REGIONE LIGURIA

Comuni:

Mallare (SV) – Orco Feglino (SV) – Altare (SV)

LOCALITA' BRIC DEL BORRO, BRIC PRA BOE', ACQUE, ISOLA GRANDE

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA
3 AEROGENERATORI

Progetto Stralcio – Torri assoggettate a procedura di VIA (rif. Decreto del Direttore Generale Settore Valutazione di Impatto Ambientale N.118 del 02.04.2009)

Sezione 9:

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE ED ALLEGATI

Titolo Elaborato:

RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO

N. Elaborato IN.SIA04 Data: **GIUGNO 2011**

Committente

Via Nazionale, 2
25052 Piancogno (BS)
p.iva 00814870986

Rappresentante Legale
Dott. Elio Rosario Gheza

Progettazione

Via A. De Gasperi, 34
82018 San Giorgio del Sannio (BN)
p.iva 01269320626

Progettista
Dott. Ing. Vittorio Iacono

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI NAPOLI
DOTT. ING.
IACONO VITTORIO
SEZIONE A
SETTORI: CIVILE E AMBIENTALE - INDUSTRIALE - DELL'INFORMAZIONE
N° ISCRIZ.:
13366

INDICE

PREMESSA **3**
INQUADRAMENTO NORMATIVO **3**
DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO **6**
Linee di distribuzione in MT (impianto di utenza) 7
Cabina di trasformazione MT/BT e cabina di consegna in MT 7
Linee di vettoriamento esterne al parco (impianto di rete) 7
METODOLOGIA DI CALCOLO **8**
Definizioni 8
Cenni teorici sul modello utilizzato 8
Metodo di calcolo 9
CAMPI ELETTROMAGNETICI CAVIDOTTI IN MT **10**
Simulazione di calcolo di linee di collegamento interne al parco 10
Simulazione del calcolo di linee di collegamento esterne al parco 17
Determinazione della distanza di prima approssimazione (Dpa) 18
Elementi di mitigazione 19
CAMPI ELETTROMAGNETICI CABINE MT/BT E CABINA DI CONSEGNA MT ... **20**
CONCLUSIONI **23**

PREMESSA

Obiettivo dell'iniziativa imprenditoriale a cui è legato il progetto è la realizzazione di una centrale eolica nel comune di Mallare (SV). La centrale sarà costituita da 3 aerogeneratori di potenza unitaria di 2300 kW, quindi con una potenza complessiva pari a 6.9 MW.

La relazione è stata redatta al fine di determinare i valori di elettromagnetismo attesi (calcolo previsionale) e la valutazione degli effetti ambientali conseguenti ai sensi della legge 36/01 e DPCM 08/07/2003. Nelle valutazioni si è tenuto conto anche dei tre aerogeneratori e relativo collegamento elettrico già approvati allo screening.

Secondo quanto ampiamente documentato nella letteratura sull'argomento, la presenza di campi elettromagnetici che possono indurre effetti nocivi sull'uomo può risultare significativa nel caso di linee elettriche aeree, soprattutto in alta ed altissima tensione.

Per tali linee, infatti, sono spesso prese in considerazione soluzioni alternative di tipo interrato, proprio al fine di ridurre gli effetti elettromagnetici.

Le caratteristiche costruttive delle centrali eoliche fanno sì che i livelli di elettromagnetismo risultanti si posizionino ben al di sotto di quelli che sono i limiti di legge; infatti, tali centrali utilizzano in maggior parte la media tensione per il collegamento alla rete elettrica esistente e i cavidotti di collegamento, spesso, sono realizzati attraverso linee interrate.

In tutti i casi, le soluzioni tecnologiche adottate consentono di guardare con assoluta tranquillità agli effetti sulla salute dovuti ai campi elettromagnetici riconducibili alla realizzazione.

INQUADRAMENTO NORMATIVO

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 radiobase, 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.

E' importante dunque distinguere il significato dei termini utilizzati nelle leggi (riportiamo

nella tabella 1 le definizioni inserite nella legge quadro).

Tabella 1: Definizioni di limiti di esposizione, di valori di attenzione e di obiettivi di qualità secondo la legge quadro.

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 29.08.2003) "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.

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 tabella 2, confrontati con la normativa europea.

Tabella 2: Limiti di esposizione, limiti di attenzione e obiettivi di qualità del DPCM 08/07/03, confrontati con i livelli di riferimento della Raccomandazione 1999/512CE.

Normativa	**Limiti previsti**	**Induzione magnetica B (μT)**	**Intensità del campo elettrico E (V/m)**
DPCM	Limite d'esposizione	100	5.000
	Limite d'attenzione	10	
	Obiettivo di qualità	3	
Racc. 1999/512/CE	Livelli di riferimento (ICNIRP1998, OMS)	100	5.000

Il valore di attenzione di 10 μT 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 μT 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.

E' opportuno anche ricordare che, in relazione ai campi elettromagnetici, la tutela della salute viene attuata – nell'intero territorio nazionale – esclusivamente attraverso il rispetto dei limiti prescritti dal D.P.C.M. 08.07.2003, al quale soltanto può farsi utile riferimento. In tal senso, con sentenza n. 307 del 7.10.2003 la Corte Costituzionale ha dichiarato l'illegittimità di alcune leggi regionali in materia di tutela dai campi elettromagnetici, per violazione dei criteri in tema di ripartizione di competenze fra Stato e Regione stabiliti dal nuovo Titolo V della Costituzione. Come emerge dal testo della sentenza, una volta fissati i valori-soglia di cautela per la salute, a livello nazionale, non è consentito alla legislazione regionale derogarli neanche in melius.

