



REGIONE BASILICATA
 PROVINCIA DI MATERA
 COMUNE DI GROTTOLE



AUTORIZZAZIONE UNICA EX D.Lgs 387/2003

INSTALLAZIONE DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTE SOLARE DENOMINATO "GROTTOLE 3" DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 20.000,00 kW E POTENZA DI PICCO PARI A 19.996,99 kW

Codice pratica: 202100420



Codice elaborato

| | | | |
|--------------|---------------|-----------|-------------|
| Commessa | Livello prog. | Tipologia | Progressivo |
| SE220 | PD | R | 010 |

| | |
|---------------|-------|
| DATA | SCALA |
| Novembre 2021 | - |

Titolo elaborato

A.8-Relazione tecnica specialistica sull'impatto elettromagnetico

REVISIONI

| REV. | DATA | DESCRIZIONE | ESEGUITO | VERIFICATO | APPROVATO |
|------|------|-------------|----------|------------|-----------|
| | | | | | |
| | | | | | |

Progettazione:



STUDIO ENERGY SRL
 Via delle Comunicazioni snc
 75100 Matera
 C/F. e PIVA 01175590775

Tecnici:

Dott. Ing. Calbi Francesco Rocco



Il Proponente:



REN 184 S.R.L.
 Salita di Santa Caterina, 2/ISC.B - 16123 Genova (GE)
 C.F./P.IVA 02686820990

LEGALE RAPPRESENTANTE



Impianto fotovoltaico $P_p = 19,99699$ MW_p
“GROTTOLE 3”
Comune di Grottole (MT)

**RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA SULL’IMPATTO
ELETTROMAGENTICO**

Fase di Valutazione d’Impatto Ambientale. ai sensi

D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii

REDATTO DA / WRITTEN BY

ING. FRANCESCO CALBI

| REVISIONE | N° | DATA/DATE |
|------------------|-----------|------------------|
| Prima emissione | 00 | 11/2021 |
| | | |

INDICE

| | |
|---|----|
| INDICE..... | 2 |
| 1. INTRODUZIONE..... | 3 |
| 1.1 GENERALITÀ..... | 3 |
| 1.2 LAYOUT D'IMPIANTO..... | 4 |
| 2. RIFERIMENTI NORMATIVI E DEFINIZIONI TECNICHE | 7 |
| 2.1 VALORI LIMITE | 8 |
| 2.2 DIFFERENZA TRA CAMPI MAGNETICI INDOTTI DA LINEE ELETTRICHE AEREE E DA CAVI INTERATI | 10 |
| 3. CAMPI ELETTRICI | 12 |
| 3.1 MODULI FOTOVOLTAICI | 12 |
| 3.2 INVERTER | 12 |
| 3.3 LINEE ELETTRICHE IN CORRENTE ALTERNATA..... | 13 |
| 3.4 CABINE ELETTRICHE DI CAMPO/TRASFORMAZIONE | 14 |
| 3.5 ALTRI CAVI | 17 |
| 4. CAMPI ELETTRICI OPERE CONNESSE | 17 |
| 4.1 LINEE ELETTRICHE IN CORRENTE ALTERNATA IN MEDIA TENSIONE PER LA CONNESSIONE ALLA STAZIONE D'UTENZA | 17 |
| 4.2 SOTTOSTAZIONE ELETTRICA (SSE) DI TRASFORMAZIONE MT/AT | 19 |
| 4.3 RACCORDO IN CAVO AT..... | 21 |
| 5. CONCLUSIONI | 22 |

1. INTRODUZIONE

1.1 GENERALITÀ

La centrale di produzione di energia elettrica da fonte energetica rinnovabile di tipo fotovoltaica denominata **"GROTTOLE 3"** della potenza di picco pari a 19,99699 MWp nel comune di Grottole (MT), S.P. 65 "Fondo Valle Basentello", e verrà connesso alla Rete di Trasmissione Nazionale in antenna a 150 kV su una futura Stazione Elettrica (SE) di trasformazione della RTN 380/150 kV da inserire in entra-esce alle linee a 380 kV della RTN "Matera - Aliano".

L'area di intervento dell'impianto fotovoltaico è contraddistinta al Catasto Terreni del comune di Grottole (MT) Foglio 15 p.lle 8,15,80,69 per complessivi 44 ha circa, di cui l'impianto occuperà circa 28 ha e per una massima potenza installabile di 19,99699 MWp. L'area impegnata dalla stazione di trasformazione AT/MT riservata alla società SmartEnergyIT2108 e il sistema di sbarre condivise con altri produttori, con la futura SE di trasformazione 380/150 kV della RTN saranno realizzate su terreno contraddistinto alla particella 69 Foglio 15 del comune di Grottole. Per questo terreno si avvierà la procedura di esproprio qualora non si avrà la disponibilità giuridica del terreno che è in corso di definizione.

Gli interventi occupano totalmente o parzialmente le particelle elencate come rappresentato negli specifici elaborati di planimetria catastale (A12.a.16.a e A.12.a.16.b, A.12.a.16.c).

L'area di intervento delle opere di utenza e di rete è prossima alla SP65, quindi di facile accessibilità.

La connessione avverrà mediante costruzione di una linea a 30 kV in cavo MT interrato della lunghezza di circa 600 m dal campo fotovoltaico fino alla stazione d'utenza e di cavo AT dal sistema di sbarre condivise a 150 kV alla futura SE di Terna, da cui partiranno i raccordi in AT alla linea esistente "Matera-Aliano".

Le motivazioni delle opere finalizzate alla connessione dell'impianto fotovoltaico risiedono principalmente nella necessità di consentire l'immissione in rete dell'energia prodotta.

1.2 LAYOUT D'IMPIANTO

L'impianto oggetto della presente relazione tecnica ha una potenza di picco pari a 19,99699 MWp, intesa come somma delle potenze nominali dei singoli moduli fotovoltaici scelti per realizzare il generatore fotovoltaico.

Si tratta di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte solare fotovoltaica il cui layout prevede l'utilizzo di inverter centralizzati del tipo **SMA MV POWER STATION 4000** con potenza in uscita in AC di 4000 kVA che potranno variare in relazione alla disponibilità che vi sarà sul mercato in fase di redazione del progetto esecutivo. Al fine di massimizzare la producibilità di energia sarà dotato di sistema di inseguimento solare.

