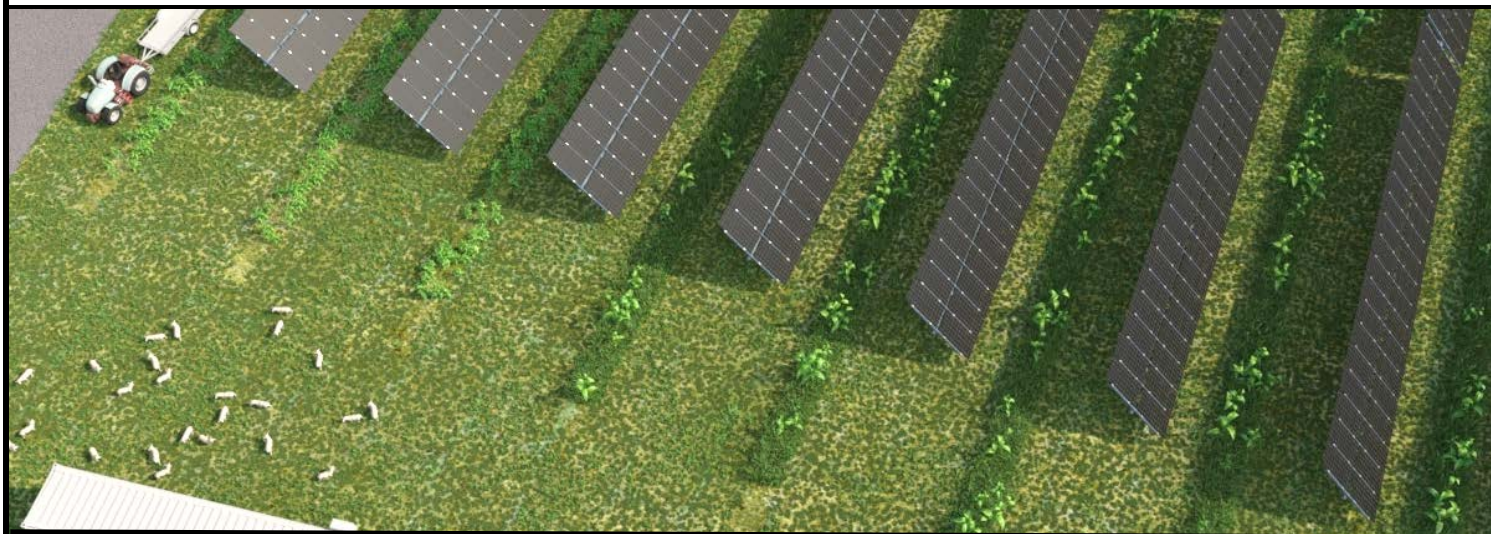


Committente

# X-ELIO+

**X-ELIO ITALIA 4 S.R.L.**  
Corso Vittorio Emanuele II n. 349 - 00186 ROMA  
Tel.+39 06.8412640 - Fax +39 06.8551726  
Partita IVA n° 15361381005



AS S.r.l.: Viale Jonio 95 - 00141 Roma - [info@architetturasostenibile.com](mailto:info@architetturasostenibile.com)

## PROGETTO AGROVOLTAICO "ORDONA"

*Progetto per la realizzazione di un impianto Agrovoltaiico di potenza pari a 63,623 MWp e relative opere di connessione alla RTN*

Località

**REGIONE PUGLIA – COMUNE DI FOGGIA, ORDONA (FG),  
ASCOLI SATRIANO (FG) E DELICETO (FG)**

Titolo

**RELAZIONE TECNICA CAMPI ELETTROMAGNETICI**

Data di produzione 12/2020

Revisione del 12/2023

Codice elaborato

**AS\_ORD\_R08C**

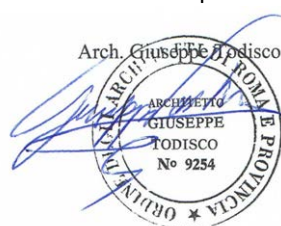
X-ELIO ITALIA S.r.l si riserva tutti i diritti su questo documento che non può essere riprodotto neppure parzialmente senza la sua autorizzazione scritta.

Revisione del .....

Timbro e firma Autore



Timbro e firma Responsabile AS



Timbro e firma Xelio

## Sommario

### Sommario

1. Premessa .....	3
1.1 LINEE ELETTRICHE, CABINE PRIMARIE, CABINE SECONDARIE.....	3
1.2 VERIFICA DI ESPOSIZIONE AL CAMPO ELETTROMAGNETICO.....	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 .....	12
4.4 LINEA A 150 kV TRA SSE TERNA E SSE UTENTE .....	13
4.5 LINEE INTERRATE IN CAVIDOTTI A 30 kV TRA SSE UTENTE E SOTTOCAMPI FOTOVOLTAICI.....	14
5. Metodologia di calcolo campo magnetico .....	14
5.1 DEFINIZIONI .....	14
5.2 CENNI TEORICI SUL MODELLO UTILIZZATO .....	14
5.3 METODO DI CALCOLO.....	15
6. Risultati .....	17
7. Conclusioni.....	23

## 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 63,623 MWp, da installare nel comune di Ascoli Satriano (FG) e delle linee elettriche di collegamento tra la SSE Satellite, la SE Utente e la Centrale Fotovoltaica, nei comuni di Foggia e Ortona, della società Xelio Italia 4 S.r.l.

L'impianto fotovoltaico in progetto prevede la condivisione dello stallo di consegna in AT della futura Stazione Elettrica RTN "Xelio 4", che verrà realizzata come satellite della Stazione elettrica TERNA di Deliceto alimentata a 380/150 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 (elettrodotti), nel settore domestico (telefoni cellulari, elettrodomestici), nel settore industriale e medico.

Gli impianti di telecomunicazione e gli elettrodotti 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 elettrodotti), che comprendono anche le stazioni e le cabine di trasformazione.

