

# Provincia di ENNA - Comune di ENNA



DATA	REV	OGGETTO REVISIONE:
<b>Committente:</b>		<b>Sviluppo e Progettazione:</b>
		 <small>GEOSTUDIOGROUP S.T.P. - S.R.L.</small>
X-ELIO ENNA 2 S.R.L. Corso Vittorio Emanuele II,349 00186 Roma P.IVA:17129771006 <a href="http://www.x-elio.com">www.x-elio.com</a>		GEOSTUDIOGROUP STP S.r.l. Via Dott. Lino Blundo n.3 97100 Ragusa (RG) P.IVA:01635940883 <a href="http://www.geostudiogroup.net">www.geostudiogroup.net</a>
<b>OPERA:</b>		<b>TITOLO:</b> Relazione CEM - campo fotovoltaico
Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato "ENNA 2" della potenza di 42 MW in A.C. e 50 MWp in D.C. con sistema di accumulo integrato da 21 MW e di tutte le opere connesse ed infrastrutture da realizzarsi nel Comune di Enna (EN).		<b>Progettista:</b> Ing. Salvatore Camillieri
<b>UBICAZIONE IMPIANTO</b>		
Contrada Salsello Enna (EN)		
<b>DATA:</b>	<b>SCALA</b>	
08/08/2023	-	

## Sommario

1. Introduzione .....	3
2. Norme e leggi di riferimento .....	4
3. Descrizione dell'impianto .....	8
4. Cenni teorici sul modello utilizzato .....	9
5. Analisi dell'impatto elettromagnetico dell'impianto.....	11
5.1. Moduli fotovoltaici.....	11
5.2. Inverter.....	11
5.3. Cavidotti .....	12
5.4. Trasformatori BT/MT .....	14
5.5. Sottostazione elettrica MT/AT .....	16
6. Fasce di rispetto.....	17
7. Conclusioni .....	19

## 1. INTRODUZIONE

Lo scopo della relazione è di effettuare uno studio sull'impatto elettromagnetico di un impianto fotovoltaico denominato "Enna 2", sito in c/da Salsello del Comune di Enna (EN), della potenza totale di 50,076 MWp e 42 MWac.

L'impianto verrà collegato alla Rete Elettrica Nazionale mediante la realizzazione cavo interrato su strada pubblica in antenna a 150 kV con una nuova stazione di smistamento a 150 kV della RTN da inserire in entra - esce sulla linea RTN a 150 kV " Nicoletti - Valguarnera", che dovrà essere collegata, tramite due nuovi elettrodotti RTN a 150 kV, con una futura stazione elettrica di trasformazione (SE) 380/150 kV da inserire sul futuro elettrodotto RTN a 380 kV "Chiaramonte Gulfi - Ciminna", previsto nel Piano di Sviluppo TERNA:

Si precisa inoltre che gli interventi di cui al Piano di Sviluppo Terna sono oggetti di separati procedimenti autorizzativi.

Lo studio di impatto elettromagnetico si rende necessario al fine di una valutazione del campo elettrico e magnetico nei riguardi della popolazione. In particolare, per quanto riguarda la sicurezza dei lavoratori presenti nelle aree interessate, si andrà a verificare il rispetto dei vari limiti di esposizione al campo elettromagnetico per evitare l'insorgenza sia di effetti acuti che cronici.

La "fascia di rispetto" di cui al DM 29/05/2008 viene calcolata tenendo conto dell'elettrodotto interrato e della Sottostazione Elettrica MT/AT. Al calcolo della fascia di rispetto segue la verifica dell'assenza di ricettori sensibili all'interno di tale fascia: aree gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici, luoghi adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore giornaliere.

Poiché le linee di trasporto e di distribuzione dell'energia elettrica (elettrodotti), hanno in Europa una frequenza di 50 Hz i campi elettrici e magnetici rientrano nella banda ELF (30 - 300 Hz, bassa frequenza) e quindi regolati dal D.P.C.M. 8 luglio 2003 per la determinazione delle fasce di rispetto.

## 2. NORME E LEGGI DI RIFERIMENTO

La normativa nazionale per la tutela della popolazione dagli effetti dei campi elettromagnetici disciplina separatamente le basse frequenze (es. elettrodotti) e le alte frequenze (es. impianti radiotelevisivi, stazioni radio base, ponti radio).

Il 14 febbraio 2001 è stata approvata dalla Camera dei deputati la legge quadro sull'inquinamento elettromagnetico (L.36/01). In generale il sistema di protezione dagli effetti delle esposizioni agli inquinanti ambientali distingue tra:

- *effetti acuti (o di breve periodo), basati su una soglia, per cui si fissano limiti di esposizione che garantiscono - con margini cautelativi - la non insorgenza di tali effetti;*
- *effetti cronici (o di lungo periodo), privi di soglia e di natura probabilistica (all'aumentare dell'esposizione aumenta non l'entità ma la probabilità del danno), per cui si fissano livelli operativi di riferimento per prevenire o limitare il possibile danno complessivo.*

È importante dunque distinguere il significato dei termini utilizzati nelle leggi.

