



Regione Sicilia

Provincia di Palermo

Comune di Caccamo

**Impianto agrofotovoltaico
"SERPENTANA"
di potenza installata pari a 31 MW
da realizzarsi nel
Comune di Caccamo (PA)**

PROGETTO DEFINITIVO

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	07/11/2022	Prima Stesura	Ing. Alessio Furlotti	Dott. Giuseppe Filiberto	Dott. Fabrizio Milio

PROGETTISTA

GREEN FUTURE Srl

Sede Legale: Via U. Maddalena, 92

Sede operativa: Corso Calatafimi, 421

90100 - Palermo, Italia

info@greenfuture.it

Dott. Giuseppe Filiberto

Ing. Alessio Furlotti

Arch. Pianif. Giovanna Filiberto

Ing. Ilaria Vinci

Ing. Fabiana Marchese

Ing. Daniela Chifari

Green Future S.r.l. unipersonale
L'Amministratore
Giuseppe Filiberto



DITTA

BEE SERPENTANA S.r.l.

Anello Nord, 25 – Brunico (BZ)

beeserpentanasrl@pec.it

TITOLO ELABORATO

RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI

CODICE ELABORATO

FV22_SERPENTANA_EL49_REV00

SCALA

-

DATA

Novembre 2022

TIPOLOGIA-ANNO

FV22

COD. PROGETTO

SERPENTANA

N. ELABORATO

EL49

REVISIONE

00



Sommario

1	Premessa.....	4
2	documenti di riferimento	4
3	Normativa di riferimento.....	5
4	Descrizione generale dell'impianto	8
4.1	Generalità	8
5	Calcolo campi elettromagnetici.....	13
5.1	Moduli fotovoltaici	13
5.2	Inverter.....	13
5.3	Le linee elettriche	14
5.4	Le linee elettriche interrate a 36 kV	14
5.5	Calcolo e verifica dei campi ELF emessi dalla linea interrata in esame	15
5.6	Condizioni di carico e ipotesi di calcolo.....	16
5.7	Risultati del calcolo e conclusioni per il cavidotto interrato tra le stazioni inverter	17
5.8	Calcolo Induzione magnetica per le Stazioni Inverter	18
5.9	Valutazione campi elettromagnetici della linea elettrica interrata in AT a 36 kV.....	19
6	Conclusioni	22

Indice delle figure

Figura 1 - Cabina smistamento AT/AT – Pianta e prospetto.....	11
Figura 2 – Stazione inverter	12
Figura 3 - Schema posa del cavo entro cavidotto	16
Figura 4 - Schema cavo 36 kV	20
Figura 5 - Andamento dell'induzione magnetica prodotta dalla linea in cavo	21

Indice delle tabelle

Tabella 1 -Limiti di esposizione di cui all'art.3 del DPCM 8 luglio 2003.	7
--	---



IMPIANTO AGROFOTOVOLTAICO "SERPENTANA"

RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI

FV22_SERPENTANA_EL49

Rev. 00

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.	8
Tabella 3 - Obiettivi di qualità di cui all'art.4 del DPCM 8 luglio 2003 all'aperto in presenza di aree intensamente frequentate.	8



1 PREMESSA

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

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto agrofotovoltaico denominato "**SERPENTANA**" per la produzione di energia elettrica con potenza nominale pari a **31 MWp**, nel Comune di Caccamo (PA) in contrada Acqua Amara e località Case Lanzarotti, proposto dall'Azienda BEE SERPENTANA S.r.l. con sede legale in Strada Anello Nord n. 25, 39031 nel Comune di Brunico (BZ), codice fiscale e Partita IVA 03123120218, del Gruppo Blue Elephant Energy AG, e per la realizzazione di una nuova linea elettrica interrata in alta tensione a 36 kV, che consentirà di collegare l'impianto alla Stazione Elettrica di TERNA di futura realizzazione che sorgerà nel territorio del Comune di Vicari in prossimità del futuro elettrodotto RTN a 380 kV della RTN "Chiaramonte Gulfi - Ciminna", previsto nel Piano di Sviluppo Terna, e da ricollegare alla linea 150 kV compresa tra le stazioni RTN di Ciminna e Cammarata.

In particolare per l'impianto saranno valutate 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 è stata presa in considerazione la condizione maggiormente significativa al fine di valutare la rispondenza ai requisiti di legge dei nuovi elettrodotti.

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

A seguire si riporta un elenco dei principali riferimenti normativi utilizzati:

- Legge n. 36 del 22/02/2001: 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.
- Raccomandazione del Consiglio del 12 luglio 1999 relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz (1999/519/CE).
- Direttiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 26 giugno 2013 sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (ventesima direttiva particolare ai sensi dell'Art. 16, par. 1, della direttiva 89/391/CEE) e che abroga la direttiva 2004/40/CE.
- Testo coordinato con il D. Lgs. 3 agosto 2009, n. 106 – Attuazione dell'Art.1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.
- 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.
- D. Lgs. 159/2016: 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.
- 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 a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz.
- 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 (50 Hz) generati dagli elettrodotti.
- Norma CEI 211-6: Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz – 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana.
- 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.
- Norma CEI EN 50499: Procedura per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici.
- CEI EN 62226-1: Esposizione ai campi elettrici e magnetici nell'intervallo delle frequenze basse e intermedie – Metodi di calcolo della densità di corrente e del campo elettrico interno indotti nel corpo umano -Parte 1: Aspetti generali.



