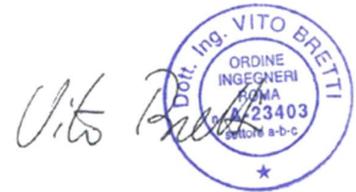


**TITLE:** Relazione campi elettromagnetici

**AVAILABLE LANGUAGE:** IT

## RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI

Progetto di un impianto Agrivoltaico della potenza complessiva di 63.232,40 kWp e relative opere di connessione alla RTN. Da realizzarsi nei comuni di Roccapalumba (PA) e Vicari (PA)  
**"ROCCAPALUMBA"**



File: ROC.ENG.REL.014.00\_Relazione Campi Elettromagnetici.doc

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
00	11/08/2023	<b>Emissione</b>	G.Donato	L.Spaccino A.Fata	V.Bretti

### CLIENT VALIDATION

Name	Discipline	PE
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATE BY

### CLIENT CODE

IMP.			GROUP.			TYPE			PROGR.			REV	
R	O	C	E	N	G	R	E	L	0	1	4	0	0

**CLASSIFICATION** For Information or For Validation

**UTILIZATION SCOPE** Basic Design

This document is property of Delta Solar S.r.l. 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 Delta Solar S.r.l.

**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	TRANSFORMATION UNIT.....	34
7.0	CONCLUSIONI .....	35

## 1.0 INTRODUZIONE

La presente relazione costituisce la relazione sui campi elettromagnetici prodotti dall'impianto agrivoltaico denominato "Roccapalumba", proposto da Delta Solar S.r.l., che prevede la realizzazione di un impianto agrivoltaico, localizzato all'interno dei limiti amministrativi dei territori comunali di Roccapalumba, Vicari e Lercara Friddi, nella città metropolitana di Palermo.

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 agrivoltaico, 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.
- **“Linee guida in materia di impianti agrivoltaici”,** Ministero della Transizione Ecologica - Dipartimento per l'energia.
- **LEGGE 29 luglio 2021, n. 108** “Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 31 maggio 2021, n. 77, recante governance del Piano nazionale di ripresa e resilienza e prime misure di rafforzamento delle strutture amministrative e di accelerazione e snellimento delle procedure”.
- **“Consultazione pubblica Misura PNRR Sviluppo Agrivoltaico: Piano di Ripresa e Resilienza, Missione 2 (Rivoluzione verde e Transizione ecologica), Componente 2 (Energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile), Investimento 1.1 (Sviluppo Agrovoltaiico)”.**
- **“Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima 2030 (PNIEC)”**, Ministero dello Sviluppo Economico (PNIEC\_finale\_17012020.pdf (mise.gov.it)).
- **D.Lgs. 8 novembre 2021, n. 199**, di recepimento della direttiva UE 2018/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, (Direttiva RED II).

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  $\mu$ 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  $\mu$ 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  $\mu$ 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.

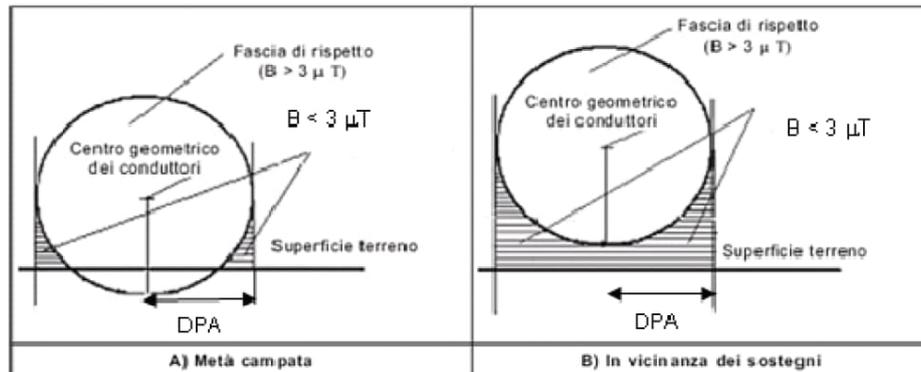
**Campata:** *elemento minimo di una linea elettrica sotteso tra due sostegni.*

**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  $\mu$ 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.



**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.

**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 [ $\mu$ 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 1,1 – 1,5 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).

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 DEL PROGETTO

Il parco agrivoltaico in progetto, della tipologia grid-connected, ha una potenza nominale massima pari a 60 MW<sub>AC</sub>. Esso è destinato ad essere collegato in antenna a 36 kV con la sezione 150 kV di una nuova stazione elettrica di trasformazione (SE) 380/150/36 kV della RTN, da inserire in entra - esce sul futuro elettrodotto RTN a 380 kV della RTN "Chiaramonte Gulfi - Ciminna", previsto nel Piano di Sviluppo Terna, e da ricollegare alla linea 150 kV compresa tra le stazioni RTN di Ciminna e Cammarata, come indicato nella Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) fornita dal distributore di rete.

L'impianto agrivoltaico è suddiviso in n.6 lotti di impianto, ognuno dei quali sarà collegato in alta tensione alla cabina di raccolta predisposta.

Il cavidotto AT a 36 kV, in uscita dalla cabina di raccolta, si collegherà sulla futura Stazione Elettrica di Trasformazione (SE) della RTN 380/150/36 kV.

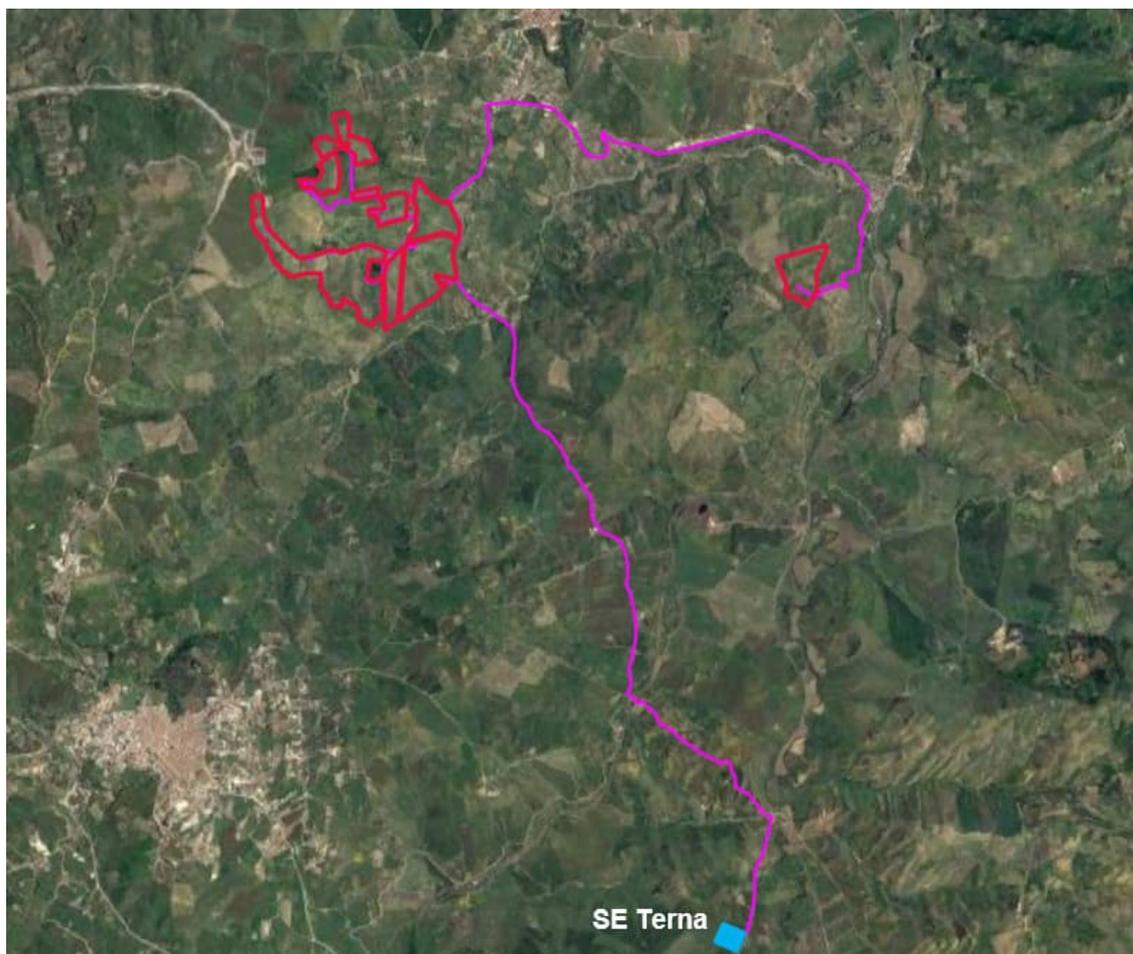
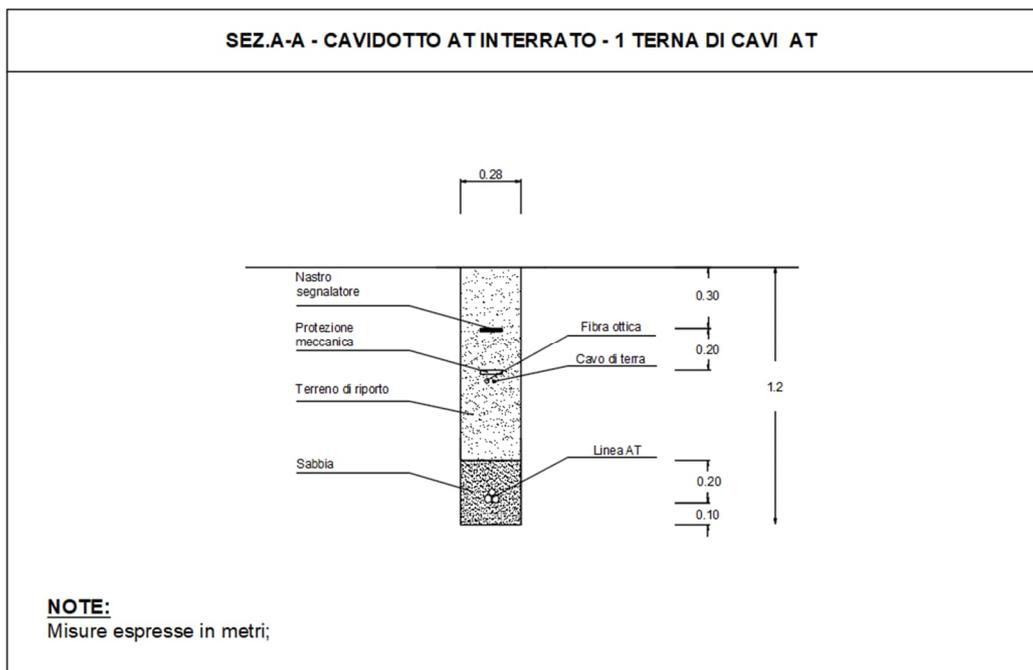


