

TITLE: Relazione Campi Elettromagnetici – Opere di utenza per la connessione

AVAILABLE LANGUAGE: IT

RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI – OPERE DI UTENZA PER LA CONNESSIONE

Progetto di un impianto agrivoltaico denominato “Masala”, di potenza pari a 48,76 MWp, e delle relative opere di connessione.

Da realizzarsi nei comuni di Ploaghe (SS) e Codrongianos (SS).



File: LS16943.ENG.REL.031.01_Relazione campi elettromagnetici - Opere di utenza per la connessione

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
01	07/02/2024	Rev.01	V.Nardo	A.Fata	L.Spaccino
00	15/12/2023	EMISSIONE	I.Olivieri	A.Fata	L.Spaccino

CLIENT VALIDATION

Name

APPROVED BY

CLIENT CODE

PLANT							GROUP			TYPE			PROGR.			REV	
L	S	1	6	9	4	3	E	N	G	R	E	L	0	3	1	0	1

CLASSIFICATION For Information or For Validation

UTILIZATION SCOPE Basic Design

INDICE

1.0	INTRODUZIONE.....	3
2.0	QUADRO NORMATIVO E DEFINIZIONI	4
3.0	BASSE FREQUENZE.....	8
4.0	DIFFERENZA TRA CAMPI INDOTTI DA LINEE ELETTRICHE AEREE E CAVI INTERRATI.....	9
4.1	CAMPO ELETTRICO	9
4.2	CAMPO MAGNETICO.....	9
5.0	DESCRIZIONE GENERALE DELLE OPERE	10
6.0	CALCOLO DELLE FASCE DI RISPETTO.....	12
6.1	CAVIDOTTI	12
6.2	CABINA DI RACCOLTA.....	16
7.0	TUTELA DEI LAVORATORI ALL'ESPOSIZIONE AI CAMPI ELETTROMAGNETICI AI SENSI.....	17
7.1	CAVIDOTTI DI CONNESSIONE.....	18
7.2	CABINA DI RACCOLTA.....	20
7.0	CONCLUSIONI.....	22

1.0 INTRODUZIONE

La presente relazione costituisce la Relazione sui campi elettromagnetici prodotti dall'impianto di generazione da fonte solare di proprietà di Lightsource Renewable Energy Italy SPV 23 S.R.L., sito nel territorio comunale di Ploaghe (SS) e Codrongianos (SS), per una potenza massima di circa 48.764,80 kWp. L'impianto fotovoltaico in progetto sarà collegato in antenna a 36 kV con un futuro ampliamento della Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione 380/220/150 kV della RTN "Codrongianos", come indicato nella Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) fornita dal gestore di rete.

L'aumento degli ultimi anni dell'esposizione umana ai campi magnetici, elettrici ed elettromagnetici, ha portato il mondo scientifico a porsi il problema delle possibili conseguenze dannose, soprattutto per quanto riguarda i campi a frequenze industriale.

Questo perché in tempi molti ridotti si è avuto un aumento esponenziale della produzione dei campi elettrici e magnetici a frequenze estremamente basse (50 Hz) di origine artificiale, dovuti quasi esclusivamente alla generazione, alla trasmissione, alla distribuzione e all'uso dell'energia elettrica.

In Italia tale problematica è presente a causa del grande numero di linee ad alta tensione per l'energia elettrica, distribuite in modo massiccio su tutto il territorio. Gli impianti fotovoltaici, comunque, non creano ulteriori disagi, in quanto nella maggior parte dei casi utilizzano le linee già esistenti per il trasporto dell'energia da essi prodotta.

In alcuni limitati casi, però, non è possibile allacciarsi a reti già esistenti, per cui si rende necessaria la costruzione di linee apposite, andando quindi ad aumentare il numero di campi elettrici agenti sul territorio.

Inoltre, per ridurre ulteriormente la possibilità di interferenze con tali campi elettromagnetici, viene effettuato l'interramento totale dei cavidotti appartenenti al campo fotovoltaico e di quelli di collegamento alla rete di trasmissione nazionale.

2.0 QUADRO NORMATIVO E DEFINIZIONI

Di seguito si riportano i principali riferimenti normativi pertinenti:

- **D.M. 21 marzo 1988, n.449** - Approvazione delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee aeree esterne.
- **Norma 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 1: Linee elettriche aeree e in cavo.
- **Norma CEI 211-4** - Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e stazioni elettriche.
- **Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'allegato al DM 29.5.2008** – Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche.
- **Raccomandazione Consiglio Ue 1999/519/CE** - Limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz.
- **Legge 22 febbraio 2001, n. 36** - Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici. Legge contenente le indicazioni generali circa funzioni e competenze, piani di risanamento, catasto delle sorgenti, controlli e sanzioni, ai fini della tutela della popolazione e dei lavoratori dall'esposizione a campi elettromagnetici.
- **D.P.C.M. 08.07.2003** - Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti. Decreto attuativo della legge quadro, fissa i limiti per le emissioni degli elettrodotti, definisce tecniche di misurazione e valutazione e dà indicazioni circa la determinazione delle fasce di rispetto.
- **D.M. 29.05.2008** - Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti. Contiene, in allegato, la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, definita da ISPRA e dal sistema delle Agenzie ambientali secondo quanto previsto dal **DPCM 08/07/2003**.

In particolare, ai fini della protezione della popolazione dall'esposizione ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati da linee e cabine elettriche, il D.P.C.M. 8 luglio 2003 (artt. 3 e 4) stabilisce, in conformità alla Legge 36/2001 (art. 4, c. 2), quanto segue:

Art.3, comma 1

Nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di 100 μ T per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.