- CEI EN 62226-2-1: Esposizione ai campi elettrici e magnetici nell'intervallo delle frequenze basse e intermedie – Metodi di calcolo della densità di corrente e del campo elettrico interno indotti nel corpo umano -Parte 2-1: Esposizione ai campi magnetici- Modelli 2D.
- CEI EN 62226-3-1: Esposizione ai campi elettrici e magnetici nell'intervallo delle frequenze basse e intermedie – Metodi di calcolo della densità di corrente e del campo elettrico interno indotti nel corpo umano -Parte 3-1: Esposizione ai campi elettrici – Modelli analitici e numerici 2D; • CEI EN IEC 62311: Valutazione degli apparecchi elettronici ed elettrici in relazione alle restrizioni per l'esposizione umana ai campi elettromagnetici (0 Hz – 300 GHz).
- Linea Guida ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz).
- Linea Guida ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to electric fields induced by movement of the human body in a static magnetic field and by time varying magnetic fields below 1 Hz.
- Linea Guida ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz).
- Linea Guida ICNIRP: Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields.
- Linea Guida ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz).

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 μ 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 μ 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 μ 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]

L'obiettivo qualità da perseguire nella realizzazione dell'impianto è pertanto quello di avere un valore di intensità di campo magnetico non superiore ai 3 μ 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.

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:

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)
0.1-3	60	0.2	-
>3 - 3000	20	0.05	1
>3000 - 300000	40	0.01	4

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 equivalente (W/m ²)
0.1 – 300000	6	0.016	0.10 (3 MHz – 300 GHz)

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.

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

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 ²)
0.1 – 300000	6	0.016	0.10 (3 MHz – 300 GHz)

Tabella 3 - Obiettivi di qualità di cui all'art.4 del DPCM 8 luglio 2003 all'aperto in presenza di aree intensamente frequentate.

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

4 DESCRIZIONE GENERALE DELL'IMPIANTO

4.1 Generalità

L'impianto agrofotovoltaico "SERPENTANA" sorgerà nel comune di Caccamo (CL) in contrada Acqua Amara e località Case Lanzarotti e verrà allacciato alla Rete di Trasmissione Nazionale mediante linea interrata in alta tensione a 36 kV, che consentirà di collegare l'impianto alla Stazione Elettrica di TERNI di futura realizzazione che sorgerà nel territorio del Comune di Vicari in prossimità del futuro elettrodotto RTN a 380 kV della RTN "Chiaromonte Gulfi - Ciminna".

L'impianto, con **potenza nominale** pari a **31 MWp**, sarà allacciato (come previsto dal Preventivo di connessione alla rete AT di TERNI, Codice rintracciabilità: 202101982) alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) mediante cavidotto interrato che a partire dall'area dell'impianto fotovoltaico raggiungerà la proposta stazione elettrica (SE) di TERNI di nuova realizzazione (coordinate geografiche: Lat. 37°49'40.22"N, Long. 13°36'41.92"E).

Lo schema di allacciamento alla RTN prevede la connessione della centrale fotovoltaica tramite connessione in antenna a 36 kV con una nuova stazione elettrica di trasformazione (SE) 380/150/36 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.

L'elettrodotto in antenna a 36 kV per il collegamento della centrale fotovoltaica alla nuova stazione RTN costituisce impianto di utenza per la connessione, mentre lo stallo arrivo produttore a 36 kV nella medesima stazione costituisce impianto di rete per la connessione.

L'impianto fotovoltaico è costituito complessivamente da n.ro 3 sottocampi così suddivisi:

- **Sottoimpianto 1:**
 - Coordinate: 37°52'21.35" N – 13°42'30.23" E
 - Potenza: 10.473,75 kW
 - Area di layout: 13,33 ha
- **Sottoimpianto 2:**
 - Coordinate: 37°50'51.06" N – 13°40'42.11" E
 - Potenza: 6.324,15 kW
 - Area di layout: 14,267 ha
- **Sottoimpianto 3:**
 - Coordinate: 37°50'55.05" N – 13°40'22.18" E
 - Potenza: 14.284,20 kW
 - Area di layout: 34,67 ha

per un totale di n° **46.740 moduli**, suddivisi in 3 sottocampi, per una potenza nominale complessiva dell'impianto di **31.082,10 kWp**.

I moduli fotovoltaici scelti per la realizzazione dell'impianto sono in silicio monocristallino di tipo bifacciali, con una potenza di picco di **665 W** delle dimensioni pari a **2384 x 1303 x 35 mm tipo Trina Vertex o similari**, per una superficie totale captante di circa **145.191 mq**. Gli stessi saranno disposti secondo gruppi di file parallele sul terreno, con una distanza tra le file calcolata in modo che l'ombra della fila antistante non interessi la fila retrostante.

Per i sistemi a struttura fissa l'inclinazione ottimale rispetto piano orizzontale dei moduli per la quale si massimizza il valore dell'energia solare radiante sul piano dei moduli, nell'intero anno, è di 30° (Tilt 30°), con Azimut 0°, cioè perfettamente orientati a sud.

Per i sistemi ad inseguimento monoassiali è stato scelto un sistema con asse di orientamento Nord-Sud con angoli di inclinazione Est-ovest tra -52° + 52°.

Complessivamente abbiamo:

480 tracker da 60 moduli, 73 tracker da 30 moduli, 225 strutture fisse da 60 moduli, 49 strutture fisse da 30 moduli, 26 strutture fisse da 14, 26 strutture fisse da 16, con moduli disposti in verticale.

I moduli che costituiscono il generatore fotovoltaico saranno installati su strutture con telai in acciaio zincato adeguatamente dimensionati e ancorati al terreno con un sistema di vitoni, infissi nel terreno. Pertanto non verranno eseguite opere in calcestruzzo per la realizzazione del campo FV.



