

**REALIZZAZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO A
TERRA DA 24,49 MW IN IMMISSIONE,
TIPO AD
INSEGUIMENTO MONOASSIALE
“SAM-SE”
COMUNI DI SAMASSI E SERRENTI (SU)**

Valutazione campi elettromagnetici

Committente: ENERGYSAMSE SRL

Località: COMUNI DI SAMASSI E SERRENTI

CAGLIARI, 08/2022

STUDIO ALCHEMIST

Ing.Stefano Floris – Arch.Cinzia Nieddu

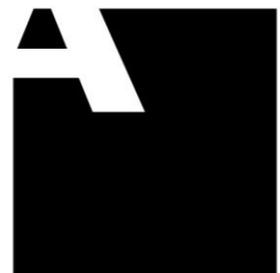
Via Isola San Pietro 3 - 09126 Cagliari (CA)

Via Semplicio Spano 10 - 07026 Olbia (OT)

stefano.floris@studioalchemist.it

cinzia.nieddu@studioalchemist.it

www.studioalchemist.it



Sommario

1.0 INTRODUZIONE	3
2.0 BASSE FREQUENZE	6
3.0 DIFFERENZA TRA CAMPI INDOTTI DA LINEE ELETTRICHE AEREE E CAVI INTERRATI.....	8
3.1 CAMPO ELETTRICO.....	8
3.2 CAMPO MAGNETICO.....	8
4.0 DESCRIZIONE GENERALE DEL PROGETTO.....	8
5.0 CALCOLO DELLE FASCE DI RISPETTO	11
5.1 CAVIDOTTI.....	11
5.2 CONVERSION UNIT	16
6.0 CONCLUSIONI.....	17

1.0 INTRODUZIONE

La presente relazione costituisce la Relazione sui campi elettromagnetici prodotti dall'impianto fotovoltaico di potenza nominale pari a 24.49 MW e BESS di potenza nominale pari a 15.00 MW di proprietà della società **ENERGYSAMSE SRL** sito nei Comuni di Samassi e Serrenti (SU).

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.

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

Allo scopo di verificare i risultati ottenuti a valle delle analisi riportate nel seguito, in fase esecutiva verrà effettuato un monitoraggio dei campi elettromagnetici indotti dall'impianto in progetto.

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 (50Hz) 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 μ T, 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 μ T 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.

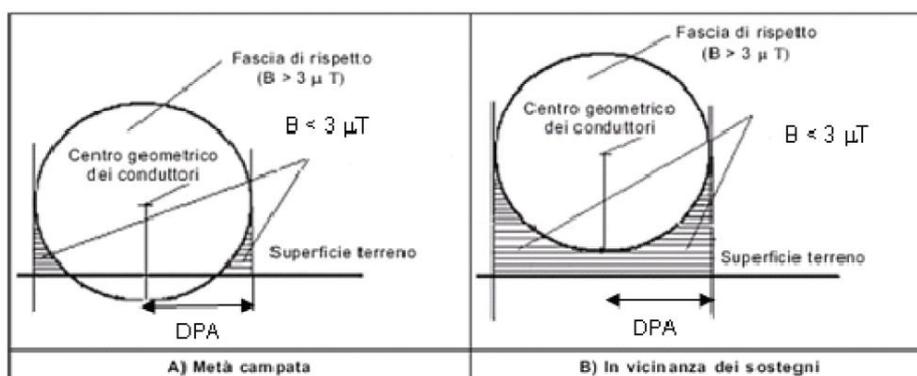
Si riportano di seguito alcune definizioni tratte dalla legge **36/2001**, dal D.P.C.M. 8 luglio 2003, e dal D.M. 29 maggio 2008, utili ai fini dell'inquadramento della materia trattata.

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 ($3 \mu\text{T}$). 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 $100 \mu\text{T}$ 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 μ T 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.

2.0 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 [μT]
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.