Art.3, comma 2

A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore

giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10 μT , da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

Art.4, comma 1

Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di 3 μT per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

Art. 6, comma 1

Per la determinazione delle fasce di rispetto si dovrà fare riferimento all'obiettivo di qualità di cui all'articolo 4 ed alla portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto, come definita dalla norma **CEI 11-60**, che deve essere dichiarata dal gestore al Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio, per gli elettrodotti con tensione superiore a 150 kV, e alle Regioni, per gli elettrodotti con tensione non superiore a 150 kV. I gestori provvedono a comunicare i dati per il calcolo e l'ampiezza delle fasce di rispetto ai fini delle verifiche delle autorità competenti.

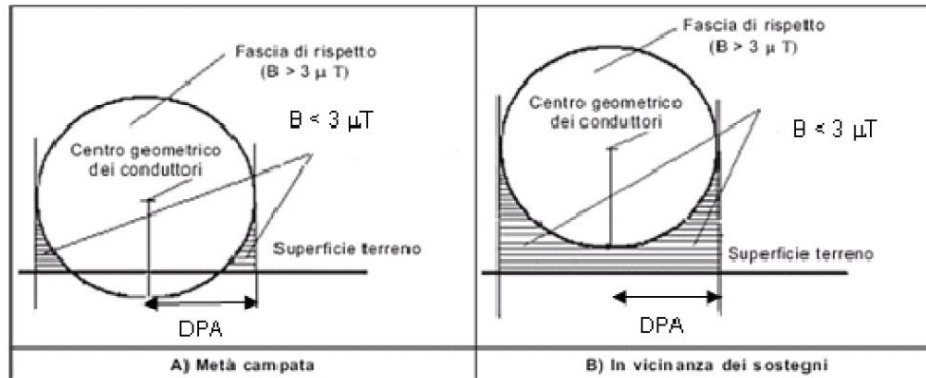
Si riportano di seguito alcune definizioni tratte dalla legge **36/2001**, dal D.P.C.M. 8 luglio 2003, e dal D.M. 29 maggio 2008, utili ai fini dell'inquadramento della materia trattata.

Campata: elemento minimo di una linea elettrica sotteso tra due sostegni.

Distanza di Prima Approssimazione (DPA): per le linee è la distanza, in pianta sul livello del suolo, 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 delle fasce di rispetto. Per le cabine secondarie è la distanza, in pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra.

Elettrodotto: è l'insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione.

Fascia di rispetto: è lo 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 (3 μT). Come prescritto dall'articolo 4, c.1 lettera h) della Legge Quadro n. 36 del 22 febbraio 2001, all'interno delle fasce di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario e ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore.



Schema Fasce di rispetto e DPA in corrispondenza di metà campata e in vicinanza dei sostegni.

Figura 1 - Schema Fasce di Rispetto e DPC in corrispondenza di metà campata e in vicinanza dei sostegni

Impianto: officina elettrica destinata, simultaneamente o separatamente, alla produzione, allo smistamento, alla regolazione e alla modifica (trasformazione e/o conversione) dell'energia elettrica transitante in modo da renderla adatta a soddisfare le richieste della successiva destinazione. Gli impianti possono essere: Centrali di produzione, Stazioni elettriche, Cabine di Primarie e Secondarie e Cabine Utente.

Limiti di esposizione: nel caso di esposizione, della popolazione, a campi elettrici e magnetici, alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di 100 μT per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.

Linea: collegamento con conduttori elettrici, delimitato da organi di manovra, che permettono di unire due o più impianti.

Luoghi tutelati: aree di gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici e luoghi adibiti a permanenza non inferiore a 4 ore giornaliere.

Obiettivo di qualità: nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze giornaliere non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di 3 μT per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

Portata in corrente in servizio normale: è la 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.

Sostegno: elemento di supporto meccanico della linea aerea.

Tratta: porzione di tronco (campate contigue) avente caratteristiche omogenee di tipo elettrico, di tipo meccanico (tipologia del conduttore, configurazione spaziale dei conduttori sui tralicci, ecc.) e relative alla

proprietà.

Tronco: collegamento metallico che permette di unire fra loro due impianti.

Valore di attenzione: a titolo di misura di cautela per la protezione della popolazione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10 mT, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

3.0 BASSE FREQUENZE

I valori limite fissati nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici per le basse frequenze sono imposti dal D.P.C.M. 8-7-03, pubblicato sulla G.U. n.200 del 29 Agosto 2003, “Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti”, sono riportati nella seguente tabella:

	Campo Elettrico [kV/m]	Induzione Magnetica [μ T]
Limite di esposizione	5	100
Valore di attenzione	-	10
Obiettivo di qualità	-	3

Il decreto prevede, nel caso del limite di esposizione, che i valori di campo elettrico e campo magnetico siano espressi come valori efficaci mentre, per il valore di attenzione e l’obiettivo di qualità, l’induzione magnetica è da intendersi come mediana dei valori nell’arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio, in corrispondenza di aree gioco per l’infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere.

Si fa notare che i suddetti limiti non si applicano ai lavoratori professionalmente esposti che operano nel settore della costruzione, manutenzione, etc. poiché quest’ultimi sono sottoposti ad una differente normativa.

I campi ELF, contraddistinti da frequenze estremamente basse, sono caratterizzabili mediante la semplificazione delle equazioni di Maxwell dei “campi elettromagnetici quasi statici” e quindi da due entità distinte:

- **il campo elettrico**, generato dalla presenza di cariche elettriche o tensioni e quindi direttamente proporzionale al valore della tensione di linea;
- **il campo magnetico**, generato invece dalle correnti elettriche.

Dagli elettrodotti si genera sia un campo elettrico che un campo magnetico.

4.0 DIFFERENZA TRA CAMPI INDOTTI DA LINEE ELETTRICHE AEREE E CAVI INTERRATI

4.1 Campo Elettrico

Il campo elettrico risulta ridotto in maniera significativa per l'effetto combinato dovuto alla speciale guaina metallica schermante del cavo ed alla presenza del terreno che presenta una conducibilità elevata. Per le linee elettriche di MT a 50 Hz, i campi elettrici misurati attraverso prove sperimentali sono risultati praticamente nulli, per l'effetto schermante delle guaine metalliche e del terreno sovrastante i cavi interrati.