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

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

Le caratteristiche principali di un elettrodotto 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- 380 V e 220 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 di esposizione al campo elettromagnetico

La verifica che gli elettrodotti generano un campo elettrico ed un campo magnetico che non superano il 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). Il calcolo esatto della fascia di rispetto, è 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 isolinea 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".

- Norma CEI 211-4: Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche;
- Norma CEI 211-6: Guida per la misura e la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz ÷10 kHz.

### 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 radio base, 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).

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.

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

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

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

**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**

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.



**Figura 1: Ortofoto con macro area impianto**

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 (Xelio 4) 30/150 kV;
- i 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 (Xelio 4) 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.).

**Fig. 2: Ortofoto co posizione della Centrale FV Ortona, dei cavidotti MT (linea rossa) e della Stazione elettrica 380/150 kV "Deliceto", di TERNA**

#### 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.



**Fig. 3: Stazioni elettriche Deliceto, Satellite, SE Utente e tracciato del cavidotto proveniente dalla Centrale FV Ortona**



Figura 4: Inquadramento SE Utente e linee di media tensione interrate verso la centrale FV Ortona

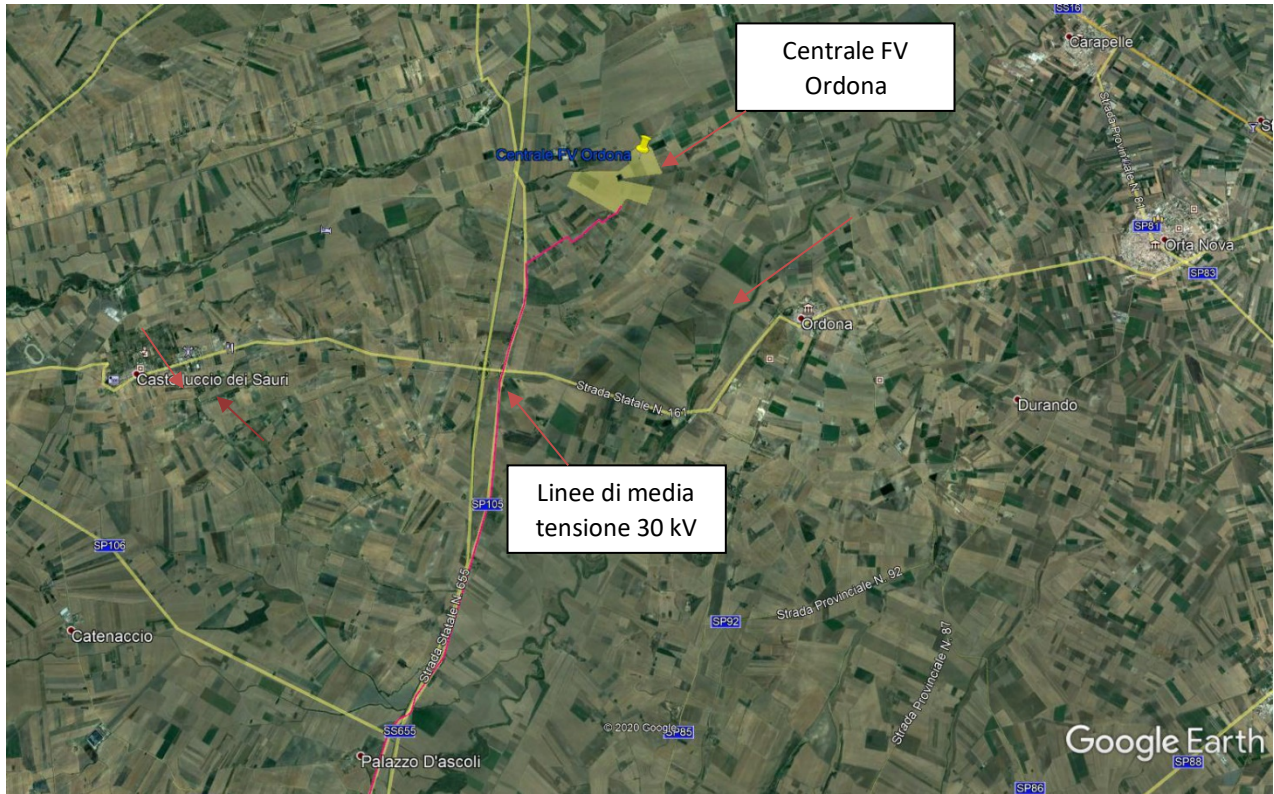


Figura 5: Inquadramento impianto fotovoltaico "Ortona" e linee di media tensione interrate verso la SSE Utente

