ricavato dalla scheda tecnica del cavo)

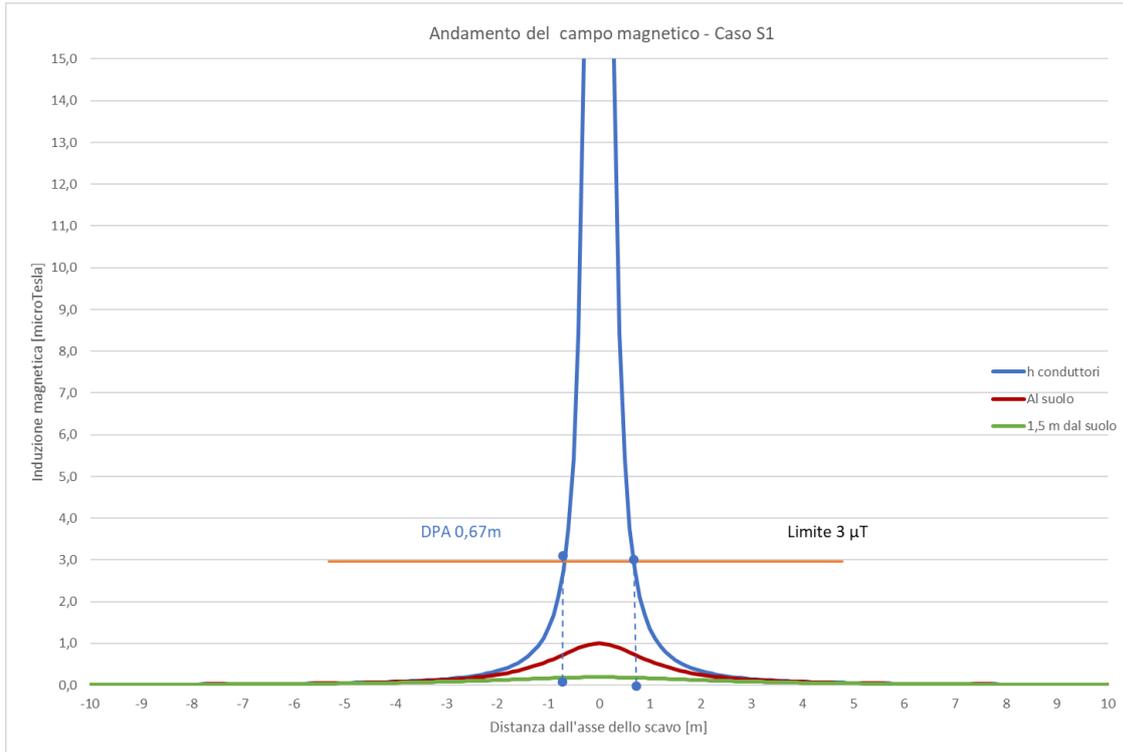


Figura 2: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa CASO S1.

Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [μT]	Al suolo [μT]	A 1,5 m dal suolo [μT]
-10	0,014	0,013	0,013
-9	0,017	0,016	0,015
-8	0,021	0,021	0,019
-7	0,028	0,027	0,024
-6	0,038	0,036	0,031
-5	0,054	0,052	0,042
-4	0,085	0,078	0,059
-3	0,151	0,131	0,084
-2	0,339	0,254	0,122
-1	1,356	0,577	0,168
0	348,720	1,004	0,191
1	1,356	0,577	0,168
2	0,339	0,254	0,122
3	0,151	0,131	0,084
4	0,085	0,078	0,059
5	0,054	0,052	0,042
6	0,038	0,036	0,031
7	0,028	0,027	0,024
8	0,021	0,021	0,019
9	0,017	0,016	0,015
10	0,014	0,013	0,013

Tabella 1: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa al CASO S1.