Per la realizzazione del generatore fotovoltaico, si è scelto di utilizzare moduli fotovoltaici del tipo **Trina Solar** del tipo **VERTEX backsheet da 505 Wp** o equivalenti, i quali verranno acquistati in funzione della disponibilità e del costo di mercato in sede di realizzazione.

Il dimensionamento del generatore fotovoltaico è stato eseguito tenendo conto della superficie utile disponibile, dei distanziamenti da mantenere tra filari di moduli per evitare fenomeni di auto-ombreggiamento e degli spazi necessari per l'installazione dei locali di conversione e trasformazione, e di tutti i locali presenti all'interno dell'impianto.

Il numero di moduli necessari per la realizzazione del generatore è pari 39.598. L'impianto sarà suddiviso in n. 5 sottocampi, per ognuno dei quali si dovrà realizzare un locale di conversione e trasformazione, all'interno del quale saranno installati i quadri elettrici di bassa tensione, gli inverter, i trasformatori MT/BT, i dispositivi di protezione dei montanti di media tensione dei trasformatori, un interruttore generale di media tensione e gli eventuali gruppi di misura dell'energia prodotta.

Ciascun inverter verrà collegato al relativo trasformatore attraverso un quadro elettrico di bassa tensione equipaggiato con dispositivi di generatore (tipicamente interruttori automatici di tipo magnetotermico-differenziale) uno per ogni inverter e un interruttore automatico generale di tipo magnetotermico, attraverso il quale verrà realizzato il collegamento con l'avvolgimento BT del trasformatore stesso.

Le cabine di conversione e trasformazione saranno disposte in posizione pressoché baricentrica rispetto ai generatori, in modo tale da ridurre le perdite per effetto Joule sulle linee di bassa tensione in corrente continua e in corrente alternata. All'interno di ciascuna cabina sarà predisposto un quadro elettrico di media tensione, contenente due interruttori di manovra-sezionatore combinati con fusibili, per la protezione dei montanti di media tensione dei trasformatori, un sezionatore di linea sotto carico interbloccato con un sezionatore di terra e gli eventuali gruppi di misura dell'energia prodotta.

Le 5 cabine di campo raccolgono la potenza in BT e la trasformano in MT. Le cabine di campo nn. 1, 2 e 3 saranno collegate in serie tramite cavi in media tensione (MT 30kV), interrati Al 95 mmq, mentre le cabine n. 4 e n.5 convoglieranno direttamente l'energia prodotta verso la cabina di raccolta, dalla quale uscirà un unico cavo (MT 30kV) Al 240 mmq interrato, in parte su strada da realizzare come raccordo della viabilità del campo fotovoltaico e la SP 65 esistente, in parte su strada asfaltata (SP 65), della lunghezza di circa 600 m fino alla

stazione di utenza, nella quale avverrà l'innalzamento della tensione a 150 kV; da essa partirà il collegamento con la futura SE di trasformazione 380/150 kV della RTN per l'immissione nella Rete di Trasmissione Nazionale.

Di seguito si riporta l'insieme degli elementi costituenti l'impianto di utente:

- ✓ 39.598 moduli fotovoltaici;
- ✓ 1523 stringhe fotovoltaiche costituite da 26 moduli in serie;
- ✓ 5 inverter centralizzati del tipo SUNNY CENTRAL UP 4000 della SMA;
- ✓ 96 string box da 16 ingressi ciascuno;
- ✓ inseguitori solari monoassiali;
- ✓ cavi elettrici di bassa tensione in corrente continua che arrivano agli inverter e ai quadri elettrici BT installati all'interno delle cabine di trasformazione;
- ✓ cavi di bassa tensione per il collegamento degli avvolgimenti di bassa tensione dei trasformatori ai quadri elettrici di bassa tensione;
- ✓ n. 5 quadri elettrici di bassa tensione installati all'interno dei locali inverter ciascuno dotato di interruttori automatici di tipo magnetotermico-differenziale (dispositivi di generatore), uno per ogni gruppo di generazione, e un interruttore automatico generale di tipo magnetotermico per la protezione dell'avvolgimento di bassa tensione del trasformatore BT/MT;
- ✓ n. 5 trasformatori MT/BT, uno per ciascun sottocampo, da 4000 kVA;
- ✓ n. 5 cabine di trasformazione delle dimensioni complessive di 6,06 x 2,44 x 2,90 m
- ✓ n. 3 linee di media tensione in cavo interrato realizzate in cavo multipolare isolato in HEPR;
- ✓ n. 1 quadro elettrico generale di media tensione.

Nel suo complesso, l'opera in oggetto si inserisce nel contesto nazionale ed internazionale come uno dei mezzi per contribuire a ridurre le emissioni atmosferiche nocive come previsto dal Protocollo di Kyoto del 1997 e dall'Accordo di Parigi del 2015 che anche l'Italia, come tutti i paesi della Comunità Europea, ha ratificato. Il sito scelto, in tale contesto, viene a ricadere in aree naturalmente predisposte a tale utilizzo e quindi ottimali per un razionale sviluppo nel settore rinnovabile.

Lo sviluppo di tali fonti di approvvigionamento energetico, quindi, oltre a contribuire all'incremento dello stesso approvvigionamento ed alla diversificazione delle fonti, favorisce l'occupazione e il coinvolgimento delle realtà locali riducendo l'impatto sull'ambiente legato al tradizionale ciclo di produzione energetica.

Come noto, tutte le apparecchiature a funzionamento elettrico generano, durante il loro funzionamento, campi elettromagnetici. Le onde elettromagnetiche sono fondamentalmente suddivise in due gruppi: radiazioni non ionizzanti e radiazioni ionizzanti.

Le linee elettriche, i sistemi di comunicazione telefonica e radiotelevisiva, gli elettrodomestici e più in generale le apparecchiature elettriche, sono tutte appartenenti alla categoria delle radiazioni non ionizzanti (NIR), che

hanno un'energia associata che non è sufficiente ad indurre nella materia il fenomeno della ionizzazione, ovvero non possono dare luogo alla creazione di atomi o molecole elettricamente cariche (ioni).