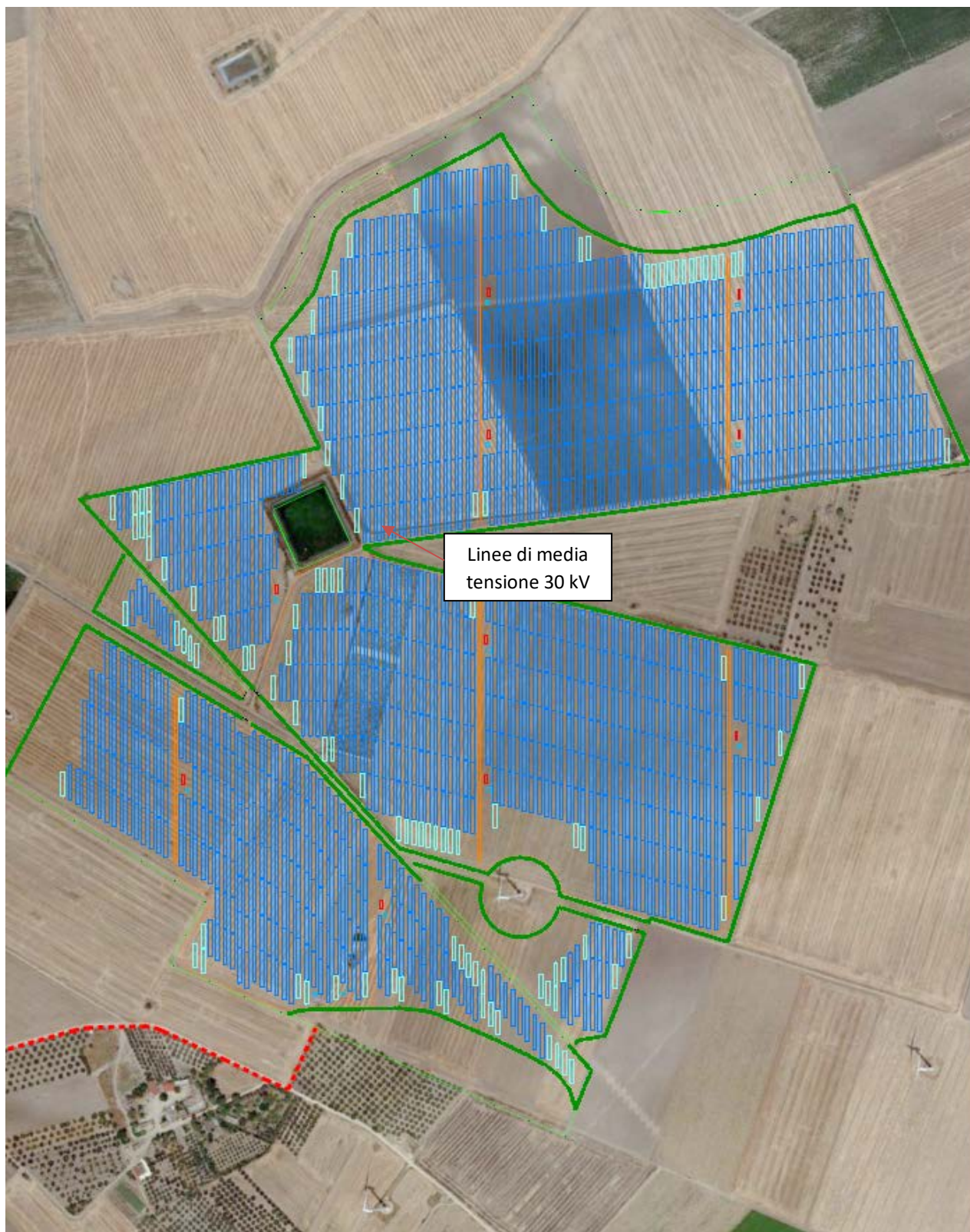
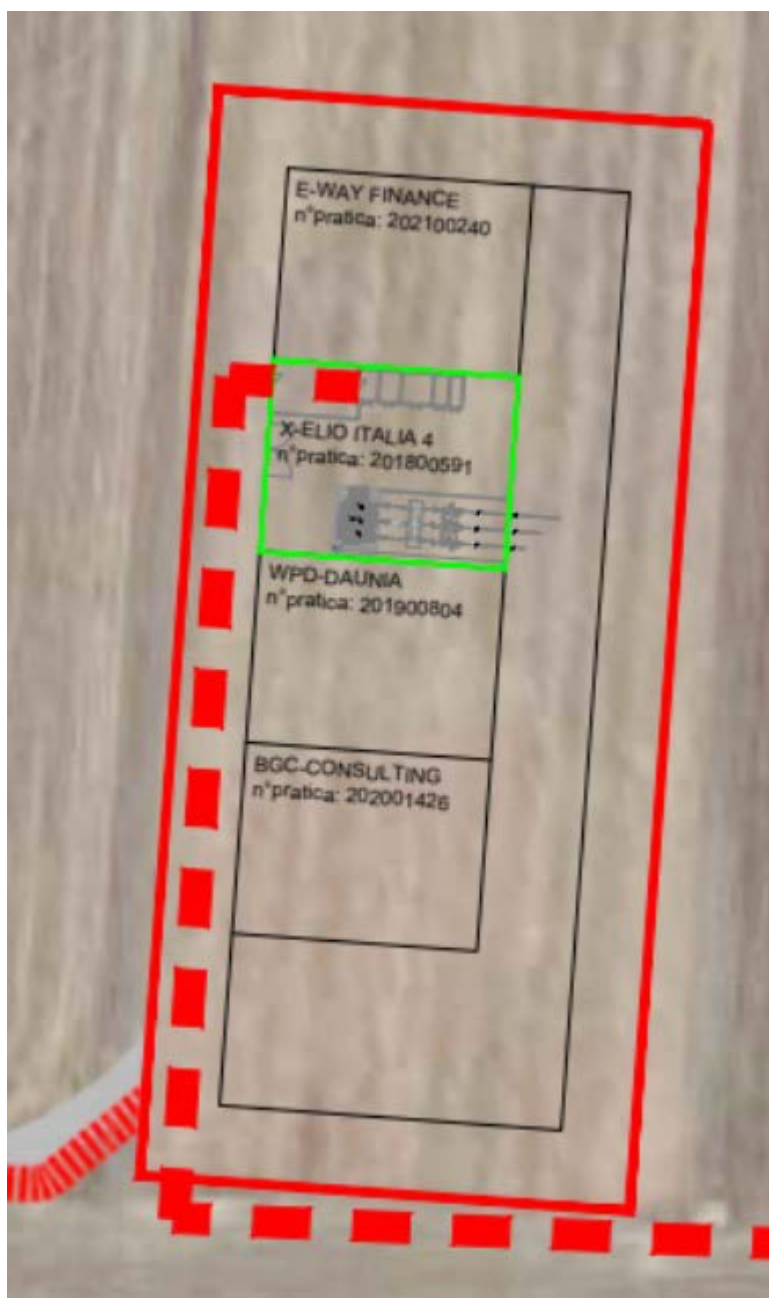
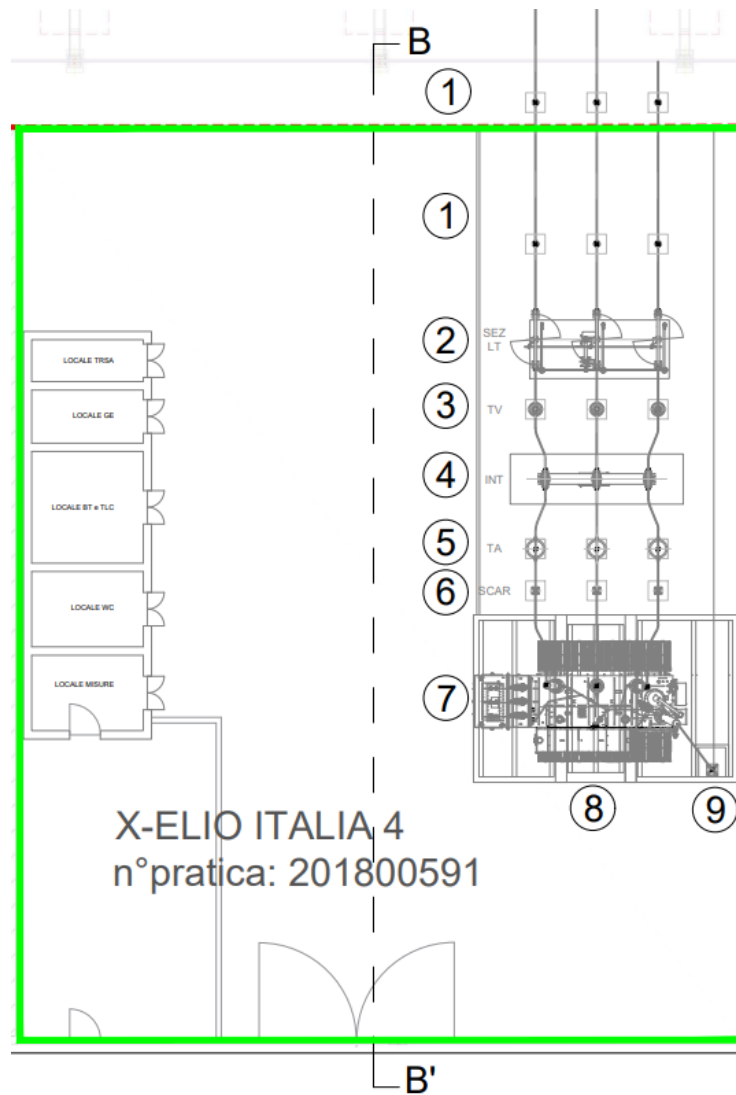


