

00	Novembre 2023	PRIMA EMISSIONE	D. Cavallo	M. Cutini	F. Fellin
REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APROVATO



**REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA**  
**Provincia di Udine**  
 COMUNI DI PREMARIACCO E REMANZACCO



PROGETTO:

**IMPIANTO FOTOVOLTAICO "FRIULI 02"**  
 da 39,3 MW<sub>p</sub> di potenza nominale  
 PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE:



Piazza Manifattura, 1 – 38068 Rovereto (TN)  
 Tel. +39 0464 625100 - Fax +39 0464 625101 - PEC r2r.arn@pec.a2.eu

PROGETTISTA:



OGGETTO DELL'ELABORATO:

**RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO**

N° ELABORATO				CODIFICA COMMITTENTE
8				R08

ID ELABORATO: PVFRL02\_R08\_Relazione sull'impatto elettromagnetico\_Rev.0

Questo elaborato è di proprietà di R2R S.r.l. ed è protetto a termini di legge



## INDICE

1	INTRODUZIONE .....	3
2	DATI GENERALI.....	3
2.1	Dati del Proponente .....	3
2.2	Località di realizzazione dell'intervento .....	4
2.3	Destinazione d'uso .....	4
2.4	Dati catastali.....	4
2.5	Connessione .....	5
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
4	CENNI DI TEORIA .....	9
4.1	CAMPI ELETTRICI .....	9
4.2	CAMPI MAGNETICI .....	11
5	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI.....	13
5.1	CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIANTO FOTOVOLTAICO.....	13
5.1.1	Moduli fotovoltaici.....	13
5.1.2	Inverter .....	13
5.1.3	Cabine di conversione (Inverter station) .....	13
5.1.4	Cabine MT .....	14
5.2	CAMPI ELETTROMAGNETICI CAVI MT .....	15
5.2.1	Campi elettrici .....	15
5.2.2	Campi magnetici.....	15
5.3	CAMPI ELETTROMAGNETICI DELLE OPERE CONNESSE.....	20
5.3.1	Stazione elettrica d'utenza.....	20

## 1 INTRODUZIONE

R2R S.r.l. (di seguito anche la “**Società**”), con sede in 38068 Rovereto (TN), Piazza Manifattura n. 1, è una società appartenente al Gruppo A2A., multiutility italiana che, per quanto riguarda il settore energia, copre tutta la catena del valore, operando nella generazione, vendita e distribuzione dell’energia elettrica.

Per quanto riguarda l’iniziativa descritta nel presente elaborato, R2R ha in progetto la realizzazione di un nuovo impianto fotovoltaico e delle relative opere e infrastrutture connesse avente una potenza nominale complessiva di 39,3 MW<sub>DC</sub>, denominato “Friuli 02”, sito nel territorio dei Comuni di Premariacco e Remanzacco, in provincia di Udine (di seguito anche il “Parco Fotovoltaico”).

Secondo quanto previsto dal preventivo prot. TERNA P20200035076, relativo alla connessione del Parco Fotovoltaico Friuli 2, Codice Pratica 202000378, rilasciato da Terna S.p.A. in data 11/06/2020 e accettato dalla Società in data 07/10/2020, l’impianto si collegherà, tramite degli elettrodotti interrati previsti in gran parte su strade pubbliche, e per brevi tratti all’interno di proprietà private, alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) per l’immissione dell’energia elettrica prodotta attraverso una sottostazione utente di trasformazione e consegna (di seguito anche “SSEU”), prevista nel Comune di Remanzacco, da collegare in antenna a 132 kV con la sezione 132 kV della già esistente Stazione Elettrica (SE) RTN 220/132 kV denominata “Udine Nord Est”.

L’area interessata dal Parco Fotovoltaico ricade su una superficie catastale complessiva di circa 62 ettari, dei quali 48 recintati per l’impianto. Il territorio è caratterizzato da una morfologia pressoché pianeggiante, l’area d’impianto è posta all’incirca tra le quote 95 e 105 m s.l.m.

L’impianto sarà costituito da pannelli fotovoltaici ad alto rendimento che permetteranno di ottenere una produzione annua netta stimata di energia elettrica di circa 61,15 GWh/anno, pari al consumo medio annuo di energia elettrica di 24.500 famiglie.

Il ricorso alla produzione di energia da fonte rinnovabile, quale quella fotovoltaica, costituisce una strategia prioritaria per ridurre le emissioni di inquinanti in atmosfera provocate dalla produzione di energia elettrica mediante processi termici. Questo progetto apporterà infatti 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 27.176 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:

SOCIETA' PROPONENTE	
Denominazione	R2R S.R.L.
Indirizzo sede legale	Piazza Manifattura, 1 – 38068 Rovereto (TN)
Codice Fiscale/Partita IVA	02650930221
Capitale Sociale	10.000,00 €
PEC	<a href="mailto:r2r.arn@pec.a2a.eu">r2r.arn@pec.a2a.eu</a>

Tabella 2-1 – Informazioni principali della Società Proponente

## 2.2 Località di realizzazione dell'intervento

L'impianto fotovoltaico oggetto del presente progetto è suddiviso in due blocchi, localizzati rispettivamente nel comune di Remanzacco (UD), Blocco Remanzacco, e nel comune di Premariacco (UD), Blocco Premariacco, all'interno del quale si distinguono due aree impianto: l'Area A e l'Area B.

