

PARCO EOLICO "KERSONESUS"

COMUNE DI TEULADA

PROVINCIA DEL SUD SARDEGNA (SU)



STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

Elaborato:

ELABORAZIONI SIA

Relazione sui campi elettromagnetici

Codice elaborato:

TL_SIA_A021

Data: Marzo 2023

Il committente: Sardeolica s.r.l.

Coordinamento: FAD SYSTEM SRL - Società di ingegneria

Dott. Ing. Ivano Distinto

Dott. Ing. Carlo Foddis

Elaborazione SIA:

BIA s.r.l.

Società di ingegneria

Elaborato a cura di:

Fad system s.r.l.

rev.	data	descrizione revisione	rev.	data	descrizione revisione
0	16/03/2023	Emesso per procedura di VIA			

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO E METODOLOGIA DI CALCOLO.....	3
2.1	La Metodologia Semplificata	5
3	CALCOLO DELLE DISTANZE DI PRIMA APPROSSIMAZIONE (DPA)	6
3.1	Calcolo della distanza di prima approssimazione delle linee in cavo MT del parco eolico	7
3.2	Calcolo della distanza di prima approssimazione della sottostazione produttore	10
3.3	Calcolo della distanza di prima approssimazione dell'elettrodotto interrato in cavo AT	20
4	CONCLUSIONI	20

1 PREMESSA

Scopo della presente relazione è la valutazione dei campi elettromagnetici generati dal Parco eolico "Kersonesus" da realizzare nel territorio del Comuni di Teulada, costituito da 7 Aerogeneratori con potenza nominale unitaria pari a 6,2 MW e potenza complessiva nominale pari a 43,4 MW.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO E METODOLOGIA DI CALCOLO

La norma italiana sulla protezione dei campi elettromagnetici attualmente in vigore è la Legge Quadro n. 36 del 22 febbraio 2001 "Protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici" (G.U. n.55 del 7 marzo 2001) che ha introdotto i concetti di limite di esposizione, di valore di attenzione e di obiettivi di qualità. I primi due rappresentano i valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico che rispettivamente non devono essere superati in situazione di esposizione acuta e di esposizione prolungata; l'obiettivo di qualità è stato introdotto al fine di garantire la progressiva minimizzazione dell'esposizione. La stessa legge ha anche introdotto il termine di "fascia di rispetto in prossimità di elettrodotti", intendendo con questa un'area in cui non possono essere previste destinazioni d'uso che comportino una permanenza prolungata oltre le quattro ore giornaliere. Infine, la terminologia, "elettrodotto" comprende l'insieme delle linee elettriche e delle cabine di trasformazione.

I primi decreti applicativi della LQ 36/2001 sono stati pubblicati nel 2003. In particolare il DPCM dell'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" (G.U. n. 200 del 29-8-2003) all'art.6 "Parametri per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti" prescrive che per la determinazione delle fasce di rispetto relative all'obiettivo di qualità si dovrà far riferimento alla portata in regime permanente del cavo, come definita dalla norma CEI 11-17.

Frequenza 50 Hz	Intensità di campo elettrico E (kV/m)	Induzione Magnetica B (micro Tesla)
Limite di esposizione * (da non superare mai)	5	100
Valore di attenzione ** (da non superare in ambienti abitativi e comunque nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore)	-	10
Obiettivo di qualità ** (da non superare per i nuovi elettrodotti o le nuove abitazioni in prossimità di elettrodotti esistenti)	-	3

* Valori efficaci

**Mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio

La metodologia di calcolo è stata definita dal DM 29 maggio 2008 (G.U. 5 luglio 2008 n.156, S.O.) "Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti" che, ai sensi dell'art. 6 comma 2 del DPCM 08/07/03, ha lo scopo di fornire la procedura da adottarsi per la determinazione delle fasce di rispetto relative alle linee elettriche aeree e interrate e delle cabine esistenti e in progetto.

Sono escluse dall'applicazione della metodologia (punto 3.2 del DM 29/05/2008), in quanto le fasce associabili hanno ampiezza ridotta, inferiori alle distanze previste dal Decreto Interministeriale n. 449/88 e dal decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 16 gennaio 1991 le seguenti tipologie:

- le linee definite di classe zero secondo il decreto interministeriale 21.03.88 n. 449¹;
- le linee definite di prima classe secondo il decreto interministeriale 21.03.88 n. 449²;
- le linee in MT in cavo cordato ad elica (interrate o aeree);

¹ Classe 0 Linee telefoniche, telegrafiche, di segnalazione o comando a distanza.

² Classe I Linee di trasporto o distribuzione di energia elettrica la cui tensione nominale è inferiore o uguale a 1000 V

Pertanto, sulla base di quanto previsto dal quadro normativo, nella progettazione di nuovi elettrodotti in prossimità dei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere si deve tener presente il rispetto dell'obiettivo di qualità definito nel DPCM 08/07/2003, secondo cui nelle fasce di rispetto calcolate secondo il DM 29/05/2008 non deve essere prevista alcuna destinazione d'uso che comporti una permanenza prolungata oltre le quattro ore giornaliere.

<p>LIMITE DI ESPOSIZIONE Valore efficace che non deve essere superato in caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti</p>	<p>100 μT</p>
<p>VALORE DI ATTENZIONE Mediana dei valori nell'arco delle ventiquattro ore nelle normali condizioni di esercizio da considerare 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</p>	<p>10 μT</p>
<p>OBIETTIVO DI QUALITÀ Mediana dei valori nell'arco delle ventiquattro ore nelle normali condizioni di esercizio da considerare ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz 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 di nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee elettriche già presenti nel territorio</p>	<p>3 μT</p>

La normativa suddetta consente, in via cautelativa, di determinare le fasce di rispetto con una procedura semplificata.