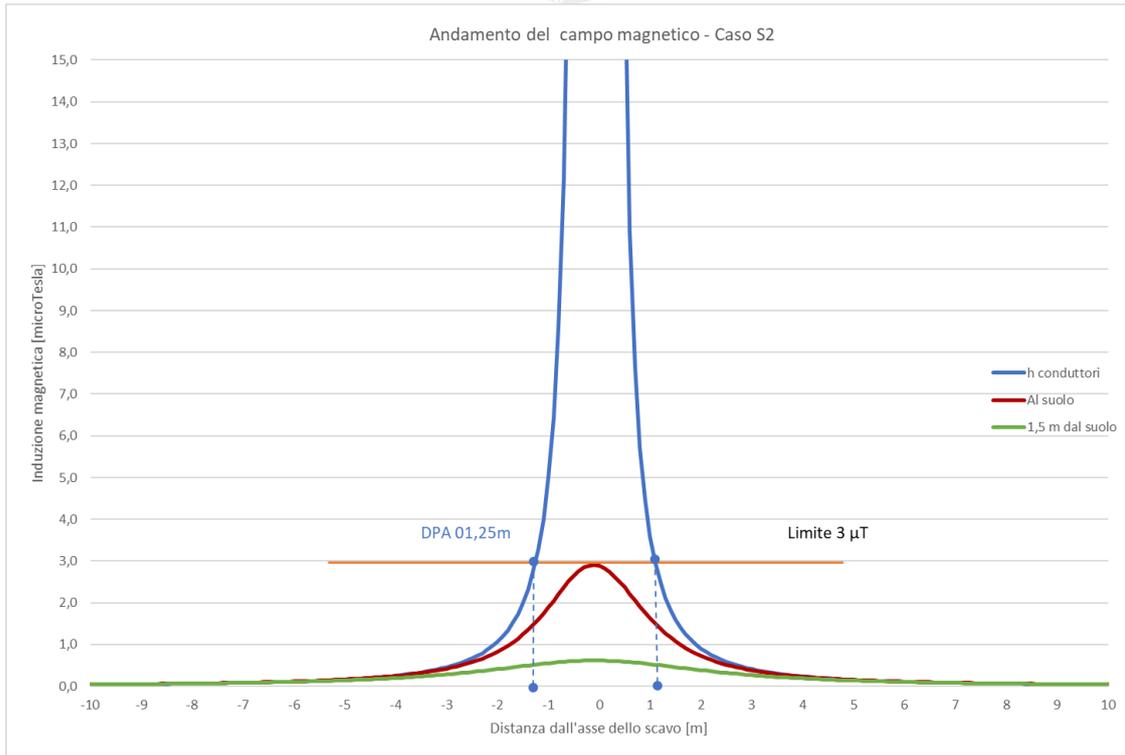


Figura 3: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa CASO S2.

Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [μ T]	Al suolo [μ T]	A 1,5 m dal suolo [μ T]
-10	0,044	0,045	0,045
-9	0,053	0,055	0,054
-8	0,066	0,068	0,066
-7	0,085	0,087	0,083
-6	0,114	0,116	0,107
-5	0,163	0,164	0,143
-4	0,255	0,249	0,198
-3	0,458	0,421	0,284
-2	1,070	0,828	0,410
-1	5,000	1,892	0,553
0	77,875	2,883	0,616
1	3,587	1,629	0,531
2	0,905	0,730	0,386
3	0,411	0,383	0,267
4	0,236	0,232	0,188
5	0,154	0,155	0,137
6	0,109	0,111	0,103
7	0,082	0,084	0,081
8	0,064	0,066	0,065
9	0,052	0,053	0,053
10	0,043	0,044	0,044

Tabella 2: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa al CASO S2.

