

REGIONE SICILIANA

Libero Consorzio Comunale di
Ragusa



COMUNE DI ACATE E VITTORIA



NOME PROGETTO

VICTORIA SOLAR FARM



TITOLO
PROGETTO

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE
E L'ESERCIZIO DI UN PARCO
AGROVOLTAICO DA 179,53 MWP NEI
COMUNI DI ACATE E VITTORIA E
DELLE OPERE DI CONNESSIONE
ALLA RETE DI TRASMISSIONE
NAZIONALE**

N. ELABORATO

N. REVISIONE

TITOLO ELABORATO

R05

02

Relazione campi elettromagnetici

N. GENERALE

GRADO PROG.

AMBITO

TIPO ELAB.

SCALA

IDENTIFICATORE

066

PD

PRO

R

-

VSF066PROR05

VISTI E APPROVAZIONI

PROGETTAZIONE

METRAN s.r.l.s
Via Gen. C. A. Dalla Chiesa n. 40
90143 Palermo
CF e P. IVA 06514460820
PEC: metran@pec.it

ING. F. TRENTACOSTI
Ordine Ingegneri Palermo
n. 8363



ING. G. DI MARTINO
Ordine Ingegneri Palermo
n.7391

SOGGETTO PROPONENTE

EDPR Sicilia PV s.r.l.

Via Lepetit n. 8-10
20124 Milano
CF e P. IVA 11064600965
pec: edprsiciliapvsri@legalmail.it

edp renewables

COLLABORAZIONE SPERIMENTALE



**UNIVERSITÀ
degli STUDI
di CATANIA**

Dipartimento
di Agricoltura,
Alimentazione
e Ambiente
Di3A

data:

oggetto:

Eseguito:

Validato:

EMISSIONE

FEBBRAIO 2022

P.U.A. - art. 27 D.Lgs 152/06 e ss.mm.ii.

ingg. Di Martino - Trentacosti

ingg. Di Martino - Trentacosti

REV.1

SETTEMBRE 2023

REV.2

NOVEMBRE 2023

Sommario

| | |
|--|----------|
| 1. PREMESSA | 2 |
| 2. NORMATIVA..... | 2 |
| 2.1 Generalità..... | 3 |
| 3. CAMPO ELETTRICO..... | 7 |
| 3.1 Linee AT e Sottostazione di Elevazione | 7 |
| 3.2 Cavidotti AT e MT | 7 |
| 3.3 Cavidotti BT..... | 8 |
| 3.4 Altri componenti | 8 |
| 4. CAMPO MAGNETICO..... | 8 |
| 4.1 Considerazioni Teoriche..... | 8 |
| 4.2 Sottostazione di Elevazione | 9 |
| 4.3 Linee AT in cavo a 150kV..... | 14 |
| 4.4 Linee MT in cavo a 30kV | 16 |
| 4.5 Linee BT a 800V | 19 |

1. PREMESSA

La Società EDPR (o “la Società”) intende realizzare nell’agro dei Comuni di Acate e Vittoria (RG), un impianto per la produzione di energia elettrica con tecnologia fotovoltaica ad inseguimento monoassiale integrato con l’attività di coltivazione agricola dei terreni non direttamente interessati dalla collocazione dei pannelli, e delle relative strutture ed infrastrutture a servizio.

La Società dispone di una STMG elaborata dal Gestore di rete Terna S.p.A. ed accettata in data 30.11.2021 per una potenza in immissione di 160,00 MW. La STMG prevede che l’impianto agro-fotovoltaico venga collegato in antenna a 150 kV con la sezione a 150 kV della Stazione di Trasformazione 220/150 kV di Chiaramonte Gulfi, previa realizzazione degli interventi previsti nell’ambito del Piano di Sviluppo Terna.

La presente relazione riassume i risultati dello studio del campo elettromagnetico generato dalle reti di media tensione a 30 kV, dell’elettrodotto in cavo a 150 kV di connessione alla RTN ed una stima sui valori generati dalla sottostazione di trasformazione utente MT AT.

La presente relazione tecnica ha lo scopo di valutare i livelli dei campi elettrici e magnetici generati dai dispositivi elettrici e dai conduttori in bassa e media tensione presenti nell’impianto fotovoltaico che sarà installato. Le apparecchiature o le condutture oggetto di valutazione saranno poste all'esterno o in locali privi di personale. Lo scopo è quello di confrontare il livello di esposizione (valutato) con i limiti di attenzione e qualità imposti dal D.P.C.M. 8/07/2003 N. 200. Si tratta di individuare le sorgenti presenti nell'impianto e le condizioni di lavoro ordinarie.

2. NORMATIVA

La Legge Quadro 22/02/01 n° 36 (LQ 36/01) “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici” è la normativa di riferimento che regola, in termini generali, l’intera materia della protezione dai campi elettromagnetici negli ambienti di vita e di lavoro.

Il DPCM 08/07/03 “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” (GU n. 200 del 29/08/03) ai sensi della LQ 36/01, art. 4 comma2, fissa i limiti di esposizione per la protezione della popolazione dai campi elettrico e magnetico ed il valore di attenzione e l’obiettivo qualità dell’induzione magnetica generati a 50 Hz dagli elettrodotti:

| | Campo elettrico [kV/m] | Induzione magnetica [μ T] |
|------------------------|------------------------|--------------------------------|
| Limiti di esposizione | 5 | 100 |
| Valore di attenuazione | - | 10 |
| Obiettivo di qualita | - | 3 |

Il limite di esposizione è il valore di campo elettrico e di campo magnetico da non superare in nessuna condizione di esposizione.

Il valore di attenzione per l'induzione magnetica, introdotto come misura di cautela per la protezione dai possibili effetti a lungo termine, si applica alle aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore giornaliere.

L'obiettivo di qualità per l'induzione magnetica, introdotto al fine della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi, si applica 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 4 ore, nonché nella progettazione dei nuovi insediamenti e nelle nuove aree in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti sul territorio.

Le fasce di rispetto degli elettrodotti, previste al par. 5.1.1. della LQ 36/01, devono essere determinate in base all'obiettivo qualità di 3 μ T in corrispondenza della portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto (art. 6, comma 1, del DPCM 08/07/03) che deve essere dichiarata dal gestore al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio per gli elettrodotti con tensione superiore a 150 kV ed alle Regioni per gli elettrodotti con tensione non superiore a 150 kV.

La portata in corrente in servizio normale è, per le linee aeree con tensione > 100 kV, calcolata ai sensi della norma CEI 11-60, mentre per le linee in cavo è la portata in regime permanente definita dalla norma CEI 11-17.

La metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto è stata definita con il DM 29/05/08 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti" (SO n°160 alla GU n°156 del 05/07/08).

Il DPCM 08/07/03 prescrive che il proprietario/gestore comunichi alle autorità competenti l'ampiezza delle fasce di rispetto ed i dati utilizzati per il loro calcolo. Il calcolo dell'induzione magnetica deve essere basato sulle caratteristiche geometriche, meccaniche ed elettriche della linea nella campata in esame e deve tener conto della presenza di altri elettrodotti che ne modifichino il risultato.

2.1 Generalità

I campi elettrici e quelli magnetici sono grandezze fisiche differenti, che però interagiscono tra loro e dipendono l'uno dall'altro al punto di essere considerati manifestazioni duali di un unico fenomeno fisico: il campo elettromagnetico.

Il campo magnetico può essere definito come una perturbazione di una certa regione spaziale determinata dalla presenza nell'intorno di una distribuzione di corrente elettrica o di massa magnetica, la cui unità di misura è l'Ampere su metro [A/m].

Il campo elettrico può essere definito come una perturbazione di una certa regione spaziale determinata dalla presenza nell'intorno di una distribuzione di carica elettrica, la cui unità di misura è il Volt su metro [V/m].

Il campo magnetico è difficilmente schermabile e diminuisce soltanto allontanandosi dalla linea che lo emette. Il campo elettrico è invece facilmente schermabile da parte di materiali quali legno o metalli, ma anche alberi o edifici.

Questi campi si concatenano tra loro per determinare nello spazio la propagazione di un campo chiamato elettromagnetico (CEM).

Le caratteristiche fondamentali che distinguono i campi elettromagnetici e ne determinano le proprietà sono la frequenza [Hz] e la lunghezza d'onda [m], che esprimono tra l'altro il contenuto energetico del campo stesso.

Col termine inquinamento elettromagnetico si riferisce alle interazioni fra le radiazioni non ionizzanti (NIR) e la materia.