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

3.1 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.

3.2 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 0,8 - 1,2 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 produttivo.

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).

Altri metodi con i quali ridurre i valori d'intensità di campo elettrico e magnetico possono essere quelli di usare "linee compatte", dove i cavi vengono avvicinati tra di loro in quanto questi sono isolati con delle membrane isolanti. Queste portano ad una riduzione del campo magnetico. 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 presenta un'attenuazione più pronunciata.

4.0 DESCRIZIONE GENERALE DEL PROGETTO

Il parco fotovoltaico + BESS in progetto, della tipologia grid-connected, hanno una potenza rispettiva di circa 24.492, MWp e 15 MW.

Per l'impianto fotovoltaico derivante da 44.942 moduli bifacciali da 545 Wp ciascuno e per il BESS da 20 containers di batterie al litio da 715,4 kW ciascuno, il complesso sarà collegato alla rete elettrica mediante una connessione trifase in media tensione a 36 kV.

Il tracciato dei cavidotti segue prevalentemente la viabilità interna di campo e saranno interrati fino alla profondità massima di 0,80 metri. Per quanto riguarda i cavidotti per il trasporto dell'energia tra le conversion unit, la cabina utente e la Stazione Terna verrà impiegato un cavo del tipo ARE4H1R con sezione variabile tra 300 e 400 mmq (cfr. elaborato *Schema elettrico unifilare – impianto FV*). Inoltre sono previste due diverse modalità di posa dei cavi, come riportano le immagini nel seguito.