Figura 2 – Inquadratura su base ortofoto dell'area di impianto (in rosso) e del tracciato del cavidotto di connessione (in magenta); in blu la SE Terna.

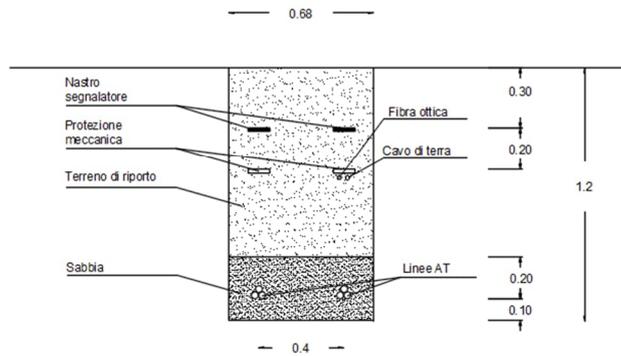
Per la posa delle linee elettriche necessarie per il raccordo con la rete di distribuzione sono previste sette diverse tipologie di trincee, di profondità e larghezza variabile a seconda del numero di cavidotti interrati (cfr. elaborato "ROC.ENG.TAV.022.\_Planimetria dei cavidotti con indicazione delle sezioni di posa").

- Una terna interrata: trincea larga 0,28 m e profonda 1,2 m;
- Due terne interrate nello stesso scavo: trincea larga 0,68 m e profonda 1,2 m;
- Tre terne interrate nello stesso scavo: trincea larga 1,08 m e profonda 1,2 m;
- Sei terne interrate nello stesso scavo: trincea larga 1,08 m e profonda 1,5 m;
- Una terna interrata su asfalto: trincea larga 0,70 m e profonda 1,2 m;
- Due terne interrate su asfalto nello stesso scavo: trincea larga 0,90 m e profonda 1,2 m;
- Quattro terne interrate su asfalto nello stesso scavo: trincea larga 0,90 m e profonda 1,6 m.



**Figura 3 – Tipologico di posa per una terna di cavi AT nello stesso scavo su terreno**

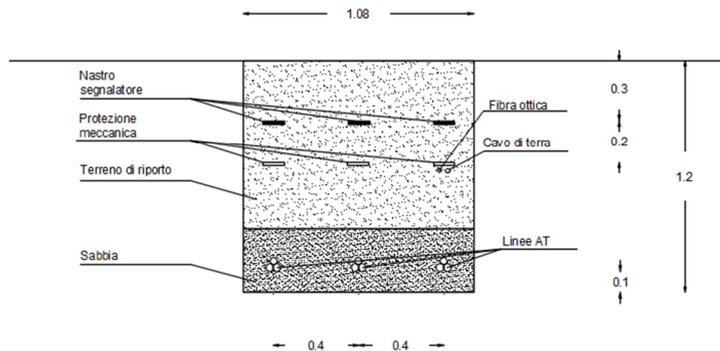
## SEZ.B-B - CAVIDOTTO AT INTERRATO - 2 TERNE DI CAVI AT

**NOTE:**

Misure espresse in metri;

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

## SEZ.C-C - CAVIDOTTO AT INTERRATO - 3 TERNE DI CAVI AT

**NOTE:**

Misure espresse in metri;

Figura 5 - Tipologico di posa per tre terne di cavi AT nello stesso scavo su terreno

## SEZ.D-D - CAVIDOTTO AT INTERRATO - 6 TERNE DI CAVI AT

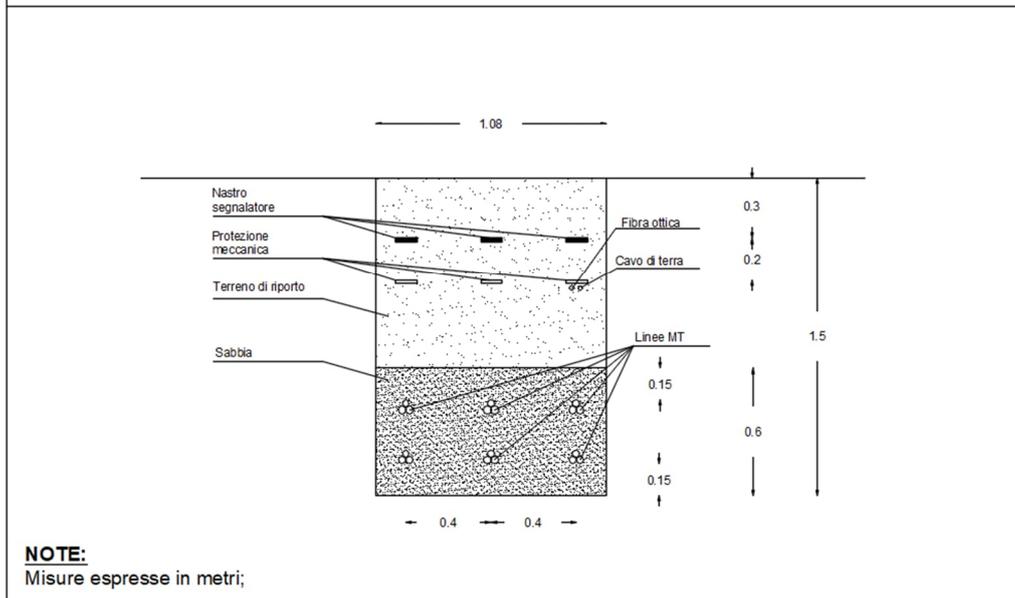


Figura 6 - Tipologico di posa per sei terne di cavi AT nello stesso scavo in terreno

