



Engineering & Construction



GRE CODE

GRE.EEC.R.00.IT.P.15536.00.022.00

PAGE

1 di/of 26

TITLE: Relazione Campi Elettromagnetici

AVAILABLE LANGUAGE:IT

RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI

“Lanuvio 1 FV”

Lanuvio (RM)



File: GRE.EEC.R.00.IT.P.15536.00.022.00_Relazione Campi Elettromagnetici

00	19/09/2022	Emissione Definitiva	M.Gallina	A.Fata	V.Bretti
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED

EGP VALIDATION

<i>Name (EGP)</i>	<i>Discipline EGP</i>	<i>PE EGP</i>
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATE BY

PROJECT / PLANT Lanuvio 1 FV (15536)	EGP CODE																		
	GROUP	FUNCION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT			SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION							
	GRE	EEC	R	0	0	I	T	P	1	5	5	3	6	0	0	0	2	2	0

CLASSIFICATION For Information or For Validation	UTILIZATION SCOPE Basic Design, Detailed Design, Issue for Construction, etc.
---	--

This document is property of Enel Green Power S.p.A. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green Power S.p.A.



Engineering & Construction



CODICE – CODE

GRE.EEC.R.00.IT.P.15536.00.022.00

PAGINA - PAGE

2 di/of 26

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 DEL PROGETTO	10
6.0	CALCOLO DELLE FASCE DI RISPETTO	15
6.1	CAVIDOTTI	15
6.2	CONVERSION UNIT	25
7.0	CONCLUSIONI.....	26

1.0 INTRODUZIONE

La presente relazione costituisce la relazione sui campi elettromagnetici prodotti dall'impianto fotovoltaico di proprietà di Enel Green Power Solar Energy S.r.l. S.p.A., di potenza nominale pari a 20.334,60 kW sito nel Comune di Lanuvio (SR). Le progettualità in oggetto si compongono di un lotto di impianti, suddiviso in n.3 impianti fotovoltaici indipendenti così denominati:

- IMPIANTO 1 - 6.910,20 kWp
- IMPIANTO 2 - 6.712,20 kWp
- IMPIANTO 3 - 6.712,20 kWp

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 frequenza 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 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 (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.

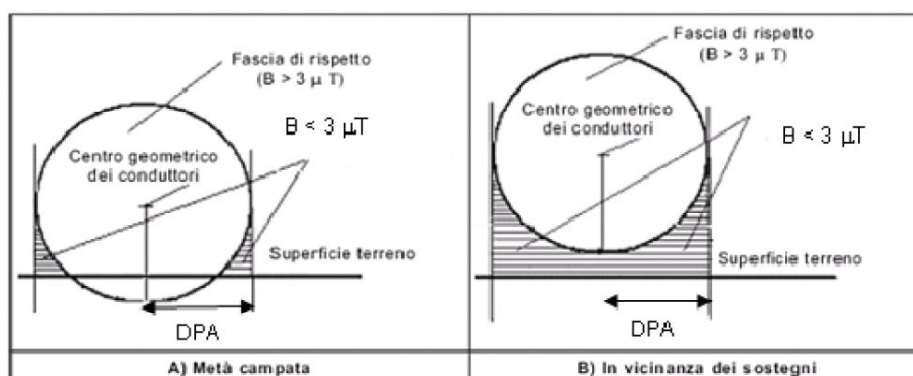
Campata: elemento minimo di una linea elettrica sotteso tra due sostegni.

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 $3 \mu\text{T}$ per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.



Engineering & Construction



CODICE - CODE

GRE.EEC.R.00.IT.P.15536.00.022.00

PAGINA - PAGE

7 di/of 26

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”*, e vengono riportati nella seguente tabella:

Tabella 1 - Valori limite di esposizione ai campi elettrici e ai campi magnetici fissati dal DPCM 8/07/2003

	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 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.

5.0 DESCRIZIONE GENERALE DEL PROGETTO

Il parco fotovoltaico in progetto, della tipologia grid-connected, ha una potenza di circa 20.334,60 kWp, derivante da 36.972 moduli bifacciali da 550Wp ciascuno, e sarà collegato alla rete elettrica mediante n.3 connessioni trifase in media tensione a 20 kV.

Da un punto di vista elettrico infatti, il lotto di impianti in progetto sarà composto da n.3 sottoimpianti indipendenti tra loro, ciascuno con una propria connessione in MT alla Cabina Primaria "Campoleone" 150/20 kV. Ciascun impianto del lotto è quindi destinato ad essere connesso all'esistente infrastrutturazione elettrica mediante la realizzazione di una nuova cabina di consegna di tipo DG2092 Rev.III, come indicato da STMG e dal distributore di rete, Le cabine di consegna saranno rispettivamente denominate:

- IMPIANTO 1 – Cabina di Consegna "Roma"
- IMPIANTO 2 – Cabina di Consegna "Madrid"
- IMPIANTO 3 – Cabina di Consegna "Berlino"

