



# ALTA CAPITAL 12

Alta Capital 12 S.r.l.  
 Via Ettore De Sonnaz, 19  
 10121 Torino (TO)  
 P.Iva 12531540016  
 PEC [altacapital12.pec@maildoc.it](mailto:altacapital12.pec@maildoc.it)

## Progettista



Industrial Designers and Architects S.r.l.  
 via Cadore, 45  
 20038 Seregno (MB)  
 p.iva 07242770969  
 PEC [ideaplan@pec.it](mailto:ideaplan@pec.it) mail [info@ideaplan.biz](mailto:info@ideaplan.biz)



**Progetto per la realizzazione dell'Impianto agrivoltaico integrato ecocompatibile "Bordonaro" da 130 MWp a Gangi 90024 (PA).**

## Elaborati del progetto definitivo

*Relazione campi elettromagnetici*

Revisione		
n.	data	aggiornamenti
1		
2		
3		

### nome file

documento in \_p.u.a\pua\_2\aggiornamento 24\_10\_22\rs.06.rel.0001.a.0. -relazione illustrativa fv gangi 2 rev..04.doc

**Elaborato**

**RS 06 REL**

**0008 A 0**

	data	nome	firma
<b>redatto</b>	25.10.2022	Ferraro	
<b>verificato</b>	25.10.2022	Falzone	
<b>approvato</b>	25.10.2022	Speciale	

**DATA 25.10.2022**



## Sommario

<b>1.</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>6</b>
<b>4.</b>	<b>DESCRIZIONE SOMMARIA DEGLI IMPIANTI</b> .....	<b>8</b>
4.1	<b>GENERALITA'</b> .....	<b>8</b>
4.2	<b>CABINE ELETTRICHE DI TRASFORMAZIONE</b> .....	<b>11</b>
4.3	<b>CABINA ELETTRICA D'IMPIANTO MT/AT</b> .....	<b>13</b>
<b>5.</b>	<b>CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI</b> .....	<b>15</b>
5.1	<b>CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIANTO FOTOVOLTAICO</b> .....	<b>15</b>
5.1.a	Moduli fotovoltaici .....	15
5.1.b	Inverter .....	15
5.1.c	Linee elettriche in corrente alternata .....	16
5.1.d	Cabine elettriche di trasformazione MT.....	17
5.1.f	Altri cavi.....	18
5.2	<b>CAMPI ELETTROMAGNETICI DELLE OPERE CONNESSE</b> .....	<b>19</b>
5.2.a	Linee elettriche in corrente alternata in media tensione .....	19
5.2.b	Linee elettriche in corrente alternata in alta tensione.....	24
5.2.c	Analisi dei risultati ottenuti .....	27

## 1. PREMESSA

Scopo del presente documento è quello di descrivere le emissioni elettromagnetiche associate alle infrastrutture elettriche presenti nell'impianto agrivoltaico in oggetto e connesse ad esso, ai fini della verifica del rispetto dei limiti della legge n.36/2001 e dei relativi Decreti attuativi.

L'impianto in progetto prevede l'installazione a terra su un lotto di terreno, attualmente a destinazione agricola e di estensione pari a 2.294.746 m<sup>2</sup>, di pannelli fotovoltaici (moduli) in silicio monocristallino della potenza unitaria di 615 Wp.

I pannelli, in virtù della particolare conformazione morfologica del territorio, saranno montati sia su strutture ad inseguimento (tracker), in configurazione bifilare, asse di rotazione Nord-Sud con inclinazione Est-Ovest compresa tra +/- 45°, sia su strutture fisse, in configurazione bifilare; ogni struttura alloggerà 2 filari tipicamente da 25 moduli.

Il progetto prevede complessivamente 222.844 moduli occupanti una superficie massima di circa 622.918 m<sup>2</sup>, per una potenza complessiva installata di circa 137,05 MWp lato DC, di moduli fotovoltaici, collegati a n° 743 inverter DC/AC da 175 kW di cui n.1 caricato a 150 kW per avere una potenza nominale di picco complessiva del campo lato AC pari a 130 MWp.

Il totale dei pannelli posizionati sarà pari a n. 222.844, di cui:

- 174.760 posizionati su trackers, con asse N-S e tilt +/- 45°. Il pitch sarà di 8,75 m con un corridoio tra i trackers di 3,78 m per il tilt a 0° - Pot. 107,477 MW;
- 48.084 posizionati su strutture fisse, tilt 25°. Il pitch sarà 7,40 m con un corridoio tra le tavole di 3,00 m Pot. 29,57 MW;

La scelta di sovradimensionare l'impianto agrivoltaico lato DC è motivata dalla volontà di ottimizzare il funzionamento dell'impianto fotovoltaico nelle ore di bassa producibilità (ore mattutine ed ore pomeridiane), in modo da avere una producibilità quasi costante in tutto l'arco della giornata. Inoltre tenendo conto della riduzione dell'efficienza dei moduli fotovoltaici nel tempo, il sovradimensionamento lato DC, ci consente di garantire una potenza lato AC costante nel tempo.

La potenza di connessione da STMG sarà quindi pari a 130 MW.

Il parco agrivoltaico, oggetto della presente relazione, sarà costituito da 743 inverter DC/AC da 175 kW suddivisi in:

- n. 36 sottocampi di potenza compresi tra 2000 kWp e 4000 kWp, n.4 cabine MT/BT da 500 kVA per i Servizi Ausiliari (SA),una cabina per il punto di consegna dalla rete del distributore.

I 36 sottocampi sono suddivisi in 3 campi aventi rispettivamente le seguenti potenze: "Campo SSE1" di 46,375 MW; "Campo SSE2" di 41,100 MW e "Campo SSE3" di 42,525 MW.

Gli inverters di ciascun sottocampo, appartenenti alla stessa area, saranno collegati ad un quadro di parallelo posto all'interno di un box cabina di trasformazione al cui interno sarà presente tipicamente un trasformatore

in resina da 4.000 kVA 0,8/30 kV/kV che innalzerà la tensione da 800V a 30 kV. Tali sottocampi all'interno di ciascuna area saranno reciprocamente ed elettricamente collegati da un sistema di distribuzione ramificato in MT 30 kV del tipo in entra ed esci.

Ciascun campo, mediante un cavidotto interrato, farà capo ad una propria cabina di raccolta e trasformazione di utenza MT/AT, avremo quindi n. 3 sottostazioni elettriche di trasformazione così suddivise:

- "SSE 1 - MT/AT" con n. 1 trasformatore ONAN/ONAF da 50/63 MVA 30/150 kV/kV per il campo "SSE1";
- "SSE 2 - MT/AT" con n. 1 trasformatore ONAN/ONAF da 50/63 MVA 30/150 kV/kV per il campo "SSE2";
- SSE 3 - MT/AT di trasformazione e di parallelo "con n.1 trasformatore ONAN/ONAF da 50/63 MVA 30/150 kV/kV per il campo" SSE3". A tale sottostazione si collegheranno tramite cavo AT la Sottostazione SSE1 e SSE2.

Dalla SSE3 Stazione di trasformazione e di parallelo Utente si dipartirà una terna di cavi in AT a 150 kV che si andrà ad attestare ad una sottostazione di consegna Utente e da questa collegata in antenna a 150 kV con la sezione a 150 kV di una nuova stazione elettrica di trasformazione (SE) 380/150 kV della RTN, da inserire in entra – esce sul futuro elettrodotto RTN a 380 kV della RTN "Chiaramonte Gulfi - Ciminna", previsto nel Piano di Sviluppo Terna, cui raccordare la rete AT afferente alla SE RTN di Caltanissetta.

Per l'impianto saranno valutate, in particolare, le emissioni elettromagnetiche dovute alle cabine elettriche, ai cavidotti ed alla stazione utente per la trasformazione. Si individueranno, in base al DM del MATTM del 29.05.2008, le DPA per le opere sopra dette.

Nel presente studio sono state prese in considerazione le condizioni maggiormente significative al fine di valutare la rispondenza ai requisiti di legge dei nuovi elettrodotti.

Verrà riportata l'intensità del campo elettromagnetico sulla verticale dei cavidotti e nelle immediate vicinanze, fino ad una distanza massima di 15 m dall'asse del cavidotto; la rilevazione del campo magnetico è stata fatta alle quote di 0m, +1,5m, +2m, +2,5m e +3m dal livello del suolo. Si precisi che la quota di +1,5m dal livello del suolo è la quota nominale cui si fa riferimento nelle misure di campo elettromagnetico.

## 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

[1] 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".

[2] DL 9 aprile 2008 n° 81 "Testo unico sulla sicurezza sul lavoro".

[3] Norma CEI 0-2 "Guida per la definizione della documentazione di progetto degli impianti elettrici".

[4] Norma CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche".

[5] Norma CEI 106-11 "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6). Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo".

[6] DM del MATTM del 29.05.2008 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti".

### **3.                   NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Il panorama normativo italiano in fatto di protezione contro l'esposizione dei campi elettromagnetici si riferisce alla legge 22/2/01 n°36 che è la legge quadro sulla protezione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici completata a regime con l'emanazione del D.P.C.M. 8.7.2003.

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 5 kV/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].