## SEZ.E-E - CAVIDOTTO AT INTERRATO SU ASFALTO - 1 TERNA DI CAVI AT

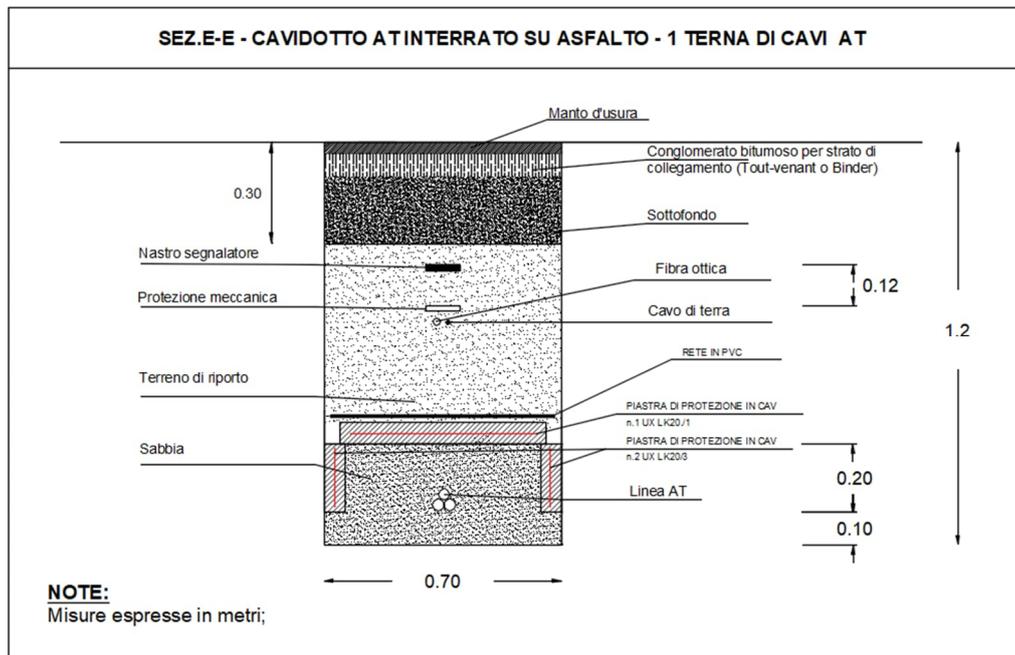
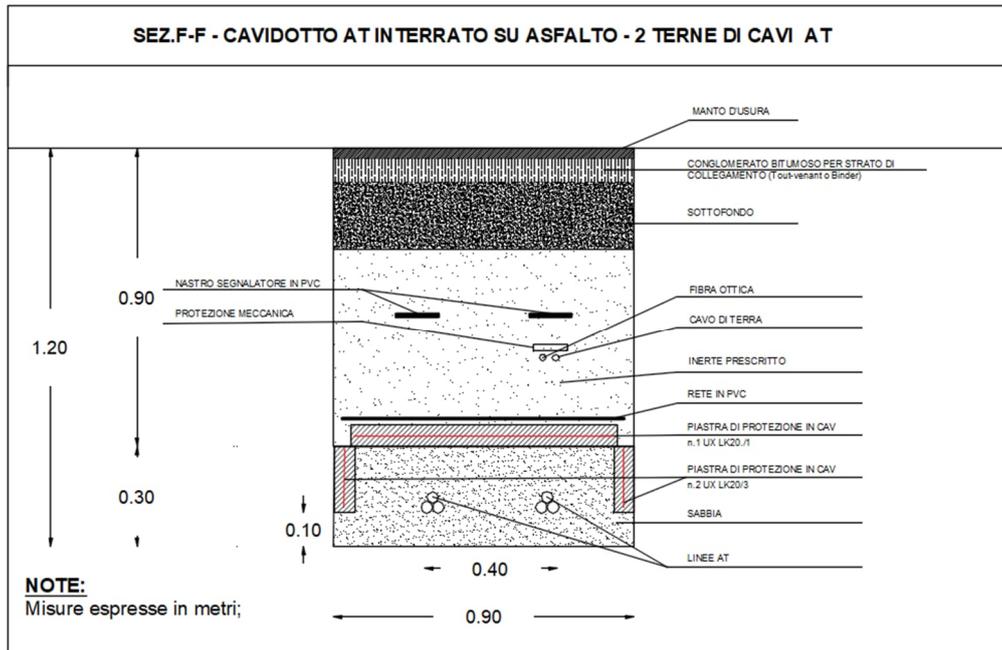
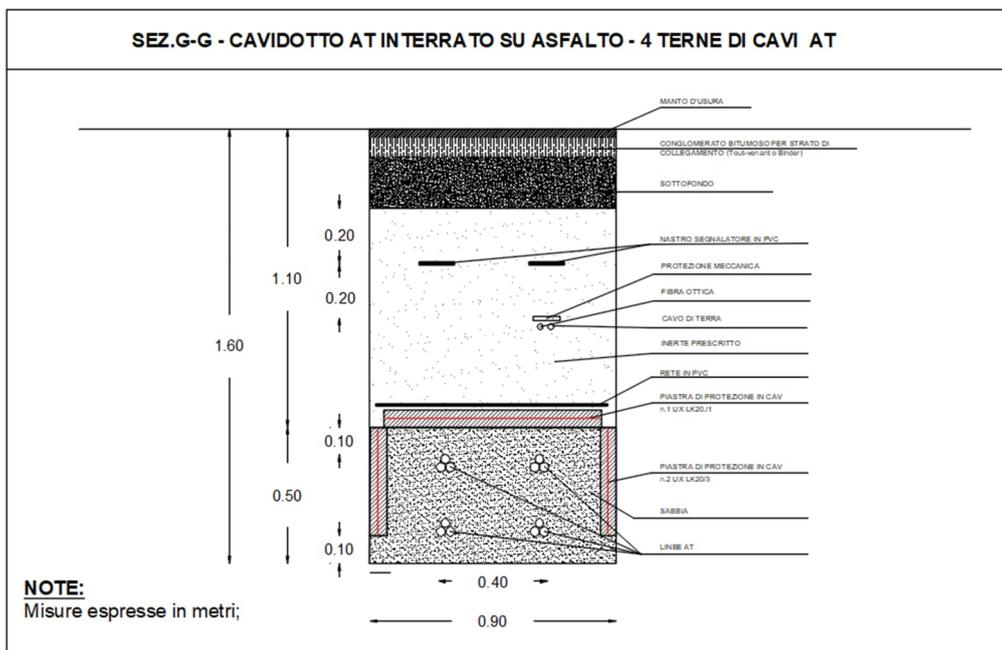


Figura 7 - Tipologico di posa per una terna di cavi AT nello stesso scavo su asfalto



**Figura 8 – Tipologico di posa per due terne di cavi AT nello stesso scavo su asfalto**



**Figura 9 - Tipologico di posa per quattro terne di cavi AT nello stesso scavo su asfalto**

Per quanto riguarda i cavidotti per il trasporto dell'energia tra le transformation unit e la cabina di raccolta verranno impiegati cavi del tipo RG7H1R 26/45 kV con sezione variabile tra 1201 185 e 630 mmq (cfr. Elaborato "ROC.ENG.TAV.027\_Schema elettrico unifilare-impianto FV" e "ROC.ENG.TAV.028\_Schema elettrico unifilare-opere di rete").

Il trasporto dell'energia elettrica prodotta dai moduli della centrale fotovoltaica avverrà, nei tratti interni alle recinzioni di progetto, mediante cavi che verranno interrati.

## 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 AT del tipo RG7H1R 26/45 kV;
2. Scavo con due terne di cavi AT del tipo RG7H1R 26/45 kV;
3. Scavo con tre terne di cavi AT del tipo RG7H1R 26/45 kV;
4. Scavo con quattro terne di cavi AT del tipo RG7H1R 26/45 kV;
5. Scavo con sei terne di cavi AT del tipo RG7H1R 26/45 kV.

Di seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni eseguite per determinare la DPA relativa 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 RG7H1R 26/45 kV

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  $\mu T$ .

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, si ottiene la distanza di rispetto "h" al di sopra del terreno.

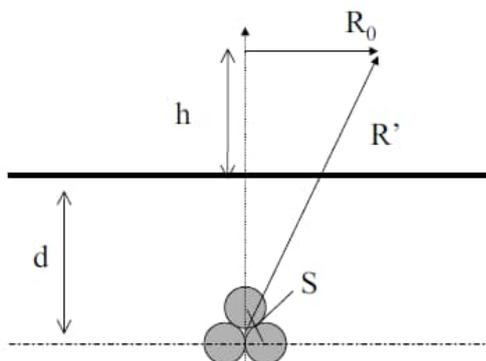


Figura 10: Illustrazione dei parametri geometrici per la definizione della DPA

Inoltre, indicando con “*d*” la profondità di posa, la formula seguente consente di calcolare la fascia di rispetto a livello del suolo “*R<sub>0</sub>*”, 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:

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

Considerando il caso peggiore, ovvero la posa di una terna di cavi RG7H1R 26/45 kV 3x1x120 mmq, si ottiene quanto riportato nella tabella a seguire.

<b>CORRENTE MASSIMA DELLA PORTATA DEL CAVO</b>	I	355	A
<b>DISTANZA TRA LE GENERATRICI DEL CAVO</b>	S	0,0448	m
<b>PROFONDITÀ INTERRAMENTO CAVI</b>	d	1,1	m
<b>RAGGIO CON INDUZIONE MAGNETICA SINO A 3μT</b>	R'	1,14	m
<b>DISTANZA DI RISPETTO AL DI SOPRA DEL TERRENO</b>	h	0,041	m
<b>DISTANZA ORIZZONTALE A LIVELLO DEL SUOLO DOPO LA QUALE L'INDUZIONE MAGNETICA DIMINUISCE SOTTO I 3μT</b>	R <sub>0</sub>	0,307	m
<b>DISTANZA DI PRIMA APPROSSIMAZIONE</b>	DPA	1	m

Se si considera che la profondità di posa dei cavi sarà non inferiore a 1,1 metri, il vettore R' che parte dal baricentro dei cavi in direzione verticale avrà un'estensione pari a R'=1,14 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 = 0,041 m. Inoltre, a livello del suolo la fascia di rispetto si estende in orizzontale per una distanza R<sub>0</sub> = 0,307 m, approssimata per quanto detto sopra ad 1 m.