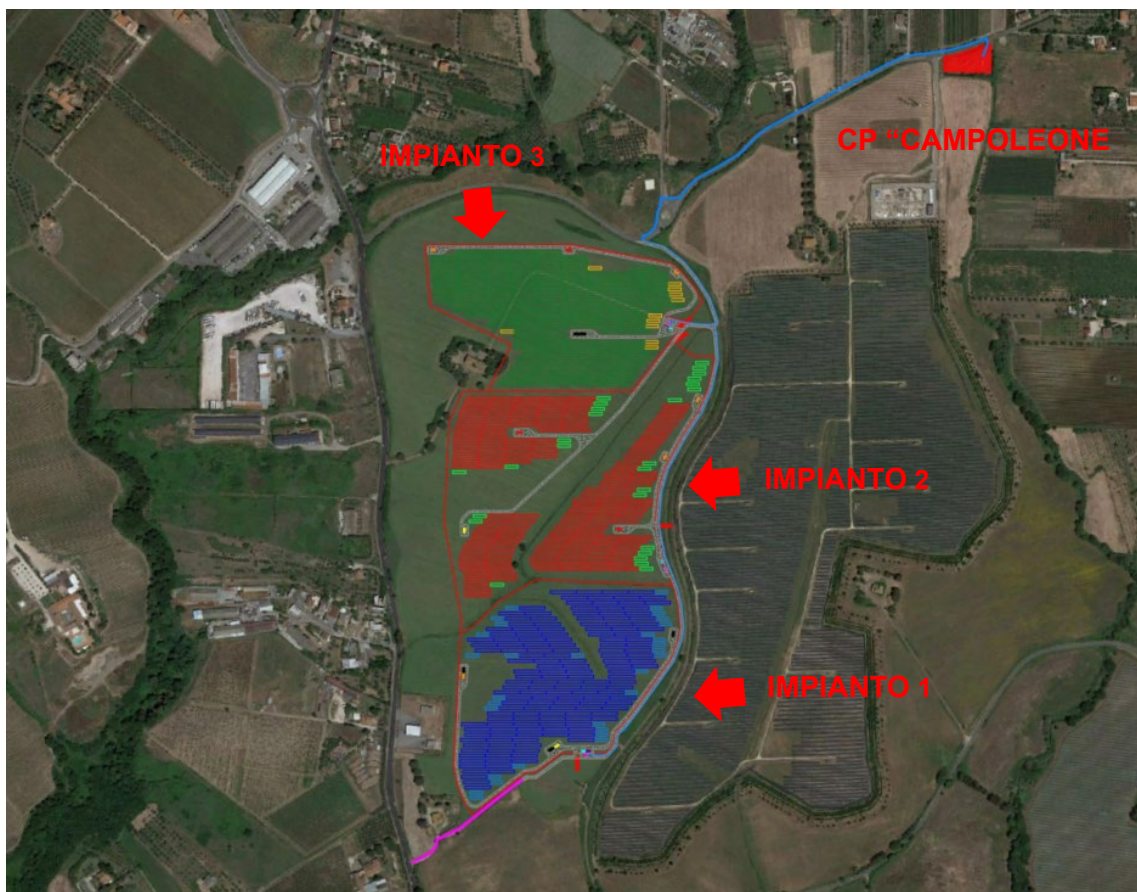


Figura 2 – Layout del lotto di impianti con rispettiva suddivisione come da STMG.

Il tracciato dei cavidotti in progetto (cfr. elaborato "GRE.EEC.D.00.IT.P.15536.00.040_Planimetria cavidotti di impianto") segue prevalentemente la viabilità interna di campo.

I cavidotti per il trasporto dell'energia tra le conversion unit, la cabina utente e la cabina di

consegna, del tipo ARE4H5E con sezione variabile tra 95 e 185 mmq (cfr. elaborato "GRE.EEC.D.00.IT.P.15536.00.052_Schema elettrico unifilare - impianto FV") saranno interrati fino alla profondità massima di 0,80 metri. Inoltre sono previste tre diverse modalità di posa dei cavi, come riportano le immagini nel seguito.

