

Regione
Emilia Romagna



Provincia di
Ferrara



Comune di
Bondeno



IMPIANTO AGROVOLTAICO DI 60MW SITO NEL COMUNE DI BONDENO (FE) E RELATIVE OPERE CONNESSE

PROGETTISTA INCARICATO:
Ing. Riccardo Clementi
Pec: riccardo.clementi@ingpec.eu



Scala

n.d.

Titolo elaborato:

RELAZIONE TECNICA
CAMPI
ELETTROMAGNETICI

Formato

A4

TECNICI COINVOLTI

Ing. Riccardo Clementi
Arch. Emiliano Manzato
Dott. Agr. Stefano Pesavento
Dott. Geol. Loris Tietto

CODICE ELABORATO

PROGETTO	CLASSE	TIPO	PROG.
RVFVER32	VIA2	R	33

Rev.	Data	Descrizione	Redige	Verifica	Approva
00	02/23	Prima emissione	GR	RC	RC
01					
02					
03					
04					
05					
06					

GESTORE RETE ELETTRICA



SOCIETA' PROPONENTE:

Bondeno SRL
Via Mike Bongiorno, 13 - 20124 Milano
PEC: bondeno@pec-legal.it
REA: MI - 2677347
P.iva 05496160283

SOCIETA' di PROGETTAZIONE:

Renvalue SRL
Via Quattro Novembre, 2 Padova
PEC: cert@pec.renvalue.it

Indice

1	Introduzione.....	3
1.1	Documenti di riferimento	3
2	Normativa di riferimento	4
2.1	Definizioni	4
2.2	Obiettivi di qualità.....	5
3	Descrizione dell'impianto.....	6
4	Calcolo dei campi elettromagnetici.....	8
4.1	Valutazione preventiva dei campi elettrici.....	8
4.2	Valutazione preventiva dei campi magnetici	8
4.3	Analisi del caso di studio	8
4.3.1	Sezione A.....	10
4.3.2	Moduli fotovoltaici.....	11
4.3.3	Inverter	11
4.3.4	Cabina con quadri di raccolta a 36 kV	11
4.3.5	Cabina di trasformazione (skid).....	12
5	Ricettori più vicini	14
6	Conclusioni.....	16

1 Introduzione

Nella presente relazione si descrive la costruzione di tutte le opere necessarie alla connessione alla rete elettrica nazionale di un impianto fotovoltaico di 62699.42 kWp localizzato nel Comune di Bondeno (FE), secondo quanto indicato da Terna S.p.A. nella Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) concordata.

La STMG prevede la connessione dell'impianto alla rete elettrica nazionale mediante realizzazione di un nuovo elettrodotto a 36 kV che si andrà a connettere in antenna alla nuova Stazione Elettrica 132/36 kV denominata "BONDENO". A tale futura SE verranno collegate le linee RTN a 132 kV "Finale Emilia – Bondeno", "Bondeno-Ferrara Cassana" e "Bondeno – Pilastresi All.", oggi afferenti alla Cabina Primaria Bondeno.

1.1 Documenti di riferimento

A completamento si faccia riferimento ai seguenti elaborati:

- RVFVER32-VIA2-D17 Layout di impianto Nord
- RVFVER32-VIA2-D18 Layout di impianto Sud
- RVFVER32-VIA2-D19 Planimetria cavidotti di campo Nord
- RVFVER32-VIA2-D20 Planimetria cavidotti di campo Sud

2 Normativa di riferimento

La normativa che si occupa di tutelare la popolazione dall'esposizione ai campi elettromagnetici, disciplina separatamente le alte frequenze (impianti radiotelevisivi, stazioni radio base, ponti radio) e le basse frequenze (elettrrodotti). Le leggi di riferimento nella presente valutazione sono:

- Legge Quadro n.36 del 22 febbraio 2001 "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici".
- DPCM (Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri) dell'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".
- DPCM (Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri) dell'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, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz".
- D.Lgs 9 aprile 2008, n. 81 "Attuazione dell'art. 1 della Legge 3 agosto 2007, n.123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro" e s.m.i.

2.1 Definizioni

Valgono le seguenti definizioni:

- *Esposizione*: è la condizione di una persona soggetta a campi elettrici, magnetici, elettromagnetici, o a correnti di contatto, di origine artificiale;
- *Limite di esposizione*: è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, definito ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori;
- *Valore di attenzione*: è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, che non deve essere, superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate;
- *Elettrodoto*: Insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione;
- *Esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici*: è ogni tipo di esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici che, per la loro specifica attività lavorativa, sono esposti a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici;
- *Esposizione della popolazione*: è ogni tipo di esposizione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici ad eccezione dell'esposizione di cui alla lettera f) e di quella intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici;
- *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.”