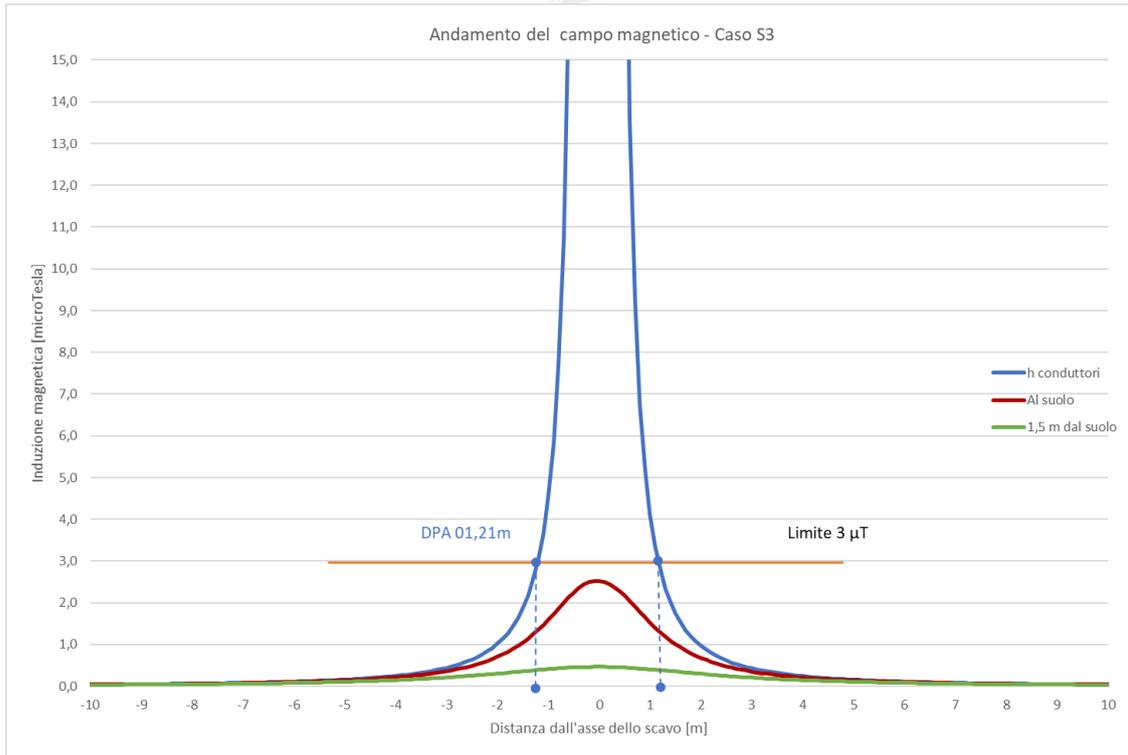


Figura 4: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa CASO S3.

Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [μT]	Al suolo [μT]	A 1,5 m dal suolo [μT]
-10	0,043	0,041	0,036
-9	0,053	0,049	0,043
-8	0,065	0,061	0,052
-7	0,084	0,077	0,064
-6	0,113	0,103	0,082
-5	0,161	0,144	0,109
-4	0,250	0,217	0,149
-3	0,446	0,363	0,212
-2	1,022	0,706	0,305
-1	4,564	1,598	0,413
0	74,493	2,528	0,466
1	4,098	1,520	0,408
2	0,969	0,679	0,300
3	0,431	0,353	0,209
4	0,245	0,213	0,147
5	0,158	0,142	0,108
6	0,112	0,102	0,082
7	0,083	0,077	0,064
8	0,065	0,060	0,052
9	0,052	0,049	0,043
10	0,043	0,041	0,036

Tabella 3: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa al CASO S3.

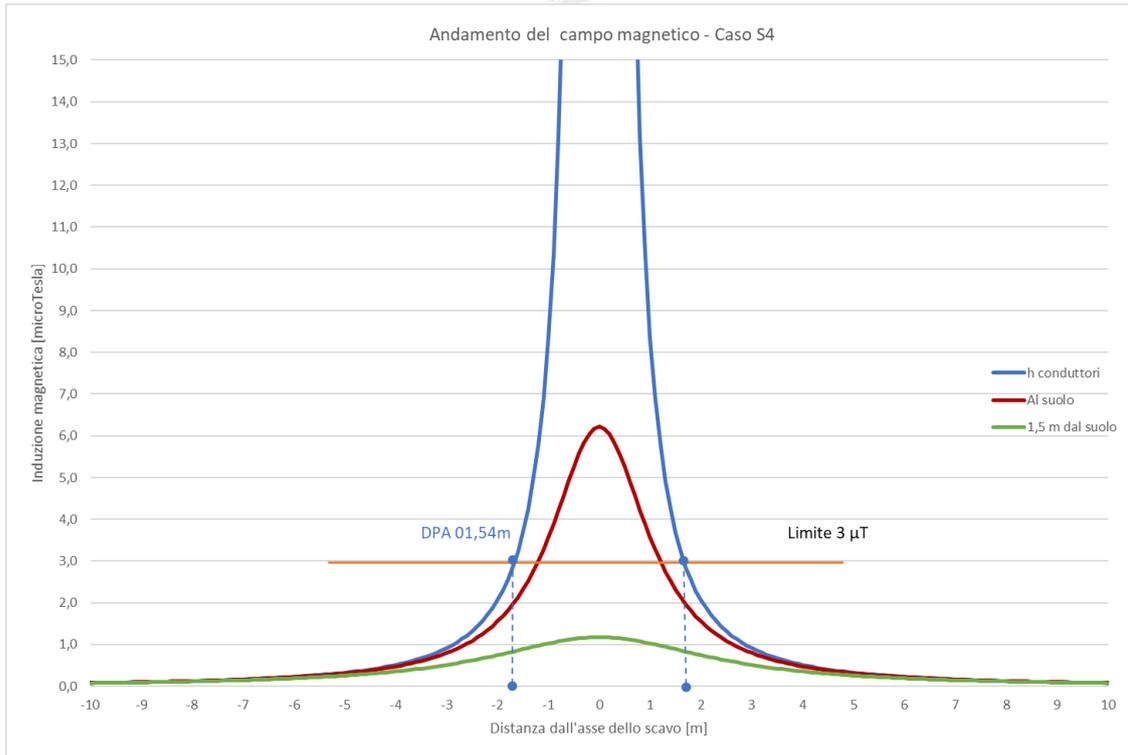


Figura 5: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa CASO S4.

Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [µT]	Al suolo [µT]	A 1,5 m dal suolo [µT]
-10	0,082	0,081	0,077
-9	0,101	0,100	0,093
-8	0,128	0,126	0,116
-7	0,168	0,163	0,147
-6	0,228	0,220	0,191
-5	0,329	0,312	0,257
-4	0,514	0,475	0,358
-3	0,914	0,799	0,514
-2	2,062	1,553	0,748
-1	8,353	3,568	1,029
0	82,171	6,223	1,175
1	8,353	3,568	1,029
2	2,062	1,553	0,748
3	0,914	0,799	0,514
4	0,514	0,475	0,358
5	0,329	0,312	0,257
6	0,228	0,220	0,191
7	0,168	0,163	0,147
8	0,128	0,126	0,116
9	0,101	0,100	0,093
10	0,082	0,081	0,077

Tabella 4: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa al CASO S4.

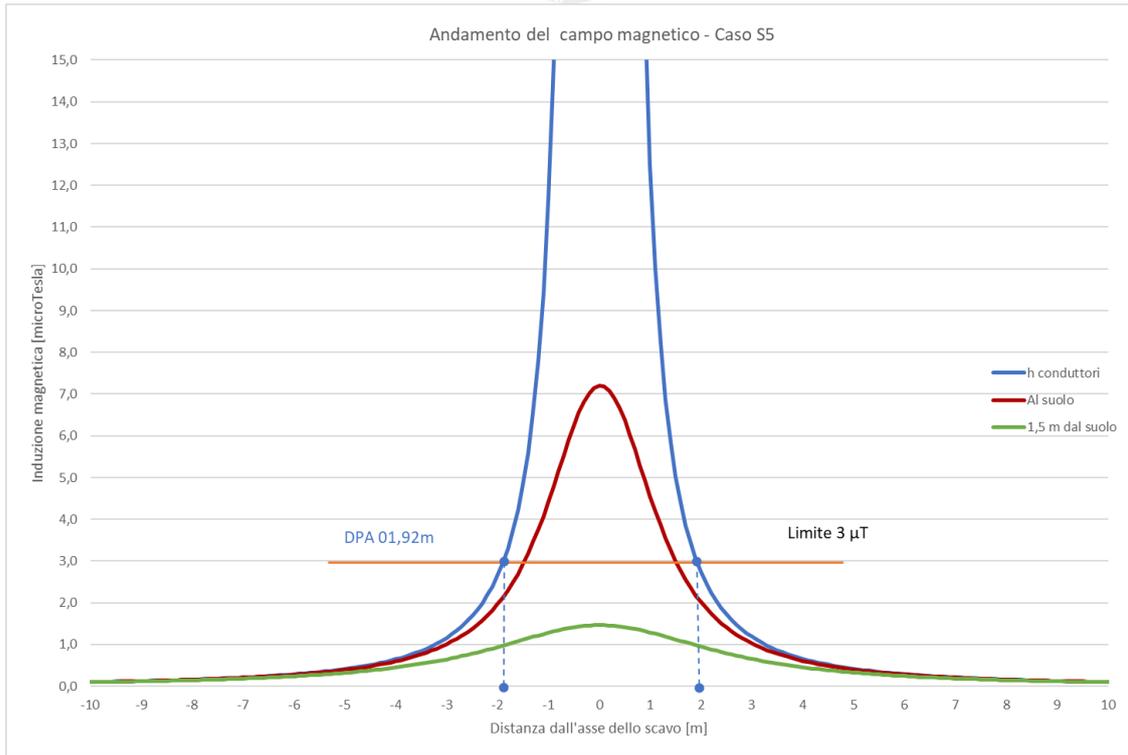


Figura 6: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa CASO S5.

Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [μT]	Al suolo [μT]	A 1,5 m dal suolo [μT]
-10	0,104	0,103	0,097
-9	0,128	0,126	0,118
-8	0,162	0,159	0,146
-7	0,212	0,206	0,186
-6	0,289	0,279	0,242
-5	0,416	0,395	0,325
-4	0,651	0,601	0,452
-3	1,162	1,011	0,648
-2	2,653	1,967	0,940
-1	11,684	4,422	1,283
0	236,849	7,207	1,463
1	12,468	4,542	1,293
2	2,738	2,014	0,951
3	1,187	1,030	0,656
4	0,661	0,610	0,457
5	0,421	0,400	0,328
6	0,292	0,281	0,244
7	0,214	0,208	0,187
8	0,164	0,160	0,147
9	0,129	0,127	0,119
10	0,105	0,103	0,098

Tabella 5: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa al CASO S5.