Limiti di esposizione	Valori di CEM che non devono essere superati in alcuna condizione di esposizione, ai fini della tutela dagli effetti acuti
Valori di attenzione	Valori di CEM che non devono essere superati negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate. Essi costituiscono la misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti di lungo periodo.
Obiettivi di qualità	Valori di CEM causati da singoli impianti o apparecchiature da conseguire nel breve, medio e lungo periodo, attraverso l'uso di tecnologie e metodi di risanamento disponibili. Sono finalizzati a consentire la minimizzazione dell'esposizione della popolazione e dei lavoratori ai CEM anche per la protezione da possibili effetti di lungo periodo.

La normativa di riferimento in Italia per le linee elettriche è il DPCM del 08/07/2003 (G.U. n. 200 del 29.8.2003) "Fissazione dei limiti massimi di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti"; tale decreto, per effetto di quanto fissato dalla legge quadro sull'inquinamento elettromagnetico, stabilisce:

- *I limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la tutela della salute della popolazione nei confronti dei campi elettromagnetici generati a frequenze non contemplate dal D.M. 381/98, ovvero i campi a bassa frequenza (ELF) e a frequenza industriale (50 Hz);*
- *I limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la tutela della salute dei lavoratori professionalmente esposti nei confronti dei campi elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 0 Hz e 300 GHz (esposizione professionale ai campi elettromagnetici);*
- *Le fasce di rispetto per gli elettrodotti in AT.*

Relativamente alla definizione di limiti di esposizione, valori di attenzione e obiettivi di qualità per l'esposizione della popolazione ai campi di frequenza industriale (50 Hz) relativi agli elettrodotti, il DPCM 08/07/03 propone i valori descritti in seguito, confrontati con la normativa europea.

<b>Normativa</b>	<b>Limiti previsti</b>	<b>Induzione magnetica B (<math>\mu</math>T)</b>	<b>Intensità del campo elettrico E (V/m)</b>
DPCM	Limite d'esposizione	100	5.000
	Limite d'attenzione	10	
	Obiettivo di qualità	3	

<i>Race.</i> 1999/512/CE	Livelli di riferimento (ICNIRP1998, OMS)	100	5.000
-----------------------------	--	-----	-------

Il valore di attenzione di 10  $\mu$ T si applica nelle aree di gioco per l'infanzia, negli ambienti abitativi negli ambienti scolastici e in tutti i luoghi in cui possono essere presenti persone per almeno 4 ore al giorno. Tale valore è da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

L'obiettivo di qualità di 3  $\mu$ T si applica ai nuovi elettrodotti nelle vicinanze dei sopraccitati ambienti e luoghi, nonché ai nuovi insediamenti ed edifici in fase di realizzazione in prossimità di linee e di installazioni elettriche già esistenti (valore inteso come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio). Da notare che questo valore corrisponde approssimativamente al livello di induzione prevedibile, per linee a pieno carico, alle distanze di rispetto stabilite dal vecchio DPCM 23/04/92.

Si ricorda che i limiti di esposizione fissati dalla legge sono di 100  $\mu$ T per lunghe esposizioni e di 1000  $\mu$ T per brevi esposizioni.

Oltre alle norme legislative esistono dei rapporti informativi dell'Istituto superiore della sanità (ISTISAN 95/29 ed ISTISAN 96/28) che approfondiscono la problematica e mirano alla determinazione del principio cautelativo.

Questi rapporti definiscono la cosiddetta Soglia di Attenzione Epidemiologia (SAE) per l'induzione magnetica, che è posta pari a 0.2  $\mu$ T (microTesla): un valore limite, cautelativo, al di sotto del quale è dimostrata la non insorgenza di patologie.

In merito alla tutela della salute dei lavoratori che opereranno sull'impianto si fa riferimento al D.Lgs. n. 159 del 1° agosto 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" il quale apporta modifiche al già esistente D.Lgs. n. 81 del 9 aprile 2008 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.

In particolare nel suddetto D.Lgs. 159/2016 vengono indicati, nelle tabelle B1 e B2, i valori di azione (VA) per esposizione rispettivamente ai campi elettrici e ai campi magnetici.

Intervallo di frequenza	VA (E) inferiori per l'intensità del campo elettrico [ $\text{Vm}^{-1}$ ] (valori RMS)	VA (E) superiori per l'intensità del campo elettrico [ $\text{Vm}^{-1}$ ] (valori RMS)
$1 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$
$25 \leq f < 50 \text{ Hz}$	$5,0 \times 10^5 / f$	$2,0 \times 10^4$
$50 \text{ Hz} \leq f < 1,64 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^5 / f$	$1,0 \times 10^6 / f$
$1,64 \leq f < 3 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^5 / f$	$6,1 \times 10^2$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,7 \times 10^2$	$6,1 \times 10^2$

Tabella B1: VA per i campi elettrici ambientali

Intervallo di frequenza	VA (B) inferiori per l'induzione magnetica [ $\mu\text{T}$ ] (valori RMS)	VA (B) superiori per l'induzione magnetica [ $\mu\text{T}$ ] (valori RMS)	VA (B) per l'induzione magnetica per esposizione localizzata degli arti [ $\mu\text{T}$ ] (valori RMS)
$1 \leq f < 8 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^5 / f^2$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$8 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,5 \times 10^4 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$25 \leq f < 300 \text{ Hz}$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^5 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

Tabella B2: VA per i campi magnetici ambientali

Nel caso degli impianti a frequenza industriale (50 Hz), i valori da rispettare sono dunque per il campo elettrico:

- $5 \times 10^5 / 50 = 1.000 \text{ V/m}$

E per il campo magnetico:

- $1 \times 10^3 = 1.000 \mu\text{T}$

I valori di azione (VA), consentono una valutazione semplificata delle conformità ai pertinenti VLE (valori limite di esposizione). In particolare il rispetto dei VA garantisce il rispetto dei pertinenti VLE, mentre il superamento dei VA medesimi corrisponde all'obbligo di adottare le pertinenti misure di prevenzione e protezione di cui all'articolo 210.