## 2. Scavo con due terne di cavi, tipologia RG7H1R 26/45 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:

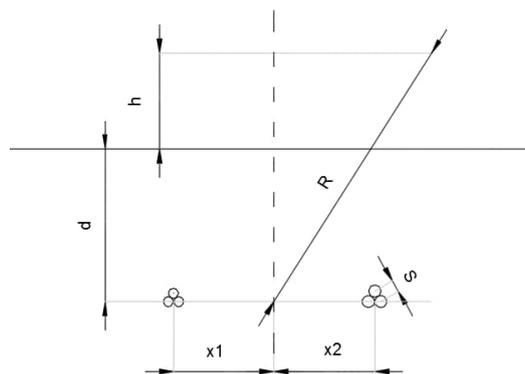
$$B = 0.1 * \sqrt{6} \frac{S * I}{R'^2} \quad [\mu T]$$

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 [ $\mu T$ ] 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).



**Figura 11: 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 RG7H1R 26/45 kV 3x1x630 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.**

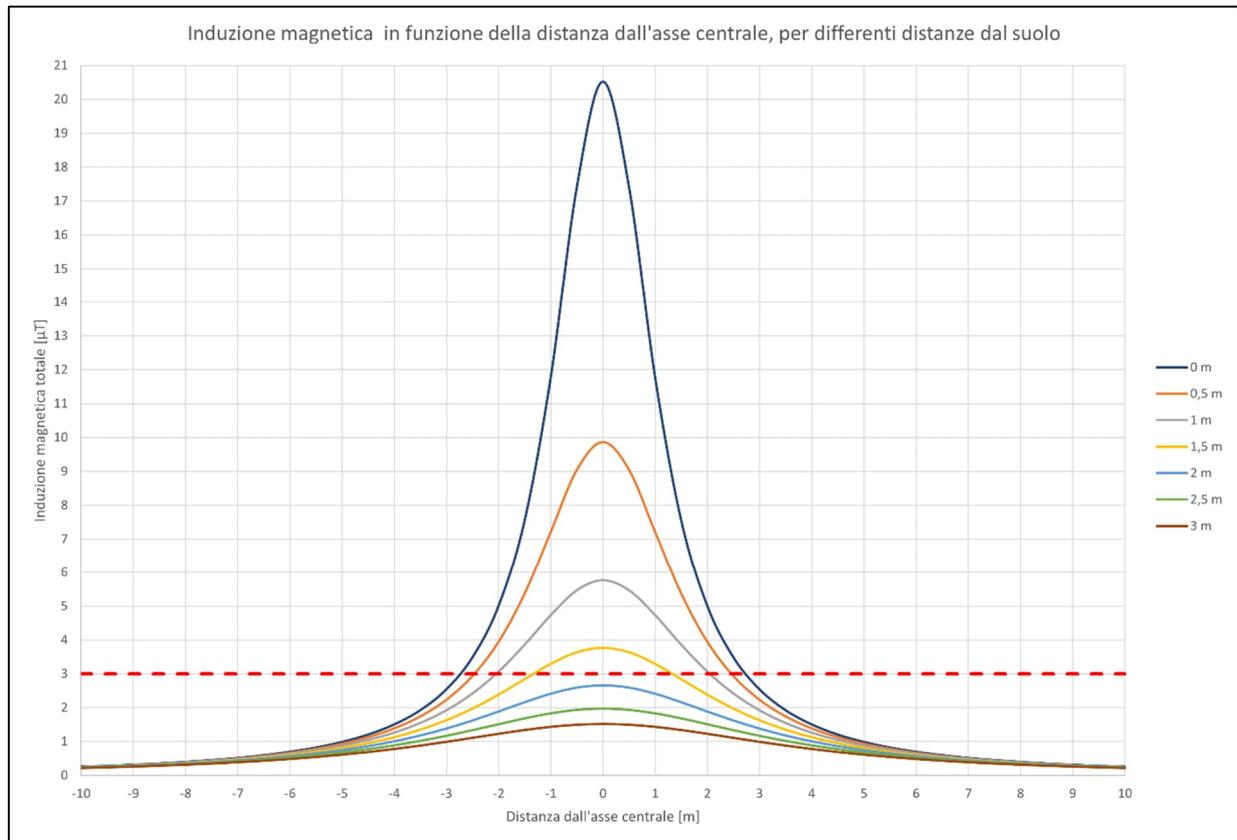
<b>Profondità di posa dei cavi</b>	1,1 m
<b>Distanza terna 1 dall'asse y</b>	-0,2 m
<b>Distanza terna 2 dall'asse y</b>	0,2 m
<b>Sezione terne</b>	3x1x630 mm <sup>2</sup>
<b>Corrente cavi</b>	835 A

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 [ $\mu$ T]							
Distanza dall'asse centrale [m]	Distanza dal livello del suolo						
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
-10	0,254	0,250	0,246	0,240	0,234	0,227	0,220
-9,5	0,281	0,277	0,271	0,265	0,257	0,249	0,240
-9	0,312	0,307	0,301	0,293	0,283	0,273	0,262
-8,5	0,350	0,343	0,335	0,325	0,314	0,301	0,288
-8	0,394	0,386	0,376	0,363	0,349	0,334	0,318
-7,5	0,447	0,437	0,424	0,408	0,390	0,371	0,351
-7	0,512	0,499	0,481	0,461	0,438	0,415	0,390
-6,5	0,592	0,574	0,551	0,524	0,495	0,465	0,435
-6	0,691	0,667	0,636	0,601	0,563	0,525	0,486
-5,5	0,818	0,784	0,742	0,695	0,645	0,595	0,546
-5	0,983	0,934	0,875	0,810	0,743	0,677	0,614
-4,5	1,201	1,129	1,044	0,952	0,861	0,774	0,693
-4	1,500	1,389	1,262	1,130	1,004	0,887	0,783
-3,5	1,921	1,743	1,547	1,354	1,176	1,019	0,883
-3	2,537	2,235	1,922	1,633	1,381	1,169	0,994
-2,5	3,482	2,936	2,418	1,977	1,620	1,336	1,112
-2	5,002	3,944	3,063	2,388	1,885	1,512	1,232
-1,5	7,550	5,371	3,859	2,847	2,161	1,684	1,344
-1	11,771	7,214	4,732	3,297	2,412	1,834	1,438
-0,5	17,408	9,044	5,467	3,641	2,592	1,936	1,500
0	20,519	9,865	5,764	3,772	2,658	1,973	1,522
0,5	17,408	9,044	5,467	3,641	2,592	1,936	1,500
1	11,771	7,214	4,732	3,297	2,412	1,834	1,438
1,5	7,550	5,371	3,859	2,847	2,161	1,684	1,344
2	5,002	3,944	3,063	2,388	1,885	1,512	1,232
2,5	3,482	2,936	2,418	1,977	1,620	1,336	1,112
3	2,537	2,235	1,922	1,633	1,381	1,169	0,994
3,5	1,921	1,743	1,547	1,354	1,176	1,019	0,883
4	1,500	1,389	1,262	1,130	1,004	0,887	0,783
4,5	1,201	1,129	1,044	0,952	0,861	0,774	0,693
5	0,983	0,934	0,875	0,810	0,743	0,677	0,614
5,5	0,818	0,784	0,742	0,695	0,645	0,595	0,546
6	0,691	0,667	0,636	0,601	0,563	0,525	0,486
6,5	0,592	0,574	0,551	0,524	0,495	0,465	0,435
7	0,512	0,499	0,481	0,461	0,438	0,415	0,390
7,5	0,447	0,437	0,424	0,408	0,390	0,371	0,351
8	0,394	0,386	0,376	0,363	0,349	0,334	0,318
8,5	0,350	0,343	0,335	0,325	0,314	0,301	0,288
9	0,312	0,307	0,301	0,293	0,283	0,273	0,262

9,5	0,281	0,277	0,271	0,265	0,257	0,249	0,240
10	0,254	0,250	0,246	0,240	0,234	0,227	0,220



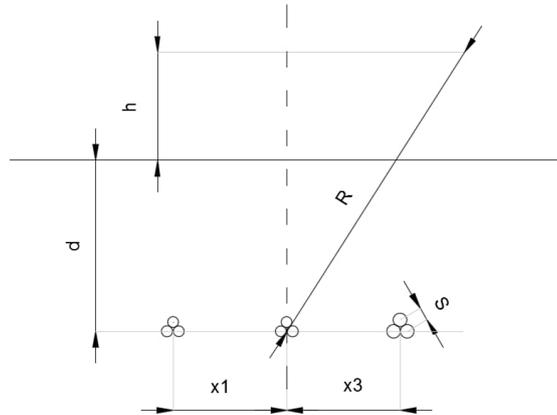
**Figura 12 - Andamento dell'intensità del campo magnetico nel caso posa di due terne di cavi nello stesso scavo al variare della distanza dal livello del suolo e della distanza dal baricentro delle terne di cavi. In rosso l'obiettivo di qualità imposto dalla norma**

Analizzando i risultati ottenuti si evidenzia:

- Distanza in verticale rispetto all'asse centrale baricentrico dei cavidotti con induzione magnetica superiore a 3  $\mu\text{T}$ : 2,946 m;
- Fascia di rispetto al di sopra del terreno: 1,846 m;
- Distanza di Prima Approssimazione: 2,755 m, approssimata a 3 m.