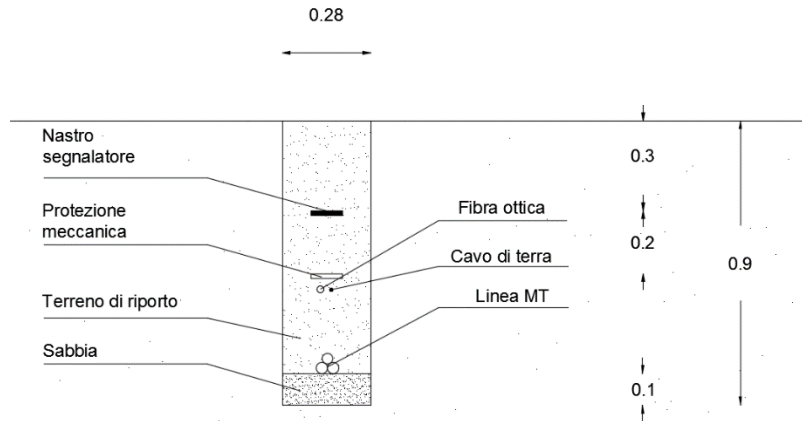


Figura 3 - Tipologico di posa per una terna di cavi

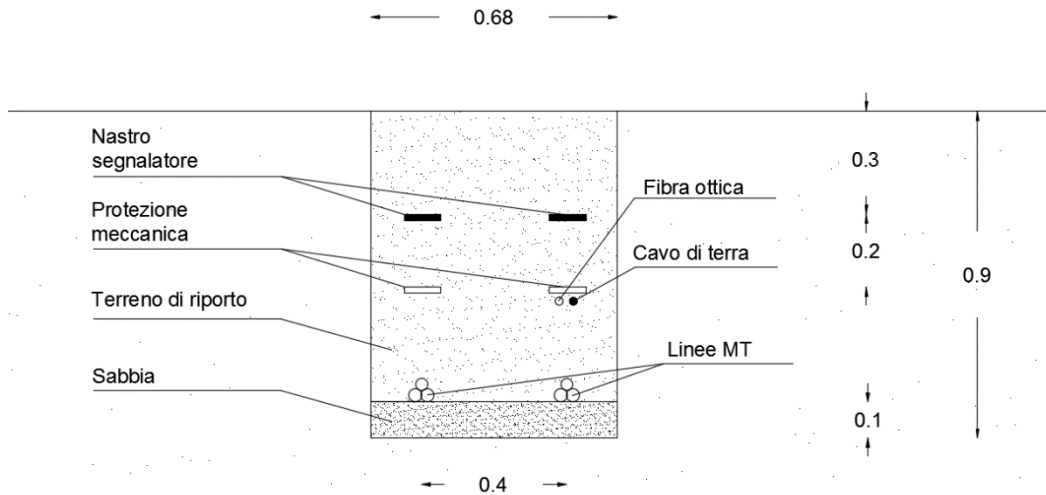


Figura 4 - Tipologico di posa per due terne di cavi nello stesso scavo

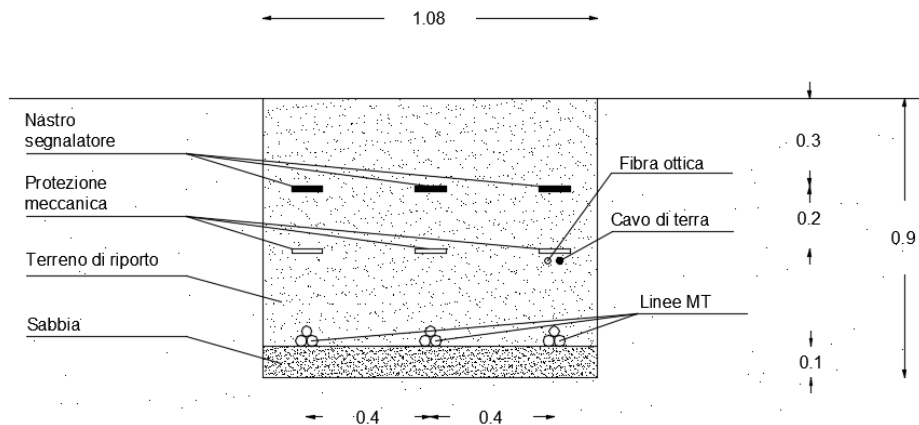
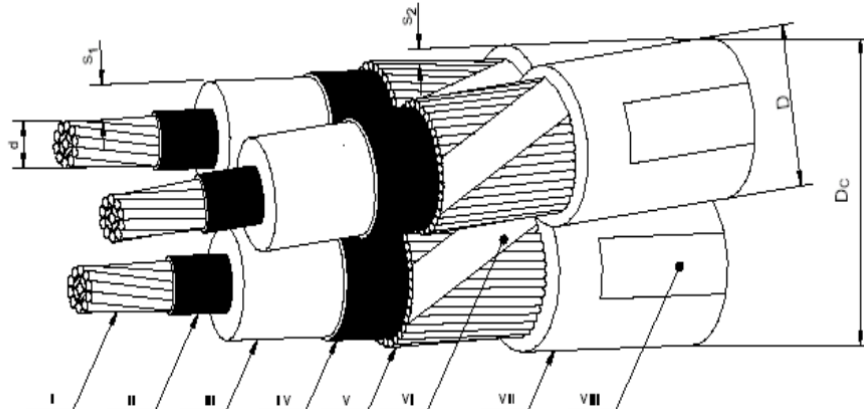


Figura 5 – Tipologico di posa per tre terne di cavi nello stesso scavo

La connessione alla rete avverrà tramite una terna di cavi in alluminio con sezione di 185 mmq, secondo quanto previsto nel preventivo "STMG" con prot. N°OUT-20/10/2021-0273531, del quale si riportano i dati maggiormente significativi:

Lotto di impianti	
Codice rintracciabilità lotto di impianti FV	T0739076
Impianto 1	
Codice POD:	IT001E104164668
Codice presa:	5804545000044
Codice fornitura:	104164668
Impianto 2	
Codice POD:	IT001E104164803
Codice presa:	5804545000045
Codice fornitura:	104164803
Impianto 3	
Codice POD:	IT001E104164846
Codice presa:	5804555000016
Codice fornitura:	104164846



- | | | |
|----------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| I - Conduttore | IV - Strato semiconduttore | VII - Guaina |
| II - Strato semiconduttore | V - Schermo | VIII - Stampigliatura |
| III - Isolante | VI - Nastro equalizzatore (eventuale) | |

Figura 6: Cavo di connessione MT alla rete elettrica secondo specifiche E-Distribuzione

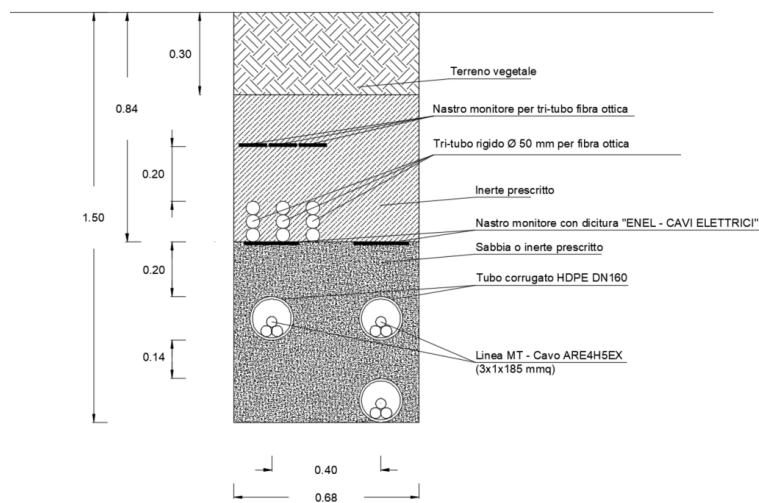


Figura 7: Connessione MT a E-Distribuzione : tipologico di posa in terreno per tre terne di cavi

