

Regione Sicilia



Comune di Calatafimi Segesta



Provincia di Trapani



Comune di Gibellina



**Progetto di un impianto agrivoltaico avanzato denominato "Làgani", una potenza complessiva pari a 70,365 MWp integrato con un sistema di accumulo della potenza di 10 MW, da realizzarsi nei Comuni di Calatafimi Segesta (TP) e Gibellina (TP)**

## PROGETTO DEFINITIVO

DELL'IMPIANTO DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI

CODICE ELABORATO

**GOSO\_CLT\_008\_R\_00**

TITOLO ELABORATO

**RELAZIONE SULL'IMPATTO  
ELETTROMAGNETICO**

Proponente:

**GO-SOLE**

GO-SOLE S.r.L.

Piazza del Grano 3  
39100 Bolzano (BZ)  
go-sole@legalmail.it

CF/P.IVA 03225430218

Progettazione



Progettista

Dr. Geol. Michele Ognibene



Dr. Ing. Daniele Cavallo

REVISIONI	N.	Data	Descrizione revisione	Redatto	Controllato	Approvato
		00	28.08.2024	DEFINITIVO PER CONSEGNA VIA/AU	R.CAVALLO	D.CAVALLO

<b>1. OGGETTO E SCOPO .....</b>	<b>3</b>
<b>2. DATI GENERALI .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Dati del Proponente.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Località di realizzazione dell'intervento .....</b>	<b>4</b>
<b>2.3. Destinazione d'uso.....</b>	<b>4</b>
<b>2.4. Dati catastali .....</b>	<b>4</b>
<b>2.5. Connessione.....</b>	<b>6</b>
<b>3. LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO .....</b>	<b>7</b>
<b>4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>10</b>
<b>5. CENNI DI TEORIA .....</b>	<b>13</b>
<b>5.1. Campi elettrici.....</b>	<b>13</b>
<b>5.2. Campi magnetici .....</b>	<b>15</b>
<b>6. CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI .....</b>	<b>17</b>
<b>6.1. Campi elettromagnetici impianto fotovoltaico.....</b>	<b>17</b>
6.1.1. Moduli fotovoltaici.....	17
6.1.2. Inverter .....	17
6.1.3. Cabine di conversione (Inverter station) .....	17
6.1.4. Cabine MT .....	18
<b>6.2. Campi elettromagnetici cavi mt .....</b>	<b>18</b>
6.2.1. Campi elettrici.....	18
<b>6.3. Campi elettromagnetici delle opere connesse.....</b>	<b>30</b>
6.3.1. Stazione elettrica d'utenza .....	30
6.3.2. Sorgenti specifiche.....	30

## 1. OGGETTO E SCOPO

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto agrivoltaico avanzato, mediante tecnologia fotovoltaica con tracker monoassiale, che la Società proponente – GO-SOLE srl - intende realizzare in agro dei Comuni di Calatafimi Segesta (TP) e Gibellina (TP).

L'impianto avrà una potenza installata di 70.365 kWp e l'energia prodotta verrà immessa sulla rete RTN in alta tensione.

Si evidenzia che sebbene la potenza di picco dell'impianto agrivoltaico in progetto sarà pari a 70.365 kWp, la potenza in immissione sarà di 54,400 kW, inferiore rispetto alla potenza installata di picco in quanto, per l'effetto combinato delle perdite legate alla disposizione geometrica dei pannelli (dovute a ombreggiamento, riflessione), delle perdite proprie dell'impianto (dovute a temperatura, sporco, mismatch, conversione ecc.) e delle perdite di connessione alla rete, l'energia immessa al punto di consegna non sarà mai superiore a tale valore. Qualora, in condizioni meteo-climatiche favorevoli, l'impianto potesse produrre più potenza, la stessa sarà limitata a livello dei convertitori AC/DC in modo da non superare il limite di immissione previsto al punto di consegna.

Si evidenzia inoltre che l'impianto sarà completo di un sistema di accumulo da 10 MW, con capacità di 40 MWh.

L'impianto permetterà di ottenere una produzione annua di circa 131 GWh/anno, pari al consumo medio annuo di energia elettrica di 52.250 famiglie.

Questo progetto, inoltre, apporterà importanti benefici ambientali sia in termini di mancate emissioni di inquinanti che di risparmio di combustibile: l'impianto consentirà di evitare l'emissione di circa 58.000 t/anno di anidride carbonica. Il bilancio sull'ambiente sarà pertanto nettamente positivo.

## 2. DATI GENERALI

### 2.1. DATI DEL PROPONENTE

Di seguito i dati anagrafici del soggetto proponente:

<b>SOCIETA' PROPONENTE</b>	
Denominazione	GO-SOLE S.R.L.
Indirizzo sede legale	Piazza del Grano, 3 - 39100 Bolzano (BZ)
Codice Fiscale/Partita IVA	03225430218
Capitale Sociale	10.000,00 €
PEC	<a href="mailto:go-sole@legalmail.it">go-sole@legalmail.it</a>

Tabella 2-1 – Informazioni principali della Società Proponente

## 2.2. LOCALITÀ DI REALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO

L'impianto agrivoltaico oggetto del presente documento sarà realizzato nel comune di Calatafimi Segesta (TP). Il cavidotto 30 kV relativo all'impianto interesserà invece i comuni di Calatafimi Segesta e di Gibellina (TP).

La Stazione Utente, il sistema di accumulo e le opere di rete relative all'impianto saranno realizzate nel comune di Gibellina (TP).

## 2.3. DESTINAZIONE D'USO

L'area oggetto dell'intervento ha una destinazione d'uso agricolo.

## 2.4. DATI CATASTALI

I terreni interessati dall'intervento per quanto riguarda l'area di impianto, così come individuati da catasto del comune di Calatafimi Segesta (TP) sono:

- Area impianto 1:
  - FG 106 particelle 30, 38
- Area impianto 2:
  - FG 107 particelle 146, 147, 148, 149, 166, 167, 169, 170, 171, 177, 178, 179, 180, 181, 185, 186, 187
- Area impianto 3:
  - FG 107 particella 26
- Area impianto 4:
  - FG 107 particelle 37, 39, 42, 43, 57, 104, 105, 106, 125, 151, 152, 153, 154, 160, 161, 162
- Area impianto 5:
  - FG 108 particelle 2, 9, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 21, 23, 24, 25, 27, 37, 38, 39, 40, 41, 57, 60, 61, 71, 72, 75, 76,77
- Area impianto 6:
  - FG 109 particelle 8, 9
  - FG 112 particelle 1, 3, 37, 38, 53, 54, 57, 100, 101, 102, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114
- Area impianto 7:
  - FG 113 particelle 104, 105, 122, 135, 136, 162, 163, 189, 190, 123, 73, 167, 63, 72, 160, 161, 166, 168, 186, 187, 188
- Area impianto 8:
  - FG 122 particelle 68, 126, 127

L'area della Stazione Utente e dello stallo condiviso 220 kV interesserà i seguenti terreni, così come individuati da catasto del comune di Gibellina (TP):

- FG 5 particelle 192, 209, 210 e 284

Il sistema di accumulo intesserà i seguenti terreni, così come individuati da catasto del comune di Gibellina (TP):

- FG 5 particelle 180, 190

Le opere di rete e la stazione RTN cui si collegherà l'impianto, interesserà invece i seguenti terreni, così come individuati da catasto del comune di Gibellina (TP):

- FG 7 particelle 115, 214, 216

Tutti i terreni su cui saranno installati i moduli fotovoltaici e realizzate le infrastrutture necessarie, risultano di proprietà privata e corrispondono a terreni ad uso prevalentemente agricolo.

Luogo di installazione	Comune di Calatafimi Segesta (TP)
Potenza di Picco (kWp)	70.365 kWp
Potenza Nominale (kW)	54.400 kWp (Potenza disponibile per la connessione)
Informazioni generali del sito	Sito collinare ben raggiungibile da strade statali/provinciali/comunali
Tipo di strutture di sostegno	Inseguitore monoassiale
Coordinate area impianto 1	Latitudine 37°51'25.45"N Longitudine 12°52'40.04"E
Coordinate area impianto 2	Latitudine 37°51'50.60"N Longitudine 12°52'58.58"E
Coordinate area impianto 3	Latitudine 37°51'49.80"N Longitudine 12°53', 24.90"E
Coordinate area impianto 4	Latitudine 37°51'36.00"N Longitudine 12°53'6.38"E
Coordinate area impianto 5	Latitudine 37°51'50.99"N Longitudine 12°53'47.31"E
Coordinate area impianto 6	Latitudine 37°51'49.75"N Longitudine 12°54'42.50"E
Coordinate area impianto 7	Latitudine 37°51'30.81"N Longitudine 12°55'44.26"E
Coordinate area impianto 8	Latitudine 37°51'11.52"N Longitudine 12°55'57.49"E
Coordinate BESS	Latitudine 37°49'2.13"N Longitudine 12°56'25.68"E
Coordinate stazione utente	Latitudine 40°42'51.42"N

	Longitudine 8°24'31.65"E
Coordinate stallo condiviso	Latitudine 37°49'17.96"N
	Longitudine 12°56'28.40"E
Coordinate stazione RTN	Latitudine 40°42'51.42"N
	Longitudine 8°24'31.65"E

*Tabella 2-2 – Dati impianto*

## 2.5. CONNESSIONE

La Società FRI-EL S.p.A. ha presentato a Terna S.p.A. ("il Gestore") la richiesta di connessione alla RTN per una potenza in immissione di 54,4 MW. Alla richiesta è stato assegnato Codice Pratica 202200711.

Il progetto di connessione prevede che la centrale venga collegata in antenna a 220 kV con una nuova stazione elettrica di smistamento (SE) a 220 kV della RTN, da inserire in entra - esce sulla linea RTN a 220 kV "Partinico - Partanna".

La STMG è stata volturata alla società proponente il progetto, con accettazione da parte di Terna S.p.A. in data 06 Giugno 2024.

### 3. LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO

L'area presa in considerazione nel presente progetto ricade amministrativamente all'interno del Comune di Calatafimi Segesta (TP), per un'area complessiva recintata di circa 106 ettari.

Dal punto di vista cartografico, l'area di impianto ricade all'interno delle Tavole Foglio n°257, Quadrante II Orientazione SE denominato "Calatafimi" mentre la stazione lato utente e il sistema di accumulo interesseranno il Foglio n°257 Quadrante II Orientazione NE "S. Ninfa". Il tracciato del cavidotto ricadrà anche nel Foglio n°258 Quadrante IV Orientazione SO "Monte Pietroso" e il Foglio n°258 Quadrante III Orientazione NO "Gibellina", della Carta Ufficiale d'Italia edita dall' I.G.M.I. in scala 1:25.000. Il progetto si inquadra altresì nella Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 all'interno delle sezioni 606110 "Monte Baronìa" i cluster da Area 1 ad Area 6 e parte del cavidotto, nella sezione 606120 "Sirignano" i sotto impianti Area 7 e Area 8 e parte del cavidotto, infine nella sezione 606160 "Costa di Raia" la stazione lato utente, il sistema di accumulo e la parte terminale del cavidotto.

L'area interessata dal progetto è facilmente raggiungibile grazie ad una rete di strade di vario ordine presenti in zona.



Figura 3-1 – Inquadramento regionale

Le coordinate delle diverse aree di impianto, nonché del sistema di accumulo, della stazione utente, dello stallo condiviso e delle opere di rete sono riportate in Tabella 2-2.

Si riportano di seguito estratti delle tavole di progetto riportanti l'inquadramento di tali opere.

