

ID&A

industrial designers & architects

Progettista



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



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico integrato ecocompatibile da 32,375 MW con sistema di accumulo da 2 MW denominato "FALCO" a Cerami 94010 (EN).

Elaborati di progetto

Relazione campi elettromagnetici.

Revisione

n.	data	aggiornamenti
1		
2		
3		

Elenco Elab.

RS 06 REL

0003 A 0

nome file

idea.r_campi.elettrom.001.docx

	data	nome	firma
redatto	12.03.2024	Ferraro	
verificato	12.03.2024	Ferraro	
approvato	12.03.2024	Speciale	

DATA 12.03.2024

Sommario

1.	PREMESSA	2
2.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	3
3.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
4.	DESCRIZIONE SOMMARIA DEGLI IMPIANTI.....	5
4.1	GENERALITA'	5
4.2	CABINE ELETTRICHE DI TRASFORMAZIONE	7
4.3	CABINA ELETTRICA D'IMPIANTO MT/AT.....	8
5.	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI.....	10
5.1	CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIANTO AGRIVOLTAICO.....	10
5.1.a	Moduli fotovoltaici	10
5.1.b	Inverter.....	10
5.1.c	Linee elettriche in corrente alternata.....	10
5.1.d	Cabine elettriche di trasformazione MT	12
5.1.f	Altri cavi.....	13
5.2	CAMPI ELETTROMAGNETICI DELLE OPERE CONNESSE.....	14
5.2.a	Linee elettriche in corrente alternata in media tensione	14
5.2.b	Connessione in alta tensione alla Stazione RTN	16
5.2.c	Analisi dei risultati ottenuti	18

1. PREMESSA

Scopo del presente documento è quello di descrivere le emissioni elettromagnetiche associate alle infrastrutture elettriche presenti nell'impianto fotovoltaico 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 di estensione pari a 768.949 m², di pannelli fotovoltaici (moduli) in silicio monocristallino della potenza unitaria di 630 Wp.

I pannelli, in virtù della particolare conformazione morfologica del territorio, saranno montati, in configurazione bifilare, sia su strutture ad inseguimento (tracker), asse di rotazione Nord-Sud con inclinazione Est-Ovest compresa tra +/- 45°, sia su strutture fisse, con angolo di tilt pari a 25°.

Il progetto prevede complessivamente 52.910 moduli occupanti una massima di circa 147.900 m², per una potenza complessiva installata di circa 32,375 MWp lato DC, di moduli fotovoltaici, collegati a 185 inverter DC/AC da 175 kW cadauno per una potenza nominale di picco complessiva del campo lato AC di 32,375 MWp a cui aggiungere 2 MW di accumulo e quindi per una potenza ai fini della connessione di 34,375 MW

Il totale dei pannelli posizionati sarà, come sopra detto, n. 52.910 di cui:

- 50.450 posizionati su trackers, con asse N-S e tilt +/- 45°. Il pitch sarà di 8,25 m e potenza di 31,97 MWp;
- 2.460 posizionati su strutture fisse, tilt 25°. Il pitch sarà 7,4 m e potenza di 3 MWp

La potenza di connessione da STMG sarà quindi pari a 34,375 MW.

L'impianto sarà corredato di 185 inverter DC/AC da 175 kW, n.8 cabine AT/BT 0,8/30kV/kV da 4000 kVA, una cabina consegna del distributore, una cabina per i servizi ausiliari, n.1 cabina AT/BT da 2000 kVA per il gruppo di conversione e trasformazione del sistema di accumulo.

Il campo, mediante cavidotti interrati, farà capo ad una cabina di raccolta e trasformazione di utenza MT/AT con trasformatore di potenza da 40 MVA 30/150 kV/kV posizionato in una singola stazione di trasformazione MT/AT dove sarà altresì collegato l'impianto di accumulo da 2 MW. Dal trasformatore si dipartirà una terna di cavi in AT a 150 kV che si andrà a collegare in antenna a 150 kV con la stazione di smistamento 150 kV RTN denominata "Mistretta", inserita in entra - esce alla linea RTN 150 kV "Castel di Lucio - Troina", previo potenziamento/rifacimento della linea RTN a 150 kV "Troina - Castelbuono"

Per le modalità di scambio di energia fra la rete in AT e l'impianto fotovoltaico, la potenza massima di progetto conferibile in rete pubblica richiesta è pari a 34,375 MW.