I campi NIR a bassa frequenza sono generati dalle linee di trasporto e distribuzione dell'energia elettrica ad alta, media e bassa tensione, e dagli elettrodomestici e i dispositivi elettrici in genere.

Con riferimento specifico alle linee di vettoriamento dell'energia elettrica dai produttori agli utilizzatori, si possono distinguere diversi tipi di elettrodotti, in base alla tensione di alimentazione:

- a) Linee elettriche di trasporto ad altissima tensione (380 kV): collegano le centrali di produzione alle stazioni primarie dove la tensione viene abbassata dal valore di trasporto a quello delle reti di distribuzione (ambito super-regionale);
- b) Linee elettriche di distribuzione o linee di subtrasmissione ad alta tensione (132 kV e 220 kV): partono dalle stazioni elettriche primarie ed alimentano le grandi utenze o le cabine primarie da cui originano le linee di distribuzione a media tensione;
- c) Linee elettriche di distribuzione a media tensione (20 kV): partono dalle cabine primarie ed alimentano le cabine secondarie e le medie utenze industriali e talvolta utenti particolari;
- d) Linee elettriche di distribuzione a bassa tensione (230 – 4000 V): partono dalle cabine secondarie e alimentano gli utenti della zona.

Per i campi a bassa frequenza (elettrodotti, apparecchi elettrici) si misura l'intensità del campo elettrico [V/m] e l'induzione magnetica([T], ma generalmente in millesimi di Tesla, mT, e milionesimi di Tesla, μ T). La crescente domanda di energia elettrica e di comunicazioni ha prodotto negli ultimi anni un aumento considerevole del numero di linee elettriche e di stazioni radio base per la telefonia cellulare. Ciò ha comportato un aumento dei CEM nell'ambiente in cui viviamo e quindi dell'esposizione della popolazione alle radiazioni elettromagnetiche.

L'art. 3 del DPCM del 8 luglio 2003, decreto attuativo della legge quadro 36/2001, stabilisce i limiti di esposizione e i valori di attenzione per campi elettrici e magnetici generati da elettrodotti per la trasmissione di energia elettrica a 50Hz. L'articolo dispone che, 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 V/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.

In generale il sistema di protezione dagli effetti delle esposizioni agli inquinanti ambientali distingue tra:

- effetti acuti (o di breve periodo), basati su una soglia, per cui si fissano limiti di esposizione che garantiscono, con margini cautelativi, la non insorgenza di tali effetti;
- effetti cronici (o di lungo periodo), privi di soglia e di natura probabilistica (all'aumentare dell'esposizione aumenta non l'entità ma la probabilità del danno), per cui si fissano livelli operativi di riferimento per prevenire o limitare il possibile danno complessivo.

In Italia la normativa in materia di inquinamento elettromagnetico, e nello specifico campo delle radiazioni non ionizzanti quali gli ELF, è molto frammentaria. È stata approvata in Parlamento la L.

n. 36 del 22/02/01, “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici”.

La legge n.36/2001 ricorre a differenti strumenti di prevenzione e controllo, intervenendo sulle sorgenti dei campi elettromagnetici, con lo scopo di ridurre ai livelli più restrittivi le loro produzioni e quindi diminuendo l’esposizione della popolazione. Oggetto della normativa sono infatti gli impianti e le apparecchiature per usi civili, militari e delle forze di polizia, che possano comportare l’esposizione dei lavoratori e della popolazione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici con frequenze comprese tra 0Hz e 300GHz.

L’aspetto innovativo della legge quadro italiana riguarda l’introduzione dei “valori di attenzione” così da considerare anche gli effetti di lungo e medio termine sulla popolazione; nella L. 36/01 sono, infatti, definiti:

- Limite di esposizione: valore di campo elettrico, magnetico, elettromagnetico (considerato come valore di immissione), da considerarsi come limiti inderogabili a tutela della salute umana da effetti acuti di esposizione;
- Valore di attenzione: valore di campo elettrico, magnetico, elettromagnetico definiti a fine cautelativo per la protezione della popolazione da effetti cronici dei campi elettromagnetici nel caso di abitazioni, scuole e permanenze prolungate;
- Obiettivi di qualità: volti a prefigurare i progressivi e gradualmente miglioramenti della qualità ambientale, in una prospettiva temporale di durata. Si suddividono in:
 - criteri localizzativi, standard urbanistici, prescrizioni ed incentivi per l’utilizzo delle BAT;
 - valori di campo elettrico, magnetico, elettromagnetico, definiti dallo Stato, per il raggiungimento di una progressiva minimizzazione dell’esposizione a tali campi.

E’ chiaro quindi che i valori di attenzione (come per esempio i 6 V/m del Decreto Ministeriale sulle radiofrequenze) e gli obiettivi di qualità (come il valore di 0,2 μ T della Legge della Regione Veneto sugli elettrodotti) non devono essere considerati come soglie di sicurezza, ma come riferimenti operativi per il conseguimento di obiettivi di tutela da possibili effetti di lungo periodo nell’applicazione del “principio cautelativo”.

Non essendoci ancora i decreti applicativi della legge quadro L. 36/01, ci si riferisce, per le basse e bassissime frequenze, al D.P.C.M. 23/04/92 e al D.P.C.M 28/09/95.

Il D.P.C.M. 23/04/92 in materia di “Limiti massimi di esposizione ai campi elettrico e magnetico generati alla frequenza industriale nominale (50 Hz) negli ambienti abitativi e nell’ambiente esterno”, è limitato alla tutela dell’esposizione della popolazione e presenta limiti d’esposizione per la protezione degli effetti accertati a breve termine. Il Decreto prevede inoltre le distanze di sicurezza dagli elettrodotti per garantire il rispetto di limiti di esposizione.

Il D.P.C.M 28/09/95 in materia di “Norme tecniche procedurali di attuazione del D.P.C.M. 23/04/92 limitatamente agli elettrodotti”, limita, in una prima fase, le azioni di risanamento al rispetto dei limiti di esposizione e fissa il termine per il completamento delle azioni di risanamento al 31/12/04.

I riferimenti adottati sono quelli del D.P.C.M. 23/04/92 per i valori di induzione magnetica e delle distanze di rispetto dagli elettrodotti.

I sistemi elettrici di potenza (costituiti da centrali, stazioni e linee elettriche) costituiscono particolari sorgenti di campi elettromagnetici che in dipendenza della loro frequenza di funzionamento (50 Hz) vengono definiti come sorgenti ELF (Extremely Low Frequency).

Quasi la totalità della distribuzione di energia in Italia è ottenuta con linee aeree. Pur non conoscendo i reali rischi associati alla presenza di campi elettromagnetici a frequenza industriale, si cerca di

trovare modelli per valutare i campi generati dai diversi elettrodotti, ed i possibili rimedi per abbassare questi livelli di campo.

L'approssimazione quasi-statica permette di analizzare i due campi, elettrico e magnetico, in modo separato.

Il campo elettrico prodotto da un sistema polifase di conduttori posti entro uno spazio imperturbato, è esprimibile con un vettore di intensità E che ruota in un piano trasversale rispetto ai conduttori descrivendo un'ellisse. Esso è sempre presente appena la linea si mette in tensione indipendentemente dal fatto che essa trasporti o meno potenza.

Il campo magnetico H è un vettore ortogonale al campo elettrico, ed è associato alla corrente (quindi alla potenza) trasportata. Nel caso di un sistema polifase in corrente alternata, il vettore campo magnetico nasce dalla composizione dei contributi di tutte le correnti circolanti nei conduttori e, come per il campo elettrico, ruota su un piano trasversale descrivendo un'ellisse.

In normali condizioni atmosferiche, il campo elettrico tra la superficie terrestre e la ionosfera è di 200 V/m. Nel corso di un temporale, ad esempio, tale valore cresce di molto, fino a raggiungere anche i 20000 V/m. Campi di intensità simile a quella riconducibile ad un temporale possono essere riconducibili alla carica elettrostatica dei pavimenti, sempre tenendo presente che l'intensità di tali campi decresce rapidamente con la distanza.

Il campo elettrico misurato direttamente su una linea di alta tensione può arrivare fino a 6000 V/m, mentre allontanandosi di 50 m dai conduttori si assesta nel range 200 – 500 V/m. In prossimità di apparecchi elettrici (fino ad una distanza di 30 cm circa) i valori dei campi che si generano raggiungono circa 200 V/m. Il valore dell'inquinamento derivato agli impianti elettrici di una civile abitazione tipo, a causa principalmente delle linee elettriche che passano all'interno delle pareti, è normalmente compreso fra 5 e 40 V/m.