2. RIFERIMENTI NORMATIVI E DEFINIZIONI TECNICHE

- D.M. del 29 maggio 2008 - Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti;
- DPCM del 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";
- Legge n.36 del 22 febbraio 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 luglio.2003);
- Decreto Interministeriale del 21 marzo 1988 n.449;
- CEI ENV 50166-1 1997-06 - Esposizione umana ai campi elettromagnetici Bassa frequenza (0-10 kHz);
- CEI 211-6 2001-01 - 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;
- CEI 106-11 2006-02 - Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del d.p.c.m. 8 luglio 2003. Parte 1 Linee elettriche aeree o in cavo;
- CEI 211-4 2008-09 - Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche.

Per quanto riguarda la definizione delle grandezze elettromagnetiche di interesse si fa riferimento alla norma CEI 211-6 (2001-01), prima edizione, "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 kHz - 10 KHz, con riferimento all'esposizione umana".

In merito, invece, alle definizioni di esposizione, limite di esposizione, valore di attenzione, obiettivo di qualità, elettrodotto, valgono le definizioni contenute all'art. 3 della legge 22 febbraio 2001, n. 36, "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici".

- *Esposizione*: è la condizione di una persona soggetta a campi elettrici, magnetici, elettromagnetici, o a correnti di contatto, di origine artificiale;
- *Limite di esposizione*: è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, definito ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori per le finalità di cui all'articolo 1, comma 1, lettera a);
- *Valore di attenzione*: è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, che non deve essere, superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate per le finalità di cui all'articolo 1, comma 1, lettere b) e c). Esso costituisce misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine e deve essere raggiunto nei tempi e nei modi previsti dalla legge;

- *Obiettivi di qualità:* 1) i criteri localizzativi, gli standard urbanistici, le prescrizioni e le incentivazioni per l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili, indicati dalle leggi regionali secondo le competenze definite dall'articolo 8; 2) i valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, definiti dallo Stato secondo le previsioni di cui all'articolo 4, comma 1, lettera a), ai fini della progressiva mitigazione dell'esposizione ai campi medesimi;
- *Elettrodotti:* è l'insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione;
- *Esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici:* è ogni tipo di esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici che, per la loro specifica attività lavorativa, sono esposti a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici;
- *Esposizione della popolazione:* è ogni tipo di esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici ad eccezione dell'esposizione di cui alla lettera f) e di quella intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici.

2.1 VALORI LIMITE

Il citato d.p.c.m. 8 luglio 2003 fissa i limiti di esposizione e i valori di attenzione, per la protezione della popolazione dall'esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento ed all'esercizio degli elettrodotti, in particolare:

- All'art.3 comma 1: 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 μT per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.
- All'art.3 comma 2: 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 μT , da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.
- Art.4 comma 1: 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 μT per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

Lo stesso d.p.c.m., all'art 6, fissa i parametri per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, per le quali si dovrà fare riferimento all'obiettivo di qualità (**B=3 μT**) di cui all'art. 4 sopra richiamato ed alla portata

della corrente in servizio normale. L'allegato al Decreto 29.05.2008 definisce quale fascia di rispetto lo spazio circostante l'elettrodotto, che comprende tutti i punti al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità. Ai fini del calcolo della fascia di rispetto si omettono verifiche del campo elettrico, in quanto nella pratica questo determinerebbe una fascia (basata sul limite di esposizione, nonché valore di attenzione pari a 5kV/m) che risulta sempre inferiore a quella fornita dal calcolo dell'induzione magnetica. Pertanto, nei successivi paragrafi sono state calcolate le fasce di rispetto dagli elettrodotti del progetto in esame, facendo riferimento al limite di qualità di 3 μ T.

Alla frequenza di 50 Hz il campo elettrico (misurato in V/m) e quello magnetico (misurato in T) possono essere considerati disaccoppiati, e analizzati, dal punto di vista fisico-matematico, separatamente.

Per sua natura il corpo umano (costante dielettrica molto diversa da quella dell'aria) possiede capacità schermanti nei confronti del campo elettrico. Il campo elettrico quindi ha, per i valori di campo generato da qualsiasi installazione elettrica convenzionale, effetti del tutto trascurabili (solo in prossimità di linee AT a 400kV, tensione non raggiunta in Italia in nessuna linea di trasmissione AT, si raggiungono valori di 4kV/m prossimi al limite di legge per zone frequentate, valore che si abbatte esponenzialmente all'aumentare della distanza dal conduttore. Il campo elettrico risulta proporzionale alla tensione del circuito considerato.

Viceversa, il corpo umano presenta una permeabilità magnetica sostanzialmente simile a quella dell'aria, per cui non presenta grandi capacità schermanti contro il campo magnetico, il quale lo attraversa completamente rendendo i suoi effetti più pericolosi di quelli del campo elettrico. Il campo magnetico è proporzionale al valore di corrente che circola nei conduttori elettrici ed i valori di corrente che si possono avere nelle ordinarie installazioni elettriche possono generare campi magnetici che possono superare i valori imposti dalle norme.

La normativa attualmente in vigore disciplina in modo differente i valori ammissibili di campo elettromagnetico, distinguendo i "campi elettromagnetici quasi statici" ed i "campi elettromagnetici a radio frequenza".

Nel caso dei campi quasi statici, ha senso ragionare separatamente sui fenomeni elettrici e magnetici e ha quindi anche senso imporre separatamente dei limiti normativi alle intensità del campo elettrico e dell'induzione magnetica. Il modello quasi statico è applicato al caso della distribuzione di energia, in relazione alla frequenza di distribuzione dell'energia in rete che è pari a 50Hz. In generale gli elettrodotti dedicati alla trasmissione e distribuzione di energia elettrica sono percorsi da correnti elettriche di intensità diversa, ma tutte alla frequenza di 50Hz, e quindi tutti i fenomeni elettromagnetici coinvolti possono essere studiati correttamente con il modello per campi quasi statici. Gli impianti per la produzione e la distribuzione dell'energia elettrica alla frequenza di 50 Hz, costituiscono una sorgente di campi elettromagnetici nell'intervallo 30-300 Hz.