Pertanto l'obiettivo qualità da perseguire nella realizzazione dell'impianto è quello di avere un valore di intensità di campo magnetico non superiore ai 3 $\mu$ T come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

A tal proposito occorre precisare che nelle valutazioni che seguono è stata considerata normale condizione di esercizio quella in cui l'impianto FV trasferisce alla Rete di Trasmissione Nazionale la massima produzione (circa 120,750 MW).

Come detto, 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.

Il 28 Agosto 2003 G.U. n.199, è stato pubblicato il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 Luglio 2003: "Fissazione dei limiti di esposizione, di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalla esposizione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz". L'art. 3 di tale Decreto riporta i limiti di esposizione e i valori di attenzione come riportato nelle Tabelle 1 e 2:

**Tabella 1** Limiti di esposizione di cui all'art.3 del DPCM 8 luglio 2003.

Intervallo di FREQUENZA (MHz)	Valore efficace di intensità di CAMPO ELETTRICO (V/m)	Valore efficace di intensità di CAMPO MAGNETICO (A/m)	DENSITA' DI POTENZA dell'onda piana
0.1-3	60	0.2	-
da 3 – 3000	20	0.05	1
da 3000 – 300000	40	0.01	4

**Tabella 2** Valori di attenzione di cui all'art.3 del DPCM 8 luglio 2003 in presenza di aree, all'interno di edifici adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore.

Intervallo di FREQUENZA (MHz)	Valore efficace di intensità di CAMPO ELETTRICO (V/m)	Valore efficace di intensità di CAMPO MAGNETICO (A/m)	DENSITA' DI POTENZA dell'onda piana equivalente (W/m <sup>2</sup> )
0.1 – 300000	6	0.016	0.10 (3 MHz – 300 GHz)

L’art. 4, invece, riporta i valori di immissione che non devono essere superati in aree intensamente frequentate come riportato in Tabella 3:

**Tabella 3** Obiettivi di qualità di cui all’art.4 del DPCM 8 luglio2003 all’aperto in presenza di aree intensamente frequentate.

Intervallo di FREQUENZA (MHz)	Valore efficace di intensità di CAMPO ELETTRICO (V/m)	Valore efficace di intensità di CAMPO MAGNETICO (A/m)	DENSITA’DI POTENZA dell’onda piana equivalente (W/m2)
0.1 – 300000	6	0.016	0.10 (3 MHz – 300 GHz)

Per quanto riguarda la metodologia di rilievo il D.P.C.M. 8 Luglio 2003 fa riferimento alla norma CEI 211-7 del Gennaio 2001.

## 4. DESCRIZIONE SOMMARIA DEGLI IMPIANTI

### 4.1 GENERALITA’

L’impianto, denominato “Impianto Agrivoltaico Integrato Ecocompatibile BORDONARO”, classificato come “Impianto non integrato” del tipo “Agrivoltaico Integrato Ecocompatibile”, verrà realizzato a terra nel territorio comunale di Gangi (PA) nei terreni regolarmente censiti al Catasto, come si evince da Piano Particellare allegato. L’impianto è di tipo grid-connected e la modalità di connessione è in “Trifase in ALTA TENSIONE 150 kV”.

La potenza dell’impianto sarà pari a 130.000 kWp. La produzione di energia annua stimata è pari a 238.944,1 MWh e deriva da 222.844 moduli occupanti una superficie massima di circa 622.918 m<sup>2</sup>.

Il parco agrivoltaico, oggetto della presente relazione, sarà costituito da:

- n. 36 sottocampi di potenza compresi tra 2000 kWp e 4000 kWp, (identificati con un numero nell’intervallo da 1 a 36 nel layout generale).

I 36 sottocampi sono suddivisi in 3 campi aventi rispettivamente le seguenti potenze:

- “Campo SSE1” di 46,375 MW;
- “Campo SSE2” di 41,100 MW;
- “Campo SSE3” di 42,525 MW

Gli inverters di ciascun sottocampo, appartenenti alla stessa area, saranno collegati ad un quadro di parallelo posto all’interno di un *box cabina* di trasformazione, dove sarà presente un trasformatore in resina da 4000 kVA 0,8/30 kV/kV che innalzerà la tensione da 800V a 30 kV. Tali sottocampi all’interno di ciascuna area

saranno reciprocamente ed elettricamente collegati da un sistema di distribuzione ramificato in MT 30 kV del tipo in entra ed esci.

Il sottocampo tipo da sarà realizzato da n. 23 inverters da 175 kWac effettivi collegati in parallelo; a ciascun inverter verranno collegati n. 12 stringhe in parallelo da 26 moduli; tutti i moduli saranno da 615 Wp in monocristallino. Gli inverters di ciascun sottocampo, appartenenti alla stessa area, saranno collegati ad un quadro di parallelo posto all'interno di un box cabina di trasformazione, in cui sarà presente un trasformatore in resina (tipicamente da 4000 kVA) 0,8/30 kV/kV che innalzerà la tensione da 800 V a 30 kV.

Tali sottocampi saranno reciprocamente ed elettricamente collegati da un sistema di distribuzione ramificato in MT 30kV in entra ed esci tali da formare due gruppi distinti che si attesteranno ad un proprio trasformatore MT/AT mediante un cavidotto interrato.

Ciascun campo, mediante un cavidotto interrato, farà capo ad una propria cabina di raccolta e trasformazione di utenza MT/AT, avremo quindi n. 2 sottostazioni elettriche di trasformazione così suddivise:

- "SSE 1 - MT/AT " con n. 1 trasformatore ONAN/ONAF da 50/63 MVA 30/150 kV/kV per il campo "SSE1";
- "SSE 2 - MT/AT" con n. 1 trasformatore ONAN/ONAF da 50/63 MVA 30/150 kV/kV per il campo "SSE2";
- SSE 3 - MT/AT di trasformazione e di parallelo " con n.1 trasformatore ONAN/ONAF da 50/63 MVA 30/150 kV/kV per il campo"SSE3". A tale sottostazione si collegheranno tramite cavo AT la Sottostazione SSE1 e SSE2.

Dalla SSE 3 Stazione di trasformazione e di parallelo Utente si dipartirà una terna di cavi in AT a 150 kV che si andrà ad attestare ad una sottostazione di consegna Utente e da questa collegata in antenna a 150 kV con la sezione a 150 kV di una nuova stazione elettrica di trasformazione (SE) 380/150 kV della RTN, da inserire in entra – esce sul futuro elettrodotto RTN a 380 kV della RTN "Chiaromonte Gulfi - Ciminna", previsto nel Piano di Sviluppo Terna, cui raccordare la rete AT afferente alla SE RTN di Caltanissetta.

Gli impianti e le opere elettriche da eseguire sono quelli sinteticamente sotto raggruppati:

- Impianto elettrico di ciascun sottocampo agrivoltaico per la produzione di energia elettrica;
- Rete di distribuzione MT in cavo per la connessione dei sottocampi costituenti il parco fotovoltaico;
- Collegamento elettrico MT tra il parco agrivoltaico e la stazione di raccolta, trasformazione e parallelo;
- Collegamento in AT tra Sottostazione Elettrica 1 e la Sottostazione elettrica di trasformazione e parallelo SSE3;
- Collegamento in AT tra Sottostazione Elettrica 2 e la Sottostazione elettrica di trasformazione e parallelo SSE3;
- Collegamento elettrico AT tra la SSE 3 e la sottostazione di consegna utente;
- Collegamento elettrico AT tra la sottostazione Utente e la sottostazione di Terna benestariata.

I pannelli fotovoltaici hanno dimensioni 2.465 x 1.134 mm, incapsulati in una cornice di alluminio anodizzato dello spessore di 35 mm, per un peso totale di 30,6 kg ognuno.

I trackers, su cui sono montati i pannelli, sono realizzati in acciaio al carbonio galvanizzato, resistente alla corrosione, e sono mossi da un motorino magnetico passo-passo. Le strutture dei trackers sono costituite da pali verticali infissi al suolo e collegati da una trave orizzontale diretta secondo l'asse nord-sud (mozzo) inserita all'interno di cuscinetti appositamente progettati per consentirne la rotazione lungo l'arco solare (asse est-ovest). Ogni tracker è dotato di un motorino a vite senza fine, che trasmette il moto rotazionale al mozzo. L'altezza al mozzo delle strutture è di 2,26 m dal suolo; l'angolo di rotazione del mozzo è di  $\pm 45^\circ$  rispetto all'orizzontale. La motorizzazione del mozzo è alimentata da un kit integrato comprendente un piccolo modulo fotovoltaico dedicato, una batteria di accumulo e non necessita di alimentazione esterna.

Le strutture fisse saranno realizzate con pali in acciaio zincato infissi nel terreno con passo e mutua distanza costanti. La lunghezza dei pali infissi è commisurata alle condizioni di carico specifiche dell'impianto (carichi di neve e vento) e alle caratteristiche di portanza del terreno interessato dall'infissione. La lunghezza del tratto infisso dei pali è stata assunta pari a circa 1,50-1,80 metri.

Ciascun palo sarà equipaggiato con un ritto verticale in acciaio zincato di lunghezza adeguata al fine di consentire la posa di profili metallici diagonali, inclinati sull'orizzontale dell'angolo di tilt di  $25^\circ$ , sui quali posare i binari metallici longitudinali di supporto dei pannelli fotovoltaici. I pannelli saranno ancorati ai binari tramite opportuni morsetti di fissaggio.