### 3. Scavo con tre terne di cavi, tipologia RG7H1R 26/45 kV

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

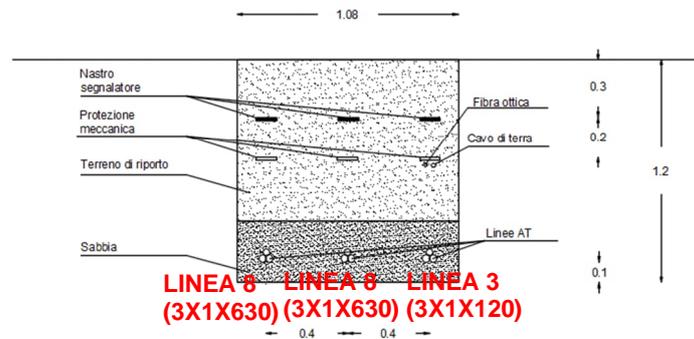
Considerata quindi la disposizione spaziale delle terne, e fissando l'asse centrale del sistema in corrispondenza della mezzieria tra le terne, si può calcolare il campo magnetico generato dai tre elettrodotti attraverso la seguente formula:

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

dove  $B$  [ $\mu\text{T}$ ] 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 tre terne di cavi, di cui n.2 di formazione RG7H1R 26/45 kV 3x1x630 mmq e n.1 di formazione RG7H1R 26/45 kV 3x1x120 mmq.

## SEZ.C-C - CAVIDOTTO AT INTERRATO - 3 TERNE DI CAVI AT

**NOTE:**

Misure espresse in metri;

**Figura 14 - Ipotesi di disposizione delle tre terne nel caso peggiore con n.2 in formazione 3x1x630 mmq, n.1 in formazione 3x1x120 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.**

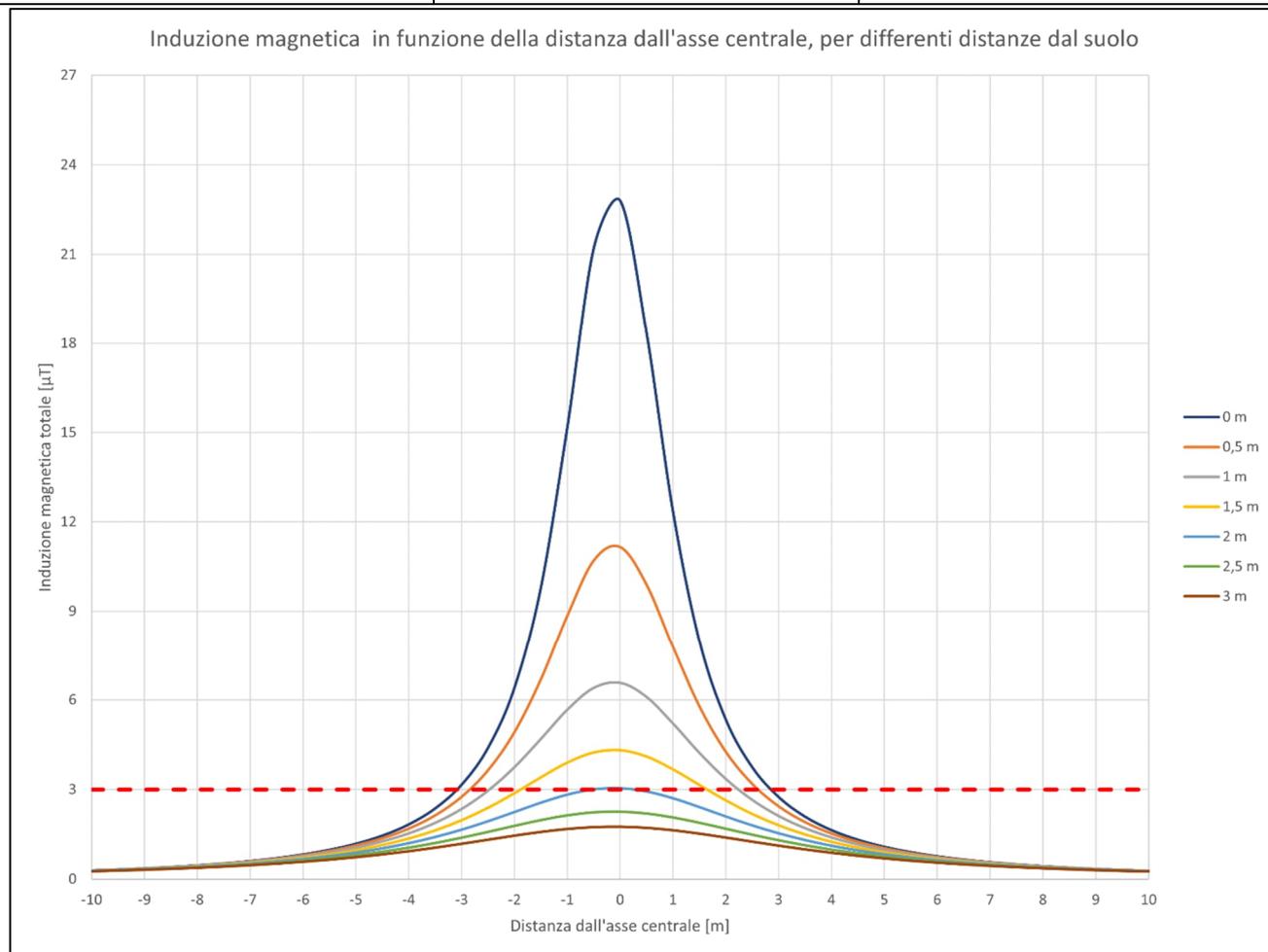
Profondità di posa dei cavi	1,1 m
Distanza terna 1 dall'asse y	-0,4 m
Distanza terna 2 dall'asse y	0 m
Distanza terna 3 dall'asse y	0,4 m
Sezione terna 1 e 2	3x1x630 mm <sup>2</sup>
Sezione terna 3	3x1x120 mm <sup>2</sup>
Corrente cavi terna 1 e 2	835 A
Carrente cavi terna 3	355 A

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 [ $\mu\text{T}$ ]							
Distanza dall'asse centrale [m]	Distanza dal livello del suolo						
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
-10	0,300	0,296	0,290	0,284	0,276	0,268	0,259
-9,5	0,332	0,327	0,321	0,313	0,303	0,293	0,282
-9	0,370	0,364	0,356	0,346	0,335	0,322	0,309
-8,5	0,415	0,407	0,397	0,385	0,371	0,356	0,340
-8	0,468	0,459	0,446	0,430	0,413	0,395	0,375
-7,5	0,533	0,520	0,504	0,484	0,462	0,439	0,415
-7	0,611	0,595	0,573	0,548	0,521	0,491	0,462
-6,5	0,709	0,686	0,658	0,625	0,589	0,552	0,515
-6	0,831	0,800	0,762	0,718	0,671	0,624	0,576
-5,5	0,987	0,944	0,891	0,832	0,769	0,707	0,647
-5	1,191	1,129	1,054	0,972	0,888	0,806	0,729
-4,5	1,464	1,371	1,261	1,145	1,031	0,922	0,823
-4	1,840	1,695	1,531	1,363	1,203	1,058	0,929
-3,5	2,375	2,139	1,883	1,635	1,411	1,215	1,048
-3	3,170	2,761	2,348	1,975	1,657	1,393	1,178
-2,5	4,406	3,651	2,961	2,391	1,939	1,588	1,315
-2	6,422	4,928	3,748	2,879	2,249	1,791	1,451
-1,5	9,814	6,699	4,693	3,408	2,561	1,983	1,575
-1	15,200	8,856	5,671	3,901	2,832	2,143	1,674
-0,5	21,224	10,710	6,400	4,238	3,008	2,242	1,735
0	22,803	11,156	6,567	4,313	3,046	2,264	1,748
0,5	18,325	9,885	6,090	4,099	2,936	2,202	1,711
1	12,330	7,774	5,200	3,670	2,708	2,071	1,630
1,5	7,977	5,778	4,218	3,149	2,411	1,892	1,517
2	5,335	4,257	3,345	2,634	2,097	1,692	1,386

2,5	3,745	3,184	2,645	2,180	1,798	1,492	1,248
3	2,749	2,436	2,108	1,802	1,533	1,305	1,114
3,5	2,094	1,908	1,701	1,496	1,306	1,137	0,989
4	1,644	1,527	1,392	1,252	1,116	0,990	0,876
4,5	1,322	1,246	1,155	1,057	0,958	0,864	0,776
5	1,086	1,034	0,970	0,900	0,828	0,756	0,688
5,5	0,907	0,870	0,825	0,774	0,720	0,665	0,612
6	0,768	0,742	0,709	0,671	0,630	0,588	0,546
6,5	0,659	0,640	0,615	0,586	0,555	0,522	0,488
7	0,572	0,557	0,538	0,516	0,491	0,465	0,439
7,5	0,500	0,489	0,474	0,457	0,438	0,417	0,395
8	0,441	0,433	0,421	0,407	0,392	0,375	0,358
8,5	0,392	0,385	0,376	0,365	0,353	0,339	0,325
9	0,351	0,345	0,338	0,329	0,319	0,308	0,296
9,5	0,316	0,311	0,305	0,298	0,290	0,280	0,271
10	0,286	0,282	0,277	0,271	0,264	0,256	0,248



**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 norma**

Analizzando i risultati ottenuti si evidenzia:

- Distanza in verticale rispetto all'asse centrale baricentrico dei cavidotti con induzione magnetica superiore a 3  $\mu\text{T}$ : 3,13 m;
- Fascia di rispetto al di sopra del terreno: 2,03 m;
- Distanza di Prima Approssimazione: 3,11 m, approssimata a 4 m;

#### 4. Scavo con quattro terne di cavi, RG7H1R 26/45 kV

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

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 quattro 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 [ $\mu\text{T}$ ] 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] (specificata della terna i-esima). La terna i-esima è individuata dalle coordinate  $(x_i, y_i)$ .