La tipologia delle apparecchiature, in particolare la taglia dell'inverter e del trasformatore sarà in accordo a quanto indicato negli elaborati di progetto allegati, in conformità al dimensionamento dell'impianto.

Gli inverter utilizzati saranno del tipo centralizzato INGECON SUN 3825TL C615 da 3825 kW o similari combinati con delle stazioni inverter con trasformatore AT/BT incorporato, si prevede l'utilizzo di **n.ro 4 stazioni inverter dotate di trasformatori AT/MT dotate di n.ro 2 inverter da 3825 kW ciascuna e di n.ro 1 stazione inverter dotata di trasformatore AT/MT dotata di n.ro 1 inverter da 3825 kW, per un totale di n.ro 5 stazioni inverter e di n.ro 9 Inverter.**

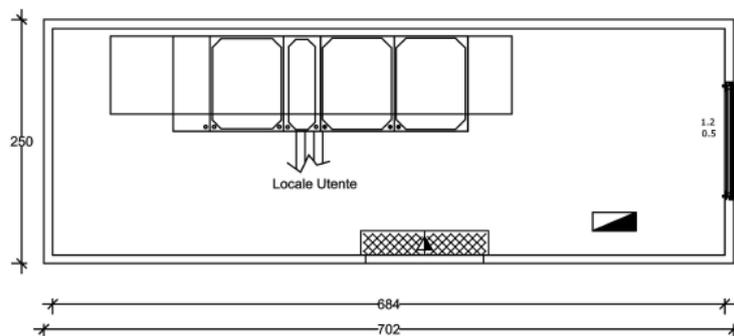
Per ulteriori dettagli si rimanda all'elaborato Relazione di calcolo elettrico e alla tavola Schema unifilare.

Nell'impianto saranno presenti:

- N. 2 cabine di smistamento AT/AT: cabine prefabbricate da 6700x2480x2610 mm.
Al loro interno saranno installate:
 - Quadri a 36 kV
 - Trasformatore ausiliario
 - Quadro Servizi Ausiliari
 - UPS
 - Dispositivi di protezione

CABINA SMISTAMENTO AT/AT 36 kV

PIANTA





PROSPETTO LATO IMPIANTO FOTOVOLTAICO

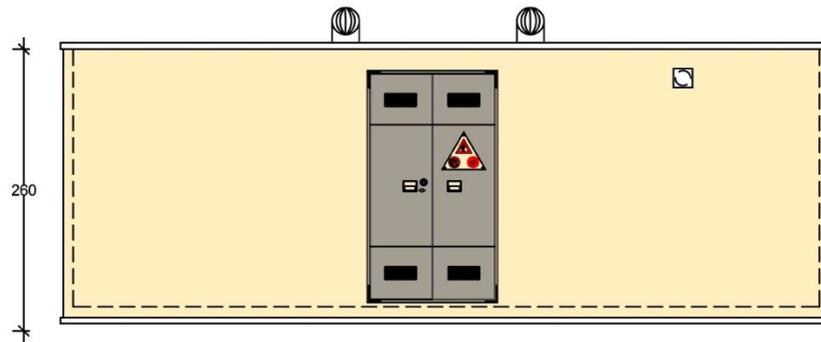


Figura 1 - Cabina smistamento AT/AT – Pianta e prospetto

- N. 5 Stazioni Inverter dotati di trasformatore BT/AT: da 13400x4100x2610 mm;
Al loro interno saranno installate:
 - Quadri 36 kV
 - Trasformatore AT/BT
 - Quadri BT
 - Trasformatore ausiliario
 - N. 1 – 2 inverter da 3825 kW

Per ulteriori dettagli si rimanda alla tavola Particolari costruttivi Cabine elettriche.