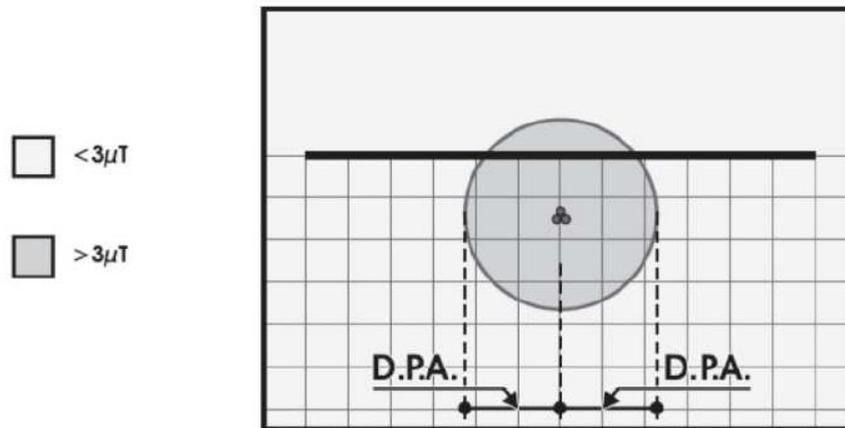
2.1 La Metodologia Semplificata

Nel procedimento di calcolo delle fasce di rispetto con il metodo semplificato il proprietario/gestore deve:

- calcolare la fascia di rispetto combinando la configurazione dei conduttori, geometrica e di fase, e la portata della corrente in servizio normale che forniscono il risultato più cautelativo sull'intero tronco;

- proiettare al suolo verticalmente tale fascia;
- comunicare l'estensione della fascia rispetto alla proiezione del centro linea: tale distanza (D.P.A.) sarà adottata in modo costante lungo tutto il tronco come prima approssimazione cautelativa delle fasce.

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



Per il calcolo del campo magnetico è possibile applicare quanto previsto dalla norma CEI 211-4 "Guida ai metodi dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche". Nella maggior parte dei casi l'analisi si esaurirà a questo livello.

Nei casi in cui si trovino degli insediamenti anche solo parzialmente all'interno della DPA calcolata, o in casi particolarmente complessi per la presenza di linee numerose o con andamenti molto irregolari, si dovrà eseguire il calcolo esatto della fascia di rispetto lungo le necessarie sezioni della linea, al fine di consentirne una corretta valutazione.

3 CALCOLO DELLE DISTANZE DI PRIMA APPROSSIMAZIONE (DPA)

Il calcolo verrà sviluppato per tutte le parti di impianto capaci di generare dei campi elettromagnetici, più precisamente per le linee elettriche interrate MT del parco eolico e le apparecchiature elettromeccaniche della sottostazione produttore.

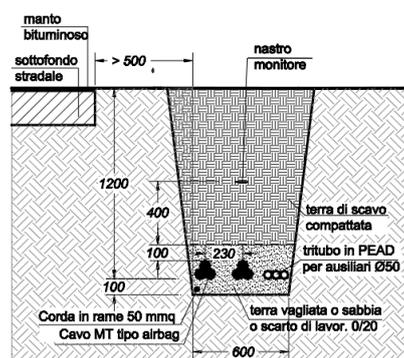
3.1 Calcolo della distanza di prima approssimazione delle linee in cavo MT del parco eolico

I cavi di potenza saranno posati, in conformità alla norma CEI 11-17, lungo i margini delle strade interne ed esterne al parco.

Nel tratto che dall'ultimo aerogeneratore di ciascuna linea porta alla sottostazione di trasformazione la trincea ospiterà esclusivamente tre terne di cavi unipolari posati in configurazione a trifoglio, una da 630 mmq airbag tipo ARE4H5(AR)E e due da 300 mmq, airbag elicordati tipo ARE4H5(AR)EX mentre nelle tratte di interconnessione tra gli aerogeneratori, verranno utilizzati cavi airbag elicordati tipo ARE4H5(AR)EX di sezione da 95 mmq e 185 mmq.

Si riportano di seguito le caratteristiche generali dell'elettrodotto interrato di parco:

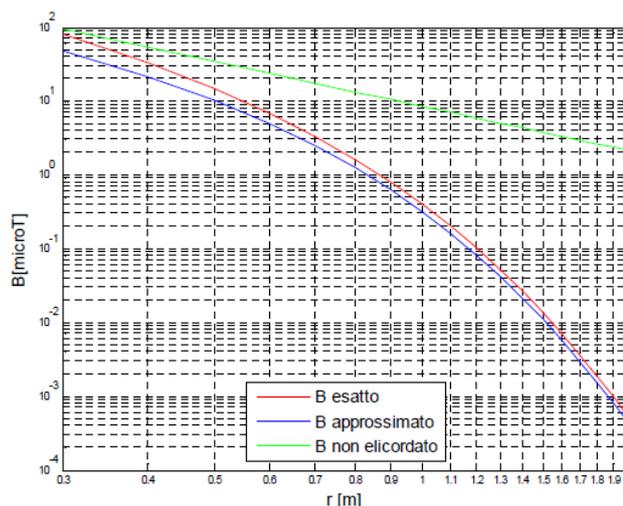
- scavo della profondità di circa 1,20 metri e larghezza della base da circa 50 cm a circa 110 cm a seconda del numero di cavi presenti;
- se lo scavo è eseguito su roccia, prima di posare i cavi, si dovrà aumentare la profondità dello scavo di 10 cm e realizzare un letto di sabbia o terra vagliata, altrimenti si potrà posare direttamente il cavo nello scavo;
- se il materiale di risulta è costituito da pietrame di grosse dimensioni si dovranno ricoprire i cavi con un primo strato circa 10 cm di sabbia o terreno di scavo vagliato, altrimenti si potrà utilizzare direttamente la terra dello scavo;
- posa del nastro monitore;
- strato finale di completamento in terreno proveniente dallo scavo.