Le strutture fisse di supporto dei moduli rispettano le disposizioni prescritte dalle Norme CNR-UNI, circolari ministeriali, etc. riguardanti le azioni dei fenomeni atmosferici e le Norme vigenti riguardanti le sollecitazioni sismiche.

Le strutture fisse che sostengono i moduli fotovoltaici saranno posizionate in file contigue, compatibilmente con le caratteristiche plano-altimetriche puntuali del terreno.

Le strutture fisse a terra, del tipo bifilare, sono inclinate tipicamente a sud con tilt di  $25^\circ$ .

Gli inverters, ABB PVS-175-TL, hanno dimensioni approssimativamente pari a 867 x 1086 x 419 mm e saranno collocati al di sotto dei tavoli dei pannelli su basamento a terra.

Le cabine MT hanno dimensioni approssimate per eccesso di 18,00 x 2,50 x 2,55 m, e sono costituite da moduli prefabbricati per l'alloggiamento degli arredi di cabina (interruttori, quadri, inverter, trasformatori BT/MT, cavedi).

All'interno del campo agrivoltaico sono presenti tre sottostazioni di trasformazione la SSE 1 – lotto sud che occupa un'area di circa 1500 m<sup>2</sup>, SSE 2 – lotto sud che occupa un'area di circa 2000 m<sup>2</sup> e la SSE 3 – Lotto Nord di trasformazione e parallelo che occupa un'area di 3600m<sup>2</sup>.

Ai fini dello stoccaggio dei materiali di consumo, ricambi, attrezzi e mezzi d'opera, si è previsto un deposito di 320 mq di forma rettangolare con una tettoia esterna adiacente di 96 mq, attiguo alla *control room* e alloggio custode per complessivi 80 mq.

L'energia prodotta dall'impianto sarà veicolata in uscita dalla stazione utente SSE 3 MT/AT, mediante un cavidotto AT interrato, alla futura sottostazione di trasformazione (SE) 380/150 kV della RTN, da inserire in entra – esce sul futuro elettrodotto RTN a 380 kV della RTN "Chiaramonte Gulfi - Ciminna", previsto nel Piano di Sviluppo Terna, cui raccordare la rete AT afferente alla SE RTN di Caltanissetta.

Dal punto di vista elettrico, l'impianto nel suo complesso è funzionalmente diviso in n.36 blocchi da 2 MWp a 4 MWp di potenza installata.

Ogni blocco, costituito da diversi moduli costituenti le stringhe, è collegato ad un inverter con la funzione di trasformare la corrente continua prodotta dai moduli fotovoltaici in corrente alternata.

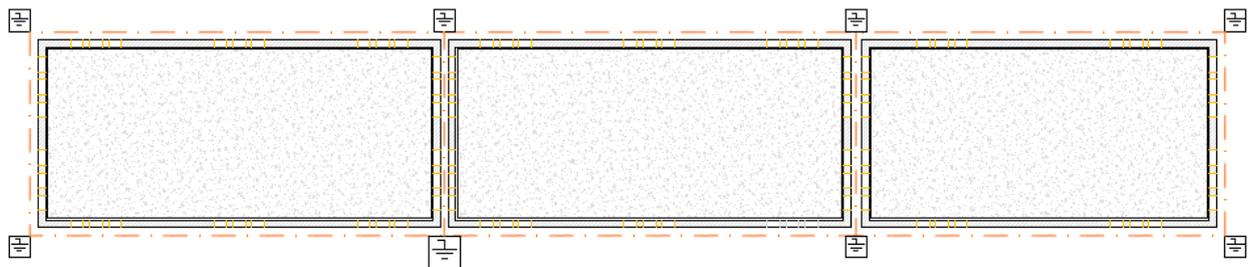
I quadri di parallelo in BT di campo sono interni alle cabine MT, nelle quali avviene la trasformazione della corrente alternata da bassa tensione (BT) a media tensione (MT).

Le cabine MT sono a loro volta collegate alla cabina di raccolta di ciascuna stazione di trasformazione e poi ai trasformatori posizionati nelle stazioni utente; trasformatori che ricevono la corrente alternata in MT prodotta dall'impianto fotovoltaico e la trasforma in alta tensione (AT) per essere poi veicolata sulla RTN in altissima tensione (AAT).

I cavidotti delle linee BT e MT e AT sono tutti interni all'impianto fotovoltaico.

Per le sezioni di scavo dei cavidotti BT, MT e AT si rimanda ai relativi elaborati.