INVERTER STATION

SCALA 1:50

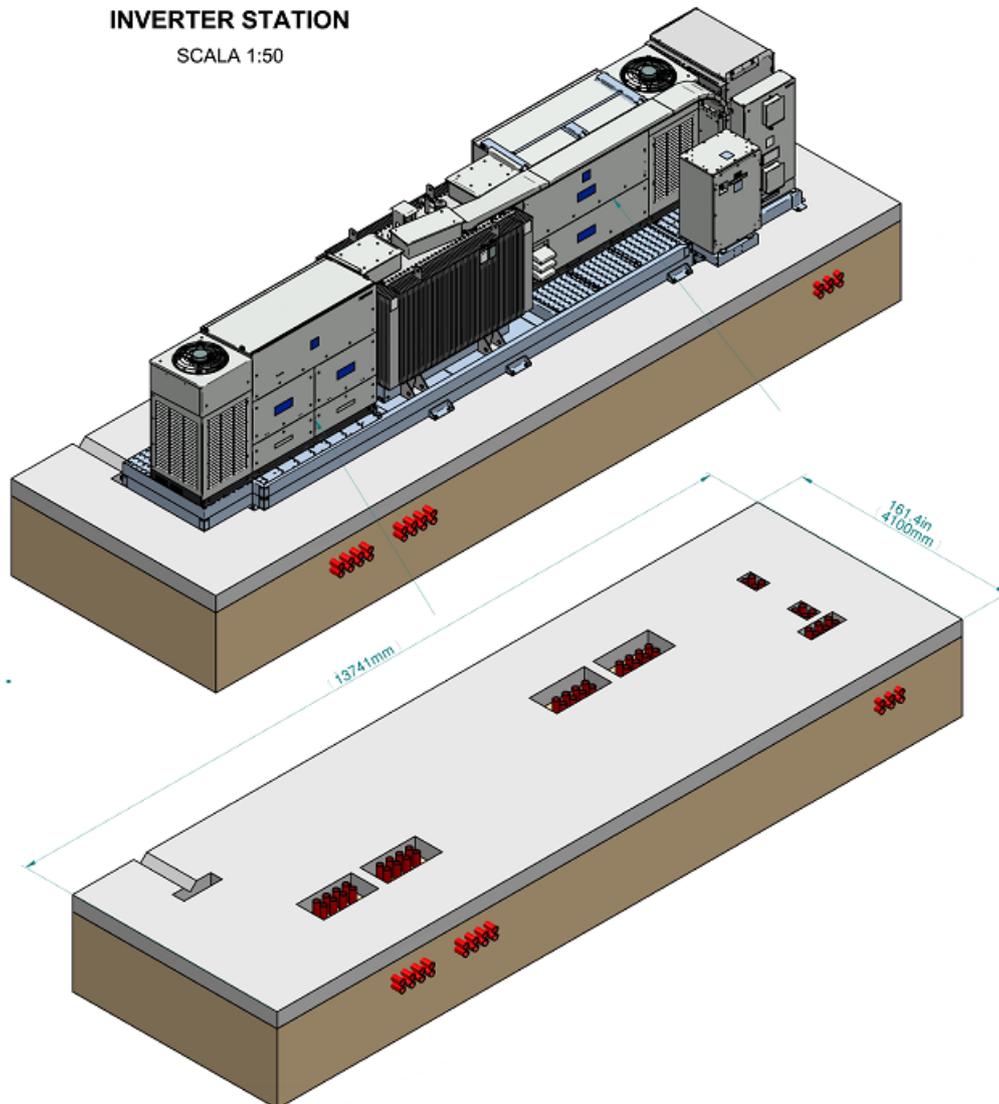


Figura 2 – Stazione inverter

Dopo aver effettuato il dimensionamento elettrico dell’impianto si è scelto di utilizzare **n. 9 inverter centralizzati INGECON SUN 3825TL C615 da 3825 kW o similare**, combinati con delle stazioni inverter con trasformatore AT/BT incorporato, si prevede l’utilizzo di n.ro **5** stazioni inverter dotate di trasformatori BT/AT.

Maggiori dettagli sono riportati nella Relazione Tecnica Generale.



5 CALCOLO CAMPI ELETTROMAGNETICI

5.1 Moduli fotovoltaici

I moduli utilizzati sono monocristallini bifacciali tipo **Vertex Trina** o **similari** con potenza nominale di 665 Wp con celle fotovoltaiche in Silicio Monocristallino.

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.

5.2 Inverter

L'inverter è l'apparato di conversione dell'energia elettrica, da corrente continua a corrente alternata e premettendo che gli inverter verranno acquistati in funzione della disponibilità e del costo di mercato in sede di progettazione si è ipotizzato di utilizzare **n.ro 4 stazioni inverter dotate di trasformatori AT/MT dotate di n.ro 2 inverter da 3825 kW ciascuna e di n.ro 1 stazione inverter dotata di trasformatore AT/MT dotata di n.ro 1 inverter da 3825 kW, per un totale di n.ro 5 stazioni inverter e di n.ro 9 Inverter.**

L'inverter è costituito principalmente da:

- **sezione di arrivo** dal campo fotovoltaico con organo di sezionamento e misure;
- **convertitore statico**, provvisto di ponte a **IGBT** a commutazione forzata, logiche di comando, protezioni, autodiagnostica e misure;
- **sezione di uscita** in corrente alternata, comprendente i dispositivi di comando del parallelo.

Il convertitore si pone immediatamente in stand-by in mancanza di insolazione, e ripristina il proprio funzionamento non appena le condizioni tornano favorevoli. L'algoritmo MPPT (di inseguimento continuo del punto di massima potenza) integrato mantiene continuamente il campo fotovoltaico nelle migliori condizioni operative.

Le questioni di compatibilità elettromagnetica concernenti i buchi di tensione (fino ai 3 s in genere) sono in genere dovute al coordinamento delle protezioni effettuato dal gestore di rete locale.

Il modello di Moduli ed inverter verranno confermati durante le fasi di redazione del progetto esecutivo in relazione alla disponibilità dei fornitori.



5.3 Le linee elettriche

Le linee elettriche (elettrودotti) sono utilizzate per la trasmissione e la distribuzione dell'energia elettrica.

Attualmente in Italia la distribuzione dell'energia elettrica avviene principalmente attraverso due tipologie di elettrodotti:

- Linee aeree – costituite da fili conduttori tesi in aria tra sostegni (tralicci) e fissati ad essi attraverso elementi isolanti.
- Linee interrate – costituite da conduttori avvolti in appositi materiali isolanti in modo da permettere una maggiore vicinanza tra i conduttori senza il rischio di scariche.

Le due principali tipologie possono essere classificate in base alla tensione di esercizio, come di seguito riportato:

- **Linee elettriche di distribuzione ad alta tensione** (AT – in prevalenza 132 – 150 kV): partono dalle stazioni elettriche primarie ed alimentano le grandi utenze o le cabine primarie da cui originano le linee di distribuzione a media tensione;
- **Linee elettriche di distribuzione a media tensione** (MT – in prevalenza 15 – 30 kV): partono dalle cabine primarie ed alimentano le cabine secondarie e le medie utenze industriali. Il presente studio si occuperà di linee interrate a media tensione (30 kV).
- **Nuovo standard di connessione alla RTN con Linee elettriche di distribuzione a 36 kV**: Nuovo standard di connessione introdotto da TERNA per la connessione di impianti di produzione con potenza fino a 100 MW.