4.2 Campo Magnetico

Le grandezze che determinano l'intensità del campo magnetico circostante un elettrodotto sono principalmente:

- distanza dalle sorgenti (conduttori);
- intensità delle sorgenti (correnti di linea);
- disposizione e distanza tra sorgenti (distanza mutua tra i conduttori di fase);
- presenza di sorgenti compensatrici;
- suddivisione delle sorgenti (terne multiple).

I metodi di controllo del campo magnetico si basano principalmente sulla riduzione della distanza tra le fasi, sull'installazione di circuiti addizionali (spire) nei quali circolano correnti di schermo, sull'utilizzazione di circuiti in doppia terna a fasi incrociate e sull'utilizzazione di linee in cavo. I valori di campo magnetico risultano notevolmente abbattuti mediante interrimento degli elettrodotti. Questi saranno posti a circa 1,48 metri di profondità e sono composti da un conduttore cilindrico, una guaina isolante, una guaina conduttrice (la quale funge da schermante per i disturbi esterni, i quali sono più acuti nel sottosuolo in quanto il terreno è molto più conduttore dell'aria) e un rivestimento protettivo.

I cavi interrati generano, a parità di corrente trasportata, un campo magnetico al livello del suolo più intenso degli elettrodotti aerei (circa il doppio), però l'intensità di campo magnetico si riduce molto più rapidamente con la distanza. Tra gli svantaggi sono da considerare i problemi di perdita di energia legati alla potenza reattiva (produzione, oltre ad una certa lunghezza del cavo, di una corrente capacitiva, dovuta all'interazione tra il cavo ed il terreno stesso, che si contrappone a quella di trasmissione).

Un altro metodo che consente di ridurre i valori d'intensità di campo elettrico e magnetico è rappresentato dall'adozione di "linee compatte", una soluzione che prevede il posizionamento dei cavi vicini tra di loro, ottenendo in questo modo una riduzione del campo magnetico in virtù della presenza delle membrane isolanti che rivestono i cavi. Confrontando il campo magnetico generato da linee aeree con quello generato da cavi interrati, si rileva che per i cavi interrati l'intensità massima del campo magnetico è più elevata, ma l'attenuazione è maggiore.

5.0 DESCRIZIONE GENERALE DELLE OPERE

Il parco fotovoltaico in progetto, della tipologia grid-connected, sarà collegato in antenna a 36 kV con un futuro ampliamento della Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione 380/220/150 kV della RTN “Codrongianos”, come indicato nella Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) fornita dal gestore di rete. All’interno dell’area d’impianto è prevista la realizzazione di due cabine di raccolta, la prima delle quali (CR1) sarà situata all’interno del sottocampo a nord-est ubicato nel comune di Ploaghe, e avrà lo scopo di raccogliere tutte le linee interne a tale area, per poi convogliarle verso l’altra cabina di raccolta (CR2). Il cavidotto di connessione si svilupperà a partire dalla CR2, che sarà posta nella porzione sud-ovest del sottocampo ricadente nel comune di Codrongianos, presso la quale saranno convogliate tutte le linee di impianto, e dove alloggeranno gli scomparti di arrivo e partenza dei cavi a 36 kV e verrà effettuata la lettura di misure e segnali di allarme provenienti dalle apparecchiature collegate al sistema di comunicazione. Il cavidotto di connessione sarà costituito da due terne in parallelo di cavi unipolari in alluminio del tipo ARE4H5EE da 20,8/36 kV con sezione da 630 mmq. Per la posa del cavidotto di connessione verrà realizzato uno scavo con profondità 1,60 m e larghezza 0,9 m.

