



## X-Elio Italia 7 S.r.l.

Corso Vittorio Emanuele II n. 349 - 00186 ROMA

Tel.+39 06.8412640 - Fax +39 06.8551726

Partita IVA n° 15465391009

Progettisti: Ing. Alessandro Abati – Ing. Mattia Moriggi – Per. Ind. Giancarlo Giordano



Viale Jonio 95 - 000141 Roma - [info@architetturasostenibile.com](mailto:info@architetturasostenibile.com)

# PROGETTO AGROVOLTAICO "ORTA NOVA"

*Progetto per la realizzazione di un impianto agrovoltaico di potenza pari a 68,475 MWp e relative opere di connessione alla RTN*

Località

## REGIONE PUGLIA

**COMUNI DI ORTA NOVA, CERIGNOLA E MANFREDONIA (FG)**

Titolo

## Relazione Tecnica sui Campi Elettromagnetici

Data: 03-2020

Revisione: 18 agosto 2020 / 19 ottobre 2021

Codice Elaborato: AS\_ORN\_R08.C



## Sommario

1. Premessa .....	3
1.1 LINEE ELETTRICHE, CABINE PRIMARIE, CABINE SECONDARIE .....	3
1.2 VERIFICA STRUMENTALE.....	4
1.3 DISTANZA DI PRIMA APPROSSIMAZIONE E AREE DI PRIMA APPROSSIMAZIONE .....	4
2. Norme e documentazione di riferimento .....	4
3. Inquadramento normativo .....	5
4. Descrizione dell'impianto.....	6
4.1 GENERALITÀ .....	6
4.2 STAZIONE ELETTRICA DI UTENZA 30/150 kV.....	7
4.3 QUADRO MT DI STAZIONE ELETTRICA .....	7
4.4 LINEA A 150 kV TRA SSE TERNA E SSE UTENTE .....	7
4.5 LINEE INTERRATE IN CAVIDOTTI A 30 kV TRA SSE UTENTE E SOTTOCAMPI FOTOVOLTAICI.....	7
5. Metodologia di calcolo campo magnetico .....	7
5.1 DEFINIZIONI .....	7
5.2 CENNI TEORICI SUL MODELLO UTILIZZATO .....	8
5.3 METODO DI CALCOLO.....	8
6. Risultati .....	11
7. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DA PARCO FOTOVOLTAICO .....	18
7. 1. POWER STATION .....	18
7.2. CABINA PRINCIPALE DI IMPIANTO MTR.....	18
8. Conclusioni .....	18

## 1. Premessa

Scopo del presente documento è quello di valutare i valori di campo elettrico e campo magnetico attesi (calcolo previsionale) necessari per la valutazione degli effetti ambientali conseguenti ai sensi della legge 36/01 e DPCM 08/07/2003, relativamente alla sottostazione 150/30 kV a servizio del futuro impianto fotovoltaico da 68,475 MW, da installare nel comune di Orta Nova (FG), di proprietà della società Xelio Italia 7 S.r.l.

L'impianto fotovoltaico in progetto prevede la condivisione dello stallo di consegna in AT della Stazione Elettrica RTN Manfredonia esercita da TERNA, a 150 kV.

Quando si parla di campi elettromagnetici ci si riferisce generalmente alle radiazioni non ionizzanti (NIR), cioè quelle radiazioni che non hanno energia sufficiente a rompere i legami chimici e produrre ionizzazione.

Le principali fonti di radiazioni non ionizzanti prodotte dalle attività umane si riscontrano nel settore delle telecomunicazioni (impianti di radiodiffusione sonora e televisiva, impianti di telefonia mobile, impianti radioelettrici per la trasmissione di dati), nella rete di distribuzione dell'energia elettrica (elettrrodotti), nel settore domestico (telefoni cellulari, elettrodomestici), nel settore industriale e medico.

Gli impianti di telecomunicazione e gli elettrrodotti emettono rispettivamente campi elettromagnetici a radiofrequenza (RF, con intervallo di frequenza compreso tra 100 kHz e 300 GHz) e campi elettromagnetici a frequenza estremamente bassa (ELF, con frequenza pari a 50 Hz), che si distinguono fra di loro in quanto hanno diverse caratteristiche fisiche, comportano diversi effetti sul corpo umano e sono soggetti a diversi limiti di legge.

In Italia la principale disposizione legislativa è la legge quadro 36/2001 che attua il principio di precauzione (art. 174, par. 2, trattato istitutivo dell'Unione Europea), che sancisce la necessità di prevenire conseguenze potenzialmente gravi senza attendere i risultati della ricerca scientifica.

La tutela della popolazione dalla esposizione a radiazioni non ionizzanti a bassa frequenza è riferita ai campi elettromagnetici generati dalle linee elettriche (o elettrrodotti), che comprendono anche le stazioni e le cabine di trasformazione.

### 1.1 Linee elettriche, cabine primarie, cabine secondarie

Le linee elettriche determinano la presenza di campi elettromagnetici a frequenza pari a 50 Hz.

Le caratteristiche principali di un elettrdotto sono la tensione di esercizio e la corrente elettrica trasportata. Sulla base della tensione di esercizio le linee elettriche si dividono in:

- linee ad Altissima Tensione (AAT - 220 kV e 380 kV),
- linee ad Alta Tensione (AT - da 40 kV a 150 kV),
- linee a Media Tensione (MT - da 1 kV a 40 kV)
- linee a Bassa Tensione (BT- 400 V e 230 V).

Le cabine di trasformazione si dividono in cabine primarie (CP) e cabine secondarie (CS). Le CP eseguono la trasformazione da Alta Tensione a Media Tensione mentre le CS eseguono la trasformazione da Media Tensione a Bassa Tensione. Le stazioni primarie infine sono quelle cui avviene la trasformazione da AAT ad AT.

La corrente trasportata dalle linee elettriche è variabile nel tempo in dipendenza dalle richieste di energia.

Il complesso delle linee elettriche di trasmissione ad alta ed altissima tensione e delle stazioni primarie sull'intero territorio nazionale è denominato Rete di Trasmissione Nazionale ed è gestito da un unico Ente Gestore (TERNA). La Rete di Trasmissione Nazionale costituisce l'ossatura principale della rete elettrica nazionale e svolge il ruolo di interconnessione degli impianti di produzione nazionale e di collegamento con la rete elettrica internazionale.

## 1.2 Verifica strumentale

La verifica che gli elettrodotti generano un campo elettrico ed un campo magnetico che non superano i limite di legge si effettua mediante rilievi strumentali e/o mediante modellistica al calcolatore.

I rilievi strumentali vengono realizzati mediante l'esecuzione di misure dei valori di campo elettrico e del campo di induzione magnetica che alle basse frequenze risultano indipendenti. Gli effetti accertati delle sorgenti a bassa frequenza sull'organismo umano sono essenzialmente legati all'intensità del campo magnetico, che a differenza di quello elettrico non è schermato dagli ostacoli quali ad esempio pareti e vegetazione. Per questo motivo il campo magnetico è più importante di quello elettrico ai fini della protezione della popolazione.

Nella progettazione di nuovi elettrodotti o di nuove aree in prossimità di linee elettriche esistenti, sulla base della L. n. 36/01, è necessario verificare che nelle fasce di rispetto non siano previste aree gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici e luoghi in genere adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere (luoghi sensibili); pertanto, all'interno di tali fasce non dovranno essere altresì presenti pertinenze di edifici quali balconi, terrazzi, cortili, giardini, né luoghi all'aperto quali spazi verdi e/o attrezzati che comportino permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere.