Infine, in questa sede, si richiamano le principali Norme CEI:

- 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";

- 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;*
- CEI 106-12 *“Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/bT”.*

In particolare, per quanto riguarda il calcolo dell'induzione magnetica e la determinazione delle fasce si è tenuto conto delle indicazioni tecniche previste nel decreto del 29 maggio 2008 e nelle Norme CEI 106-11 e CEI 106-12 nelle quali viene ripreso il modello di calcolo normalizzato della Norma CEI 211-4 e vengono proposte, in aggiunta, delle formule analitiche approssimate che permettono il calcolo immediato dell'induzione magnetica ad una data di stanza dal centro geometrico della linea elettrica.

### 3. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

Nell'esercizio degli impianti fotovoltaici i campi elettromagnetici si manifestano a 50 Hz. A frequenze così basse corrispondono lunghezze d'onda in aria molto grandi (6000 km a 50 Hz e 5000 km a 60 Hz).

Il campo elettrico e quello magnetico agiscono in modo indipendente l'uno dall'altro e sono calcolati e misurati separatamente.

I campi elettrici sono prodotti dalle cariche elettriche e la loro intensità viene misurata in Volt al metro (V/m) o in chiloVolt al metro (kV/m). L'intensità dei campi elettrici è massima vicino al dispositivo e diminuisce con la distanza. Essi vengono schermati dalla maggior parte dei materiali di uso comune.

I campi magnetici sono prodotti dal moto delle cariche elettriche, cioè dalla corrente. La loro intensità si misura in Ampere al metro (A/m), ma è spesso espressa in termini di una grandezza corrispondente, l'induzione magnetica, che si misura in Tesla (T), milliTesla (mT) o microTesla ( $\mu$ T).

I campi magnetici sono massimi vicino alla sorgente e diminuiscono con la distanza. Essi non vengono schermati dalla maggior parte dei materiali di uso comune che ne vengono facilmente attraversati.

Gli impianti fotovoltaici, essendo costituiti fundamentalmente da elementi per la produzione ed il trasporto di energia elettrica, sono interessati dalla presenza di campi elettromagnetici.

Le componenti dell'impianto sulle quali rivolgere l'attenzione al fine della valutazione dell'impatto elettromagnetico sono:

- I moduli fotovoltaici;
- Gli inverter;
- I trasformatori BT/MT;
- I cavidotti per il trasporto dell'energia elettrica;
- La sottostazione elettrica di trasformazione MT/AT.

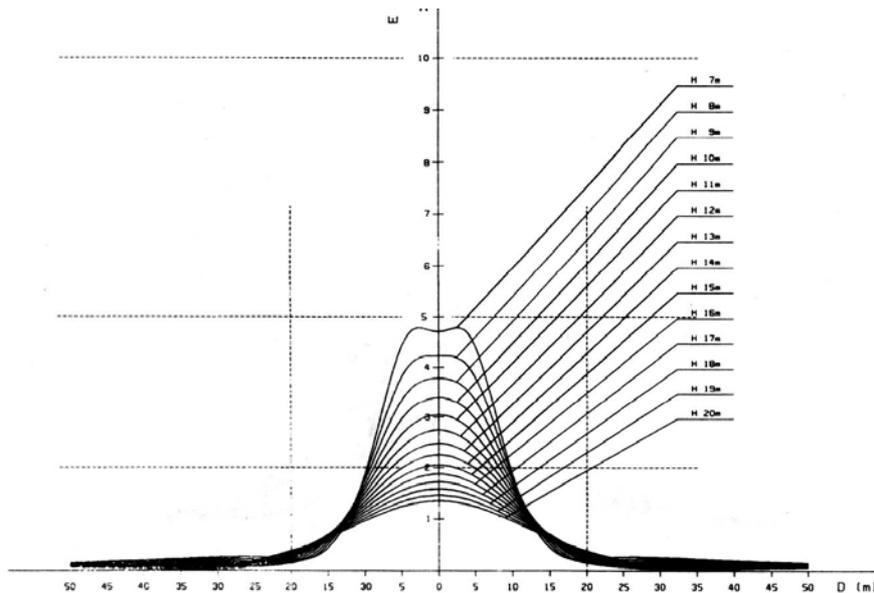
#### 4. CENNI TEORICI SUL MODELLO UTILIZZATO

Ogni apparecchiatura che produce o che viene attraversata da una corrente elettrica (dinamo, cavi elettrici, elettrodomestici, etc.) è caratterizzata da un *campo elettromagnetico*. Il campo elettromagnetico presente in un dato punto dello spazio è definito da due vettori: il *campo elettrico* e l'*induzione magnetica*. Il primo, misurato in V/m, dipende dall'intensità e voltaggio della corrente, mentre l'induzione magnetica – che si misura in  $\mu\text{T}$  - dipende dalla permeabilità magnetica del mezzo. Il rapporto tra l'induzione magnetica e la permeabilità del mezzo individua il *campo magnetico*.