Come detto i cavi MT utilizzati per l'interconnessione degli aerogeneratori del parco eolico e le due terne di cavi che collegano le linee alla sottostazione sono del tipo elicordato ARE4H5(AR)EX in alluminio. Per quanto detto in precedenza, in base al punto 3.2 del Decreto 29 maggio 2008 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, essendo un cavo con conformazione ad elica non risulta rientrante nella tipologia di linea elettrica per la quale si debbano valutare le fasce di rispetto e poiché i cavi utilizzati sono schermati il campo elettrico generato è da ritenersi nullo.



A titolo di esempio nella figura sottostante si mostra come la riduzione del campo totale dovuta ad un cavo elettrico in configurazione tripolare elicordata sia estremamente più rapida della riduzione del campo magnetico rispetto al caso non elicordato al crescere della distanza dall'asse di elicordatura.



Campo magnetico totale esatto, approssimato e per cavo non elicordato
al variare della distanza dall'asse dell'elica in **coordinate logaritmiche** (passo $p = 1$)

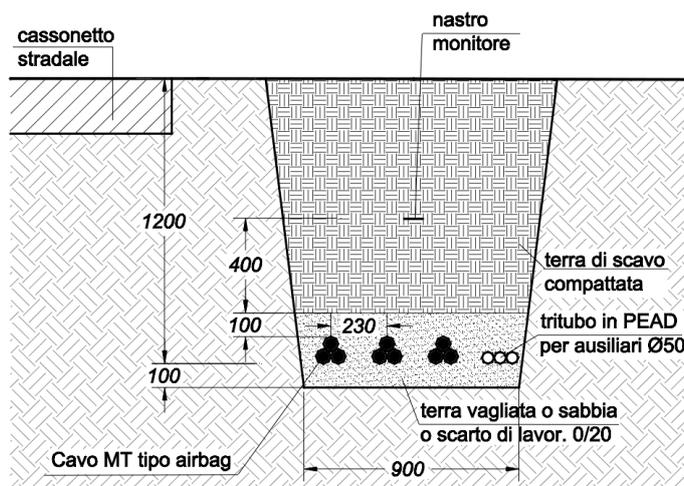
m , raggio $\alpha = 0,1 m$, corrente $I = 200 A$

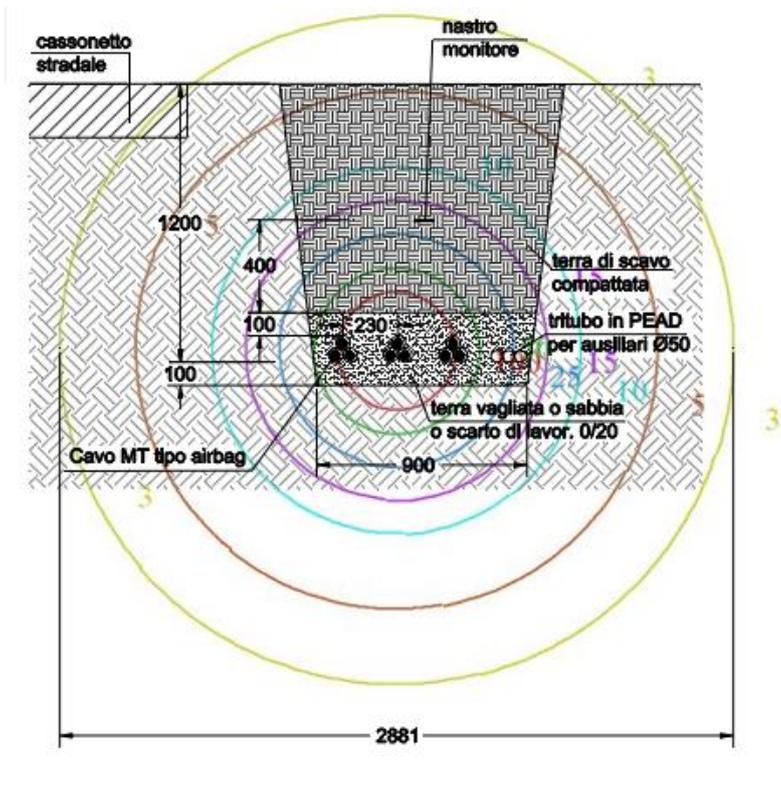
Dalla figura, che mostra i valori del campo magnetico calcolati sia con la formula esatta sia con la formula approssimata, si evince che per distanze dal cavo pari a circa 70 cm il valore del campo magnetico risulta inferiore all'obiettivo di qualità. Poiché tutti i cavi elettrici MT sono interrati mediamente ad una profondità di circa 110 cm, il valore del campo magnetico al livello del terreno si attesta a circa $0,1 \mu T$, ne consegue che le linee elettriche interrate realizzate con cavo elicordato hanno DPA pari a zero.