Il Decreto del Direttore Generale per la Salvaguardia Ambientale del 29.05.2008 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti", stabilisce che è compito del proprietario/gestore dell'elettrodotto comunicare alle autorità competenti l'ampiezza delle fasce di rispetto ed i dati utilizzati per il calcolo, mentre ARPA FVG ha il compito di effettuare le eventuali verifiche delle valutazioni effettuate dai gestori.

In base a tale decreto le valutazioni possono essere effettuate secondo due diversi livelli di approfondimento:

Procedimento semplificato, utile per la gestione territoriale e la pianificazione urbanistica, basato sul calcolo della "Distanza di prima approssimazione" (DPA) e, per i casi complessi, delle "Aree di prima approssimazione" (APA) Calcolo esatto della fascia di rispetto, necessario per gestire singoli casi in cui i risultati del procedimento semplificato evidenziano la presenza di aree gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici o luoghi in genere adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere all'interno della DPA o dell'APA.

## 1.3 Distanza di prima approssimazione e aree di prima approssimazione

Per effettuare la verifica della DPA e delle APA vengono calcolati i livelli di campo di induzione magnetica generati dalle linee elettriche presenti nell'area. Si valuta, in particolare, la distribuzione dell'isolinea a 3  $\mu$ T (micro Tesla): l'estensione massima di tale isolina proiettata al suolo identifica l'estensione delle DPA e delle APA per il territorio considerato.

## 2. Norme e documentazione di riferimento

- Legge 22 febbraio 2001, n. 36 "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici".
- DPCM 8 luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, valori di attenzione ed obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti".
- DM 29 maggio 2008, GU n. 156 del 5 luglio 2008, "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti".
- "Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti" APAT.
- CEI 11-17 "Impianti di produzione, trasmissione, distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo".
- CEI 20-21 "Calcolo della portata di corrente" (IEC 60287).
- 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 I".

- ENEL - Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08 - Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche

### 3. Inquadramento normativo

La normativa nazionale per la tutela della popolazione dagli effetti dei campi elettromagnetici disciplina separatamente le basse frequenze (es. elettrodotti) e le alte frequenze (es. impianti radiotelevisivi, stazioni radiobase, ponti radio). Il 14 febbraio 2001 è stata approvata dalla Camera dei deputati la legge quadro sull'inquinamento elettromagnetico (L.36/01).

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.

E' importante dunque distinguere il significato dei termini utilizzati nelle leggi (si riportano nella tabella 1 le definizioni inserite nella legge quadro).

**Tabella 1: Definizioni di limiti di esposizione, di valori di attenzione e di obiettivi di qualità secondo la legge quadro**

Limiti di esposizione	Valori di CEM che non devono essere superati in alcuna condizione di esposizione, ai fini della tutela dagli effetti acuti.
Valori di attenzione	Valori di CEM che non devono essere superati negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate. Essi costituiscono la misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti di lungo periodo.
Obiettivi di qualità	Valori di CEM causati da singoli impianti o apparecchiature da conseguire nel breve, medio e lungo periodo, attraverso l'uso di tecnologie e metodi di risanamento disponibili. Sono finalizzati a consentire la minimizzazione dell'esposizione della popolazione e dei lavoratori ai CEM anche per la protezione da possibili effetti di lungo periodo.

La normativa di riferimento in Italia per le linee elettriche è il DPCM del 08/07/2003 (G.U. n. 200 del 29.08.2003) "Fissazione dei limiti massimi di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti".

Tale decreto, per effetto di quanto fissato dalla legge quadro sull'inquinamento elettromagnetico, stabilisce:

- I limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la tutela della salute della popolazione nei confronti dei campi elettromagnetici generati a frequenze non contemplate dal D.M. 381/98, ovvero i campi a bassa frequenza (ELF) e a frequenza industriale (50 Hz);
- I limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la tutela della salute dei lavoratori professionalmente esposti nei confronti dei campi elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 0 Hz e 300 GHz (esposizione professionale ai campi elettromagnetici);
- Le fasce di rispetto per gli elettrodotti. Relativamente alla definizione di limiti di esposizione, valori di attenzione e obiettivi di qualità per l'esposizione della popolazione ai campi di frequenza industriale (50 Hz) relativi agli elettrodotti, il DPCM 08/07/03 propone i valori descritti in tabella 2, confrontati con la normativa europea

**Tabella 2: Limiti di esposizione, limiti di attenzione e obiettivi di qualità del DPCM 08/07/2003, confrontati con i livelli di riferimento della Raccomandazione 1999/512CE**

Normativa	Limiti previsti	Induzione magnetica B ( $\mu\text{T}$ )	Intensità del campo elettrico E (V/m)
DPCM	Limiti di esposizione	100	5000
	Limite di attenzione	10	
	Obiettivo di qualità	3	
Racc. 1999/512/CE	Livelli di riferimento (ICNIRP1998, OMS)	100	5000

Il valore di attenzione di 10  $\mu\text{T}$  si applica nelle aree di gioco per l'infanzia, negli ambienti abitativi, negli ambienti scolastici e in tutti i luoghi in cui possono essere presenti persone per almeno 4 ore al giorno. Tale valore è da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

L'obiettivo di qualità di 3  $\mu\text{T}$  si applica ai nuovi elettrodotti nelle vicinanze dei sopraccitati ambienti e luoghi, nonché ai nuovi insediamenti ed edifici in fase di realizzazione in prossimità di linee e di installazioni elettriche già esistenti (valore inteso come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio). Da notare che questo valore corrisponde approssimativamente al livello di induzione prevedibile, per linee a pieno carico, alle distanze di rispetto stabilite dal vecchio DPCM 23/04/92.

Si ricorda che i limiti di esposizione fissati dalla legge sono di 100  $\mu\text{T}$  per lunghe esposizioni e di 1000  $\mu\text{T}$  per brevi esposizioni.

Per quanto riguarda la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, sentite le ARPA, ha approvato, con Decreto 29 Maggio 2008, *"La metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti"*.

Tale metodologia, ai sensi dell'art. 6 comma 2 del D.P.C.M. 8 luglio 2003, ha lo scopo di fornire la procedura da adottarsi per la determinazione delle fasce di rispetto pertinenti alle linee elettriche aeree e interrate, esistenti e in progetto. I riferimenti contenuti in tale articolo implicano che le fasce di rispetto debbano attribuirsi ove sia applicabile l'obiettivo di qualità: "Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree di gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione di nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio" (Art. 4).

Al fine di semplificare la gestione territoriale e il calcolo delle fasce di rispetto è stato introdotto nella metodologia di calcolo un procedimento semplificato che trasforma la fascia di rispetto (volume) in una distanza di prima approssimazione (distanza).

## 4. Descrizione dell'impianto

### 4.1 Generalità

I campi a frequenze estremamente basse (ELF), quali quelli che si manifestano nell'esercizio delle linee elettriche, sono quelli con frequenze fino a 300 Hz. A frequenze così basse corrispondono lunghezze d'onda in aria molto grandi (6000 km a 50 Hz e 5000 km a 60 Hz) e, in situazioni pratiche, il campo elettrico e quello magnetico agiscono in modo indipendente l'uno dall'altro e sono calcolati e misurati separatamente.