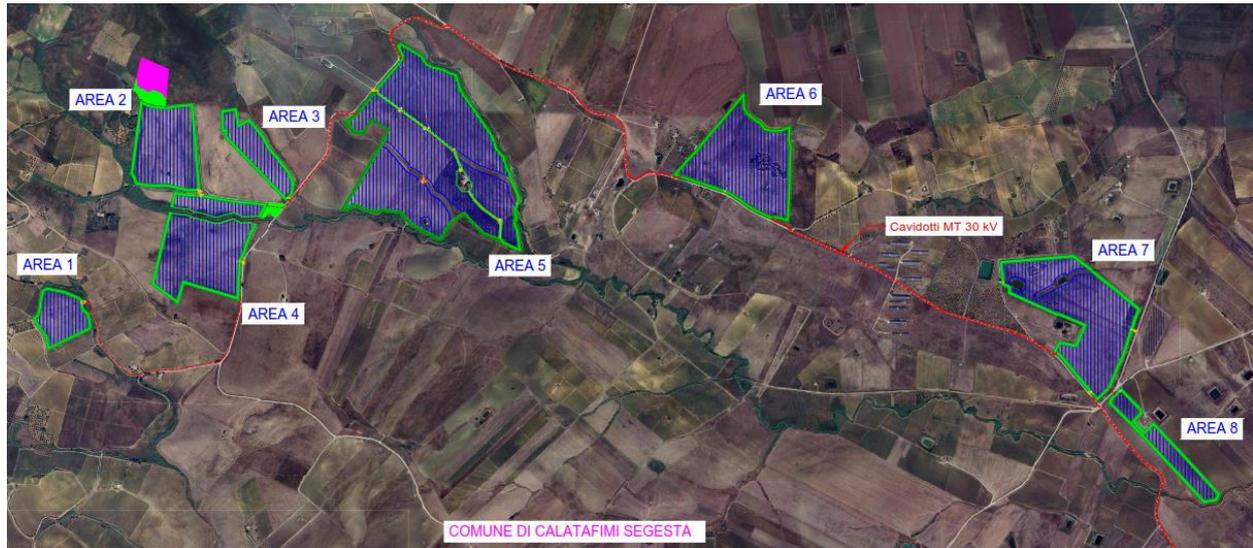


Figura 3-2 – Area impianto su ortofoto

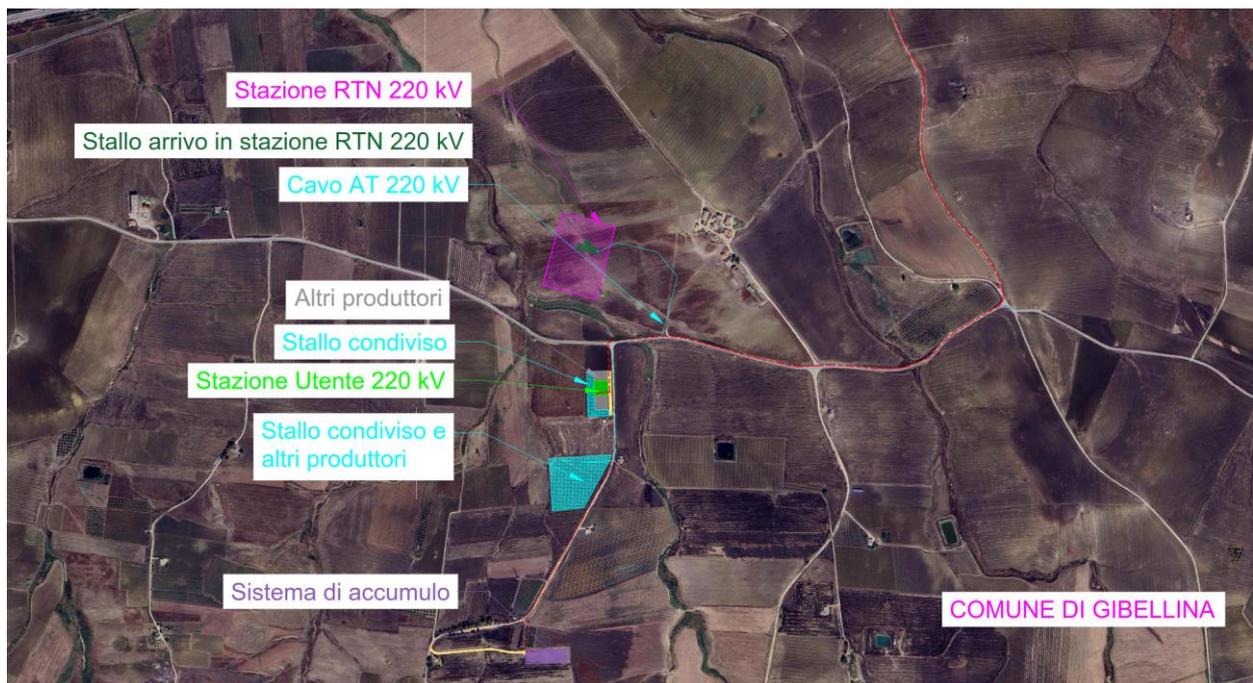


Figura 3-3 – Area opere di rete su ortofoto

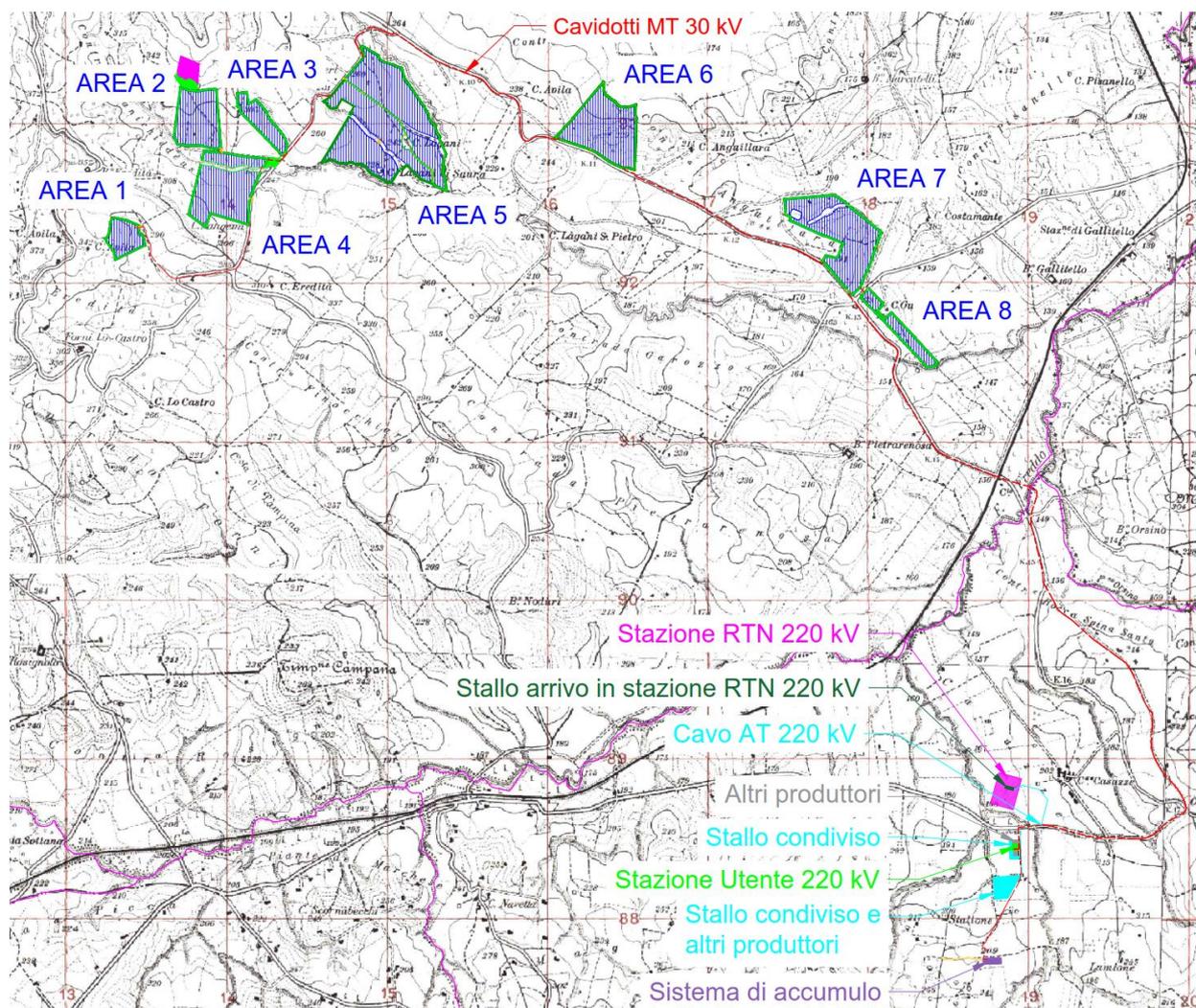


Figura 3-4 – Inquadramento su IGM 1:25000 – Area impianto

#### 4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le principali norme a cui si fa riferimento sono:

- DPCM 8/7/2003 “Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti”;
- Legge n. 36 del 22/02/2001 “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici” e s.m.i;
- DM 29/05/08 “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti”
- Norma CEI 211-4 “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche”;
- "Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29/05/08" emanata da ENEL Distribuzione S.p.A.;
- Norma CEI 106-11 “Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8/07/2003” (Art.6).
- Norma CEI 211-7 “Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz - 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana”
- DLgs 1 agosto 2016, n. 159 “Attuazione della direttiva 2013/35/UE sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) e che abroga la direttiva 2004/40/CE.”

Il 22 Febbraio 2001 l'Italia ha promulgato la Legge Quadro n.36 sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (CEM) a copertura dell'intero intervallo di frequenze da 0 a 300.000 MHz.

Tale legge delinea un quadro dettagliato di controlli amministrativi volti a limitare l'esposizione umana ai CEM e l'art. 4 di tale legge demanda allo Stato le funzioni di stabilire, tramite Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri: i livelli di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità, le tecniche di misurazione e rilevamento.

Nel DPCM 8 Luglio 2003 “Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti”, vengono fissati i limiti di esposizione e i valori di attenzione, per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento e all'esercizio degli elettrodotti.

In particolare, negli articoli 3 e 4 vengono indicate le seguenti 3 soglie di rispetto per l'induzione magnetica:

*Nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti non deve essere superato il limite di esposizione di 100  $\mu$ T per l'induzione magnetica e 5kV/m per il campo elettrico intesi come valori efficaci” [art. 3, comma 1];*

*“A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10  $\mu$ T, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.” [art. 3, comma 2];*

*“Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di 3  $\mu$ T per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio”. [art. 4]*

In sintesi, quindi, il DPCM 8/7/03 fissa:

- in 100  $\mu$ T per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci, i limiti di esposizione per la protezione della popolazione dai campi elettromagnetici a 50 Hz generati dagli elettrodotti;
- in 10  $\mu$ T il valore di attenzione, introdotto come misura di cautela, che si applica nelle aree di gioco per l'infanzia, negli ambienti abitativi e scolastici e in tutti i luoghi in cui possono essere presenti persone per almeno 4 h al giorno;
- in 3  $\mu$ T l'obiettivo di qualità che si applica ai nuovi elettrodotti nelle vicinanze dei sopraccitati ambienti, nonché ai nuovi insediamenti e edifici in prossimità di linee ed installazioni elettriche esistenti.

Il D.M. Ambiente del 29 maggio 2008, indica la metodologia da adottarsi per la determinazione delle fasce di rispetto pertinenti alle linee elettriche aeree e interrate, esistenti e in progetto. Esso, tra le altre, introduce le seguenti definizioni:

- **fascia di rispetto:** è lo spazio circostante ad un elettrodotto, che comprende tutti i punti al di sotto e al di sopra del livello del suolo caratterizzati da un'induzione magnetica superiore o uguale all'obiettivo di qualità specificato dal DPCM 08/07/2003. All'interno delle fasce di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario ovvero ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore.
- **distanza di prima approssimazione (DPA):** per le linee è la distanza, in pianta sul livello del suolo, dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più 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.

Il parametro di corrente da considerare per la determinazione della fascia di rispetto è la corrente massima di esercizio in servizio normale dell'elettrodotto (ai sensi della norma CEI 11-60).

Lo stesso D.M. 29/05/2008, al punto 3.2 dell'allegato, indica che la metodologia si applica a tutti gli elettrodotti esistenti o in progetto, con linee interrate o aeree, ad esclusione delle seguenti:

- linee esercite a frequenze diverse da 50 Hz (esempio linee ferroviaria a 3 kV)
- linee di classe zero secondo il Decreto interministeriale 21/03/88 (quali linee telefoniche, segnalazione e comando a distanza...)
- linee di prima classe secondo il Decreto interministeriale 21/03/88 (ovvero linee con tensione nominale inferiore a 1 kV e linee in cavo per illuminazione pubblica con tensione inferiore a 5 kV)
- linee MT in cavo cordato ad elica (interrate o aeree).

Il D.lgs 159/2016 recepisce la Direttiva 2013/35/UE in materia di tutela della salute e sicurezza dei lavoratori dai rischi dovuti all'esposizione ai campi elettromagnetici; mira a trattare tutti gli effetti biofisici diretti e gli effetti indiretti noti provocati dai campi elettromagnetici.

Le disposizioni contenute nella Direttiva, e quindi nel D.Lgs 159/2016, consistono nelle prescrizioni minime per promuovere miglioramenti negli ambienti di lavoro, al fine di garantire un adeguato livello di protezione della salute e della sicurezza dei lavoratori, nel caso di attività comportanti esposizioni ai campi elettromagnetici.

Allo scopo vengono:

- definite le grandezze fisiche concernenti l'esposizione ai campi elettromagnetici;
- definiti, in specifiche tabelle, i valori limite di esposizione (VLE) per gli effetti sensoriali e sanitari relativi ai campi elettrici interni ed i valori di azione (VA) per consentire la conformità ai pertinenti VLE.
- definite procedure per aiutare i datori di lavoro, in particolare le piccole e medie imprese, a ottemperare agli obblighi previsti dalla direttiva stessa.

## 5. CENNI DI TEORIA

### 5.1. CAMPI ELETTRICI

Il metodo di calcolo qui descritto è quello delle cariche equivalenti semplificato: si rinuncia infatti a studiare l'esatta distribuzione delle cariche sulle superficie dei conduttori e si suppone che esse siano concentrate al centro degli stessi, con una densità lineare di carica costante. Per la determinazione delle cariche presenti sui diversi conduttori della linea ci si avvale del principio delle immagini, in base al quale un piano equipotenziale a potenziale nullo (quale si suppone essere il terreno) può essere simulato con una configurazione di cariche immagini, cioè di cariche di segno opposto a quelle che generano il campo e disposte specularmente rispetto al piano stesso. In questo modo ci si riduce ad un sistema di conduttori tra loro paralleli di cui sono noti i potenziali  $V(t)$ . È così possibile calcolare le cariche lineari indotte presenti su di essi attraverso la relazione:

$$[\lambda(t)] = [C] \cdot [V(t)]$$

dove  $[V(t)]$  è il vettore colonna delle tensioni,  $[\lambda(t)]$  il vettore colonna delle cariche lineari presenti sui conduttori e  $[C]$  la matrice quadrata dei coefficienti delle mutue capacità per unità di lunghezza. L'espressione può essere anche scritta in termini di fasori:

$$[\lambda] = [C] \cdot [V]$$

La matrice  $[C]$  è costante, simmetrica e dipende solo dalla configurazione geometrica dei conduttori: essa si ricava invertendo la matrice  $[P]$  dei coefficienti di potenziale (coefficienti di Maxwell) che esprimono ciascun potenziale in funzione di tutte le densità lineari di carica; gli elementi di  $[P]$  sono così definiti:

$$p_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2y_i}{r_i} \quad p_{ij} = p_{ji} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{D_{ij}'}{D_{ij}}$$

dove, come illustrato in Figura 4-1,  $r_i$  è il raggio del conduttore  $i$ -esimo,  $y_i$  la sua altezza dal suolo,  $D_{ij}$  la distanza tra i conduttori  $i$ -esimo e  $j$ -esimo e  $D_{ij}'$  la distanza tra il conduttore  $i$ -esimo e l'immagine del conduttore  $j$ -esimo. In particolare:

$$D_{ii} = D_i = \sqrt{(x_i - x_i)^2 + (y_i - y_i)^2}$$
$$D_{ij}' = D_{ji}' = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i + y_j)^2}$$