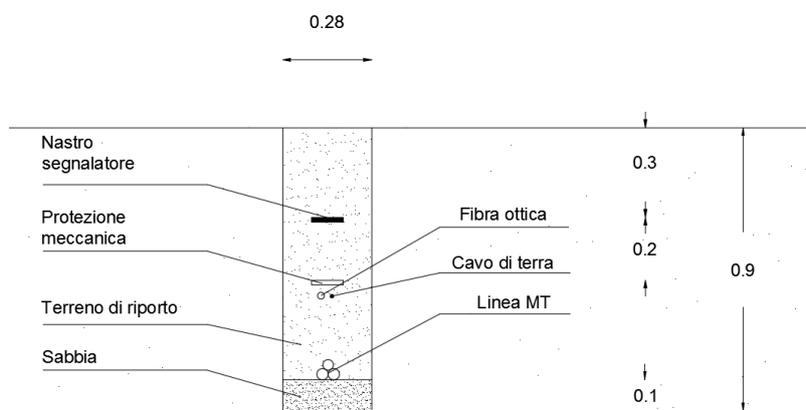


Figura 2 – Tipologico di posa per una trina di cavi

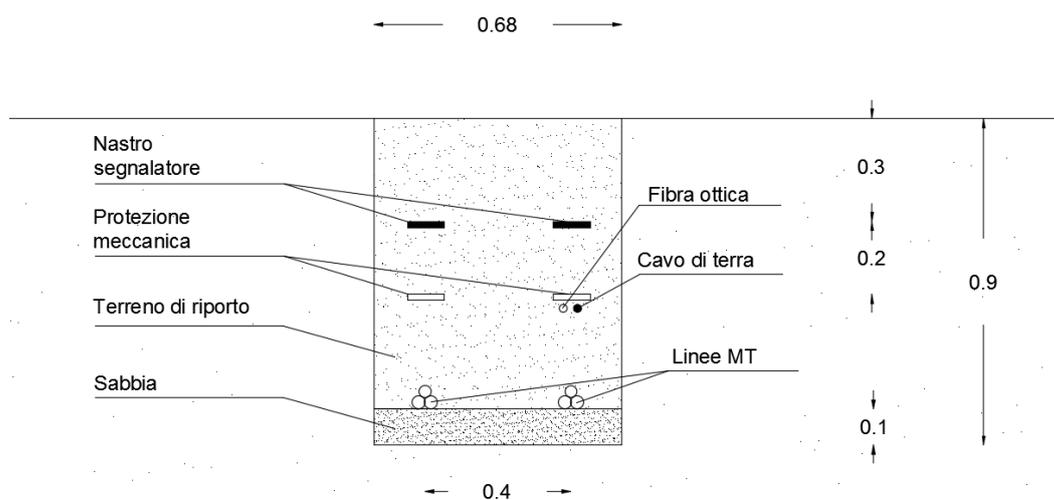


Figura 3 – Tipologico di posa per due trine di cavi nello stesso scavo

La connessione alla rete avverrà tramite una terne di cavi in alluminio ciascuno con sezione di 400 mmq, secondo quanto previsto nel preventivo "STMG" rilasciata da Terna Spa con Codice Pratica: 202103025 rilasciata in data 13/0572022.

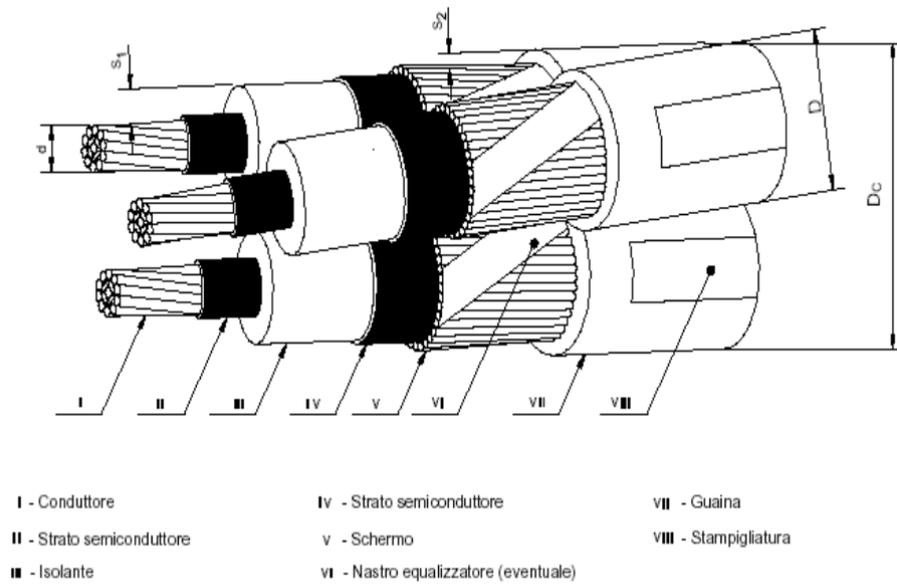


Figura 4: Cavo di connessione alla rete elettrica

5.0 CALCOLO DELLE FASCE DI RISPETTO

5.1 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 le diverse modalità di posa dei cavidotti, che per il progetto in esame è costituito da:

1. Scavo con una sola terna di conduttori del tipo ARE4H1R;
2. Scavo con due terne di conduttori del tipo ARE4H1R;
3. Cavidotti di connessione alla rete del tipo ARE4H5EX:
 - A. Cavidotti di connessione alla rete di progetto;
 - B. Cavidotto interrato esistente.

Non sono stati presi però in considerazione gli effetti dovuti alla presenza di eventuali linee elettriche interrate o aeree già in esercizio non facenti parte dell'impianto di progetto.

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.

1) Scavo con una sola terna, conduttore ARE4H1R

Nel caso degli scavi al cui interno è posata una sola terna, in accordo alla CEI 106-11 art. 6.2.3 b), la formula approssimata per il calcolo dell'induzione magnetica prodotta da conduttori unipolari disposti a trifoglio (come da scelta progettuale) è la seguente:

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

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 rispetto al quale corrisponde un valore di induzione magnetica B pari a 3 μT .