L'elettrodotto MT 30 kV relativo alle tre aree di impianto interessa entrambi i comuni di Premariacco e Remanzacco (UD).

## 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 le aree di impianto, così come individuati da catasto dei comuni interessati, sono:

- Blocco Premariacco Area A:  
Comune di Premariacco (UD) FG 19 particelle 29, 32, 33, 34, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 65, 66, 68, 69, 70, 73, 74, 75, 76, 79, 80, 81, 84, 85, 86
- Blocco Premariacco Area B:  
Comune di Premariacco FG 11 particella 213
- Blocco Remanzacco:  
Comune di Remanzacco (UD) FG 12 particelle 3, 4, 5, 6, 7, 12, 13, 14, 15, 16, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 90, 91, 92, 93, 98, 131, 150, 258

L'area della stazione utente interesserà invece i seguenti terreni, così come individuati da catasto del comune di Remanzacco (UD):

- FG 12 particella 104

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	Comuni di Premariacco e Remanzacco (UD)
Potenza di Picco (kWp)	39.312 kWp
Potenza in immissione AC	35.500 kW
Informazioni generali del sito	Sito pianeggiante ben raggiungibile da strade statali/provinciali/comunali
Tipo di strutture di sostegno	Inseguitore monoassiale
Coordinate blocco Premariacco A	Latitudine 46° 2' 42.50"N

	Longitudine	13° 20' 37.71"E
Coordinate blocco Premariacco B	Latitudine	46° 2' 52.66"N
	Longitudine	13° 20' 49.61"E
Coordinate blocco Remanzacco	Latitudine	46° 5' 12.86"N
	Longitudine	13° 18' 2.12"E
Coordinate Stazione Utente 132 kV	Latitudine	46° 4' 54.89"N
	Longitudine	13° 18' 8.73"E

*Tabella 2-2 – Dati impianto*

## 2.5 Connessione

La Società VOLTA GREEN ENERGY S.R.L. ha presentato a Terna S.p.A. ("il Gestore"), in data 02/03/2020, la richiesta di connessione alla RTN. Alla richiesta è stato assegnato Codice Pratica 202000378.

Il gestore ha trasmesso la soluzione tecnica minima generale per la connessione (STMG) in data 11/06/2020 successivamente accettata in data 07/10/2020.

Tale STMG, insieme a tutta la pratica di connessione, è poi stata positivamente volturata alla società R2R S.R.L. in data 25 Febbraio 2022.

Lo schema di allacciamento alla RTN prevede che l'impianto venga collegato in antenna a 132 kV con la sezione 132 kV della Stazione Elettrica (SE) RTN 220/132 kV denominata "Udine Nord Est".

Al fine di razionalizzare l'utilizzo delle strutture di rete, il Gestore ha proposto inoltre di condividere lo stallo RTN 132 kV nella stazione SE Udine Nord Est con altri impianti di produzione.

La stazione utente di impianto e il nuovo elettrodotto in antenna a 132 kV per il collegamento della stessa alla SE Udine Nord Est costituiscono impianto di utenza per la connessione, mentre lo stallo arrivo produttore a 132 kV nella suddetta stazione costituisce impianto di rete per la connessione.

### 3 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 sopracitati 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.

## 4 CENNI DI TEORIA

### 4.1 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:

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

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

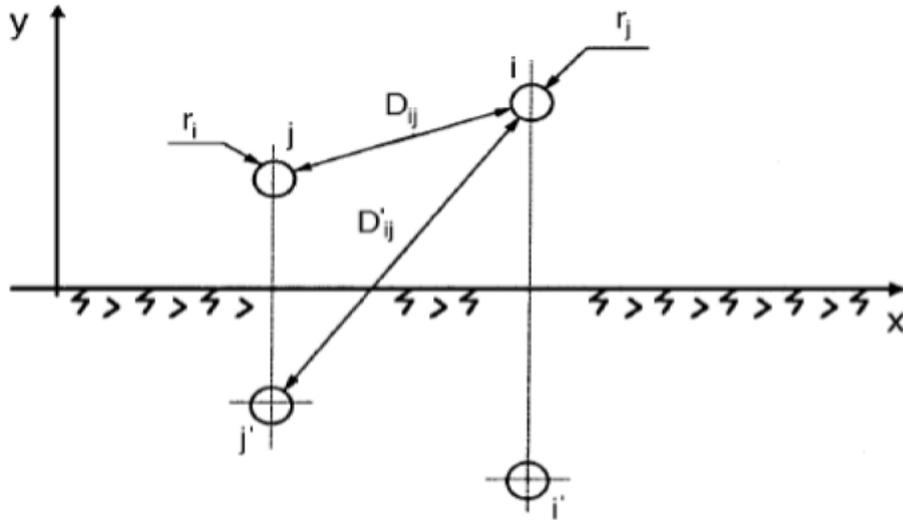


Figura 4-1 – Convenzioni seguite nel calcolo dei coefficienti di potenziale

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).