7.4.DISTANZE DI PRIMA APPROSSIMAZIONE LINEE MT

Il calcolo della DPA per i cavidotti di collegamento in MT simulati (relativi al paragrafo 7.1.2) si traduce graficamente nell'individuazione di una distanza che ha origine dal punto di proiezione dall'asse del cavidotto al suolo e ha termine in un punto individuato sul suolo il cui valore del campo magnetico risulta essere uguale o inferiore ai 3 μ T. Si riportano nella seguente tabella le distanze di prima approssimazione per il tratto di cavidotto preso in esame:

CASO DI STUDIO	N° TERNE	TIPOLOGIA CAVO	TENSIONE [kV]	DPA [m]
S1	1	ARE4H5E	30	1
S2	2	ARE4H5E	30	2
S3	2	ARE4H5E	30	2
S4	3	ARE4H5E	30	2
S5	4	ARE4H5E	30	

Tabella 6: Distanza di prima approssimazione per cavidotti MT

In dettaglio si sono ottenuti i seguenti valori:

- **CASO S1** - Valore a 3 μ T: 0,67 m - Valore DPA: 1 m;
- **CASO S2** - Valore a 3 μ T: 1,25 m - Valore DPA: 2 m;
- **CASO S3** - Valore a 3 μ T: 1,21 m - Valore DPA: 2 m;
- **CASO S4** - Valore a 3 μ T: 1,54 m - Valore DPA: 2 m;
- **CASO S5** - Valore a 3 μ T: 1,92 m - Valore DPA: 2 m;

le cui DPA sono state calcolate con una approssimazione per eccesso al metro così come indicato nel paragrafo 5.1.2 della guida allegata al DM del 29/05/2008.

8. SOTTOSTAZIONE ELETTRICA 150/30 KV

Nella sottostazione elettrica di utenza la tensione viene innalzata da 30 kV a 150 kV.

La sottostazione utente consiste nelle seguenti apparecchiature:

- Trasformatore AT/MT 150/30 kV e stallo trasformatore con apparecchiature di misura, controllo e protezione isolati in aria;
- Sistema di sbarre;
- Stallo di linea con apparecchiature di misura, controllo e protezione isolati in aria e collegamento in cavo interrato alla stazione 150 kV della Rete elettrica nazionale tramite terna di cavi in alluminio di sezione 2500 mm²;
- Opere civili contenenti i quadri MT di arrivo e protezione linee, protezione trasformatore e misura, i quadri BT di alimentazione servizi ausiliari, sistema di controllo da locale e da remoto, gruppo elettrogeno di soccorso.

L'area occupata dalla sottostazione è opportunamente recintata e tale recinzione comprende tutta una zona di pertinenza intorno alle apparecchiature, per permettere le operazioni di costruzione e manutenzione con mezzi pesanti. Per questo motivo nel Decreto 29-05-2008 del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, si evidenzia che generalmente la fascia di rispetto rientra nei confini della suddetta area di pertinenza, rendendo superflua la valutazione.

Le stazioni ad alta tensione sono caratterizzate da valori di campo elettrico ed induzione magnetica che dipendono, oltre che dall'intensità della corrente di esercizio, dalle caratteristiche degli specifici componenti presenti nella stazione stessa.

I valori più elevati del campo elettrico sono attribuibili al funzionamento dei sezionatori di sbarra (1,2– 5 kV/m), mentre il valore più elevato di induzione magnetica è registrabile in corrispondenza dei trasformatori (6–15 μ T), valori che scendono in genere al disotto persino degli obiettivi di qualità in corrispondenza della recinzione della stazione.

A scopo di esempio, di seguito, è riportata l'individuazione delle fasce di rispetto relative ad una cabina primaria di Enel, estratto dalle Linee guida per l'applicazione del par. 5.1.3 dell'allegato al DM 29-05-2008).