Per quanto riguarda la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, il direttore generale per la salvaguardia ambientale vista la legge 22 febbraio 2001, n. 36 e, in particolare, l'art. 4, comma 1, lettera h) che prevede, tra le funzioni dello Stato, la determinazione dei parametri per la previsione di fasce di rispetto per gli elettrodotti; visto il D.P.C.M. 8 luglio 2003, in base al quale il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare deve approvare la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto, definita dall'APAT, sentite le ARPA; ha approvato, con Decreto 29 Maggio 2008, "La metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti".

Tale metodologia, ai sensi dell'art. 6 comma 2 del D.P.C.M. 8 luglio 2003, ha lo scopo di fornire la procedura da adottarsi per la determinazione delle fasce di rispetto pertinenti alle linee elettriche aeree e interrate, esistenti e in progetto. I riferimenti contenuti in tale articolo implicano che le fasce di rispetto debbano attribuirsi ove sia applicabile l'obiettivo di qualità: "Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree di 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 ed installazioni elettriche già presenti nel territorio". (Art. 4)

Al fine di semplificare la gestione territoriale e il calcolo delle fasce di rispetto è stato introdotto nella metodologia di calcolo un procedimento semplificato che trasforma la fascia di rispetto (volume) in una distanza di prima approssimazione (distanza).

DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

I campi a frequenze estremamente basse (ELF), quali quelli che si manifestano nell'esercizio degli impianti eolici, sono quelli con frequenze fino a 300 Hz. A frequenze così basse corrispondono lunghezze d'onda in aria molto grandi (6000 km a 50 Hz e 5000 km a 60 Hz) e, in situazioni pratiche, 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 (μT). 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 eolici, essendo costituiti fondamentalmente da elementi per la produzione ed il trasporto di energia elettrica, sono interessati dalla presenza di campi elettromagnetici.

Il generatore e le linee elettriche costituiscono fonti di campi elettromagnetici a bassa frequenza (50 Hz); a queste fonti sono associate correnti elettriche a bassa e media tensione. Il generatore, infatti, produce energia a bassa tensione (0.4 kV) che viene trasformata in media tensione (15 kV) nella cabina di macchina posta ai piedi della torre di sostegno. Da questa l'energia elettrica viene inviata alla rete di distribuzione tramite cavidotti interrati.

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

- le linee di distribuzione in MT (impianto di utenza) per il collegamento degli aerogeneratori con i quadri in MT della cabina di consegna;
- le cabine di trasformazione MT/BT degli aerogeneratori e i quadri MT della cabina di consegna;
- le linee di vettoriamento in MT (impianto di rete) per il collegamento dei quadri in MT della cabina di consegna con il punto di consegna in MT all'interno della C.P. di Altare (SV).

Linee di distribuzione in MT (impianto di utenza)

Gli aerogeneratori sono connessi tra di loro e con il punto di consegna da una rete di distribuzione in cavo interrato esercita in media tensione a 15 kV. I cavi impiegati saranno del tipo schermato a conduttori unipolari, disposti ad elica visibile (a trifoglio), in Alluminio con sezioni da 95 a 300 mmq. L'isolamento sarà costituito da una mescola elastomerica reticolata di propilene corrispondente alle norme CEI 20-13. I cavi saranno provvisti di strati semiconduttori interni ed esterni all'isolante. I cavidotti saranno interrati con modalità M per cavi di categoria 2, ad una profondità minima di 1,2 metri. La sezione dei singoli cavi componenti le terne, presenta le seguenti caratteristiche dimensionali:

Sezione conduttore	Diametro conduttore	Spessore Isolante	Diametro cavo	Tipologia	Portata
[mm²]	[mm]	[mm]	[mm]		[A]
3x1x95	11,4	5,5	31,6	Elica visibile	253
3x1x185	15,8	5,5	36,3	Elica visibile	365
3x1x300	20,8	5,5	42.1	Elica visibile	478

In relazione ai cavi riportati in tabella si fa presente che per i cavi di tipo cordato ad elica visibile, non è prevista la determinazione della distanza di prima approssimazione come indicato nel D.M. del 29 Maggio 2008.

Cabina di trasformazione MT/BT e cabina di consegna in MT

Le cabine di trasformazione sono ubicate all'interno degli aerogeneratori ed hanno il compito di trasformare l'energia elettrica prodotta dal generatore, posto nella navicella, dalla bassa tensione alla tensione di 15 kV, ossia in media tensione.

Per quanto riguarda la cabina di consegna, ogni quadro MT può considerarsi punto di arrivo dei rami provenienti dagli aerogeneratori (impianti di utenza) e punto di partenza della linea di vettoriamento (impianto di rete) che trasferisce l'energia prodotta alla cabina primaria MT/AT.

Linee di vettoriamento esterne al parco (impianto di rete)

Dai quadri in MT all'interno della cabina di consegna l'intera energia prodotta viene trasferita da un elettrodotto interrato realizzato in cavo di tipo unipolare con disposizione ad elica visibile a corda rigida compatta di alluminio con isolante in mescola elastomerica reticolata. La sezione dei singoli cavi componenti le terne, presenta le seguenti caratteristiche dimensionali:

Sezione conduttore	Diametro conduttore	Spessore Isolante	Diametro cavo	Tipologia	Portata
[mm²]	[mm]	[mm]	[mm]		[A]
3x1x185	15,8	5,5	36,3	Elica visibile	365

In relazione ai cavi riportati in tabella si fa presente che per i cavi di tipo cordato ad elica visibile, non è prevista la determinazione della distanza di prima approssimazione come indicato nel D.M. del 29 Maggio 2008.