Per il calcolo della DPA del cavidotto che interconnette il gli aerogeneratori con la sottostazione produttore, che come detto è costituito da una terna da 630 mmq airbag tipo ARE4H5(AR)E unipolare e due terne da 300 mmq tipo ARE4H5(AR)E/X a elica esterna, verrà eseguita una simulazione con un software specifico (MAGIC della Beshielding) chiaramente dal calcolo verranno escluse le due terne da 300 mmq con cavo a elica che hanno campo elettromagnetico trascurabile.

Il calcolo verrà eseguito utilizzando un cavo con le seguenti caratteristiche:

- Sezione = 630 mmq
- Diametro indicativo esterno = 61 mm
- Portata in corrente nominale = 412 A
- Unipolare schermato conformazione a trifoglio





Dalla simulazione si evince che la DPA dell'elettrodotto interrato nel tratto tra gli aerogeneratori e la sottostazione produttore sopra descritto è pari a circa 1,45 m

3.2 Calcolo della distanza di prima approssimazione della sottostazione produttore

Nella centrale di trasformazione sono presenti uno stallo di connessione ed uno stallo di trasformazione. Il trasformatore elevatore installato avrà una potenza pari a 50/60 (ONAN/ONAF) MVA.

La valutazione del campo magnetico verrà effettuata recependo alcune indicazioni dalla guida CEI R014 "Guida per la valutazione dei campi elettromagnetici attorno ai trasformatori di potenza" e la Guida CEI 211-4 in quanto nel D.M. 29 maggio 2008 "Metodi numerici per il calcolo delle fasce di rispetto" non viene contemplato questo particolare caso.

La guida CEI R014 permette di poter effettuare le seguenti considerazioni:

- I valori più significativi del campo magnetico a frequenza di rete sono dovuti alla corrente che circola nei terminali a media tensione.
- Il campo magnetico del trasformatore, prodotto dalle correnti che circolano negli avvolgimenti, può essere trascurato.

Per cui si può affermare che i valori di induzione magnetica all'interno della sottostazione sono prodotti essenzialmente, in base alla geometria del sistema, dalle sbarre di stazione, dal cavo MT tra il quadro elettrico MT ed il trasformatore MT/AT, dai terminali del trasformatore MT/AT e dal quadro elettrico MT stesso.

In base a quanto riportato si valuteranno separatamente i contributi dovuti alle seguenti tipologie di sistemi:

- Linea in Cavo 20 kV (linea elettrica trasformatore quadro MT)
- Sbarre di stazione 150 kV
- Quadro elettrico MT

La potenza totale nominale di tutti gli aerogeneratori è pari a 60 MVA con tensione di lavoro 30 kV. Stessa potenza viene considerata sul lato secondario del trasformatore elevatore con tensione pari a 150 KV. Nelle sbarre di stazione lato 150 KV circolerà quindi una corrente massima pari a:

$$I_{150kV} = A / (\text{rad } 3 * U) = 232 \text{ A}$$

Dove:

I_{150kV} = Corrente di linea (fase) in [A]

A = Potenza Apparente (60 MW) in [W]

U = Tensione di fase AT (150 kV) in [V]

A titolo cautelativo si sono assunte le seguenti caratteristiche geometriche delle sbarre di stazione:

- Lunghezza = matematicamente infinita
- Distanza tra le singole sbarre = 2,2 m

Nella linea di alimentazione che connette il quadro MT al trasformatore circolerà una corrente pari a:

$$I_{30kV} = A / (\sqrt{3} * U) = 1156 \text{ A}$$

Dove:

I_{30kV} = Corrente di linea (fase) in [A]

A = Potenza Apparente (60 MW) in [W]

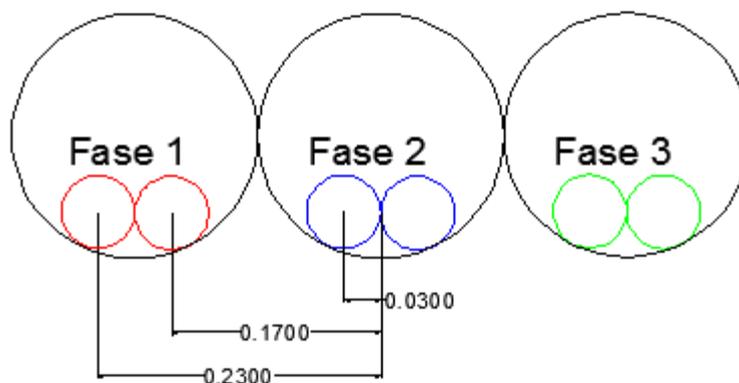
U = Tensione di fase MT (30 kV) in [V]

3.2.1 Calcolo della distanza di prima approssimazione del cavo MT del trasformatore

Il cavo di media tensione che interconnette il quadro MT con il trasformatore verrà dimensionato in funzione della massima potenza del trasformatore.

In base a queste considerazioni verrà quindi utilizzato un cavo di sezione pari a 2x630 mmq per fase.

Dal punto di vista della simulazione numerica il dato importante è la mutua distanza che intercorre tra i conduttori. Nel calcolo del campo magnetico del cavo in oggetto verranno utilizzati 2 conduttori per fase del tipo RG7H1R. I cavi verranno infilati entro tre tubazioni interrate da 200 mm di diametro con i due cavi di ciascuna fase entro lo stesso tubo.



I cavi avranno le seguenti caratteristiche:

Come si evince dal diagramma soprastante il valore del campo magnetico generato dal cavo MT è inferiore a $3 \mu\text{T}$ per distanze maggiori di 2,85 m dal centro della linea.