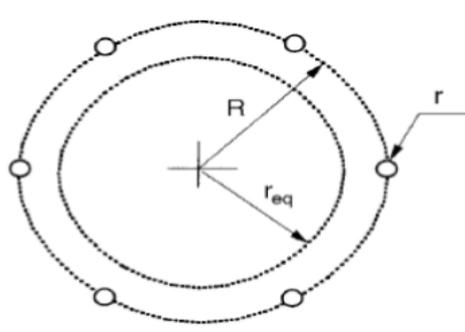


Figura 4-2 – Identificazioni raggi conduttori

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 è il versore unitario con direzione radiale dal conduttore stesso. Considerando il sistema di riferimento di Figura 4 1, in cui (xi, yi) 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:

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

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

## 4.2 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:

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

dove d è la distanza tra il conduttore ed il punto di calcolo; i versori  $\vec{u}_I$  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 4 1), ed essendo il versore del campo dovuto al conduttore i-esimo pari a:

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

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

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

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

## 5 CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

### 5.1 CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIANTO FOTOVOLTAICO

#### 5.1.1 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.

#### 5.1.2 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.

#### 5.1.3 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 4250 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.

#### 5.1.4 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.

## 5.2 CAMPI ELETTROMAGNETICI CAVI MT

### 5.2.1 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.

### 5.2.2 Campi magnetici

#### 5.2.2.1 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).

#### 5.2.2.2 Condizioni di posa

Per le condizioni di posa dei cavi lungo le dorsali si rimanda alla tavola PVFRL02\_T13 - Planimetria impianto fotovoltaico 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.