METODOLOGIA DI CALCOLO

Definizioni

In riferimento all'allegato del D.M. del 29 Maggio 2008 "*Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto*" si introducono le seguenti definizioni:

Corrente

Valore efficace dell'intensità di corrente elettrica.

Portata in corrente in servizio normale

Corrente che può essere sopportata da un conduttore per il 100% del tempo con limiti accettabili del rischio di scarica sugli oggetti mobili e sulle opere attraversate e dell'invecchiamento. Essa è definita nella norma CEI 11-60 par. 2.6 e sue successive modifiche e integrazioni.

Portata in regime permanente

Massimo valore della corrente che, in regime permanente e in condizioni specificate, il conduttore può trasmettere senza che la sua temperatura superi un valore specificato (secondo CEI 11-17 par. 1.2.05).

Fascia di rispetto

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.

Distanza di prima approssimazione (Dpa)

Distanza, in pianta sul livello del suolo, dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più di Dpa si trovi all'esterno delle fasce di rispetto. Per le cabine è la distanza, in pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra.

Cenni teorici sul modello utilizzato

L'induzione magnetica B generata da NR conduttori filiformi, numerati da 0 a (NR-1), può essere calcolata con l'espressione riportata di seguito; si fa notare che solo i conduttori reali contribuiscono al campo magnetico, perché si assume il suolo perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico e non si considerano quindi i conduttori immagine.

$$\vec{B} = -\frac{\mu_0}{4\pi}\sum_{k=0}^{NR-1}\int_{C_k}\frac{i}{r^3}\vec{r}\times\vec{dl}$$

dove **μ0** è la permeabilità magnetica del vuoto, **NR** è il numero dei conduttori (nel nostro caso pari a 3), **i** la corrente, **Ck** il conduttore generico, **dl** un suo tratto elementare, **r** la distanza tra questo tratto elementare ed il punto dove si vuole calcolare il campo.
Il modello adottato (conduttori cilindrici rettilinei orizzontali indefiniti paralleli tra di loro) consente di eseguire facilmente l'integrazione e semplificare i calcoli.
Indicato con **Q** il punto dove si vuole determinare il campo, definiamo sezione normale il piano verticale passante per Q e ortogonale ai conduttori; indichiamo quindi con **Pk** il punto dove il generico conduttore **Ck** interseca la *sezione normal*e, e con **Ik** la corrente nel singolo conduttore (si è preso l'asse **z** nella direzione dei conduttori).
Con queste posizioni, per l'induzione magnetica in Q si ottiene l'espressione

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi}\sum_{k=0}^{NR-1}\frac{i_k\vec{z}\times(Q-P_k)}{|Q-P_k|^2}$$

La formula indica che l'induzione magnetica è inversamente proporzionale al quadrato della distanza del punto di interesse dai conduttori; esiste inoltre una proporzionalità diretta tra l'induzione e la distanza tra i singoli conduttori di ogni terna.

Metodo di calcolo

Lo studio dell'impatto elettromagnetico nel caso di linee elettriche aeree e non, si traduce nella determinazione di una fascia di rispetto. Per l'individuazione di tale fascia si deve effettuare il calcolo dell'induzione magnetica basato sulle caratteristiche, geometriche, meccaniche ed elettriche della linea presa in esame. Esso deve essere eseguito secondo modelli tridimensionali o bidimensionali con l'applicazione delle condizioni espresse al paragrafo 6.1 della norma CEI 106-11, che considera lo sviluppo della catenaria in condizioni di freccia massima, l'altezza dei conduttori sul livello del suolo e l'andamento del terreno.
Al fine di semplificare la gestione territoriale e il calcolo delle fasce di rispetto, in prima approssimazione è possibile:

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

- Proiettare al suolo verticalmente tale fascia;
- Individuare l'estensione rispetto alla proiezione del centro linea (Dpa).

CAMPI ELETTROMAGNETICI CAVIDOTTI IN MT

Per la realizzazione dei cavidotti di 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 in MT 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 in prossimità dei cavi.
Sebbene il D.M. 29 Maggio 2008 non prevede il calcolo della distanza di prima approssimazione per linee interrate in MT con cavi cordati ad elica, si procederà ugualmente alla sua determinazione a favore di una maggiore sicurezza.