DPA cavo MT = 2,85 m

3.2.2 Calcolo della distanza di prima approssimazione del montante di trasformazione

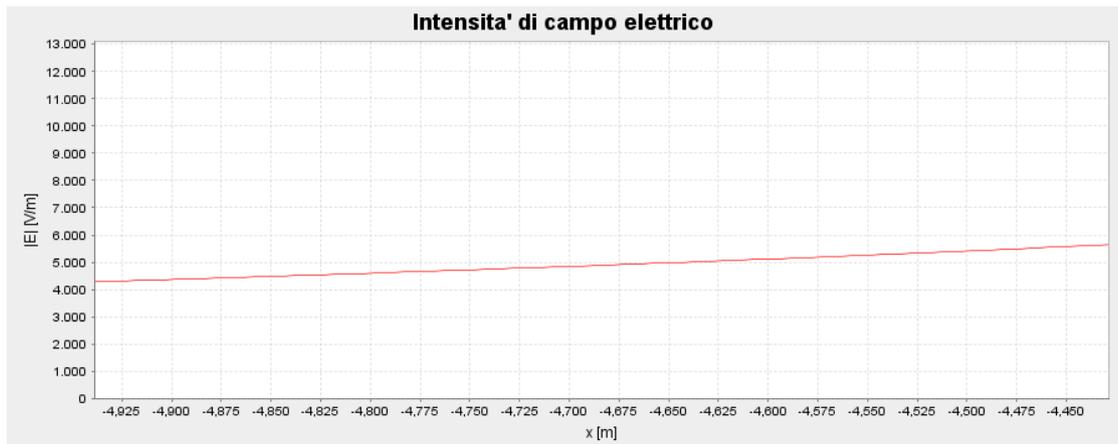
Per quanto riguarda le sbarre, essendo isolate in aria e non avendo nessuno schermo è necessario valutare oltre i limiti di emissione del campo magnetico anche quelli del campo elettrico generati.

Verifica campo elettrico

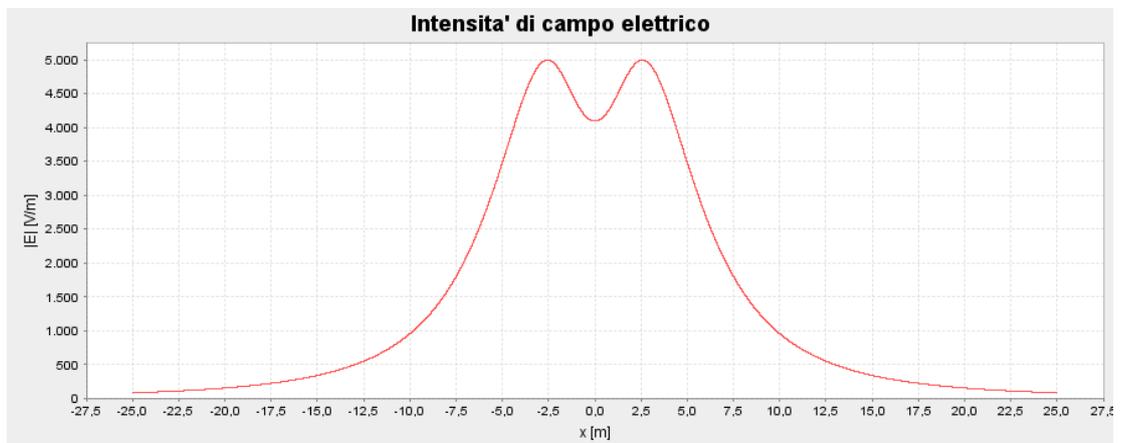
Per la verifica del campo elettrico si valuta che il suo valore sia sempre inferiore al valore limite di esposizione e cioè inferiore a 5 kV/m.

Per il calcolo del campo elettrico massimo si sono assunte le seguenti caratteristiche geometriche delle sbarre di sottostazione:

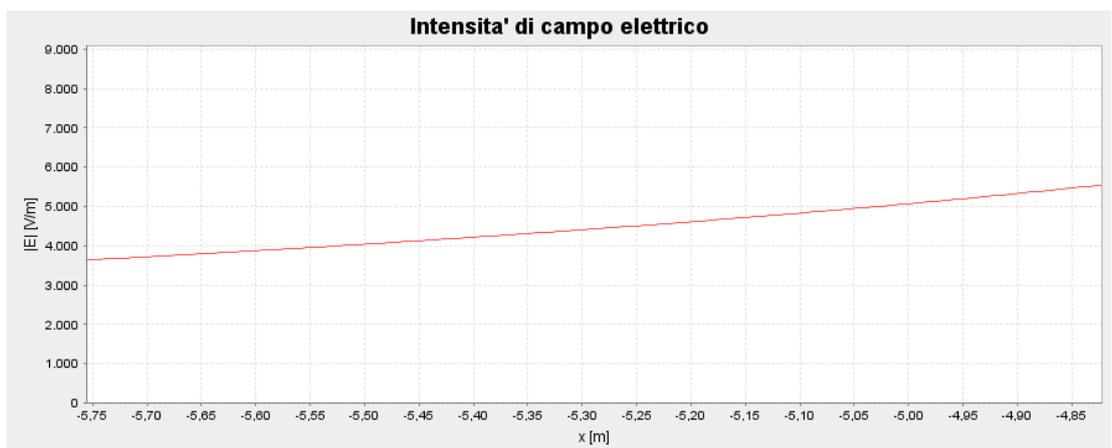
- Lunghezza = matematicamente infinita
- Distanza tra le singole sbarre = 2,2 m
- Altezza sbarre longitudinali 4,5 m
- Altezza sbarre trasversali 7,5 m
- diametro tubi sbarre trasversali $D=100 \text{ mm}$
- diametro carda in alluminio sbarre longitudinali $D=36 \text{ mm}$
- tensione del sistema 150 kV