Il campo magnetico della terra è compreso fra 30 e 60 μT . Una semplice calamita ha un campo magnetico di 4500 μT (4.5 T); il magnete di un comune altoparlante presenta valori di circa 100000 μT (100 T). Come per il campo elettrico, i valori sopra riportati sono significativi per distanza dalla sorgente di circa 1 cm. Aumentando la distanza a pochi centimetri, il campo magnetico non risulta più rilevabile dalla strumentazione.

I campi magnetici vengono generati anche da apparecchi elettrici e da impianti tecnici. All'interno di una metropolitana il campo è di circa 80 μT . In caso di esposizione a una linea di alta tensione, il campo magnetico assume valori di 16 μT , mentre a 50 m di distanza dall'asse dei conduttori scende fino a 3 μT . A una distanza massima di 30 cm da apparecchi elettrici e linee di corrente vi sono circa 40 μT . Il normale inquinamento connesso ad un impianto domestico è compreso fra 0.05 e 0.1 μT .

I fattori che influenzano il campo magnetico, prodotto da un cavo interrato, sono: distanza tra le fasi, profondità di posa, geometria di posa e le correnti indotte dal campo magnetico stesso nelle guaine metalliche.

Sostanzialmente ci sono tre modi diversi per posare un cavo interrato;

- posa piana: i tre cavi sono disposti in una linea orizzontale;
- a trifoglio: sono disposti uno vicino all'altro a 120°;
- a separazione di fasi: con l'ausilio di cinque cavi, la terra al centro e gli altri quattro messi in modo che ogni coppia di fasi abbia nel mezzo il cavo di terra.

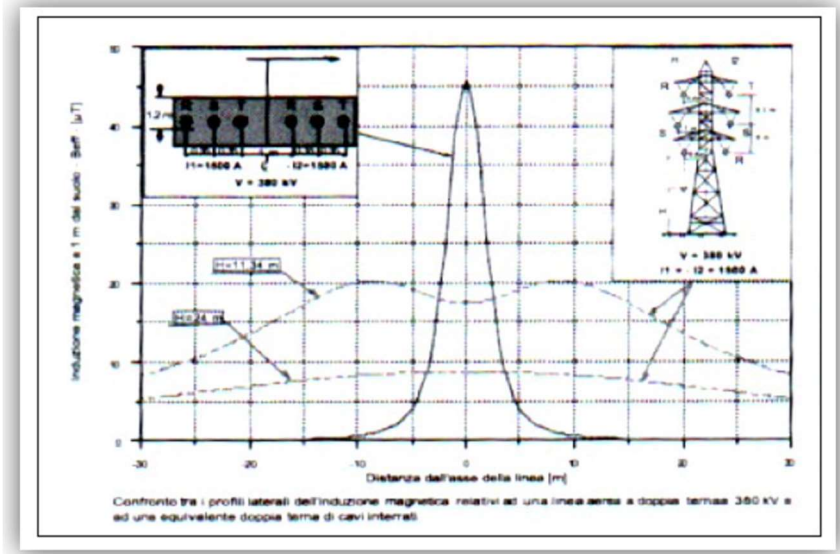
Oltre alla disposizione si può introdurre anche uno schermo più o meno aperto che abbassa ulteriormente il campo magnetico in superficie.

Quello che però risulta più interessante è il confronto tra una linea aerea e una in cavo.

Come si vede nella figura successiva, vengono confrontate due linee a doppia terna a 380 kV, una aerea (con il cavo più basso distante dal suolo 11,34 m) ed una interrata (con una profondità di posa pari a 1,2 m).

Entro i 3 m la linea interrata presenta un'induzione di 45 μ T, maggiore di quasi 20 μ T rispetto a quella aerea.

Superati i 10 m, la linea interrata presenta un'induzione magnetica di circa 1 μ T rispetto ai quasi 20 μ T di quella aerea.



3. CAMPO ELETTRICO

3.1 Linee AT e Sottostazione di Elevazione

Il campo elettrico prodotto da una linea è proporzionale alla tensione di linea. Considerando che per una linea di 400 kV si ottiene un valore 4 kV/m prossimo al limite di 5 kV/m, quello emesso dalla linea a 150 kV e dalle sbarre a 30 kV risulta essere molto minore dei limiti di emissione imposti dalla normativa. Generalmente il valore tipico associato ad una linea a 150 kV è minore di 1 kV/m.

Per quanto concerne il campo elettrico nella sottostazione elettrica di elevazione, i valori massimi si presentano in corrispondenza delle uscite delle linee AT con punte di circa 12 kV/m che si riducono a meno di 0,5 kV/m già a circa 20 m di distanza dalla proiezione dell'asse della linea.

I valori di intensità del campo elettrico a 150kV sono stati estrapolati considerando una relazione lineare tra tensione ed intensità di campo. Vi è da considerare, a favore della sicurezza degli operatori, la presenza dello schermo metallico a protezione delle barre in tensione (di altezza 2,5m) che contribuisce a ridurre l'intensità di campo.

Mentre all'interno dell'edificio contenente le celle MT il campo elettrico è nullo a causa degli schermi dei cavi e delle celle di protezione MT.

3.2 Cavidotti AT e MT

All'interno del campo agrovoltaiico vi sono le seguenti tipologie di cavidotto:

Cavidotti interrati MT di collegamento cabine di sottocampo con cabina STAR;

Cavidotti interrati MT di collegamento cabine STAR e sottostazione Elettrica di Elevazione:

Cavidotto interrato AT di collegamento Sottostazione di Elevazione e Stazione Elettrica Chiaramonte Gulfi di Terna

Il campo elettrico generato dai cavidotti MT e AT presenti nell'impianto agrovoltaiico ha valori minori di quelli imposti dalla legge.

Questa affermazione deriva dalle seguenti considerazioni:

- i cavi utilizzati sono costituiti da un'anima in alluminio (il conduttore elettrico vero e proprio), da uno strato di isolante + semiconduttore, da uno schermo elettrico in rame, e da una guaina in PVC. Lo schermo elettrico in rame confina il campo elettrico generato nello spazio tra il conduttore e lo schermo stesso,
- il terreno ha un ulteriore effetto schermante,
- il campo elettrico generato da una installazione a 30 kV è minore di quello generato da una linea, con conduttore non schermato (corda), a 400 kV, il quale è minore ai limiti imposti dalla legge.
- In ogni caso i cavi di connessione MT di collegamento la SSE di elevazione ed le cabine STAR, e cabine di sottocampo e cabine STAR, prevedono la connessione a terra degli schermi, quindi il campo elettrico è nullo.

Si ritiene pertanto di non approfondire, mediante un'analisi puntuale, lo studio del campo elettrico generato potendolo ritenere trascurabile per l'ambito in oggetto.

3.3 Cavidotti BT

Il campo elettrico generato dai componenti e dai cavi dell'impianto solare rientra ampiamente nei limiti di legge (< 5kV/m), perché nei cavi BT si utilizzano tensioni ridotte (800V).

3.4 Altri componenti

Il campo elettrico generato dai componenti e dai cavi dell'impianto solare rientra ampiamente nei limiti di legge (< 5kV/m), perché nei cavi BT si utilizzano tensioni ridotte (800V). In presenza di tensioni elevate (MT), i cavi, le celle di protezione ed i trasformatori sono schermati, il campo elettrico è nullo o trascurabile, quindi non vi sono rischi per la salute.

4. CAMPO MAGNETICO

4.1 Considerazioni Teoriche

Quando una corrente elettrica attraversa un conduttore produce un campo magnetico. L'induzione magnetica B in un punto P prodotta da un conduttore lineare di lunghezza infinita è espressa tramite la legge di Biot e Savart:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

Dove:

- B: induzione magnetica [Tesla (T)];
- μ_0 : permeabilità magnetica nel vuoto, pari a $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ H/m;
- I: corrente elettrica percorrente il conduttore [A];
- r: distanza radiale "r" del punto P dal conduttore [m];

Ne deriva che l'induzione magnetica assume la seguente forma:

$$B = \frac{2 \cdot I \cdot 10^{-7}}{r}$$

Per il calcolo dei campi elettromagnetici è stato utilizzato un software il cui algoritmo di calcolo fa uso del seguente modello semplificato:

- tutti i conduttori costituenti la linea sono considerati rettilinei, orizzontali, di lunghezza infinita e paralleli tra di loro;
- i conduttori sono considerati di forma cilindrica con diametro costante;
- la tensione e la corrente su ciascun conduttore attivo sono considerati in fase tra di loro;
- la distribuzione della carica elettrica sulla superficie dei conduttori è considerata uniforme;
- il suolo è considerato piano e privo di irregolarità, perfettamente conduttore dal punto di vista elettrico, perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico;
- viene trascurata la presenza dei tralicci o piloni di sostegno, degli edifici, della vegetazione e di qualunque altro oggetto si trovi nell'area interessata.