Simulazione di calcolo di linee di collegamento interne al parco

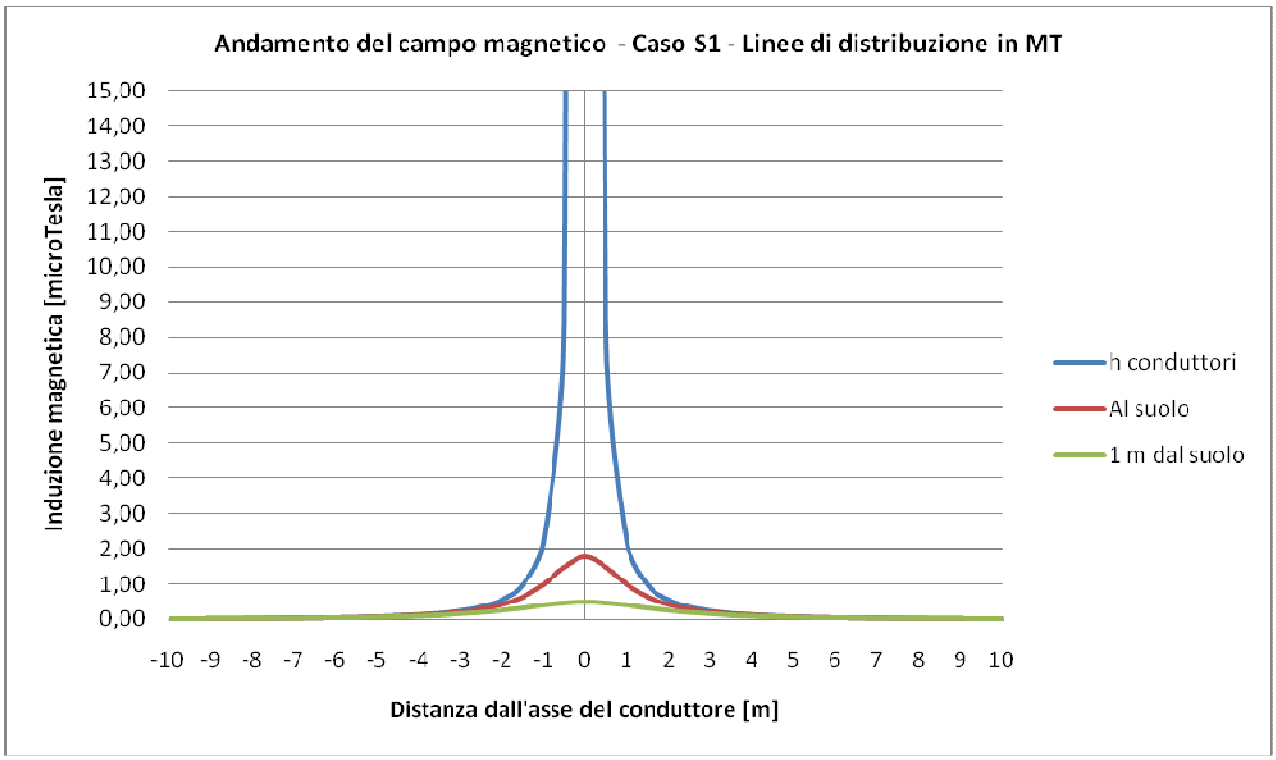
Nel caso in questione, lo studio del campo elettromagnetico è stato effettuato, alla tensione nominale di 15 kV, sui seguenti tratti di cavidotto così costituiti:

- **S1**: una terna di conduttori di sezione 95 mm² percorsa da corrente massima pari a 253 A;
- **S2**: due terne di conduttori di sezione 95 mm² e 185 mm² percorse rispettivamente da corrente massima pari a 252 A e 365 A;
- **S3:** una terna di conduttori di sezione 185 mm² percorsa da corrente massima pari a 365 A;
- **S4**: due terne di conduttori di sezione 185 mm² e 300 mm² percorse rispettivamente da corrente massima pari a 365 A e 475 A;
- **S5**: una terna di conduttori di sezione 300 mm² percorsa da corrente massima pari a 475 A;
- **S6**: una terna di conduttori di sezione 300 mm² affiancata ad un ulteriore terna di sezione 300 mm² appartenente ad un altro impianto, entrambe percorse da corrente massima pari a 475 A.

I valori del campo magnetico sono stati misurati ad altezza conduttori, al suolo e ad 1 m dal suolo. Più precisamente, i risultati di seguito riportati illustrano l'andamento del campo

magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori e l'andamento del campo magnetico su di un asse ortogonale all'asse dei conduttori.

S1 - Cavidotto in MT ad una terna di sezione 95 mm² interrata a 1,20 m dal piano di campagna.