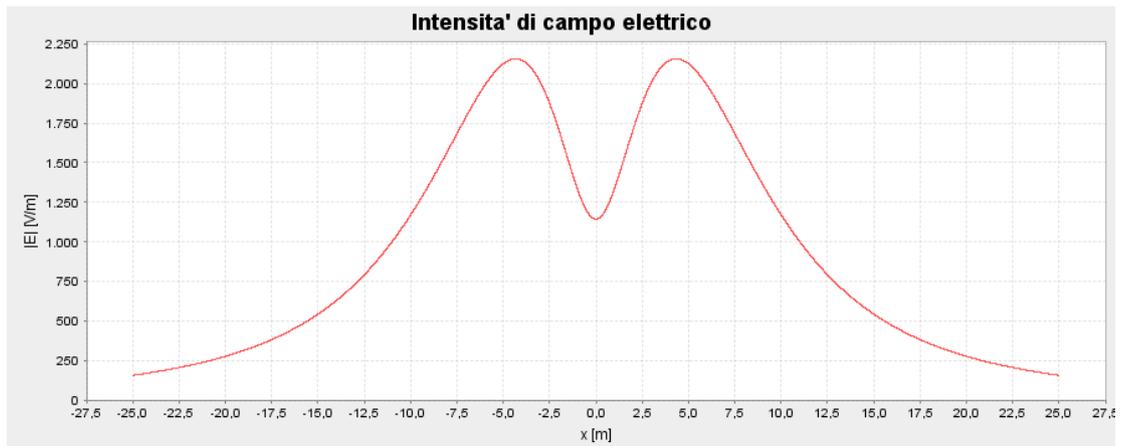
Campo elettrico sbarre longitudinali calcolato all'altezza delle sbarre.



Campo elettrico sbarre longitudinali calcolato a 1,5m dal piano di calpestio.



Campo elettrico sbarre trasversali calcolato all'altezza delle sbarre.



Campo elettrico sbarre trasversali calcolato a 1,5 m dal piano di calpestio.

Come si può osservare dalle figure sopra il valore del campo elettrico calcolato a 1,5 m dal suolo è sempre sotto il valore limite, e comunque, in similitudine al calcolo delle DPA per i campi di induzione magnetica, la fascia di rispetto sarebbe al massimo pari a 5,05 m dall'asse del conduttore centrale del sistema di sbarre.

Verifica campo magnetico

Per il calcolo del campo magnetico generato dalle sbarre, oltre la geometria delle sbarre, è necessario individuare la corrente massima che vi transita che come detto in precedenza sarà pari a:

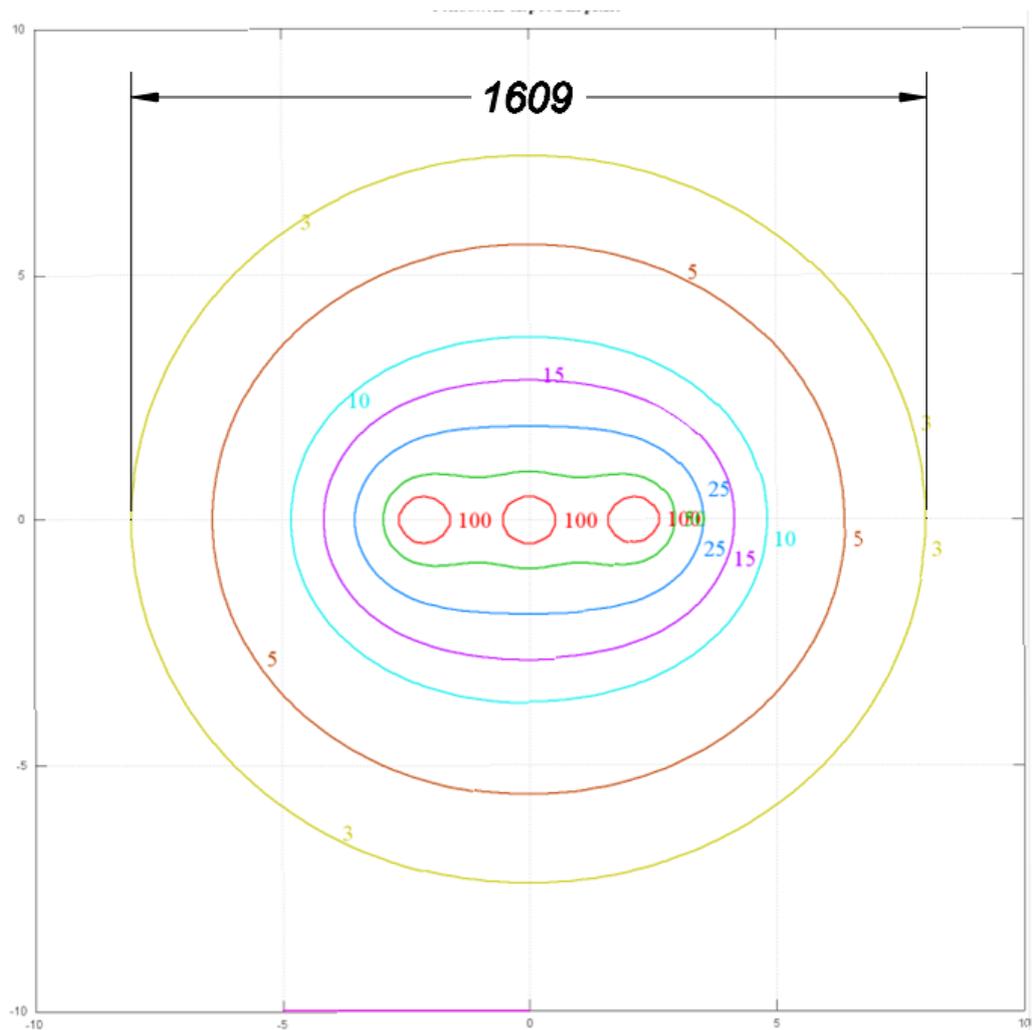
$$I_{150kV} = A / (\sqrt{3} * U) = 232 \text{ A}$$