5.4 Le linee elettriche interrate a 36 kV

Oltre a ridurre l'impatto paesaggistico i cavi interrati riducono in maniera significativa anche il campo elettrico ed il campo magnetico. I cavi delle linee interrate sono costituiti generalmente da un conduttore cilindrico, una guaina isolante, una guaina conduttrice ed un rivestimento protettivo. I cavi utilizzati nel progetto in esame avranno una tensione di esercizio di 36 kV e vengono posizionati nel terreno ad una profondità minima di 1 metro e possono essere disposti a terna piana (in piano ad alcuni centimetri di distanza l'uno dall'altro) o a trifoglio (ai vertici di un ipotetico triangolo e quindi attaccati l'uno all'altro). In prossimità delle linee elettriche si generano sempre un campo elettrico ed un campo magnetico a frequenza industriale (50Hz).

L'intensità del campo elettrico dipende principalmente dalla tensione della linea e aumenta al crescere della tensione. Il valore efficace dell'intensità del campo elettrico prodotto in un punto da una linea di data tensione si mantiene costante. Hanno influenza sul campo elettrico, oltre che la tensione, la distanza dalla linea (presenta un massimo a qualche metro di distanza dall'asse della linea e decresce man mano che ci



si allontana), la distanza dei conduttori da terra e la disposizione dei conduttori. Nel caso di linee elettriche interrate i campi elettrici già al disopra delle linee sono insignificanti e sempre minori rispetto alle linee aeree grazie all'effetto schermante del rivestimento del cavo e del terreno. Il campo magnetico di una linea elettrica dipende dall'intensità della corrente che circola nei conduttori. Poiché la corrente può variare nell'arco della giornata, della settimana o dell'anno anche l'intensità del campo magnetico varia di conseguenza. Hanno influenza sul campo magnetico oltre alla corrente anche la distanza dalla linea, la distanza dei conduttori da terra, la disposizione dei conduttori.

Il campo magnetico generato da una linea interrata si distribuisce in maniera diversa rispetto a quello generato da una linea aerea di tensione e di corrente corrispondente per diversi motivi. In primo luogo risulta diversa la distanza minima che separa i conduttori stessi da terra (almeno 1 metro). A causa di questo risulta che il valore massimo di campo magnetico prodotto dall'elettrodotto interrato al disopra dei cavi risulta confrontabile, se non addirittura maggiore, di quello prodotto da un elettrodotto aereo di pari caratteristiche elettriche. Tuttavia essendo diversa anche la distanza che separa i vari conduttori tra loro (pochi centimetri), si ha che, non appena ci si allontana dalla linea, i valori di campo magnetico prodotti dall'elettrodotto interrato si riducono assai più rapidamente di quelli dell'elettrodotto aereo.

5.5 Calcolo e verifica dei campi ELF emessi dalla linea interrata in esame

I campi ELF oltre che misurati possono essere stimati attraverso l'utilizzo di programmi di calcolo per la cui applicazione è necessaria la conoscenza di alcuni dati della linea elettrica. In particolare serve conoscere le caratteristiche geometriche della linea (diametro dei conduttori e loro reciproca posizione spaziale, distanza da terra), le sue caratteristiche elettriche (tensione, intensità di corrente) e la posizione (distanza e altezza) del punto dove devono essere valutati i campi rispetto ai conduttori della linea. Il calcolo che segue si rifà direttamente alle indicazioni della norma CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche" pubblicata dal Comitato Elettrotecnico Italiano nel luglio 1996. Trascurando il calcolo di verifica del campo elettrico che, per come detto in precedenza, risulta non significativo per le linee elettriche interrate, l'algoritmo di calcolo utilizzato per il calcolo dell'induzione magnetica generata da una linea ha come punto di partenza la legge Biot-Savart che consente di calcolare in un generico punto dello spazio il valore dell'induzione magnetica B prodotta da un conduttore rettilineo percorso da una corrente I attraverso la:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{r} \cdot (u_i \wedge u_r)$$

dove:

- r è la distanza tra il conduttore e il punto di calcolo;
- $(u_i \wedge u_r)$ è il prodotto vettoriale dei vettori che indicano il verso della corrente e della relativa normale



Nelle formule che seguono, l'induzione magnetica B viene misurata in microtesla (μT), le correnti I in ampère (A), le distanze in metri (m) e le superfici A in metri quadrati (m^2). Naturalmente B e I vanno intesi come valori efficaci.

Sviluppando la relazione precedente per un insieme di N conduttori rettilinei, orizzontali e paralleli fra loro, e dette (x_i, y_i) le coordinate del conduttore i-esimo, le componenti x e y totali dell'induzione magnetica generata nel punto dello spazio (x, y) dall'intera configurazione di conduttori possono essere espresse attraverso le seguenti relazioni:

$$\bar{B}_x = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \sum I_i \left[\frac{(x-x_i)}{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2} \right]; \quad \bar{B}_y = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \sum I_i \left[\frac{(y-y_i)}{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2} \right]$$

Nella verifica che segue altresì, a vantaggio delle misure di prevenzione sanitaria contro l'elettrosmog a tutela dei bambini, così come fissato dalla Circolare del Ministro dell'Ambiente 3 agosto 1999, la soglia massima di sicurezza di 0,2 microtesla (μT) per l'induzione magnetica.