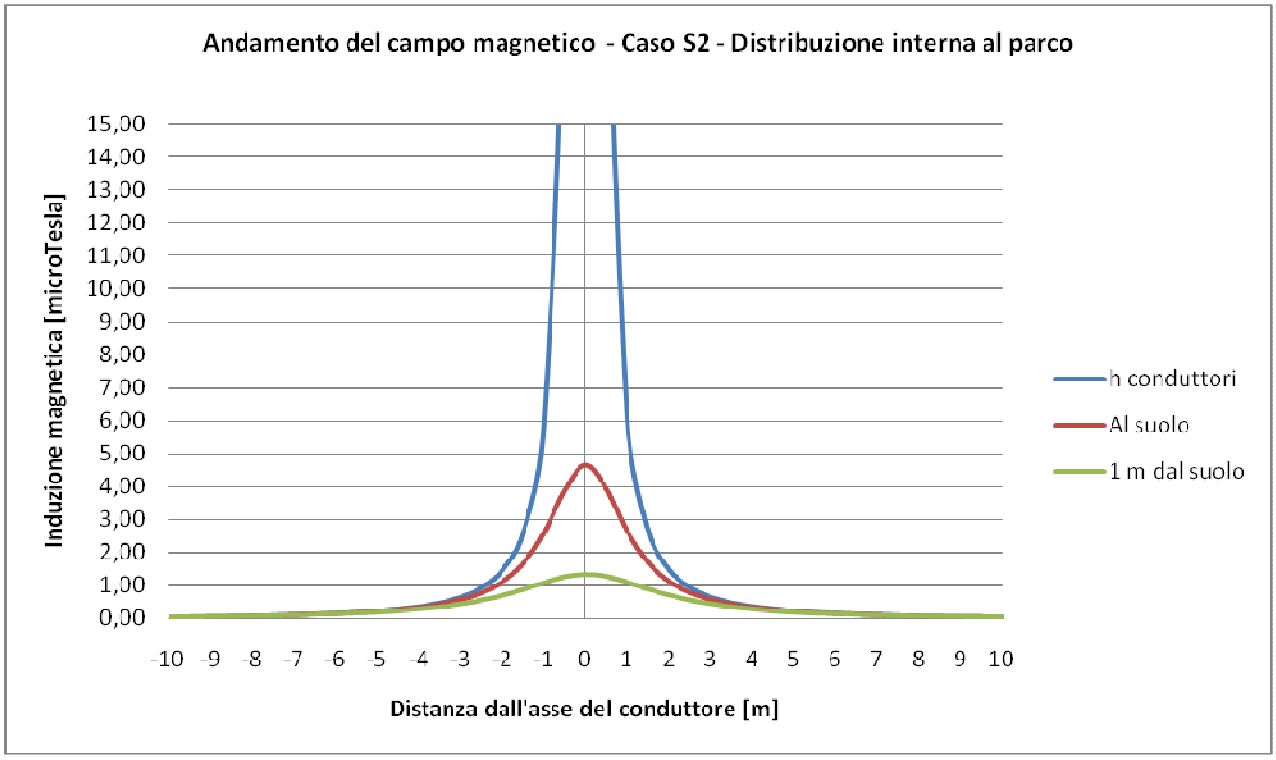


Distanza dai cavi	*Altezza conduttori*	*Al suolo*	*Ad 1 m dal suolo*
-10,00	0,02	0,02	0,02
-9,00	0,03	0,03	0,03
-8,00	0,04	0,03	0,03
-7,00	0,05	0,04	0,04
-6,00	0,06	0,06	0,06
-5,00	0,09	0,09	0,08
-4,00	0,14	0,13	0,11
-3,00	0,25	0,22	0,17
-2,00	0,56	0,43	0,26
-1,00	2,22	1,00	0,41
0,00	156,58	1,79	0,50
1,00	2,22	1,00	0,41
2,00	0,56	0,43	0,26
3,00	0,25	0,22	0,17
4,00	0,14	0,13	0,11
5,00	0,09	0,09	0,08
6,00	0,06	0,06	0,06
7,00	0,05	0,04	0,04

8,00	0,04	0,03	0,03
9,00	0,03	0,03	0,03
10,00	0,02	0,02	0,02

Figura 1: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica e tabellare – CASO S1 – Linee di distribuzione in MT (impianto di utenza)

S2 - Cavidotto in MT a due terne di sezione 95 mm² e 185 mm² interrate a 1,20 m dal piano di campagna.