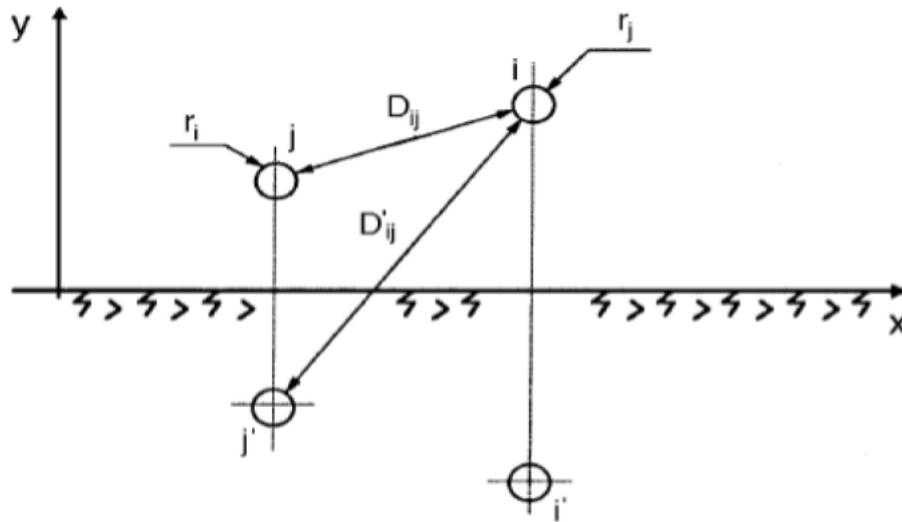


Figura 5-1 – Convenzioni seguite nel calcolo dei coefficienti di potenziale

Nel caso di conduttori a fascio è possibile definire un raggio equivalente  $r_{eq}$ , da sostituire nelle formule dei coefficienti di potenziale, secondo la formula seguente:

$$r_{eq} = R \cdot \sqrt[n]{\frac{n \cdot r}{R}}$$

dove:  $n$  è il numero di subconduttori che costituiscono il fascio,  $r$  è il loro raggio mentre  $R$  è il raggio del fascio di conduttori (Figura 4 2).

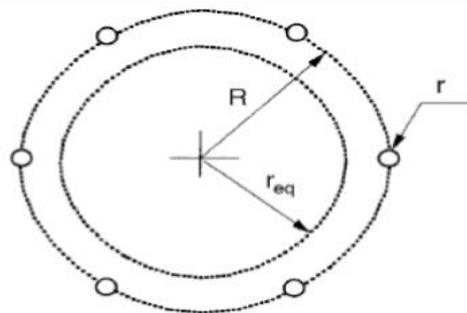


Figura 5-2 – Identificazioni raggi conduttori

Nota la matrice  $[P]$  si ricavano le densità lineari di carica sui conduttori:

$$[\lambda] = [P]^{-1} \cdot [V]$$

Una volta note le densità lineari di carica presenti sui conduttori, è possibile procedere al calcolo del campo elettrico da esse generato sovrapponendo gli effetti dei conduttori e delle loro immagini.

Applicando infatti la legge di Gauss in forma integrale nel caso di un conduttore di lunghezza infinita con densità lineare di carica costante si ottiene:

$$\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 \cdot d} \vec{u}_r$$

dove  $d$  è la distanza dal conduttore rettilineo e  $\vec{u}_r$  è il versore unitario con direzione radiale dal conduttore stesso. Considerando il sistema di riferimento di Figura 4-1, in cui  $(x_i, y_i)$  sono le coordinate del conduttore  $i$ -esimo, e sommando gli effetti dei vari conduttori – raccogliendo tra loro le espressioni relative a ciascun conduttore ed alla sua immagine - si ottengono le espressioni delle singole componenti (fasoriali) del vettore del campo elettrico:

$$E_x = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \sum_i \lambda_i \left[ \frac{x - x_i}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} - \frac{x - x_i}{(x - x_i)^2 + (y + y_i)^2} \right]$$

$$E_y = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \sum_i \lambda_i \left[ \frac{y - y_i}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} - \frac{y + y_i}{(x - x_i)^2 + (y + y_i)^2} \right]$$

## 5.2. CAMPI MAGNETICI

Il calcolo dell'induzione magnetica risulta più semplice rispetto a quello del campo elettrico per i seguenti motivi:

- non è necessario calcolare il valore delle cariche lineari indotte sui conduttori in quanto i valori di induzione dipendono direttamente dalle correnti note;
- il terreno viene considerato come un piano avente permeabilità relativa pari a 1, e quindi nei calcoli si trascura il contributo delle correnti immagini.

Per il calcolo dell'induzione magnetica si ricorre alla legge di Biot - Savart che esprime in un generico punto dello spazio il valore dell'induzione magnetica  $B$  generata da un conduttore rettilineo percorso da una corrente  $I$  attraverso la formula:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{d} \vec{u}_l \times \vec{u}_r$$

dove  $d$  è la distanza tra il conduttore ed il punto di calcolo;  $\vec{u}_l$  e  $\vec{u}_r$  indicano, rispettivamente, il verso della corrente e della relativa normale;  $\times$  indica il prodotto vettoriale.

Ricorrendo al medesimo sistema di riferimento utilizzato per il calcolo del campo elettrico (Figura 5-1), ed essendo il versore del campo dovuto al conduttore  $i$ -esimo pari a:

$$\vec{u}_{B,i} = \vec{u}_{l,i} \times \vec{u}_{r,i} = - \frac{y - y_i}{d_i} \vec{u}_x + \frac{x - x_i}{d_i} \vec{u}_y$$

si ottengono le seguenti formule per il calcolo delle componenti spaziali (fasoriali) dell'induzione magnetica, quale contributo delle correnti nei diversi conduttori:

$$\mathbf{B}_x = \frac{\mu_o}{2\pi} \sum_i I_i \left[ \frac{y_i - y}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right]$$

$$\mathbf{B}_y = \frac{\mu_o}{2\pi} \sum_i I_i \left[ \frac{x - x_i}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right]$$

## 6. CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

### 6.1. CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIANTO FOTOVOLTAICO

#### 6.1.1. MODULI FOTOVOLTAICI

I moduli fotovoltaici lavorano in corrente e tensione continue e non in corrente alternata; per cui la generazione di campi variabili è limitata ai soli transitori di corrente (durante la ricerca del MPP da parte dell'inverter, e durante l'accensione o lo spegnimento) e sono comunque di brevissima durata. Nella certificazione dei moduli fotovoltaici alla norma CEI 82-8 (IEC 61215) non sono comunque menzionate prove di compatibilità elettromagnetica, poiché assolutamente irrilevanti.

#### 6.1.2. INVERTER

Gli inverter sono apparecchiature che al loro interno utilizzano un trasformatore ad alta frequenza per ridurre le perdite di conversione. Essi, pertanto, sono costituiti per loro natura da componenti elettronici operanti ad alte frequenze. D'altro canto, il legislatore ha previsto che tali macchine, prima di essere immesse sul mercato, possiedano le necessarie certificazioni a garantirne sia l'immunità dai disturbi elettromagnetici esterni, sia le ridotte emissioni per minimizzarne l'interferenza elettromagnetica con altre apparecchiature elettroniche posizionate nelle vicinanze o con la rete elettrica stessa (via cavo).

A questo scopo gli inverter prescelti possiedono la certificazione di rispondenza alle normative di compatibilità elettromagnetica (EMC) (CEI EN 50273 (CEI 95-9), CEI EN 61000-6-3 (CEI 210-65), CEI EN 61000-2-2 (CEI 110-10), CEI EN 61000-3-2 (CEI 110-31), CEI EN 61000-3-3 (CEI 110-28), CEI EN 55022 (CEI 110-5), CEI EN 55011 (CEI 110-6), quindi gli inverter di progetto avranno emissioni certificate e conformi alla normativa vigente. Di conseguenza anche per gli inverter le emissioni saranno poco significative ai fini della presente valutazione, come tra l'altro si riscontra facilmente dalla normativa di settore.

#### 6.1.3. CABINE DI CONVERSIONE (INVERTER STATION)

Per quanto riguarda i componenti dell'impianto sono da considerare le cabine elettriche di campo, all'interno delle quali, la principale sorgente di emissione è il trasformatore BT/MT.

In questo caso si valutano le emissioni dovute al trasformatore di potenza maggiore tra le 2 Power Station considerate nell'impianto, ossia da 4400 kVA collocato nelle cabine di trasformazione. La presenza dei trasformatori BT/MT viene usualmente presa in considerazione limitatamente alla generazione di un campo magnetico nei locali vicini a quelli di cabina.

In base al DM del MATTM del 29.05.2008, cap.5.2.1, l'ampiezza delle DPA si determina come di seguito descritto.

Tale determinazione si basa sulla corrente di bassa tensione del trasformatore e considerando una distanza dalle fasi pari al diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore. Per determinare le DPA si applica quanto esposto nel cap. 5.2.1 del DM, e cioè:

$$\frac{DPA}{\sqrt{I}} = 0,40942 \cdot x^{0,5242}$$

dove:

DPA = distanza di Prima Approssimazione (m)

I = Corrente Nominale (A)

X = diametro dei cavi (m)

Nel caso specifico del trasformatore si deve considerare la corrente nominale lato BT In max di 4050 A. I collegamenti verso l'inverter sono realizzati in barre rigide in rame 2x3x2000 mm<sup>2</sup>. Per poter però utilizzare la formula precedente, si può ragionevolmente assumere che i collegamenti siano effettuati in cavo, con una formazione "equivalente" lato BT con una formazione 10 x 3 x (240) mm<sup>2</sup>. Il diametro esterno del cavo tipo FG16OR16 è pari a circa 29,2mm per singolo conduttore. Applicando la formula sopra riportata, si ottiene una DPA, arrotondata per eccesso all'intero superiore, di 5 m.

D'altra parte, nel caso in questione, si deve considerare che le cabine inverter sono posizionate all'aperto, all'interno dell'area recintata e normalmente non sono permanentemente presidiate.

#### 6.1.4. CABINE MT

Per quanto riguarda i componenti dell'impianto resta da considerare la cabina elettrica MT di consegna, che sarà situata nella nuova SSE e le cabine MT dei campi fotovoltaici, con funzione di raggruppamento delle linee MT di impianto.

Per entrambe le tipologie di cabine, la principale sorgente di emissione è rappresentata dalle correnti dei quadri MT stessi, in quanto in questo caso il trasformatore MT/BT è utilizzato solo per l'alimentazione dei servizi ausiliari ed ha pertanto una taglia molto modesta. La massima corrente BT, infatti, considerando un trasformatore da 100 kVA, è pari a soli 148 A (applicando le stesse considerazioni del paragrafo precedente si otterrebbe una DPA di pochi cm).

Relativamente ai quadri MT, la massima corrente sulle sbarre è pari a 745 A, per la linea al trasformatore elevatore che raccoglie l'intera produzione dell'impianto.

Considerando che il cavo per tale linea ha tipologia ARE4H5E e formazione di 3x1x500, con un diametro esterno massimo pari a 50 mm per singolo conduttore, si ottiene una DPA pari a 1,8 m, che si può arrotondare a 2,0 m.

Anche in questo caso si deve però considerare che le cabine si trovano all'interno di aree recintate e non accessibili e normalmente non presidiate.

## 6.2. CAMPI ELETTROMAGNETICI CAVI MT

### 6.2.1. CAMPI ELETTRICI

Dal momento che la rete MT e AT dell'impianto è realizzata mediante cavi schermati, il campo elettrico risultante è nullo e viene quindi trascurato ai fini della presente relazione.

### 6.2.1.1. Campi magnetici

#### 6.2.1.1.1 Metodo di calcolo

Il programma di calcolo utilizzato si basa sui metodi standardizzati dal Comitato Elettrotecnico Italiano, secondo la norma CEI 211-4, "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche".

Il calcolo del campo magnetico è stato sviluppato per le sezioni tipiche identificate lungo il percorso dei cavi MT e AT, andando a calcolare il campo magnetico nelle sue componenti bidirezionali.

Ai fini della determinazione delle fasce di rispetto il campo magnetico è stato calcolato a livello del suolo, tenendo conto delle effettive condizioni di posa dei cavi.

Si è tenuto tale approccio cautelativo ai fini della sicurezza, in modo da considerare la fascia di rispetto più ampia possibile, sebbene sarebbe ammissibile calcolare il campo magnetico ad 1 m dal suolo, come previsto dall'art. 5 del DPCM 08/07/03 e dalla guida CEI 211-6.

Per la corrente è stato considerato il valore massimo generato da ciascun inverter, combinando i contributi dei singoli inverter collegati ai cavi MT come risultante nelle sezioni considerate.

Relativamente invece ai cavi AT, a 150 kV, è stata considerata la portata massima del cavo selezionato, nelle condizioni di posa progettuale, e non la corrente nominale di impianto, sempre in ottica di considerare lo scenario più gravoso per identificare la massima fascia di rispetto possibile.

Anche in questo caso si è preferito considerare le condizioni più gravose, ai fini della sicurezza. La corrente generata, infatti, può ridursi notevolmente in funzione della variabilità delle condizioni meteorologiche nel corso della giornata (secondo il citato DPCM, i limiti del campo sono da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore giornaliere nelle normali condizioni di esercizio).

#### 6.2.1.1.2 Condizioni di posa

Per le condizioni di posa dei cavi lungo le dorsali si rimanda alla tavola "Tav.13 - Planimetria impianto agrivoltaico con identificazione tracciato cavi e tipico posa cavi AC - esterni all'impianto".

Nel presente studio sono state considerate le condizioni di posa più gravose, ovvero quelle con cavi direttamente interrati, in quanto presentano i cavi alla minore profondità e ravvicinati.