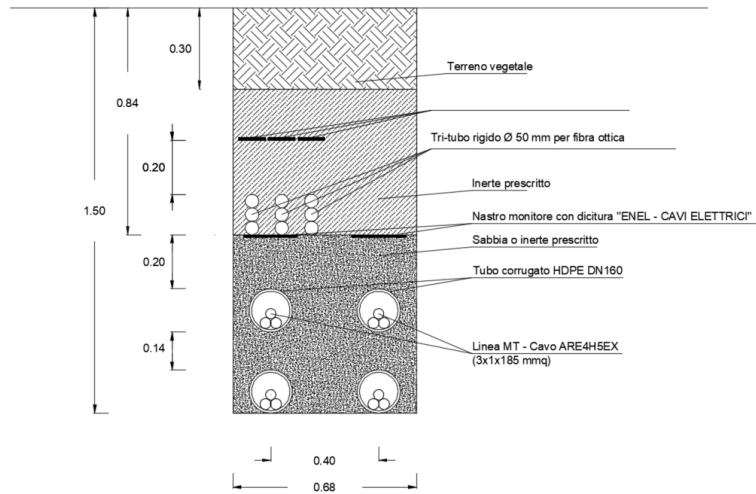


Figura 8: Connessione MT a E-Distribuzione : tipologico di posa in terreno per quattro terne di cavi

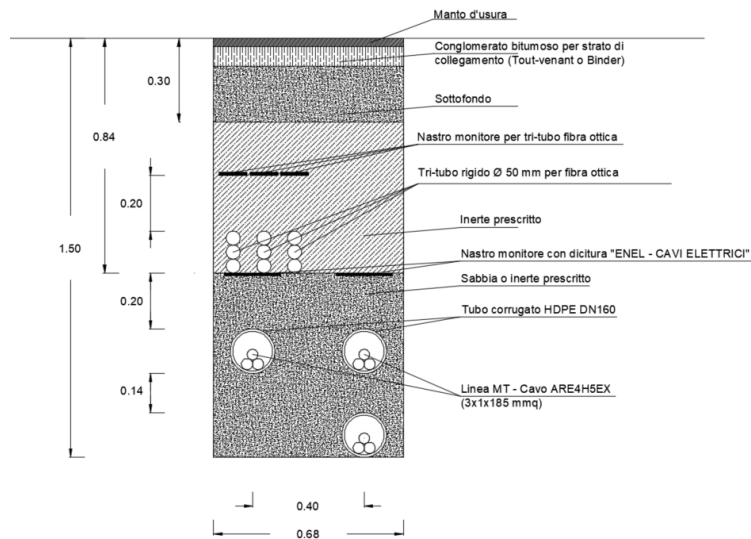


Figura 9: Connessione MT a E-Distribuzione : tipologico di posa sotto asfalto per tre terne di cavi

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

1. Scavo con una sola terna di cavi MT del tipo ARE4H5E;
2. Scavo con una sola terna di cavi MT del tipo RG7H1R;
3. Scavo con due terne di cavi MT del tipo ARE4H5E;
4. Scavo con tre terne di cavi MT del tipo ARE4H5E;
5. Cavidotto di connessione MT alla rete del tipo ARE4H5EX.

Di seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni eseguite per determinare la DPA relative alle linee interrate di progetto. 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. 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 dell'impianto di progetto.

1. Scavo con una sola terna di cavi, tipologia ARE4H5E

Nel caso degli scavi al cui interno è posata una sola terna di cavi, in accordo alla norma 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:

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

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 μ T.

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:

$$R' = 0.286 * \sqrt{S * I} \quad [m]$$

Se a "R'" si sottrae la distanza di profondità di posa dei conduttori, che nel caso in oggetto è di circa metri 0,8 si ottiene la distanza di rispetto "h" al di sopra del terreno.

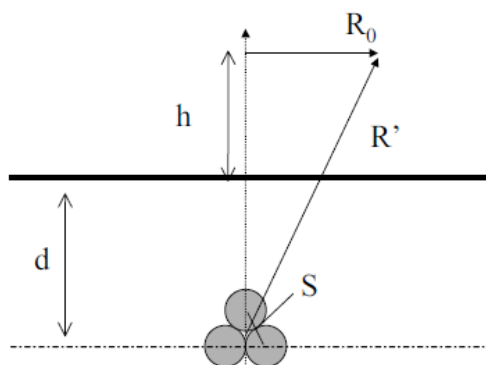


Figura 10: Illustrazione dei parametri geometrici per la definizione della DPA

Inoltre, indicando con "d" la profondità di posa, la formula seguente consente di calcolare la fascia di rispetto a livello del suolo "R₀", ovvero 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 μT:

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

Considerando la posa di una terna di cavi ARE4H1R 3x1x95 mmq, si ottiene quanto riportato nella tabella a seguire.

CORRENTE MASSIMA DELLA PORTATA DEL CAVO	I	256	A
DISTANZA TRA LE GENERATRICI DEL CAVO	S	0,03	m
PROFONDITÀ INTERRAMENTO CAVI	d	0,8	m
RAGGIO CON INDUZIONE MAGNETICA SINO A 3μT	R'	0,79	m
DISTANZA DI RISPETTO AL DI SOPRA DEL TERRENO	h	-	m
DISTANZA ORIZZONTALE A LIVELLO DEL SUOLO DOPO LA QUALE L'INDUZIONE MAGNETICA DIMINUISCE SOTTO I 3μT	R ₀	-	m
DISTANZA DI PRIMA APPROSSIMAZIONE	DPA	1	m

Se si considera che la profondità di posa dei cavi sarà non inferiore a 0,80 metri, il vettore R' che parte dal baricentro dei cavi in direzione verticale avrà un'estensione pari a R'=0,79 m, Pertanto l'obiettivo di qualità viene raggiunto poco al di sotto del livello del suolo. Nonostante ciò, in via cautelativa verrà considerata una distanza di prima approssimazione pari ad 1 m.

2. Scavo con una sola terna di cavi, tipologia RG7H1R

Nel caso degli scavi al cui interno è posata una sola terna di cavi, in accordo alla norma 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:

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

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:

$$R' = 0.286 * \sqrt{S * I} \quad [m]$$

Se a "R'" si sottrae la distanza di profondità di posa dei conduttori, che nel caso in oggetto è di circa metri 0,8 si ottiene la distanza di rispetto "h" al di sopra del terreno.