2.2 Obiettivi di qualità

Gli obiettivi di qualità sono:

- 1) I criteri localizzativi, gli standard urbanistici, le prescrizioni e le incentivazioni per l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili indicati dalle leggi regionali;
- 2) I valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico definiti dallo Stato ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi medesimi.

La protezione della popolazione dall'esposizione ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50Hz) generati da linee e cabine elettriche, è obiettivo del DPCM 8 luglio 2003 (artt. 3 e 4) che fissa, in conformità alla Legge 36/2001 (art. 4, c. 2):

- i limiti di esposizione del campo elettrico (5 kV/m) e del campo magnetico (100 μ T) come valori efficaci, per la protezione da possibili effetti a breve termine;
- il valore di attenzione (10 μ T) e l'obiettivo di qualità (3 μ T) del campo magnetico da intendersi come mediana nelle 24 ore in normali condizioni di esercizio, per la protezione da possibili effetti a lungo termine connessi all'esposizione nelle aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenza non inferiore a 4 ore giornaliere (luoghi tutelati).

Il valore di attenzione si riferisce ai luoghi tutelati esistenti nei pressi di elettrodotti esistenti; l'obiettivo di qualità si riferisce, invece, alla progettazione di nuovi elettrodotti in prossimità di luoghi tutelati esistenti o alla progettazione di nuovi luoghi tutelati nei pressi di elettrodotti esistenti. Il DPCM 8 luglio 2003, all'art. 6, in attuazione della Legge 36/01 (art. 4 c. 1 lettera h), introduce la metodologia di calcolo delle fasce di rispetto, definita nell'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti). Detta fascia comprende tutti i punti nei quali, in normali condizioni di esercizio, il valore di induzione magnetica può essere maggiore o uguale all'obiettivo di qualità.

3 Descrizione dell'impianto

Di seguito, in sintesi, i dati relativi all'impianto fotovoltaico:

Moduli Fotovoltaici	
Tipologia modulo FTV	685W Risen Energy Co.
Quantità moduli	91532
Potenza DC	62699.42 kWp
Moduli per stringa	28
Numero di stringhe	3269
Pannelli	
Modello	ARCTECH
q.tà tracker da 1 stringa	391
q.tà tracker da 1,5 stringhe	116
q.tà tracker da 2 stringhe	1352
q.tà tracker da 2.5 stringhe	0
Inverter	
Modello	Proteus Gamesa Electric 4500 kVA
Potenza nominale	4500 kVA
Numero di inverter	14
Tensione AC di funzionamento	600V
Cabina di trasformazione	
Quantità	12
Tipo trasformatore	In resina
Potenza	10x4095 kVA e 2x8190 kVA
Gruppo	Dyn11
Tensioni di funzionamento	36/0.6 kV
Potenza di immissione in rete richiesta	56 MW

Nelle seguenti figure viene inoltre riportato il layout di impianto, in modo da visualizzare la disposizione dei pannelli e delle stringhe.