#### 6.2.1.1.3 Risultati

Le sezioni considerate nello studio sono mostrate nelle seguenti figure e riassunte in tabella, che mostra, oltre alle sezioni dei cavi coinvolte, le correnti massime utilizzate nel calcolo dei campi magnetici e nella definizione delle fasce di rispetto, come risultanti dalla potenza degli inverter collegati.

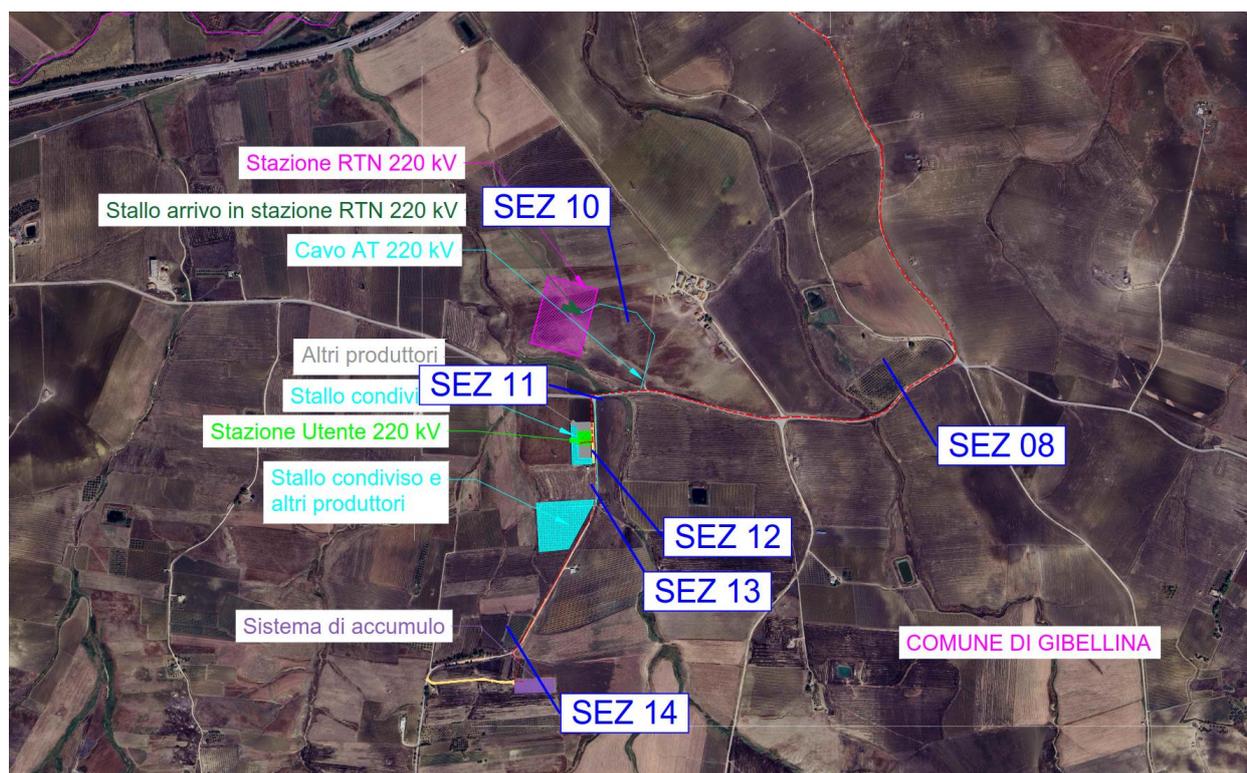


Figura 6-1 – Sezioni per definizione campo magnetico cavi

Sez	Descrizione	Cavo 1		Cavo 2		Cavo 3		Cavo 4		Cavo 5	
		Sez (mm <sup>2</sup> )	I (A)	Sez (mm <sup>2</sup> )	I (A)	Sez (mm <sup>2</sup> )	I (A)	Sez (mm <sup>2</sup> )	I (A)	Sez (mm <sup>2</sup> )	I (A)
1	C01: una terna	95	54	-	-	-	-	-	-	-	-
2	C03: una terna	120	148	-	-	-	-	-	-	-	-
3	C03/C05: due terne	120	148	240	224	-	-	-	-	-	-
4	T01: quattro terne	120	148	240	224	95	54	800	373	-	-
5	T01: due terne	95	54	800	373	-	-	-	-	-	-
6	T03: tre terne	800	373	800	382	150	173	-	-	-	-
7	T03: quattro terne	800	373	800	382	630	313	95	81	-	-
8	T04: quattro terne	800	373	80	382	630	313	800	355	-	-
9	C22: due terne	240	220	300	274	-	-	-	-	-	-
10	RTN: una terna 220 kV	1600	920 (nota 1)	-	-	-	-	-	-	-	-
11	SSE: quattro terne 30 kV e una terna 220 kV	800	373	800	382	630	313	800	355	1600	920 (nota 1)
12	SSE: una terna 30 kV e una terne 220 kV	240	203	1600	920 (nota 1)	-	-	-	-	-	-
13	SSE: una terna 30 kV e due terne 220 kV	240	203	1600	920 (nota 1)	1600	920 (nota 1)				
14	BESS: una terna	240	203	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota 1: Ai fini della sicurezza, si considera la portata nominale del cavo corrispondente alla sezione selezionata, in base alla potenza complessiva riservata per lo stallo utente nella stazione RTN e condivisa su più produttori

Tabella 6-1 – Sezioni per calcolo campo magnetico

Il campo magnetico calcolato al suolo per ognuna delle sezioni individuate è mostrato nelle seguenti figure.