Figura 6: Impianto Agrivoltaico "Ortona"



**Figura 7: visione d'insieme della futura SSE di condominio che collegherà tre utenti AT tra cui Xelio 4 alla SSE Deliceto a 150 kV**



**Figura 8: SSE Xelio 4**

TERM CAVO	Terminali cavo di alta tensione a 150 kV
SCAR	Scaricatori a 170 kV
SEZ LT	Sezionatore di linea
TV	Trasformatori voltmetrici
INT	Interruttore automatico 170 kV
TA	Trasformatori amperometrici
IS	Isolatori
TR AT/MT	Trasformatore 150/30 kV 80 MVA

#### 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, oltre altri locali di servizio indicati nella figura 8.

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

Il collegamento fra la SSE Xelio 4 e la SSE di utenza avverrà attraverso un collegamento aereo in conduttore nudo Al-Acc, tensione di esercizio 150 kV, con un'unica catenaria di collegamento fra i due portali di sostegno, per una lunghezza complessiva della linea pari a circa 8 m.

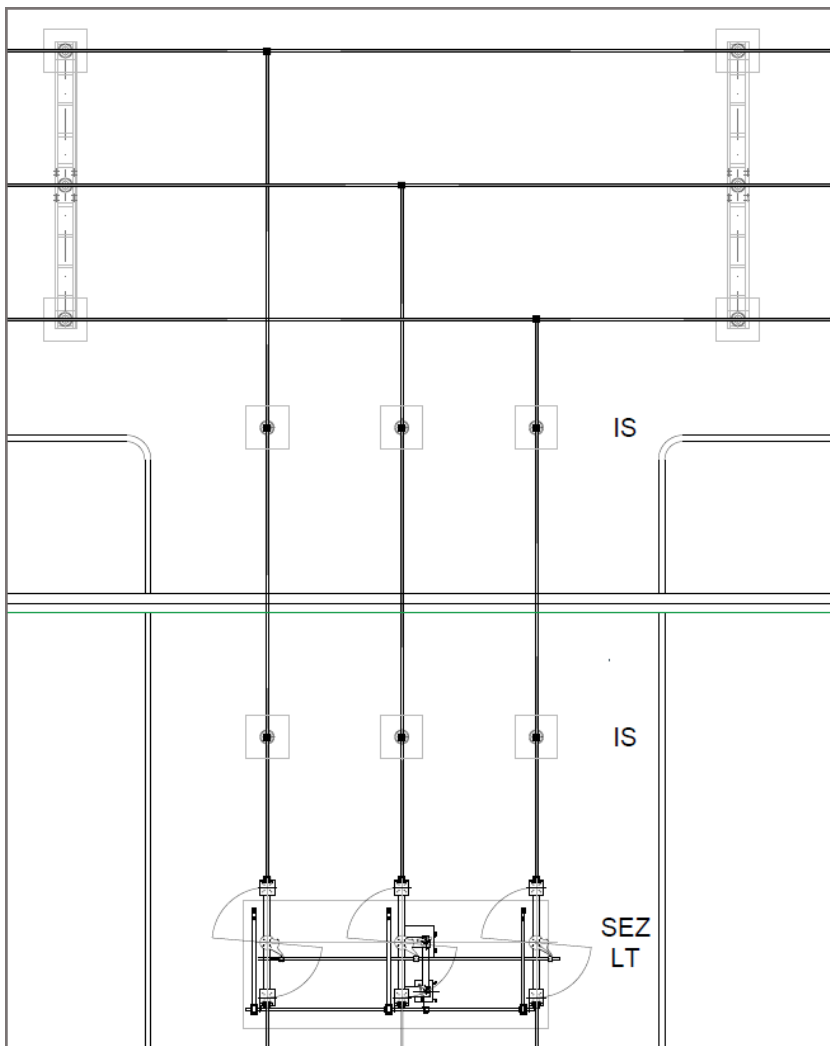


Figura 9: collegamento in alta tensione tra la SE Xelio 4 e la SSE di condominio

#### 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 media di 1,2 m dal suolo e collegherà il trasformatore 150/30 kV alla cabina di media tensione della SSE, la cabina della SSE alle due cabine di smistamento CSM-CN e CSM-CS e queste ultime a cinque cabine di trasformazione del campo SUD e cinque cabine di trasformazione del campo NORD. I percorsi dei cavidotti saranno realizzati in parte all'interno dei campi fotovoltaici, in parte su strade pubbliche.