I campi magnetici sono prodotti dal moto delle cariche elettriche, cioè dalla corrente.

La loro intensità si misura in ampere al metro (A/m), ma è spesso espressa in termini di una grandezza corrispondente, l'induzione magnetica, che si misura in Tesla (T), milliTesla (mT) o microTesla ( $\mu\text{T}$ ). I campi magnetici sono massimi vicino alla sorgente e diminuiscono con la distanza e non vengono schermati dalla maggior parte dei materiali di uso comune che ne vengono facilmente attraversati.

Le opere elettriche di impianto sulle quali rivolgere l'attenzione al fine della valutazione dell'impatto elettrico e magnetico sono di seguito descritte:

- la stazione elettrica di utenza 30/150 kV;
- quadri MT ubicati all'interno della stazione elettrica 30/150 kV di utenza;
- la linea aerea in AT di collegamento tra la stazione elettrica 150/30 kV di utenza e la stazione elettrica 150 kV di Terna;

- i cavidotti in media tensione (30 kV) alloggiati sia in area privata (centrale fotovoltaica e sottostazione utente 150/30 kV) che su suolo pubblico (strade vicinali, comunali, ecc.).

#### 4.2 Stazione elettrica di utenza 30/150 kV

La stazione elettrica di utenza sarà costituita da un'area chiusa composta da un locale comando e controllo, locale BT, locale MT (contenente i quadri MT, il trasformatore MT/BT) con una sezione di arrivo MT dall'impianto fotovoltaico; una sezione di trasformazione MT/AT ed una sezione di partenza in AT per la consegna dell'energia prodotta alla Rete di Trasmissione Nazionale.

#### 4.3 Quadro MT di stazione elettrica

All'interno della cabina di stazione sono ubicati i quadri in MT, per la protezione ed il sezionamento delle linee elettriche in arrivo dal parco fotovoltaico e in partenza verso il trasformatore di potenza AT/MT.

#### 4.4 Linea a 150 kV tra SSE TERNA e SSE Utente

All'interno della cabina di stazione sono ubicati i quadri in MT, per la protezione ed il sezionamento delle linee elettriche in arrivo dal parco fotovoltaico e in partenza verso il trasformatore di potenza AT/MT.

#### 4.5 Linee interrate in cavidotti a 30 kV tra SSE Utente e sottocampi fotovoltaici

La distribuzione elettrica in media tensione sarà realizzata in cavidotti interrati ad una profondità di 0,8 m dal suolo nelle tratte interne ai parchi fotovoltaici e di 1,1 m nelle tratte di collegamento poste in aree esterne ai due campi fotovoltaici, con scavi disposti in prossimità dei cigli delle strade vicinali, comunali, ecc.

La distribuzione elettrica in media tensione collegherà il trasformatore 150/30 kV alla cabina di media tensione della SSE, la cabina della SSE a due cabine di smistamento, poste la prima nel campo Nord, la seconda nel campo SUD, ciascuna delle quali collegata a sua volta alle cabine del rispettivo campo fotovoltaico. La disposizione dei percorsi dei cavidotti sono visibili dalle planimetrie dei campi fotovoltaici allegate al progetto dell'impianto elettrico.

## 5. Metodologia di calcolo campo magnetico

### 5.1 Definizioni

In riferimento all'allegato del D.M. del 29 Maggio 2008 "Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto" si introducono le seguenti definizioni:

#### **Corrente**

Valore efficace dell'intensità di corrente elettrica.

#### **Portata in corrente in servizio normale**

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 par. 2.6 e sue successive modifiche e integrazioni.

#### **Portata in regime permanente**

Massimo valore della corrente che, in regime permanente e in condizioni specificate, il conduttore può trasmettere senza che la sua temperatura superi un valore specificato (secondo CEI 11-17 par. 1.2.05).

#### **Fascia di rispetto**

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.

#### **Distanza di prima approssimazione (Dpa)**

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 di Dpa si trovi all'esterno delle fasce di rispetto. Per le cabine è la distanza, in pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra.

## 5.2 Cenni teorici sul modello utilizzato

L'induzione magnetica B generata da NR conduttori filiformi, numerati da 0 a (NR-1), può essere calcolata con l'espressione riportata di seguito; si fa notare che solo i conduttori reali contribuiscono al campo magnetico, perché si assume il suolo perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico e non si considerano quindi i conduttori immagine.

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

dove  $\mu_0$  è la permeabilità magnetica del vuoto, NR è il numero dei conduttori (nel nostro caso pari a 3), i la corrente, Ck il conduttore generico, dl un suo tratto elementare, r la distanza tra questo tratto elementare ed il punto dove si vuole calcolare il campo.

Il modello adottato (conduttori cilindrici rettilinei orizzontali indefiniti paralleli tra di loro) consente di eseguire facilmente l'integrazione e semplificare i calcoli.

Indicato con Q il punto dove si vuole determinare il campo, definiamo sezione normale il piano verticale passante per Q e ortogonale ai conduttori; indichiamo quindi con Pk il punto dove il generico conduttore Ck interseca la sezione normale, e con Ik la corrente nel singolo conduttore (si è preso l'asse z nella direzione dei conduttori).

Con queste posizioni, per l'induzione magnetica in Q si ottiene l'espressione

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

La formula indica che l'induzione magnetica è inversamente proporzionale al quadrato della distanza del punto di interesse dai conduttori; esiste inoltre una proporzionalità diretta tra l'induzione e la distanza tra i singoli conduttori di ogni terna.

## 5.3 Metodo di calcolo

Lo studio dell'impatto elettromagnetico nel caso di linee elettriche aeree e non, si traduce nella determinazione di una fascia di rispetto. Per l'individuazione di tale fascia si deve effettuare il calcolo dell'induzione magnetica basato sulle caratteristiche geometriche, meccaniche ed elettriche della linea presa in esame.

Esso deve essere eseguito secondo modelli tridimensionali o bidimensionali con l'applicazione delle condizioni espresse nel capitolo 6 della norma CEI 106-11, che considera lo sviluppo della catenaria in condizioni di freccia massima, l'altezza dei conduttori sul livello del suolo e l'andamento del terreno.

Al fine di semplificare la gestione territoriale e il calcolo delle fasce di rispetto, in prima approssimazione è possibile:

- Calcolare la fascia di rispetto combinando la configurazione dei conduttori, geometrica e di fase, e la portata in corrente in servizio normale che forniscono il risultato più cautelativo sull'intero tronco;
- Proiettare al suolo verticalmente tale fascia;
- Individuare l'estensione rispetto alla proiezione del centro linea (Dpa).