Le grandezze caratterizzanti il campo elettrico ed il campo magnetico sono in generale intercorrelate, fatta eccezione per i campi a frequenze molto basse, per le quali il campo elettrico ed il campo magnetico possono essere considerati indipendenti.

In generale le correlazioni tra campo elettrico e campo magnetico sono assai complesse, dipendono dalle caratteristiche della sorgente, dal mezzo di propagazione, dalla presenza di ostacoli nella propagazione, dalle caratteristiche del suolo e dalle frequenze in gioco.

La diffusione del campo elettromagnetico nello spazio avviene nello stesso modo in tutte le direzioni; la diffusione può essere comunque alterata dalla presenza di ostacoli che, a seconda della loro natura, inducono sul campo elettromagnetico riflessioni, rifrazioni, diffusioni, assorbimento, ecc. La diffusione del campo elettromagnetico può essere alterata anche dalla presenza di un altro campo elettromagnetico.



*Fig. 1 Andamento tipico del campo di induzione magnetica.*

Nel presente documento si esaminano le apparecchiature e le infrastrutture necessarie alla realizzazione del progetto proposto, con particolare riguardo alla generazione di campi elettromagnetici a bassa frequenza.

### **Campo elettrico**

Tutti i cavi interrati sono schermati nei riguardi del campo elettrico, che pertanto risulta pressoché nullo in ogni punto circostante all'impianto.

### **Campo magnetico**

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

- Distanza dalle sorgenti (conduttori);
- Intensità delle sorgenti (correnti di linea);
- Disposizione e distanza tra sorgenti (distanza mutua 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.

I valori di campo magnetico, risultano notevolmente abbattuti mediante interrimento degli elettrodotti. Questi saranno posti a circa 1 m di profondità e generano, a parità di corrente trasportata, un campo magnetico al livello del suolo più intenso degli elettrodotti aerei (circa il doppio), però l'intensità del campo magnetico si riduce molto più rapidamente con la distanza. Confrontando il campo magnetico generato da linee aeree con quello generato da cavi interrati, si rileva che per i cavi interrati l'intensità massima del campo magnetico è più elevata, ma presenta un'attenuazione più pronunciata.

La metodologia di calcolo qui utilizzata è basata sull'algoritmo bidimensionale normalizzato nella CEI 211-4, considerato idoneo per la maggior parte delle situazioni pratiche riscontrabili per le linee aeree e in cavo interrato.

Tale metodo, descritto nella guida CEI 106-11, alla quale si rimanda per i dettagli, è anche citato come utilizzabile nel Decreto 29/5/2008 per condizioni come quelle allo studio.

Si tratta di un modello bidimensionale che applica la legge di Biot e Savart per determinare l'induzione magnetica dovuta a ciascun conduttore percorso da corrente e quindi la legge di sovrapposizione degli effetti per determinare l'induzione magnetica totale, tenendo ovviamente conto delle fasi delle correnti, supposte simmetriche ed equilibrate.

Le formule di calcolo del campo magnetico nel generico punto P sono pertanto le seguenti, con riferimento alla fig. 4 estrapolata dalla Norma CEI 106-11.

## 5. ANALISI DELL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO

### 5.1. MODULI FOTOVOLTAICI

I moduli fotovoltaici lavorano in corrente e tensione continue e non in corrente alternata; per cui la generazione di campi variabili è limitata ai soli 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

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).

### 5.3. CAVIDOTTI

Si fa presente che nella scelta della soluzione tecnica per il collegamento sono stati considerati tutti gli accorgimenti che consentono la minimizzazione degli effetti elettromagnetici sull'ambiente e sulle persone. In particolare, la scelta di operare con linee interrate permette di eliminare la componente elettrica del campo, grazie all'effetto schermante del terreno; inoltre la limitata distanza tra i cavi (ulteriormente ridotta grazie all'impiego di terne cosiddette "a trifoglio") fa sì che l'induzione magnetica risulti significativa solo nelle immediate prossimità dei cavi.

Di seguito vengono esposti i risultati della simulazione nella sezione di linea più gravosa, ossia la linea AT, composto da 1 terna da 1600 mmq.

Come ulteriori ipotesi cautelative viene considerato il caso in cui la corrente di impiego, pari a  $I = 175$  A, sia uguale alla portata  $I_z$  del cavo, pari invece a  $I = 1000$  A

Come evidenziato nella figura seguente, la fascia di rispetto al livello del suolo che si deduce dal calcolo, definita dall'intersezione tra la linea del terreno e la linea equicampo a  $3 \mu\text{T}$ , è di 4,8 m.

La DPA, così come definita nel DM 29/05/08, risulta essere, approssimata per eccesso al metro superiore, pari a 5 m, per una fascia di rispetto totale pari a 10 m.