2.2 DIFFERENZA TRA CAMPI MAGNETICI INDOTTI DA LINEE ELETTRICHE AEREE E DA CAVIDOTTI INTERRATI

Come accennato, l'intensità del campo magnetico generato in corrispondenza di un elettrodotto dipende dall'intensità della corrente circolante nel conduttore; tale flusso risulta estremamente variabile sia nell'arco di una giornata sia su scala temporale maggiore. Per le linee elettriche aeree, il campo magnetico assume il valore massimo in corrispondenza della minima distanza dei conduttori dal suolo, ossia al centro della campata, e decade molto rapidamente allontanandosi dalle linee.

Non c'è alcun effetto schermante nei confronti dei campi magnetici da parte di edifici, alberi o altri oggetti vicini alla linea: quindi all'interno di eventuali edifici circostanti si può misurare un campo magnetico di intensità comparabile a quello riscontrabile all'esterno. Quindi, sia campo elettrico che campo magnetico decadono all'aumentare della distanza dalla linea elettrica, ma mentre il campo elettrico è facilmente schermabile da oggetti quali legno, metallo, ma anche alberi ed edifici, il campo magnetico non è schermabile dalla maggior parte dei materiali di uso comune.

Le grandezze che determinano l'intensità del campo magnetico circostante un elettrodotto sono:

- distanza dalle sorgenti (conduttori);
- intensità delle sorgenti (correnti di linea);
- disposizione e distanza tra sorgenti (distanza reciproca tra i conduttori di fase);
- presenza di sorgenti compensatrici;
- suddivisione delle sorgenti (terne multiple).

I metodi di controllo del campo magnetico si basano principalmente sulla riduzione della distanza tra le fasi, sull'installazione di circuiti addizionali (spire) nei quali circolano correnti di schermo, sull'utilizzazione di circuiti in doppia terna a fasi incrociate e sull'utilizzazione di linee in cavo.

Nel caso di elettrodotti in alta tensione, i valori di campo magnetico, pur al di sotto dei valori di legge imposti, sono notevolmente al di sopra della soglia di attenzione epidemiologica (SAE) che è di $0.2 \mu\text{T}$. Infatti, solo distanze superiori a circa 80 m dal conduttore permettono di rilevare un valore così basso del campo magnetico. È necessario notare inoltre che aumentare l'altezza dei conduttori da terra permette di ridurre il livello massimo generato di campo magnetico ma non la distanza dall'asse alla quale si raggiunge la SAE.

È possibile ridurre questi valori di campo interrando gli elettrodotti. Questi vengono posti a circa 1.2-1.5 metri di profondità e sono composti da un conduttore cilindrico, una guaina isolante, una guaina conduttrice (la quale funge da schermante per i disturbi esterni, i quali sono più acuti nel sottosuolo in quanto il terreno è molto più conduttore dell'aria) e un rivestimento protettivo. I fili vengono posti a circa 20 cm l'uno dall'altro e possono assumere disposizione lineare (terna piana) o triangolare (trifoglio).

I cavi interrati generano, a parità di corrente trasportata, un campo magnetico al livello del suolo più intenso degli elettrodotti aerei (circa il doppio), però l'intensità di campo magnetico si riduce molto più rapidamente con la distanza (i circa 80 m diventano in questo caso circa 24).

Altri metodi con i quali ridurre i valori di intensità di campo elettrico e magnetico possono essere quelli di usare "linee compatte", dove i cavi vengono avvicinati tra di loro in quanto questi sono isolati con delle membrane isolanti. Queste portano ad una riduzione del campo magnetico.

I cavi interrati sono quindi un'alternativa all'uso delle linee aeree; essi sono disposti alla profondità di almeno 1.2 metri dal suolo, linearmente sullo stesso piano oppure a triangolo (disposizione a trifoglio).

Confrontando il campo magnetico generato da linee aeree con quello generato da cavi interrati, si può notare che per i cavi interrati l'intensità massima del campo magnetico è più elevata, ma presenta un'attenuazione più pronunciata. In generale si può affermare che l'intensità a livello del suolo immediatamente al di sopra dei cavi di una linea interrata è inferiore a quella immediatamente al di sotto di una linea aerea ad alta tensione. Ciò è dovuto soprattutto ad una maggiore compensazione delle componenti vettoriali associate alle diverse fasi, per effetto della reciproca vicinanza dei cavi, che essendo isolati, possono essere accostati l'uno all'altro, come non può farsi per una linea aerea con conduttori nudi.

3. CAMPI ELETTROMAGNETICI

3.1 MODULI FOTOVOLTAICI

I moduli fotovoltaici lavorano in corrente continua 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.

3.2 INVERTER

Gli inverter sono apparecchiature che al loro interno utilizzano un trasformatore ad alta frequenza per ridurre le perdite di conversione. Essi pertanto sono costituiti per loro natura da componenti elettronici operanti ad alte frequenze. D'altro canto il legislatore ha previsto che tali macchine, prima di essere immesse sul mercato, possiedano le necessarie certificazioni a garantirne sia l'immunità dai disturbi elettromagnetici esterni, sia le ridotte emissioni per minimizzarne l'interferenza elettromagnetica con altre apparecchiature elettroniche posizionate nelle vicinanze o con la rete elettrica stessa (via cavo).

A questo scopo gli inverter previsti possiedono la certificazione di rispondenza alle normative di compatibilità elettromagnetica (EMC) (IEC 55011, IEC 61000-6-2, FCC Part 15 Class A). Tra gli altri aspetti queste norme riguardano:

- disturbi alle trasmissioni di segnale operate dal gestore di rete in sovrapposizione alla trasmissione di energia sulle sue linee;
- variazioni di tensione e 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 frequenze sono però causate per lo più dalla rete stessa. Si rendono quindi necessarie finestre abbastanza ampie, per evitare una continua inserzione e disinserzione dell'impianto fotovoltaico;
- la componente continua immessa in rete. Il trasformatore elevatore contribuisce a bloccare tale componente. In ogni modo il dispositivo di interfaccia di ogni inverter interviene in presenza di componenti continue maggiori dello 0,5% della corrente nominale.

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

3.3 LINEE ELETTRICHE IN CORRENTE ALTERNATA

Per quanto riguarda il rispetto delle distanze da ambienti presidiati ai fini dei campi elettrici e magnetici, si è tenuto conto del limite di qualità dei campi magnetici, fissato dalla citata legislazione a 3 µT.