Si riporta di seguito un estratto della norma CEI 106-11 ed. 2006-02 "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":

### ... 6.2.1 Linee aeree trifase a semplice terna

#### a) Formule approssimate per una terna di conduttori disposti in piano o in verticale (a bandiera)

Data una terna di conduttori disposti in piano o in verticale (a bandiera) con distanza tra i conduttori adiacenti pari a

$S$  [m], percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a  $I$  [A], l'induzione magnetica  $B$  [ $\mu$ T] in un generico punto distante  $R$  [m] dal conduttore centrale, con  $R \gg S$ , è data dalla seguente equazione approssimata [3]:

$$B = 0,2 * \sqrt{3} * S * I / R^2 \quad [\mu T] \quad (6)$$

Dalla equazione suddetta, si ricava la distanza  $R'$  (distanza dal centro geometrico dei conduttori che coincide con il conduttore centrale) corrispondente ad un valore di  $B$  pari a  $3 \mu T$ :

$$R' = 0,34 * \sqrt{S * I} \quad [m] \quad (7)$$

Nel caso di linee reali con disposizione geometrica dei conduttori assimilabile alla disposizione in piano o in verticale, come parametro  $S$  si assume la media delle distanze dei conduttori esterni da quello centrale ( $S_{A,B}$  e  $S_{B,C}$ ; avendo indicato con l'etichetta  $B$  il conduttore centrale)

### b) Formule approssimate per una terna di conduttori disposti a triangolo

Per una terna di conduttori disposti ai vertici di un triangolo equilatero con distanza tra i conduttori pari a  $S$  [m], percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a  $I$  [A], l'induzione magnetica  $B$  [ $\mu$ T] in un punto distante  $R$  [m] dal baricentro dei tre conduttori, con  $R \gg S$ , è data dalla seguente equazione approssimata:

$$B = 0,1 * \sqrt{6} * S * I / R^2 \quad [\mu T] \quad (8)$$

Dalla equazione suddetta si ricava la distanza  $R'$  corrispondente ad un valore di  $B$  pari a  $3 \mu T$ :

$$R' = 0,286 * \sqrt{S * I} \quad [m] \quad (9)$$

Nel caso di linee reali con disposizione geometrica dei conduttori assimilabile alla disposizione a triangolo, come parametro  $S$  si assume la media delle distanze tra i tre conduttori ( $S_{A,B}$ ,  $S_{B,C}$ ;  $S_{A,C}$ ).

### 6.2.3 Linee in cavo interrato a semplice terna

Per i cavi interrati, le differenze sostanziali rispetto alle linee aeree sono:

- che essi non si dispongono secondo una catenaria ma si mantengono in pratica sempre paralleli alla superficie del terreno;
- che la distanza tra i conduttori  $P$  è decisamente ridotta; questo comporta distanze  $R$  contenute rispetto al caso aereo. In relazione a ciò bisogna quindi valutare se relazioni approssimate del tipo di quelle utilizzate per le linee aeree in conduttori nudi siano ancora applicabili con un ragionevole grado di accuratezza.

Nel caso di cavi AT, la situazione impiantistica più diffusa è rappresentata da una terna di cavi unipolari posati ad una profondità di circa  $1,2 \div 1,8$  m. I cavi possono essere posati in piano distanziati di circa  $0,15-0,25$  m, ovvero a contatto in piano o ai vertici di un triangolo equilatero (posa a "trifoglio").

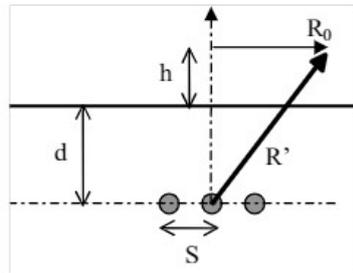
Nel caso invece di cavi MT, la situazione impiantistica più diffusa è rappresentata da cavi unipolari posati ad una profondità di circa  $0,8 \div 1,2$  m e disposti prevalentemente a "trifoglio" o in piano, a contatto o distanziati di circa  $0,10$  m.

#### a) Cavi unipolari posati in piano

La situazione più generale è rappresentata da una terna di cavi posati in piano alla profondità  $d$  e spazati di  $S$  (Figura 11).

Si può quindi ricorrere alle formule approssimate per conduttori in piano, applicando nuovamente le relazioni viste per le linee aeree in piano:

$$B = 0,2 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{S \cdot I}{R^2} \quad [\mu T] \quad R' = 0,34 \cdot \sqrt{S \cdot I} \quad [m] \quad (18)$$



**Figura 11 – Schema di principio per il calcolo delle distanze da terne di cavi interrati con posa in piano oltre le quali l'induzione magnetica è inferiore all'obiettivo di qualità (d è la profondità del centro del conduttore)**

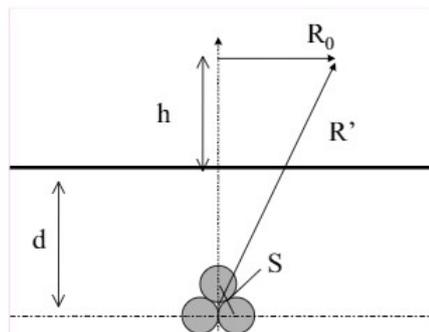
In alcuni casi può essere conveniente calcolare - al posto della distanza dal baricentro dei conduttori che può risultare fin troppo conservativa - la distanza  $R_0$  dall'asse della linea al livello del suolo ( $h = 0$ ) oltre la quale l'induzione magnetica scende al di sotto di un valore prefissato ( $3 \mu T$ ). In questa ipotesi, la profondità di posa diviene un ulteriore parametro per poter ottenere la distanza dall'asse della linea.  $R_0$  può quindi essere calcolato applicando la formula semplificata per il calcolo di  $R'$  e tenendo conto della profondità di posa  $d$ :

$$R_0 = \sqrt{R'^2 - d^2} \quad [m] \quad R_0 = \sqrt{0,115 \cdot S \cdot I - d^2} \quad [m] \quad (19)$$

**b) Cavi unipolari posati a trifoglio**

Lo schema di posa in questo caso è illustrato nella Figura 12. Si può quindi ricorrere alle relazioni approssimate viste per e linee aeree con conduttori a triangolo

$$B = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S \cdot I}{R^2} \quad [\mu T] \quad R' = 0,286 \cdot \sqrt{S \cdot I} \quad [m] \quad (20)$$



**Figura 12 – Schema di principio per il calcolo delle distanze da terne di cavi interrati con posa a trifoglio oltre le quali l'induzione magnetica è inferiore all'obiettivo di qualità (d è la profondità del centro del conduttore)**

In questo caso, la formula semplificata per il calcolo diretto della distanza  $R_0$  dall'asse della linea al livello del suolo ( $h=0$ ) oltre la quale l'induzione magnetica scende al di sotto del valore di  $3 \mu T$  è la seguente:

$$R_0 = \sqrt{0,082 \cdot S \cdot I - d^2} \quad [m] \quad (21)$$

## 6. Risultati

Il calcolo del campo elettrico e magnetico per una stazione elettrica 30/150 kV è stato effettuato sulle sbarre a 150 kV all'interno dell'area di stazione e sulle sbarre a 30 kV dei quadri in MT localizzati anch'essi all'interno della recinzione della stazione.

I parametri geometrici ed elettrici utilizzati per il calcolo sulle sbarre a 150 kV risultano i seguenti:

- altezza delle sbarre: 7 m;
- distanza tra le sbarre: 2.2 m;
- valore efficace della corrente delle sbarre: 870 A;
- valore efficace della tensione fra conduttore e terra: 86605 V;

I parametri geometrici ed elettrici utilizzati per il calcolo sulla linea aerea a 150 kV tra SSE TERNA e SSE Utente risultano i seguenti:

- distanza tra i conduttori aerei: 2.2 m;
- valore efficace della corrente delle sbarre: 870 A;
- valore efficace della tensione fra conduttore e terra: 86605 V;

I parametri geometrici ed elettrici utilizzati per il calcolo sulle sbarre a 30 kV risultano, invece, i seguenti:

- altezza delle sbarre: 1.6 m;
- distanza tra le sbarre: 0.37 m;
- valore efficace della corrente delle sbarre: 1250 A;
- valore efficace della tensione fra conduttore e terra: 17321 V.