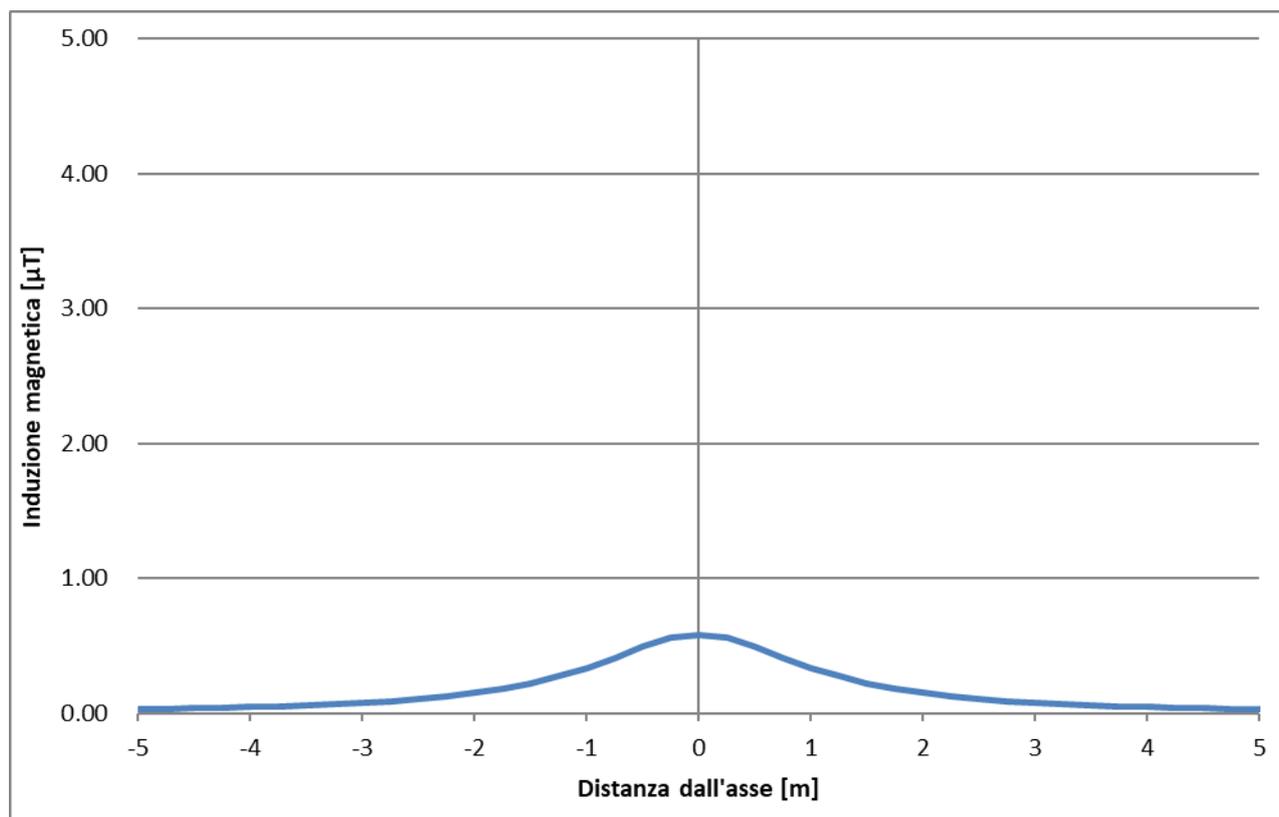


Figura 6-2 – Andamento campo magnetico – Sezione 1

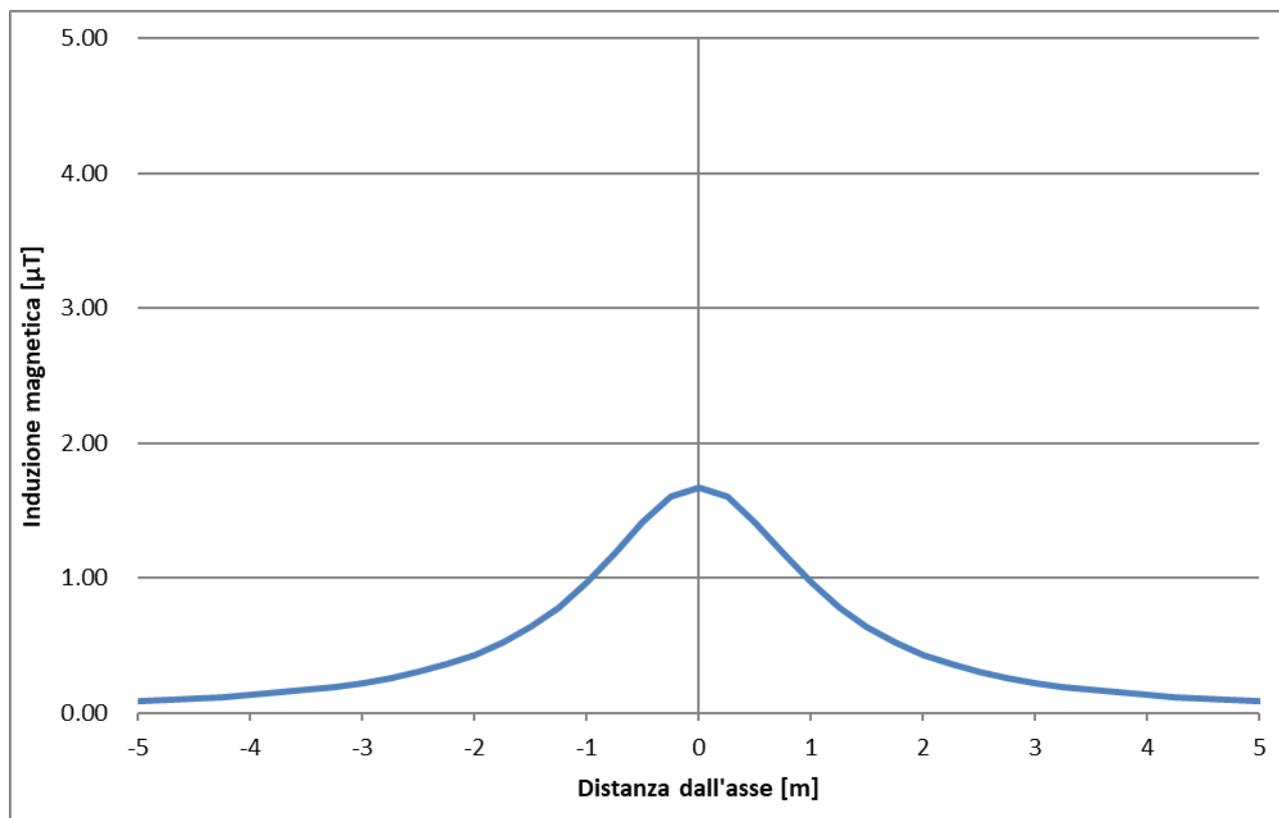


Figura 6-3 – Andamento campo magnetico – Sezione 2

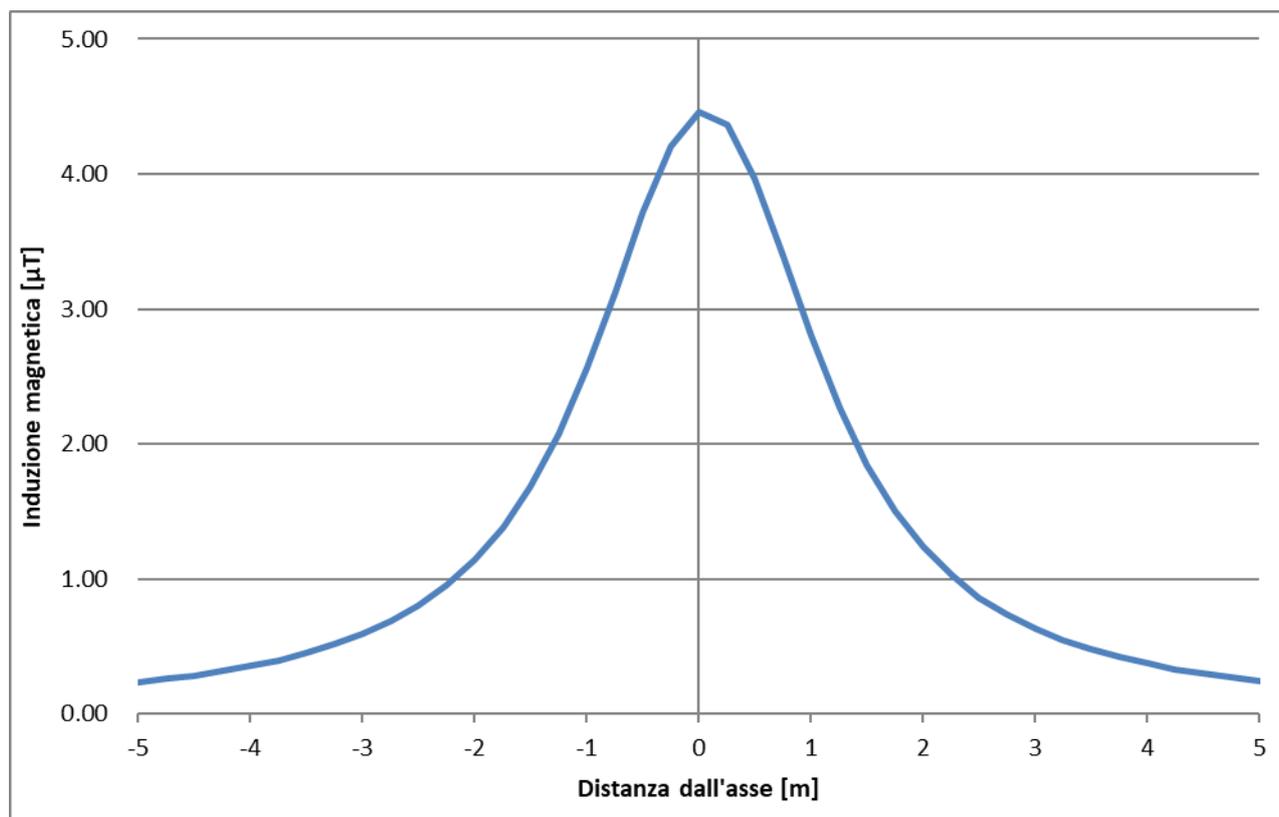


Figura 6-4 – Andamento campo magnetico – Sezione 3

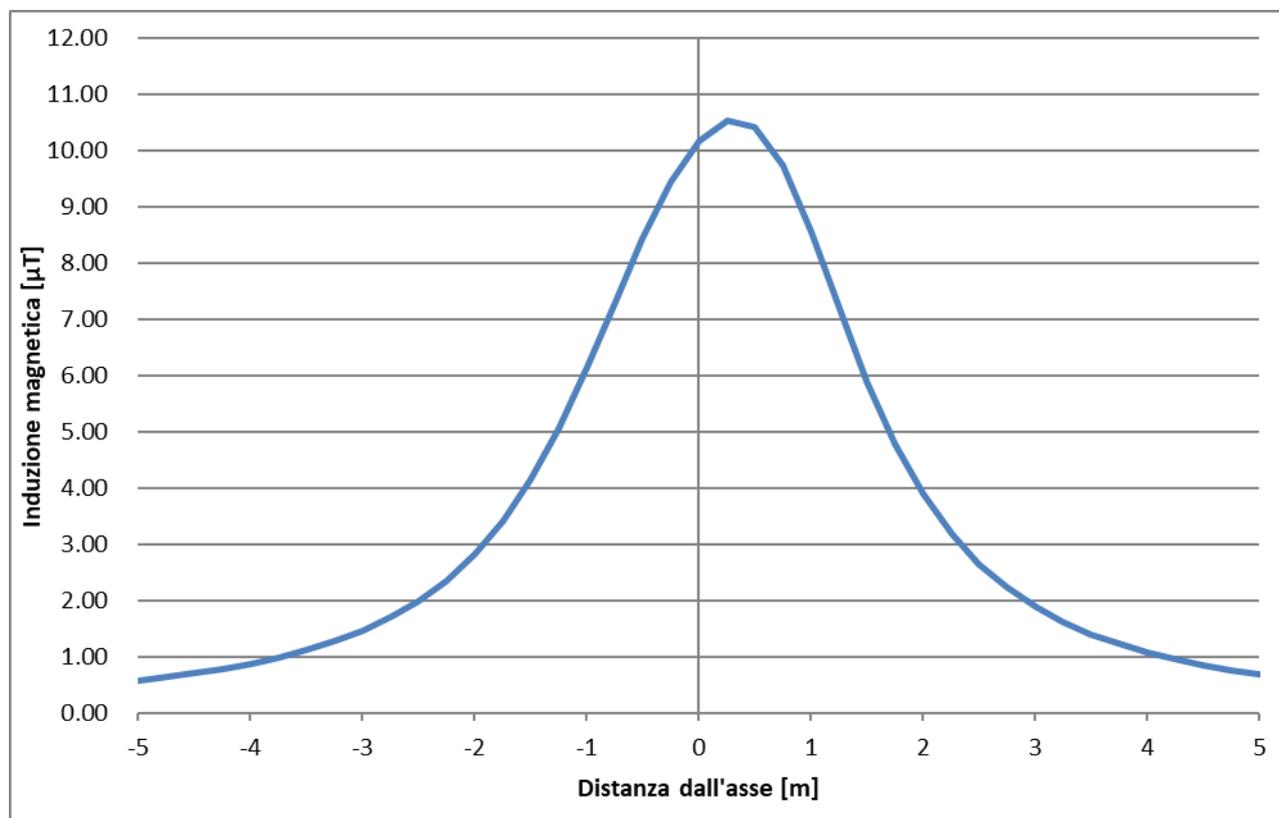


Figura 6-5 – Andamento campo magnetico – Sezione 4

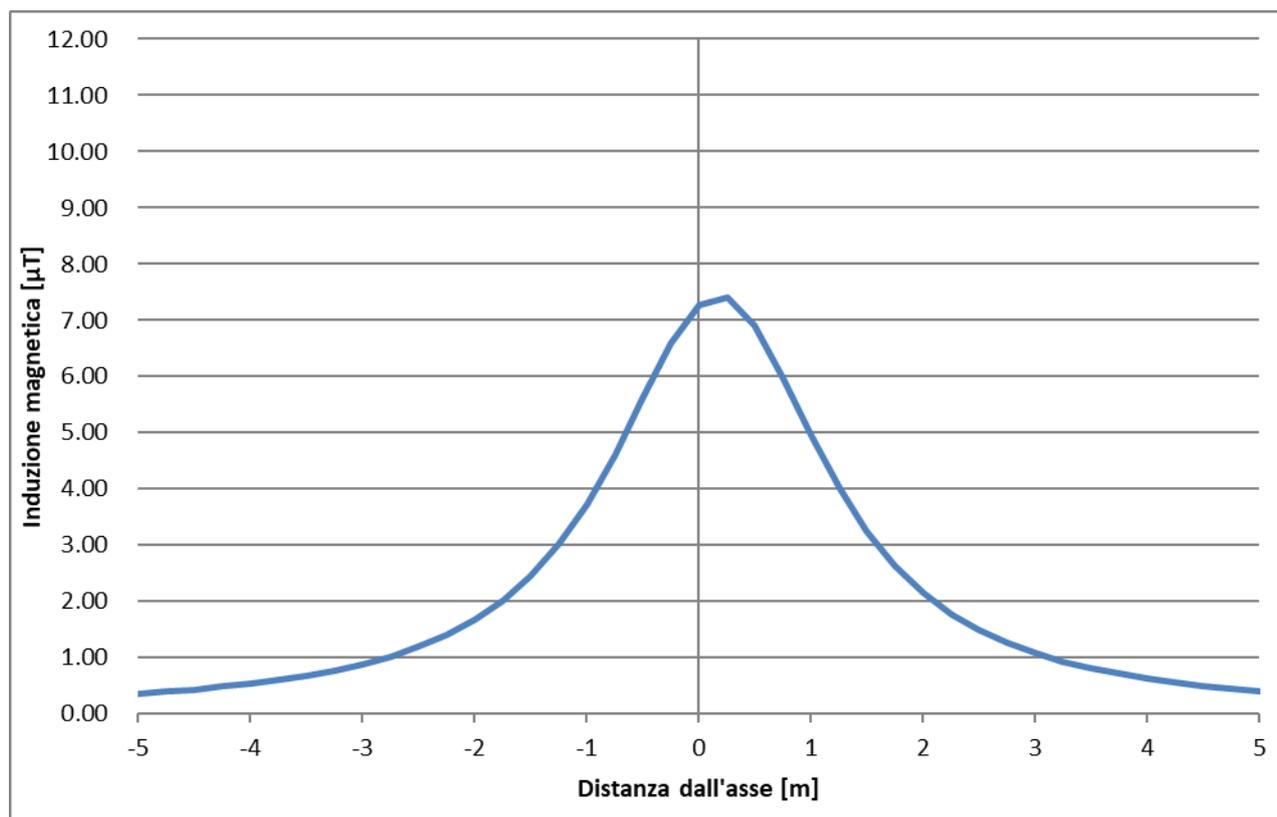


Figura 6-6 – Andamento campo magnetico – Sezione 5

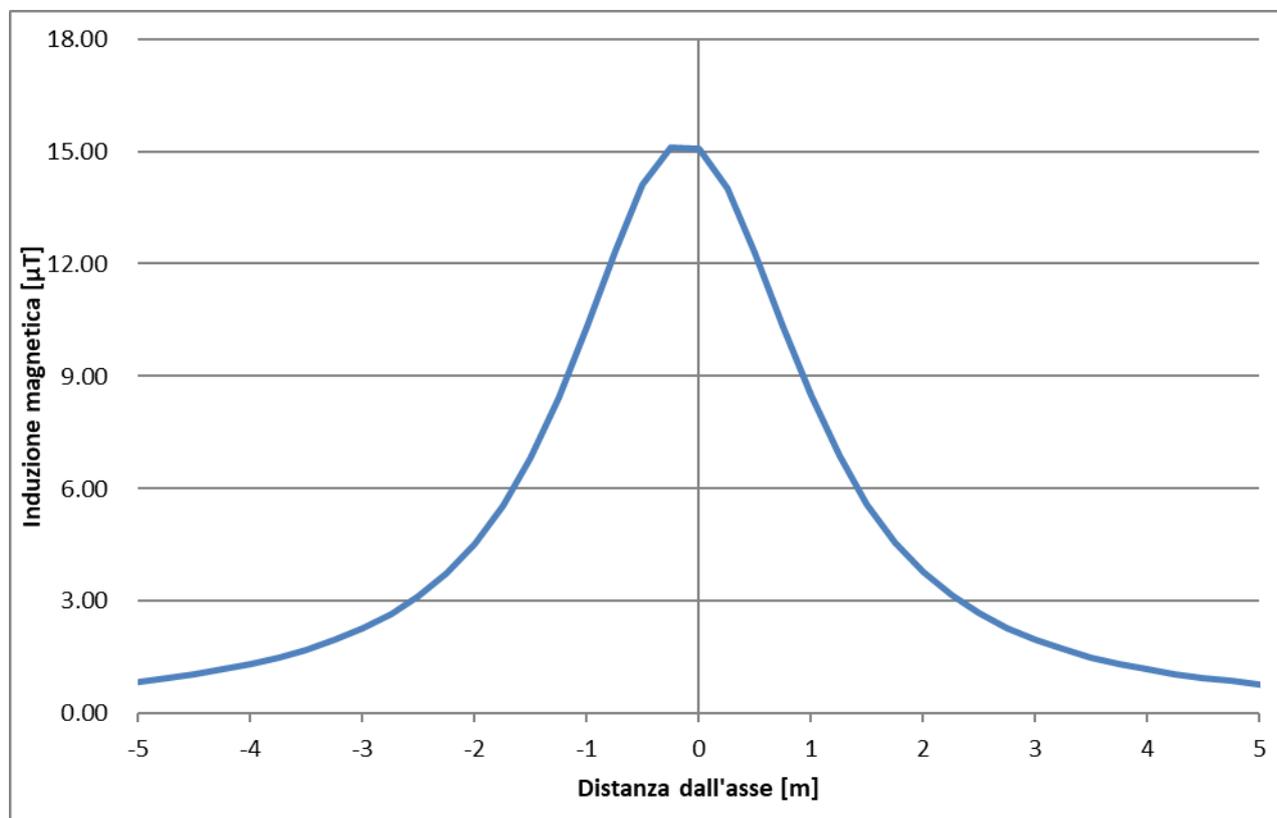


Figura 6-7 – Andamento campo magnetico – Sezione 6

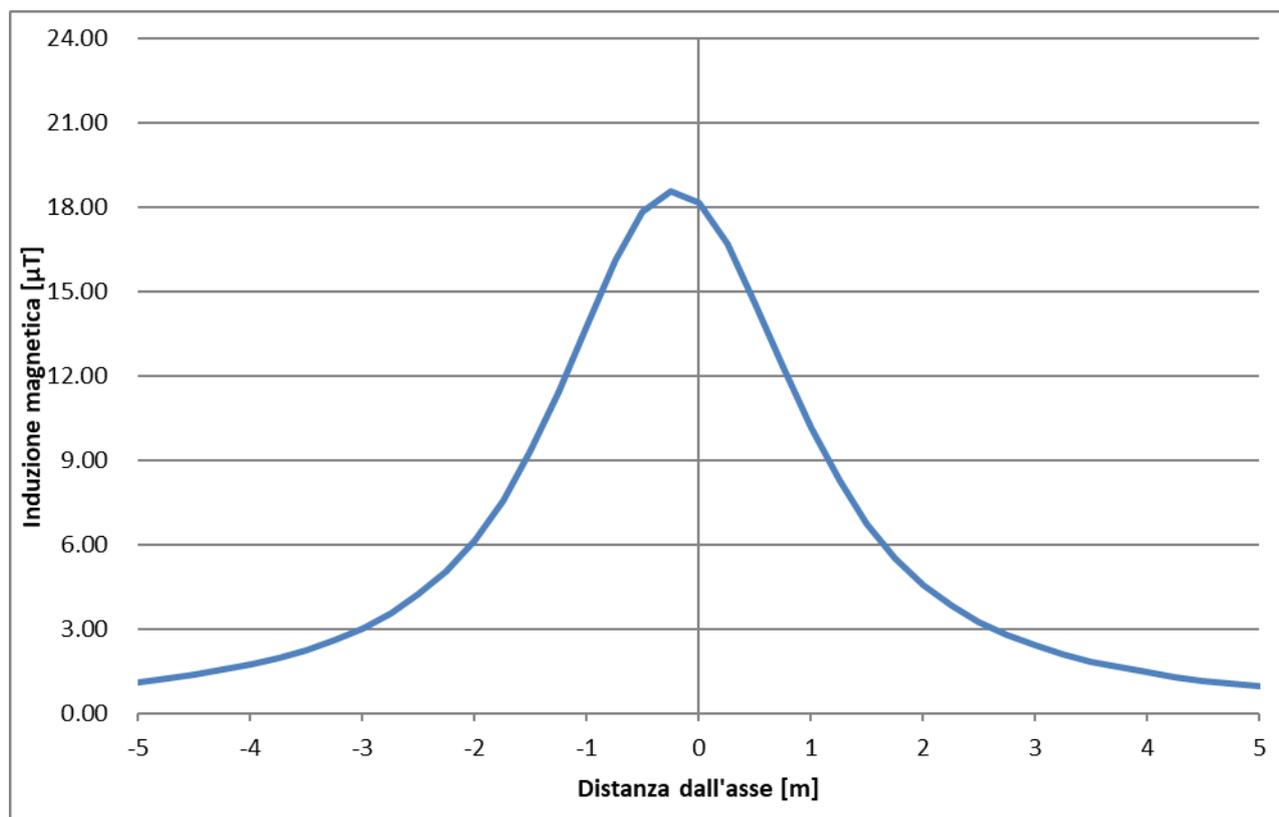


Figura 6-8 – Andamento campo magnetico – Sezione 7

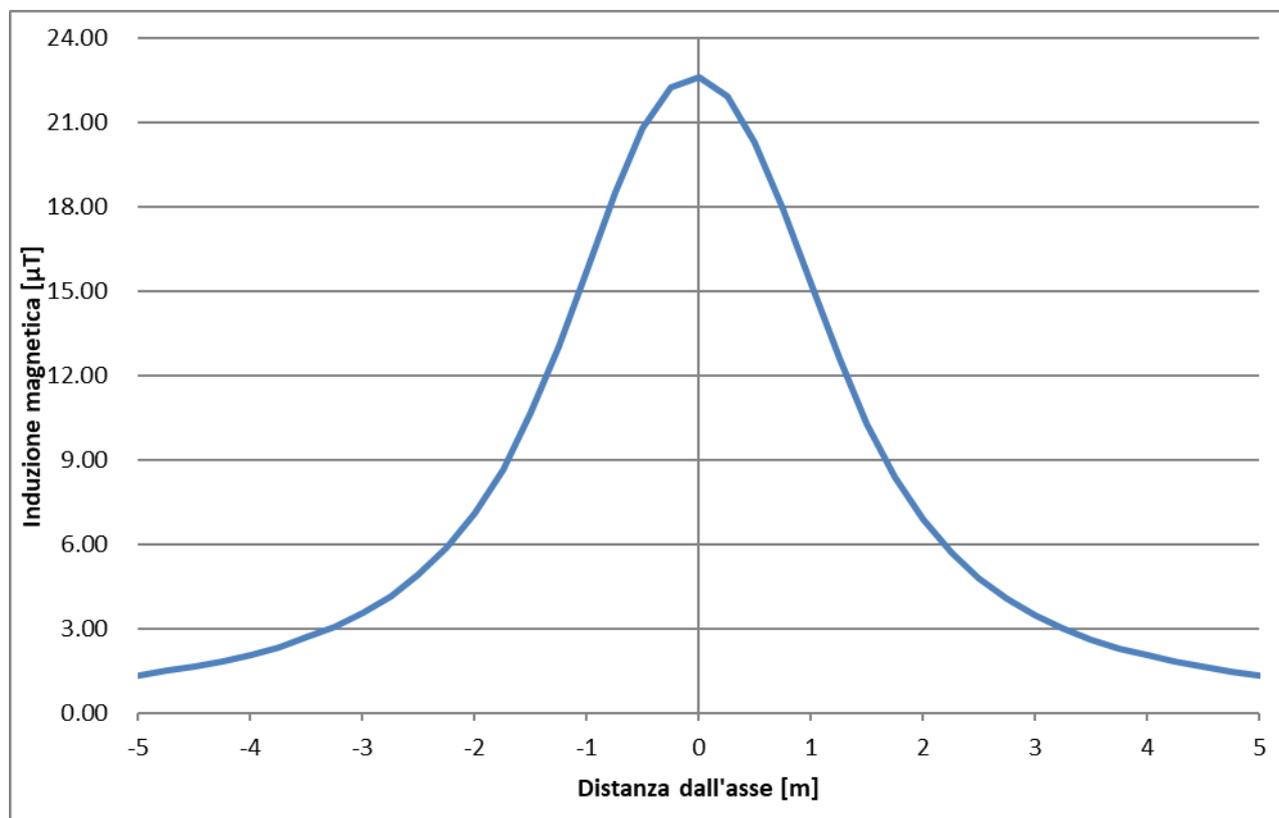


Figura 6-9 – Andamento campo magnetico – Sezione 8

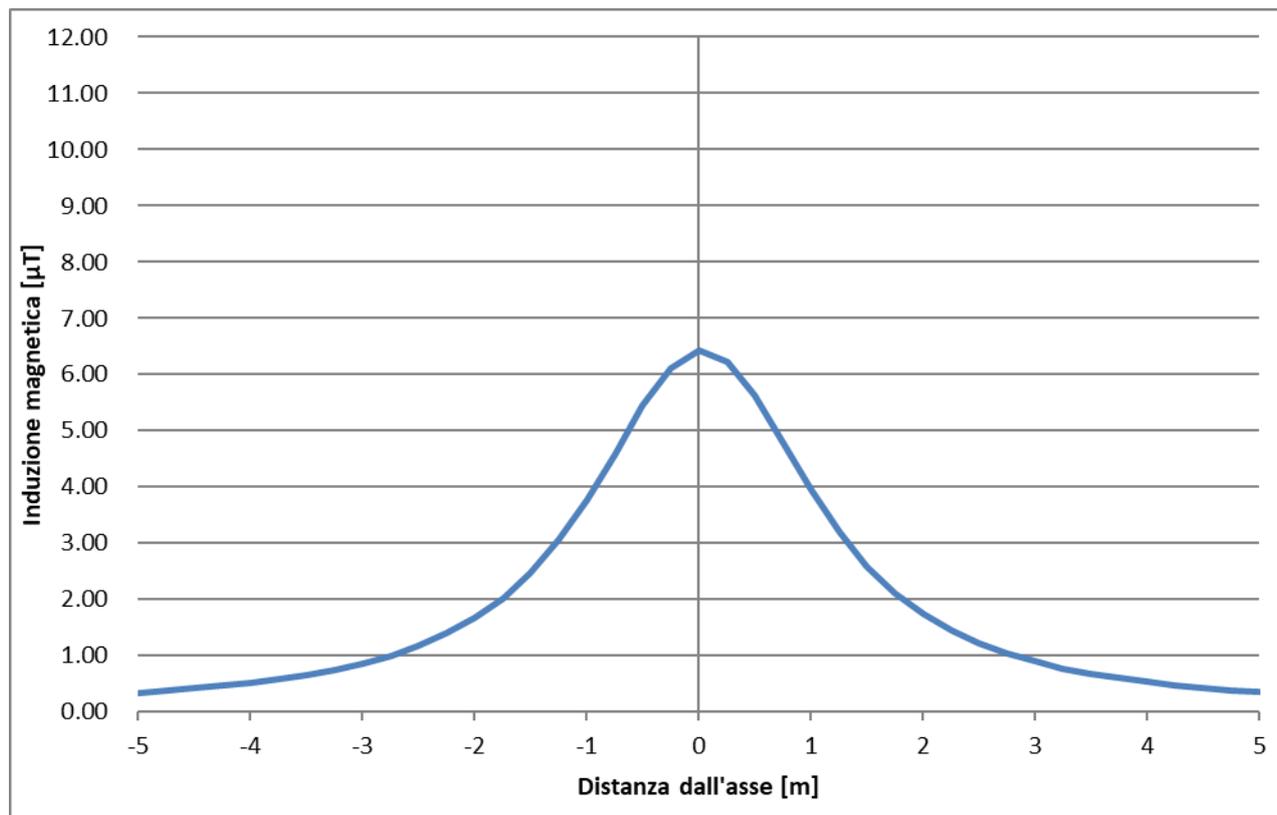


Figura 6-10 – Andamento campo magnetico – Sezione 9

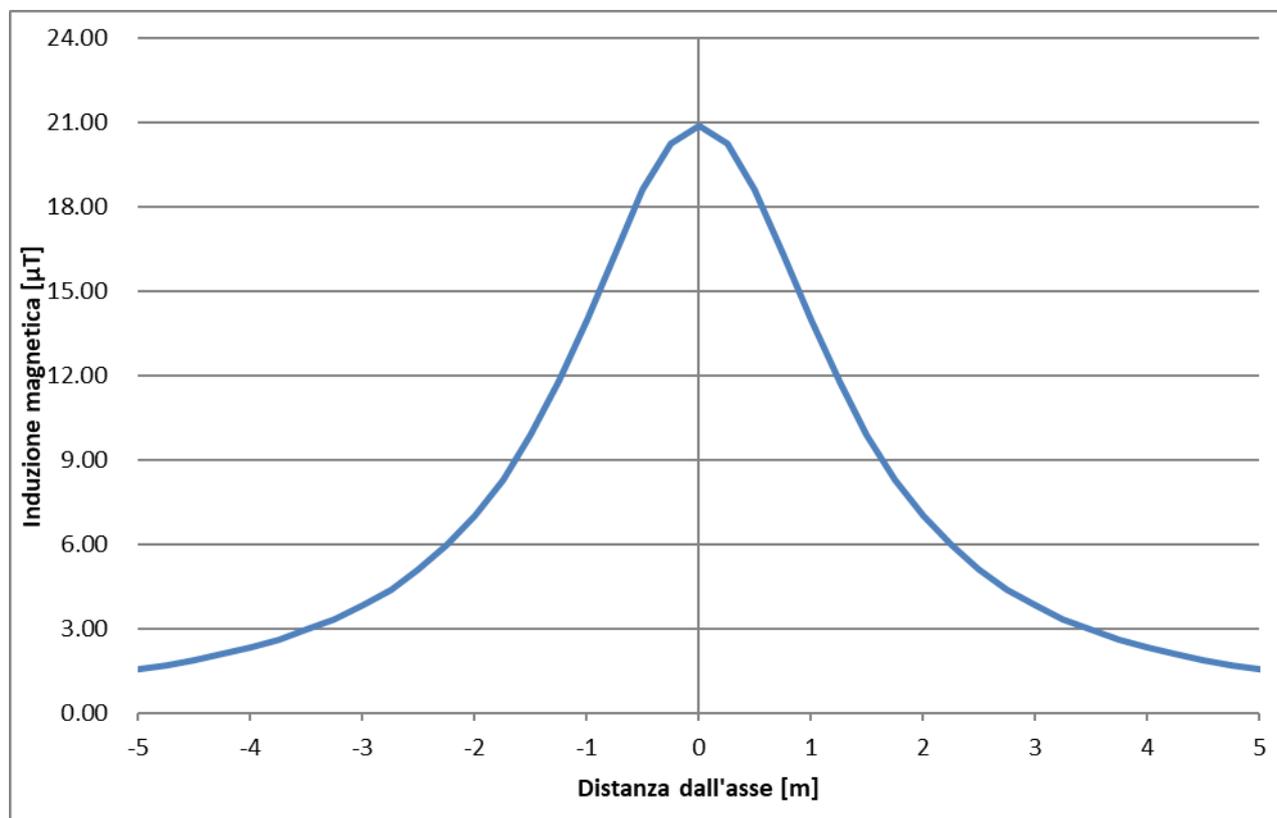


Figura 6-11 – Andamento campo magnetico – Sezione 10