La tipologia di cavidotti presenti nell'impianto prevede, all'interno del campo fotovoltaico, l'utilizzo di cavi elicordati, per i quali vale quanto riportato nella norma CEI 106-11 e nella norma CEI 11-17. Come 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 3µT, anche in condizioni limite con conduttori di sezione elevata, venga raggiunto già a brevissima distanza (50÷80 cm) dall'asse del cavo stesso.

Si rappresenta, 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, e le linee di classe prima ai sensi del DM 21 marzo 1988 n. 449 (quali le linee di bassa tensione) in quanto le relative fasce di rispetto hanno un'ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal DM 21 marzo 1988 e 449 e s.m.i.

Ne consegue che in tutti i tratti realizzati mediante l'uso di cavi elicordati e di linee di classe prima si può considerare che l'ampiezza della semi-fascia di rispetto sia pari a 1m, a cavallo dell'asse del cavidotto, pertanto uguale alla fascia di asservimento della linea.

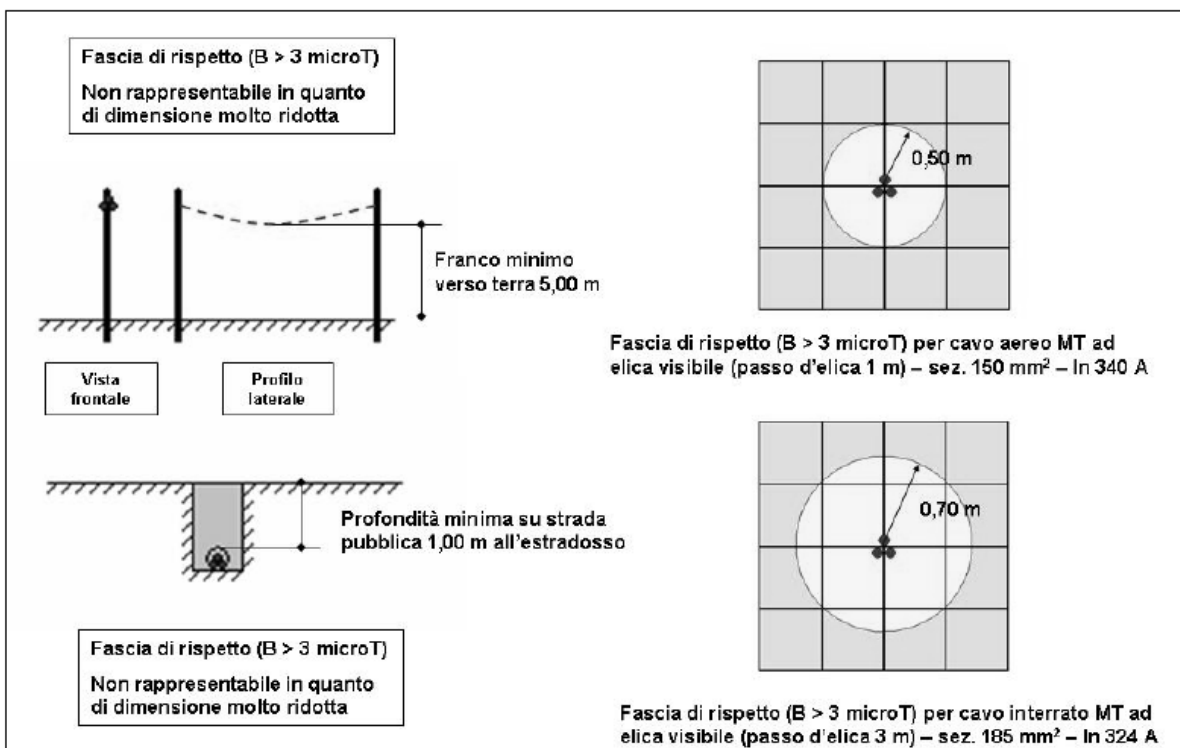


Figura 1 – Curve di livello dell'induzione magnetica generata da cavi cordati ad elica – calcoli effettuati con il modello tridimensionale “Elico” della piattaforma “EMF Tools”, che tiene conto del passo d'elica.

La fascia di rispetto è lo spazio circostante un elettrodotto, che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto

del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità (3 microtesla). Come prescritto dall'art. 4, c 1 lettera h) della Legge quadro n. 36 del 22 febbraio 2001, all'interno delle fasce di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario ed a uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore (figura 2).

Le Regioni (fermi i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità) nella definizione dei tracciati degli elettrodotti che ricadono nella loro competenza autorizzativa, devono tener conto delle fasce di rispetto determinate secondo la metodologia in allegato al Decreto 29 maggio 2008 (art.8, c. 1, let.b) della Legge 36/2001.

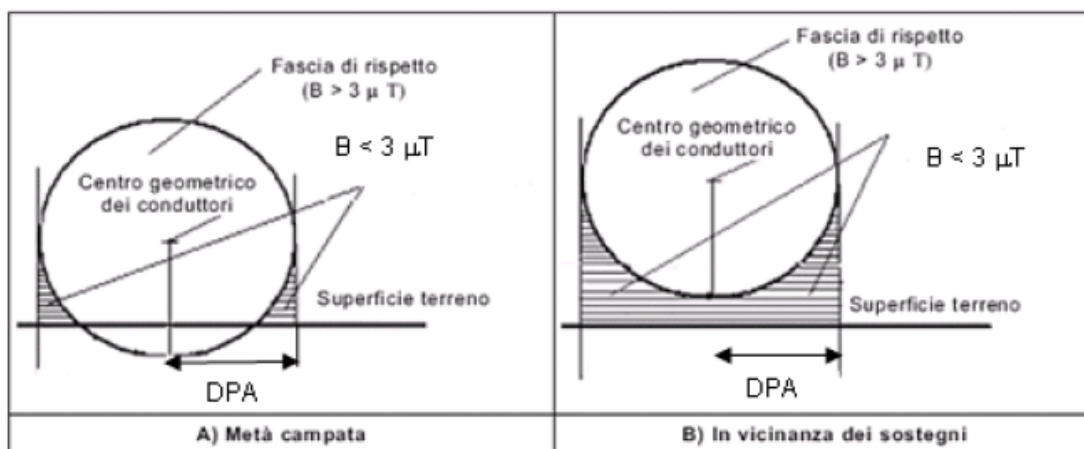


Figura 2 - Schema Fasce di rispetto e DPA in corrispondenza di metà campata e in vicinanza dei sostegni.