Le condizioni sopraesposte permettono di ridurre il calcolo ad un problema piano, poiché la situazione è esattamente la stessa su qualunque sezione normale della linea, dove con "sezione normale" si intende, qui e nel seguito, quella generata da un piano verticale ortogonale all'asse longitudinale della linea (cioè alla direzione dei conduttori che la costituiscono) passante per il punto dove si vogliono calcolare i campi.

Indicato con P il punto dove si vuole determinare il campo, definiamo sezione normale il piano verticale passante per P e ortogonale ai conduttori. Indichiamo quindi con Q_k il punto dove il generico conduttore C_k interseca la sezione normale. L'induzione magnetica B generata da NR conduttori filiformi, numerati da 0 a (NR-1), può essere calcolata con l'espressione seguente:

$$\vec{B} = -\frac{\mu_0}{4\pi} \sum_{k=0}^{NR-1} \int_{C_k} \frac{i}{r^3} \vec{r} \cdot d\vec{l}$$

Le ipotesi adottate consentono di eseguire l'integrazione ed ottenere (asse Z nella direzione dei conduttori):

$$\vec{B} = -\frac{\mu_0}{4\pi} \sum_{k=0}^{NR-1} \frac{i_k \vec{z} \cdot (Q - P_k)}{|Q - P_k|^2}$$

4.2 Sottostazione di Elevazione

L'impianto agrovoltaiico risulta composto da n.7 sezioni d'impianto. Ogni sezione d'impianto fa capo ad una cabina "STAR" che raccoglie la potenza MT 30kV di un numero variabile di sottocampi, attraverso cavidotti interrati MT 30kV.

La potenza delle n.7 cabine STAR attinenti alle sezioni d'impianto, viene raccolta nella Sottostazione elettrica di elevazione dove avviene la trasformazione di tensione da MT 30kV a AT 150kV e la misura dell'energia elettrica immessa in rete.

Dalla SSE di elevazione, attraverso un cavidotto interrato in AT 150kV, la potenza dell'impianto agrovoltaico viene trasferita alla SE Terna di Chiaramonte Gulfi di Terna spa fino a Stallo 150kV esistente.

La SSE di elevazione sarà in grado di gestire la potenza di tutte le sezioni d'impianto e comprenderà sul lato MT, un locale dedicato con i seguenti scomparti:

- arrivo linee MT 30kV provenienti dalle cabine STAR;
- partenza linea e protezione trasformatore BT/MT per servizi ausiliari;
- partenza linea e protezione trasformatore MT/AT
- Organi di manovra e protezione linee MT provenienti dalle cabine STAR

Per la parte AT, saranno installati su piazzale i seguenti elementi con isolamento in aria:

- N.3 trasformatori trifase 65 MVA (ONAN/ONAF) 150 kV/30 kV Ynd11 con neutro accessibile;
- N.1 trasformatore trifase 65 MVA (ONAN/ONAF) 150 kV/30 kV Ynd11 con neutro accessibile di BACKUP;
- terna di scaricatori AT, lato utente;
- terna di trasformatori di tensione fiscali;
- terna di trasformatori di corrente fiscali;
- interruttore AT;
- sezionatore di linea di terra AT;
- terna di trasformatori di tensione capacitivi;
- terna di terminali AT
- sistema di compensazione della potenza reattiva del cavo AT attraverso Shunt Reactor 30MVar.

In uscita vi sarà un cavidotto interrato di circa 16 km, in AT 150 kV, che collega la sottostazione elettrica di Elevazione alla Stazione Elettrica Terna Chiaramonte Gulfi.

Ciascun quadro MT è adibito alla raccolta dell'energia prodotta da ogni sezione d'impianto e ognuno di essi afferisce a uno dei tre trasformatori. In particolare si avranno i seguenti accoppiamenti:

- TRAF0 N.1 collegato alle sezioni d'impianto n.1 e n.3 per una potenza tot in AC di PAC=50,24MW
- TRAF0 N.2 collegato alle sezioni d'impianto n.3 e n.4 per una potenza tot in AC di PAC=56,00MW
- TRAF0 N.3 collegato alla sezione d'impianto n.2, per una potenza tot in AC di PAC=53,76MW
- TRAF0 DI BACKUP collegato agli scomparti MT di backup da utilizzare in sostituzione in relazione ad eventuali guasti su uno degli altri 3 Trafi.

Totale potenza AC dell'impianto agrovoltaico PAC= 160,00 MW

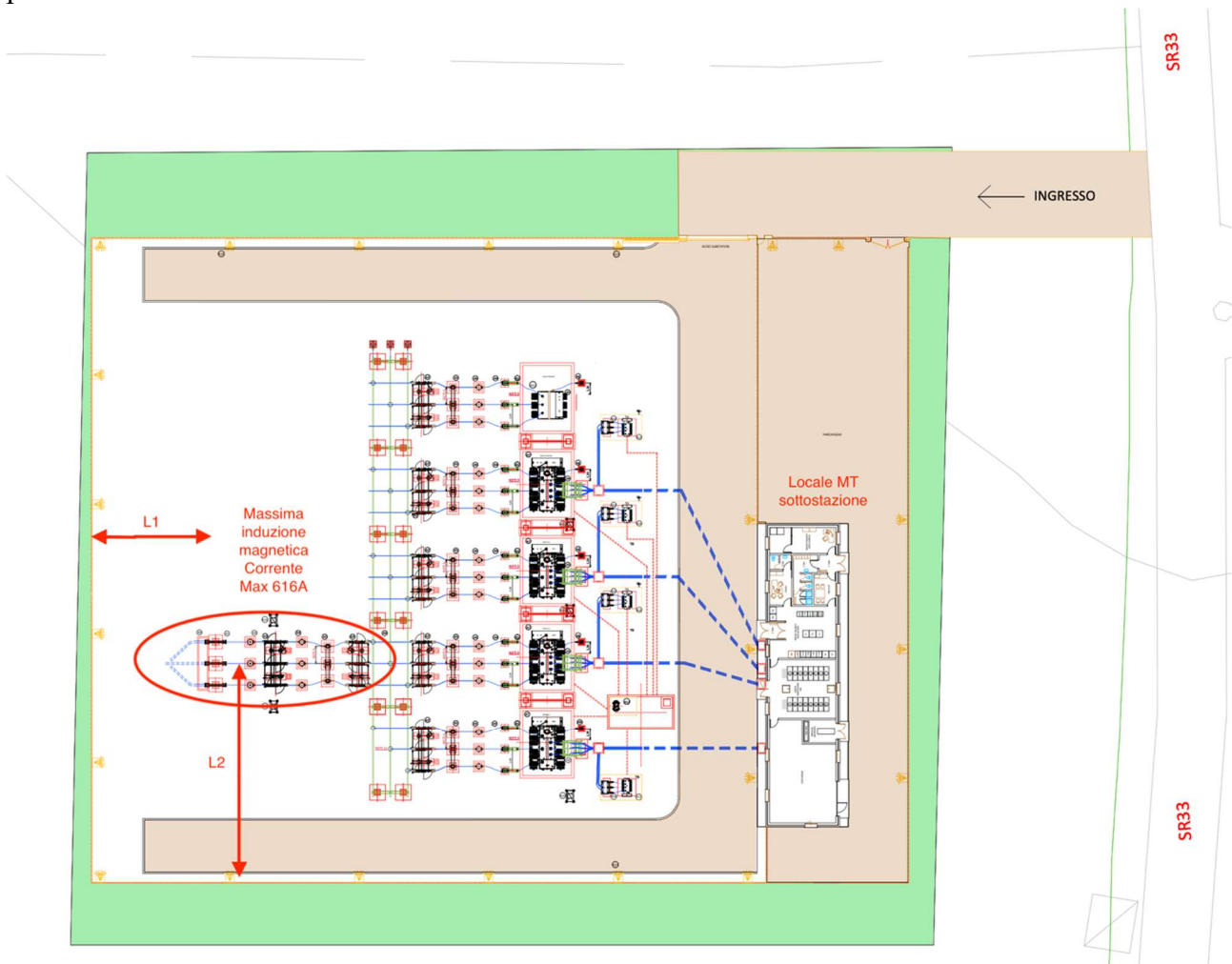
L'architettura della sottostazione di Elevazione è conforme ai moderni standard di stazioni AT, sia per quanto riguarda le apparecchiature sia per quanto concerne le geometrie dell'impianto.