5.6 Condizioni di carico e ipotesi di calcolo

Per la trasmissione di energia elettrica interrata sono utilizzati (nella sezione di massimo carico) un fascio di cavi per media tensione. Il fascio è formato da tre conduttori unipolari in alluminio, con tipo di isolatore ad alto modulo elastico e schermati sotto guaina di PVC e disposti in piano alla profondità di 1.5 m. Il campo elettrico risulta ridotto in maniera significativa per l'effetto combinato dovuto alla speciale guaina schermante del cavo ed alla presenza del terreno che presenta una conducibilità elevata. La riduzione così operata del campo elettrico consente agli individui di avvicinarsi maggiormente ai conduttori stessi, i quali come già detto sono di solito interrati a pochi metri di profondità. Poiché il campo elettrico risulta ampiamente entro i limiti di legge, sia nel caso della potenza effettiva calcolata sia nel caso di potenza nominale, non verrà considerato nei grafici che seguono. La disposizione dei cavi in opera è rettilinea

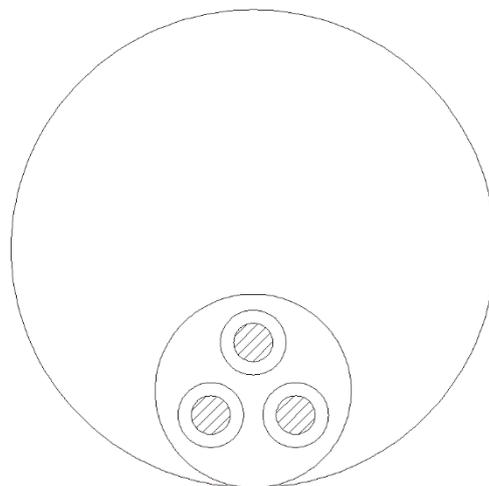


Figura 3 - Schema posa del cavo entro cavidotto



5.7 Risultati del calcolo e conclusioni per il cavidotto interrato tra le stazioni inverter

Nel caso in esame abbiamo un sistema trifase collegato a triangolo simmetrico ed equilibrato, con conduttori spazati d ; il campo per cavi tripolari ha un valore:

$$B=0,245 \times (I \times d) / r^2 \quad [\mu T]$$

La stazione inverter con potenza più elevata è costituita da n.ro 2 inverter da 3825 kW per una potenza in uscita di 6820 kVA con una tensione di 36 kV.

Pertanto la corrente in uscita risulta:

$$I_{MT} = \frac{P_{trafo}}{V_{MT} \cdot \sqrt{3}} = \frac{6820 \text{ kVA}}{36 \text{ kV} \cdot \sqrt{3}} = 110 \text{ A}$$

Per il cavo è possibile utilizzare un cavo ad elica tipo RG7H1R-26/45kV o similare con le seguenti specifiche:

- Formazione 3x95 mm²
- Diametro Conduttore 11,4 mm
- Diametro esterno 50,3 mm

La distanza tra due conduttori da considerare diventa:

$$d = 51,2 \text{ mm}$$

Pertanto si verifica $B=0,2 \mu T$ alla distanza di

$$r = \sqrt{\frac{0,245 \cdot 110 \cdot 51,2 \cdot 10^{-3}}{0,2}} = 2,6 \text{ m}$$

Pertanto si verifica $B=3 \mu T$ alla distanza di

$$r = \sqrt{\frac{0,245 \cdot 110 \cdot 51,2 \cdot 10^{-3}}{3}} = 0,68 \text{ m}$$

Come si può notare, il valore di qualità indicato nella Circolare del Ministero dell'Ambiente di $0,2 \mu T$ si raggiunge a circa 2,6 m dall'asse del cavidotto mentre, quello indicato dal D.P.C.M. 8 luglio 2003 di $3 \mu T$ si raggiunge ad una distanza di 0,68 m pertanto tale valore non si raggiunge mai poiché il cavo viene posato in profondità minima di 1,0 m.



5.8 Calcolo Induzione magnetica per le Stazioni Inverter

Le stazioni inverter sono fornite preassemblate con trasformatore AT/BT incorporato,

La stazione inverter con potenza più elevata è costituita da n.ro 2 inverter da 3825 kW per una potenza in uscita di 6820 kVA con una tensione di 36 kV.

Il massimo valore di induzione elettromagnetica si ottiene sulla parte BT dell'inverter a 615V, la corrente massima in uscita da ogni inverter è pari a 3200A

Per la connessione in uscita da ogni inverter avverrà verranno utilizzate delle barre di rame di dimensioni non inferiori a 100x10 mm due per ogni fase disposte in piano.

La distanza tra due barre di rame da considerare è di circa diventa:

$$d = 20 \text{ mm}$$

Nel caso in esame abbiamo un sistema trifase collegato in piano ed equilibrato, con conduttori spazati d;

$$B = 0,346 \times (I \times d) / r^2 \quad [\mu T]$$

Pertanto si verifica $B = 0,2 \mu T$ alla distanza di

$$r = \sqrt{\frac{0,346 \cdot 3200 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{0,2}} = 10,5 \text{ m}$$

Pertanto si verifica $B = 3 \mu T$ alla distanza di

$$r = \sqrt{\frac{0,346 \cdot 3200 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{3}} = 2,71 \text{ m}$$

Come si può notare, il valore di qualità indicato nella Circolare del Ministero dell'Ambiente di $0,2 \mu T$ si raggiunge a circa 10,5 m dalla stazione inverter, quello indicato dal D.P.C.M. 8 luglio 2003 di $3 \mu T$ si raggiunge ad una distanza di 2,71 m.