I parametri geometrici ed elettrici utilizzati per il calcolo sulle linee elettriche interrate a 30 kV risultano, invece, i seguenti:

- profondità di posa, a trifoglio: 1,2 m;
- distanza S tra il centro di due conduttori: 0.06 m;
- valore efficace della corrente massima in transito: 650 A;

Nel caso in esame, applicando la formula (21) di CEI 106-11, si ottiene una DPA pari a:

- 1) conduttori aerei AT di collegamento da SSE TERNA a SSE Utente:  $R'=15$  m dal centro del conduttore mediano;
- 2) sbarre AT SSE Utente:  $R'=14,9$  m dal centro della sbarra mediana;
- 3) sbarre MT SSE Utente:  $R'=7,1$  m dal centro della sbarra mediana,

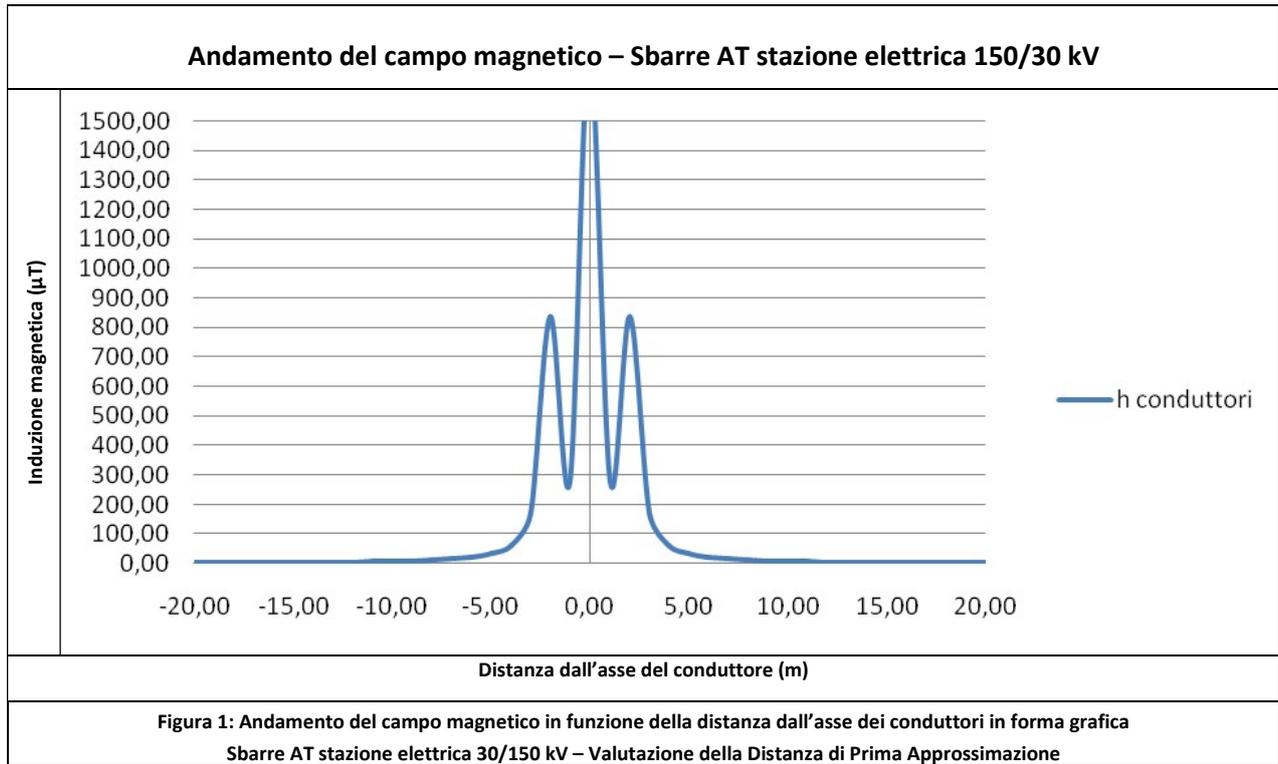
Per la posa dei cavi in media tensione è stata applicata la formula (21) di CEI 106-11, che permette di ottenere la distanza  $R'$  dal centro della terna dei cavi MT oltre la quale la induzione magnetica  $B$  ( $\mu T$ ) è inferiore a  $3 \mu T$ .

L'intera rete elettrica del parco è costituita da linee interrate in cavo tripolare MT, cordato ad elica, tensione di esercizio 30 kV; adottando questa tipologia di cavo, interrato ad una profondità non inferiore ad 1m, ai sensi del Decreto 29/05/2008, articolo 3, punto 3.2 dell' allegato costituente parte integrante del decreto stesso, trattandosi di "linee in MT in cavo cordato ad elica (interrate)", queste sono escluse dall'applicazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto di cui al succitato Decreto 29/05/2008.

La tabella che segue riassume i risultati di calcolo eseguiti sulle linee in media tensione.