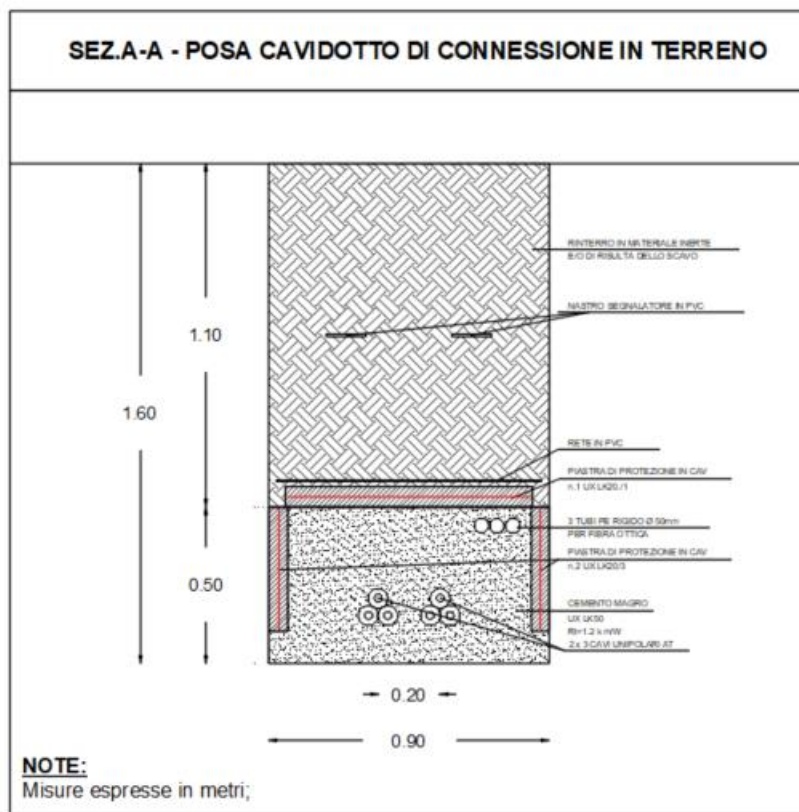


Figura 2 – Tipologico di posa in terreno per il cavidotto di connessione

SEZ.B-B - POSA CAVIDOTTO DI CONNESSIONE IN ASFALTO

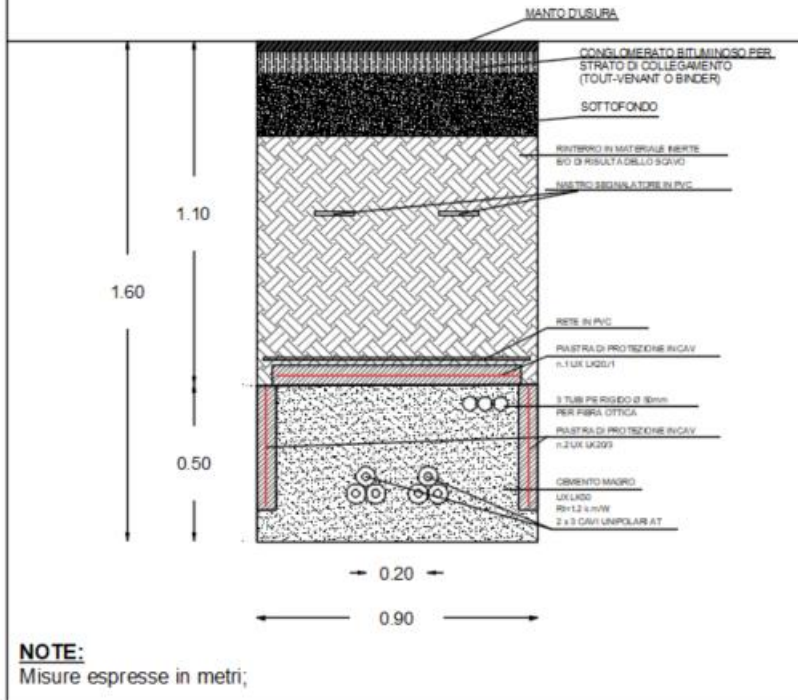


Figura 3 – Tipologico di posa in asfalto per il cavidotto di connessione

6.0 CALCOLO DELLE FASCE DI RISPETTO

6.1 Cavidotti

La norma CEI 106-11 definisce le formule per il calcolo dell'induzione magnetica prodotta da un sistema trifase di conduttori rettilinei disposti tra loro parallelamente e percorsi da una terna di correnti equilibrate e simmetriche. Successivamente dimostra che il campo magnetico nell'intorno dei cavi cordati ad elica è inferiore tanto più quanto è piccolo il passo dell'elica.

La norma CEI 211-4 fornisce invece le metodologie per il calcolo dei campi elettromagnetici generati dalle linee elettriche aeree ed interrate, sviluppate limitatamente a geometrie bidimensionali e applicabili a casi di interesse pratico.

Il valore del campo magnetico indotto dipende dal valore di corrente elettrica che attraversa il conduttore e dal numero di terne di cavidotti presenti all'interno dello scavo, dal momento che la presenza contemporanea di più terne provoca un incremento del campo magnetico. Occorre quindi tenere in considerazione che per le opere di connessione in esame le modalità di posa dei cavidotti sono costituite da:

1. Cavidotto di connessione alla rete a 36 kV del tipo ARE4H5EE 20,8/36 kV

Si precisa che nelle valutazioni che seguono non sono stati presi in considerazione gli effetti dovuti alla presenza di eventuali linee elettriche interrate o aeree già in esercizio non facenti parte del progetto in esame.

Di seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni eseguite per determinare la DPA. Si ricorda che, secondo quanto riportato nella "Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'allegato al DM 29.5.2008", la DPA ricavata viene approssimata per eccesso al metro successivo.

Cavidotto di connessione alla rete: due terne di cavi in parallelo ARE4H5EE 20,8/36 kV

Per tener conto di due o più terne nella stessa sezione di scavo si è fatto ricorso ad un modello matematico che prende in considerazione il campo magnetico generato da ogni singola terna.

Il modello, costituito secondo quanto previsto e suggerito dalla norma CEI 211-4 cap 4.2.2.3, tiene conto delle componenti spaziali dell'induzione magnetica, calcolate come somma del contributo delle correnti nei diversi conduttori:

$$B_x = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[\frac{y_i - y}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right] \quad B_y = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[\frac{x_i - x}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right]$$

È possibile a questo punto effettuare una semplificazione del modello che consideri il contributo non del singolo conduttore ma dell'intera terna.

Riprendendo quanto già detto in precedenza, per i cavi unipolari posati a trifoglio semplice si può ricorrere ad un'espressione approssimata del campo magnetico:

$$B = 0.1 * \sqrt{6} \frac{S * I}{R'^2} \quad [\mu T]$$

Considerata la natura vettoriale del campo magnetico, è possibile sommare i contributi generati dalle singole

terne e calcolare, tramite il modello semplificato di cui prima, il valore del campo magnetico nello spazio circostante l'elettrodotto.

Fissando quindi l'asse centrale del sistema di terne come riportato in figura, il campo magnetico generato dalle due terne di elettrodotti è dato dalla seguente formula:

$$B = 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S_1 * I_1}{(x - x_1)^2 + (y - d)^2} + 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S_2 * I_2}{(x - x_2)^2 + (y - d)^2}$$

dove B [μT] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal centro del sistema (baricentro delle due terne di cavi), S_i [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti della terna i- esima, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a I_i [A] (specifica della terna i-esima).