N.B. La dimensione della DPA delle linee elettriche viene fornita approssimata per eccesso al metro superiore (interpretazione prevalente delle ARPA).

La distanza di prima approssimazione (DPA) per le linee è la distanza, in pianta sul livello del suolo, dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto la cui proiezione del suolo disti dalla proiezione del suolo disti dalla proiezione del centro linea più della DPA si trovi all'esterno delle fasce di rispetto (figura 2). Per le cabine secondarie è la distanza, in pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra (scheda B10).

3.4 CABINE ELETTRICHE DI CAMPO/TRASFORMAZIONE

Per quanto riguarda i componenti dell'impianto sono da considerare le cabine elettriche di campo/trasformazione, 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 collocati nelle cabine di trasformazione. Il calcolo della D.P.A. con più trasformatori non è normato dal decreto del 29 maggio 2008, in quanto le formule sono definite per cabine costituite da un solo trasformatore con potenza massima pari a 630 kW. Questo implica che non esistono delle tabelle standard di D.P.A. relative a impianti di potenza maggiore a 630 kW e con

cabine con più di un trasformatore.

Si può stimare la D.P.A. di una cabina costituita da più trasformatori ipotizzando che tutta la corrente del lato bassa tensione sia canalizzata in un unico cavo collocato adiacente il muro interno della cabina. Questo metodo sovrastima di molto i valori di campo magnetico. La D.P.A. si può calcolare con la seguente formula:

$$DPA = 0.014 \cdot \left(\sum_i P_i \right)^{0.75}$$

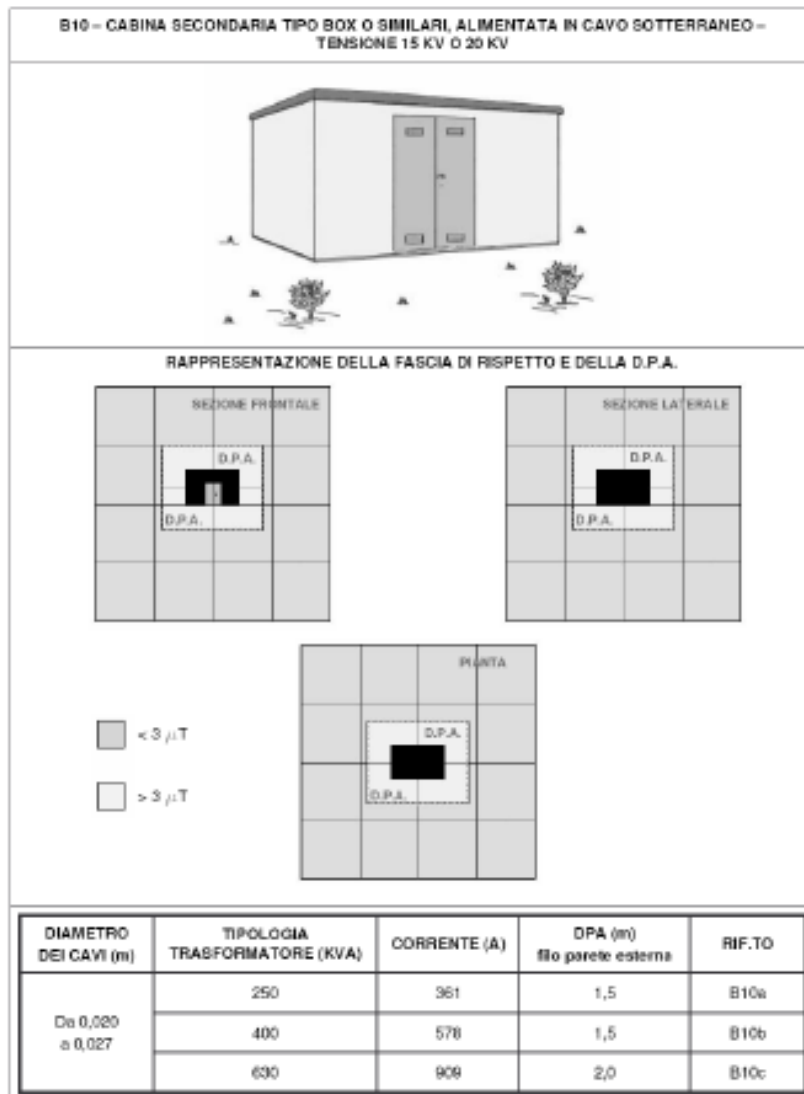
dove:

DPA = distanza di prima approssimazione (m)

Pi = potenza dei singoli trasformatori (kVA)

Stimeremo la D.P.A. considerando il trasformatore di potenza pari 4000 kVA, ottenendo una DPA dell'ordine di 7 m. Quindi, la curva a 3µT è rappresentata da un buffer massimo di circa 7 m dalle pareti di ciascuna cabina di trasformazione con trasformatore da 4000 kVA.

Si consideri inoltre che, nel caso in questione, le cabine sono posizionate all'aperto e normalmente non sono permanentemente presidiate.



3.5 ALTRI CAVI

Altri campi elettromagnetici dovuti al monitoraggio e alla trasmissione dati possono essere trascurati, essendo le linee dati realizzate normalmente in cavo schermato e che essendo linee di classe zero e prima sono escluse dalle valutazioni previste dal DM 29 maggio 2008.

4. CAMPI ELETTROMAGNETICI OPERE CONNESSE

4.1 LINEE ELETTRICHE IN CORRENTE ALTERNATA IN MEDIA TENSIONE PER LA CONNESSIONE ALLA STAZIONE D'UTENZA

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 espone le considerazioni inerenti al solo campo magnetico.

È esaminata come unica situazione significativa ai fini del calcolo dell'intensità del campo di induzione magnetica quella generata dal tratto di cavidotto che trasporta l'intera potenza elettrica generata dall'impianto FV fino alla sottostazione elettrica di utenza.