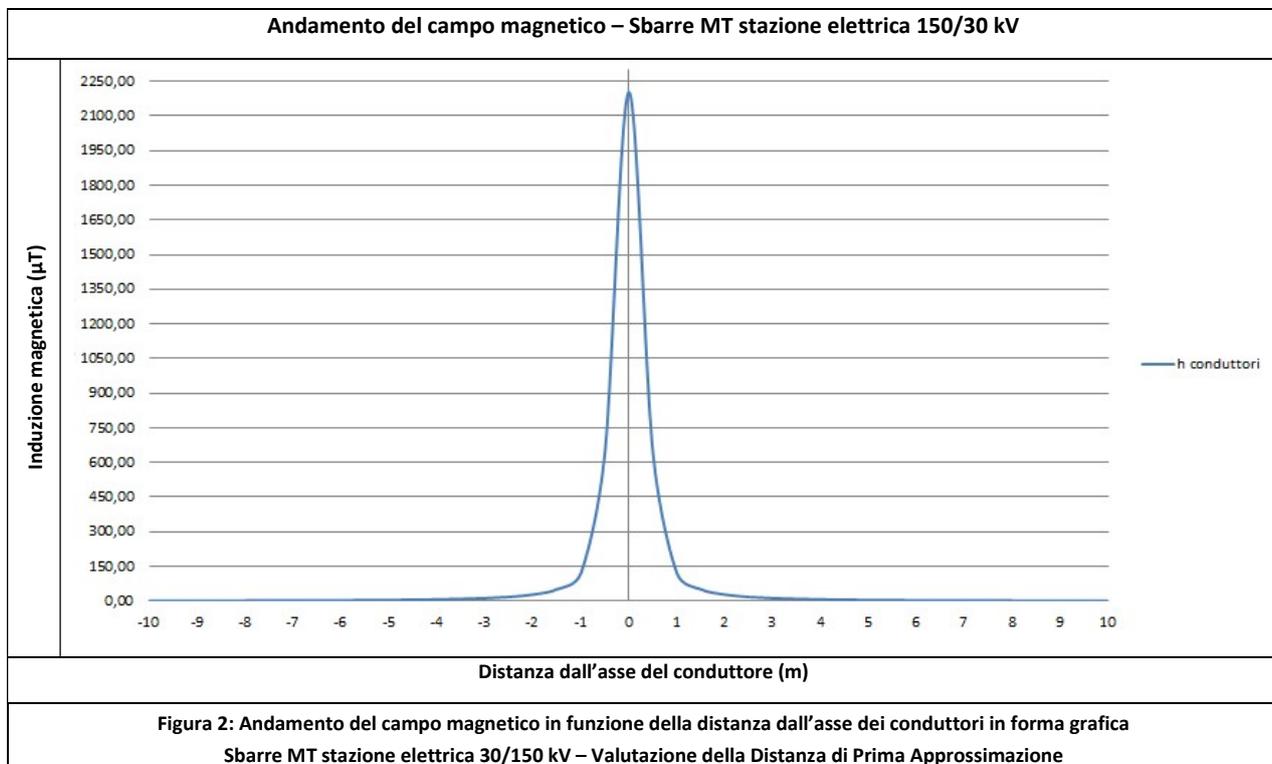
Resistività del terreno 2.0 K*m/W,							
Linee in media tensione	Sezione del cavo ARP1H5 (AR)E 18-30 kV in alluminio	Sezione del cavo ARP1H5 (AR)EX 18-30 kV ad elica in alluminio	Portata I <sub>z</sub>	Profondità di posa	Numero circuiti	Distanza R' oltre la quale l'induzione magnetica B assume un valore minore di 3 μT	Distanza R <sub>0</sub> dall'asse della linea al livello del suolo oltre la quale l'induzione magnetica B assume un valore minore di 3 μT
Linea 1 Cabina smistamento Campo Nord	3x400 mmq		378 A	1,2 m	3	1,71 m	1,32 m
Linea 2 Cabina smistamento Campo Nord	3x400 mmq		378 A	1,2 m	3	1,71 m	1,32 m
Linea 1 Cabina smistamento Campo Sud	2(3x630) mmq		986 A	1,2 m	3	2,17 m	1,65 m
Linea 2 Cabina smistamento Campo Sud	2(3x630) mmq		986 A	1,2 m	3	2,17 m	1,65 m
Cabine 1-2 Campo Nord		3x240 mmq	318 A	1,2 m	1	1,61 m	1,26 m
Cabina 2 Campo nord		3x120 mmq	232 A	1,2 m	1	1,61 m	1,26 m
Cabina 3 Campo nord		3x240 mmq	318 A	1,2 m	1	1,61 m	1,26 m
Cabine 1-2 Campo Sud		3x240 mmq	318 A	1,2 m	1	1,61 m	1,26 m
Cabina 2 Campo Sud		3x120 mmq	232 A	1,2 m	1	1,61 m	1,26 m
Cabine 3-4 Campo Sud		3x240 mmq	318 A	1,2 m	1	1,61 m	1,26 m
Cabina 4 Campo Sud		3x120 mmq	232 A	1,2 m	1	1,61 m	1,26 m
Cabine 5-6 Campo Sud		3x240 mmq	318 A	1,2 m	1	1,61 m	1,26 m
Cabina 6 Campo Sud		3x120 mmq	232 A	1,2 m	1	1,61 m	1,26 m
Cabina 7 Campo Sud		3x120 mmq	232 A	1,2 m	1	1,61 m	1,26 m

Pertanto, tutti i valori di induzione magnetica, misurati ad 1 m dal suolo e quindi a 2,2 m dal centro dei conduttori, risultano essere entro i parametri di qualità di 3 μT sopra esposti.



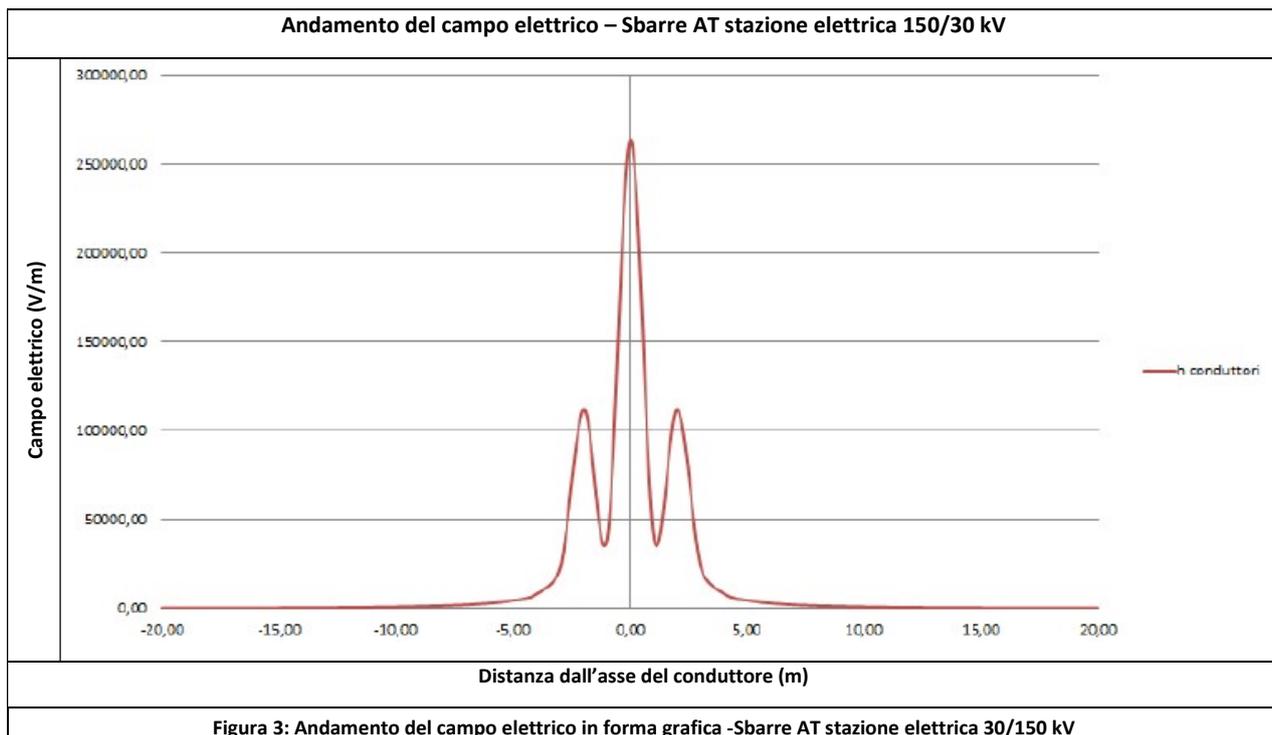
Valutazione Distanza di prima approssimazione			
Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [μT]	Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [μT]
-20	1,68	1	277,17
-19	1,87	2	835,8
-18	2,08	3	171,7
-17	2,34	4	62,23
-16	2,65	5	33,91
-15	2,96	6	21,74
-14	3,48	7	15,26
-13	4,06	8	11,35
-12	4,79	9	8,79
-11	5,75	10	7,02
-10	7,02	11	5,75
-9	8,79	12	4,79
-8	11,35	13	4,06
-7	15,26	14	3,48
-6	21,74	15	2,96
-5	33,91	16	2,65
-4	62,23	17	2,34
-3	171,7	18	2,08
-2	835,8	19	1,87
-1	277,17	20	1,68
0	1741,79		

**Tabella 3: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall’asse dei conduttori in forma tabellare – Sbarre AT stazione elettrica 30/150 kV – Valutazione della Distanza di Prima Approssimazione**