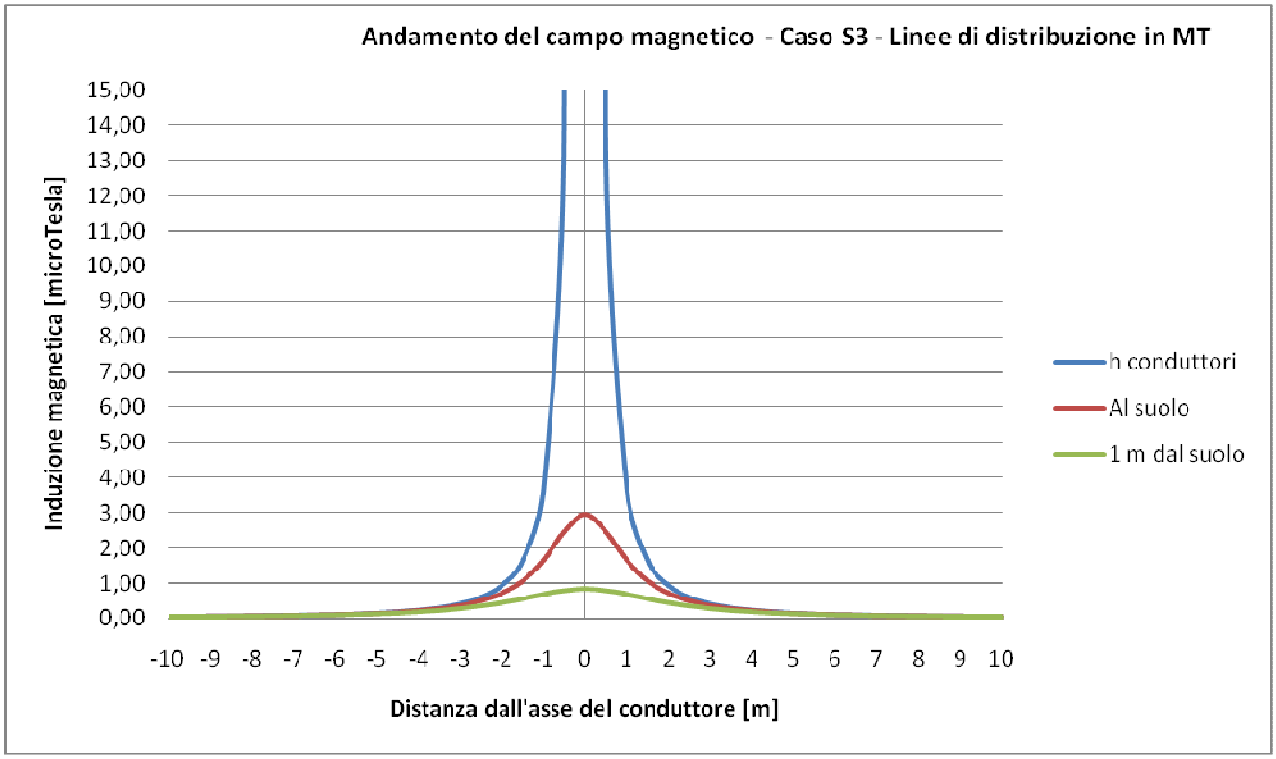


Distanza dai cavi	*Altezza conduttori*	*Al suolo*	*Ad 1 m dal suolo*
-10,00	0,04	0,04	0,04
-9,00	0,05	0,05	0,04
-8,00	0,06	0,06	0,05
-7,00	0,08	0,07	0,07
-6,00	0,10	0,10	0,09
-5,00	0,15	0,14	0,13
-4,00	0,23	0,22	0,18
-3,00	0,41	0,36	0,28
-2,00	0,93	0,71	0,44
-1,00	3,67	1,65	0,68
0,00	248,29	2,95	0,83
1,00	3,67	1,65	0,68
2,00	0,93	0,71	0,44
3,00	0,41	0,36	0,28
4,00	0,23	0,22	0,18
5,00	0,15	0,14	0,13
6,00	0,10	0,10	0,09
7,00	0,08	0,07	0,07

8,00	0,06	0,06	0,05
9,00	0,05	0,05	0,04
10,00	0,04	0,04	0,04

Figura 2: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica e tabellare – CASO S2 - Linee di distribuzione in MT (impianto di utenza)

S3 - Cavidotto in MT ad una terna di sezione 185 mm² interrata a 1,20 m dal piano di campagna.

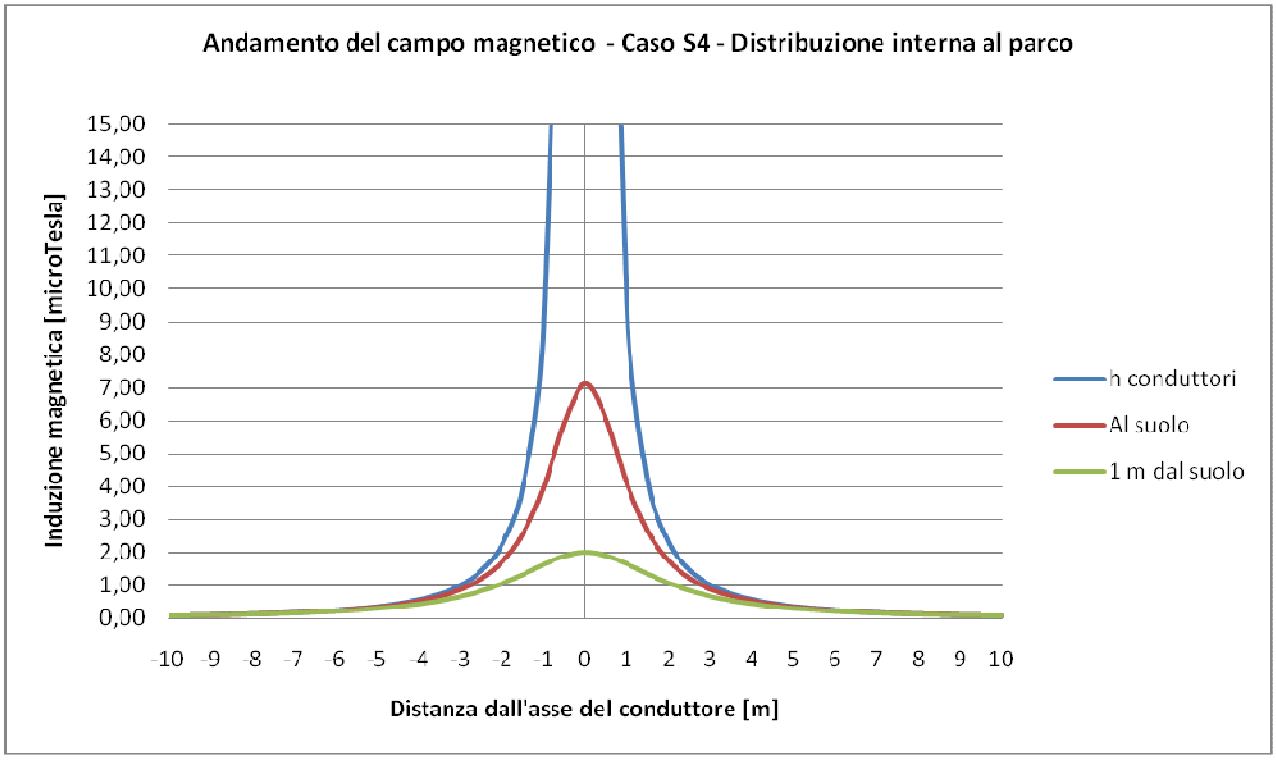


Distanza dai cavi	*Altezza conduttori*	*Al suolo*	*Ad 1 m dal suolo*
-10,00	0,04	0,04	0,04
-9,00	0,05	0,05	0,04
-8,00	0,06	0,06	0,05
-7,00	0,08	0,07	0,07
-6,00	0,10	0,10	0,09
-5,00	0,15	0,14	0,13
-4,00	0,23	0,22	0,18
-3,00	0,41	0,36	0,28
-2,00	0,93	0,71	0,44
-1,00	3,67	1,65	0,68
0,00	248,29	2,95	0,83
1,00	3,67	1,65	0,68
2,00	0,93	0,71	0,44
3,00	0,41	0,36	0,28
4,00	0,23	0,22	0,18
5,00	0,15	0,14	0,13
6,00	0,10	0,10	0,09
7,00	0,08	0,07	0,07