La distanza tra la SSE Utente e la Centrale Fotovoltaica Ortona sarà di circa 20 km.

## 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 **P<sub>k</sub>** il punto dove il generico conduttore **C<sub>k</sub>** interseca la sezione normale, e con **I<sub>k</sub>** 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  $B$  [PT] 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 ( $S_{AB}$ ,  $S_{BC}$ ,  $S_{AC}$ ).

### 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÷1,8 m. I cavi possono essere posati in piano distanziati di circa 0,15m, 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÷1,2 m e disposti prevalentemente a “trifoglio” o in piano, a contatto o distanziati di circa 0,10÷0,25 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 spaziati 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:

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

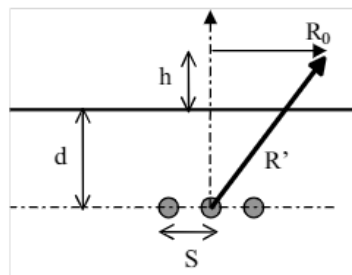


Figura 11 – Schema di principio per il calcolo delle distanze da terne di cavi interrati con posa in piano oltre le quali l'induzione magnetica è inferiore all'obiettivo di qualità (d è la profondità del centro del conduttore)

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:

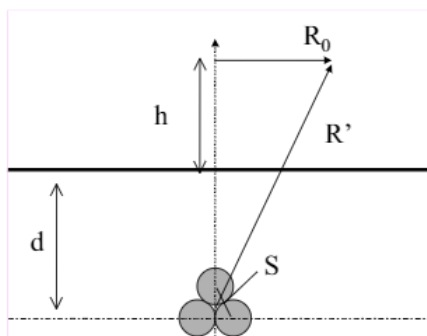
$$R_0 = \sqrt{R'^2 - d^2} \quad [m] \quad R_0 = \sqrt{0,115 \cdot S \cdot I - d^2} \quad [m] \quad (19)$$

#### 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 le linee aeree con conduttori a triangolo



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



**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:*

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

## 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: 86.605 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: 870 A;
- valore efficace della tensione fra conduttore e terra: 86.605 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: 17.321 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:  $d=1,2$  m;
- distanza  $S$  tra il centro di due conduttori: 0.1 m;

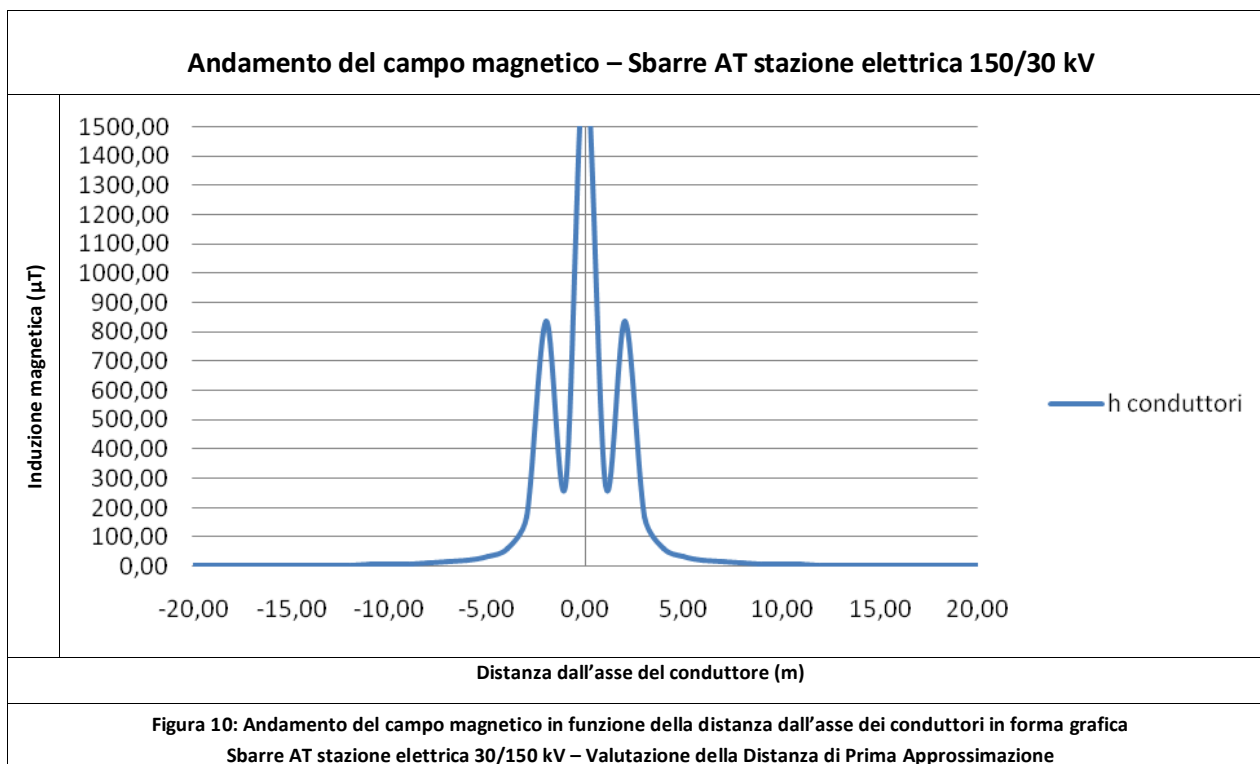
- valore efficace della corrente massima in transito (corrente nel cavo MT dalla cabina di smistamento della sottostazione alla cabina di smistamento del campo sud nelle condizioni più onerose):  $I=568$  A;