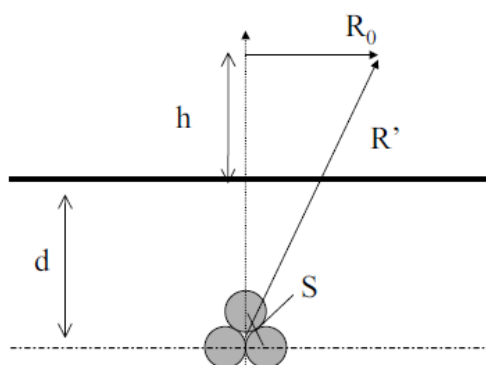


Figura 11: Illustrazione dei parametri geometrici per la definizione della DPA

Inoltre, indicando con "d" la profondità di posa, la formula seguente consente di calcolare la fascia di rispetto a livello del suolo "R₀", 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 μT :

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

Considerando la posa di una terna di cavi RG7H1R 3x1x95 mmq, si ottiene quanto riportato nella tabella a seguire.

CORRENTE MASSIMA DELLA PORTATA DEL CAVO	I	315	A
DISTANZA TRA LE GENERATRICI DEL CAVO	S	0,033	m
PROFONDITÀ INTERRAMENTO CAVI	d	0,8	m
RAGGIO CON INDUZIONE MAGNETICA SINO A 3μT	R'	0,92	m
DISTANZA DI RISPETTO AL DI SOPRA DEL TERRENO	h	0,12	m
DISTANZA ORIZZONTALE A LIVELLO DEL SUOLO DOPO LA QUALE L'INDUZIONE MAGNETICA DIMINUISCE SOTTO I 3μT	R ₀	0,46	m
DISTANZA DI PRIMA APPROSSIMAZIONE	DPA	1	m

Se si considera che la profondità di posa dei cavi sarà non inferiore a 0,80 metri, il vettore R'

che parte dal baricentro dei cavi in direzione verticale avrà un'estensione pari a $R'=0,92$ 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 $h = 0,12$ m. Inoltre, a livello del suolo la fascia di rispetto si estende in orizzontale per una distanza $R_0 = 0,46$ m, approssimata per quanto detto sopra ad 1 m.

3. Scavo con due terne di cavi, tipologia ARE4H5E

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).

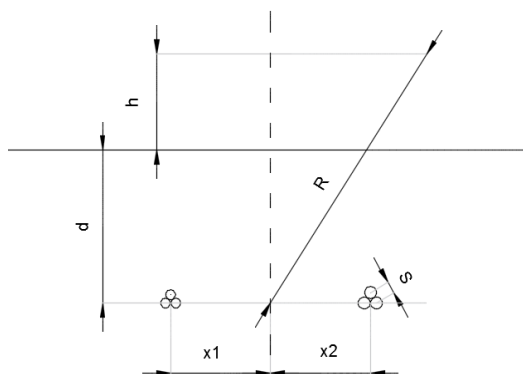


Figura 12: Sistema di riferimento per la valutazione dei campi magnetici nel caso di due terne posate all'interno della medesima trincea

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 ARE4H5E 3x1x95 mmq.

Tabella 2 - 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	0,8 m
Distanza terna 1 dall'asse y	-0,2 m
Distanza terna 2 dall'asse y	0,2 m
Sezione terne	3x1x95 mm ²
Corrente cavi	256 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 3 - 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 [μT]							
Distanza dall'asse centrale [m]	Distanza dal livello del suolo (m)						
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
-10	0,044	0,043	0,043	0,042	0,041	0,040	0,038
-9,5	0,048	0,048	0,047	0,046	0,045	0,043	0,042
-9	0,054	0,053	0,052	0,051	0,049	0,048	0,046
-8,5	0,060	0,059	0,058	0,057	0,055	0,053	0,051
-8	0,068	0,067	0,065	0,063	0,061	0,059	0,056
-7,5	0,077	0,076	0,074	0,071	0,069	0,065	0,062
-7	0,089	0,087	0,084	0,081	0,077	0,073	0,069
-6,5	0,103	0,100	0,097	0,093	0,088	0,083	0,078
-6	0,120	0,117	0,112	0,107	0,100	0,094	0,087
-5,5	0,143	0,138	0,131	0,124	0,116	0,107	0,098
-5	0,172	0,165	0,156	0,145	0,134	0,123	0,111
-4,5	0,211	0,201	0,188	0,172	0,157	0,141	0,127
-4	0,266	0,250	0,229	0,207	0,185	0,164	0,144
-3,5	0,344	0,317	0,285	0,251	0,219	0,190	0,165
-3	0,461	0,414	0,361	0,308	0,261	0,221	0,187
-2,5	0,647	0,559	0,466	0,382	0,312	0,256	0,212
-2	0,966	0,781	0,610	0,474	0,371	0,295	0,238
-1,5	1,564	1,129	0,803	0,583	0,435	0,334	0,263
-1	2,770	1,643	1,035	0,696	0,495	0,368	0,284
-0,5	4,949	2,240	1,247	0,788	0,540	0,393	0,298
0	6,455	2,537	1,338	0,824	0,557	0,402	0,303
0,5	4,949	2,240	1,247	0,788	0,540	0,393	0,298
1	2,770	1,643	1,035	0,696	0,495	0,368	0,284
1,5	1,564	1,129	0,803	0,583	0,435	0,334	0,263
2	0,966	0,781	0,610	0,474	0,371	0,295	0,238
2,5	0,647	0,559	0,466	0,382	0,312	0,256	0,212
3	0,461	0,414	0,361	0,308	0,261	0,221	0,187
3,5	0,344	0,317	0,285	0,251	0,219	0,190	0,165
4	0,266	0,250	0,229	0,207	0,185	0,164	0,144
4,5	0,211	0,201	0,188	0,172	0,157	0,141	0,127
5	0,172	0,165	0,156	0,145	0,134	0,123	0,111
5,5	0,143	0,138	0,131	0,124	0,116	0,107	0,098
6	0,120	0,117	0,112	0,107	0,100	0,094	0,087
6,5	0,103	0,100	0,097	0,093	0,088	0,083	0,078
7	0,089	0,087	0,084	0,081	0,077	0,073	0,069
7,5	0,077	0,076	0,074	0,071	0,069	0,065	0,062
8	0,068	0,067	0,065	0,063	0,061	0,059	0,056
8,5	0,060	0,059	0,058	0,057	0,055	0,053	0,051
9	0,054	0,053	0,052	0,051	0,049	0,048	0,046
9,5	0,048	0,048	0,047	0,046	0,045	0,043	0,042
10	0,044	0,043	0,043	0,042	0,041	0,040	0,038