## 4.2 CABINE ELETTRICHE DI TRASFORMAZIONE



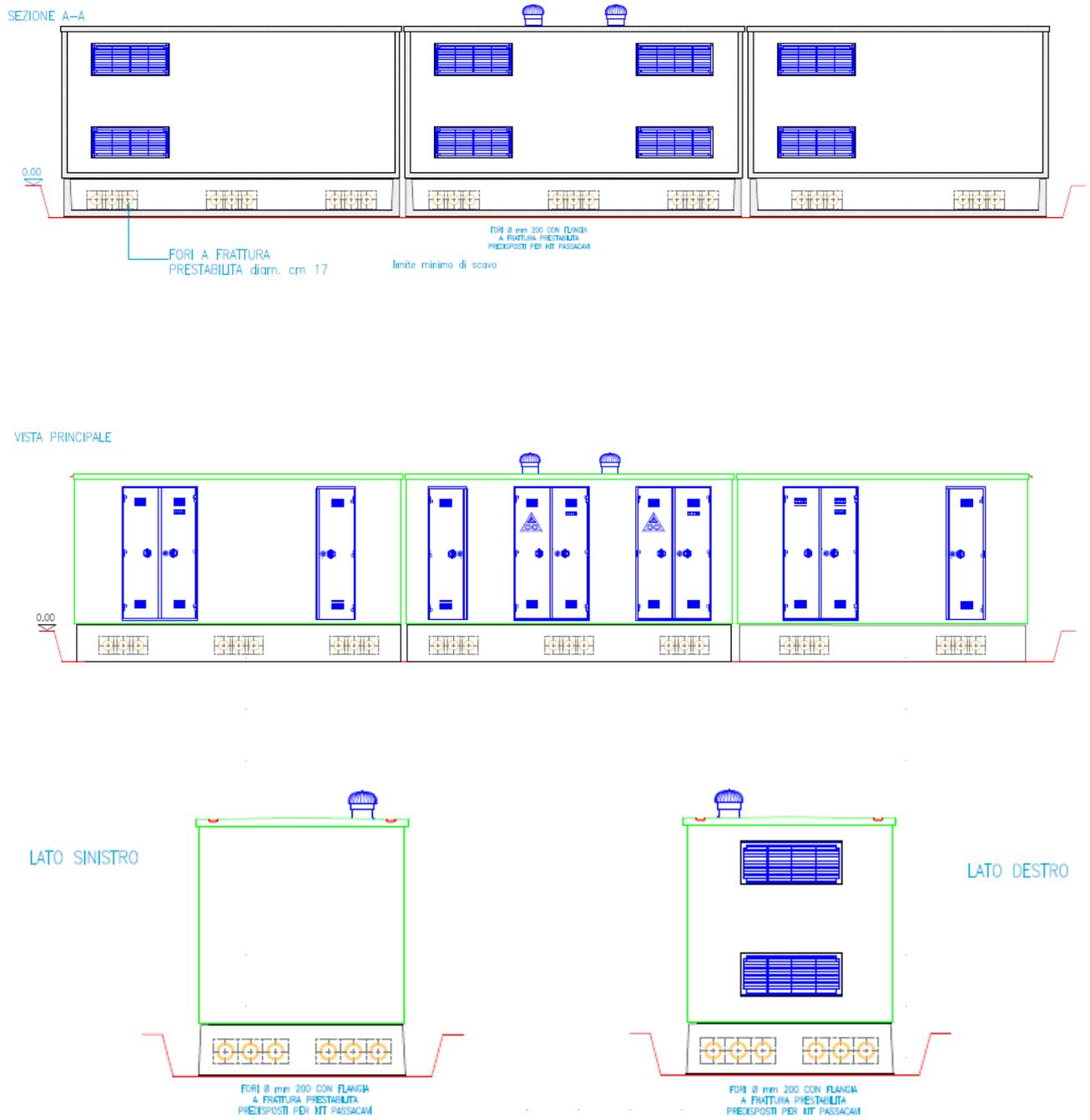
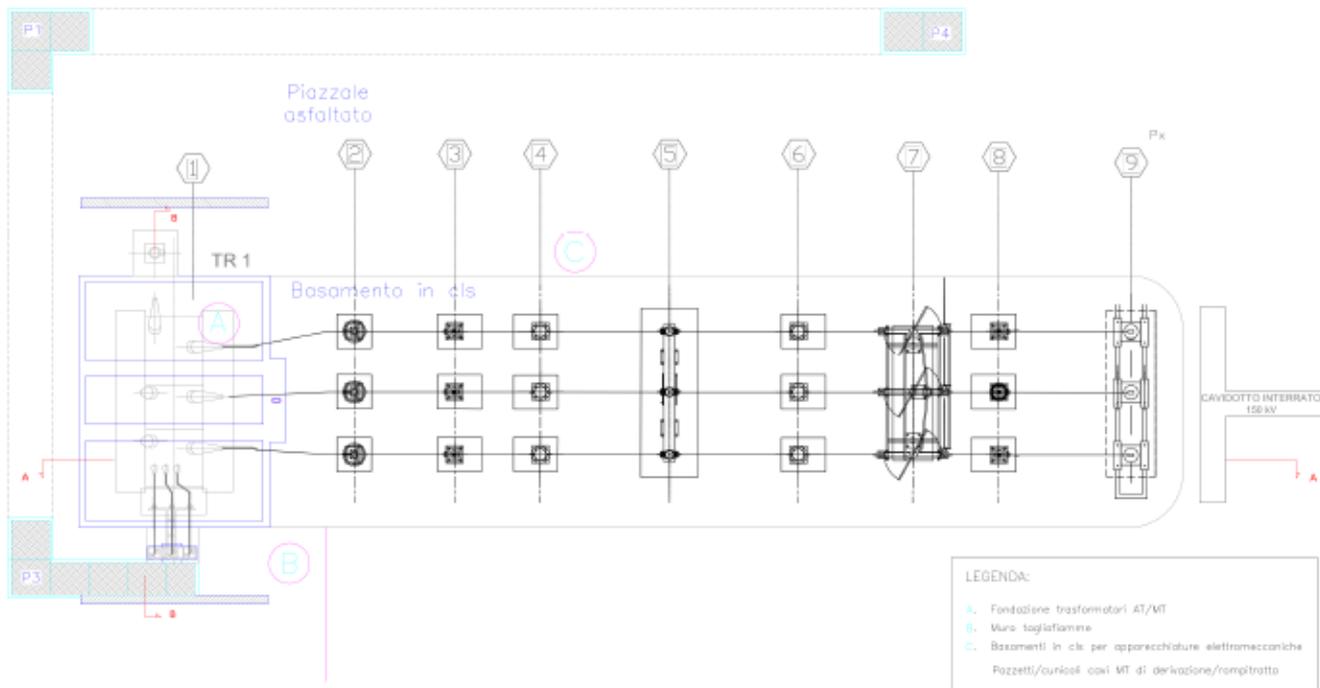
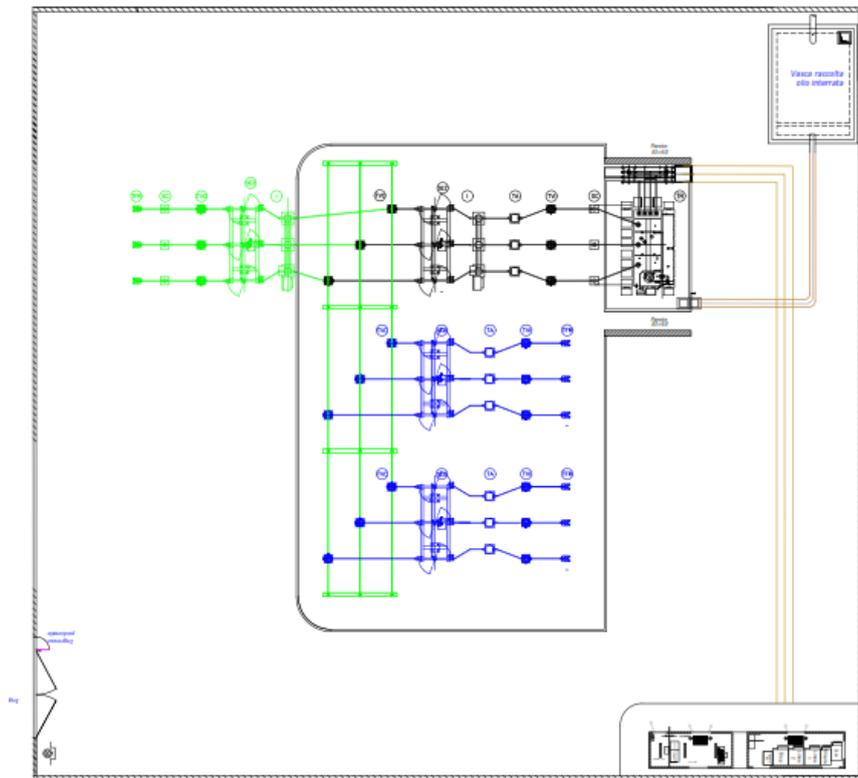
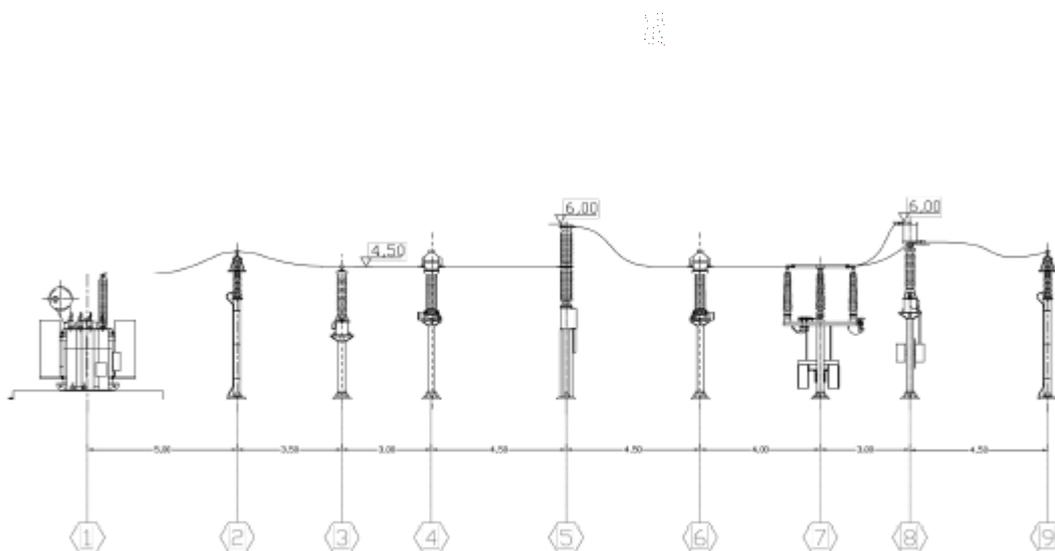


Figura 1: Cabina di trasformazione

### 4.3 CABINA ELETTRICA D'IMPIANTO MT/AT





POSIZIONE	LEGENDA
①	TRASFORMATORI MT/AT 30/150 kV/kV - 40 -50 MVA ONAN
②	SCARICATORE DI SOVRATENSIONI
③	TRASFORMATORI DI TENSIONE INDUTTIVI PER MISURE FISCALI
④	TRASFORMATORI DI CORRENTE PER MISURE FISCALI
⑤	INTERRUTTORE TRIPOLARE 150 kV
⑥	TRASFORMATORE DI CORRENTE PER MISURE E PROTEZIONE
⑦	SEZIONATORE TRIPOLARE ORIZ. 150 kV CON LAME DI MESSA A TERRA
⑧	TRASFORMATORE DI TENSIONE CAPACITIVO PER MISURE E PROTEZIONE+ BOBINA PER ONDE CONVOGLIATE
⑨	SCARICATORE - TERMINALE CAVO 150 kV

**Figura 2: Pianta e sezioni della cabina d'impianto**

## 5. CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

### 5.1 CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIANTO FOTOVOLTAICO

#### 5.1. a Moduli fotovoltaici

I moduli fotovoltaici lavorano in corrente e tensione continue e non in corrente alternata; per tale motivo la generazione di campi variabili è limitata ai soli transitori di corrente, sia durante la ricerca del MPP da parte dell'inverter sia durante l'accensione e lo spegnimento. Tuttavia, è bene specificare che tali transitori sono di brevissima durata.

Nella certificazione dei moduli fotovoltaici, conforme alla norma CEI 82-8 (IEC 61215), non sono menzionate prove di compatibilità elettromagnetica, in quanto assolutamente irrilevanti.

#### 5.1. b Inverter

Il legislatore ha previsto che gli inverter, prima di essere introdotti nel mercato, debbano possedere le certificazioni necessarie a garantirne sia l'immunità dai disturbi elettromagnetici esterni sia le ridotte emissioni, al fine di minimizzarne l'interferenza elettromagnetica con altre apparecchiature elettroniche posizionate nelle vicinanze e con la rete elettrica stessa (via cavo).

Dunque gli inverter scelti possiedono la certificazione di rispondenza alle normative di compatibilità elettromagnetica (EMC) EN 61000-6-2, EN 61000-6-4, EN 61000-3-11, EN 61000-3-12, EN 301 489-1, EN 301 489-17, EN 300 328, EN 62311.

Inoltre le norme sopra citate riguardano:

- I livelli armonici: le direttive del gestore di rete prevedono un THD globale (non riferito al massimo della singola armonica) inferiore al 5% (inferiore all'8% citato nella norma CEI 110-10). Gli inverter presentano un THD globale contenuto entro il 3%;
- I disturbi alle trasmissioni di segnale, che vengono eseguite dal gestore di rete in sovrapposizione alla trasmissione di energia sulle sue linee;
- Le variazioni di tensione e di frequenza: la propagazione in rete di queste ultime è limitata dai relè di controllo della protezione di interfaccia asservita al dispositivo di interfaccia. Le fluttuazioni di tensione e di frequenza, però, sono causate generalmente dalla rete stessa. Quindi si rendono necessari dispositivi con finestre di tensione e frequenza abbastanza ampie, allo scopo di evitare una continua inserzione e disinserzione dell'impianto fotovoltaico;
- La componente continua immessa in rete: il trasformatore elevatore contribuisce a bloccare, inoltre il dispositivo di interfaccia, relativo a ciascun inverter, interviene in presenza di componenti continue maggiori dello 0,5% della corrente nominale.