All'interno del cavidotto in esame si trova una terna di cavi MT isolati a 30 kV di tipo ad elica visibile con conduttori in alluminio, aventi isolamento estruso (HEPR o XLPE) e schermo in alluminio avvolto a cilindro longitudinale, adatti per posa interrata, e che trasferisce l'intera potenza dell'impianto FV verso la stazione d'utenza. Si prevede l'impiego di cavi di sezione pari a 240 mmq.

La corrente massima che può interessare le linee di collegamento MT tra le cabine di trasformazione interne all'impianto e dalla cabina di raccolta fino alla stazione di utenza è il seguente:

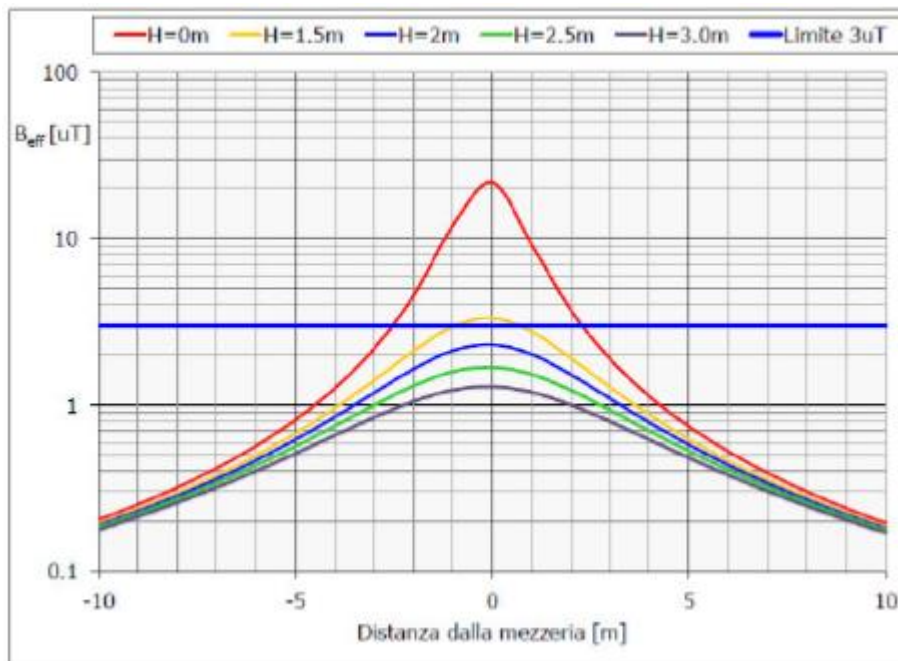
$$I_B = P_n \text{ generatore} / (\sqrt{3} \cdot V_n \cdot \cos\phi) = 19,99699 \times 10^6 / (\sqrt{3} \cdot 30 \cdot 10^3 \cdot 0,95) = 405 \text{ A}$$

dove:

- ✓ I_B è la corrente di impiego;
- ✓ $P_n \text{ generatore}$ è la potenza nominale della centrale fotovoltaica;
- ✓ V_n è la tensione nominale della linea;
- ✓ $\cos\phi$ è il fattore di potenza, fissato a 0,95 in base a quanto stabilito dalla norma CEI 11-32.

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 elica visibile, ad una profondità di almeno 1.20 m, con un valore di corrente pari a 408 A, corrispondente 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. Nella seguente figura è riportato,

a titolo esemplificativo, l'andamento dell'induzione magnetica per una sezione trasversale a quella di posa. 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 tuttavia che la condizione di calcolo è ampiamente cautelativa, in quanto la corrente massima che fluirà nei cavidotti sarà quella prodotta dall'impianto fotovoltaico, ossia pari 385 A nelle condizioni di massima erogazione.



Per profondità di 1.50 m, il valore di $3 \mu\text{T}$ è raggiunto a circa 1 m dall'asse del cavidotto.

Tuttavia, le aree in cui avviene la posa dei cavi sono agricole, ossia aree dove ovviamente non è prevista la permanenza stabile di persone per oltre 4 ore e/o la costruzione di edifici. Si può concludere, pertanto, che l'impatto elettromagnetico indotta dai cavi MT risulta praticamente nullo.

4.2 SOTTOSTAZIONE ELETTRICA (SSE) DI TRASFORMAZIONE MT/AT

L'energia prodotta dal campo fotovoltaico viene convogliata presso la futura stazione di utenza di trasformazione 30/150 kV, ubicata in prossimità della futura Stazione Elettrica di trasformazione 380/150 kV della RTN.

Presso la SU è previsto:

- un ulteriore innalzamento della tensione da 30 kV a 150 kV;
- la misura dell'energia prodotta dal parco;
- la consegna a TERNA S.p.A.

Il trasformatore 30/150 kV avrà potenza nominale di 16/20 MVA raffreddamento in olio ONAN/ONAF, con vasca di raccolta sottostante, in caso di perdite accidentali.

Oltre al trasformatore MT/AT saranno installate apparecchiature AT per protezione, sezionamento e misura.

L'area della sottostazione sarà delimitata da una recinzione con elementi prefabbricati "a pettine", che saranno installati su apposito cordolo in calcestruzzo (interrato). La finitura del piazzale interno sarà in asfalto. In corrispondenza delle apparecchiature AT sarà realizzata una finitura in ghiaietto.

Per quanto concerne la determinazione della fascia di rispetto, la SU è del tutto assimilabile ad una Cabina Primaria, per la quale la fascia di rispetto rientra nei confini dell'area di pertinenza dell'impianto (area recintata).

Ciò in conformità a quanto riportato al paragrafo 5.2.2 dell'Allegato al decreto 29 maggio 2008 per questa tipologia di impianti la DPA e, quindi, la fascia di rispetto, rientra generalmente nei confini dell'area di pertinenza dell'impianto stesso.

L'impatto elettromagnetico nella SU risulta essenzialmente dovuto:

- al trasformatore MT/AT;
- alla realizzazione delle linee/sbarre aeree di connessione tra il trafo, le apparecchiature elettromeccaniche e l'area TERNA.

L'impatto generato dalle sbarre AT è di gran lunga quello più significativo e pertanto, di seguito si considera solo la valutazione della fascia di rispetto di queste ultime.