Nel caso in esame, applicando le formule (7) e (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;
- 4) cavi MT in posa interrata, a trifoglio, nelle condizioni più onerose:  $R_0=2,37$  m (vedi tabella sotto)

Cavi ARP1H5(AR)EX 18-30 kV ad elica in alluminio, resistività 2.0 K*m/W e ARP1H5(AR)E 18-30 kV unipolare in alluminio, resistività 2.0 K*m/W											
Linee in media tensione			Sezione del cavo		Portata Iz, in A	Profondità di posa "d", in m	Numero circuiti	S (distanza tra centro e centro di due conduttori adiacenti nel collegamento a trifoglio)	Distanza R' oltre la quale l'induzione magnetica B assume un valore minore di 3 μT, in mn	Distanza R <sub>0</sub> dall'asse della linea al livello del suolo oltre la quale l'induzione magnetica B < 3 μT, in m	LUNGHEZZA CAVI [m]
	da	a							0,286	0,082	
Linea 1 MT da trafo 150/30 kV a CSS-SE	Trafo AT/MT	CSS-SE	3(1x630) mmq	ARP1H5(AR)E	429	1,2	2	0,1	1,87	1,44	50
Linea 2 MT da trafo 150/30 kV a CSS-SE	Trafo AT/MT	CSS-SE	3(1x630) mmq	ARP1H5(AR)E	429	1,2	2	0,1			50
Linea 3 MT da trafo 150/30 kV a CSS-SE	Trafo AT/MT	CSS-SE	3(1x630) mmq	ARP1H5(AR)E	429	1,2	2	0,1			50
Linea 4 MT da trafo 150/30 kV a CSS-SE	Trafo AT/MT	CSS-SE	3(1x630) mmq	ARP1H5(AR)E	429	1,2	2	0,1	1,87	1,44	50
Linea 1 Cabina smistamento Campo Nord	SSE Xelio 4	CSM-CN	2(3(1x630)) mmq	ARP1H5(AR)E	858	1,2	2	0,1	2,65	2,37	21000
Linea 2 Cabina smistamento Campo Nord	SSE Xelio 4	CSM-CN	2(3(1x300)) mmq	ARP1H5(AR)E	858	1,2	2	0,1	2,65	2,37	21000
Linea 1 Cabina smistamento Campo Sud	SSE Xelio 4	CSM-CS	2(3(1x630)) mmq	ARP1H5(AR)E	858	1,2	3	0,1	2,65	2,37	21000
Linea 2 Cabina smistamento Campo Sud	SSE Xelio 4	CSM-CS	2(3(1x300)) mmq	ARP1H5(AR)E	858	1,2	3	0,1	2,65	2,37	21000
Linea A Campo Nord	CSM-CN	C1CN	3x300 mmq	ARP1H5(AR)EX	303	1,2	3	0,1	1,57	1,02	700
Linea B Campo Nord	CSM-CN	C2CN	3x300 mmq	ARP1H5(AR)EX	303	1,2	3	0,1	1,57	1,02	1100
Linea B Campo Nord	C2CN	C3CN	3x120 mmq	ARP1H5(AR)EX	180	1,2	3	0,1	1,21	0,19	250
Linea C Campo Nord	CSM-CN	C4CN	3x300 mmq	ARP1H5(AR)EX	303	1,2	3	0,1	1,57	1,02	1350
Linea C Campo Nord	C4CN	C5CN	3x120 mmq	ARP1H5(AR)EX	180	1,2	3	0,1	1,21	0,19	200
Linea D Campo Sud	CSM-CS	C1CS	3x300 mmq	ARP1H5(AR)EX	303	1,2	3	0,1	1,57	1,02	220
Linea D Campo Sud	C1CS	C2CS	3x120 mmq	ARP1H5(AR)EX	180	1,2	3	0,1	1,21	0,19	540
Linea E Campo Sud	CSM-CS	C3CS	3x300 mmq	ARP1H5(AR)EX	303	1,2	3	0,1	1,57	1,02	540
Linea E Campo Sud	C3CS	C4CS	3x120 mmq	ARP1H5(AR)EX	180	1,2	3	0,1	1,21	0,19	220
Linea F Campo Sud	CSM-CS	C5CS	3x120 mmq	ARP1H5(AR)EX	180	1,2	3	0,1	1,21	0,19	1000

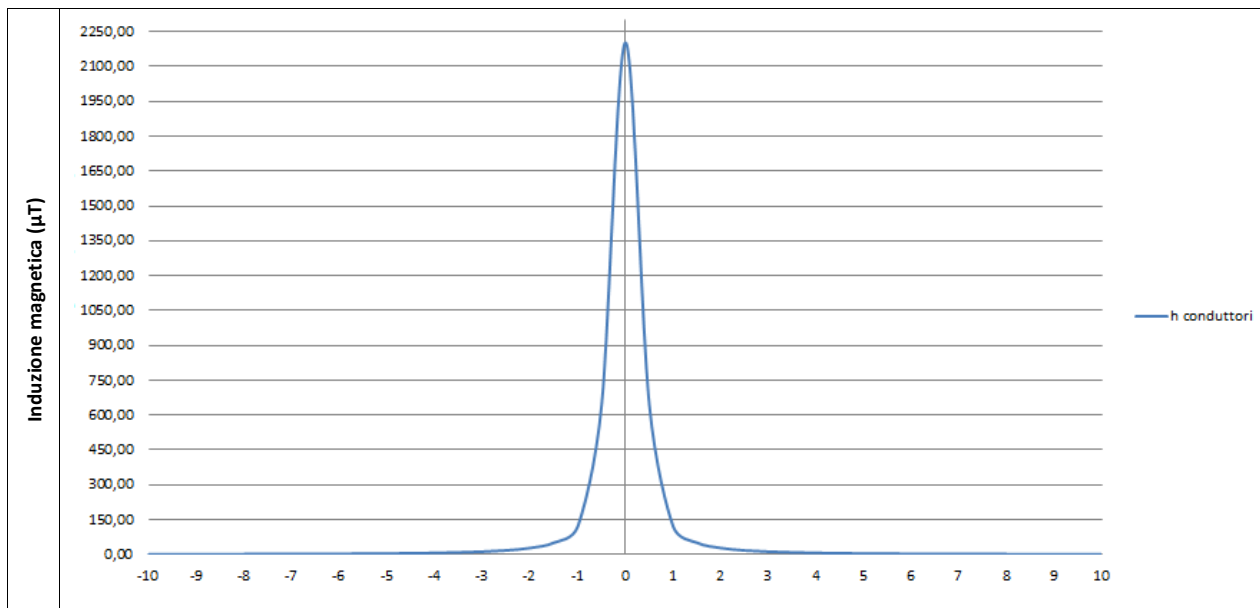
Tabella 3: Distanza R' e distanza R<sub>0</sub> delle linee interrate in media tensione