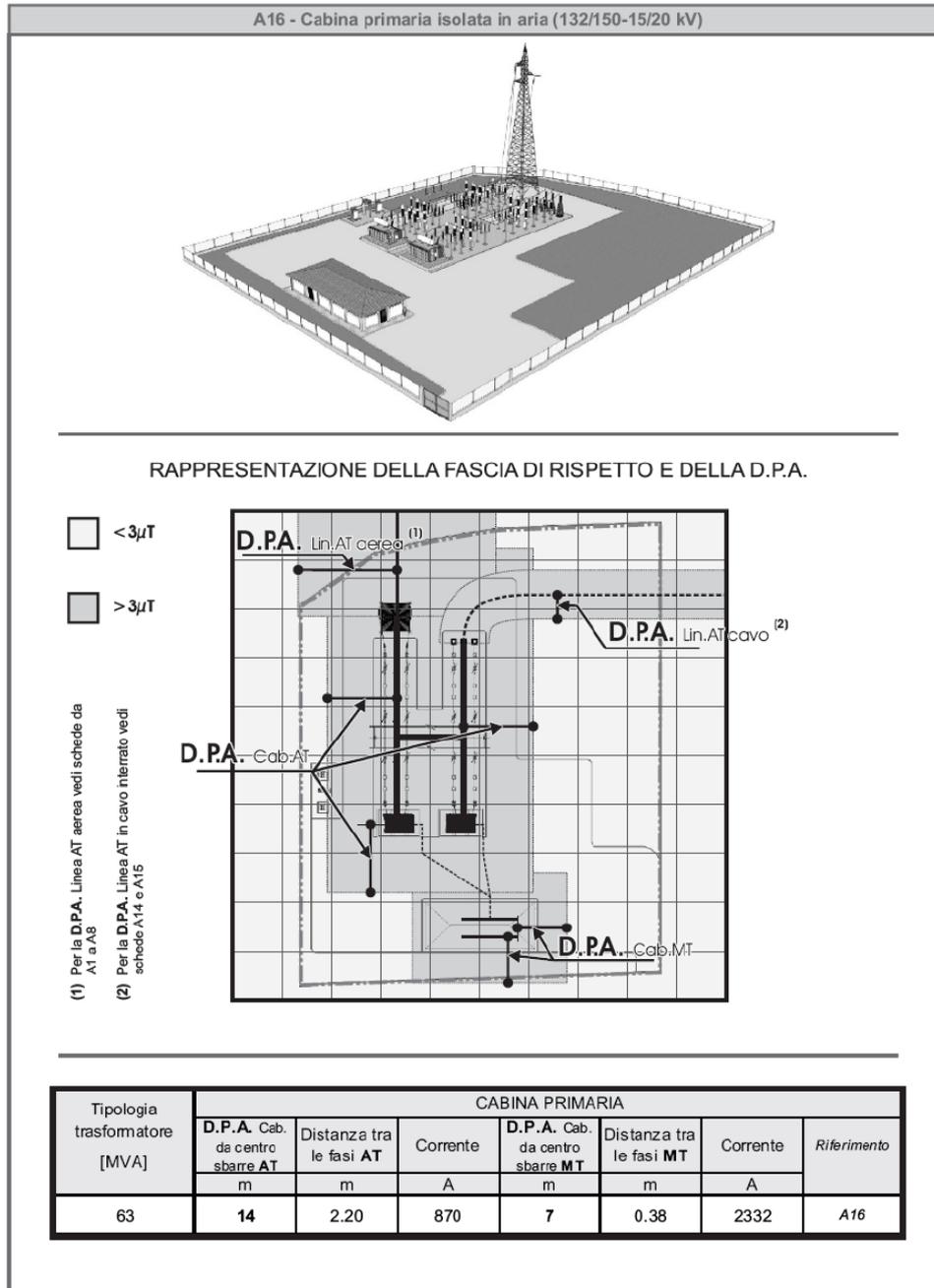


Figura 7: Esempio di fasce di rispetto relative ad una cabina primaria Enel

Le aree esterne alla stazione ad alta tensione, quindi, sono caratterizzate da valori di induzione magnetica e di campo elettrico inferiori ai limiti normativi vigenti.

LINEA DI CONNESSIONE IN AT

8.1. Determinazione dei campi magnetici

Come già anticipato nei paragrafi precedenti, la stazione elettrica di utenza condivisa, sarà collegata alla stazione Terna con una terna di cavi AT interrati ad un'altezza di 1,5 m dal piano di calpestio.

Nella tabella seguente sono riportati i dati principali del cavidotto.

Linea	Potenza trasmessa	Portata in servizio nominale	Sezione conduttore	Diametro cavo
Tra Sottostazione 150/30 kV e stazione di TERNA	[MW]	[A]	[mm ²]	[mm]
	225	868	2500	118

Tabella 7: Caratteristiche dimensionale dei cavi in AT

Ai fini del dimensionamento dei cavi in AT e della valutazione dei campi magnetici, di seguito descritta, è stata considerata come potenza massima trasmessa un valore di 225 MW (potenza massima ammessa da TERNA per un singolo stallo di stazione). I relativi valori di correnti risultano, quindi, molto sovradimensionati rispetto ai valori di corrente generati dalla presenza del solo impianto agrivoltaico oggetto di questa relazione, per tenere in considerazione eventuali ampliamenti futuri e la connessione di ulteriori produttori alla stessa sottostazione 150/30 kV.