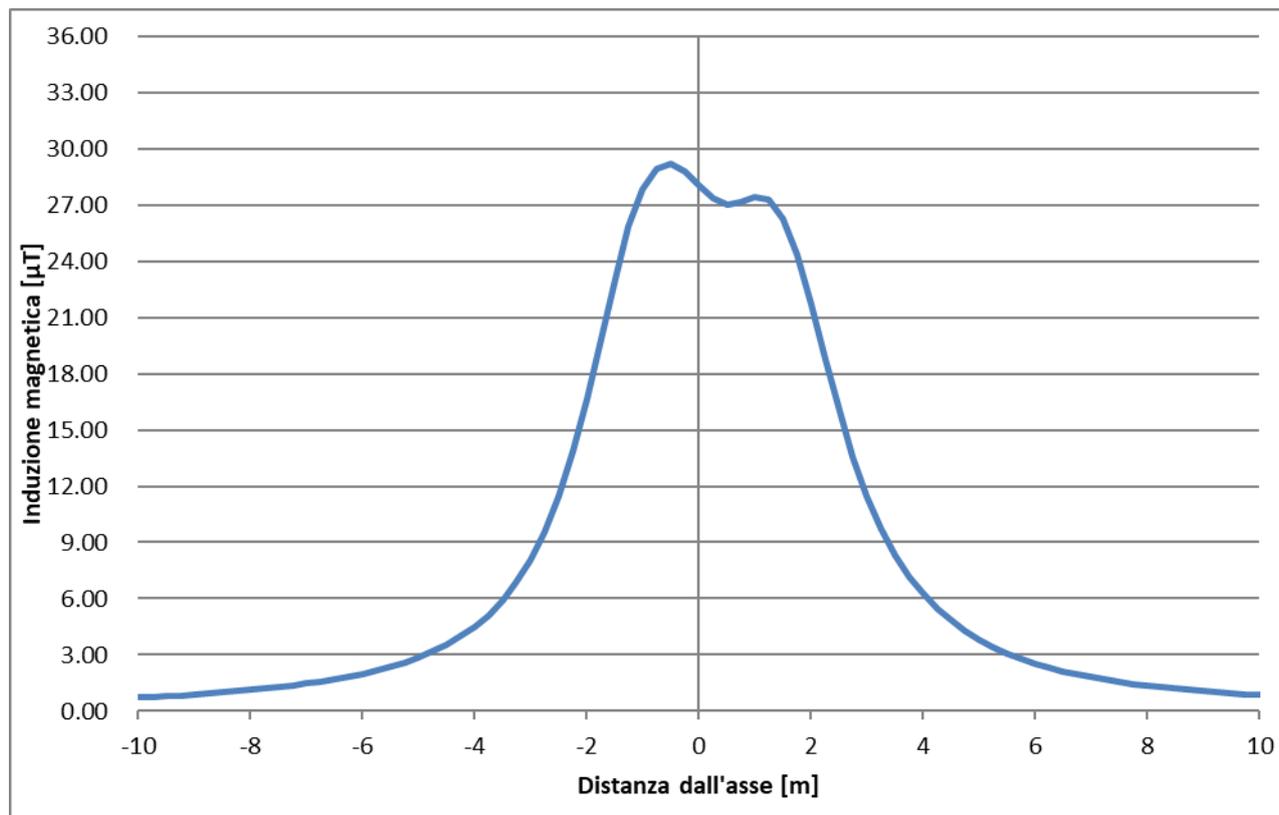


Figura 6-12 – Andamento campo magnetico – Sezione 11

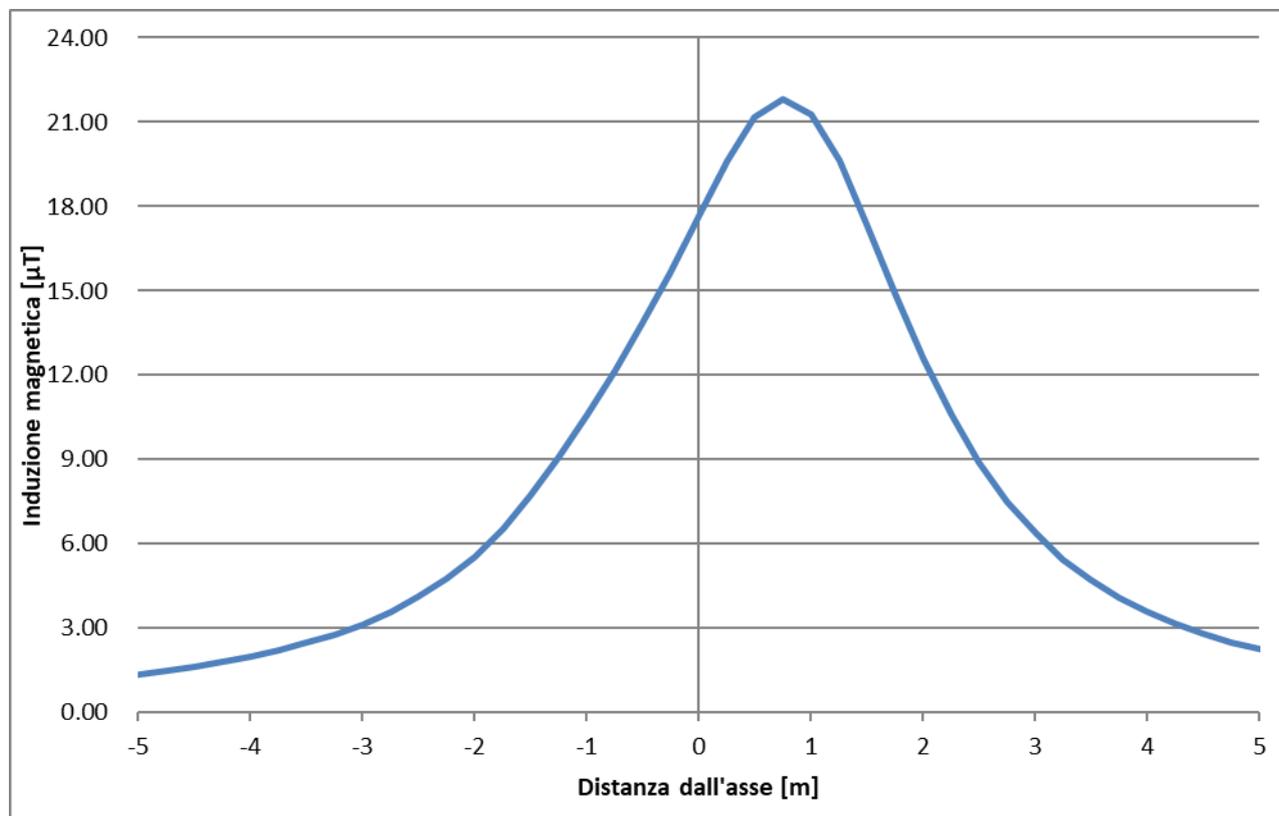


Figura 6-13 – Andamento campo magnetico – Sezione 12

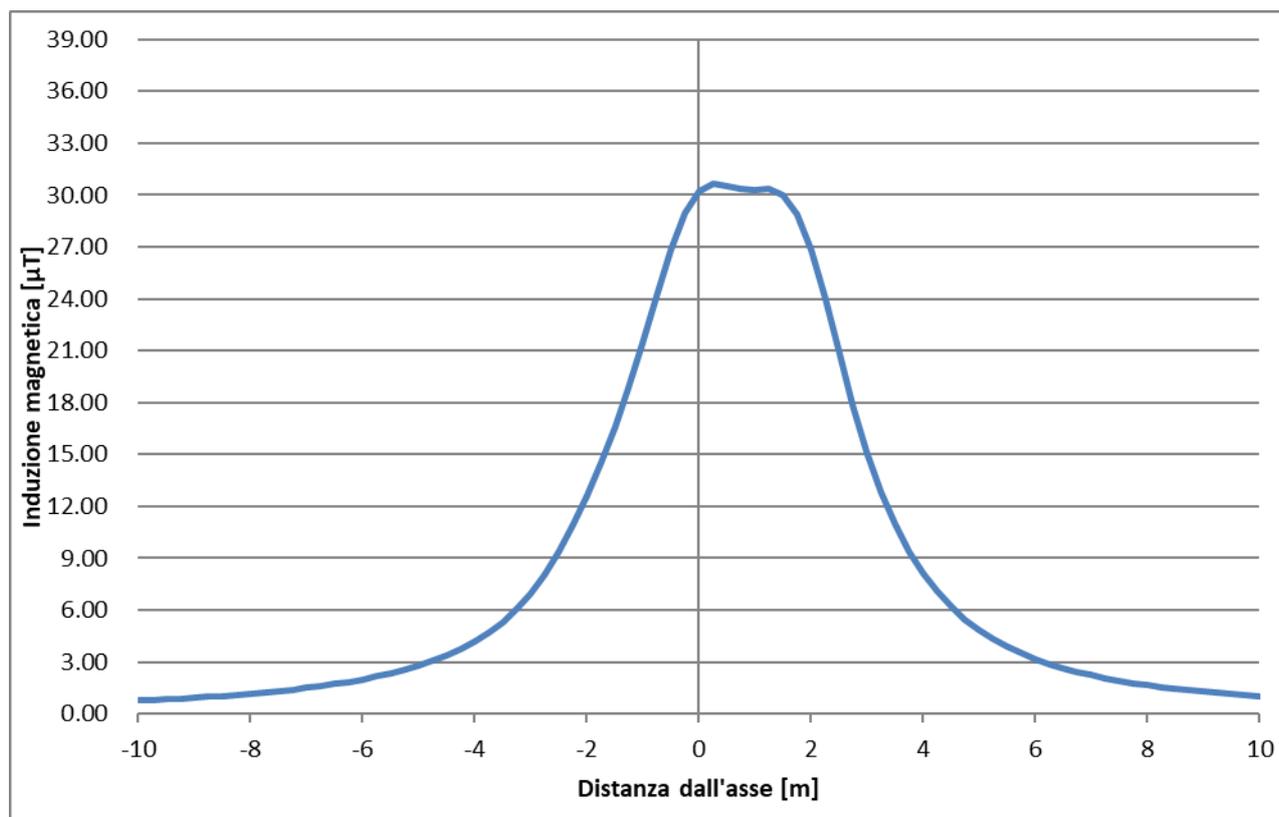


Figura 6-14 – Andamento campo magnetico – Sezione 13

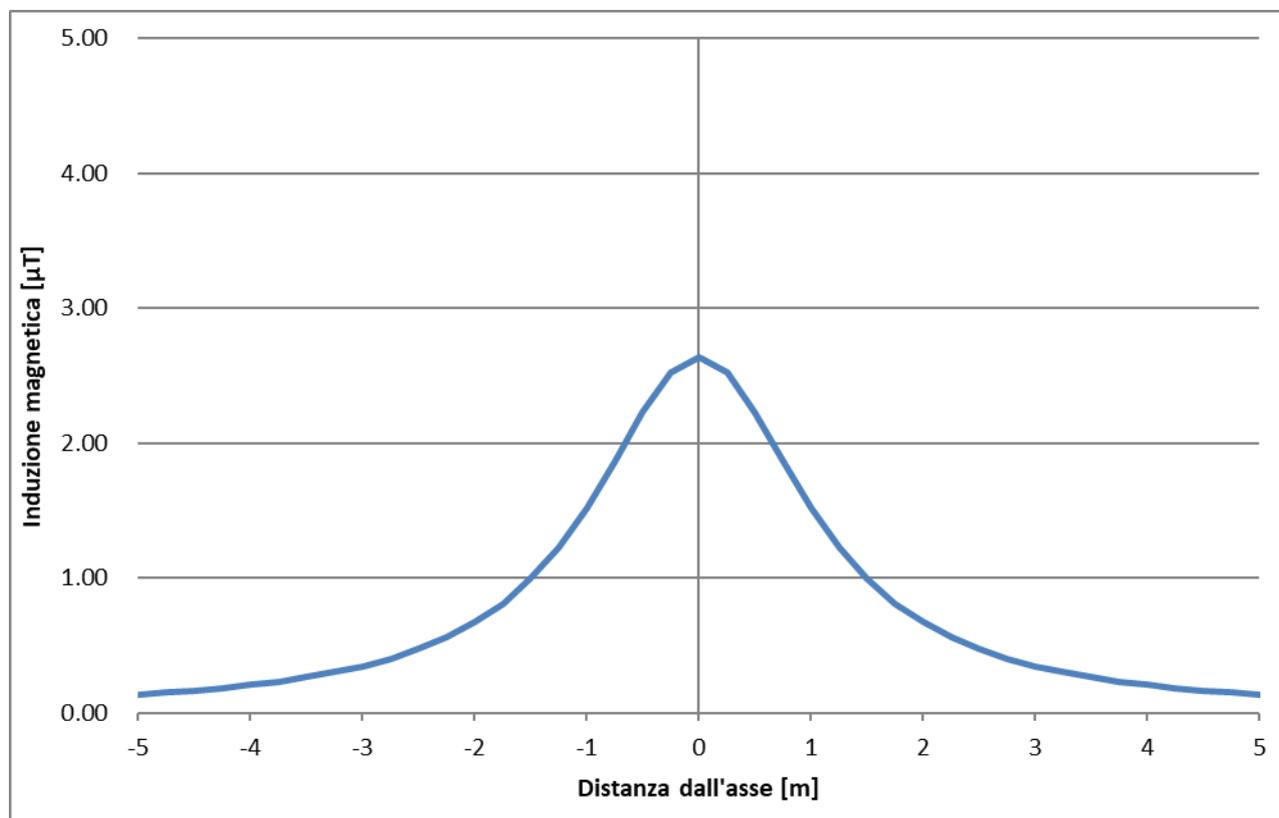


Figura 6-15 – Andamento campo magnetico – Sezione 14

#### 6.2.1.1.4 Fasce di rispetto

Dalle curve di campo magnetico mostrati nelle figure al precedente paragrafo si possono individuare le fasce di rispetto al suolo, intese come distanza dall'asse della linea, oltre la quale il campo magnetico è inferiore all'obiettivo di qualità a 3  $\mu$ T imposto dalla norma vigente.

Le fasce di rispetto risultanti sono raccolte nella seguente tabella e devono essere considerate come distanze su ciascun lato dello scavo, a partire dall'asse centrale dello stesso.

Sez	Descrizione	Fascia di rispetto (m)
1	C01: una terna	0,00
2	C03: una terna	0,00
3	C03/C05: due terne	0,80
4	T01: quattro terne	2,30
5	T01: due terne	1,60
6	T03: tre terne	2,60
7	T03: quattro terne	3,00
8	T04: quattro terne	3,30
9	C22: due terne	1,30
10	RTN: una terna 220 kV	3,50
11	SSE: quattro terne 30 kV e una terna 220 kV	5,60
12	SSE: una terna 30 kV e una terne 220 kV	4,40
13	SSE: una terna 30 kV e due terne 220 kV	6,20
14	BESS: una terna	0,00

*Tabella 6-2 – Fasce di rispetto*

### 6.3. CAMPI ELETTROMAGNETICI DELLE OPERE CONNESSE

#### 6.3.1. STAZIONE ELETTRICA D'UTENZA

Per la connessione della cabina di impianto alla linea RTN a 220 kV è necessaria la realizzazione di una Stazione Elettrica di Utenza (SSEU). A seconda del mezzo isolante utilizzato, possono essere realizzate due tipi di sottostazioni elettriche: quelle isolate in aria (AIS, Air Insulated Switchgear) e quelle isolate con gas esafluoruro di zolfo (GIS, Gas Insulated Switchgear).