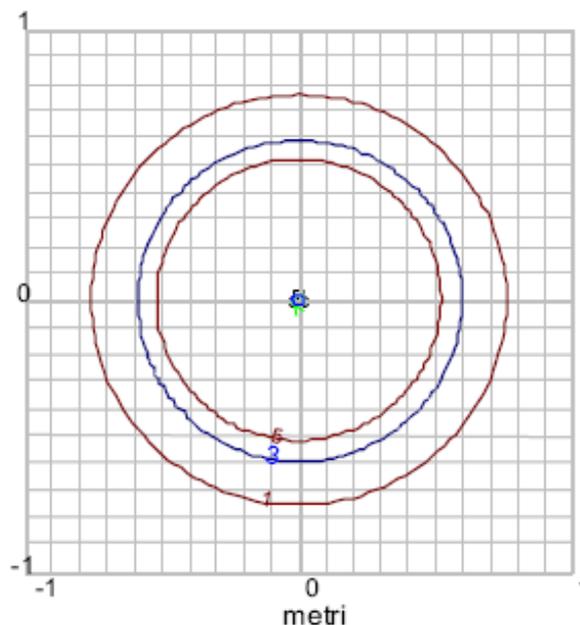
Le questioni di compatibilità elettromagnetica, concernenti i buchi di tensione, la cui durata tipica può essere al massimo pari a 3 s, sono dovute principalmente al coordinamento delle protezioni, effettuato dal gestore di rete locale.

### 5.1.c Linee elettriche in corrente alternata

Per quanto riguarda il rispetto delle distanze da ambienti presidiati ai fini dei valori dei campi elettrici e dei campi magnetici, si è tenuto conto del limite di qualità di questi ultimi, fissato dalla legislazione sopra descritta a  $3 \mu\text{T}$ . Si deve precisare che l'unico locale da considerare presidiato è la *Control room*, che si trova ad una distanza di circa 15 m dal percorso del cavidotto più vicino; tale distanza risulta superiore alla fascia di rispetto, il cui calcolo verrà effettuato nel prosieguo della presente relazione.

La tipologia di cavidotti presenti nell'impianto prevede, all'interno del campo fotovoltaico, l'utilizzo di soli cavi trecciati e/o schermati, equivalenti dal punto di vista elettromagnetico a cavi elicordati; per questi ultimi vale quanto riportato nelle norme CEI 106-11 e CEI 11-17.

In riferimento a quanto illustrato nella norma CEI 106-11, la ridotta distanza tra le fasi e la loro continua trasposizione, dovuta alla cordatura, fa sì che l'obiettivo di qualità di  $3 \mu\text{T}$ , anche in condizioni limite con conduttori di sezione elevata, venga raggiunto già a brevissima distanza ( $50 \div 80$  cm) dall'asse del cavo stesso.



**Figura 3: Curve di equilivello per il campo magnetico di una linea MT in cavo elicordato interrata (dalla Norma CEI106-11)**

Si fa notare inoltre che il decreto del 29.05.2008, sulla determinazione delle fasce di rispetto, ha esentato dalla procedura di calcolo le linee MT in cavo interrato e/o aereo con cavi elicordati. Pertanto si ritiene valido ciò che viene riportato nella norma precedentemente richiamata.

Ne consegue che in tutti i tratti, realizzati mediante l'uso di cavi elicordati e/o interrati, l'ampiezza della semi-fascia di rispetto sia pari a 1 m, a cavallo dell'asse del cavidotto, uguale alla fascia di asservimento della linea.

#### 5.1.d Cabine elettriche di trasformazione MT

Per quanto riguarda i componenti dell'impianto, sono da esaminare le cabine elettriche di trasformazione BT/MT, all'interno delle quali la principale sorgente di emissione è il trasformatore BT/MT. In questo caso si valutano le emissioni dovute ai trasformatori di potenza massima pari a 4.000 kVA, collocati nelle stesse cabine di trasformazione.

La presenza del trasformatore BT/MT il più delle volte viene presa in considerazione limitatamente alla generazione di un campo magnetico nei locali vicini a quelli di cabina. Nel parco fotovoltaico di progetto non sono previsti locali frequentati da addetti lavoratori in distanze minori delle DPA sotto calcolate.

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 considerando una distanza dalle fasi pari al diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore.

Per determinare le DPA si applica quanto esposto nel già citato cap.5.2.1:

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

dove:

DPA= distanza di prima approssimazione (m)

I= corrente nominale (A)

x= diametro dei cavi (m)

Considerando che I=2905 A e che il cavo scelto sul lato BT del trasformatore è pari a 3(7x240) mm<sup>2</sup>, con diametro esterno di circa 29,2 mm, si ottiene una DPA, arrotondata per eccesso all'intero superiore, pari a 4 m.

Nel caso in questione, la cabina è posizionata all'aperto e normalmente non è presidiata, tranne che per operazioni di manutenzione o per letture contatori di durata limitata nel tempo (operazioni di circa un'ora) e nell'anno (operazioni di frequenza massima mensile).

#### 5.1.e Cabine elettriche di raccolta cavi MT – Quadri di parallelo MT

Infine occorre verificare la cabina elettrica MT di parallelo, dove confluiscono i cavidotti MT provenienti dai gruppi delle cabine di trasformazione. Si prende a riferimento la cabina adiacente all'area di trasformazione MT/AT 30/150 kV, con trasformatore da 50 MVA; all'interno di quest'ultima la principale sorgente di emissione è costituita dalle correnti dei quadri MT.

La massima corrente MT, dovuta alla massima produzione, è pari a circa 963 A: si tratta della corrente di ogni fase per la potenza complessiva massima di 50 MVA a 30 kV (primario del trasformatore).

Si calcola quindi la DPA per il cavo in uscita dal quadro di parallelo in MT, arrotondata per eccesso all'intero superiore, pari a 5 m.

Dall'esame della sbarra scelta in uscita dalla cabina di parallelo MT, rettangolare con dimensioni di 30x20mm, si ottiene una DPA, arrotondata per eccesso all'intero superiore, pari a 3 m.

D'altra parte, anche nel caso in questione, la cabina normalmente non è presidiata.

#### 5.1.f Altri cavi

Altri campi elettromagnetici, dovuti al monitoraggio e alla trasmissione dati, si possono trascurare, poiché le linee dati normalmente vengono realizzate in cavo schermato.

## 5.2 CAMPI ELETTROMAGNETICI DELLE OPERE CONNESSE

### 5.2.a Linee elettriche in corrente alternata in media tensione

Il campo magnetico è calcolato in funzione della corrente circolante nei cavidotti in esame e della disposizione geometrica dei conduttori.

Per quel che concerne il valore del campo elettrico, trattandosi di linee interrato, esso è da ritenersi insignificante grazie anche all'effetto schermante del rivestimento del cavo e del terreno.

Pertanto nel prosieguo si esporranno i risultati del solo calcolo del campo magnetico.

Nel complesso l'impianto agrivoltaico in progetto è costituito da tre campi di potenza pari a:

1. 46,375 MWp;
2. 41,100 MWp;
3. 42,525 MWp;

per un totale di 130 MWp.

Viene esaminata come unica situazione significativa, ai fini del calcolo dell'intensità del campo di induzione magnetica, quella relativa ai sottocampi che presentano la situazione più gravosa in termini di potenza elettrica generata. In tale situazione i cavi di connessione elettrica saranno composti da una terna elicordata, la quale trasporterà verso la stazione Utente la potenza di circa 46,375 MWp. Il sistema è assimilabile ad una doppia terna caratterizzata dalle sezione tipo riportata nella seguente figura:

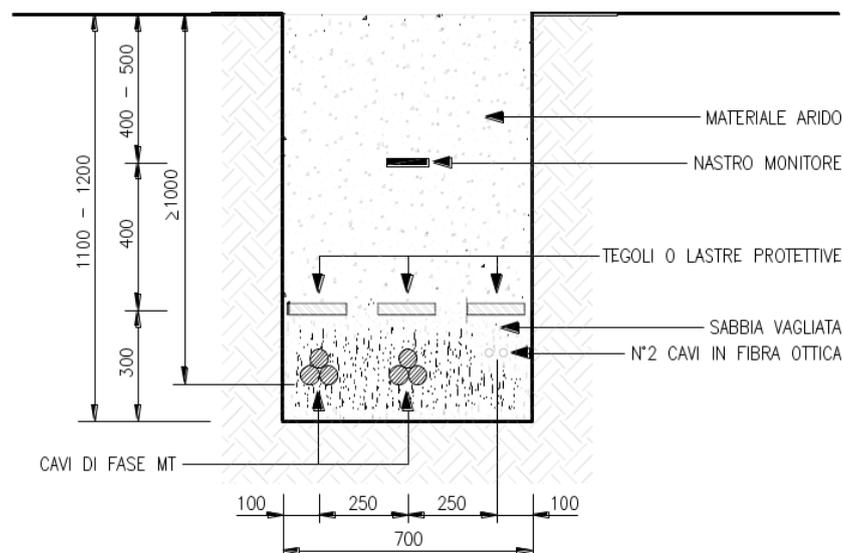


Figura 4: Sezione tipica di posa della linea in cavo

All'interno dei cavidotti in esame si trovano due terne di cavi MT isolati a 30 kV che trasferiscono le potenze dei sottocampi sopra indicate verso la stazione di utenza.