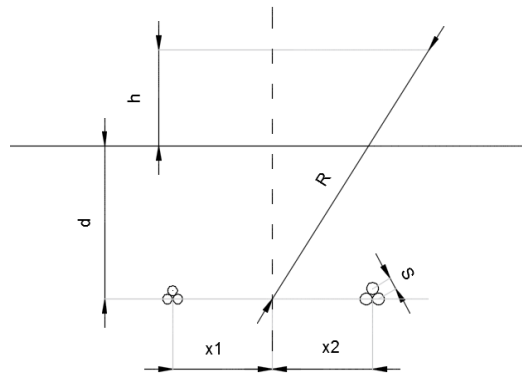


Figura 4 - Sistema di riferimento per la valutazione dei campi magnetici nel caso di due terne posate all'interno della medesima trincea

Sono state quindi calcolate, fissando vari valori di h, le distribuzioni dell'intensità del campo magnetico su piani fuori terra paralleli al suolo, considerando la condizione di posa peggiore di due terne di cavi in parallelo del tipo ARE4H5EE 20,8/36 kV 3x2x630 mmq.

Tabella 1 – Parametri geometrici e tecnici in ingresso considerati nella valutazione dei campi elettromagnetici generati da due terne di cavi posti nello stesso scavo.

Profondità di posa dei cavi	1,48 m
Distanza terna 1 dall'asse y	-0,1 m
Distanza terna 2 dall'asse y	0,1 m
Sezione terne	630 mm ²
Corrente cavi	620 A

La tabella che segue mostra i valori della distribuzione, con un intervallo di campionamento dei valori in ascissa (ossia della distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m.

Tabella 2 - Valori di intensità del campo magnetico nel caso posa di due terne di cavi nello stesso scavo al variare della distanza dal livello del suolo e della distanza dal baricentro delle terne di cavi.

INDUZIONE MAGNETICA TOTALE [μ T]							
Distanza dall'asse centrale [m]	Distanza dal livello del suolo						
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
-10	0,179	0,176	0,172	0,168	0,163	0,158	0,152
-9,5	0,198	0,194	0,190	0,185	0,179	0,172	0,166
-9	0,220	0,215	0,210	0,203	0,196	0,189	0,181
-8,5	0,246	0,240	0,233	0,225	0,217	0,208	0,198
-8	0,276	0,269	0,261	0,251	0,240	0,229	0,218
-7,5	0,313	0,304	0,293	0,281	0,268	0,254	0,240
-7	0,357	0,346	0,332	0,316	0,299	0,282	0,265
-6,5	0,412	0,396	0,378	0,358	0,336	0,315	0,293
-6	0,479	0,458	0,434	0,408	0,380	0,353	0,326
-5,5	0,564	0,536	0,503	0,468	0,432	0,397	0,363
-5	0,673	0,633	0,587	0,540	0,493	0,448	0,406
-4,5	0,816	0,757	0,693	0,628	0,565	0,507	0,454
-4	1,007	0,919	0,826	0,735	0,651	0,574	0,507
-3,5	1,268	1,132	0,995	0,866	0,751	0,651	0,566
-3	1,637	1,417	1,208	1,023	0,866	0,736	0,629
-2,5	2,171	1,800	1,476	1,209	0,996	0,828	0,695
-2	2,961	2,312	1,802	1,420	1,135	0,922	0,760
-1,5	4,127	2,966	2,177	1,643	1,273	1,010	0,819
-1	5,736	3,715	2,556	1,850	1,394	1,085	0,867
-0,5	7,474	4,376	2,853	2,001	1,478	1,136	0,899
0	8,310	4,652	2,968	2,057	1,509	1,154	0,911
0,5	7,474	4,376	2,853	2,001	1,478	1,136	0,899
1	5,736	3,715	2,556	1,850	1,394	1,085	0,867
1,5	4,127	2,966	2,177	1,643	1,273	1,010	0,819
2	2,961	2,312	1,802	1,420	1,135	0,922	0,760
2,5	2,171	1,800	1,476	1,209	0,996	0,828	0,695
3	1,637	1,417	1,208	1,023	0,866	0,736	0,629
3,5	1,268	1,132	0,995	0,866	0,751	0,651	0,566
4	1,007	0,919	0,826	0,735	0,651	0,574	0,507
4,5	0,816	0,757	0,693	0,628	0,565	0,507	0,454
5	0,673	0,633	0,587	0,540	0,493	0,448	0,406
5,5	0,564	0,536	0,503	0,468	0,432	0,397	0,363
6	0,479	0,458	0,434	0,408	0,380	0,353	0,326
6,5	0,412	0,396	0,378	0,358	0,336	0,315	0,293
7	0,357	0,346	0,332	0,316	0,299	0,282	0,265
7,5	0,313	0,304	0,293	0,281	0,268	0,254	0,240
8	0,276	0,269	0,261	0,251	0,240	0,229	0,218
8,5	0,246	0,240	0,233	0,225	0,217	0,208	0,198
9	0,220	0,215	0,210	0,203	0,196	0,189	0,181
9,5	0,198	0,194	0,190	0,185	0,179	0,172	0,166

INDUZIONE MAGNETICA TOTALE [μT]

Distanza dall'asse centrale [m]	Distanza dal livello del suolo						
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
10	0,179	0,176	0,172	0,168	0,163	0,158	0,152