#### 5.2.2.3 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.

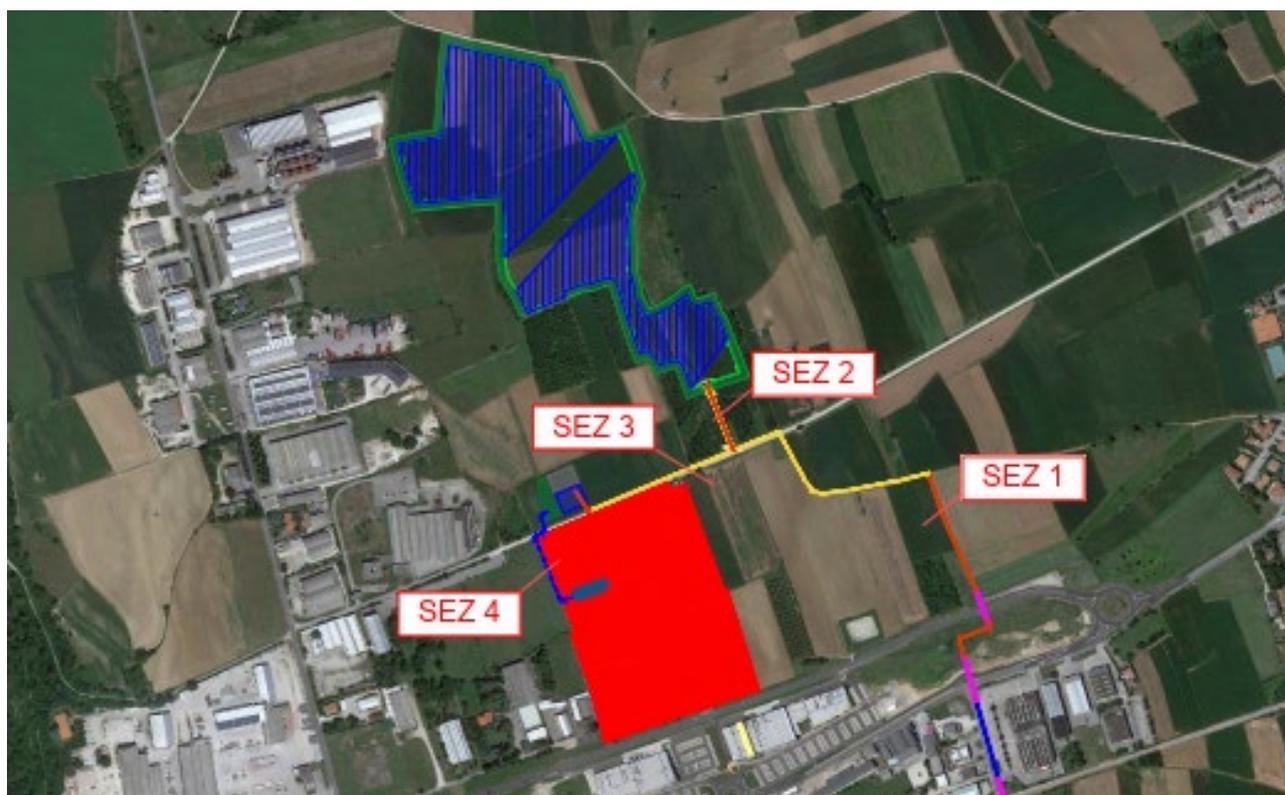


Figura 5-1 – Sezioni per definizione campo magnetico, cavi MT

Sez	Descrizione	Sez cavo 1 (mm <sup>2</sup> )	I cavo 1 (A)	Sez cavo 2 (mm <sup>2</sup> )	I cavo 2 (A)
1	T03: due terne	400	321	400	316
2	T01: due terne	400	321	630	429
3	SSE: due terne	630	429	400	316
4	SSE-RTN: una terna	1200	691 (nota 1)	-	-

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 5-1 – Sezioni per calcolo campo magnetico