Per tali tipologie di impianti sono stati effettuati rilievi sperimentali per la misura dei campi magnetici al suolo nelle diverse condizioni di esercizio con particolare riguardo ai punti ove è possibile il transito di personale (viabilità interna). Per quanto concerne il campo magnetico al suolo, questo risulta massimo sempre in corrispondenza delle uscite delle linee AT.

Così come espresso all'art. 5.2.2 "Stazioni primarie" del DM 29/05/08, si può concludere che le fasce di rispetto di questa tipologia di impianti rientrano nei confini dell'area di pertinenza dei medesimi. Il campo elettromagnetico alla recinzione è sostanzialmente riconducibile ai valori generati dalle linee entranti.

Ai fini della presente trattazione risulta utile determinare il campo magnetico generato dalle barre AT di ingresso ai Trafi.

Le barre AT che collegano i cavi ai trasformatori AT/MT (attraversati da una corrente massima pari a 616 A alla massima potenza) generano il valore di induzione massimo nei pressi dei cavi interrati provenienti dalla Sottostazione Terna di Chiaramonte.



La distanza L1 delle sbarre dal confine è pari a 14 m, mentre l'altra distanza L2 è pari a 25m.

I conduttori AT presentano un'altezza pari a 4,5m e una inter distanza di 2,5m.

È stata condotta un'analisi per determinare la DPA minima.

Parametri generali della struttura n. 1

Nome della struttura

Altezza da terra del conduttore più basso m

Distanza dall'origine, lungo il terreno m

Parametri dei conduttori della struttura n. 1

Struttura con conduttori (da 1 a 30)

| X (m) | Y (m) | I (A) ↓ | Fase (°) |
|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <input type="text" value="-2,5"/> | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="616"/> | <input type="text" value="0"/> |
| <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="616"/> | <input type="text" value="120"/> |
| <input type="text" value="2,5"/> | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="616"/> | <input type="text" value="240"/> |

Replica questi parametri alla struttura n.

Si ottengono i seguenti risultati:

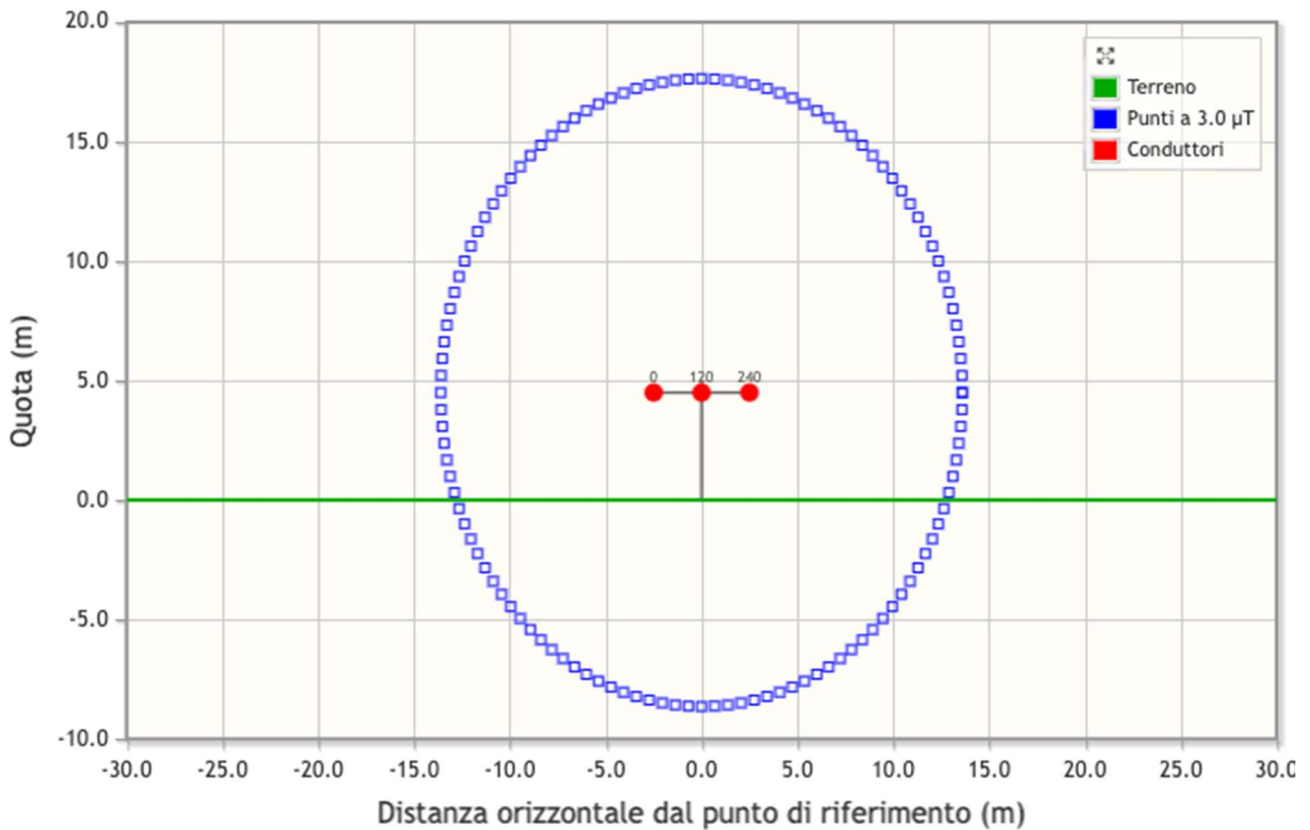
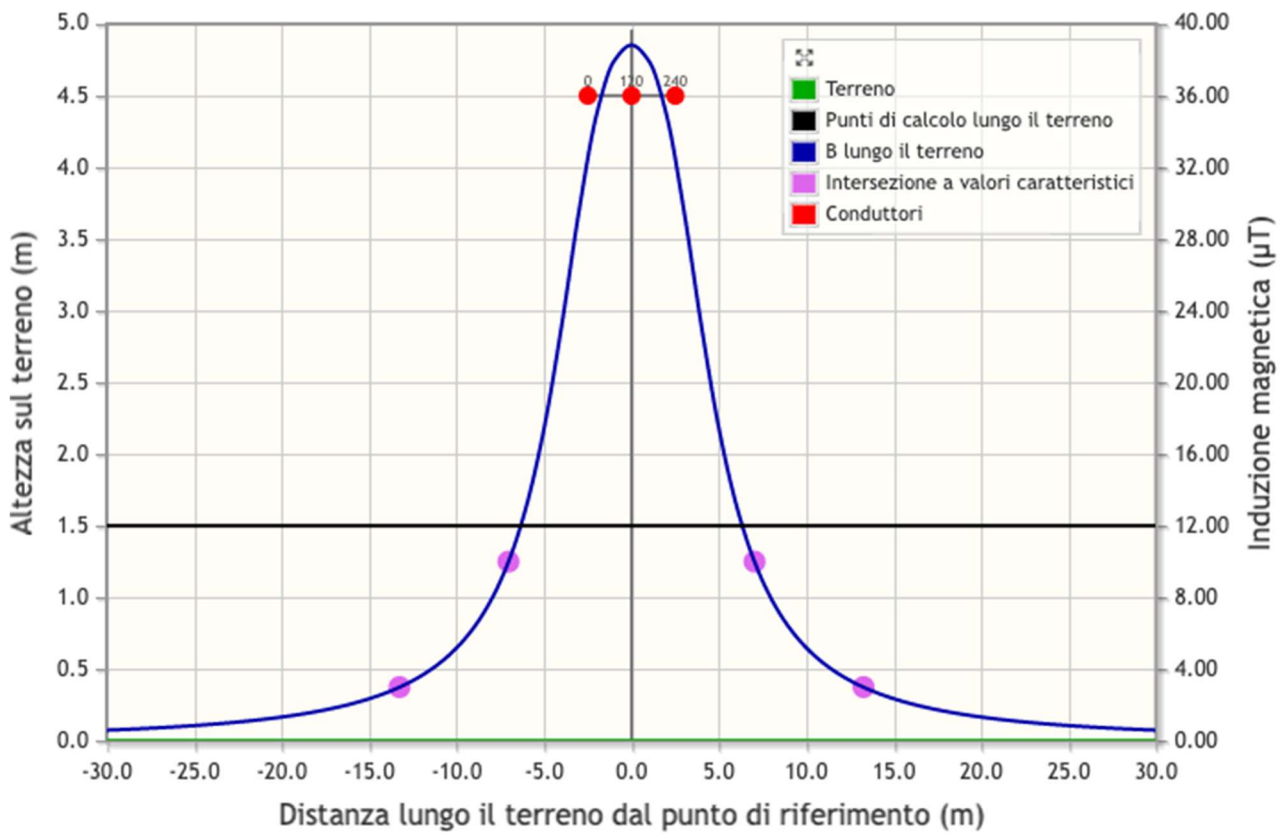
Elaborazione conclusa con successo.