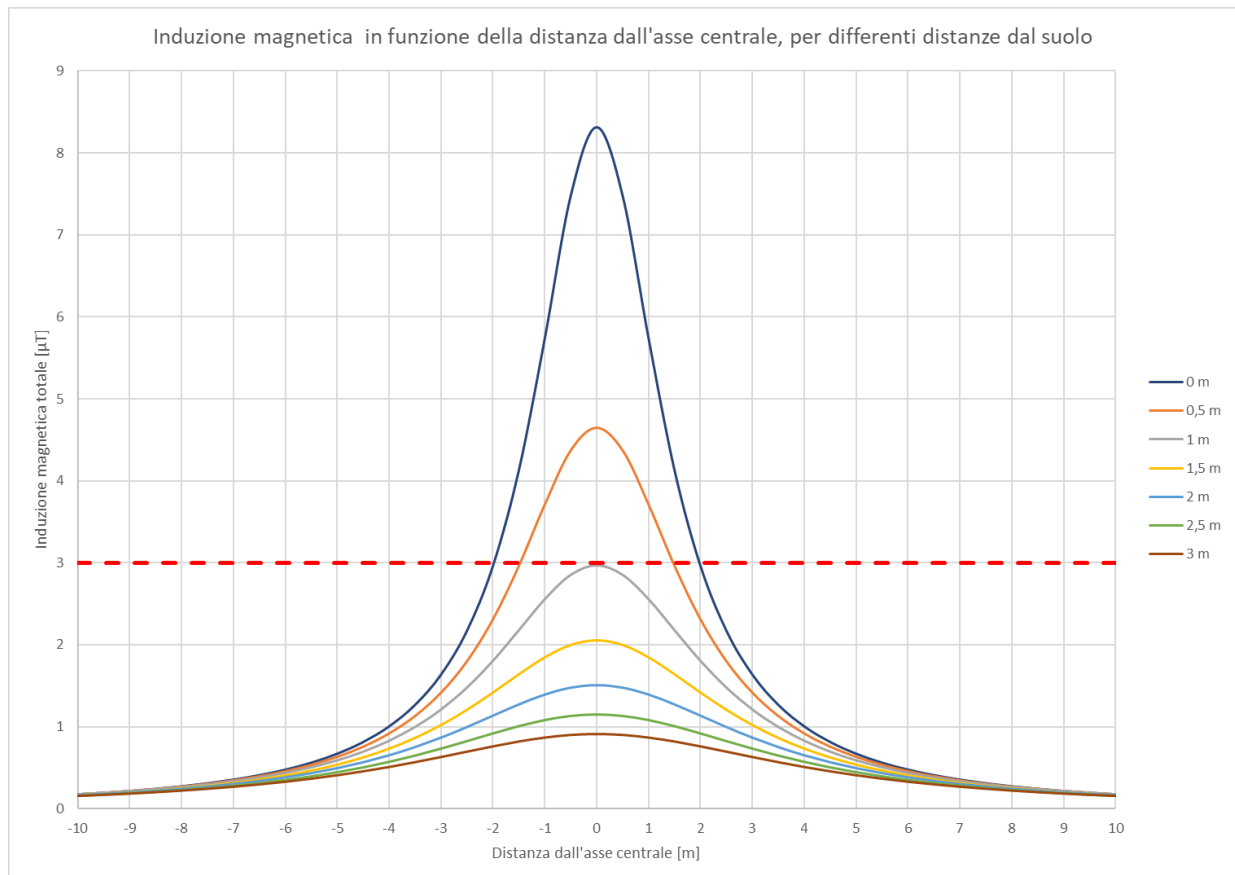


Figura 5 - Andamento dell'intensità del campo magnetico nel caso posa di due terne di cavi in parallelo nello stesso scavo al variare della distanza dal livello del suolo e della distanza dal baricentro delle terne di cavi. In rosso l'obiettivo di qualità imposto dalla norma

Analizzando i risultati ottenuti si evidenzia:

- Distanza in verticale rispetto all'asse centrale baricentrico dei cavi con induzione magnetica superiore a $3 \mu\text{T}$: 2,47 m;
- Fascia di rispetto al di sopra del terreno: 0,99 m;
- Distanza di Prima Approssimazione: 1,98 m, approssimata a 2 m.

6.2 Cabina di Raccolta

In base al DM del MATTM del 29.05.2008, cap.5.2, nel caso di cabine di tipo box o similari, la DPA, intesa come distanza da ciascuna delle pareti (tetto, pavimento e pareti laterali) della cabina, va calcolata simulando una linea trifase, con cavi paralleli, percorsa dalla corrente nominale BT in uscita dal trasformatore (I) e con distanza tra le fasi pari al diametro reale (conduttore + isolante) del cavo (x) (§ 5.2.1) applicando la seguente relazione:

$$Dpa = 0.40942 * x^{0.5241} * \sqrt{I}$$

dove:

- DPA= distanza di prima approssimazione (m)
- I= corrente nominale (A)
- x= diametro dei cavi (m)

La principale sorgente di emissione delle cabine elettriche di trasformazione è costituita dal trasformatore MT/BT. L'analisi verrà condotta ipotizzando che all'interno della cabina di raccolta sia presente un trasformatore da 630 kVA, ipotesi cautelativa in quanto all'interno della cabina stessa non è prevista la trasformazione dell'energia prodotta.

Considerando che I=910,4 A e ipotizzando che i cavi sul lato BT del trasformatore abbiano una formazione 3x(3x240) mm², con diametro esterno pari a circa 27 mm, si ottiene una DPA, arrotondata per eccesso all'intero superiore, pari a 2 m.

7.0 TUTELA DEI LAVORATORI ALL'ESPOSIZIONE AI CAMPI ELETTROMAGNETICI AI SENSI

Relativamente alla tutela della salute dei lavoratori derivante dall'esposizione ai campi elettromagnetici occorre fare riferimento al D.Lgs. n. 159 del 1° Agosto 2016 il quale apporta modifiche al già esistente D.Lgs. n. 81 del 9 Aprile 2008 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro. Si sottolinea che tale decreto fa riferimento esclusivamente agli effetti acuti associati all'esposizione ai CEM poiché attualmente non si dispone di prove scientifiche accertate dell'esistenza di un nesso causale fra l'esposizione ai CEM ed i possibili effetti a lungo termine, compresi i possibili effetti cancerogeni.