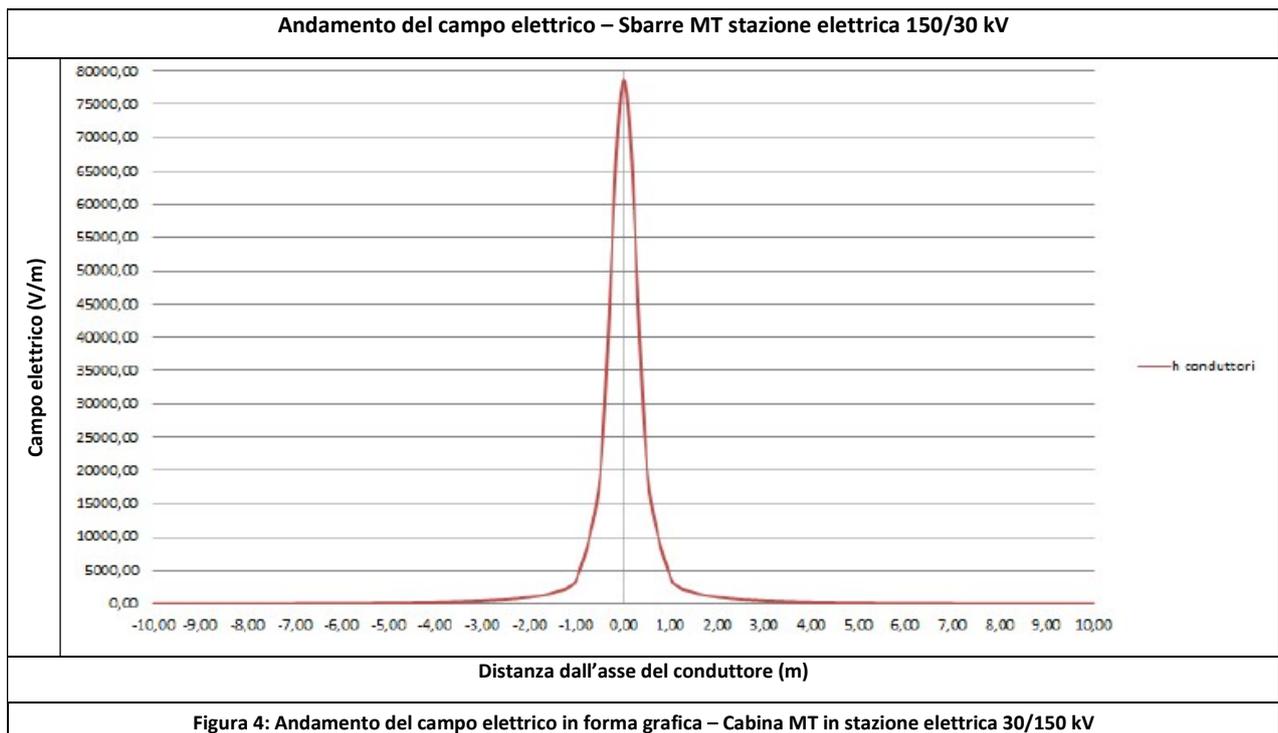
Distanza dall’asse [m]	Valori di campo magnetico [µT]
	Altezza conduttori
-10,00	1,10
-9,00	1,36
-8,00	1,72
-7,00	2,25
-6,00	3,07
-5,00	4,42
-4,00	6,93
-3,00	12,37
-2,00	28,20
-1,00	121,25
0,00	2203,17
1,00	121,25
2,00	28,20
3,00	12,37
4,00	6,93
5,00	4,42
6,00	3,07
7,00	2,25
8,00	1,72
9,00	1,36
10,00	1,10

**Tabella 4: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall’asse dei conduttori in forma tabellare grafica Sbarre MT stazione elettrica 150/30 kV – Valutazione della Distanza di Prima Approssimazione**



Distanza dall'asse [m]	Valori di campo elettrico [V/m]
	Altezza conduttori
0	263460,50
1	39261,50
2	112013,90
3	22797,40
4	8360,50
5	4645,20
6	3040,60
7	2173,40
8	1640,30
9	1283,90
10	1031,40
11	844,70
12	702,40
13	591,20
14	502,60
15	431,10
16	372,50
17	324,00
18	283,60
19	249,50
20	220,70

**Tabella 5: Andamento del campo elettrico in forma tabellare – Sbarre AT stazione elettrica 150/30 kV**



Distanza [m]	dall'asse	Valori di campo magnetico [ $\mu$ T]
		Altezza conduttori
0,00		78925,50
0,50		19701,50
1,00		3846,20
1,50		1714,70
2,00		983,20
2,50		632,90
3,00		435,50
3,50		313,50
4,00		233,60
4,50		178,90
5,00		140,20
5,50		112,10
6,00		91,20
6,50		75,40
7,00		63,10
7,50		53,50
8,00		45,80
8,50		39,70
9,00		34,60
9,50		30,40
10,00		27,00

**Tabella 6: Andamento del campo elettrico in forma tabellare – Cabina MT in stazione elettrica 30/150 kV**

Come si evince dalla simulazione del calcolo, dalle figure 1 e 2 e dalle relative tabelle, sia i valori di campo magnetico ad altezza conduttori sia quelli ad 1 m dal suolo restano al di sotto dei  $3 \mu\text{T}$  ad una distanza di circa 15 m dall'asse delle sbarre in AT e 7 m circa dal confine della cabina MT della stazione 30/150 kV.

Riguardo al campo elettrico, dai risultati delle simulazioni (figure 3 e 4 e relative tabelle), si ottengono valori di intensità inferiore ai limiti di 5000 V/m imposti dalla normativa a soli 5 m dalle sbarre in AT ed 1 m da quelle in MT. In figura 5, si rappresenta la DPA all'interno della stazione di utenza 30/150 kV.