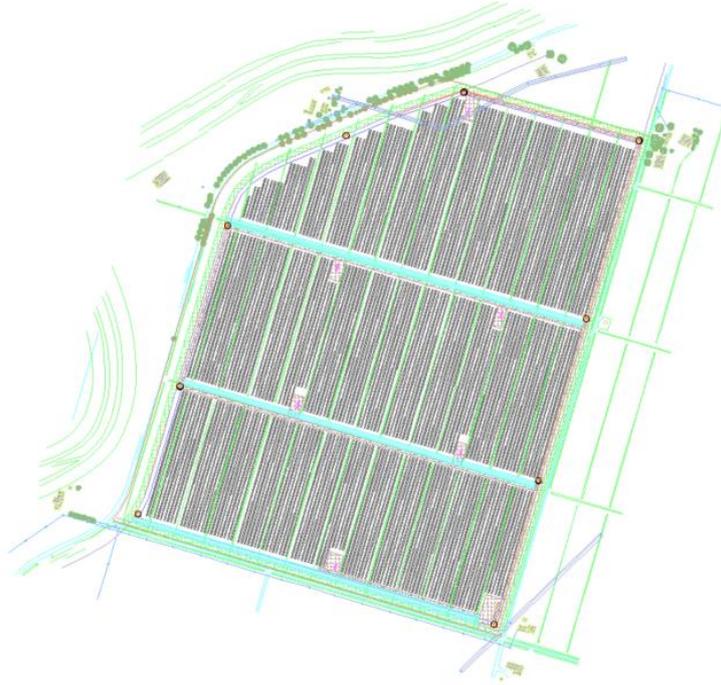


Figura 1 - Layout campo Nord dell'impianto fotovoltaico

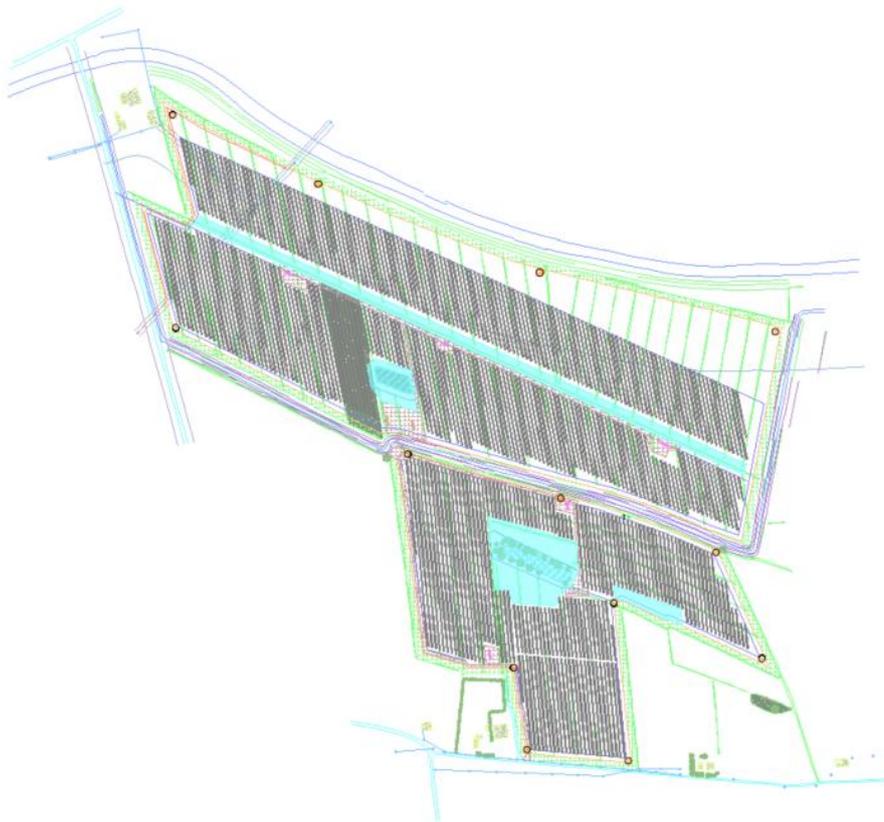


Figura 2 - Layout campo Sud dell'impianto fotovoltaico

4 Calcolo dei campi elettromagnetici

Una linea elettrica durante il suo normale funzionamento genera un campo elettrico ed un campo magnetico. Il primo è proporzionale alla tensione della linea stessa, mentre il secondo è proporzionale alla corrente che vi circola. Entrambi decrescono molto rapidamente con la distanza.

4.1 Valutazione preventiva dei campi elettrici

La grossa parte dell'impianto è ad alta tensione, e la massima tensione elettrica all'interno ed all'esterno è di 36 kV e che i campi elettrici sono schermati dal suolo, dalle recinzioni, dalle murature del fabbricato, dagli alberi, dalle strutture metalliche porta moduli, dalle guaine metalliche dei cavi di alta tensione, ecc., **si può trascurare completamente la valutazione dei campi elettrici** che, si ricorda, sono generati dalla tensione elettrica.

4.2 Valutazione preventiva dei campi magnetici

Per quanto concerne invece i campi magnetici è necessario identificare nella centrale fotovoltaica le possibili sorgenti emmissive e le loro caratteristiche. Una prima sorgente emmissiva è rappresentata dal generatore fotovoltaico e dai relativi cavidotti di collegamento con le cabine elettriche dove avviene la conversione e trasformazione.

Le simulazioni relative al calcolo dell'intensità del campo magnetico sono state elaborate con il software **"FEMM" (Finite Element Method Magnetics) v4.2** sviluppato da David Meeker, utilizzando modelli di calcolo basati sul metodo standardizzato dal Comitato Elettrotecnico Italiano Norma CEI 211-4/1996.

La corrente transitante in ogni tratta è stata calcolata con la seguente formula:

$$I = \frac{P \cdot 1,1}{V \cdot \sqrt{3}}$$

4.3 Analisi del caso di studio

Per quanto riguarda l'impianto fotovoltaico in oggetto, sono da analizzarsi i campi elettromagnetici prodotti dalle seguenti sorgenti:

- I cavi AT AC di collegamento tra i trasformatori e la cabina con quadri di raccolta a 36 kV
- I cavi AT AC di collegamento della cabina con quadri di raccolta a 36 kV e la SE
- Le cabine di trasformazione (skid)

È importante sottolineare che le emissioni elettromagnetiche generate dai singoli elementi vanno considerate nel loro comportamento cumulativo e simultaneo: per questo nella figura successiva è riportata la planimetria dei cavidotti, cosicché sia possibile determinare le sezioni più gravose e concentrare su di esse l'analisi tramite simulazione.