A tutte le categorie di lavoratori si applicano le disposizioni generali del Testo Unico, mentre i limiti di esposizione da adottare dipendono dalla tipologia di esposizione. La tipologia di esposizione è, determinata dalla specifica attività svolta dal lavoratore in relazione alla finalità del processo produttivo. Ne consegue che, in funzione dell'attività svolta, a uno stesso lavoratore potranno applicarsi i limiti di esposizione stabiliti dal Testo Unico oppure i limiti per la popolazione

In particolare, nel suddetto D.Lgs 159/2016 vengono indicati, nelle tabelle B1 e B2 riportate all'interno dell'Allegato XXXVI (Allegato 1), i valori di azione (VA) per esposizione rispettivamente ai campi elettrici e ai campi magnetici.

Intervallo di frequenza	VA (E) inferiori per l'intensità del campo elettrico [Vm ⁻¹] (valori RMS)	VA (E) superiori per l'intensità del campo elettrico [Vm ⁻¹] (valori RMS)
1 ≤ f < 25 Hz	2,0 × 10 ⁴	2,0 × 10 ⁴
25 ≤ f < 50 Hz	5,0 × 10 ⁵ /f	2,0 × 10 ⁴
50 Hz ≤ f < 1,64 kHz	5,0 × 10 ⁵ /f	1,0 × 10 ⁶ /f
1,64 ≤ f < 3 kHz	5,0 × 10 ⁵ /f	6,1 × 10 ²
3 kHz ≤ f ≤ 10 MHz	1,7 × 10 ²	6,1 × 10 ²

Figura 6 - VA per i campi elettrici ambientali

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 ≤ f < 8 Hz	2,0 × 10 ⁵ /f ²	3,0 × 10 ⁵ /f	9,0 × 10 ⁵ /f
8 ≤ f < 25 Hz	2,5 × 10 ⁴ /f	3,0 × 10 ⁵ /f	9,0 × 10 ⁵ /f
25 ≤ f < 300 Hz	1,0 × 10 ³	3,0 × 10 ⁵ /f	9,0 × 10 ⁵ /f
300 Hz ≤ f < 3 kHz	3,0 × 10 ⁵ /f	3,0 × 10 ⁵ /f	9,0 × 10 ⁵ /f
3 kHz ≤ f ≤ 10 MHz	1,0 × 10 ²	1,0 × 10 ²	3,0 × 10 ²

Figura 7 - VA per i campi magnetici ambientali

I valori di azione (VA), consentono una valutazione semplificata delle conformità ai pertinenti Valori Limite di Esposizione (VLE). In particolare, il rispetto dei VA garantisce il rispetto dei pertinenti VLE, mentre il superamento dei VA medesimi corrisponde all'obbligo di adottare le pertinenti misure di prevenzione e protezione di cui all'articolo 210, salvo che la valutazione effettuata in conformità dell'articolo 209, comma 1, dimostri che non sono superati i pertinenti VLE e che possono essere esclusi rischi per la sicurezza.

Le componenti sulle quali è stata rivolta l'attenzione in questo elaborato al fine della valutazione dell'impatto elettromagnetico sulla salute dei lavoratori sono:

- Cavidotto di Connessione;

- Cabina di Raccolta

7.1 Cavidotti di Connessione

All'interno dell'elaborato è stato preso in esame il seguente caso:

- Scavo con una sola terna di cavi del tipo ARE4H5EE 20,8/36 kV.

In relazione all'esposizione dei lavoratori ai campi elettrici, ai sensi della Norma CEI EN 50499 la linea è classificabile come sorgenti giustificabili, ovvero conforme a priori ai livelli di riferimento per l'esposizione della popolazione di cui alla Raccomandazione 1999/519/CE, in quanto costituita da cavi interrati e avente una frequenza di 50 Hz.

Si riporta l'analisi per quanto concerne il campo magnetico, per il quale i VA proposti dal D.Lgs 159/2016 sono riportati nella seguente tabella:

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)
$1 \leq f < 8$ Hz	$2,0 \times 10^5 / f^2$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$8 \leq f < 25$ Hz	$2,5 \times 10^4 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$25 \leq f < 300$ Hz	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3$ kHz	$3,0 \times 10^5 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10$ MHz	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

Figura 8 - VA per i campi magnetici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz (D.Lgs, 159/2016)

Nota la frequenza di esercizio dell'impianto, pari a 50 Hz, si ottiene:

$$VA_{\text{inf}} = 1,0 \times 10^3 = 1.000 [\mu\text{T}] ;$$

$$VA_{\text{sup}} = 3,0 \times 10^5 / 50 = 6.000 [\mu\text{T}] ;$$

$$VA = 9,0 \times 10^5 / 50 = 18.000 [\mu\text{T}] \text{ (per esposizione localizzata degli arti)}$$

Si riporta nel seguito, il risultato del calcolo dell'induzione magnetica utilizzando la stessa formula usata in precedenza.

$$B = 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S_1 * I_1}{(x - x_1)^2 + (y - d)^2} + 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S_2 * I_2}{(x - x_2)^2 + (y - d)^2}$$

nella quale "S" rappresenta la distanza tra le generatrici delle terne dei conduttori, "I" è la corrente che percorre i cavi, "R" è la distanza o raggio dal centro geometrico dei conduttori.

Per il cavidotto di connessione è prevista la posa di due terne in parallelo di cavi del tipo ARE4H5EE 20,8/36 kV 3x2x630 mmq.

Profondità di posa dei cavi	1,48 m
Distanza terna 1 dall'asse y	-0,1 m
Distanza terna 2 dall'asse y	0,1 m
Sezione terne	630 mm ²
Corrente cavi	620 A

Come riportato al Par. 6.1, si può notare come si ottenga un **valore di B pari 3 μ T già a distanza di 1,98 m**, il quale risulta notevolmente inferiore ai limiti previsti dal D.Lgs 159/2011.