Nello specifico, sarà impiegata una terna di cavi disposti a trifoglio, di sezione pari a 2500 mm². Il conduttore sarà a corda rotonda compatta di alluminio, isolamento in XLPE, adatto ad una temperatura di esercizio massima continuativa del conduttore pari a 90 °C, schermo a fili di rame con sovrapposizione di una guaina in alluminio saldato e guaina esterna in PE grafitato, qualità ST7, con livello di isolamento verso terra e tra le fasi pari a $U_0/U = 87/150$ kV. Lo schermo metallico è dimensionato per sopportare la corrente di corto circuito per la durata specificata. Il rivestimento esterno del cavo ha la funzione di proteggere la guaina metallica dalla corrosione. Lo strato di grafite è necessario per effettuare le prove elettriche dopo la posa, in accordo a quanto previsto dalla norma IEC 62067. I cavi posati in trincea saranno con disposizione a "trifoglio", ad una profondità minima di 1,5 m (quota piano di posa) su di un letto di sabbia dello spessore di 10 cm circa. Maggiori dettagli sulle correnti massime trasportate e le caratteristiche dei conduttori sono riportati in tabella 12. I valori del campo magnetico sono stati misurati all'altezza dei conduttori (-1,50 m), al suolo e ad un'altezza dal suolo di 1,50 m. Più precisamente, i risultati di seguito riportati illustrano l'andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori e l'andamento del campo magnetico su di un asse ortogonale all'asse dei conduttori.