8,00	0,06	0,06	0,05
9,00	0,05	0,05	0,04
10,00	0,04	0,04	0,04

Figura 3: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica e tabellare – CASO S3 - Linee di distribuzione in MT

S4 - Cavidotto in MT a due terne di sezione 185 mm² e 300 mm² interrate a 1,20 m dal piano di campagna.

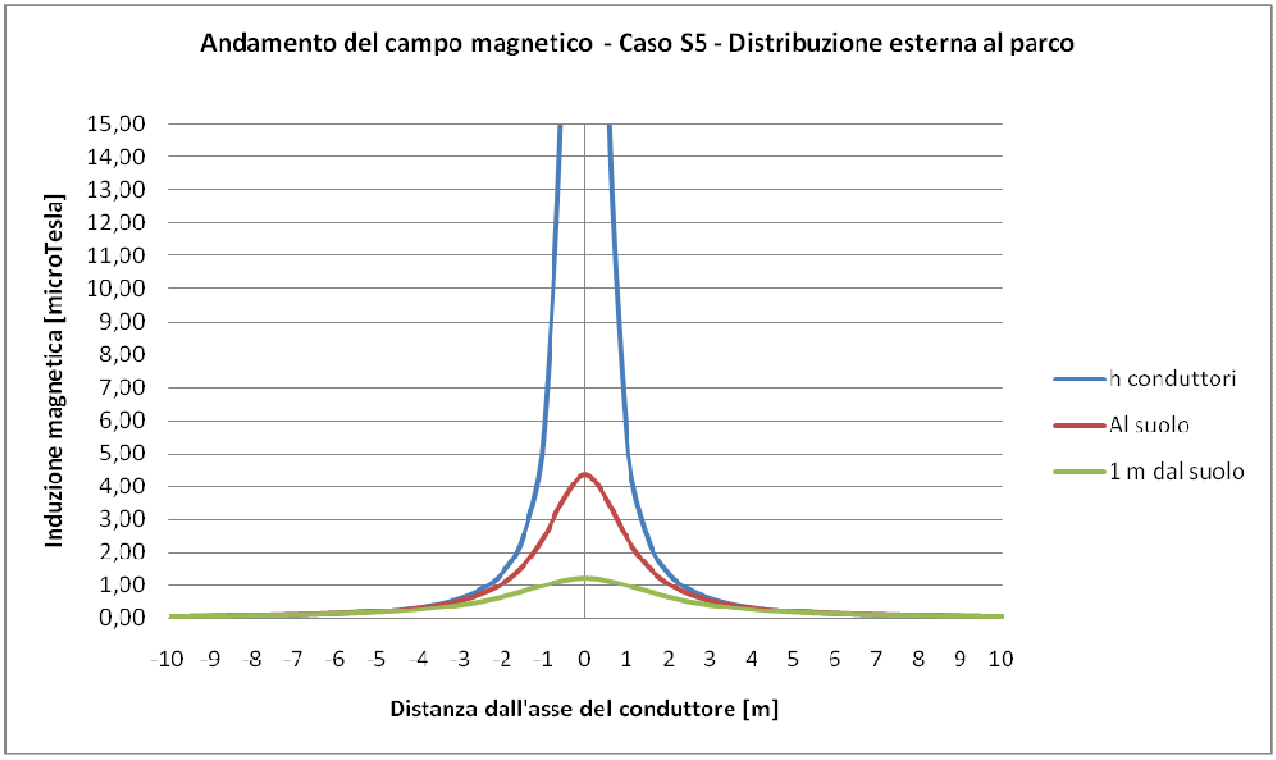


Distanza dai cavi	*Altezza conduttori*	*Al suolo*	*Ad 1 m dal suolo*
-10,00	0,09	0,09	0,09
-9,00	0,11	0,11	0,11
-8,00	0,14	0,14	0,13
-7,00	0,19	0,18	0,17
-6,00	0,25	0,24	0,23
-5,00	0,36	0,35	0,31
-4,00	0,57	0,53	0,44
-3,00	1,01	0,88	0,67
-2,00	2,25	1,72	1,07
-1,00	8,86	3,98	1,65
0,00	187,99	7,14	2,02
1,00	9,53	4,11	1,67
2,00	2,34	1,77	1,09
3,00	1,03	0,90	0,68
4,00	0,58	0,54	0,45
5,00	0,37	0,35	0,31
6,00	0,26	0,25	0,23
7,00	0,19	0,18	0,17

8,00	0,14	0,14	0,13
9,00	0,11	0,11	0,11
10,00	0,09	0,09	0,09

Figura 4: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica e tabellare – CASO S4 - Linee di distribuzione in MT

S5 - Cavidotto in MT ad una terna di sezione 300 mm² interrata a 1,20 m dal piano di campagna.