7.2 Cabina di Raccolta

Poiché tutti i componenti presenti all'interno della cabina di raccolta presentano al loro interno schermature o parti metalliche collegate all'impianto di terra locale, i campi elettrici risultanti all'interno dei locali menzionati risultano trascurabili. Tutti gli schermi e le masse metalliche saranno collegati a terra, imponendo il potenziale di terra, consentendo di schermare completamente i campi elettrici. Nel caso in cui gli effetti mitigatori delle schermature non dovessero risultare idonee, verranno adottate idonee misure di protezione e prevenzione

Per quanto riguarda le emissioni in termini di campo magnetico, invece, nella cabina di raccolta saranno presenti le sole apparecchiature di protezione e monitoraggio degli impianti; pertanto, le sorgenti di campo magnetico sono costituite dai cavidotti 36 kV in ingresso e in uscita dalle cabine, per i quali sono già stati valutati i campi magnetici e le DPA nel paragrafo precedente e nell'elaborato "LS16910.ENG.REL.014._Relazione campi elettromagnetici"

Tuttavia, viene condotta in questa fase anche un'analisi ipotizzando che all'interno delle cabine sia presente un trasformatore da 630 kVA, ipotesi cautelativa in quanto all'interno delle stesse non è prevista la trasformazione dell'energia prodotta.

Per quanto concerne i campi magnetici, di seguito vengono riportati la tabella con i valori di azione (VA) proposti dal D.Lgs 159/2016 ed i risultati ottenuti:

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)
$1 \leq f < 8 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^5 / f^2$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$8 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,5 \times 10^4 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$25 \leq f < 300 \text{ Hz}$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^5 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

Figura 9: VA per i campi magnetici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz (D.Lgs, 159/2016)

Nota la frequenza di esercizio dell'impianto, pari a 50 Hz, si ottiene:

$$VA_{\text{inf}} = 1,0 \times 10^3 = 1.000 \text{ [}\mu\text{T]};$$

$$VA_{\text{sup}} = 3,0 \times 10^5 / 50 = 6.000 \text{ [}\mu\text{T]};$$

$$VA = 9,0 \times 10^5 / 50 = 18.000 \text{ [}\mu\text{T]} \text{ (per esposizione localizzata degli arti)}$$

Al fine di valutare l'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici si conduce lo stesso studio effettuato per i trasformatori BT/ 36 kV nell'elaborato "LS16910.ENG.REL.014._Relazione campi elettromagnetici"

La formula utilizzata è la seguente:

$$B = 0,72 v_{cc} \% \frac{\sqrt{S_n}}{d^{2,8}}$$

Dove:

- v_{cc} è la tensione di cortocircuito in valore percentuale del trasformatore;
- S_n è la potenza apparente nominale del trasformatore in kVA;

- d è la distanza dal trasformatore espressa in m.

Considerando che il trasformatore ipotizzato ha una potenza nominale di 630 kVA e una $V_{cc}\%$ pari al 6%, a distanza di 1 m dal centro si ottiene un **valore di B pari a circa 108 μT** , il quale risulta notevolmente inferiore ai limiti previsti dal D.Lgs 159/2016.

7.0 CONCLUSIONI

Nella presente relazione è stato condotto uno studio analitico volto a valutare l'impatto elettromagnetico delle opere da realizzare e, sulla base di quanto emerso, individuare eventuali fasce di rispetto da apporre al fine di garantire il raggiungimento degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici, secondo il vigente quadro normativo. Una volta individuate le possibili sorgenti dei campi elettromagnetici, per ciascuna di esse è stata condotta una valutazione di tipo analitico, volta a determinare la consistenza dei campi generati dalle sorgenti e l'eventuale distanza di prima approssimazione (DPA).

Di seguito i principali risultati:

- Scavo per cavidotto di connessione alla rete del tipo ARE4H5EE 20,8/36 kV: è necessaria l'apposizione di una DPA di 2 m;
- Cabina di raccolta: viene apposta, in via cautelativa, una DPA di 2 m rispetto alle pareti esterne del fabbricato.

Si precisa che le considerazioni e i calcoli riportati nei paragrafi precedenti riguardano esclusivamente le opere elettriche a servizio dell'impianto fotovoltaico in oggetto, escludendo quindi eventuali altre linee aeree o interrato esterne allo stesso. Si precisa inoltre che, nel caso in questione, le cabine sono posizionate all'aperto e normalmente non sono permanentemente presidiate.

Considerato quanto detto in precedenza, è possibile affermare che le opere suddette rispettano i limiti posti dalla L. 36/2001 e dal DPCM 8 luglio 2003, grazie anche alle soluzioni costruttive e di localizzazione adottate (la linea di connessione alla rete e la cabina di raccolta interessano aree normalmente non abitate), e sono quindi compatibili con l'eventuale presenza umana nella zona.

Sulla base dell'analisi effettuata è possibile affermare che le sorgenti di emissione di campi elettromagnetici individuabili nell'ambito del progetto in esame non costituiscono un elemento di rischio in termini di esposizione dei lavoratori ai sensi del D.lgs. 159/16, in quanto, per ognuna di esse, i valori di campo magnetico risultano inferiori al Valore di Azione (VA) indicato nel medesimo decreto. Risultati analoghi si ottengono anche per il campo elettrico che risulta trascurabile grazie alla presenza di apposite schermature all'interno dei componenti. Si fa inoltre presente che, in fase di costruzione dell'impianto le linee saranno fuori tensione, pertanto i lavoratori non saranno esposti a nessun campo elettromagnetico; nelle fasi di collaudo e manutenzione ordinaria e/o straordinaria, invece, come precedentemente descritto, per tutte le componenti dell'impianto vengono rispettati i valori di azione (e pertanto i valori limite di esposizione) indicati nel D.lgs. 159/2016. In definitiva, è pertanto possibile affermare che per il progetto in analisi, non sussistono criticità derivanti dall'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici, secondo quanto riportato nel D.lgs. 159/16.

Il Progettista

Ing. Luca Spaccino