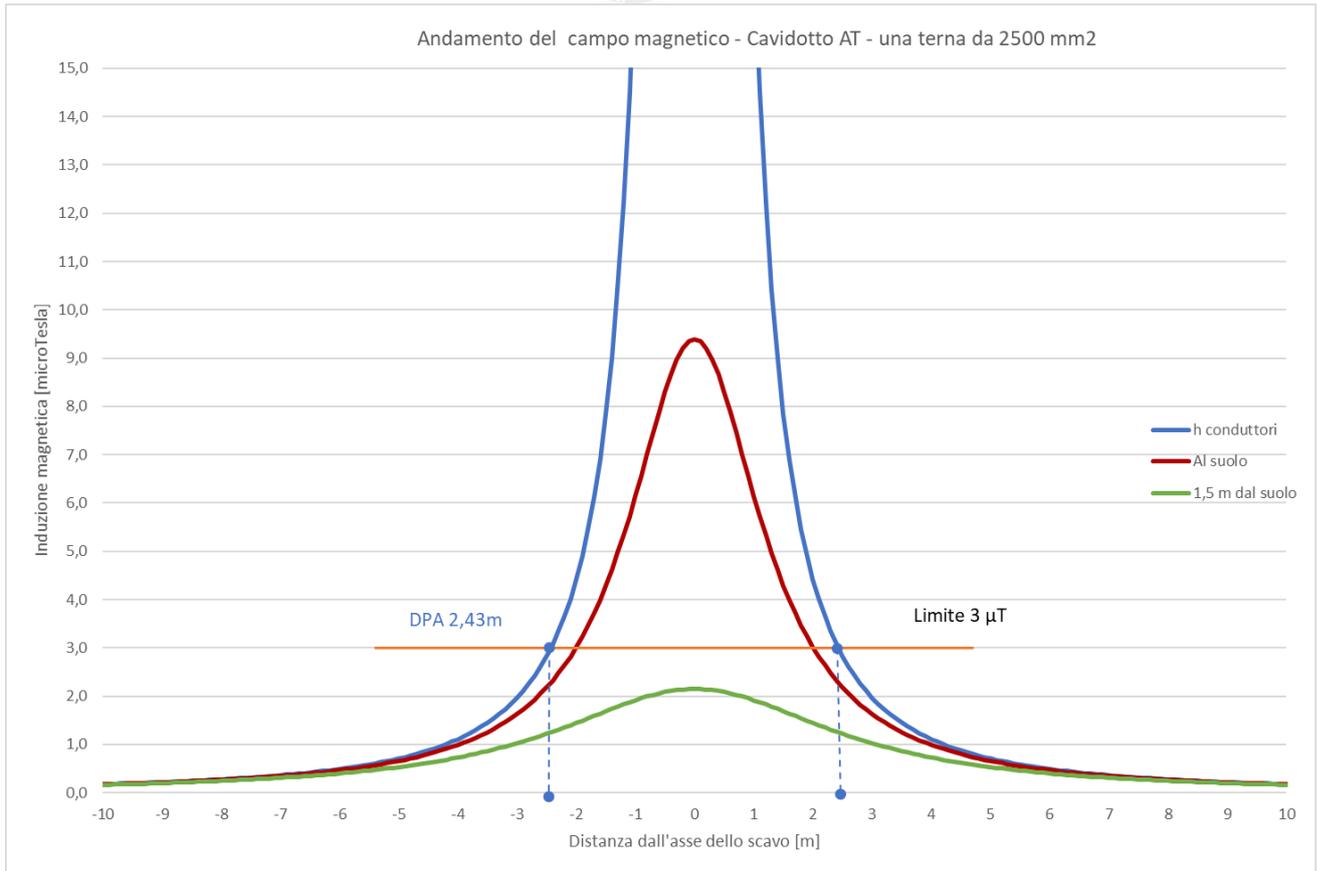


Figura 8 - Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa al cavidotto AT

Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [μ T]	Al suolo [μ T]	A 1,5 m dal suolo [μ T]
-10	0,177	0,174	0,164
-9	0,219	0,214	0,199
-8	0,277	0,269	0,246
-7	0,362	0,349	0,310
-6	0,493	0,468	0,401
-5	0,709	0,660	0,534
-4	1,108	0,992	0,731
-3	1,968	1,630	1,028
-2	4,421	3,015	1,448
-1	17,519	6,147	1,917
0	394,203	9,397	2,149
1	17,519	6,147	1,917
2	4,421	3,015	1,448
3	1,968	1,630	1,028
4	1,108	0,992	0,731
5	0,709	0,660	0,534
6	0,493	0,468	0,401
7	0,362	0,349	0,310
8	0,277	0,269	0,246
9	0,219	0,214	0,199
10	0,177	0,174	0,164

Tabella 8 - Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa ai cavi AT

8.2. Distanze di prima approssimazione

Il calcolo della DPA per i cavidotti di collegamento in AT simulati si traduce graficamente nell'individuazione di una distanza che ha origine dal punto di proiezione dall'asse del cavidotto al suolo e ha termine in un punto individuato sul suolo il cui valore del campo magnetico risulta essere uguale o inferiore ai 3 μT . La distanza di prima approssimazione per il tratto di cavidotto preso in esame è pari a 3 m (valore di 3 μT a 2,43 m), valore approssimato al metro così come indicato nel paragrafo 5.1.2 della guida allegata al DM del 29/05/2008.



9. CONCLUSIONI

La determinazione delle fasce di rispetto è stata effettuata in accordo al D.M. del 29/05/2008. Dalle analisi e considerazioni fatte si può desumere quanto segue:

- Per la valutazione dei campi magnetici ed elettrici all'interno dell'impianto, essendo l'accesso consentito esclusivamente a personale lavoratore autorizzato, non trova applicazione il DPCM 8 luglio 2003. Ai sensi del D.lgs. 81/08 (D.Lgs. 19.11.2007 n.257), ad una prima valutazione, non risultano superati i limiti di azione per l'esposizione dei lavoratori professionali e i limiti di esposizione per la popolazione per i lavoratori considerati "popolazione generale";
- Per i cavidotti in media tensione esterni all'impianto, di cui al paragrafo 8.1.2, la distanza di prima approssimazione non eccede il range di ± 2 m rispetto all'asse del cavidotto.
- Per la sottostazione elettrica 150/30 kV le fasce di rispetto ricadono nei confini della suddetta area di pertinenza rendendo superflua la valutazione secondo il Decreto 29-05-2008 del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare;
- Per il cavidotto in AT la distanza di prima approssimazione non eccede il range di ± 3 m rispetto all'asse del cavidotto.

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 di un impianto agrivoltaico, sito nel Comune di Poggio Imperiale (FG), Località Zancardi e delle relative opere connesse da realizzarsi anche nel comune Apricena (BR), rispetta la normativa vigente.

In fase esecutiva si valuterà la possibilità di ridurre ulteriormente le emissioni elettromagnetiche e quindi le DPA valutando soluzioni tecniche e di posa alternative e migliorative.

Tale valutazione preliminare non esula il datore di lavoro ad effettuare, dopo la realizzazione dell'impianto e durante l'esercizio, una valutazione del rischio da campi elettromagnetici, e intraprendere i giusti accorgimenti (segnaletica, zonizzazione ecc.) dettati dalla normativa ai fini di preservare la sicurezza e la salute dei lavoratori.