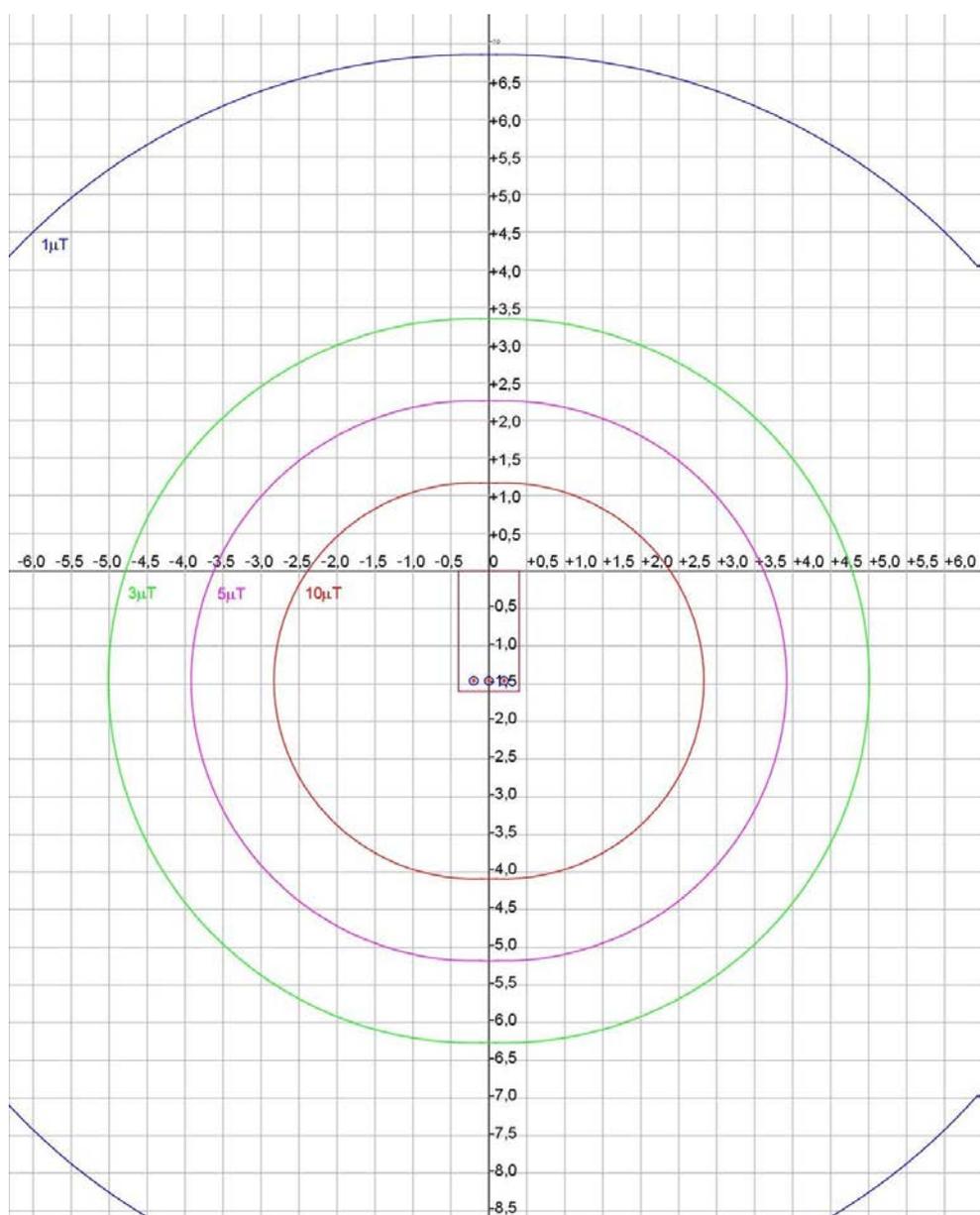


Fig. 2 – Campo elettromagnetico generato dall'elettrodotto in AT in considerazione della massima portata della linea

Utilizzando a titolo di confronto la corrente di impiego, si deduce dal calcolo, definita dall'intersezione tra la linea del terreno e la linea equicampo a  $3\mu T$ , è di 1,6 m.

Il raggio della linea equicampo a  $3\mu T$  risulta essere pari a 2,2 m circa.