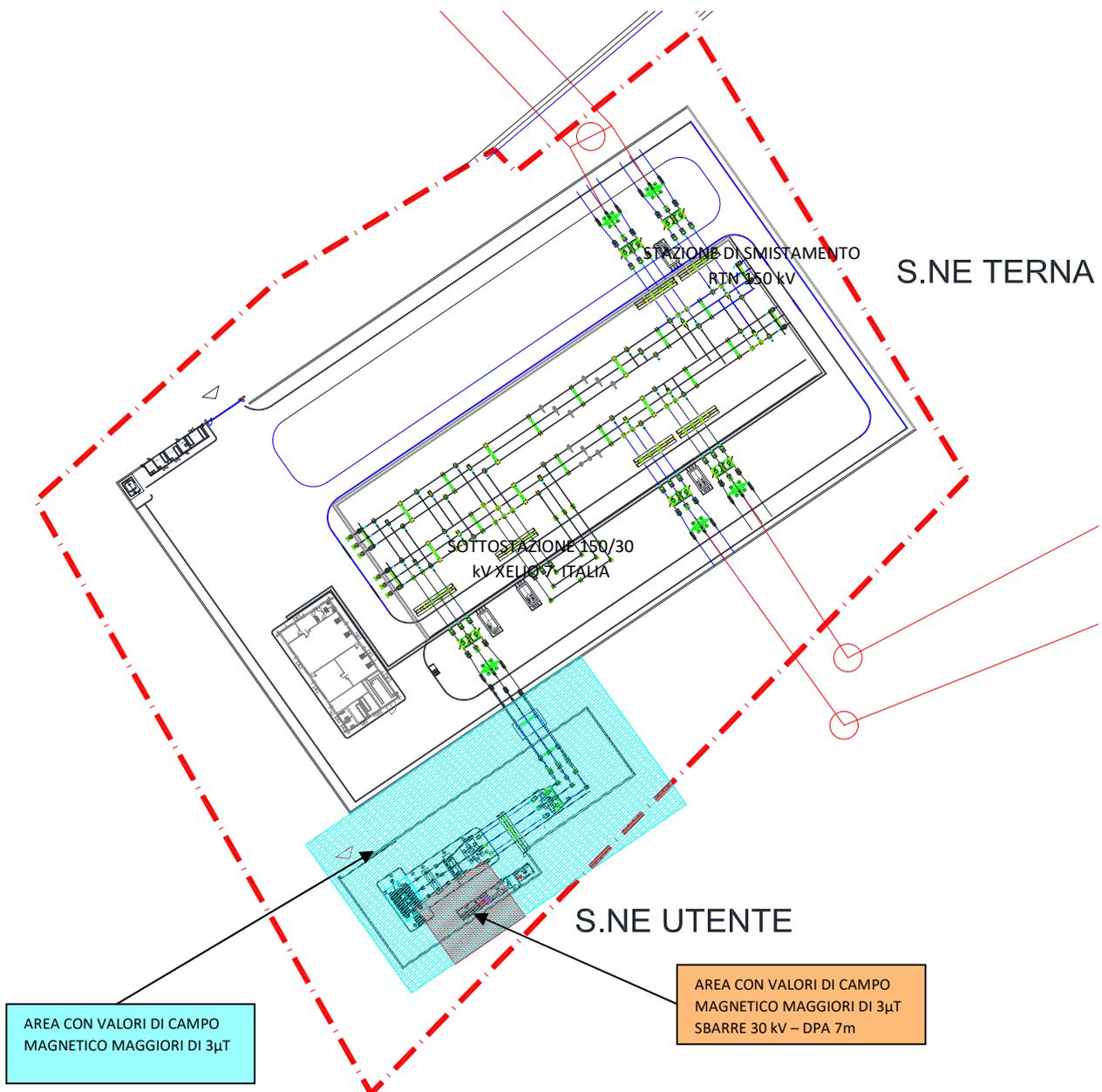


Figura 5: Rappresentazione grafica delle DPA della stazione d'utenza 30/150 kV Orta Nova

## 7. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DA PARCO FOTOVOLTAICO

Le principali componenti del parco fotovoltaico che risultano essere fonte di campi elettromagnetici sono le Power Station, al cui interno è presente un trasformatore MT/BT e gli inverter.

Le sorgenti operano con correnti e tensioni di esercizio tali che i campi elettromagnetici prodotti risultano estinti nell'arco di pochi metri dalle sorgenti. Considerato inoltre il sito di installazione, all'interno del parco fotovoltaico e molto distanti dal perimetro dello stesso, ne consegue che ai fini della verifica del rispetto dell'obiettivo di qualità su possibili recettori, si possa considerare nullo l'effetto di tali sorgenti.

Per quanto riguarda gli inverter, il progetto prevede l'utilizzo di prodotti conformi alla normativa CEM, ed in particolare alle norme EN 61000-6-1, EN 61000-6-2, EN 61000-6-4, EN 61000-3-11, EN 61000-3-12, EN 62109-1, EN 62109-2, EN 62103, EN 50178, FCC Part15, AS 3100.

Inoltre, la struttura metallica entro la quale tali apparecchiature sono collocate, funge da ulteriore schermatura per i campi elettrici, attenuandone ulteriormente l'intensità.

A maggior tutela, si ricorda le Power Station sono poste, rispetto alle abitazioni e agli edifici civili in cui vi sia una permanenza prolungata, ad una distanza tale da poter considerare l'entità dei campi elettromagnetici generati assolutamente insignificante.

### 7.1. Power Station

Relativamente alle Power Station, assimilabili a cabine secondarie di trasformazione, sono state individuate le distanze di prima approssimazione secondo quanto indicato dalle linee guida ENEL e dalle formule di calcolo contenute nel par. 5.2.1 dell'allegato al DM 29/05/2008.

In particolare, la DPA è intesa come la distanza da ciascuna delle pareti della cabina secondaria, 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 del cavo (x), ossia conduttore più isolante.

La relazione da applicare è la seguente:

Considerando il trasformatore in progetto della taglia di 6560 KVA, il valore di I da prendere in considerazione è pari a circa 6012 A alla tensione di 630 V.

Supponendo per i cavi in uscita dal trasformatore la sezione  $300 \text{ mm}^2$ , con più conduttori in parallelo, tipologia cavi FG16R16, 0.6/1 kV, il valore del diametro esterno x risulta essere pari a 33 mm.

Utilizzando tali valori per il calcolo, la DPA risulta essere pari a circa 7,40 m. Pertanto, relativamente alle cabine, viene individuata intorno ad esse una fascia di rispetto pari a 7,40 m da, al di fuori della quale è garantito il rispetto dell'obiettivo di qualità richiesto.

### 7.2. Cabina principale di impianto MTR

Relativamente alle cabine principali di impianto (cabina sottostazione elettrica, cabina di smistamento campo nord, cabina di smistamento campo sud) si osserva che tali cabine sono di smistamento e non di trasformazione.

Pertanto, secondo quanto indicato dalle linee guida ENEL, la DPA (distanza di prima approssimazione) è da considerarsi come quella della linea MT entrante/uscente.

Le linee MT entranti/uscenti in questione sono quelle prese in esame nei capitoli precedenti, per le quali si è calcolata l'ampiezza delle fasce di rispetto.

Pertanto, relativamente alla cabina MTR, si considererà quale fascia di rispetto quella pari a quella derivante dagli elettrodotti in ingresso, con una DPA pari a 2,2 m.

## 8. Conclusioni

La determinazione delle DPA è stata effettuata in accordo al D.M. del 29/05/2008 riportando per ogni opera elettrica la summenzionata DPA. Dalle analisi, i cui risultati sono riassunti nei grafici e tabelle riportati nei paragrafi precedenti si può desumere quanto segue:

- per la stazione elettrica 30/150 kV, la distanza di prima approssimazione è stata valutata in  $\pm 15$  m per le sbarre in alta tensione (150 kV) e 7 m per le sbarre in media tensione (30 kV) della cabina utente;
- per i cavidotti del collegamento interno in media tensione dei due campi fotovoltaici la distanza di prima approssimazione non eccede il range di  $\pm 2,2$  m rispetto all'asse del cavidotto;

- per i cavidotti del collegamento esterno in media tensione dei due campi fotovoltaici la distanza di prima approssimazione non eccede il range di  $\pm 2,2$  m rispetto all'asse del cavidotto;
- per l'elettrodotto in alta tensione la distanza di prima approssimazione non eccede il range di  $\pm 15$  m rispetto al centro del conduttore mediano.

I valori di campo elettrico risultano rispettare i valori imposti dalla norma ( $<5000$  V/m) in quanto le aree con valori superiori ricadono all'interno delle cabine MT ed all'interno della stazione elettrica il cui accesso è consentito al solo personale autorizzato. Tutte le aree summenzionate delimitate dalla DPA ricadono all'interno di aree asservite all'impianto fotovoltaico, dove non sono presenti recettori sensibili ovvero aree di gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici, luoghi adibiti a permanenza di persone per più di quattro ore giornaliere.

Si può quindi concludere che la realizzazione delle opere elettriche per la connessione alla rete dell'impianto fotovoltaico di proprietà della società XELIO 7 Italia S.r.l, da ubicare nel comune di Orta Nova, in provincia di Foggia, non costituiscono pericolo per la salute pubblica.