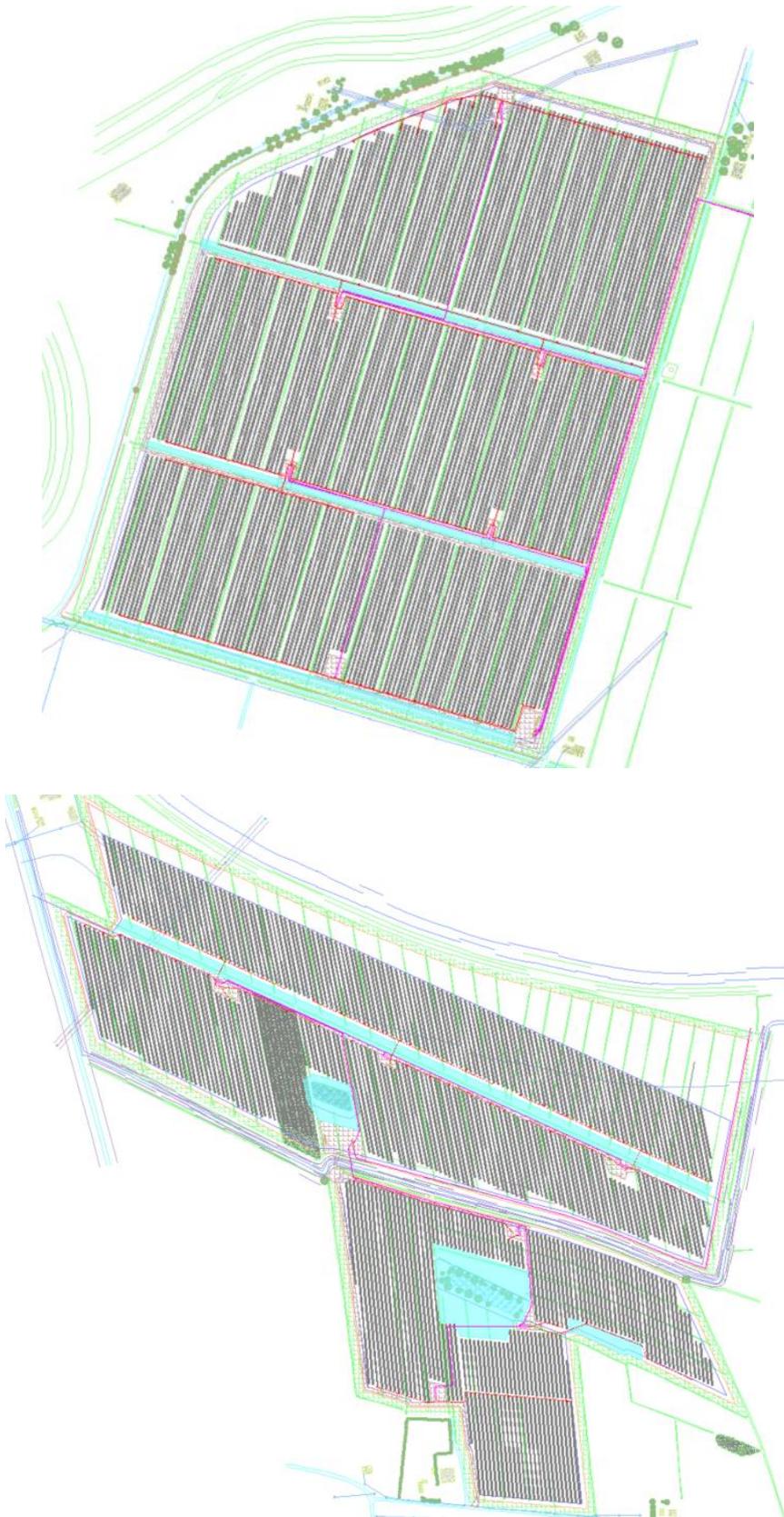


Figura 3 - Planimetria cavidotti

Analizzando la planimetria si evince che la sezione più gravosa è quella indicata dalla lettera A:



Figura 4 - Sezione più gravosa per la presenza di campi magnetici

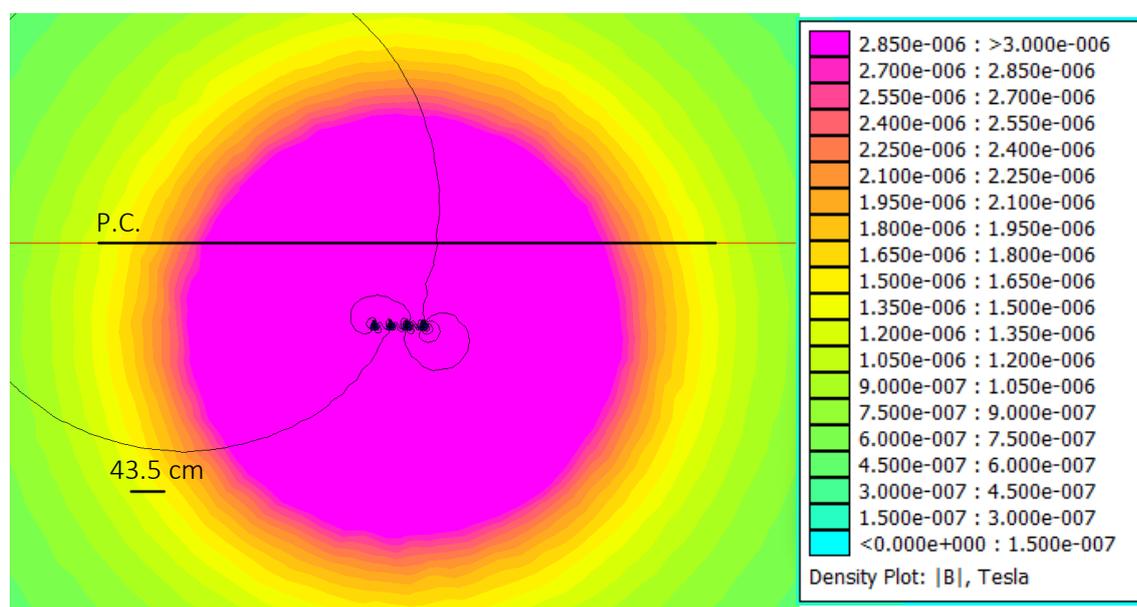
In corrispondenza della sezione A si hanno, infatti, 4 terne AT in parallelo, date dall'entra-esce dalla cabina con quadri di raccolta a 36 kV.

4.3.1 Sezione A

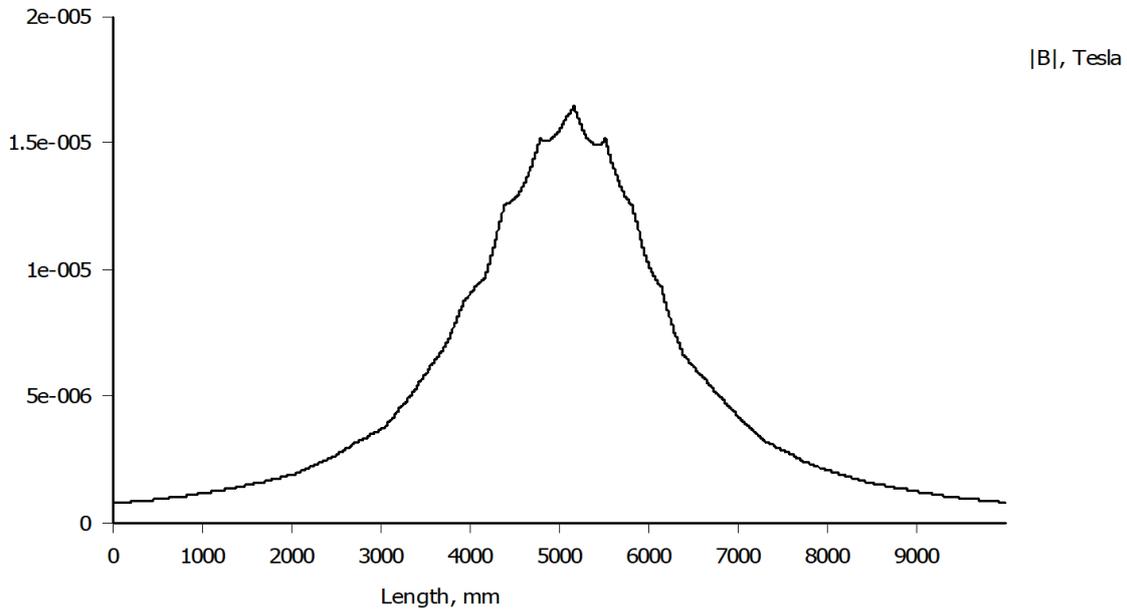
La sezione A è costituita dalla posa di 4 terne di conduttori AT, così descrivibile:

- Tipologia cavi: 20.8/36 kV (N)A2XS(F)2Y da 300 mmq di sezione
- Profondità di posa: >100 cm
- Corrente massima pari alla corrente massima in uscita dal trasformatore da 8190 kVA: 292 A, per i due cavi entranti nella cabina con quadri di raccolta a 36 kV
- Corrente massima pari a: 436 A, per i due cavi uscenti dalla cabina con quadri di raccolta a 36 kV e diretti verso la SE

La simulazione effettuata con il software FEMM 4.2 porta ai seguenti risultati, riportati in figura.