Valutazione Distanza di prima approssimazione			
Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [ $\mu$ T]	Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [ $\mu$ T]
-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 4: 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**

Andamento del campo magnetico – Sbarre MT stazione elettrica 150/30 kV



Distanza dall'asse del conduttore (m)

**Figura 11: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica  
Sbarre MT 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 5: 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**

**Andamento del campo elettrico – Sbarre AT stazione elettrica 150/30 kV**

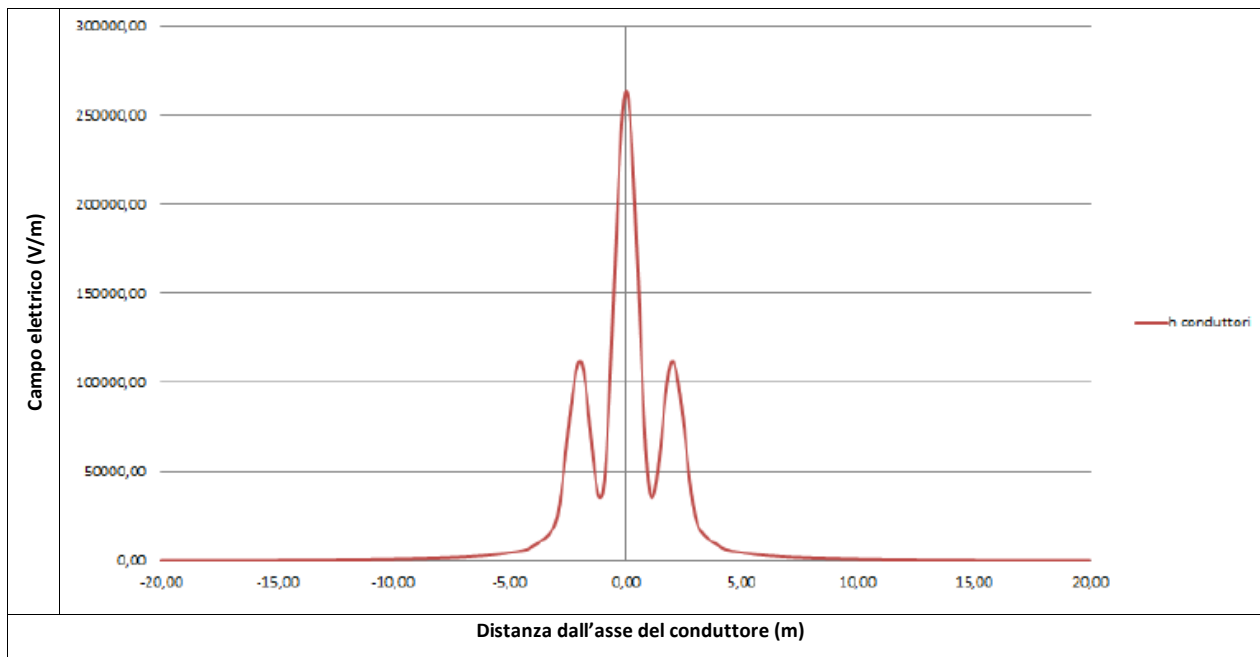


Figura 12: Andamento del campo elettrico in forma grafica -Sbarre AT stazione elettrica 30/150 kV