Dalla relazione di cui sopra si ricava dunque il valore di distanza R' che permette di definire il luogo geometrico dei punti che non rispettano l'obiettivo di qualità:

$$R' = 0.286 * \sqrt{SI} \text{ [m]}$$

Se a R' sottraiamo la distanza di profondità di posa dei conduttori, che nel caso specifico è di circa metri 0,8 otteniamo la distanza di rispetto h al di sopra del terreno.

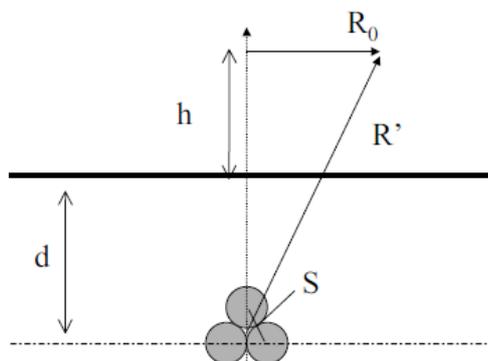


Figura 5: Illustrazione dei parametri geometrici per la definizione della DPA

Inoltre, indicando con d la profondità di posa, la formula seguente consente di calcolare la fascia di rispetto a livello del suolo R_0 , ovvero sia la distanza in orizzontale rispetto al baricentro della terna dopo la quale il valore dell'induzione magnetica a livello del suolo scende sotto i $3 \mu\text{T}$:

$$R_0 = \sqrt{0.082 S I - d^2} \text{ [m]}$$

Considerando il caso peggiore in assoluto, ovvero il cavidotto di collegamento tra la stazione utente e la stazione di consegna per il quale è prevista la posa di una terna di cavi ARE4H1R 3x1x500 mmq, si ottiene quanto riportato nella tabella a seguire

CORRENTE MASSIMA DELLA PORTATA DEL CAVO	I	368	A
DISTANZA TRA LE GENERATRICI DEL CAVO	S	0,036	m
DISTANZA INTERRAMENTO CAVI	d	1,0	m
RAGGIO CON INDUZIONE MAGNETICA SINO A $3\mu\text{T}$	R'	1,10	m
DISTANZA DI RISPETTO AL DI SOPRA DEL TERRENO	h	0,10	m
DISTANZA ORIZZONTALE DOVE IL VALORE DI $3\mu\text{T}$ DIMINUISCE	R_0	0,05	m
DISTANZA DI PRIMA APPROSSIMAZIONE	DPA	1	m

Se consideriamo che la posa dei cavi sarà non inferiore a metri 1,00 il vettore R' che parte dal baricentro dei cavi in direzione verticale avrà una estensione pari a $R'=1,10$ m, mentre la distanza verticale a partire dalla superficie del terreno all'interno della quale è corretto ritenere che non ci sia presenza di persone risulta pari a $h = 0,10$. Inoltre, a livello del suolo la fascia di rispetto si estende in orizzontale per una distanza $R_0 = 0,50$ m.

2) Scavo con due terne, conduttore ARE4H1R

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:

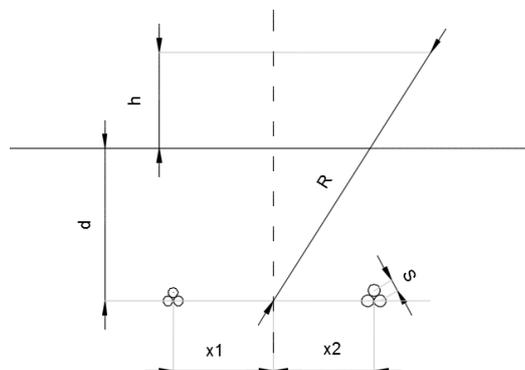
$$B = 0.1 * \sqrt{6} \frac{S I}{R'^2} \quad [\mu T]$$

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] (specificata della terna i-esima).