In questo caso sono state calcolate le distribuzioni dell'intensità del campo magnetico su piani fuori terra paralleli al suolo, fissando vari valori di h e considerando il caso peggiore di quattro terne di cavi RG7H1R 26/45 kV, di cui n.2 in formazione 3x1x630 mmq, n.2 in formazione 3x1x120 mmq.

In aggiunta, nel simulare il caso peggiore, in via ulteriormente cautelativa, è stato scelto di disporre ad una profondità di posa minore le terne a sezione maggiore (3x1x630 mmq) e ad una profondità maggiore quelle a sezione minore (3x1x185 mmq e 3x1x120 mmq), coerentemente con lo sviluppo del cavidotto di impianto e la disposizione delle singole linee.

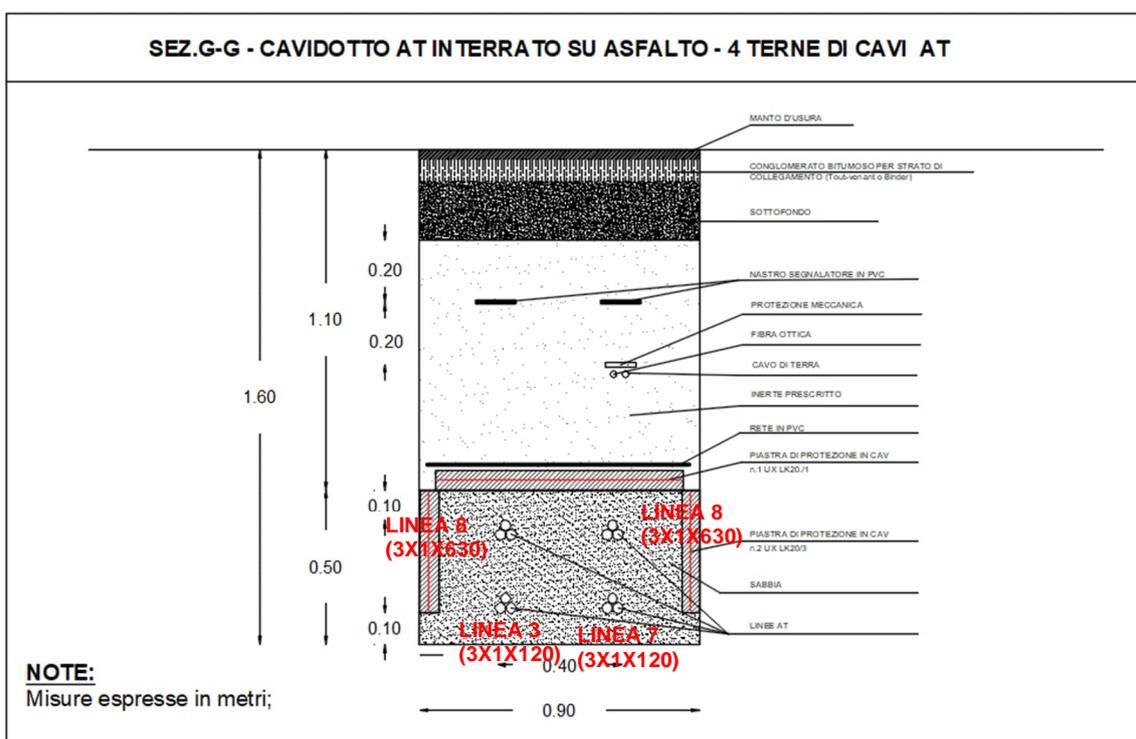


Figura 16 - Ipotesi di disposizione delle quattro terne nel caso peggiore con n.2 in formazione 3x1x630 mmq, n.2 in formazione 3x1x120 mmq

**Tabella 6 – Parametri geometrici e tecnici in ingresso considerati nella valutazione dei campi elettromagnetici generati da quattro terne di cavi posti nello stesso scavo.**

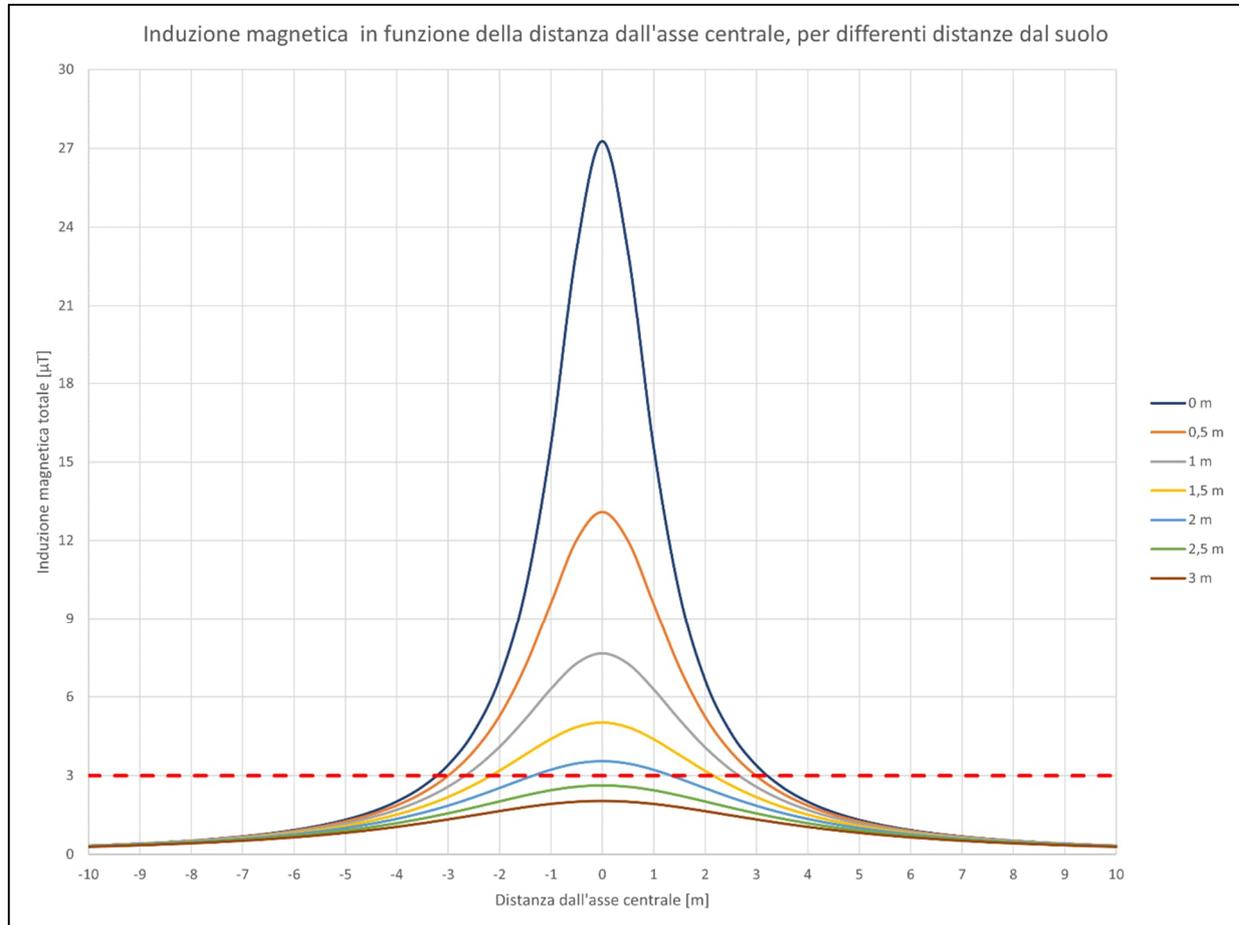
Profondità di posa della terna 1 e 2	1,20 m
Profondità di posa della terna 3 e 4	1,50 m
Distanza terna 1 dall'asse y	-0,2 m
Distanza terna 2 dall'asse y	0,2 m
Distanza terna 3 dall'asse y	-0,2 m
Distanza terna 4 dall'asse y	0,2 m
Sezione terne 1 e 2	3x1x630 mm <sup>2</sup>
Sezione terna 3	3x1x185 mm <sup>2</sup>
Sezione terna 4	3x1x120 mm <sup>2</sup>
Corrente cavi terne 1 e 2	835 A
Corrente cavi terna 3	440 A
Corrente cavi terna 4	355 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 7 - Valori di intensità del campo magnetico nel caso posa di quattro 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 [ $\mu$ T]							
Distanza dall'asse centrale [m]	Distanza dal livello del suolo						
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
-10	0,343	0,338	0,332	0,325	0,316	0,307	0,296
-9,5	0,379	0,374	0,366	0,357	0,347	0,335	0,323
-9	0,422	0,415	0,406	0,395	0,382	0,368	0,354
-8,5	0,472	0,464	0,452	0,439	0,423	0,406	0,389
-8	0,532	0,521	0,507	0,490	0,470	0,450	0,428
-7,5	0,604	0,590	0,571	0,550	0,526	0,500	0,474
-7	0,691	0,673	0,649	0,621	0,591	0,559	0,526
-6,5	0,799	0,774	0,743	0,707	0,668	0,627	0,586
-6	0,933	0,900	0,858	0,810	0,759	0,706	0,655
-5,5	1,104	1,058	1,000	0,936	0,868	0,800	0,734
-5	1,326	1,259	1,179	1,090	0,999	0,910	0,826
-4,5	1,620	1,522	1,405	1,281	1,158	1,040	0,931
-4	2,022	1,870	1,698	1,520	1,349	1,192	1,051
-3,5	2,587	2,344	2,079	1,818	1,579	1,368	1,186
-3	3,413	3,002	2,580	2,190	1,852	1,568	1,334
-2,5	4,675	3,937	3,240	2,649	2,170	1,790	1,491
-2	6,699	5,277	4,097	3,194	2,523	2,024	1,650
-1,5	10,076	7,167	5,151	3,802	2,888	2,252	1,798
-1	15,659	9,603	6,304	4,397	3,219	2,449	1,922
-0,5	23,146	12,020	7,273	4,850	3,456	2,585	2,004
0	27,267	13,092	7,659	5,019	3,542	2,632	2,033
0,5	23,039	11,985	7,259	4,843	3,453	2,583	2,003
1	15,542	9,555	6,282	4,386	3,213	2,446	1,920
1,5	9,991	7,123	5,128	3,789	2,880	2,248	1,795
2	6,643	5,243	4,076	3,181	2,515	2,019	1,646
2,5	4,639	3,911	3,223	2,637	2,162	1,785	1,487
3	3,389	2,984	2,566	2,181	1,845	1,563	1,330
3,5	2,570	2,331	2,068	1,810	1,573	1,363	1,182
4	2,010	1,860	1,689	1,513	1,344	1,188	1,048
4,5	1,612	1,514	1,399	1,276	1,153	1,037	0,929
5	1,319	1,253	1,173	1,086	0,996	0,907	0,824
5,5	1,099	1,053	0,996	0,932	0,865	0,798	0,732
6	0,929	0,896	0,855	0,807	0,756	0,704	0,653
6,5	0,796	0,771	0,740	0,704	0,665	0,625	0,584
7	0,689	0,670	0,647	0,619	0,589	0,557	0,524
7,5	0,602	0,588	0,570	0,548	0,524	0,499	0,472
8	0,530	0,519	0,505	0,488	0,469	0,449	0,427
8,5	0,471	0,462	0,451	0,437	0,422	0,405	0,388
9	0,421	0,414	0,405	0,394	0,381	0,368	0,353