Per l'impianto saranno valutate, in particolare, le emissioni elettromagnetiche dovute alla cabine elettriche, ed ai cavidotti. 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 inoltre 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 precisa 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 μ 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 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].

Pertanto l'obiettivo qualità da perseguire nella realizzazione dell'impianto è quello di avere un valore di

intensità di campo magnetico non superiore ai $3\mu\text{T}$ 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 trasferisce alla Rete di Trasmissione Nazionale la massima produzione (circa 34,375 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 equivalente (W/m ²)
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 ²)
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/m ²)
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 FV FALCO", classificato come "Impianto non integrato", è di tipo grid-connected e la modalità di connessione è in "Trifase in ALTA TENSIONE 150 kV".

La potenza nominale dell'impianto ai fini della connessione è di 34,375 MW di cui 32,375 MW di impianto fotovoltaico a cui aggiungere 2 MW di accumulo e la produzione stimata è di 56.952,33 MWh di energia annua, ottenuta da 52.910 moduli.

La massima superficie che i pannelli occuperanno si avrà quando l'angolo di rotazione phi sarà pari a 0 (zero) e in proiezione l'area occupata sarà di 147.253 m²; catastalmente la superficie dell'impianto è pari a circa 768.949 m² mentre la superficie utilizzabile per l'impianto sarà pari a 734.167 m².

Il parco fotovoltaico, oggetto della presente relazione, sarà costituito da n. 8 sottocampi di cui 7 di potenza pari a 4025 kWp ed uno di potenza pari a 4200 kWp. Ogni sottocampo sarà realizzato da n. 23 inverter (tranne quello di potenza maggiore formato da 24 inverter) da 175 kWac effettivi collegati in parallelo; a ciascun inverter verranno collegate n. 12 stringhe, una per ogni mppt, con la seguente configurazione: n.10 stringhe con 24 moduli e n. 2 stringhe con 23 moduli per un totale di 286 moduli da 630 Wp in monocristallino ad inverter. Gli inverter 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 un trasformatore in resina da 4000 kVA 0,8/36 kV/kV che innalzerà la tensione da 800V a 36 kV.

Gli 8 sottocampi, raggruppati tramite collegamento in tubo interrato in AT 30 kV, saranno connessi con la configurazione in entra-esce.

Il campo, mediante cavidotti interrati, farà capo ad una cabina di raccolta e trasformazione di utenza MT/AT con trasformatore di potenza da 40 MVA 30/150 kV/kV posizionato in una singola stazione di trasformazione MT/AT dove sarà altresì collegato l'impianto di accumulo da 2 MW. Dal trasformatore si dipartirà una terna di cavi in AT a 150 kV che si andrà a collegare in antenna a 150 kV con la stazione di smistamento 150 kV RTN denominata "Mistretta", inserita in entra - esce alla linea RTN 150 kV "Castel di Lucio - Troina", previo potenziamento/rifacimento della linea RTN a 150 kV "Troina - Castelbuono"

Per le modalità di scambio di energia fra la rete in AT la potenza massima di progetto conferibile in rete pubblica sarà pari a 34,375 MW.

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

- Impianto elettrico di ciascun sottocampo fotovoltaico per la produzione di energia elettrica;
- Rete di distribuzione MT in cavo per la connessione dei sottocampi costituenti il parco agrivoltaico;
- Rete di collegamento in MT tra il punto di consegna del distributore e la cabina di trasformazione MT/BT per Servizi Ausiliari;
- Collegamento elettrico MT tra il parco agrivoltaico e la stazione di raccolta e trasformazione.
- Collegamento in AT tra Sottostazione Elettrica Utente e il punto di consegna a Terna.

L'impianto agrivoltaico in progetto prevede l'installazione a terra, su terreno di estensione totale pari a 734.167 m², di pannelli fotovoltaici (moduli) in silicio monocristallino della potenza unitaria di 630 Wp.

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 pannelli saranno montati, in relazione alla morfologia del terreno, sia su strutture a inseguimento monoassiale (tracker) sia su strutture fisse a terra, entrambi in configurazione bifilare.

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 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 a terra, del tipo bifilare, sono inclinate a sud di 25° .

Gli inverter, 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 m e sono costituite da moduli prefabbricati per l'alloggiamento degli arredi di cabina (interruttori, quadri, inverter, trasformatori BT/MT, cavedi).