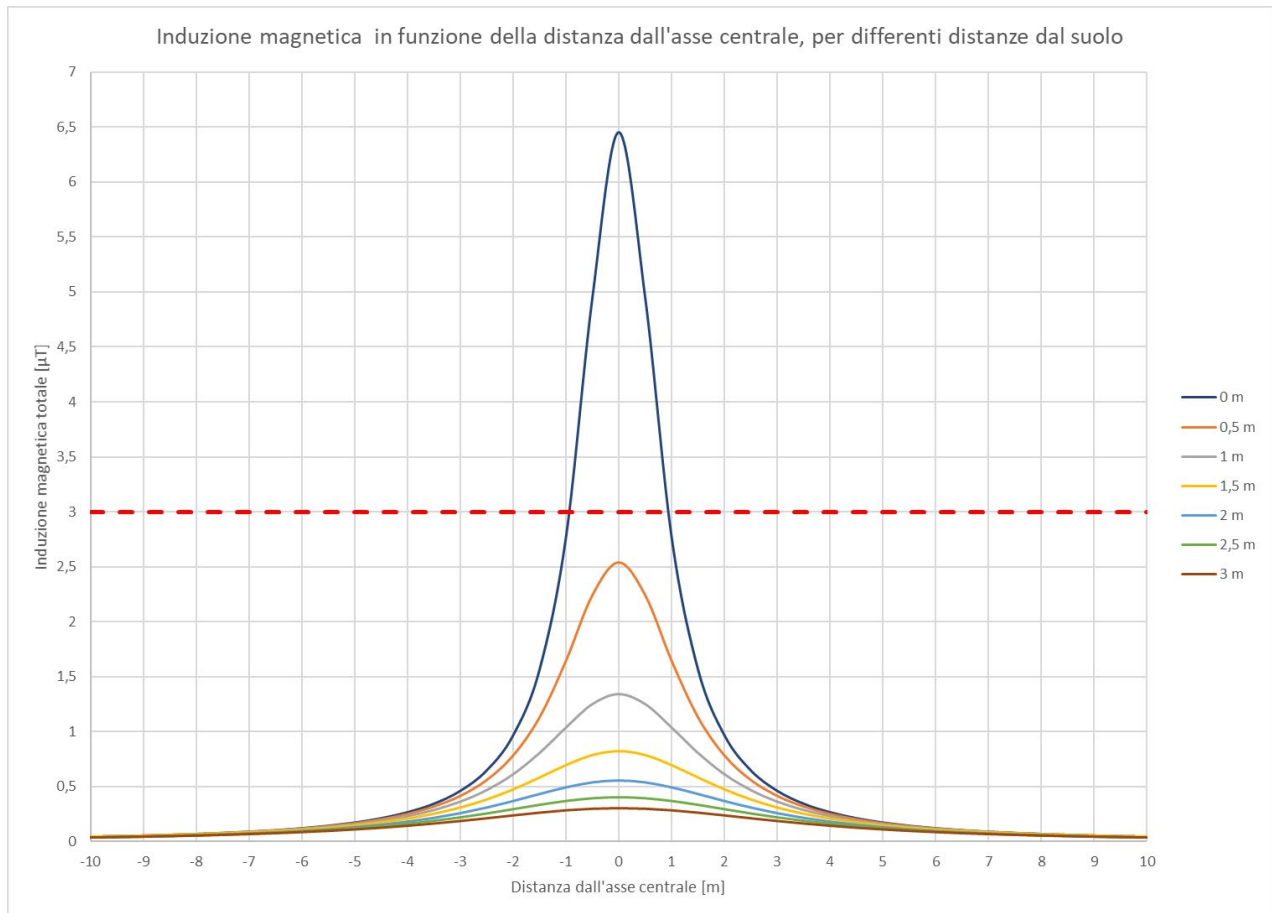


Figura 13 – Andamento dell'intensità del campo magnetico nel caso posa di due terne di cavi nello stesso scavo al variare della distanza dal livello del suolo e della distanza dal baricentro delle terne di cavi. In rosso l'obiettivo di qualità imposto dalla normativa di settore

Analizzando i risultati ottenuti si evidenzia:

- Distanza in verticale rispetto all'asse centrale baricentrico dei cavidotti con induzione magnetica superiore a 3 µT: 0,94 m;
- Fascia di rispetto al di sopra del terreno: 0,45 m;
- Distanza di Prima Approssimazione: 0,94 m, approssimata a 1 m;

4. Scavo con tre terne di cavi, tipologia ARE4H5E

Analogamente a quanto visto nel paragrafo precedente, viene condotto lo studio nel caso in cui all'interno dello stesso scavo siano presenti tre terne di cavi, come evidenziato in figura.