Tempo di calcolo: 2.80 s

Picco spaziale: 38.82 μ T

Posizione del picco spaziale dall'origine: 0 m

| Posizioni di intersezione con valori caratteristici | |
|---|---------------------|
| Valore | Posizioni |
| 3 μ T | -13.27 m 13.27 m |
| 10 μ T | -7.04 m 7.04 m |



Come si evince dai precedenti grafici il valore di $3\mu\text{F}$ si raggiunge ad una distanza pari a 13,27m, inferiore alle distanze dal confine L1 ed L2.

4.3 Linee AT in cavo a 150kV

La linea di connessione in cavo a 150 kV è costituita da una semplice terna di cavi interrati disposti a **trifoglio**. Considerando i seguenti dati (CEI 11-60):

| Tipologia sostegno | Formazione | Armamento | Corrente | DPA (m) | Rif. |
|---|--------------------------------|---|----------|---------|------|
| CAVI INTERRATI Semplice Terna cavi disposti a trifoglio (serie 132/150 kV) <u>Scheda A15</u> | 108 mm 1600 mm ² |  | 1110 | 3.10 | A15 |

Per il calcolo si considera la massima corrente AC determinata pari a $616^\circ - 150\text{kV}$.

I conduttori si considerano posati ad una distanza pari a -1,2m dal suolo.

Posizione dei punti di calcolo lungo il piano di terra

| | | | | | |
|---|-------|---|----------------------|-----|---|
| Distanza iniziale i | -20,0 | m | Passo | 1,0 | m |
| Numero di punti | 40 | | Altezza sul terreno | 1,5 | m |
| | | | Pendenza del terreno | 0 | ° |

Parametri dei conduttori della struttura n. 1

Struttura con 3 conduttori (da 1 a 30)

| X (m) i | Y (m) i | I (A) ↓ | Fase (°) |
|---|---|---------|----------|
| -0,2 | 0 | 616 | 0 |
| 0 | 0 | 616 | 120 |
| 0,2 | 0 | 616 | 240 |

Dall'elaborazione condotta si ottiene:

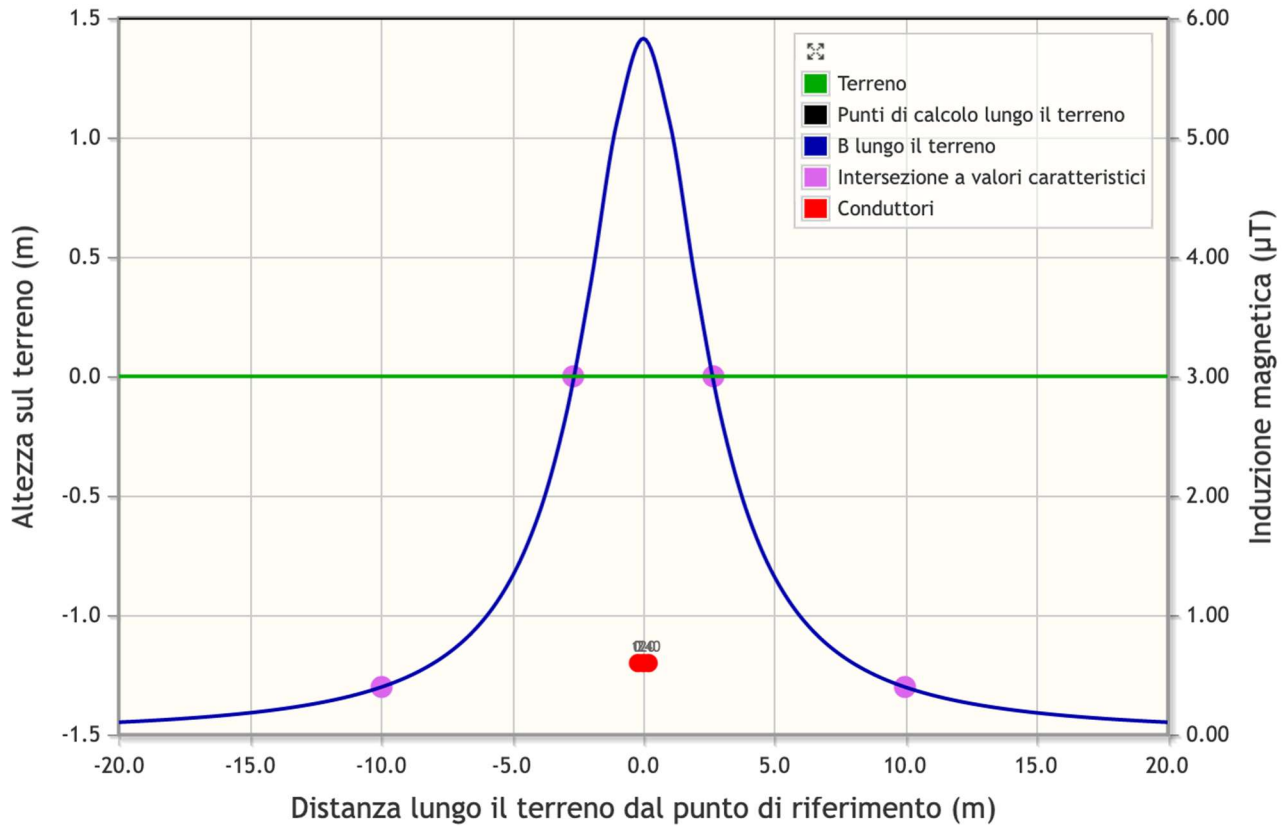
Elaborazione conclusa con successo.

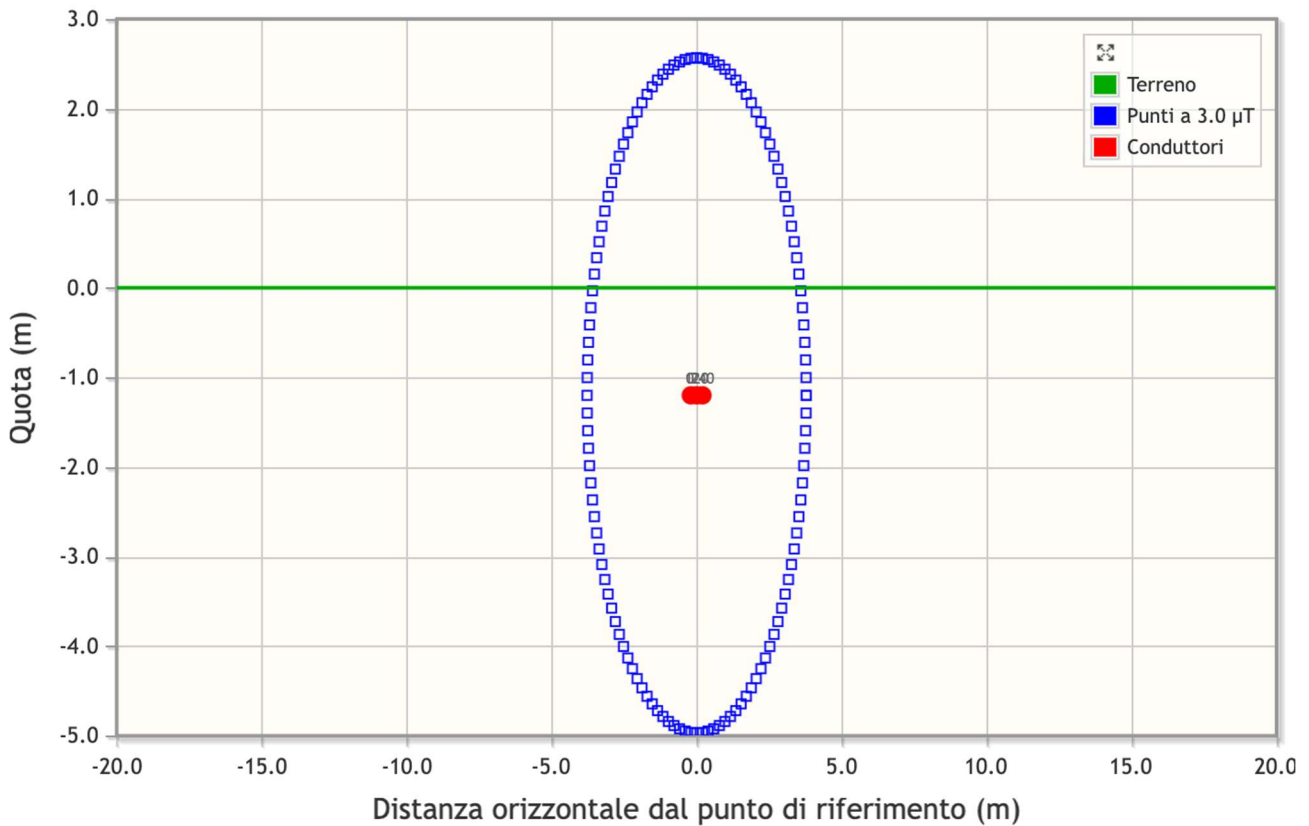
Tempo di calcolo: 2.86 s

Picco spaziale: 5.83 μT

Posizione del picco spaziale dall'origine: 0 m

| Posizioni di intersezione con valori caratteristici i | |
|--|-------------------|
| Valore | Posizioni |
| 0.4 μT | -9.98 m 9.98 m |
| 3 μT | -2.67 m 2.67 m |