L'impianto di accumulo è costituito da:

- container di 45ft di dimensioni 13.716 x 2.500 x 2.896 mm contenente 1600 batterie di tipo LiFePO₄, REVOLITHIUM INDUSTRIAL BATTERY della serie RL24-200
- inverter Fimer PVS980-58 2MVA di dimensioni 3180 x 2443 x 1522 mm
- Trasformatore in resina da 2MVA di dimensioni

Il punto consegna MT per SA (Servizi Ausiliari) sarà adiacente al suddetto impianto di accumulo occupando una superficie di circa 17 m².

Ai fini dello stoccaggio dei materiali di consumo, ricambi, attrezzi e mezzi d'opera, si è previsto un deposito di 160 mq di forma rettangolare con una tettoia esterna adiacente di 38 mq, attiguo alla control room ed alloggio custode per complessivi 80 mq.

L'energia prodotta dall'impianto sarà veicolata in uscita dalla cabina AT/BT alla SE di smistamento a 150 kV della RTN a 150 kV "Troina – Castelbuono"

Dal punto di vista elettrico, l'impianto nel suo complesso è funzionalmente diviso in n.10 blocchi da circa 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 a loro volta inseriti nelle cabine MT, al cui interno avviene la trasformazione della corrente alternata da bassa tensione (BT) a media tensione (MT).

Le cabine MT sono a loro volta collegate al trasformatore posizionato nella stazione utente, trasformatore che riceve la corrente alternata in MT prodotta dall'impianto fotovoltaico e la trasforma in alta tensione (AT).

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

I cavidotti BT prevedono delle sezioni di scavo per l'alloggiamento tipicamente di 70 cm di profondità per 40 cm di larghezza.

I cavidotti MT prevedono delle sezioni di scavo per l'alloggiamento di 100 cm di profondità per 70 cm di larghezza.

Il cavidotto AT ha una sezione di scavo di 150 cm per 70 cm.

L'impianto sarà dotato di viabilità interna e perimetrale, accessi carrabili, recinzione perimetrale, sistema di illuminazione e videosorveglianza.