Per quanto concerne i cavidotti MT, per il collegamento della cabina d'impianto al quadro MT della stazione d'utenza, si prevede l'utilizzo di cavi unipolari di sezione pari a 2x500 mm<sup>2</sup>, elicordati e posati a trifoglio. La corrente massima che può interessare la linea di collegamento MT per la sezione interessata dalla potenza di 46,375 MWp è la seguente:

$$I_{b\_max} = \frac{P_{max}}{\sqrt{3}V_n \cos\varphi} = \frac{46,375 \cdot 10^6}{0,95 \cdot \sqrt{3} \cdot 30 \cdot 10^3} = 940,57 \text{ A}$$

Nel calcolo, essendo il valore della induzione magnetica proporzionale alla corrente transitante nella linea, è stata presa in considerazione la configurazione di carico che prevede, come detto, una posa dei cavi a trifoglio, ad una profondità di 1 m, con un valore di corrente pari a 1242 A per entrambe le terne, pari alla portata massima della linea elettrica in cavo, per condizione di posa, secondo la Norma CEI 20-21.

Ai fini di calcolo cautelativo è stata scelta la configurazione dell'elettrodotto in assenza di schermature e distanza minima dei conduttori dal piano viario. Il calcolo è stato effettuato a differenti altezze.

Nella seguente figura è riportato l'andamento dell'induzione magnetica per una sezione trasversale a quella di posa.

Non è invece rappresentato il calcolo del campo elettrico prodotto dalla linea in cavo, poiché in un cavo schermato il campo elettrico esterno allo schermo è nullo.

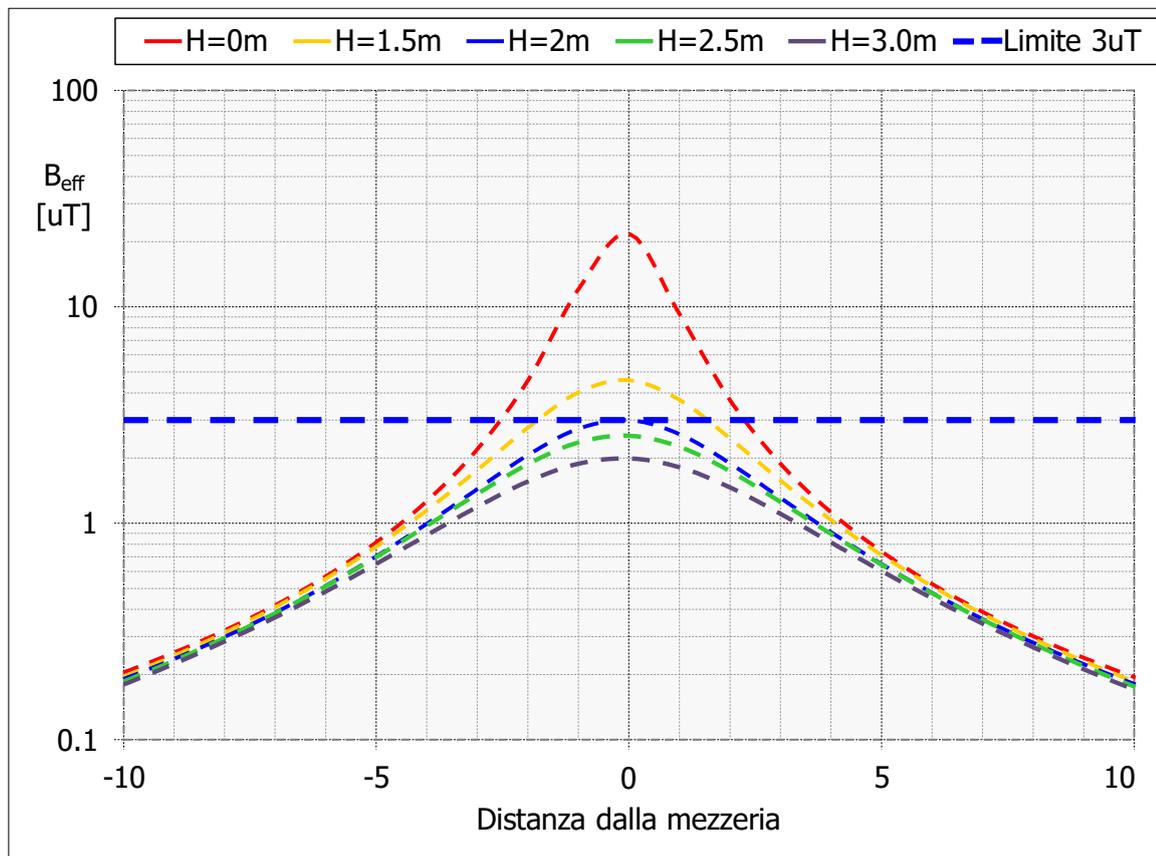


Figura 6: Andamento dell'induzione magnetica prodotta dalla linea in cavo per la massima corrente del cavo

Si può osservare come nel caso peggiore il valore di 3  $\mu\text{T}$  è raggiunto a circa 4 m dall'asse del cavidotto.

È da notare che la condizione di calcolo è cautelativa, in quanto la corrente che fluirà nei cavi sarà quella prodotta dall'impianto agrivoltaico che, come detto, è pari a 941 A nelle condizioni di massima erogazione suddivisa tra le due terne; inoltre nella situazione progettuale si è optato per un tipo di posa con cavi schermati e/o elicordati. Tenendo conto della effettiva corrente, il grafico sopra riportato si modifica come in figura seguente, dove per ciascuna delle due terne si è considerato un valore di corrente pari alla corrente di impiego, e cioè circa 621 A. In tal caso il valore di 3  $\mu\text{T}$  è raggiunto a circa 2,30 m dall'asse del cavidotto.

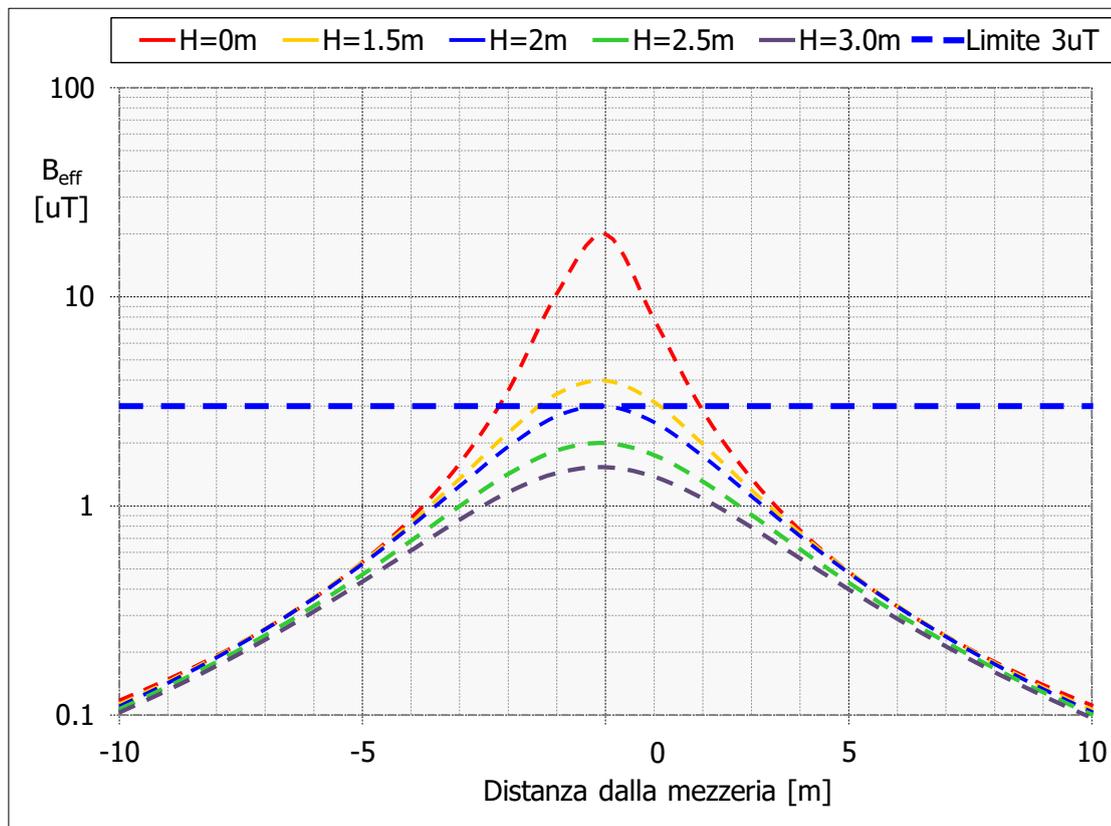
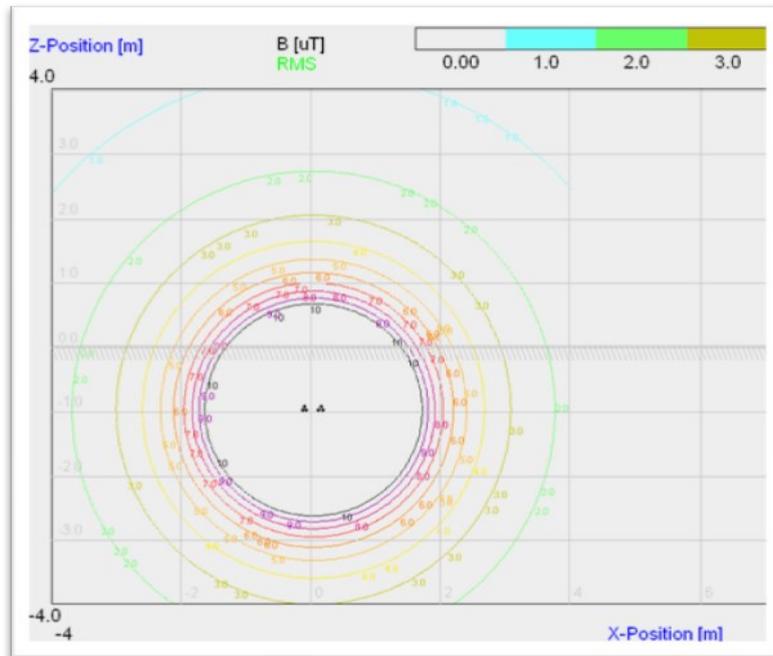