9,5	0,378	0,373	0,365	0,356	0,346	0,335	0,323
10	0,342	0,337	0,331	0,324	0,315	0,306	0,296



**Figura 17 – Andamento dell'intensità del campo magnetico nel caso posa di quattro 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  $\mu\text{T}$  (terna 1 e 2): 3,283 m;
- Distanza in verticale rispetto all'asse centrale baricentrico dei cavidotti con induzione magnetica superiore a 3  $\mu\text{T}$  (terna 3 e 4): 3,853 m;
- Fascia di rispetto al di sopra del terreno: 2,083 m;
- Distanza di Prima Approssimazione: 3,118 m, approssimata a 4 m.

### 5. Scavo con sei terne di cavi, RG7H1R 26/45 kV

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

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 sei 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 [ $\mu$ 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] (specificata della terna i-esima). La terna i-esima è individuata dalle coordinate  $(x_i, y_i)$ .

In questo caso sono state calcolate le distribuzioni dell'intensità del campo magnetico su piani fuori terra paralleli al suolo, fissando vari valori di h e considerando il caso peggiore di sei terne di cavi RG7H1R 26/45 kV, di cui n.2 in formazione 3x1x185 mmq, n.4 in formazione 3x1x120 mmq.

In aggiunta, nel simulare il caso peggiore, in via ulteriormente cautelativa, è stato scelto di disporre ad una profondità di posa minore le terne a sezione maggiore (3x1x185 mmq) e ad una profondità maggiore quelle a sezione minore (3x1x120 mmq), coerentemente con lo sviluppo del cavidotto di impianto e la disposizione delle singole linee.

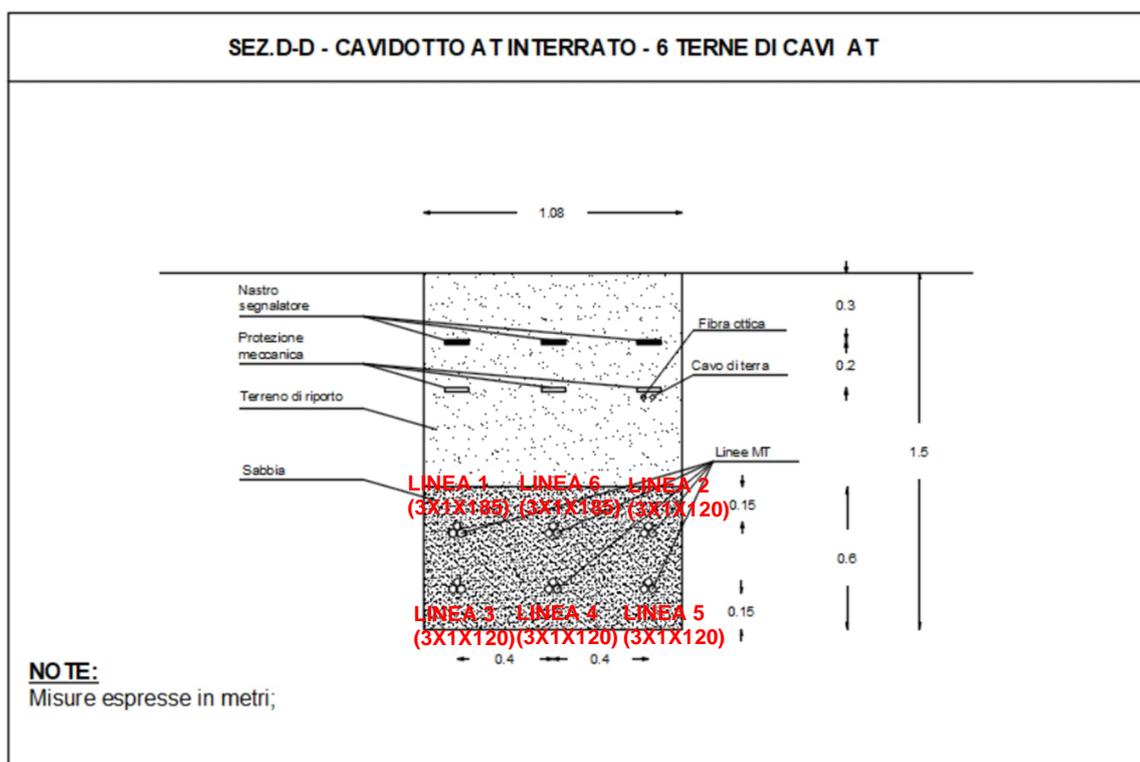


Figura 18 - Ipotesi di disposizione delle sei terne nel caso peggiore con n.2 in formazione 3x1x185 mmq, n.4 in formazione 3x1x120 mmq

**Tabella 8 – Parametri geometrici e tecnici in ingresso considerati nella valutazione dei campi elettromagnetici generati da quattro terne di cavi posti nello stesso scavo.**