Nel grafico si riporta invece l'andamento del campo magnetico al piano di calpestio, da cui si evince che la fascia di rispetto ha un'ampiezza pari a **496 cm**, centrata con l'asse dei conduttori:



La DPA relativa a questa sezione vale invece **2.7 + 2.7 m** rispetto all'asse dei 4 conduttori.

4.3.2 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 transistori 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.

4.3.3 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).

4.3.4 Cabina con quadri di raccolta a 36 kV

Le cabine di raccolta saranno costituite da box prefabbricati, per la determinazione della Distanza di Prima Approssimazione si può fare riferimento alla linea guida Enel "Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08 – Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche" da cui all'All. B si desume che per una cabina di questo tipo la **DPA è di 2m**.

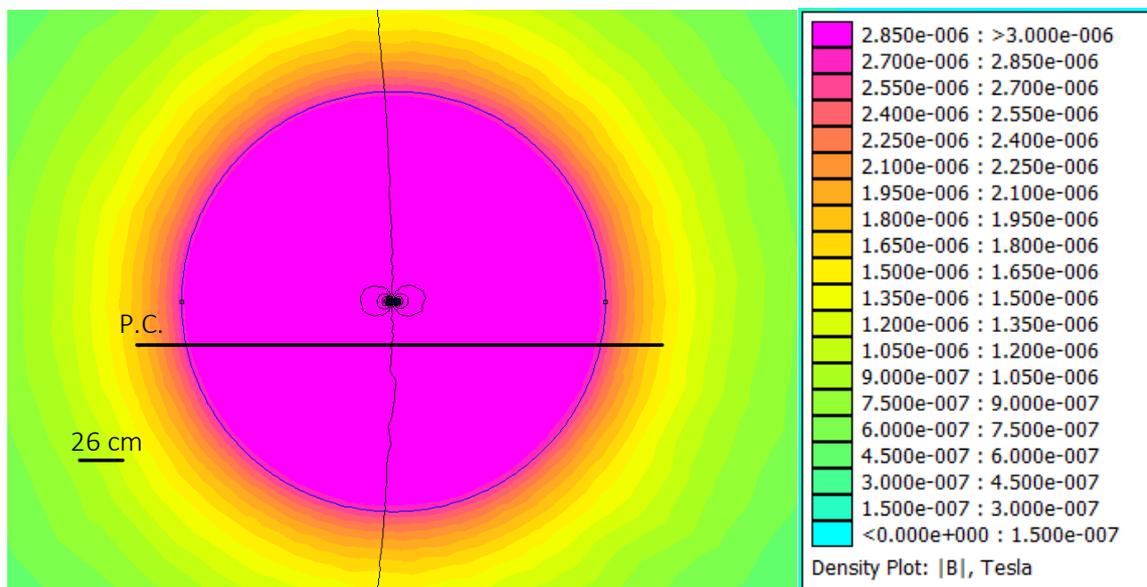
4.3.5 Cabina di trasformazione (skid)

Le cabine di trasformazione sono costituite anch'esse da box prefabbricati con alimentazione da cavo sotterraneo che conterranno i trasformatori BT/AT da 4095 kVA e da 8190 kVA.

La DPA delle cabine di trasformazione è stata calcolata tramite il software FEMM 4.2; in particolare, essa dipende dalla corrente di bassa tensione del trasformatore. Per tanto, è necessario studiare la connessione presente tra gli inverter centralizzati e il trasformatore; questa connessione può essere effettuata in sbarra di rame.