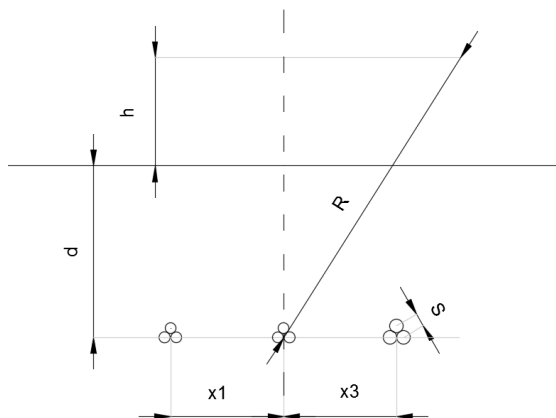


Figura 14: Sistema di riferimento per la valutazione dei campi magnetici nel caso di tre terne posate all'interno della medesima trincea

Considerata quindi la disposizione spaziale delle terne, e fissando l'asse centrale del sistema in corrispondenza della mezzeria tra le terne, si può calcolare il campo magnetico generato dai tre elettrodotti attraverso la seguente formula:

$$B = 0,1 \sqrt{6} \sum_i \frac{S_i I_i}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}$$

dove B [μ T] è l'induzione magnetica in un generico punto di coordinate (x,y) rispetto al 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). La terna i-esima è individuata dalle coordinate (x_i, y_i) .

Come nel paragrafo precedente sono state calcolate le distribuzioni dell'intensità del campo magnetico su piani fuori terra paralleli al suolo, fissando vari valori di h e considerando un caso peggiore di posa di tre terne di cavi ARE4H5E 3x1x95 mmq.

Tabella 4 - Parametri geometrici e tecnici in ingresso considerati nella valutazione dei campi elettromagnetici generati da tre terne di cavi posti nello stesso scavo.

Profondità di posa dei cavi	0,8 m
Distanza terna 1 dall'asse y	-0,04 m
Distanza terna 2 dall'asse y	0 m
Distanza terna 3 dall'asse y	0,04 m
Sezione terne	3x1x95 mm ²
Corrente cavi	256 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 5 - Valori di intensità del campo magnetico nel caso posa di tre 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 [μT]							
Distanza dall'asse centrale [m]	Distanza dal livello del suolo (m)						
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
-10	0,066	0,065	0,064	0,063	0,061	0,060	0,058
-9,5	0,073	0,072	0,071	0,069	0,067	0,065	0,063
-9	0,081	0,080	0,078	0,077	0,074	0,072	0,069
-8,5	0,091	0,089	0,088	0,085	0,082	0,079	0,076
-8	0,102	0,101	0,098	0,095	0,092	0,088	0,084
-7,5	0,116	0,114	0,111	0,107	0,103	0,098	0,093
-7	0,133	0,131	0,127	0,122	0,116	0,110	0,104
-6,5	0,155	0,151	0,146	0,139	0,132	0,124	0,117
-6	0,181	0,176	0,169	0,160	0,151	0,141	0,131
-5,5	0,215	0,208	0,198	0,187	0,174	0,161	0,148
-5	0,260	0,249	0,235	0,219	0,202	0,184	0,168
-4,5	0,320	0,304	0,283	0,260	0,236	0,213	0,191
-4	0,403	0,378	0,347	0,312	0,278	0,246	0,217
-3,5	0,523	0,482	0,431	0,379	0,330	0,286	0,248
-3	0,704	0,631	0,547	0,466	0,394	0,332	0,282
-2,5	0,996	0,854	0,707	0,577	0,470	0,385	0,319
-2	1,502	1,197	0,925	0,714	0,558	0,442	0,357
-1,5	2,462	1,728	1,213	0,875	0,652	0,500	0,393
-1	4,377	2,488	1,549	1,040	0,740	0,550	0,424
-0,5	7,356	3,300	1,846	1,170	0,805	0,586	0,445
0	8,916	3,671	1,968	1,220	0,829	0,599	0,453
0,5	7,356	3,300	1,846	1,170	0,805	0,586	0,445
1	4,377	2,488	1,549	1,040	0,740	0,550	0,424
1,5	2,462	1,728	1,213	0,875	0,652	0,500	0,393
2	1,502	1,197	0,925	0,714	0,558	0,442	0,357
2,5	0,996	0,854	0,707	0,577	0,470	0,385	0,319
3	0,704	0,631	0,547	0,466	0,394	0,332	0,282
3,5	0,523	0,482	0,431	0,379	0,330	0,286	0,248
4	0,403	0,378	0,347	0,312	0,278	0,246	0,217
4,5	0,320	0,304	0,283	0,260	0,236	0,213	0,191
5	0,260	0,249	0,235	0,219	0,202	0,184	0,168
5,5	0,215	0,208	0,198	0,187	0,174	0,161	0,148
6	0,181	0,176	0,169	0,160	0,151	0,141	0,131
6,5	0,155	0,151	0,146	0,139	0,132	0,124	0,117
7	0,133	0,131	0,127	0,122	0,116	0,110	0,104
7,5	0,116	0,114	0,111	0,107	0,103	0,098	0,093
8	0,102	0,101	0,098	0,095	0,092	0,088	0,084
8,5	0,091	0,089	0,088	0,085	0,082	0,079	0,076
9	0,081	0,080	0,078	0,077	0,074	0,072	0,069
9,5	0,073	0,072	0,071	0,069	0,067	0,065	0,063
10	0,066	0,065	0,064	0,063	0,061	0,060	0,058