4.2 CABINE ELETTRICHE DI TRASFORMAZIONE

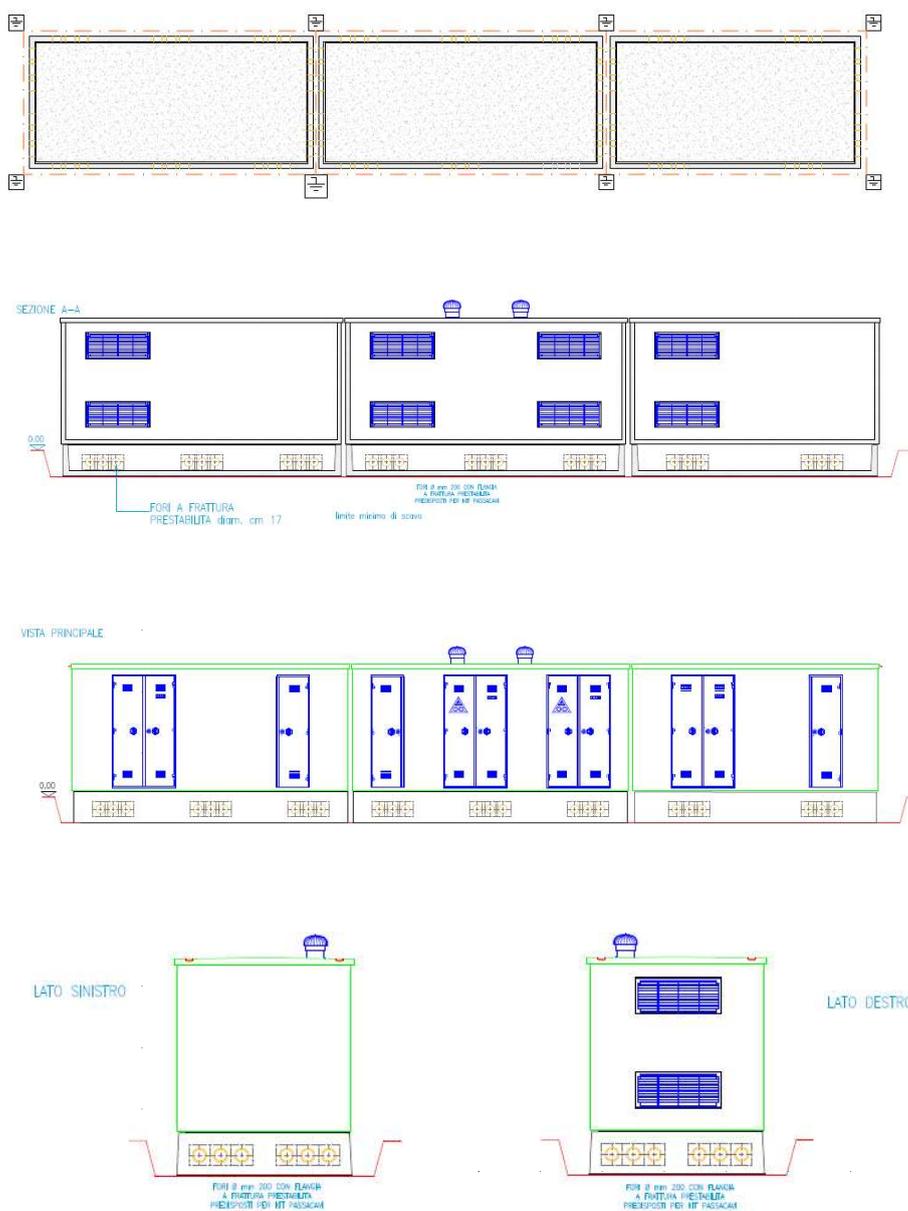
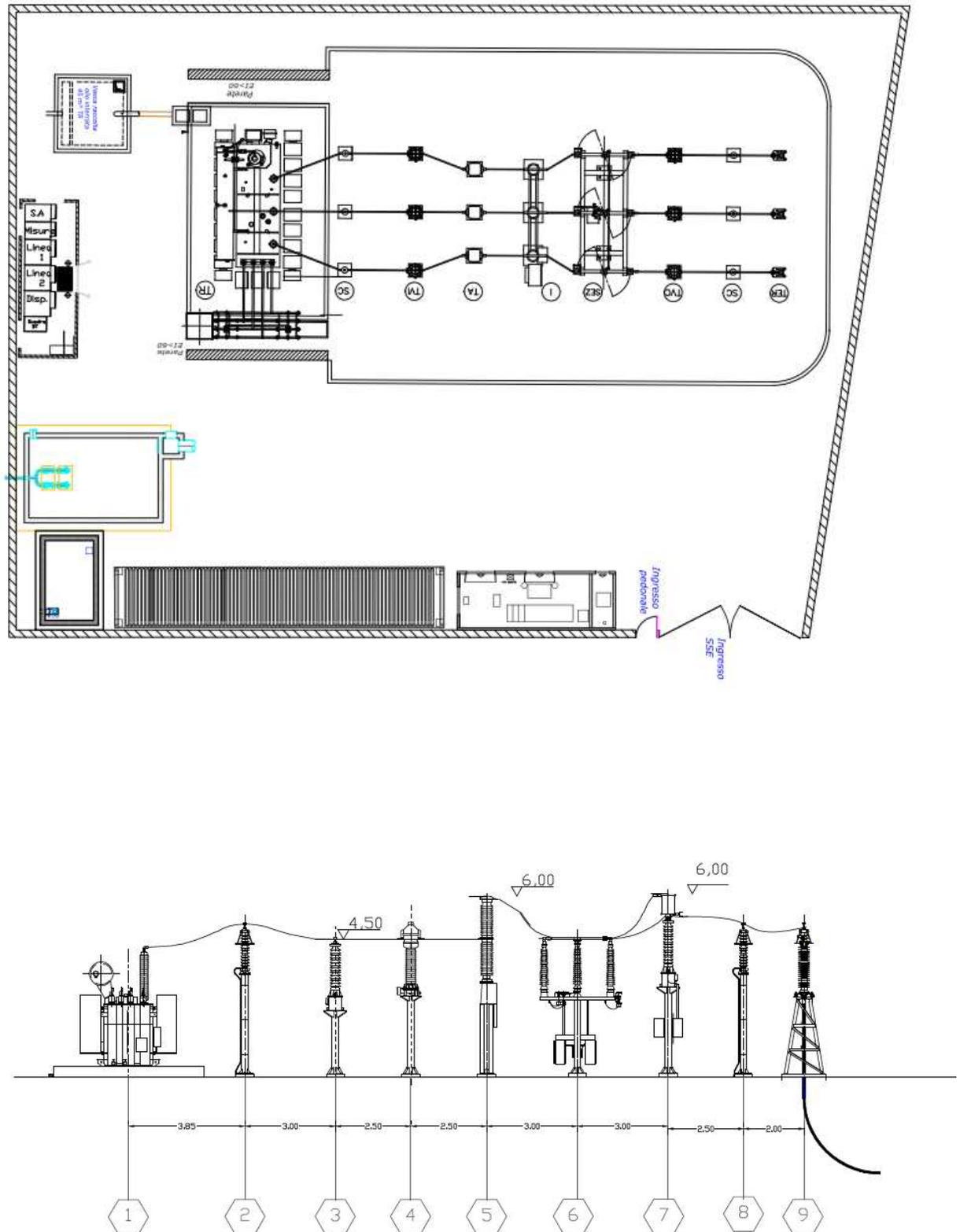