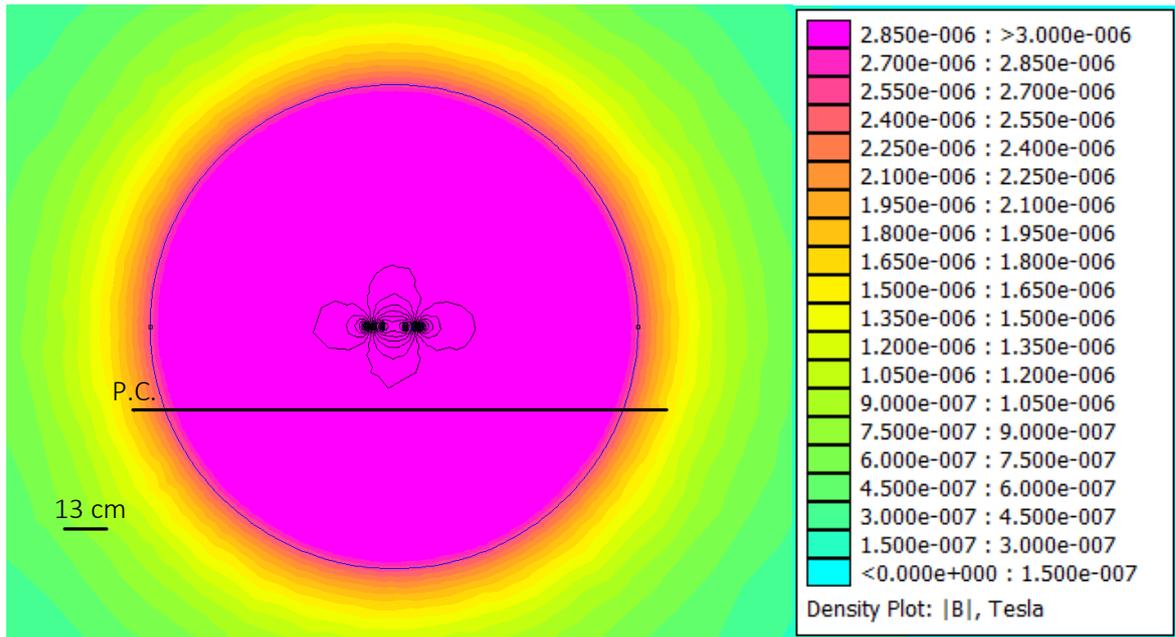
- nel caso del trasformatore da 4095 kVA, si può considerare di avere 3 sbarre di rame per fase, per un totale di 9 sbarre, in cui le fasi sono distanziate tra di loro di 20 cm.

I risultati ottenuti tramite il software FEMM, considerando la configurazione precedentemente esposta, sono.



Dall'analisi si ottiene una **DPA di 12.6 + 12.6 m**. Tale DPA risulta contenuta all'interno dell'area dell'impianto per tutti i trasformatori presenti.

- Per i due trasformatori da 8190 kVA, si può considerare di avere invece due set di sbarre da 9 sbarre in rame ciascuna, per un totale di 18 sbarre, disposte 3 per fase. Questo in modo da suddividere la corrente di circa 8000 A in uscita dal trasformatore. La disposizione delle fasi è stata scelta in modo da minimizzare la DPA attorno alla cabina; perciò, si è effettuata la simulazione FEMM considerando le fasi disposte A, B, C e C, B, A. I risultati sono riportati nella seguente immagine:



Dall'analisi tramite FEMM si ottiene una **DPA di 7.6+7.6 m**, anch'essa totalmente contenuta all'interno dell'area dell'impianto. Il valore è inferiore rispetto alle cabine di trasformazione di potenza pari a 4095 kVA proprio grazie alla disposizione delle fasi scelta.

5 Ricettori più vicini

Dal punto di vista della compatibilità elettromagnetica è opportuno verificare anche la presenza di possibili recettori attorno all'area di impianto e la relativa natura.

Come indicato dalla planimetria sotto riportata, si individuano sei recettori, per il campo Nord dell'impianto agrivoltaico in progetto.



Figura 5 - Recettori più vicini all'impianto

Per il campo Sud, invece, i recettori vicini all'area dell'impianto identificati sono due, e possono essere visualizzati nella seguente figura.