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

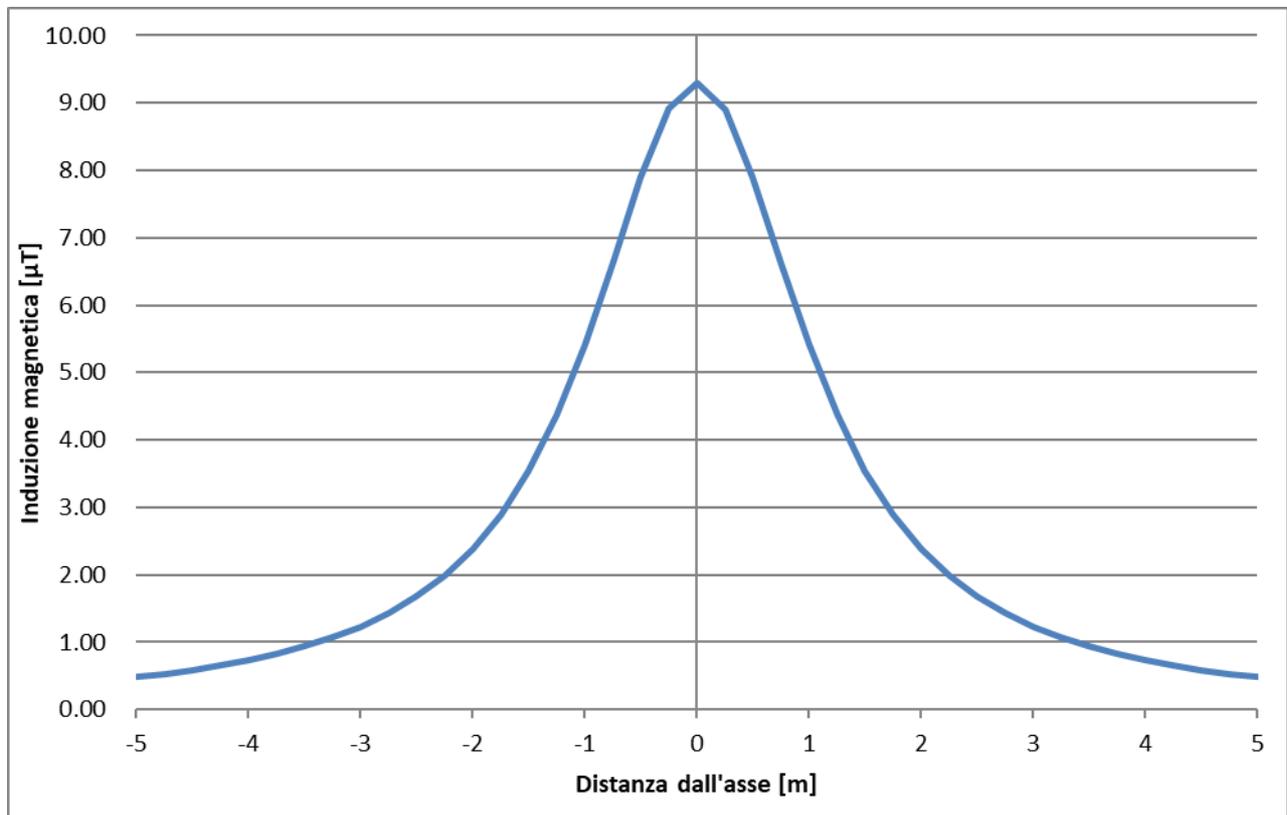


Figura 5-2 – Andamento campo magnetico – Sezione 1

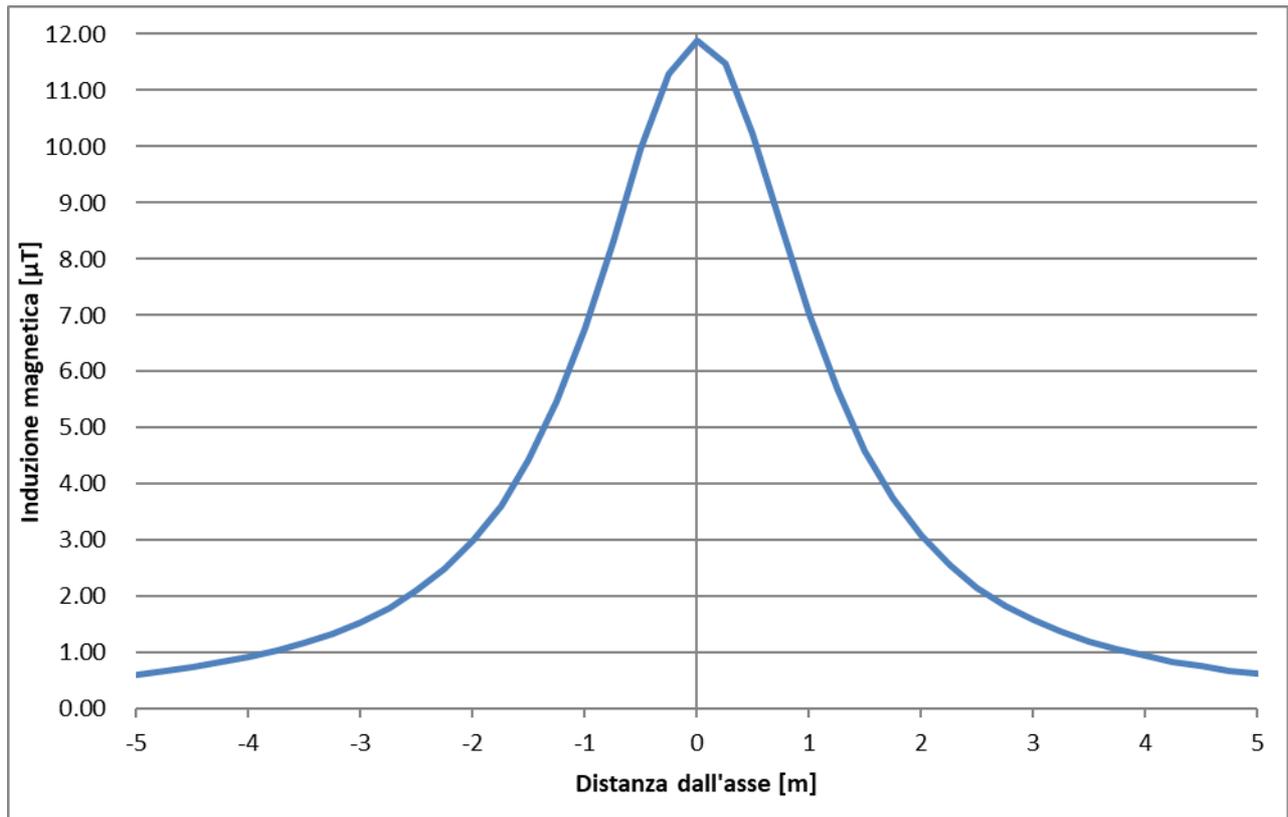


Figura 5-3 – Andamento campo magnetico – Sezione 2

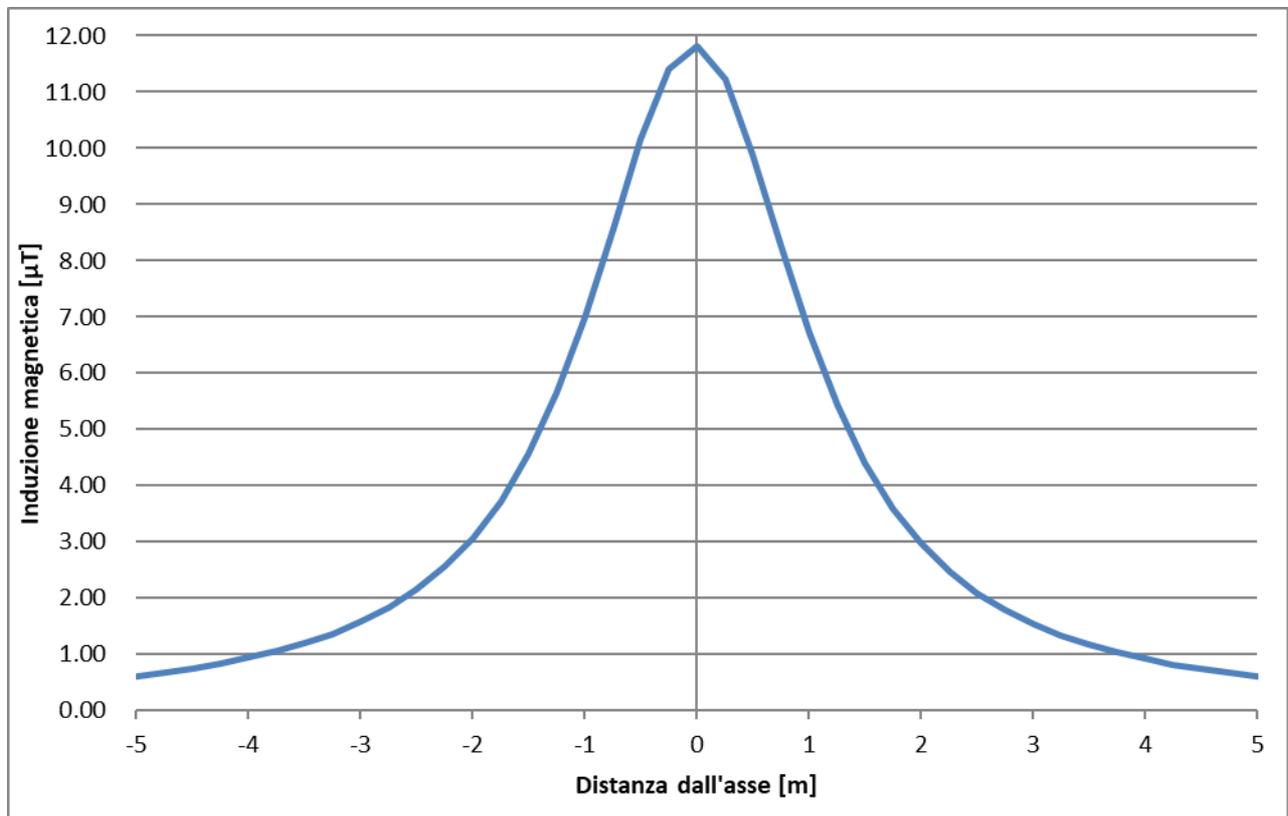


Figura 5-4 – Andamento campo magnetico – Sezione 3

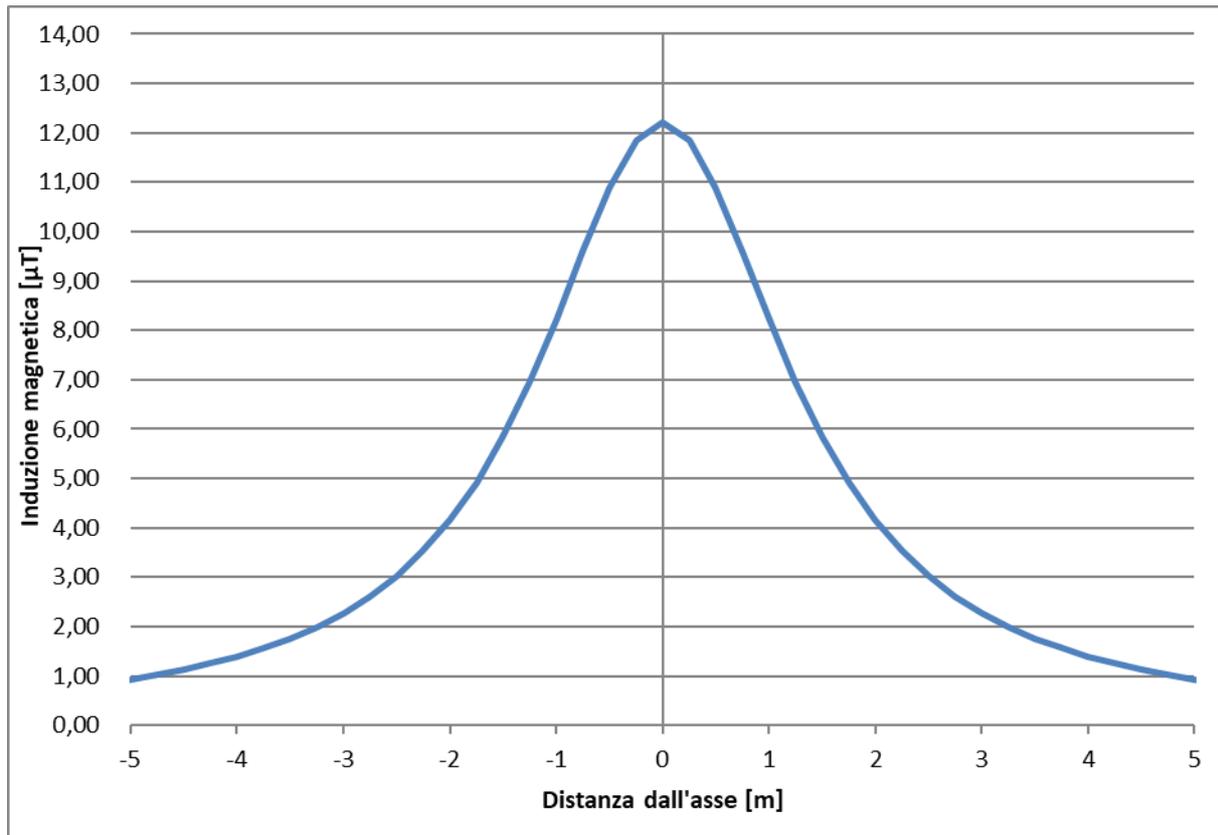


Figura 5-5 – Andamento campo magnetico – Sezione 4

#### 5.2.2.4 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 μT 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	T03: due terne	1,70
2	T01: due terne	1,90
3	SSE: due terne	1,90
4	SSE-RTN: una terna	2,50

Tabella 5-2 – Fasce di rispetto