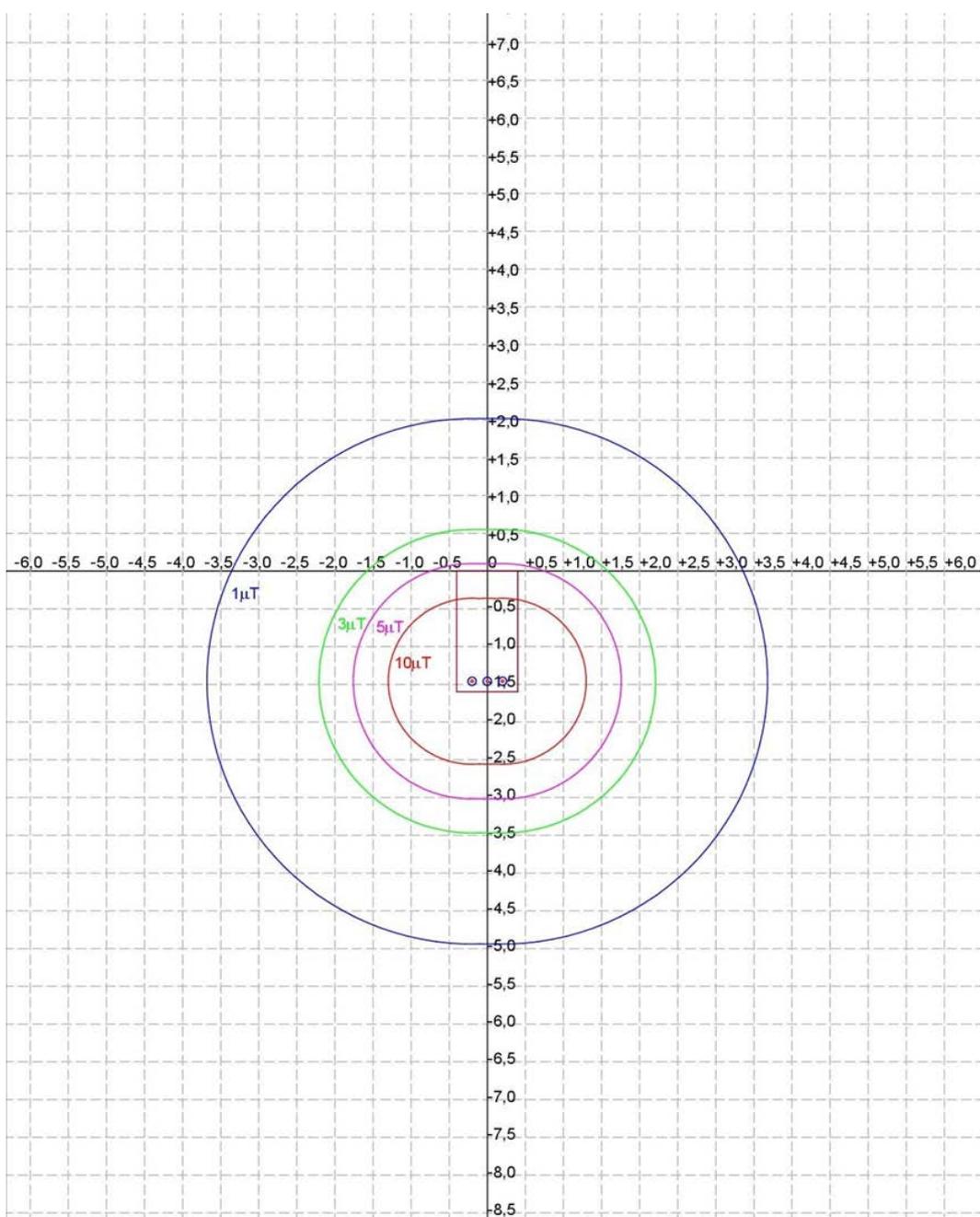


Fig. 3 – Campo elettromagnetico generato dall'elettrodotto in AT in condizioni di corrente massima

La scelta di operare con linee interrate, come detto, permette di eliminare l'effetto dovuto al campo elettrico, soprattutto in virtù dell'effetto schermante del terreno. Si sottolinea, peraltro, che la posa dei cavidotti è prevista in luoghi che non sono adibiti a permanenze prolungate della popolazione e tanto meno negli ambienti particolarmente protetti, quali scuole, aree di gioco per l'infanzia etc, correndo per la gran parte dell'oro percorso lungo la rete viaria o ai margini delle strade di impianto. Per tutti i cavidotti MT sono dunque rispettati anche i valori di azione indicati nel D.Lgs. 159/2016, pari a 1.000  $\mu\text{T}$  per il campo magnetico.

La DPA per i cavidotti AT nel caso più sfavorevole, risulta essere quindi pari a 4,8 m.

#### 5.4. TRASFORMATORI BT/MT

Per quanto riguarda i componenti dell'impianto sono da considerare le cabine elettriche di trasformazione, all'interno delle quali, la principale sorgente di emissione è il trasformatore. In questo caso si valutano le emissioni dovute ad un trasformatore di potenza 6300 kVA collocato nella cabina di trasformazione.

La presenza del trasformatore viene usualmente presa in considerazione limitatamente alla generazione di un campo magnetico nei locali vicini a quelli di cabina.

In base al DM del 29.05.2008, cap.5.2.1, l'ampiezza delle DPA si determina come di seguito descritto. Per la corrente di calcolo si fa riferimento alla corrente nominale in ingresso al trasformatore della cabina.

Tale determinazione, pertanto, si basa sulla corrente del trasformatore e considerando una distanza dalle fasi pari al diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore. Per determinare le DPA si applica la seguente formula:

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

dove:

DPA= distanza di prima approssimazione (m)

I= corrente nominale (A)

x= diametro dei cavi (m)

Considerando che I=11500A e che il cavo scelto sul lato secondario del trasformatore è di 300 mm<sup>2</sup>, con diametro esterno pari a circa 33 mm per conduttore, si ottiene una DPA = 7,40 m. D'altra parte, nel caso in questione la cabina è posizionata all'aperto e normalmente non è permanentemente presidiata.

Per quanto riguarda i componenti dell'impianto resta da considerare la cabina elettrica di raccolta MT, alla quale confluiscono i cavidotti MT provenienti dalle cabine di trasformazione, all'interno della quale, la principale sorgente di emissione sono le stesse correnti dei quadri MT. La massima corrente MT dovuta alla massima produzione è pari a circa 820A. Considerando che il cavo scelto in uscita dalla cabina elettrica è 3x1x630 mm<sup>2</sup>, con un diametro esterno massimo pari a 61.7 mm, si ottiene una DPA, arrotondata per eccesso all'intero superiore, pari a 2,8 m.