si ottiene quindi una Dpa pari a:

$$R' = Dpa = 2,7 \text{ m}$$

4.4 Linee MT in cavo a 30kV

Per i tratti di cavidotto di media tensione interni o esterni ai lotti di produzione del parco fotovoltaico per i quali:

- sono presenti cavi di minima sezione;
- le tratte sono per la maggioranza dei casi costituite da singole terne ad elica visibile;
- le potenze trasportate sono legate al numero gruppi di conversione collegati a monte delle linee;

Per i tratti di rete MT che collegano le cabine STAR con la sottostazione di elevazione MT/AT, in ragione delle portate massime dei cavi e disposizioni delle fasi ad elica visibile, per comparazione con simulazione di modelli analoghi si deduce che i valori di induzione magnetica rimangono al di sotto del valore di qualità di 3 μT ad una distanza dall'asse di posa dei cavidotti inferiori a 2,0 m. Pertanto, considerando le correnti d'impiego ben al di sotto dei valori di portata, la DPA per l'induzione magnetica generata rimane confinata all'interno del terreno dove risulteranno posate le linee.

Per verificare ciò si conduce un calcolo di riferimento considerando la linea MT maggiormente caricata: La corrente massima della linea MT maggiormente caricata è pari a 677,4 A – 30kV.

Di seguito la simulazione svolta:

Parametri generali della struttura n. 1

Nome della struttura

Altezza da terra del conduttore più basso m

Distanza dall'origine, lungo il terreno m

Parametri dei conduttori della struttura n. 1

Struttura con conduttori (da 1 a 30)

| X (m) i | Y (m) i | I (A) ↓ | Fase (°) |
|---|---|---|---|
| <input style="width: 60px;" type="text" value="-0,05"/> | <input style="width: 60px;" type="text" value="0"/> | <input style="width: 60px;" type="text" value="677"/> | <input style="width: 60px;" type="text" value="0"/> |
| <input style="width: 60px;" type="text" value="0"/> | <input style="width: 60px;" type="text" value="0"/> | <input style="width: 60px;" type="text" value="677"/> | <input style="width: 60px;" type="text" value="120"/> |
| <input style="width: 60px;" type="text" value="0,05"/> | <input style="width: 60px;" type="text" value="0"/> | <input style="width: 60px;" type="text" value="677"/> | <input style="width: 60px;" type="text" value="240"/> |

Di seguito i risultati di calcolo:

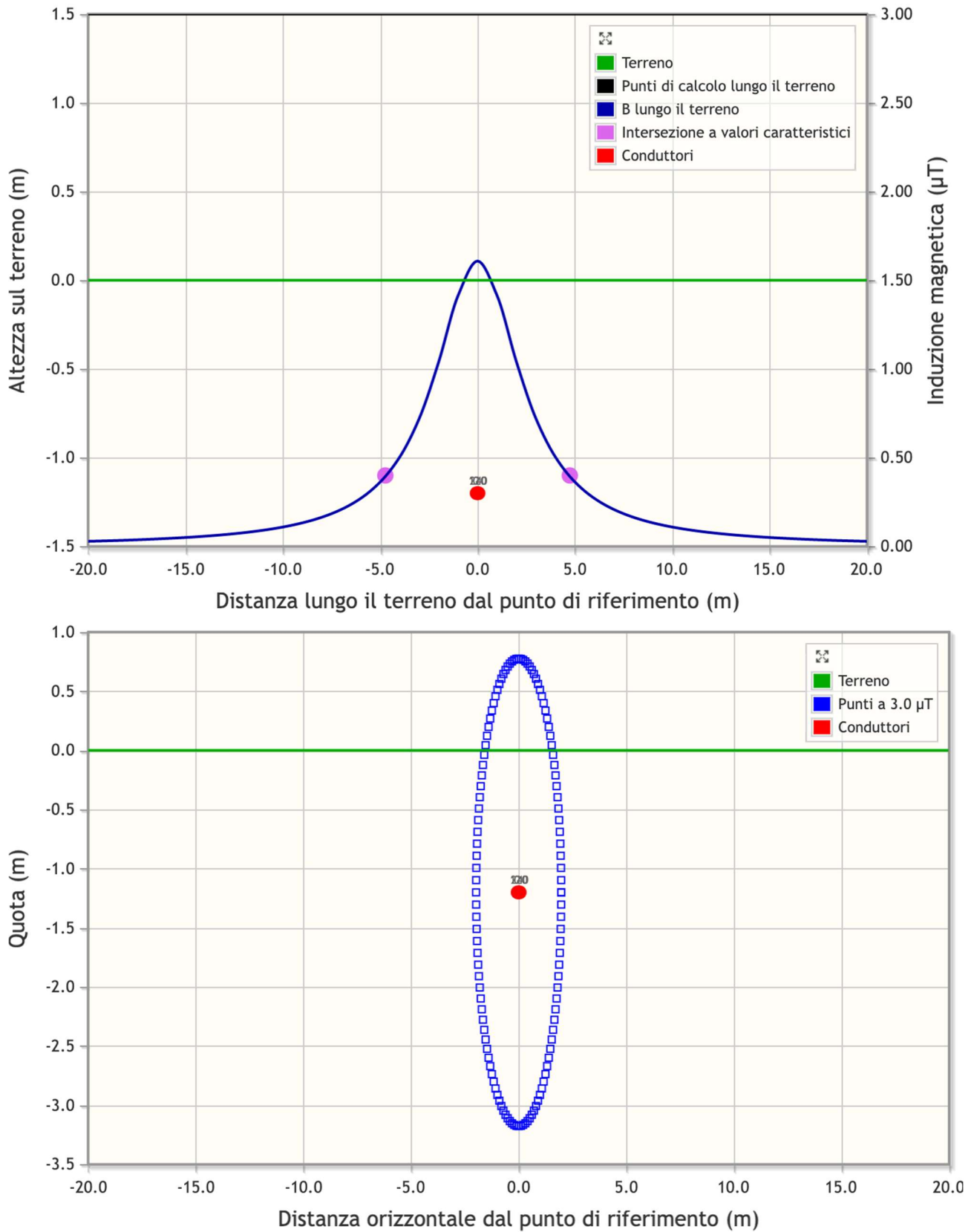
Elaborazione conclusa con successo.

Tempo di calcolo: 0.88 s

Picco spaziale: 1.61 μ T

Posizione del picco spaziale dall'origine: 0 m

| Posizioni di intersezione con valori caratteristici i | |
|--|-------------------|
| Valore | Posizioni |
| 0.4 μ T | -4.74 m 4.74 m |



Si può pertanto affermare che già al livello del suolo (altezza 1,5 m) ed in corrispondenza della verticale del cavo si determina una induzione magnetica inferiore a 3 μT e che pertanto non è necessario stabilire una fascia di rispetto (art. 3.2 DM 29/05/08, art. 7.1.1 CEI 106-11).

4.5 Linee BT a 800V

La corrente massima per ogni singolo inverter possibile è pari a 254 A, per motivi precauzionali, si è deciso di calcolare l'induzione ad una corrente pari a 330 A (+30%) e verificare che il limite di legge sia in ogni caso rispettato.