Figura 1: Cabine di trasformazione

4.3 CABINA ELETTRICA D'IMPIANTO MT/AT



Industrial Designer & Architects S.r.l.

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

5. CALCOLO DEI CAMPI ELETTRICI

5.1 CAMPI ELETTRICI IMPIANTO AGRIVOLTAICO

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 agrivoltaico;
- 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 70 m dal percorso del cavidotto MT più vicino e circa 65 m dal trasformatore AT; 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 agrivoltaico, 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 ($50 \div 80 \text{ cm}$) dall'asse del cavo stesso.

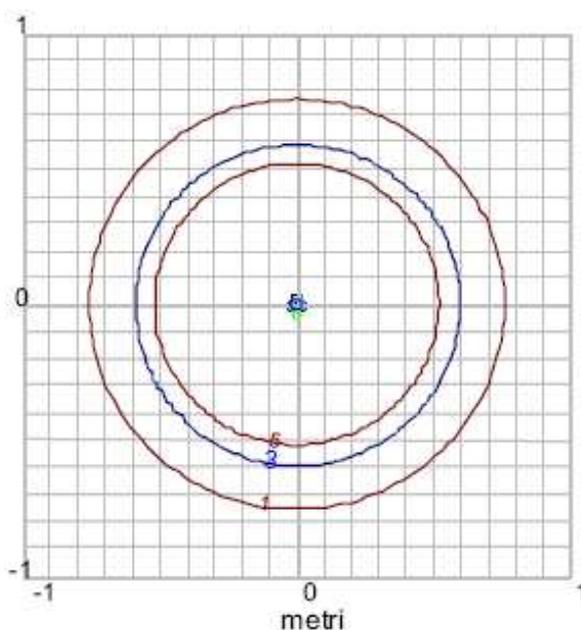


Figura 3: Curve di equilivello per il campo magnetico di una linea MT in cavo elicordato interrata (dalla Norma CEI 106-11)

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/AT il più delle volte viene presa in considerazione limitatamente alla generazione di un campo magnetico nei locali vicini a quelli di cabina. Nel parco agrivoltaico 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 = 2.905 A e che il cavo scelto sul lato BT del trasformatore è pari a 3(7x240) mm², 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 l'ultima cabina elettrica MT di parallelo, dove confluiscono anche i cavidotti MT provenienti dai gruppi delle cabine di trasformazione non interessate dall'entra-esce. Tale cabina è adiacente all'area del sistema di accumulo; 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 662 A: si tratta della corrente di ogni fase per la potenza complessiva massima di 34.375 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 4 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 2 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 interrate, 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 8 sottocampi di potenza uguale. Sulla base delle diverse tipologie di collegamento tra le cabine viene esaminata la situazione più significativa ai fini del calcolo dell'intensità del campo di induzione magnetica, ovvero quella relativa al collegamento verso l'entra-esce di tutte le 8 cabine con potenza complessiva pari a 32,375 MW, situazione più gravosa. In tale situazione i cavi di connessione elettrica saranno composti da una terna elicordata, la quale trasportano verso la cabina di parallelo una potenza di circa 32,375 MWp. Il sistema è caratterizzato dalle sezioni tipo riportate nelle seguenti figure:

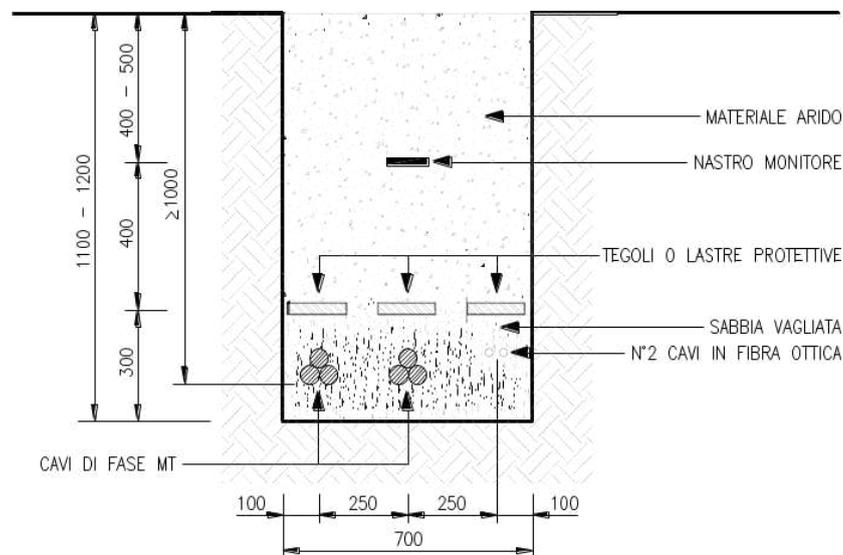


Figura 4: Sezione tipica di posa della linea in cavo

All'interno del cavidotto in esame si trova una terna di cavi MT isolati a 30 kV che trasferisce la potenza del sottocampo di maggiore potenza verso la cabina di utenza.

Per quanto concerne i cavidotti MT, per il collegamento della cabina d'impianto al quadro MT della cabina d'utenza, si prevede l'utilizzo di due terne di cavi unipolari in alluminio ciascuna di sezione pari a $3 \times 1 \times 300 \text{ mm}^2$, elicordati e posati a trifoglio. La corrente massima che può interessare la linea di collegamento AT per l'impianto in oggetto è la seguente:

$$I_{b_max} = \frac{P_{max}}{\cos \varphi \sqrt{3} V_n} = \frac{34,375 \cdot 10^6}{0,95 \cdot \sqrt{3} \cdot 30 \cdot 10^3} = 697,19, A$$

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 944A, pari alla portata massima della linea elettrica in cavo, per la condizione di posa scelta, secondo la Norma CEI 20-21.

Ai fini di calcolo cautelativo è stata scelta la configurazione dell'elettrodotta 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.

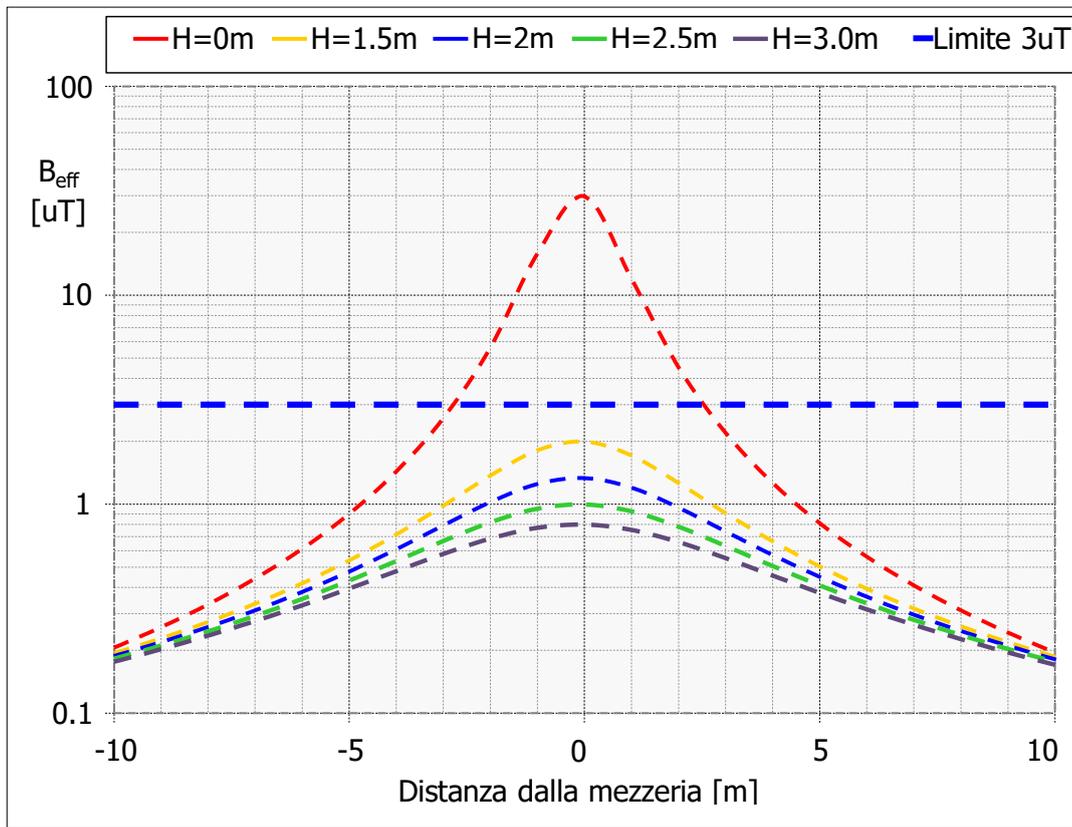


Figura 6: Andamento dell'induzione magnetica prodotta dalla linea in cavo per la massima corrente del cavo