Si può osservare, che una distanza di 5 m dal trasformatore è sufficiente per raggiungere un valore di induzione magnetica che sia al di sotto del limite di attenzione mentre una distanza di 8,5 m garantisce il rispetto dell'obiettivo di qualità. Si ricorda che tale limite si applica per la realizzazione

di nuove cabine in prossimità di linee ed installazioni elettriche esistenti, di aree di gioco per l'infanzia, negli ambienti abitativi, negli ambienti scolastici in tutti i luoghi in cui possono essere presenti persone per almeno 4 h al giorno.

Per tutti i trasformatori MT/BT sono dunque rispettati anche i valori di azione indicati nel D.Lgs. 159/2016 pari a 1.000  $\mu\text{T}$  per il campo magnetico.

In definitiva, poiché le cabine si configurano tutte all'interno della recinzione d'impianto non accessibile a persone non autorizzate e poiché l'area all'esterno della cabina in cui l'obiettivo di qualità non è raggiunto risulta esigua si può escludere pericolo per la salute pubblica.

### 5.5. SOTTOSTAZIONE ELETTRICA MT/AT

In generale, i contributi maggiori al campo elettromagnetico intorno ad una sottostazione derivano dalle linee di potenza entranti ed uscenti dalla sottostazione stessa. L'entità del campo elettromagnetico dovuto ai trasformatori diminuisce rapidamente con la distanza; oltre la recinzione della sottostazione i campi elettromagnetici prodotti dagli equipaggiamenti dentro la sottostazione sono tipicamente indistinguibili dai livelli del fondo ambientale. L'ARPA di Rimini ha effettuato nel 1994 delle misure in alcune cabine primarie (v. Inquinamento Elettromagnetico, P. Bevitori et al. - Maggioli Editore, 1997 - pagg. 188-190). Il campo elettrico misurato lungo il perimetro di recinzione di cabine primarie è risultato sempre inferiore a 5 V/m; si ricorda che i limiti di legge per il campo elettrico sono di 5000 V/m per lunghe esposizioni e di 10000 V/m per brevi esposizioni. Il livello di induzione magnetica è sempre risultato minore di 0.2  $\mu\text{T}$ , valore che soddisfa anche la SAE.

Nella seguente tabella sono riportati, invece, i valori del campo elettrico e del campo magnetico rilevato a seguito di misurazioni effettuate dall'ASL su campi funzionanti.

<b>Luogo di misura</b>	<b>Valore di intensità di campo elettrico (V/m)</b>	<b>Valore di intensità di induzione magnetica (<math>10^{-6}</math> tesla)</b>
Porta ingresso sottostazione	350	0,7
Interno alla sottostazione	179	4,2
Vicino ad una linea alta tensione a 150 kV	435	0,3

La misura è stata effettuata vicino la porta di ingresso della sottostazione, all'interno della sottostazione e vicino ad una linea alta tensione a 150 kV

Si nota come tutti i valori sono molto al di sotto della soglia di attenzione mentre solo il valore misurato all'interno della sottostazione è superiore a 3  $\mu\text{T}$ , obiettivo di qualità nel DPCM 08/07/2003, mentre tutte le altre misure soddisfano anche tale valore.

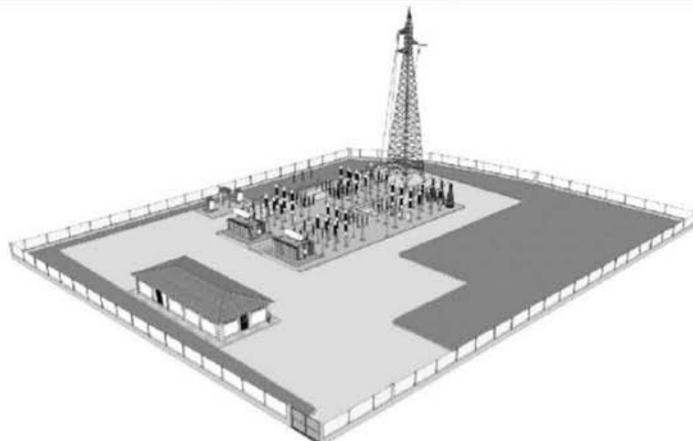
In tutta la sottostazione sono dunque rispettati anche i valori di azione indicati nel D.Lgs. 159/2016, pari a 1.000 V/m per il campo elettrico e 1.000  $\mu$ T per il campo magnetico.