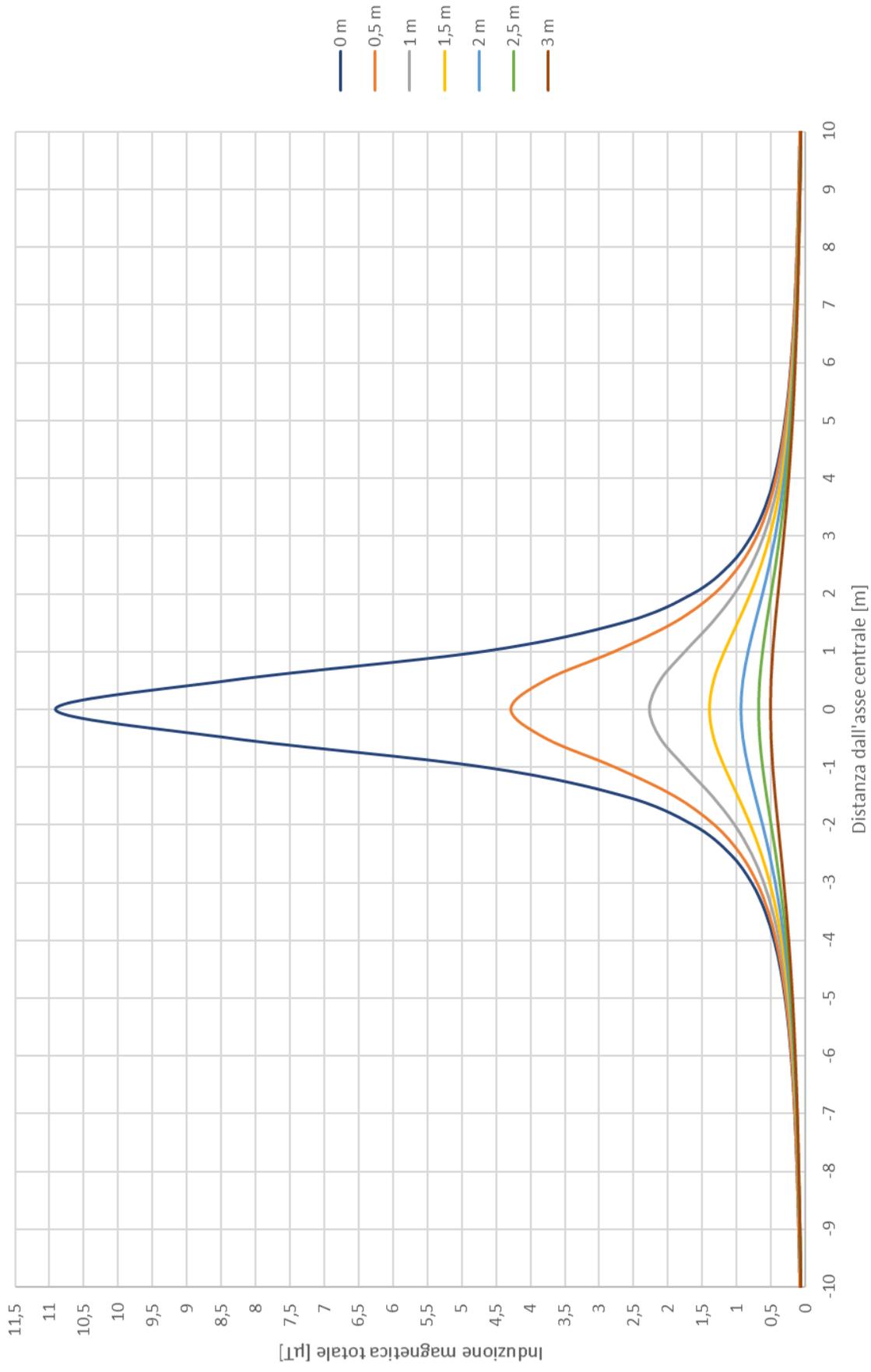
Sono state quindi calcolate, fissando vari valori di h, le distribuzioni dell'intensità del campo magnetico su piani fuori terra paralleli al suolo, considerando la condizione di posa peggiore di due terne di cavi ARE4H1R 3x1x185 mmq.