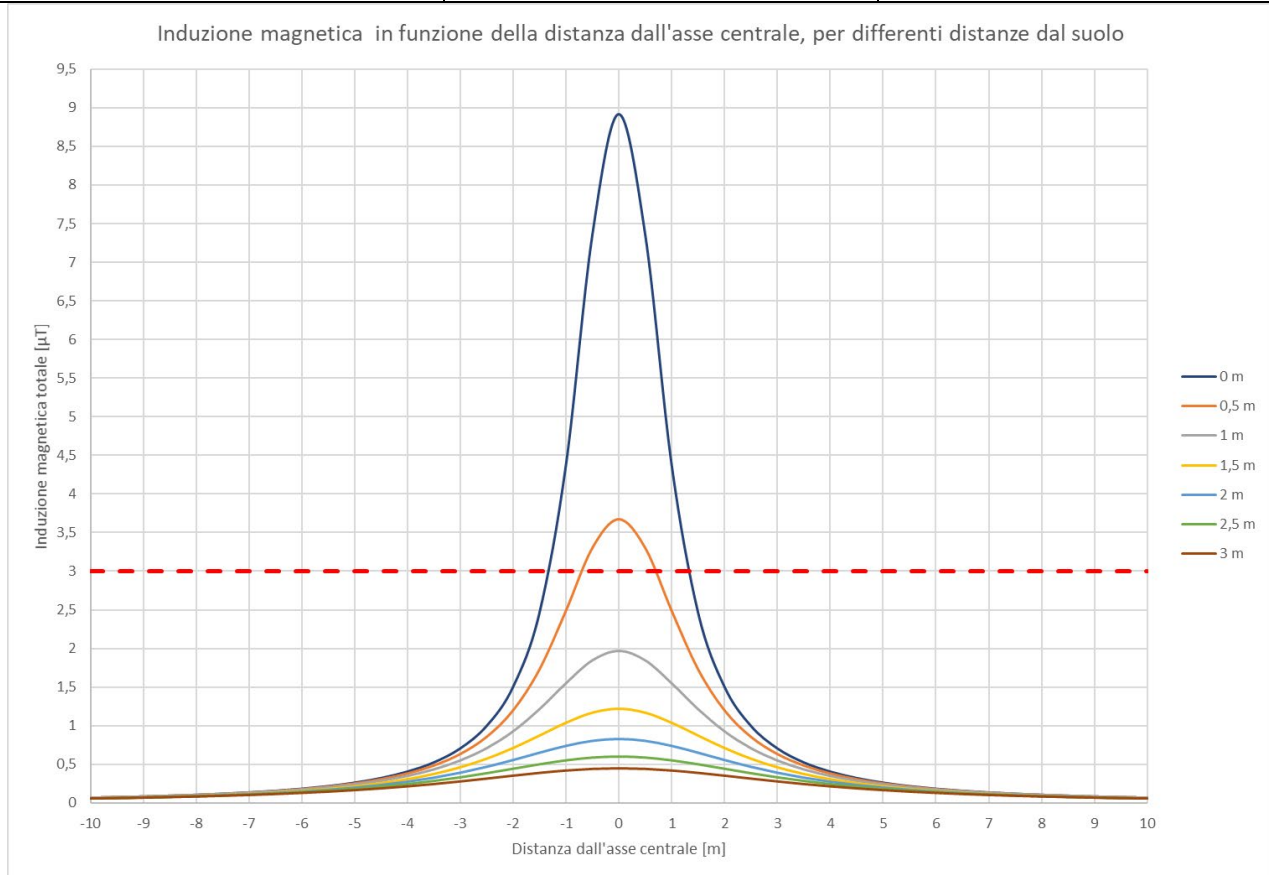


Figura 15 – Andamento dell'intensità del campo magnetico nel caso posa di tre terne di cavi nello stesso scavo al variare della distanza dal livello del suolo e della distanza dal baricentro delle terne di cavi. In rosso l'obiettivo di qualità imposto dalla normativa di settore

Analizzando i risultati ottenuti si evidenzia:

- Distanza in verticale rispetto all'asse centrale baricentrico dei cavidotti con induzione magnetica superiore a 3 μT : 1,23 m;
- Fascia di rispetto al di sopra del terreno: 0,70 m;
- Distanza di Prima Approssimazione: 1,23 m, approssimata a 2 m;

5. Cavidotto di connessione alla rete, tipologia ARE4H5EX

Per la connessione alla rete è prevista la posa di tre o quattro terne di cavi unipolari ad elica visibile, posati ad una profondità di 1,20 m o 1,50 m. Sulla base di ciò la norma CEI 106 – 11, al paragrafo 7.1.1, afferma che nel caso di linee MT e BT interrato 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.

6.2 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 CS, 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. Per l'impianto in progetto vengono proposti trasformatori con taglia variabile da un massimo di 2.000 kVa ad un minimo di 300 kVa, a seconda della Conversion Unit considerata. A scopo cautelativo, l'analisi verrà condotta considerando il caso più gravoso corrispondente ad un trasformatore da 2.000 kVA.

Considerando quindi per il trasformatore da 2000 kVA un valore di I=1800 A e ipotizzando che i cavi sul lato BT del trasformatore stesso abbiano una formazione 3x(6x240) mm², con diametro esterno pari a circa 27 mm, si ottiene una DPA, arrotondata per eccesso all'intero superiore, pari a 5 m.

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

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 con una sola terna di cavi del tipo ARE4H5E con formazione 3x1x95 mmq: è necessaria l'apposizione di una DPA di 1 m;
- Scavo con una sola terna di cavi del tipo RG7H1R con formazione 3x1x95 mmq: è necessaria l'apposizione di una DPA di 1 m;
- Scavo con due terne di cavi del tipo ARE4H5E: è necessaria l'apposizione di una DPA di 1 m;
- Scavo con tre terne di cavi del tipo ARE4H5E: è necessaria l'apposizione di una DPA di 2 m;
- Cavidotto di connessione alla rete del tipo ARE4H5EX: non è necessaria l'apposizione di alcuna DPA in quanto le normative vigenti non prescrivono fasce di rispetto per cavi cordati ad elica;
- Conversion unit da 2.000, 1.500, 1.000 kVA e 300 kVA: è necessaria l'apposizione di una DPA di 5 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 interrate esterne allo stesso. Inoltre, le opere dell'impianto verranno posizionate all'interno di un perimetro recintato e dunque con accesso al pubblico limitato. Considerato ciò, è possibile affermare che le opere suddette, grazie anche alle soluzioni costruttive e di localizzazione adottate, rispettano i limiti posti dalla L. 36/2001 e dal DPCM 8 luglio 2003 e sono quindi compatibili con l'eventuale presenza umana nella zona.

Il Progettista

Vito Bretti