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

Andamento del campo elettrico – Sbarre MT stazione elettrica 150/30 kV

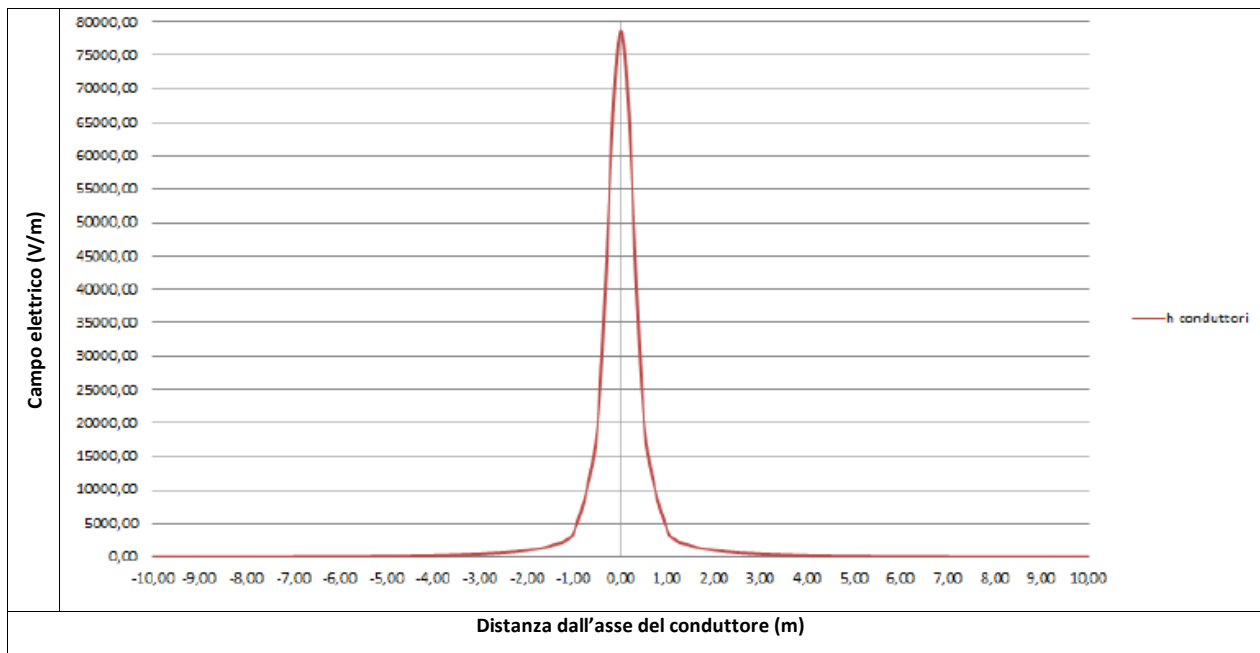


Figura 13: Andamento del campo elettrico in forma grafica – Cabina MT in stazione elettrica 30/150 kV

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

Come si evince dalla simulazione del calcolo, dalle figure 6 e 7 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  $\mu$ 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 8 e 9 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 10, si rappresenta la DPA all'interno della stazione di utenza 30/150 kV.

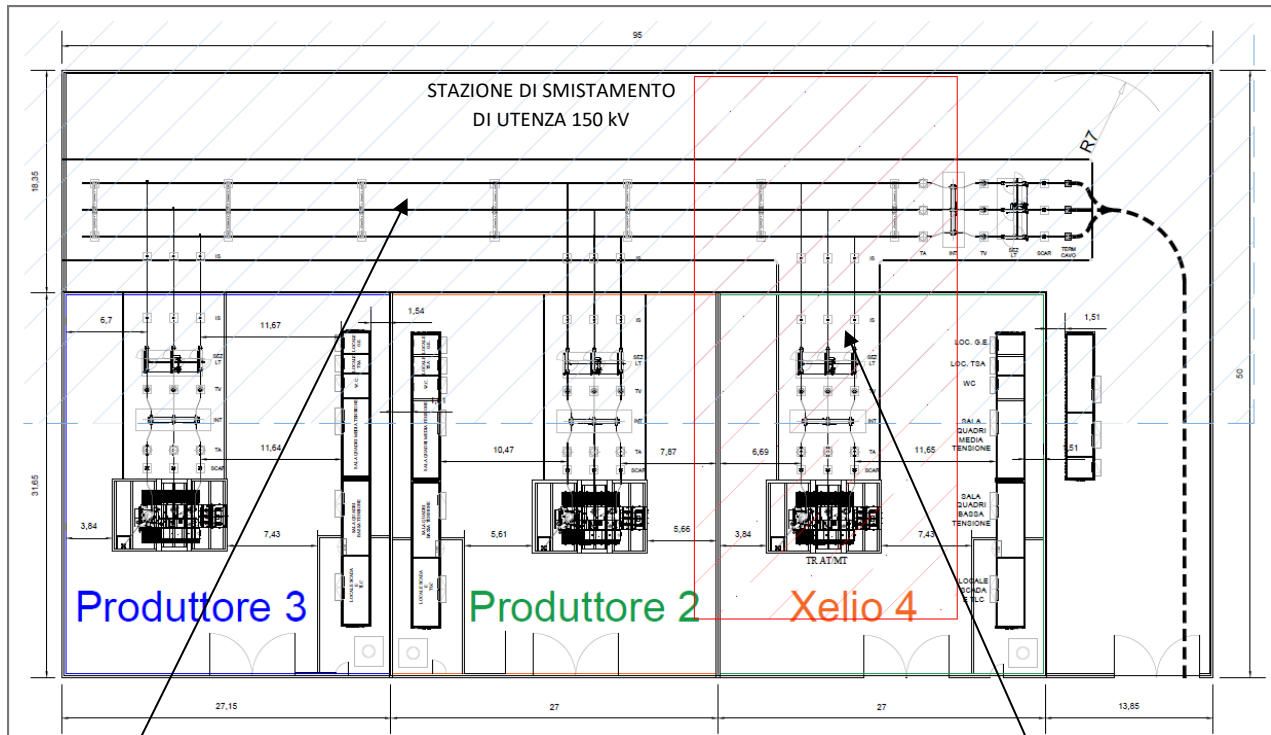


Figura 14: Rappresentazione grafica delle DPA della stazione d'utenza 30/150 kV

AREA CON VALORI DI CAMPO MAGNETICO MAGGIORI DI 3μT  
SBARRE 150 kV – Ib=924 A -  
DPA 15,32 m  
SBARRE

AREA CON VALORI DI CAMPO MAGNETICO MAGGIORI DI 3μT  
SBARRE 150 kV – Ib=308 A -  
DPA 8,85 m

$R' = 0,34 \cdot \sqrt{S \cdot I}$	
R'	DPA (m)
S	2,2 m
I	308-924 A

## 7. Conclusioni

La determinazione delle DPA è stata effettuata in accordo al D.M. del 29/05/2008 riportando 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 condominiale 30/150 kV, la distanza di prima approssimazione è stata valutata in ± 15,3 m per le sbarre in alta tensione (150 kV) comuni ai tre utenti;
- per la stazione elettrica Xelio 4 30/150 kV, la distanza di prima approssimazione è stata valutata in ± 8,85 m per le sbarre in alta tensione (150 kV) e 6,6 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 R' non eccede il range di ± 1,57 m rispetto all'asse del cavidotto;
- per i cavidotti del collegamento esterno in media tensione dei due campi fotovoltaici la distanza di prima approssimazione R' non eccede il range di ± 2,67 m rispetto all'asse del cavidotto;
- per l'elettrodotto in alta tensione la distanza di prima approssimazione non eccede il range di ±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, all'interno delle quali non risultano 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 4 Italia S.r.l, da ubicare nel comune di Ortona, non costituiscono pericolo per la salute pubblica.