Ovviamente le barre di rame saranno all'interno delle stazioni inverter in appositi involucri che andranno a minimizzare ulteriormente i valori di induzione magnetica. Inoltre i calcoli sono stati effettuati per la situazione in cui l'impianto, si trova in condizioni di massima produttività e questo avviene solo durante le stagioni estive e per poche ore al giorno.

Per le stazioni inverter con installati due inverter il valore di $3 \mu T$ si raggiunge ad una distanza di 5,42 m.

Le stazioni inverter saranno ubicate all'interno dell'area occupata dall'impianto FV e su tutto il perimetro dell'impianto è presente una fascia arborea di mitigazione di 10 m.



Per le considerazioni sopra svolte, per le indicazioni che vengono dalla letteratura scientifica e per le risultanze di calcolo, si può affermare che le stazioni inverter dell'impianto fotovoltaico daranno contributi in termini di campo elettrico e di induzione magnetica che nei riguardi delle abitazioni più prossime risulteranno al di sotto dei limiti di esposizione dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità di cui al DPCM 8 luglio 2003.

5.9 Valutazione campi elettromagnetici della linea elettrica interrata in AT a 36 kV

L'elettrodotto di collegamento fra la cabina di smistamento AT/AT e la Stazione Elettrica di Terna, sarà realizzato con una linea interrata costituita da una terna composta da una doppia terna di cavi unipolari realizzati con conduttore in rame, isolante in XLPE, schermatura in alluminio e guaina esterna in polietilene. Ciascun conduttore di energia avrà una sezione indicativa di circa 240 mm².

Il collegamento sarà in grado di trasportare la potenza massima dell'impianto che sarà connesso alla Stazione Elettrica di Terna.

L'impianto avrà una potenza di circa **31 MW** quindi per un funzionamento a $\cos \varphi$ pari a 0.95, si ha:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} V \cos \varphi} = 493A$$

Per il cavo di sezione pari a 240 mm² e per le condizioni standard di posa a trifoglio interrato, si ha un valore di corrente massima pari a circa 493 A.

I cavi saranno interrati ed installati normalmente in una trincea della profondità di 1.5 m, con disposizione delle fasi a trifoglio.

Nello stesso scavo, a distanza di almeno 0,3 m dai cavi di energia, sarà posato un cavo con fibre ottiche e/o telefoniche per trasmissione dati.

Tutti i cavi verranno alloggiati in terreno di riporto, la cui resistività termica, se necessario, verrà corretta con una miscela di sabbia vagliata o con cemento "mortar".

Saranno protetti e segnalati superiormente da una rete in PVC e da un nastro segnaletico, ed ove necessario anche da lastre di protezione in cemento armato dello spessore di 6 cm.

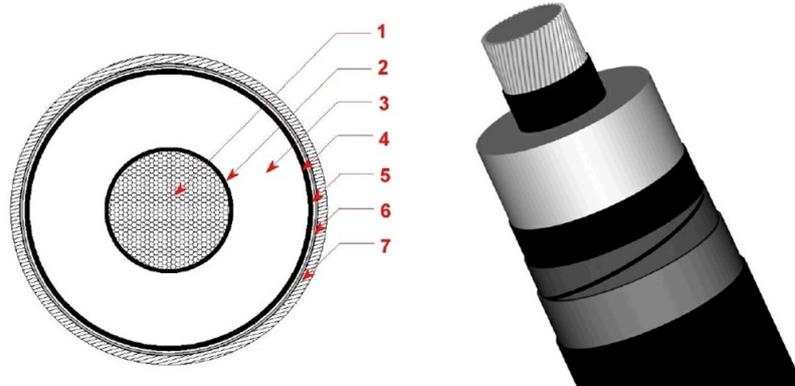
La restante parte della trincea verrà ulteriormente riempita con materiale di risulta e di riporto.

Gli attraversamenti di eventuali opere interferenti saranno eseguiti in accordo a quanto previsto dalla Norma CEI 11-17.

Ciascun cavo d'energia a 36 kV sarà costituito da un conduttore in rame compatto di sezione indicativa pari a circa 240 mm² tamponato (1), schermo semiconduttivo sul conduttore (2), isolamento in polietilene reticolato (XLPE) (3), schermo semiconduttivo sull'isolamento (4), nastri in materiale



igroespandente (5), guaina in alluminio longitudinalmente saldata (6), rivestimento in politene con grafitatura esterna (7).



1	Conduttore compatto
2	Schermo del conduttore (Strato semiconduttivo interno)
3	Isolante
4	Schermo dell'isolante (Strato semiconduttivo esterno)
5	Barriera igroscopica
6	Schermo metallico
7	Guaina esterna termoplastica

Figura 4 - Schema cavo 36 kV

Per quanto riguarda invece il campo magnetico si rileva che la maggiore vicinanza dei conduttori delle tre fasi tra di loro rispetto alla soluzione aerea rende il campo trascurabile già a pochi metri dall'asse dell'elettrodotto. Di seguito è esposto l'andamento del campo magnetico lungo il tracciato della linea interrata a 36 kV.

Il calcolo è stato effettuato in aderenza alla Norma CEI 211-4. I valori esposti si intendono calcolati ad una distanza di 1 metro dal suolo

Di seguito viene esposto il grafico dell'andamento dell'induzione magnetica rispetto all'asse dell'elettrodotto.