Profondità di posa dei cavi	1,0 m
Distanza terna 1 dall'asse y	-0,2 m
Distanza terna 2 dall'asse y	0,2 m
Sezione terne	3x185mm ²
Corrente cavi	368 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.

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	0,074	0,073	0,072	0,071	0,069	0,067	0,065
-9,5	0,082	0,081	0,080	0,078	0,076	0,073	0,071
-9	0,091	0,090	0,088	0,086	0,084	0,081	0,078
-8,5	0,102	0,101	0,099	0,096	0,093	0,089	0,086
-8	0,115	0,113	0,111	0,107	0,104	0,099	0,095
-7,5	0,131	0,128	0,125	0,121	0,116	0,111	0,105
-7	0,150	0,147	0,142	0,137	0,131	0,124	0,117
-6,5	0,174	0,169	0,164	0,157	0,149	0,140	0,131
-6	0,203	0,198	0,190	0,180	0,170	0,159	0,147
-5,5	0,241	0,233	0,222	0,209	0,195	0,181	0,166
-5	0,291	0,279	0,264	0,246	0,227	0,207	0,189
-4,5	0,357	0,340	0,317	0,292	0,265	0,239	0,214
-4	0,449	0,422	0,388	0,350	0,312	0,277	0,244
-3,5	0,581	0,536	0,482	0,425	0,371	0,321	0,279
-3	0,779	0,701	0,610	0,522	0,442	0,374	0,317
-2,5	1,094	0,945	0,788	0,646	0,528	0,434	0,359
-2	1,634	1,322	1,032	0,802	0,628	0,499	0,403
-1,5	2,645	1,909	1,359	0,986	0,736	0,565	0,444
-1	4,685	2,779	1,750	1,178	0,838	0,623	0,480
-0,5	8,371	3,789	2,110	1,332	0,914	0,664	0,504
0	10,919	4,292	2,264	1,393	0,942	0,679	0,513
0,5	8,371	3,789	2,110	1,332	0,914	0,664	0,504
1	4,685	2,779	1,750	1,178	0,838	0,623	0,480
1,5	2,645	1,909	1,359	0,986	0,736	0,565	0,444
2	1,634	1,322	1,032	0,802	0,628	0,499	0,403
2,5	1,094	0,945	0,788	0,646	0,528	0,434	0,359
3	0,779	0,701	0,610	0,522	0,442	0,374	0,317
3,5	0,581	0,536	0,482	0,425	0,371	0,321	0,279
4	0,449	0,422	0,388	0,350	0,312	0,277	0,244
4,5	0,357	0,340	0,317	0,292	0,265	0,239	0,214
5	0,291	0,279	0,264	0,246	0,227	0,207	0,189
5,5	0,241	0,233	0,222	0,209	0,195	0,181	0,166
6	0,203	0,198	0,190	0,180	0,170	0,159	0,147
6,5	0,174	0,169	0,164	0,157	0,149	0,140	0,131
7	0,150	0,147	0,142	0,137	0,131	0,124	0,117
7,5	0,131	0,128	0,125	0,121	0,116	0,111	0,105
8	0,115	0,113	0,111	0,107	0,104	0,099	0,095
8,5	0,102	0,101	0,099	0,096	0,093	0,089	0,086
9	0,091	0,090	0,088	0,086	0,084	0,081	0,078
9,5	0,082	0,081	0,080	0,078	0,076	0,073	0,071
10	0,074	0,073	0,072	0,071	0,069	0,067	0,065

Induzione magnetica in funzione della distanza dall'asse centrale, per differenti distanze dal suolo



Analizzando i risultati ottenuti si evidenzia:

- Distanza in verticale rispetto all'asse centrale baricentrico dei cavidotti con induzione magnetica superiore a $3 \mu\text{T}$: 1,40 m;
- Fascia di rispetto al di sopra del terreno: 0,60 m;
- Distanza di Prima Approssimazione: 1,41 m, approssimata a 2 m;

3) Cavidotti di connessione alla rete

Per la connessione alla rete vengono previsti due terne di cavi unipolari ad elica visibile, posati ad una profondità di 1,20 m. Sulla base di ciò la norma CEI 106 – 11, al paragrafo 7.1.1, afferma che nel caso di linee MT e BT interrate con elica visibile l'obiettivo di qualità viene raggiunto ben al di sotto della linea del suolo e pertanto, per questa tipologia di cavo e di posa, non è necessario apporre alcuna fascia di rispetto.

In considerazione delle richieste di chiarimento pervenute in data 16/11/2020 da ARPA Lombardia – Dipartimento di Pavia – Lodi, riferite al procedimento VER179-PV, è stata comunque effettuata un'analisi del campo magnetico generato dai cavidotti in progetto e dalla linea interrata esistente, ipotizzando che la loro posa avvenga non con trifoglio avvolto ad elica, come previsto dalle specifiche tecniche del distributore di rete, bensì a semplice trifoglio, modalità di posa più gravosa in termini di emissione del campo magnetico e dunque più cautelativa. Sotto questa ipotesi è possibile applicare le formule precedentemente definite.

5.2 Conversion Unit

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. Nel progetto proposto verranno impiegate cabine elettriche dove saranno installati al loro interno trasformatori con taglia pari : 3250 kVA.

Considerando per il trasformatore da 3250 kVA un valore di I=4062 A e ipotizzando che i cavi sul lato BT del trasformatore stesso abbiano una formazione $6x(4x240) \text{ mm}^2$, con diametro esterno pari a circa 27 mm, si ottiene una DPA, arrotondata per eccesso all'intero superiore, pari a 4 m.

D'altra parte, nel caso in questione le cabine sono posizionate all'aperto e normalmente non sono permanentemente presidiate.

6.0 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 con una sola terna di conduttori del tipo ARE4H1R: è necessaria l'apposizione di una DPA di 1 m;
- Scavo con due terne di conduttori del tipo ARE4H1R: è necessaria l'apposizione di una DPA di 2 m;
- Scavo per i cavidotti di connessione alla rete del tipo ARE4H5EX: secondo normative vigenti per le linee AT cordate ad elica non è necessaria l'apposizione di alcuna DPA. Tuttavia, in maniera del tutto cautelativa, è stata valutata la DPA con condizioni di posa in trifoglio semplice per i seguenti casi:
 - Cavidotti di connessione alla rete di progetto: nelle ipotesi descritte è necessaria l'apposizione di una DPA di 1 m;
- Conversion unit: è necessaria l'apposizione di una DPA di 4 m rispetto alle pareti esterne del fabbricato.

Si precisa che le considerazioni e i calcoli dei paragrafi 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. Costituisce eccezione la linea interrata esistente "Casei Gerola" per la quale è stata effettuata, su richiesta del Dipartimento di Pavia - Lodi di ARPA Lombardia pervenuta in data 16/11/2020, una valutazione dei campi elettromagnetici atta ad evidenziare le modifiche dei valori di intensità del campo magnetico rispetto all'esistente. Sotto l'ipotesi di posa a semplice trifoglio e di linea caricata a pieno, condizioni cautelative e più restrittive rispetto all'inserimento in entra-esce con cavi elicordati, è stata valutata un'ipotetica DPA da applicare alle linee in oggetto.

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 (le opere dell'impianto verranno posizionate all'interno di un perimetro recintato e dunque con accesso al pubblico limitato, mentre la linea di connessione alla rete interessa aree normalmente non abitate), e sono quindi compatibili con l'eventuale presenza umana nella zona.