Dove:

I_{150kV} = Corrente di linea (fase) in [A]

A = Potenza Apparente (60 MW) in [W]

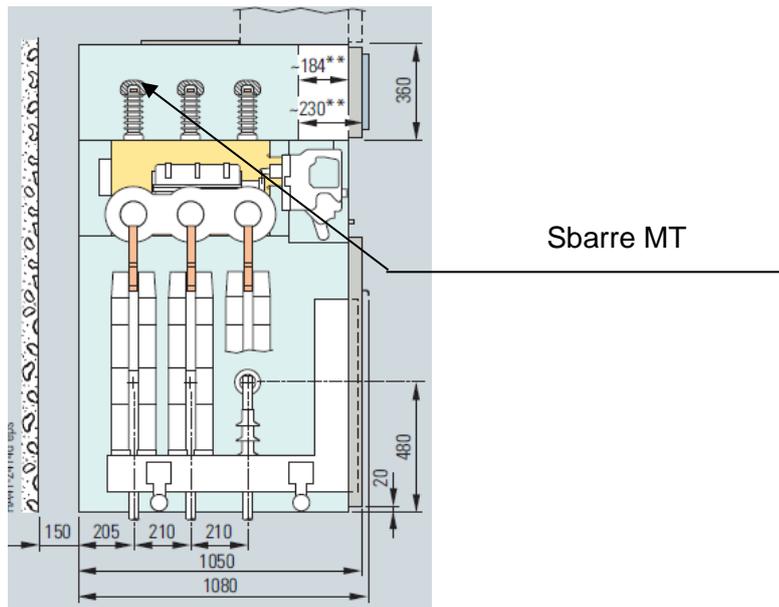
U = Tensione di fase AT (150 kV) in [V]



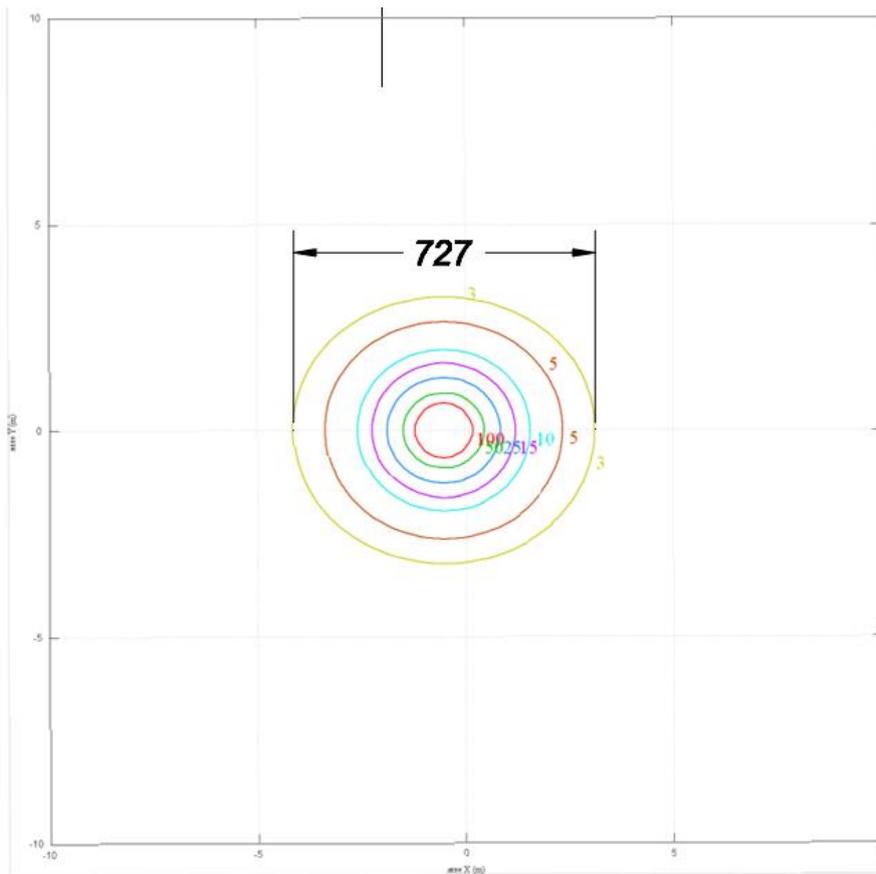
Come si evince dal diagramma soprastante il valore del campo magnetico generato dalle sbarre longitudinali e trasversali è inferiore a $3 \mu\text{T}$ per distanze maggiori di 8,1 m dal conduttore centrale.

3.2.3 Calcolo della distanza di prima approssimazione del quadro elettrico MT

Per simulare il campo di induzione magnetica generato dal quadro MT viene considerato un quadro MT isolato in aria con distanza tra i conduttori di sbarra pari a 210 mm. La corrente che utilizzeremo per il calcolo è quella del lato MT del trasformatore pari a 1156 A.