SINGOLA TERNA DI CONDUTTORI - INDUZIONE MAGNETICA [μT] – h suolo: 1.5m – In: 330 A

Parametri generali della struttura n. 1

Nome della struttura

Altezza da terra del conduttore più basso m

Distanza dall'origine, lungo il terreno m

Parametri dei conduttori della struttura n. 1

Struttura con conduttori (da 1 a 30)

| X (m) <small>i</small> | Y (m) <small>i</small> | I (A) ↓ | Fase (°) |
|---|--|---|---|
| <input style="width: 60px;" type="text" value="-0,05"/> | <input style="width: 60px;" type="text" value="0"/> | <input style="width: 60px;" type="text" value="330"/> | <input style="width: 60px;" type="text" value="0"/> |
| <input style="width: 60px;" type="text" value="0"/> | <input style="width: 60px;" type="text" value="0,17"/> | <input style="width: 60px;" type="text" value="330"/> | <input style="width: 60px;" type="text" value="120"/> |
| <input style="width: 60px;" type="text" value="0,05"/> | <input style="width: 60px;" type="text" value="0"/> | <input style="width: 60px;" type="text" value="330"/> | <input style="width: 60px;" type="text" value="240"/> |

Si ottengono i seguenti risultati di calcolo:

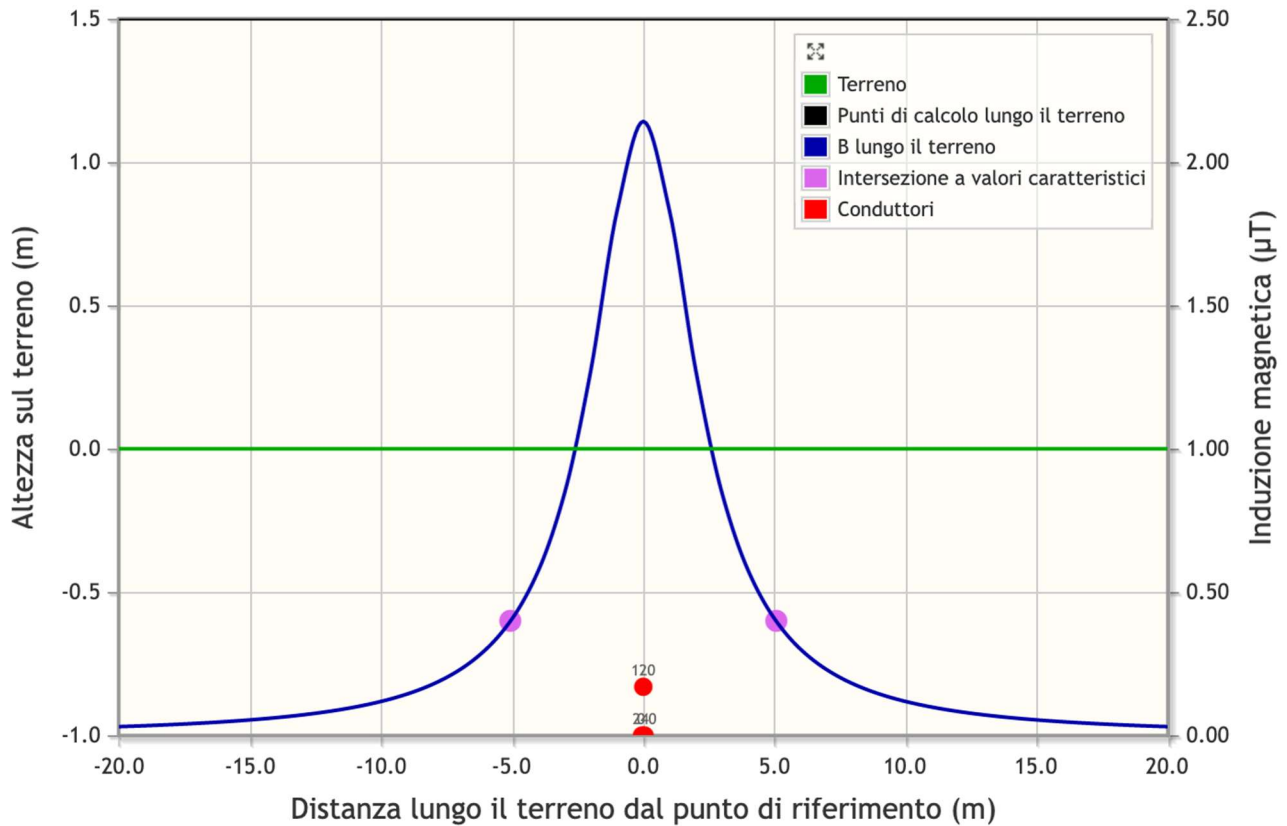
Elaborazione conclusa con successo.

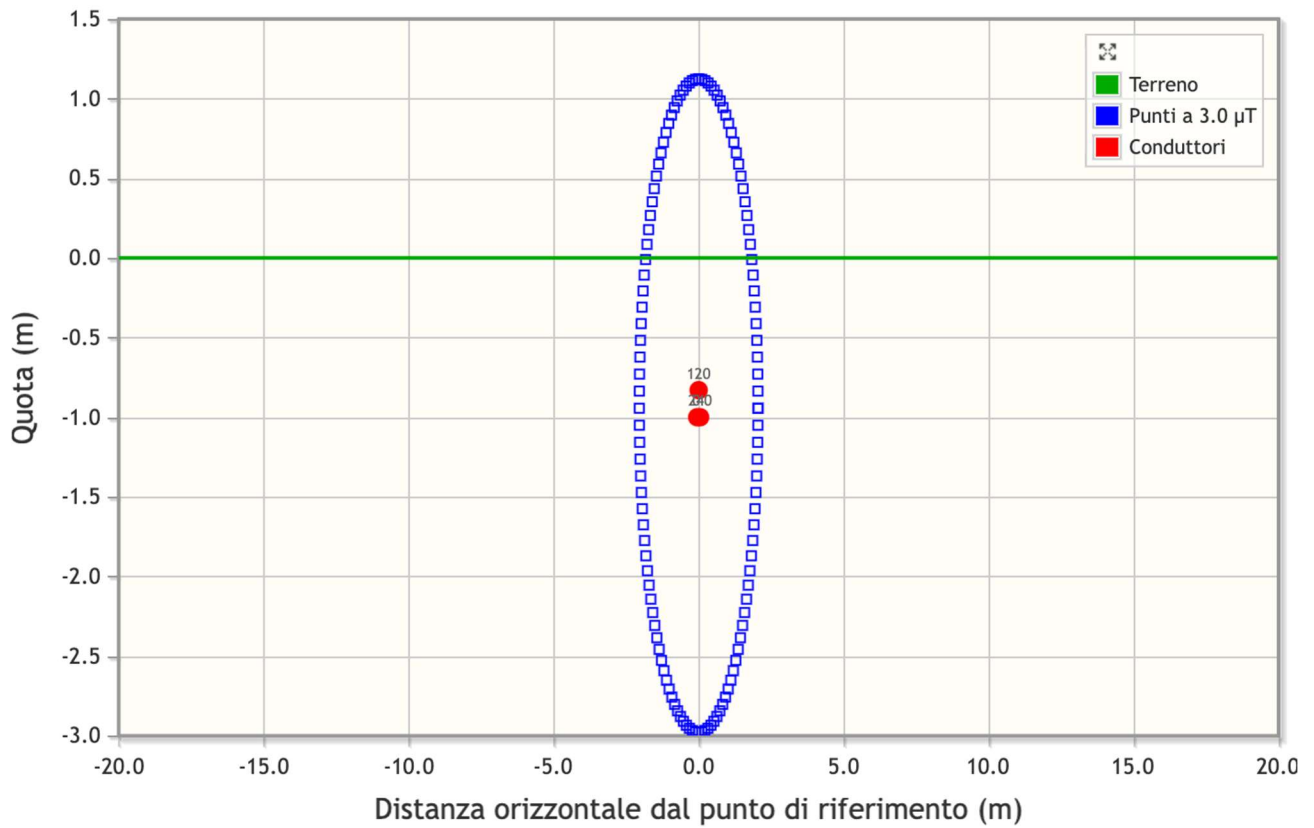
Tempo di calcolo: 0.80 s

Picco spaziale: 2.14 μT

Posizione del picco spaziale dall'origine: 0 m

| Posizioni di intersezione con valori caratteristici i | |
|---|-------------------|
| Valore | Posizioni |
| 0.4 μT | -5.07 m 5.07 m |





Si può affermare che già al livello del suolo ed in corrispondenza della verticale del cavo si determina una induzione magnetica inferiore a $3 \mu\text{T}$ e che pertanto non è necessario stabilire una fascia di rispetto (art. 3.2 DM 29/05/08, art. 7.1.1 CEI 106-11).