Si può osservare come nel caso peggiore il valore di $3 \mu\text{T}$ è raggiunto a circa 2,5 m dall'asse del cavidotto. È da notare che la condizione di calcolo è ampiamente cautelativa, in quanto la corrente che fluirà nei cavi sarà quella prodotta dalla sezione scelta dall'impianto agrivoltaico che, come detto, è pari a circa 697 A nelle condizioni di massima erogazione; inoltre nella situazione progettuale si è optato per un tipo di posa con cavi schermati e/o elicordati.

5.2.b. Connessione in alta tensione alla Stazione RTN

Visto l'impianto fotovoltaico, è stata esaminata come 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 agrivoltaico (34,375 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 agrivoltaico verso la sottostazione Utente.

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

segunte:

$$I_{b_max} = \frac{P_{max}}{\sqrt{3} V_n \cos \varphi} = \frac{(34,375) \cdot 10^6}{0,95 \cdot \sqrt{3} \cdot 150 \cdot 10^3} = 139,43, A$$

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'elettrodotto 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 mm².

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.

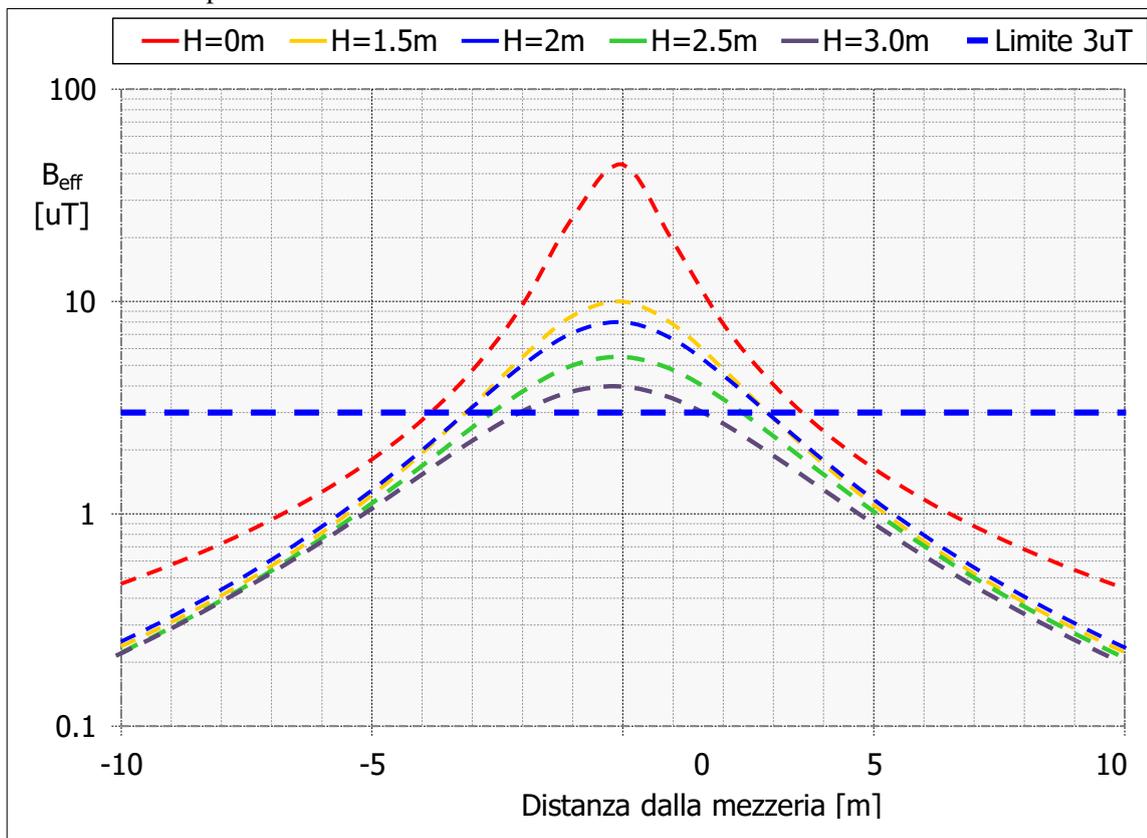


Figura 9: Andamento dell'induzione magnetica prodotta dalla linea in cavo per la massima corrente del cavo