## 6. FASCE DI RISPETTO

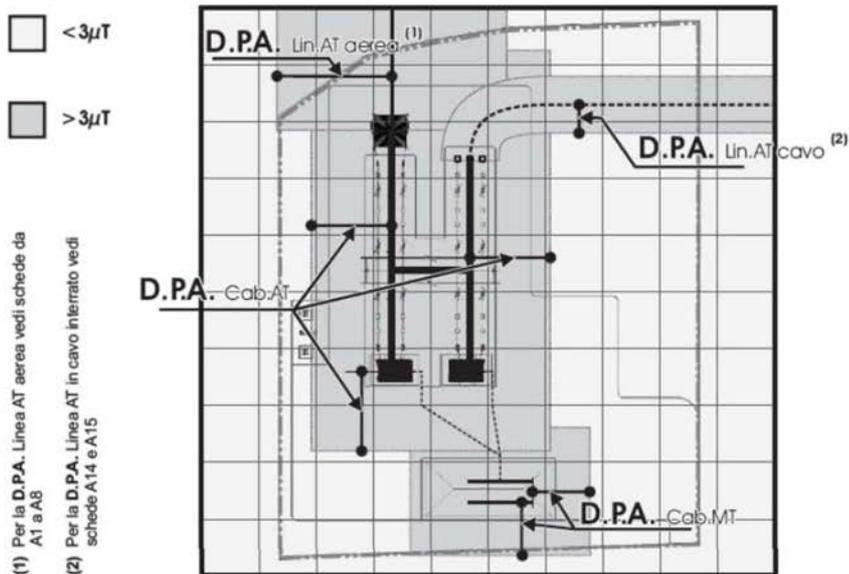
Per “fasce di rispetto” si intendono quelle definite dalla Legge 22 febbraio 2001 n° 36, all’interno delle quali non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario, ovvero un uso che comporti una permanenza superiore a 4 ore, da determinare in conformità alla metodologia di cui al D.P.C.M. 08/07/2003.

Tale DPCM prevede (art. 6 comma 2) che l’APAT, sentite le ARPA, definisca la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto con l’approvazione del Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Con Decreto 29 maggio 2008 (pubblicato in G.U. n. 156 del 05/07/2008 – Supplemento Ordinario n. 160) il Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha approvato la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti. L’Enel ha unificato sul territorio nazionale le fasce di rispetto in caso di opere elettriche esercite in alta tensione dopo prolungate misure presso i propri impianti.

A16 - Cabina primaria isolata in aria (132/150-15/20 kV)



RAPPRESENTAZIONE DELLA FASCIA DI RISPETTO E DELLA D.P.A.



Tipologia trasformatore [MVA]	CABINA PRIMARIA						
	D.P.A. Cab. da centro sbarre AT	Distanza tra le fasi AT	Corrente	D.P.A. Cab. da centro sbarre MT	Distanza tra le fasi MT	Corrente	Riferimento
	m	m	A	m	m	A	
63	14	2.20	870	7	0.38	2332	A16

Fig. 4 - Fascia di rispetto cabina primaria 150kV. Fonte: ENEL

## 7. CONCLUSIONI

La determinazione delle DPA è stata effettuata in accordo al D.M. del 29/05/2008 riportando per ogni opera elettrica la summenzionata DPA. Da quanto riportato nei precedenti paragrafi, nonché nei calcoli sopra eseguiti, risulta evidente che i campi generati sono tali da rientrare nei limiti di legge.

Dalla verifica di tutta la linea elettrica interrata e in prossimità della Sottostazione Elettrica utente 30/150 kV non esistono recettori sensibili all'interno delle fasce di rispetto come sopra definite.

In particolare, non si ravvisano pericoli per la salute dei lavoratori eventualmente presenti nelle aree interessate in quanto le zone che rientrano nel limite di attenzione ma non nell'obiettivo di qualità non richiedono la presenza umana per più di 4 h giornaliere, rientrando quindi nei limiti di legge. Si fa inoltre presente che, in fase di costruzione dell'impianto le linee saranno fuori tensione, pertanto i lavoratori non saranno esposti a nessun campo elettromagnetico; nelle fasi di collaudo e manutenzione ordinaria e/o straordinaria invece, come precedentemente descritto, per tutte le componenti dell'impianto vengono rispettati i valori di azione (e pertanto i valori limite di esposizione) indicati nel D.Lgs. 159/2016.

**Non si ritiene pertanto necessario adottare misure di salvaguardia particolari in quanto il parco fotovoltaico in oggetto si trova in zona agricola e sia i moduli fotovoltaici che le opere connesse (linee elettriche interrate e stazioni elettriche isolate in aria) sono state posizionate in modo da osservare le relative fasce di rispetto dai possibili ricettori sensibili presenti.**

Si sottolinea, peraltro, che tutte le componenti dell'impianto e le opere connesse sono state posizionate in luoghi che non sono adibiti a permanenze prolungate della popolazione e tanto meno negli ambienti particolarmente protetti, quali scuole, aree di gioco per l'infanzia, ecc.

Dai risultati della simulazione si evince che i valori elevati di campo magnetico sono confinati all'interno della stazione elettrica ed in prossimità della stessa decresce rapidamente. Si ricorda inoltre che tali opere sono posizionate a distanza di centinaia di metri da abitazioni e quindi a distanze considerevoli dal punto di vista elettromagnetico.

Si evidenzia inoltre che sia il limite di attenzione di 10  $\mu$ T che l'obiettivo di qualità di 3  $\mu$ T sono valori intesi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio; ciò significa che i valori precedentemente calcolati in base ai valori nominali sono di gran lunga superiori e cautelativi rispetto a quelli effettivi, in quanto gli impianti fotovoltaici lavorano alla loro

potenza nominale solo in brevi periodi della giornata mentre nelle restanti ore lavorano a potenza ridotta o addirittura nulla (ad esempio durante le ore notturne).

**Pertanto si può concludere che per il parco fotovoltaico e le infrastrutture di rete elettrica in esame non si ravvisano pericoli per la salute pubblica per quanto riguarda i campi elettromagnetici.**