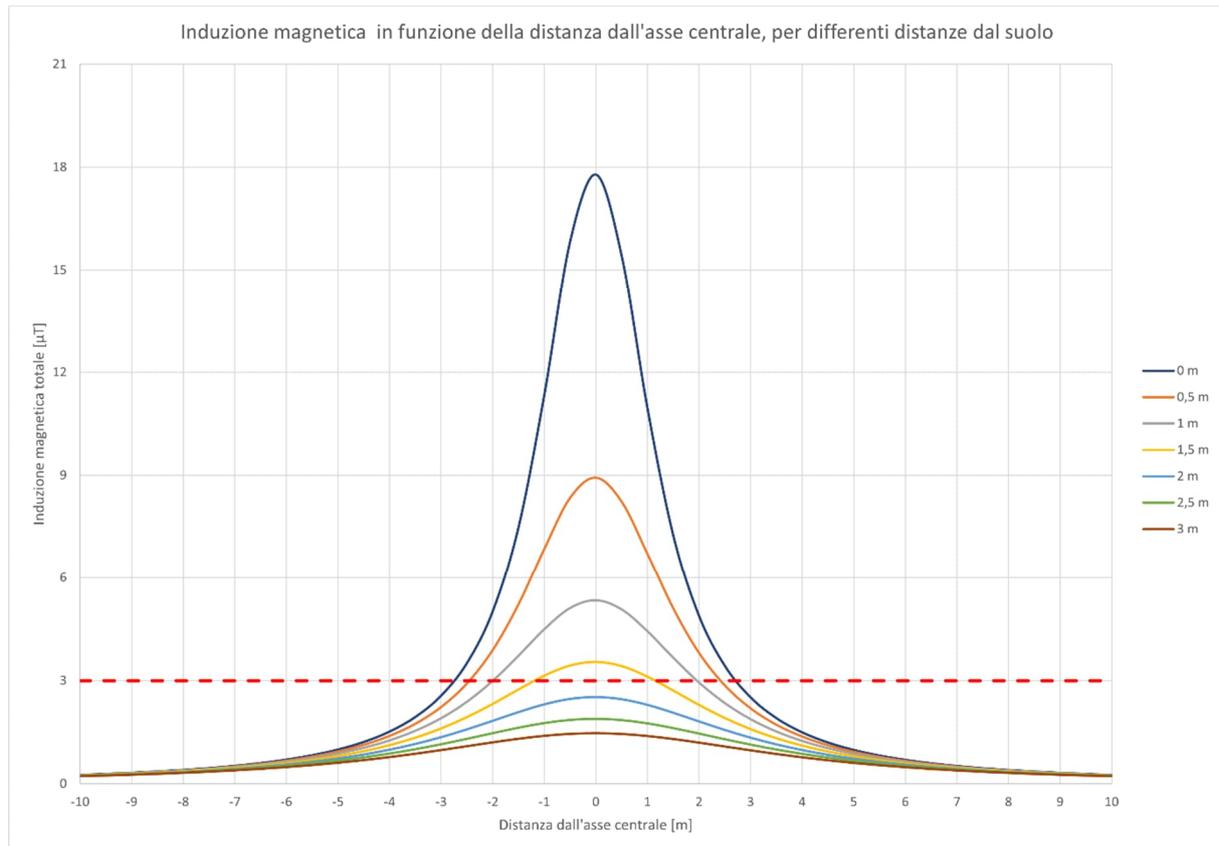
Profondità di posa della terna 1, 2 e 3	1,05 m
Profondità di posa della terna 4, 5 e 6	1,35 m
Distanza terna 1 dall'asse y	-0,4 m
Distanza terna 2 dall'asse y	0 m
Distanza terna 3 dall'asse y	0,4 m
Distanza terna 4 dall'asse y	-0,4 m
Distanza terna 5 dall'asse y	0 m
Distanza terna 6 dall'asse y	0,4 m
Sezione terne 1 e 2	3x1x185 mm <sup>2</sup>
Sezione terne 3,4,5 e 6	3x1x120 mm <sup>2</sup>
Corrente cavi terne 1 e 2	440 A
Corrente cavi terne 3,4,5 e 6	355 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 9 - Valori di intensità del campo magnetico nel caso posa di quattro 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 [ $\mu$ T]								
Distanza dall'asse centrale [m]	Distanza dal livello del suolo							
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
-10	0,255	0,252	0,247	0,241	0,235	0,228	0,220	0,212
-9,5	0,283	0,278	0,273	0,266	0,258	0,249	0,240	0,231
-9	0,315	0,309	0,302	0,294	0,284	0,274	0,263	0,251
-8,5	0,352	0,345	0,337	0,326	0,314	0,302	0,288	0,275
-8	0,397	0,388	0,377	0,364	0,350	0,334	0,318	0,301
-7,5	0,451	0,440	0,425	0,409	0,391	0,371	0,351	0,331
-7	0,516	0,502	0,483	0,462	0,439	0,414	0,390	0,365
-6,5	0,597	0,577	0,553	0,525	0,496	0,465	0,434	0,403
-6	0,697	0,671	0,639	0,602	0,563	0,523	0,485	0,447
-5,5	0,825	0,789	0,744	0,695	0,644	0,592	0,543	0,496
-5	0,992	0,939	0,877	0,809	0,740	0,673	0,610	0,552
-4,5	1,213	1,135	1,045	0,950	0,856	0,768	0,687	0,614
-4	1,514	1,395	1,261	1,125	0,996	0,879	0,774	0,683
-3,5	1,939	1,747	1,541	1,343	1,163	1,006	0,871	0,757
-3	2,561	2,234	1,908	1,613	1,360	1,150	0,977	0,836
-2,5	3,509	2,921	2,387	1,942	1,587	1,308	1,089	0,917
-2	5,020	3,893	2,997	2,328	1,836	1,473	1,201	0,995
-1,5	7,494	5,226	3,730	2,748	2,089	1,632	1,305	1,065
-1	11,353	6,857	4,501	3,149	2,315	1,767	1,391	1,122
-0,5	15,839	8,347	5,117	3,444	2,472	1,858	1,447	1,158
0	17,778	8,927	5,341	3,548	2,525	1,889	1,465	1,170
0,5	15,395	8,225	5,072	3,425	2,462	1,853	1,443	1,156
1	10,931	6,700	4,433	3,117	2,297	1,757	1,385	1,118
1,5	7,234	5,095	3,663	2,712	2,068	1,619	1,297	1,060
2	4,870	3,800	2,941	2,294	1,815	1,459	1,192	0,989
2,5	3,419	2,857	2,343	1,913	1,568	1,295	1,080	0,910
3	2,504	2,190	1,875	1,589	1,343	1,138	0,969	0,830
3,5	1,901	1,716	1,517	1,324	1,149	0,995	0,863	0,751
4	1,488	1,372	1,242	1,110	0,984	0,869	0,767	0,677
4,5	1,194	1,118	1,030	0,938	0,847	0,760	0,681	0,609
5	0,978	0,927	0,866	0,799	0,732	0,667	0,605	0,547
5,5	0,815	0,779	0,735	0,687	0,637	0,587	0,538	0,492
6	0,689	0,663	0,631	0,596	0,557	0,519	0,480	0,444
6,5	0,590	0,571	0,547	0,520	0,491	0,461	0,430	0,400
7	0,511	0,497	0,479	0,458	0,435	0,411	0,386	0,362
7,5	0,446	0,435	0,422	0,405	0,387	0,368	0,348	0,329
8	0,393	0,385	0,374	0,361	0,347	0,331	0,315	0,299
8,5	0,349	0,343	0,334	0,324	0,312	0,300	0,286	0,273
9	0,312	0,307	0,300	0,291	0,282	0,272	0,261	0,250

9,5	0,281	0,276	0,271	0,264	0,256	0,248	0,239	0,229
10	0,254	0,250	0,245	0,240	0,233	0,226	0,219	0,211



**Figura 19 – Andamento dell'intensità del campo magnetico nel caso posa di sei 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 (terna 1, 2 e 3): 2,817 m;
- Distanza in verticale rispetto all'asse centrale baricentrico dei cavidotti con induzione magnetica superiore a 3 µT (terna 4, 5 e 6): 3,117 m;
- Fascia di rispetto al di sopra del terreno: 1,768 m;
- Distanza di Prima Approssimazione: 2,768 m, approssimata a 3 m.

## 6.2 Transformation 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 è previsto l'impiego di transformation unit, all'interno delle quali saranno installati trasformatori con taglia pari a: 3900 kVA, 3600 kVA, 3300 kVA, 3000 kVA, 2700 kVA, 2400 kVA e 2100 kVA.

A vantaggio di sicurezza l'analisi verrà condotta considerando un cabinato al cui interno è presente un trasformatore da 3900 kVA, caso più sfavorevole sia in termini di correnti al secondario sia di diametro dei cavi, estendendo i risultati anche alle altre transformation unit.

Considerando quindi per il trasformatore da 3900 kVA un valore di I=2817,92 A e ipotizzando che i cavi sul lato BT del trasformatore stesso abbiano una formazione 3x(6x500) mm<sup>2</sup>, con diametro esterno pari a circa 37,5 mm, si ottiene una DPA, arrotondata per eccesso all'intero superiore, pari a 4 m.

## 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 alle 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 RG7H1R 26/45 kV: è necessaria l'apposizione di una DPA di 1m;
- Scavo con due terne di cavi del tipo RG7H1R 26/45 kV: è necessaria l'apposizione di una DPA di 3 m;
- Scavo con tre terne di cavi del tipo RG7H1R 26/45 kV: è necessaria l'apposizione di una DPA di 4 m;
- Scavo con quattro terne di cavi del tipo RG7H1R 26/45 kV: è necessaria l'apposizione di una DPA di 4 m;
- Scavo con sei terne di cavi del tipo RG7H1R 26/45 kV: è necessaria l'apposizione di una DPA di 3 m;
- Transformation Unit da 3900 kVA: è necessaria l'apposizione di una DPA di 4 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