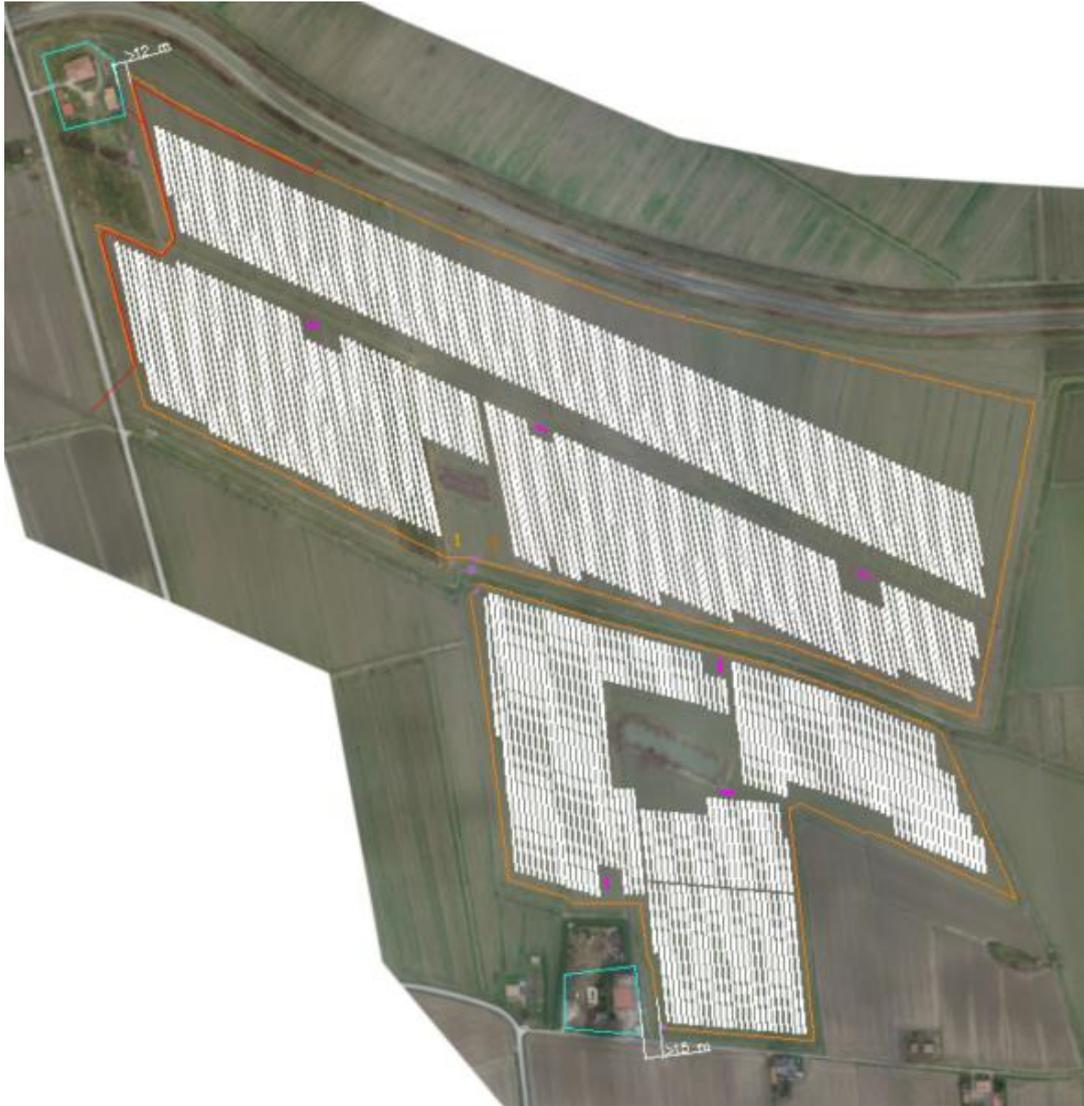


Figura 6 – Recettori più vicini all'impianto

In tutti i casi, e di conseguenza per ogni altro recettore più distante di quelli rappresentati, i recettori non vengono interessati da eventuali campi elettromagnetici generati dalle componenti di impianto (intesi come campi elettromagnetici sopra la soglia di qualità di $3 \mu\text{T}$), trovandosi al di fuori della DPA.

6 Conclusioni

Le uniche radiazioni associabili a questo tipo di impianti sono le radiazioni non ionizzanti costituite dai campi elettrici e magnetici a bassa frequenza (50 Hz), prodotti rispettivamente dalla tensione di esercizio degli elettrodotti e dei vari componenti di impianto, nonché dalla corrente che li percorre.

In un'ottica di cautela, tenendo conto di eventuali effetti di sovrapposizione di induzione magnetica generati dalle singole sorgenti presenti nell'area, si identifica:

- Come distanza di Prima Approssimazione dei cavi AT AC tra la cabina con quadri di raccolta a 36 kV e la Stazione Elettrica:
 - Sezione A: **DPA = 2.7 + 2.7 m**
- Come distanza di prima approssimazione dai muri delle cabine contenenti i quadri di raccolta a 36 kV:
DPA = 2m
- Come distanza di prima approssimazione dai muri delle cabine di trasformazione:
DPA = 12.6 m, per i trasformatori da 4095 kVA
DPA = 7.6 m, per i trasformatori da 8190 kVA

Dal calcolo delle DPA dei vari componenti elettrici in progetto e considerata la loro ubicazione presentata nelle varie planimetrie allegate si conclude che le fasce di rispetto valutate e le rispettive DPA sono sempre ricomprese nell'area dell'impianto fotovoltaico.

Per quanto detto sopra si rileva l'assenza di fattori di rischio per la salute umana a causa delle azioni di progetto, poiché è esclusa la presenza di recettori sensibili e di luoghi adibiti alla permanenza di persone per durate non inferiori alle 4 ore al giorno entro le DPA sopra indicate.

Per quanto riguarda il campo elettrico, esso è nullo a causa dello schermo dei cavi o assolutamente trascurabile negli altri casi, già per distanze superiori a qualche cm dalle parti in tensione.