Nel calcolo, essendo il valore dell'induzione magnetica proporzionale alla corrente transitante nella linea, è stata presa in considerazione la configurazione di carico che prevede una posa dei cavi a trifoglio, ad una profondità di 1,5 m, con un valore di corrente pari a 493 A, dove la configurazione dell'elettrodotto è quella in assenza di schermature, distanza minima dei conduttori dal piano viario e posa a trifoglio dei conduttori.

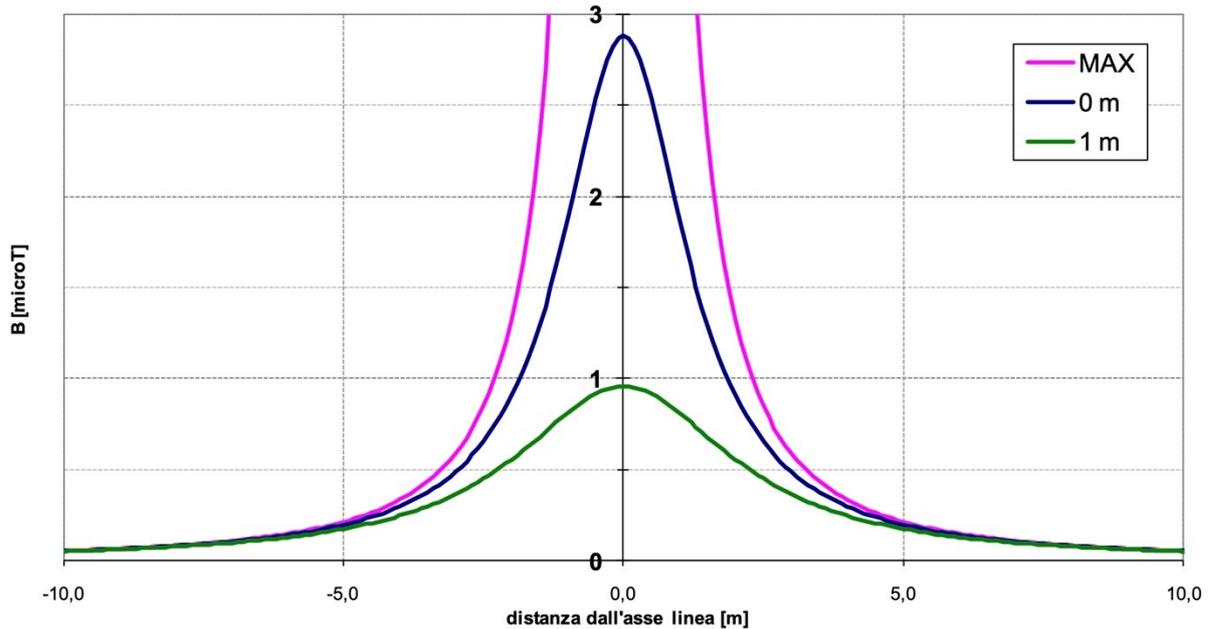


Figura 5 - Andamento dell'induzione magnetica prodotta dalla linea in cavo

Il limite di 3 μT si raggiunge nel caso peggiore ad una distanza dall'asse linea di circa 2,0 m. Il tracciato di posa dei cavi è tale per cui intorno ad esso non vi sono ricettori sensibili (zone in cui si prevede una permanenza di persone per più di 4 ore nella giornata) per distanze molto più elevate di quelle calcolate.

Secondo quanto riportato nel DM del MATTM del 29.05.2008, il calcolo delle fasce di rispetto può essere effettuato usando le formule della norma CEI 106-11, che prevedono l'applicazione dei modelli semplificati della norma CEI 211-4.

Per il cavo è possibile utilizzare un cavo tipo RG7H1R o similare con le seguenti specifiche:

- Formazione a trifoglio 3x2x240 mm²
- Diametro Conduttore 18,2 mm
- Diametro esterno 56 mm

La distanza tra due conduttori da considerare diventa:

$$d = 109 \text{ mm}$$

Pertanto si verifica $B = 0,2 \mu\text{T}$ alla distanza di

$$r = \sqrt{\frac{0,245 \cdot 493 \cdot 109 \cdot 10^{-3}}{0,2}} = 8,1 \text{ m}$$

Pertanto si verifica $B = 3 \mu\text{T}$ alla distanza di

$$r = \sqrt{\frac{0,245 \cdot 493 \cdot 55 \cdot 10^{-3}}{3}} = 2,0 \text{ m}$$



Come si può notare, il valore di qualità indicato nella Circolare del Ministero dell'Ambiente di $0,2 \mu\text{T}$ si raggiunge a circa 8,1 m dall'asse del cavidotto mentre, quello indicato dal D.P.C.M. 8 luglio 2003 di $3 \mu\text{T}$ si raggiunge a 2,0 m. Ovviamente il cavo viene posato in profondità minima di 1,5 m.

Che arrotondato al metro, fornisce un valore della fascia di rispetto pari a 2 m per parte, rispetto all'asse del cavidotto. Come anticipato non si ravvisano ricettori all'interno della suddetta fascia.

6 CONCLUSIONI

Il parco agrofotovoltaico "SERPENTANA" e le opere annesse non producono effetti negativi da campi elettrici e magnetici sulle risorse ambientali e sulla salute pubblica.

La limitazione dell'accesso all'impianto a persone non autorizzate e la ridotta presenza di potenziali ricettori garantisce ampiamente di rispettare la distanza di sicurezza tra persone e sorgenti di campi elettromagnetici.

Anche le opere utili all'allaccio dell'impianto alla rete elettrica nazionale, rispettano in ogni punto i massimi standard di sicurezza e i limiti prescritti dalle vigenti norme in materia di esposizione da campi elettromagnetici.