Le sbarre AT sono assimilabili ad una linea aerea trifase 150 kV, con conduttori posti in piano ad una distanza reciproca di 2,2 m, ad un'altezza di circa 4,5 m dal suolo, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate.

Nel caso in oggetto risulta:

- S (distanza tra i conduttori) = 2,2 m
- P_n = Potenza massima dell'impianto (19,99 MW)
- V_n = Tensione nominale delle sbarre AT (150 kV)

Pertanto si avrà:

$$I = P_{n \text{ generatore}} / (\sqrt{3} \cdot V_n \cdot \cos\phi) = 19,99 \times 10^6 / (\sqrt{3} \cdot 150 \cdot 10^3 \cdot 0.95) = 81 \text{ A}$$

ed utilizzando la formula di approssimazione proposta al paragrafo 6.2.1 della norma CEI 106-11, si ha:

$$R' = 0.34 \cdot \sqrt{2,2 \cdot 81} = 4,5 \text{ m}$$

Valore al di sotto della distanza delle sbarre dal perimetro della SU (distanza minima dalla recinzione 12 m), e di fatto dello stesso ordine di grandezza dell'altezza delle sbarre stesse (come sopra riportato pari a 4.5 m).

Alla luce dei risultati ottenuti, si può affermare che, nel caso delle sbarre AT, in conformità a quanto previsto dal decreto 29 maggio 2008 la Distanza di Prima Approssimazione (DPA) e, quindi, la fascia di rispetto rientra nei confini dell'aerea di pertinenza della stazione di trasformazione in progetto. Comunque la stessa è realizzata in un'area agricola e all'interno della sua area non è prevista la permanenza di persone per periodi continuativi superiori a 4 ore con l'impianto in tensione.

Pertanto, si può concludere che l'impatto elettromagnetico su persone prodotto dalla realizzazione della stazione di trasformazione è trascurabile.

4.3 RACCORDO IN CAVO AT

Il raccordo di connessione AT dal sistema di sbarre condivise a 150kV alla futura Stazione Elettrica di trasformazione 380/150 kV della RTN avverrà tramite un cavidotto AT.

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

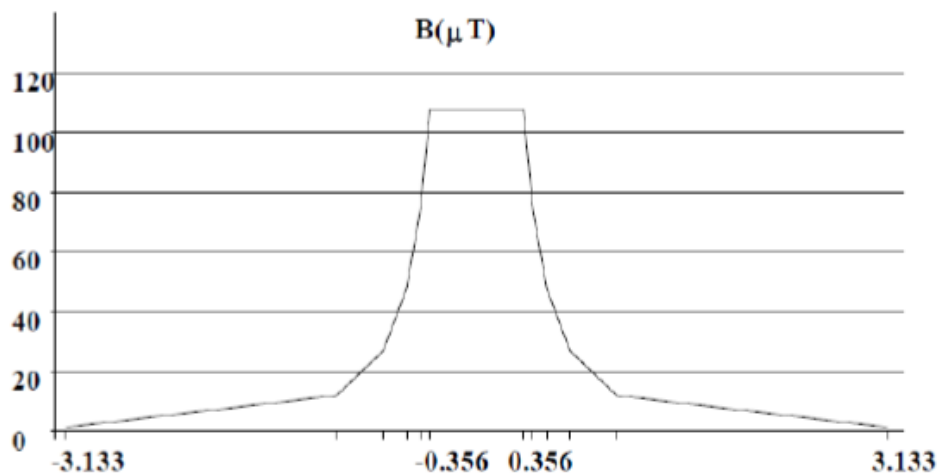
$$I_{\text{bmax}} = P_n \text{ generatore} / (\sqrt{3} \cdot V_n \cdot \text{Cos}\phi) = 19.99 \times 10^6 / (\sqrt{3} \cdot 150 \cdot 10^3 \cdot 0.95) = 81 \text{ A}$$

La DPA risulta pari a 2.13 m come si evince dai risultati riportati nella seguente immagine.

La distanza dove si ottiene la DPA è pari a 2.133 metri

TABELLA RISULTATI

| Distanza (m) | B(μT) |
|--------------|--------|
| -3.133 | 1.39 |
| -1.067 | 11.99 |
| -0.711 | 27.00 |
| -0.533 | 48.05 |
| -0.427 | 74.86 |
| -0.356 | 107.70 |
| 0.356 | 107.70 |
| 0.427 | 74.86 |
| 0.533 | 48.05 |
| 0.711 | 27.00 |
| 1.067 | 11.99 |
| 3.133 | 1.39 |



Per questo motivo, anche per quanto già affermato nei precedenti paragrafi, l'impatto elettromagnetico su persone, prodotto dal raccordo AT, è trascurabile.

5. CONCLUSIONI

In base alle considerazioni ed ai calcoli eseguiti, non si riscontrano problematiche particolari relative all'impatto elettromagnetico dei componenti del parco fotovoltaico in oggetto in merito all'esposizione umana ai campi elettrici e magnetici.

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 5 kV/m (valore imposto dalla normativa).

Mentre per quel che riguarda il campo di induzione magnetica, il calcolo e le considerazioni fatte in relazione alle varie sezioni di impianto ha dimostrato come non ci siano fattori di rischio per la salute umana a causa delle azioni di progetto e dei materiali utilizzati, poiché è esclusa la presenza di ricettori sensibili entro le fasce per le quali i valori di induzione magnetica attesa non dovessero essere inferiori agli obiettivi di qualità fissati per legge. Invece, 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.

Tutte le tipologie di cavi a media tensione saranno di tipo cordato, i cavi di bassa rientrano nella classe "zero" e "prima" e quindi esclusi dalla verifica prevista dal DM del 28 maggio 2008 ma, in ogni caso, rispettano ampiamente l'obiettivo di "qualità" di 3 micro tesla.

La tipologia dell'impianto di produzione consente di escludere la presenza per più di 4 ore giornaliere di personale sia nell'area dell'impianto stesso sia nei pressi delle cabine e nei pressi dei terreni interessati dalla linea di connessione dall'impianto FV alla stazione d'utenza e da quest'ultima alla Stazione Terna di connessione.

Pertanto, alla luce delle considerazioni fatte è possibile confermare la rispondenza alle norme vigenti dell'impianto dal punto di vista degli effetti del campo elettromagnetico sulla salute umana.