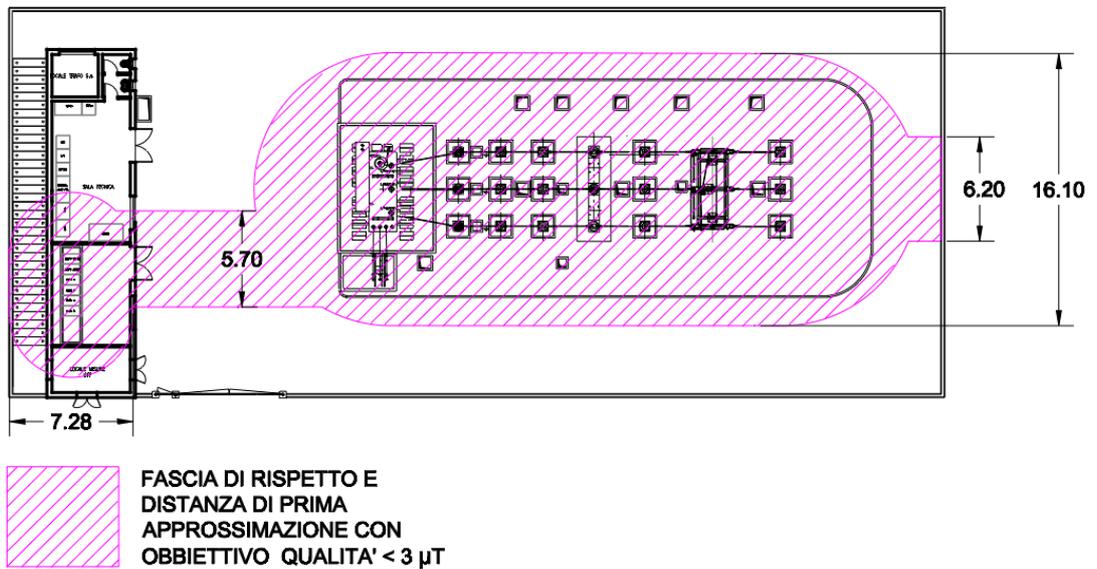
Esempio di cella del quadro MT isolato in aria



Il valore del campo elettromagnetico valutato all'altezza delle sbarre del quadro MT è inferiore a $3 \mu\text{T}$ per distanze maggiori di 3,65 m dal conduttore centrale.

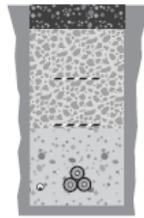
Per cui la DPA del quadro MT è pari a 3,65 m.

Riportando le DPA delle apparecchiature nella pianta della sottostazione produttore possiamo osservare che i valori del campo di induzione magnetica $<$ di $3 \mu\text{T}$ generati dalle apparecchiature elettriche della sottostazione produttore ricadono all'interno del recinto di sottostazione.



3.3 Calcolo della distanza di prima approssimazione dell'elettrodotto interrato in cavo AT

La valutazione delle distanze di prima approssimazione del cavo AT è stata eseguita utilizzando i valori tabellati nel documento ENEL "Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08".

Tipologia sostegno	Formazione	Armamento	Corrente	DPA (m)
<p>CAVI INTERRATI Semplice Terna cavi disposti a trifoglio (serie 132/150 kV)</p> <p><u>Scheda A15</u></p>	<p>108 mm 1600 mm²</p>		<p>1110</p>	<p>3.10</p>

Il valore della DPA risulta pari a 3.1 m

4 CONCLUSIONI

Da quanto sopra esposto si ricava che i cavi di media tensione di interconnessione degli aerogeneratori, essendo questi del tipo ad elica visibile, evidenziano valori del campo elettromagnetico sempre inferiori al limite di legge (DPA=0). L'elettrodotto in media tensione interrato che interconnette gli aerogeneratori alla sottostazione produttore ha una DPA di 1,45 m, mentre l'elettrodotto interrato in alta tensione che interconnette la sottostazione produttore alla Cabina Primaria dei E-Distribuzione ha una DPA di 3,1 m. Poiché i cavi sono interrati nella banchina stradale, una parte della DPA, quella ricade all'interno della sede stradale, mentre l'altra parte della DPA fiancheggia il percorso stradale per una distanza massima di 3 m. Possiamo comunque affermare che i fabbricati più prossimi al tracciato dell'elettrodotto non ricadono nella fascia della DPA poiché si trovano a distanze abbondantemente superiori.

I valori del campo di induzione magnetica $< 3\mu\text{T}$ generati dalle apparecchiature elettriche della sottostazione produttore ricadono all'interno del recinto di sottostazione.

Si può ancora osservare che la sottostazione di trasformazione e il parco eolico essendo telegestiti non richiedono la presenza costante di personale. La presenza di persone è limitata all'effettuazione di controlli e verifiche delle apparecchiature elettromeccaniche presenti nella sottostazione.

Sulla base dei risultati ottenuti, si ricava che sia i cavi di media tensione di interconnessione tra gli aerogeneratori, i cavi di interconnessione degli aerogeneratori alla sottostazione produttore, il cavo di alta tensione sia le apparecchiature elettromeccaniche presenti all'interno della sottostazione produttore soddisfano i criteri definiti dalla L.36/2001, dal D.P.C.M. 08/07/2003 e dal Decreto 29 maggio 2008, relativamente all'obiettivo di qualità per l'induzione magnetica.