Figura 7: Andamento dell'induzione magnetica prodotta dalla linea in cavo per la massima corrente dell'impianto

Il tracciato di posa dei cavi è stato studiato in modo che il valore di induzione magnetica sia sempre inferiore a 3  $\mu\text{T}$  in corrispondenza dei recettori sensibili (abitazioni e aree in cui si prevede una permanenza di persone per più di 4 ore nella giornata); pertanto è esclusa la presenza di tali recettori all'interno della fascia calcolata.

Per la determinazione dell'ampiezza della fascia di rispetto è stata effettuata la simulazione di calcolo per il caso di due terne di cavi, posati alla distanza di 250 mm alla profondità di 1 m, secondo quanto riportato nel presente documento e con la corrente massima per ciascuno dei cavi utilizzati e cioè pari a 1242 A. Il risultato del calcolo è riportato nella figura seguente.



*Figura 8: Curve di equilivello per il campo di induzione magnetica generato da una linea MT posata a trifoglio 2 terne ( $I_{max}=1270$  formazione (3x2x500))*

Quindi si può considerare che l'ampiezza della fascia di rispetto sia pari a 4 m, a cavallo dell'asse del cavidotto.

Infine, poiché in un cavo schermato il campo elettrico esterno allo schermo è nullo, non è rappresentato il calcolo del campo elettrico prodotto dalla linea in oggetto.

### 5.2.b Linee elettriche in corrente alternata in alta tensione

Il campo magnetico è calcolato in funzione della corrente circolante nei cavidotti in esame e della disposizione geometrica dei conduttori.

Per quanto riguarda il valore del campo elettrico, trattandosi di linee interrate, esso è da ritenersi insignificante grazie anche all'effetto schermante del rivestimento del cavo e del terreno.

Nel seguito verranno pertanto esposti i risultati del solo calcolo del campo magnetico.

Visto l'impianto agrivoltaico, è stata esaminata come unica situazione significativa ai fini del calcolo dell'intensità del campo di induzione magnetica, quella generata dal tratto di posa del cavo che trasporta la piena potenza elettrica generata dall'intero impianto FV (130 MVA) relativa al collegamento in AT tra la sottostazione di trasformazione alla sottostazione Utente di connessione a Terna.

All'interno del cavidotto in esame si trova una terna di cavi AT isolati a 150 kV che trasferiscono l'intera potenza di impianto FV verso la sottostazione Utente.

La corrente massima che può interessare la singola linea di collegamento AT per l'impianto in oggetto è la seguente:

$$I_{b\_max} = \frac{P_{max}}{\sqrt{3} V_n \cos \varphi} = \frac{130 \cdot 10^6}{0,95 \cdot \sqrt{3} \cdot 150 \cdot 10^3} = 527,32 \text{ A}$$

Nel calcolo, essendo il valore della induzione magnetica proporzionale alla corrente transitante nella linea, è stata presa in considerazione la configurazione di carico che prevede, come detto, una posa dei cavi a trifoglio, ad una profondità di 1,5 m, con un valore di corrente pari a 1200 A, pari alla portata massima della linea elettrica in cavo, secondo la Norma CEI 20-21.

La configurazione dell'elettrodotta è quella di assenza di schermature e distanza minima dei conduttori dal piano viario. Il calcolo è stato effettuato a differenti altezze.

Nella seguente figura è riportato l'andamento dell'induzione magnetica per una sezione trasversale a quella di posa, considerando che lungo il tracciato del cavidotto sarà posata una terna di cavi di sezione 3x1x1600 mm<sup>2</sup>.

Non è invece rappresentato il calcolo del campo elettrico prodotto dalla linea in cavo, poiché in un cavo schermato il campo elettrico esterno allo schermo è nullo.

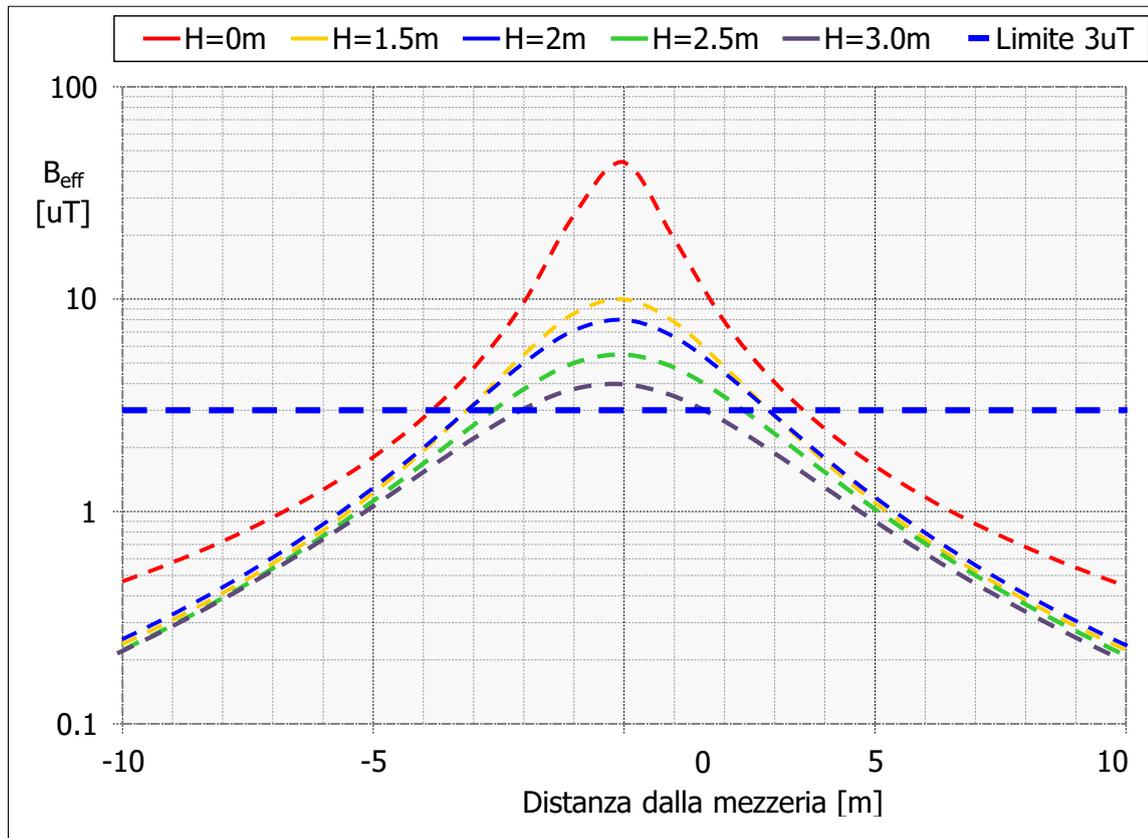


Figura 9: Andamento dell'induzione magnetica prodotta dalla linea in cavo per la massima corrente del cavo

Si può osservare come nel caso peggiore il valore di 3  $\mu\text{T}$  è raggiunto a circa 5 m dall'asse del cavidotto.