Si può osservare come nel caso peggiore il valore di 3 μT è raggiunto a circa 5,0 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 139,43 A nelle condizioni di massima erogazione. Se si tiene conto della effettiva corrente, il grafico sopra riportato si modifica come in figura seguente:

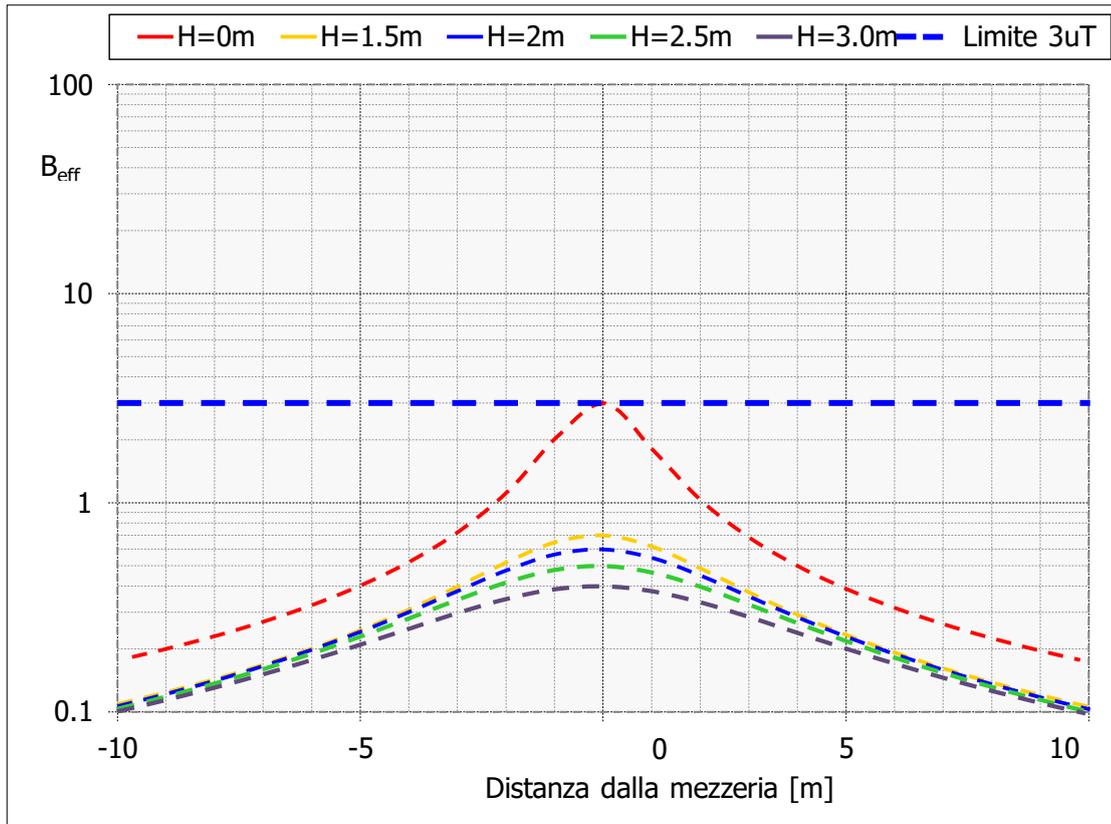


Figura 10: Andamento dell'induzione magnetica prodotta dalla linea in cavo per la massima corrente dell'impianto

Considerato un valore di corrente pari alla corrente di impiego, e cioè 139,43 A, il valore di 3 μT è raggiunto a circa 1,6 m dall'asse del cavidotto che, approssimato all'intero superiore, dà una DPA di 2 m.

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 μT , sia in corrispondenza delle cabine di trasformazione che in corrispondenza dei cavidotti 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 3 m a cavallo della mezzeria 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.

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 riguarda 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 AT, 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 fascia di rispetto pari a, massimo, 3 m per le linee AT 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 concerne 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 del trasformatore da 4000 kVA, già a circa 4 m (DPA) dalla cabina stessa. Comunque considerando che nelle cabine di trasformazione AT non è prevista la presenza di persone per più di quattro ore al giorno e che l'intera area dell'impianto 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.