## 5.3 CAMPI ELETTROMAGNETICI DELLE OPERE CONNESSE

### 5.3.1 Stazione elettrica d'utenza

Per la connessione della cabina di impianto alla linea RTN a 132 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 132 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.

#### 5.3.1.1 Sorgenti specifiche

Con riferimento alla valutazione dei campi elettromagnetici generati dalla SSEU 30/132 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 132 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.

#### 5.3.1.2 Sbarre AT a 132 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	132 kV
Tensione nominale verso terra	76,2 kV
Altezza minima	4,5 m (nota 1)
Disposizione dei conduttori	In piano

Interasse tra i conduttori	2,2 m
Portata conduttori	870 A
Corrente di impiego	181 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 5-3 – Caratteristiche sbarre 132 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	2,15
1	1	2,95
2	1	3,54
3	1	3,70
4	1	3,44
5	1	2,90
0	2	4,26
1	2	4,22
2	2	4,41
3	2	4,46
4	2	3,97
5	2	3,15

*Tabella 5-4 – Andamento approssimato campo elettrico*

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 132 kV, con conduttori posti in piano ad una distanza reciproca di 2,2 m, ad un'altezza di circa  $\geq 4,5$  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) = 2,2 m
- $P_n$  = Potenza massima dell'impianto (39,3 MW)
- $V_n$  = Tensione nominale delle sbarre AT (132 kV)

Pertanto si avrà:

$$I = P_n / (V_n \times \sqrt{3} \times \cos\phi) = 181 \text{ A}$$

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

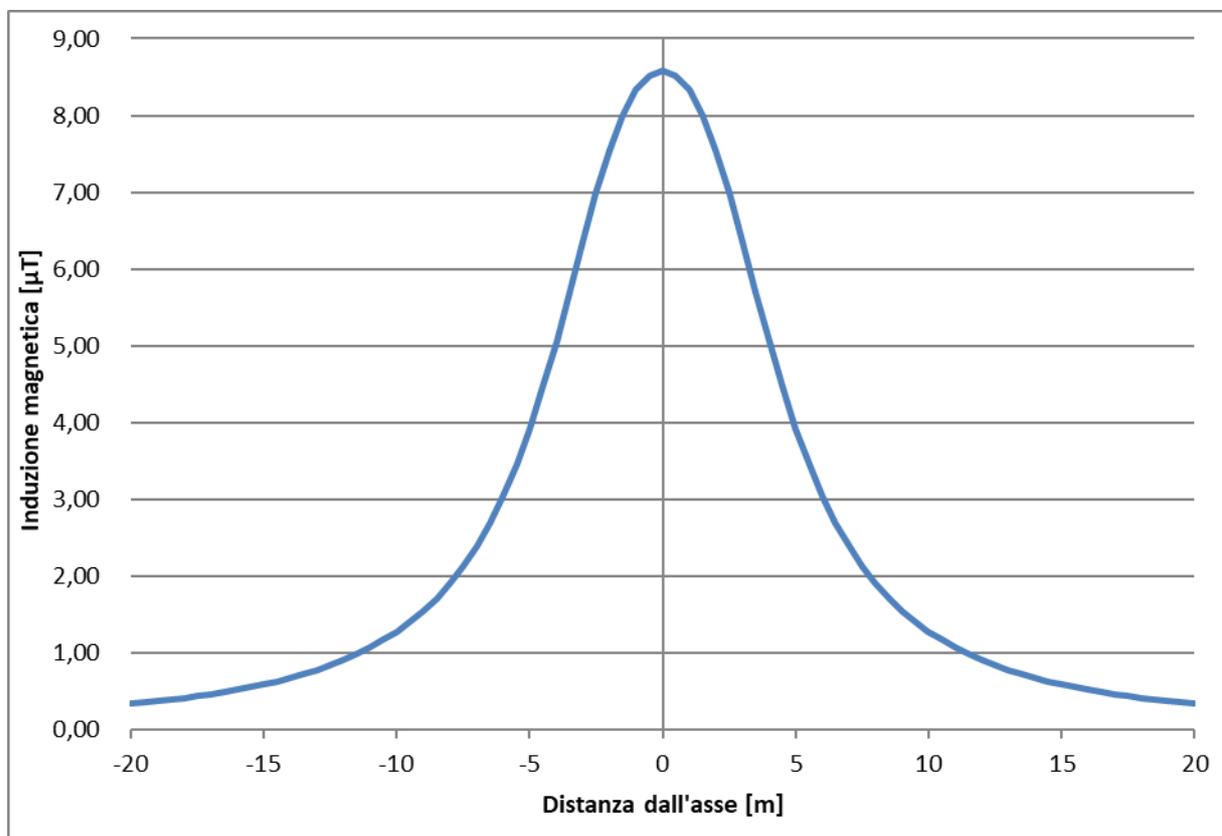
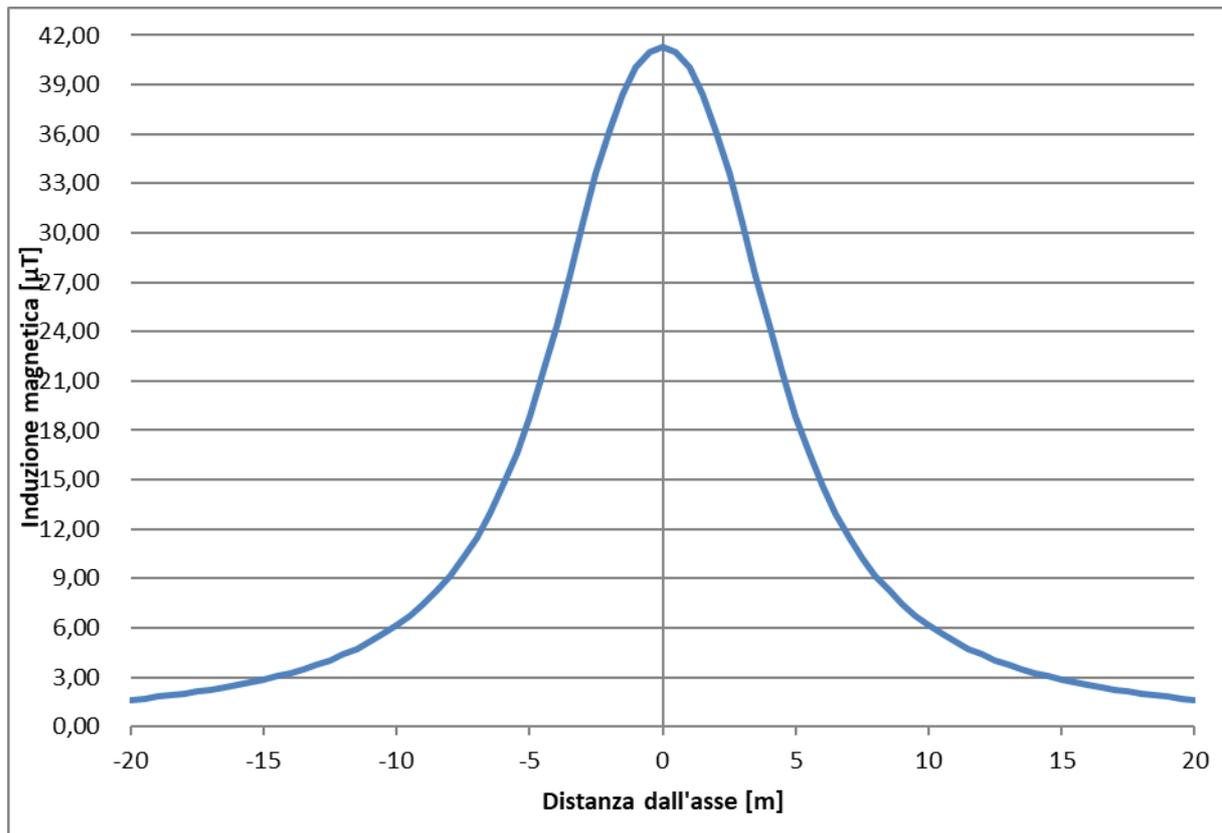


Figura 5-6 – Andamento campo magnetico sbarre AT stazione utente

Nel secondo caso si hanno i seguenti valori:

- $S$  (distanza tra i conduttori) = 2,2 m
- $I_n$  = Corrente nominale massima come da specifica RTN: 870 A

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



*Figura 5-7 – Andamento campo magnetico sbarre AT stazione utente – Massima portata*

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 14,5 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.