È da notare che la condizione di calcolo è ampiamente cautelativa, in quanto la corrente che fluirà nel cavidotto sarà quella prodotta dall'impianto fotovoltaico che, come detto, è pari a 527,32 A nelle condizioni di massima erogazione. Se si tiene conto della effettiva corrente, il grafico sopra riportato si modifica come in figura seguente:

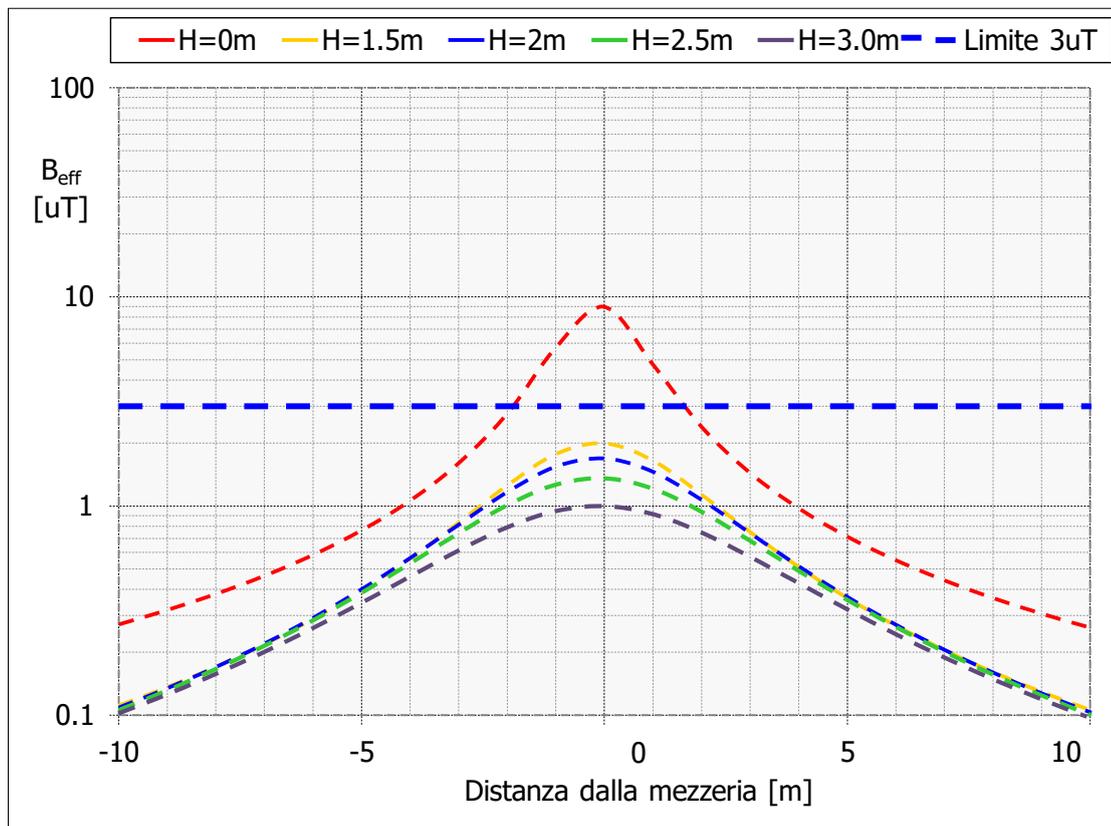
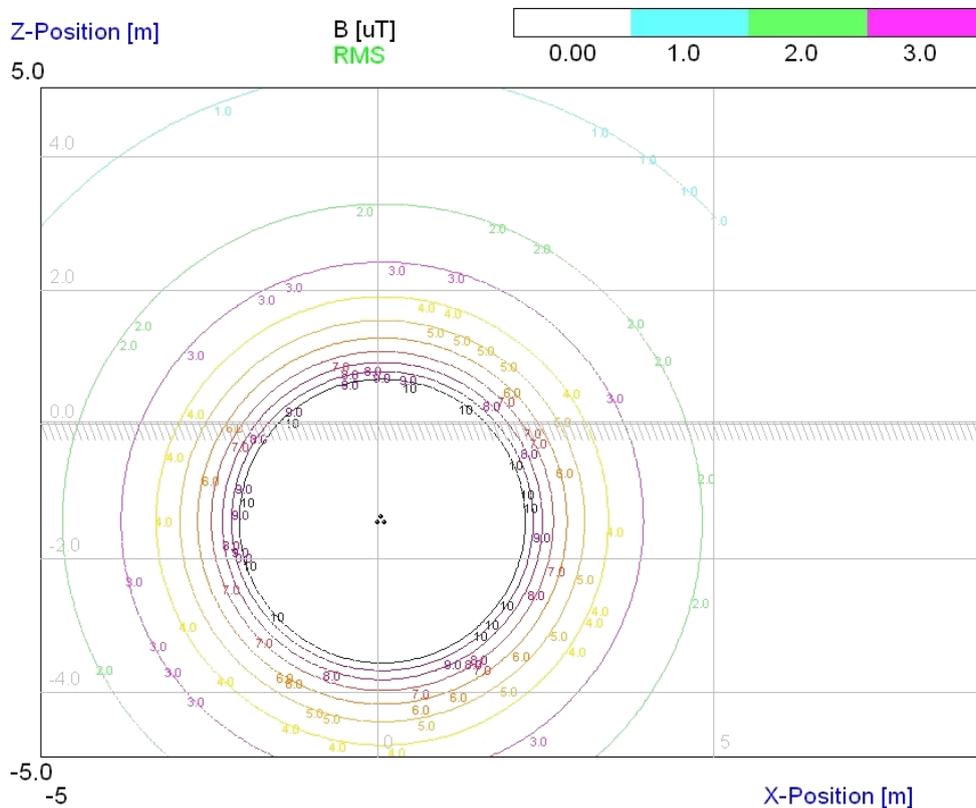


Figura 10: Andamento dell'induzione magnetica prodotta dalla linea in cavo per la massima corrente dell'impianto

Considerato un valore di corrente pari alla corrente di impiego, e cioè 527,32 A, in tal caso il valore di 3  $\mu$ T è raggiunto a circa 2,60 m dall'asse del cavidotto che, approssimato all'intero superiore, da una DPA di 3 m.

Per la determinazione dell'ampiezza della fascia di rispetto è stata effettuata la simulazione di calcolo per il caso di una terna di cavi, posti alla profondità di 1,5 m secondo quanto riportato nel presente documento e con la corrente massima pari a 527,32 A. Il risultato del calcolo è riportato nella figura seguente:



*Figura 12: Andamento dell'induzione magnetica prodotta dalla linea in cavo in AT per la corrente effettiva*

### 5.2.c Analisi dei risultati ottenuti

Come mostrato nelle tabelle e nelle figure dei paragrafi precedenti, le azioni di progetto fanno sì che sia possibile riscontrare intensità del campo di induzione magnetica superiore al valore obiettivo di 3  $\mu\text{T}$ , sia in corrispondenza delle cabine di trasformazione che in corrispondenza del cavidotto MT e del cavidotto AT; d'altra parte è stato dimostrato come la fascia entro cui tale limite viene superato è circoscritto intorno alle opere suddette e, in particolare, ha una semi-ampiezza complessiva di circa 4 m a cavallo della mezzeria del cavidotto MT e del cavidotto AT.

D'altra parte trattandosi di cavidotti che si sviluppano sulla viabilità stradale esistente o in territori scarsissimamente antropizzati, si può certamente escludere la presenza di recettori sensibili entro le predette fasce, venendo quindi soddisfatto l'obiettivo di qualità da conseguire nella realizzazione di nuovi elettrodotti fissato dal D.P.C.M. 8 Luglio 2003.

La stessa considerazione può ritenersi certamente valida per una fascia di circa 4 m attorno alle cabine di trasformazione ed alla cabina di impianto, oltre che nelle immediate vicinanze della stazione di utenza AT/MT e del cavidotto AT della lunghezza di 11,74 km circa lungo la viabilità interpodereale e in minima parte in proprietà private.

## 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 dalla corrente che li percorre. I valori di riferimento, per l'esposizione ai campi elettrici e magnetici, sono stabiliti dalla Legge n. 36 del 22/02/2001 e dal successivo D.P.C.M. 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 di 50 Hz degli elettrodotti".

In generale, per quanto riguarda il campo elettrico in media tensione esso è notevolmente inferiore a 5kV/m (valore imposto dalla normativa) e per il livello 150 kV esso diventa inferiore a 5 kV/m già a pochi metri dalle parti in tensione.

Mentre per quel che concerne il campo di induzione magnetica il calcolo nelle varie sezioni di impianto ha dimostrato come non ci siano fattori di rischio per la salute umana a causa delle azioni di progetto, poiché è esclusa la presenza di recettori sensibili entro le fasce per le quali i valori di induzione magnetica attesa non sono inferiori agli obiettivi di qualità fissati per legge; mentre il campo elettrico generato è nullo a causa dello schermo dei cavi o assolutamente trascurabile negli altri casi per distanze superiori a qualche cm dalle parti in tensione.

Infatti, per quanto riguarda il campo magnetico relativamente ai cavidotti MT, in tutti i tratti realizzati mediante l'uso di cavi interrati trecciati, si può considerare che l'ampiezza della semi-fascia di rispetto sia pari a 1 m, a cavallo dell'asse del cavidotto, pertanto uguale alla fascia di asservimento della linea. Per quanto concerne i tratti realizzati mediante l'uso di cavi unipolari posati a trifoglio, è stata calcolata un'ampiezza della semi-fascia di rispetto pari a 4 m e, sulla base della scelta del tracciato, si esclude la presenza di luoghi adibiti alla permanenza di persone per durate non inferiori alle 4 ore al giorno.

Per ciò che riguarda le cabine di trasformazione l'unica sorgente di emissione è rappresentata dal trasformatore BT/MT, quindi in riferimento al D.P.C.M. 8 luglio 2003 e al DM del MATTM del 29.05.2008, l'obiettivo di qualità si raggiunge, nel trasformatore da 4000 kVA, già a circa 4 m (DPA) dalla cabina stessa. Comunque considerando che nelle cabine di trasformazione MT e nelle due sottostazioni utente in AT non è prevista la presenza di persone per più di quattro ore al giorno e che l'intera area dell'impianto fotovoltaico sarà racchiusa all'interno di una recinzione metallica che impedisce l'ingresso a personale non autorizzato, si può escludere pericolo per la salute umana.

Pertanto l'impatto elettromagnetico può essere considerato non significativo.