Come da documentazione di progetto, in questo caso è prevista la realizzazione di una sottostazione di tipo AIS. Nella Stazione Elettrica di Utenza la tensione viene innalzata da 30 kV a 220 kV. La cabina nella stazione di utenza ospita il modulo MT ed il modulo AT, con le celle MT (ricezione linea, interfaccia e contatori) ed il quadro BT di alimentazione dei servizi ausiliari di cabina, nonché il sistema computerizzato di gestione dell'impianto.

Le stazioni di alta tensione sono caratterizzate da valori di campo elettrico ed induzione magnetica che dipendono – oltre che dall'intensità di corrente di esercizio – dagli specifici componenti (sezionatori di sbarra, interruttori, trasformatori, etc.) presenti nella stazione stessa.

Tutte le apparecchiature presenti in stazione saranno ovviamente progettate e realizzate in accordo alla normativa tecnica vigente, con particolare attenzione a quanto previsto dallo stato dell'arte per la compatibilità elettromagnetica.

#### 6.3.2. SORGENTI SPECIFICHE

Con riferimento alla valutazione dei campi elettromagnetici generati dalla SSEU 30/220 kV, sono state individuate le seguenti possibili sorgenti in grado di generare un campo elettromagnetico significativo determinando dunque l'opportunità di osservare la relativa distanza di prima approssimazione (DPA come previsto dalla "Linea Guida per l'applicazione del 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08" emanata da ENEL Distribuzione S.p.A.):

- Sbarre A.T. a 220 kV in aria;
- Condutture in cavo interrato o in aria a tensione nominale 30 kV;

Resta inteso che le altre possibili sorgenti di onde elettromagnetiche di minore rilevanza (linee di B.T., trasformatori M.T./B.T., trasformatori A.T./M.T., apparecchiature in B.T., ecc.), sono state giudicate non significative ai fini della presente valutazione, come peraltro riscontrato anche nella letteratura di settore.

##### 6.3.2.1. Sbarre AT a 220 kV in aria

Le caratteristiche relative a tale sorgente di emissione sono le seguenti:

Descrizione	Valore
Tipo conduttura	Sbarre in aria
Numero conduttori attivi	3
Tensione nominale tra le fasi	220 kV
Tensione nominale verso terra	127 kV

Altezza minima	5,3 m (nota 1)
Disposizione dei conduttori	In piano
Interasse tra i conduttori	3,2 m
Portata conduttori	920 A
Corrente di impiego	185 A
Limite di esposizione campo magnetico	3 $\mu$ T
Limite di esposizione campo elettrico	5 kV/m

Nota 1: Ai fini della sicurezza, si considera l'altezza minima dei conduttori da terra all'interno dello stallo condiviso, dal momento che i campi magnetici risultanti raggiungeranno il massimo valore

*Tabella 6-3 – Caratteristiche sbarre 220 kV*

Per il calcolo del campo elettrico è stata seguita la metodologia illustrata nella guida di cui alla Norma CEI 211-4, considerando una superficie utile posta prima ad un'altezza di 1 m dal piano di calpestio e successivamente a 2 m dal piano di calpestio (valutazione in corrispondenza di punti in cui è possibile la presenza di un essere umano).

Nella tabella che segue, che riassume i risultati ottenuti dai calcoli del campo elettrico, i valori di x ed y sono espressi in metri e si riferiscono alle due coordinate di un sistema di coordinate cartesiane (x = asse orizzontale e y = asse verticale) posto sul piano di sezione delle Sbarre AT avente origine sul piano di calpestio ed in corrispondenza dell'asse di simmetria delle sbarre stesse. Data la simmetria del sistema è stato sufficiente il calcolo in una sola direzione lungo l'asse x.

I calcoli eseguiti hanno fornito i seguenti risultati per il campo elettrico:

X (m)	Y (m)	E (kV/m)
0	1	2,57
1	1	3,52
2	1	4,22
3	1	4,41
4	1	4,10
5	1	3,46
0	2	4,73
1	2	4,69
2	2	4,90
3	2	4,96
4	2	4,41
5	2	3,50

*Tabella 6-4 – Andamento approssimato campo elettrico sbarre 220 kV*

Dai risultati sopra riportati risulta evidente che anche nel punto più sfavorevole (cioè sotto le Sbarre A.T.) il valore del campo elettrico risulta inferiore al limite di 5 kV/m previsto dalla normativa vigente; pertanto, tali fonti di emissione non richiedono alcuna fascia di rispetto.

Per il calcolo del campo magnetico si utilizzano le stesse equazioni viste in precedenza e come già applicate per la definizione dei campi magnetici generati dai cavi MT.

Come definito dalla normativa vigente, la distanza di prima approssimazione DPA deve essere calcolata in corrispondenza della massima corrente di esercizio ad una altezza di 1 m dal suolo.

L'impatto elettromagnetico nella SSE è essenzialmente prodotto dalle linee/sbarre aeree di connessione tra il trasformatore, le apparecchiature elettromeccaniche e l'eventuale area TERNA, comunque non applicabile in questa situazione.

Le sbarre AT sono assimilabili ad una linea aerea trifase 220 kV, con conduttori posti in piano ad una distanza reciproca di 3,2 m, ad un'altezza di circa  $\geq 5,3$  m dal suolo, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate.

Nel caso in esame si devono considerare due possibili scenari, a seconda che si consideri la sola potenza dell'impianto oggetto del presente progetto, oppure la potenza complessiva dei produttori afferenti allo stallo condiviso.

Nel primo caso si hanno i seguenti valori:

- $S$  (distanza tra i conduttori) = 3,2 m
- $P_n$  = Potenza massima dell'impianto (70,4 MW)
- $V_n$  = Tensione nominale delle sbarre AT (220 kV)

Pertanto si avrà:

$$I = P_n / (V_n \times \sqrt{3} \times \cos\varphi) = 185 \text{ A}$$

Applicando la metodologia di calcolo già utilizzata per i cavi, si ottiene l'andamento di campo magnetico seguente:

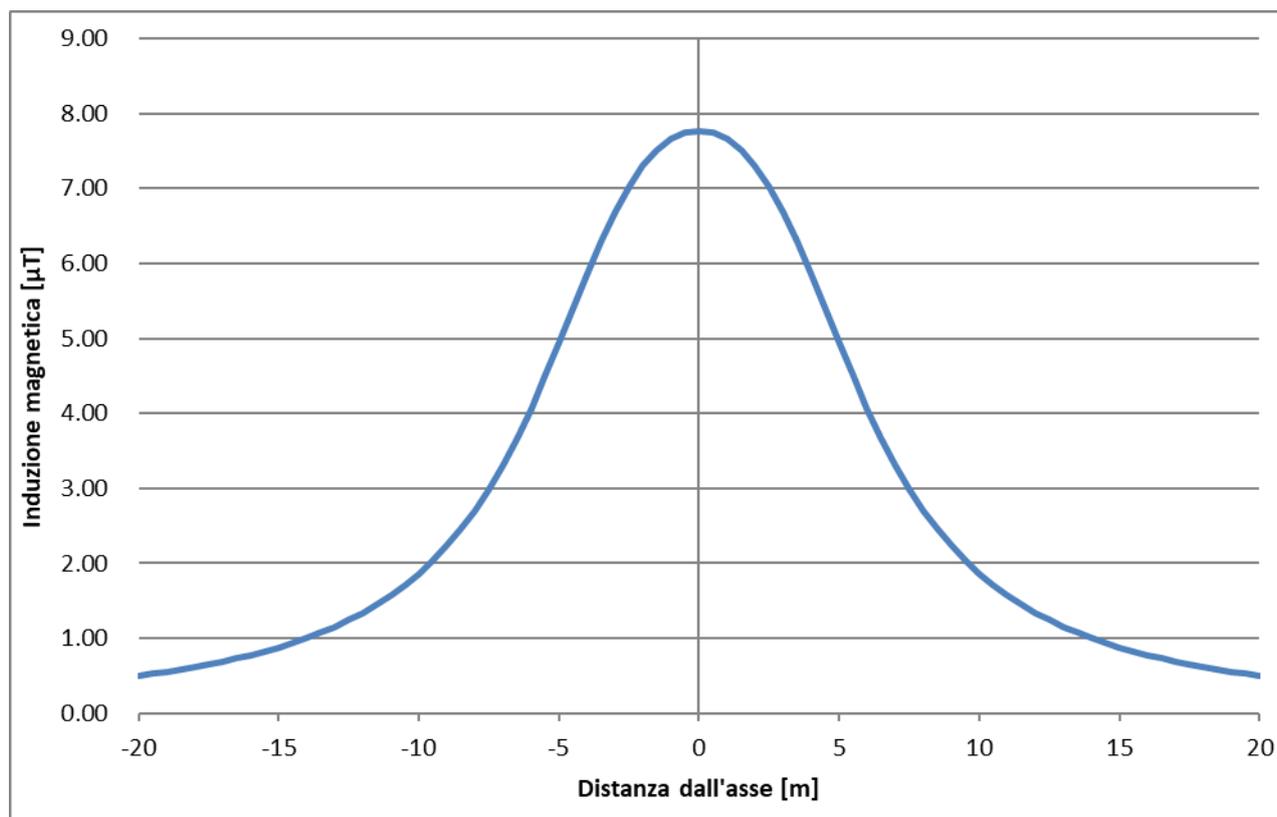


Figura 6-16 – Andamento campo magnetico – Sbarre 220 kV con corrente di impianto

Nel secondo caso si hanno i seguenti valori:

- $S$  (distanza tra i conduttori) = 3,2 m
- $P_n$  = Potenza massima dell'impianto (350 MW)
- $V_n$  = Tensione nominale delle sbarre AT (220 kV)

Pertanto si avrà:

$$I = P_n / (V_n \times \sqrt{3} \times \cos\varphi) = 920 \text{ A}$$

In questo caso il profilo del campo magnetico risultante sarà il seguente:

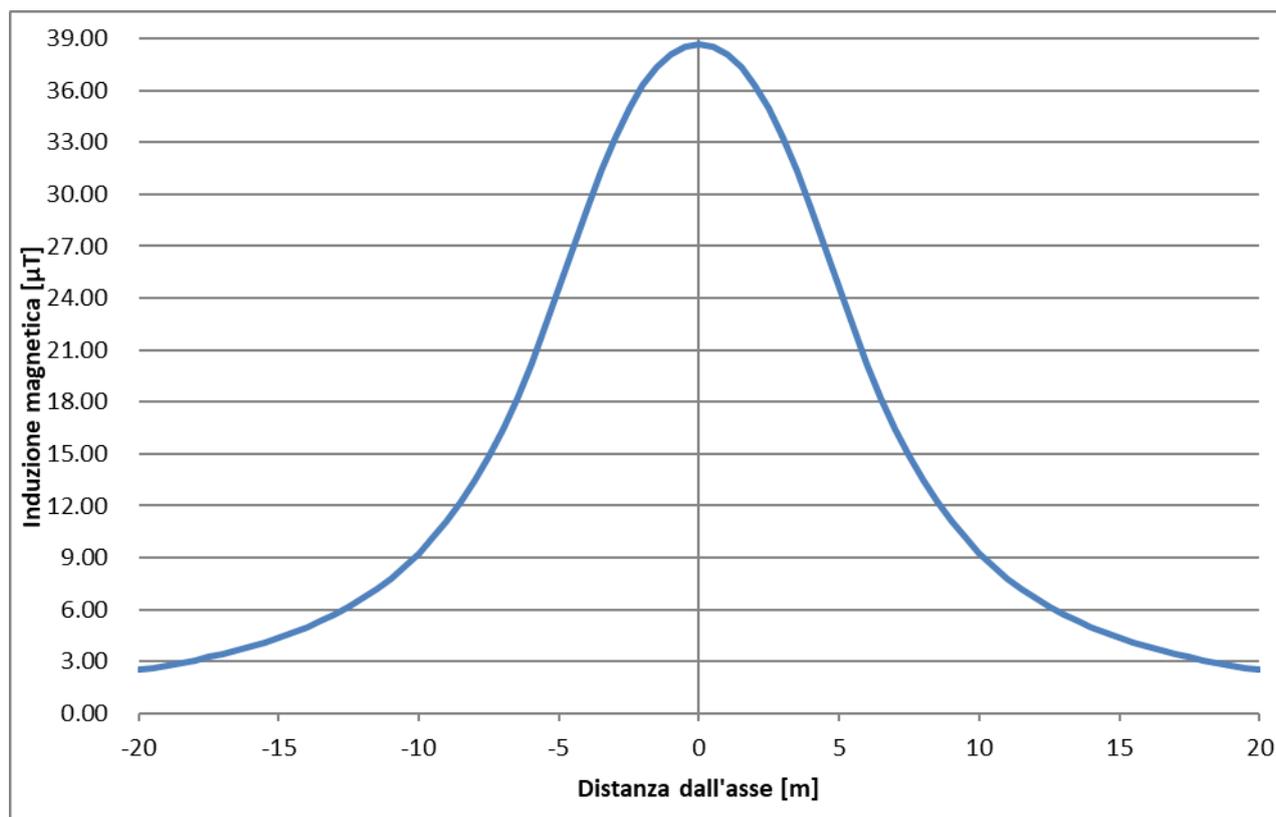


Figura 6-17 – Andamento campo magnetico – Sbarre 220 kV con corrente nominale

Come chiaramente riportato dal grafico, il campo magnetico generato dalle sbarre AT non comporta nessun rischio per i lavoratori, essendo ampiamente al di sotto delle soglie limite, anche negli scenari più gravosi considerati.

Si deve invece considerare una fascia di rispetto di circa 19 m, nell'intorno delle sbarre e dei conduttori aerei dello stallo condiviso, per il rispetto del valore di 3 μT previsto dal DPCM 8 Luglio 2003 come obiettivo di qualità.

Come si può facilmente verificare nelle tavole di progetto, all'interno di tale fascia di rispetto non ricade alcun ricettore sensibile e non si hanno pertanto problemi di alcun tipo.