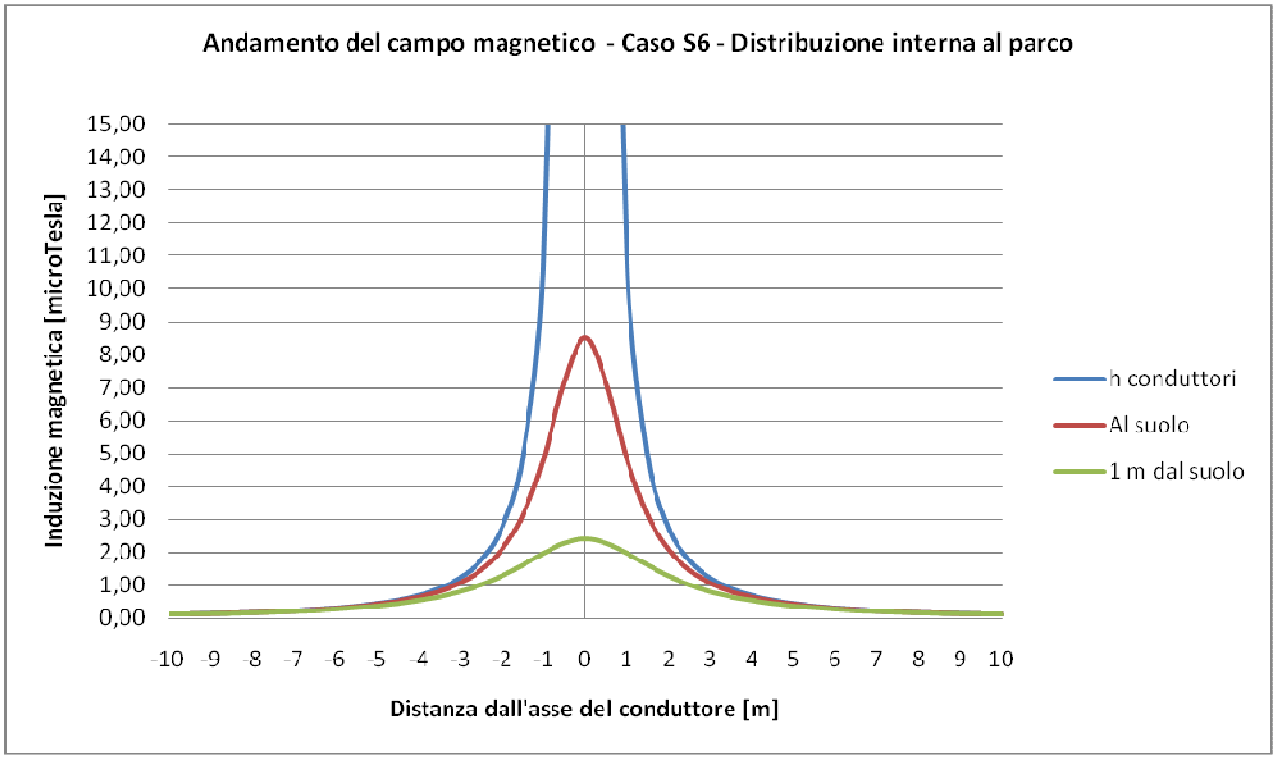


Distanza dai cavi	*Altezza conduttori*	*Al suolo*	*Ad 1 m dal suolo*
-10,00	0,06	0,05	0,05
-9,00	0,07	0,07	0,06
-8,00	0,09	0,08	0,08
-7,00	0,11	0,11	0,10
-6,00	0,15	0,15	0,14
-5,00	0,22	0,21	0,19
-4,00	0,35	0,32	0,27
-3,00	0,62	0,54	0,41
-2,00	1,38	1,05	0,65
-1,00	5,46	2,44	1,00
0,00	352,73	4,37	1,23
1,00	5,46	2,44	1,00
2,00	1,38	1,05	0,65
3,00	0,62	0,54	0,41
4,00	0,35	0,32	0,27
5,00	0,22	0,21	0,19
6,00	0,15	0,15	0,14
7,00	0,11	0,11	0,10

8,00	0,09	0,08	0,08
9,00	0,07	0,07	0,06
10,00	0,06	0,05	0,05

Figura 5: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica e tabellare – CASO S5 - Linee di distribuzione in MT

S5 - Cavidotto in MT ad una terna di sezione 300 mm² in presenza di un ulteriore terna da 300 mm² di altro produttore interrate a 1,20 m dal piano di campagna.



Distanza dai cavi	*Altezza conduttori*	*Al suolo*	*Ad 1 m dal suolo*
-10,00	0,11	0,11	0,11
-9,00	0,14	0,13	0,13
-8,00	0,17	0,17	0,16
-7,00	0,22	0,22	0,21
-6,00	0,30	0,29	0,27
-5,00	0,44	0,42	0,37
-4,00	0,69	0,64	0,54
-3,00	1,22	1,07	0,81
-2,00	2,75	2,09	1,29
-1,00	11,02	4,83	1,98
0,00	196,23	8,51	2,42
1,00	11,02	4,83	1,98
2,00	2,75	2,09	1,29
3,00	1,22	1,07	0,81
4,00	0,69	0,64	0,54
5,00	0,44	0,42	0,37
6,00	0,30	0,29	0,27
7,00	0,22	0,22	0,21

8,00	0,17	0,17	0,16
9,00	0,14	0,13	0,13
10,00	0,11	0,11	0,11

Figura 6: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica e tabellare – CASO S6 - Linee di distribuzione in MT

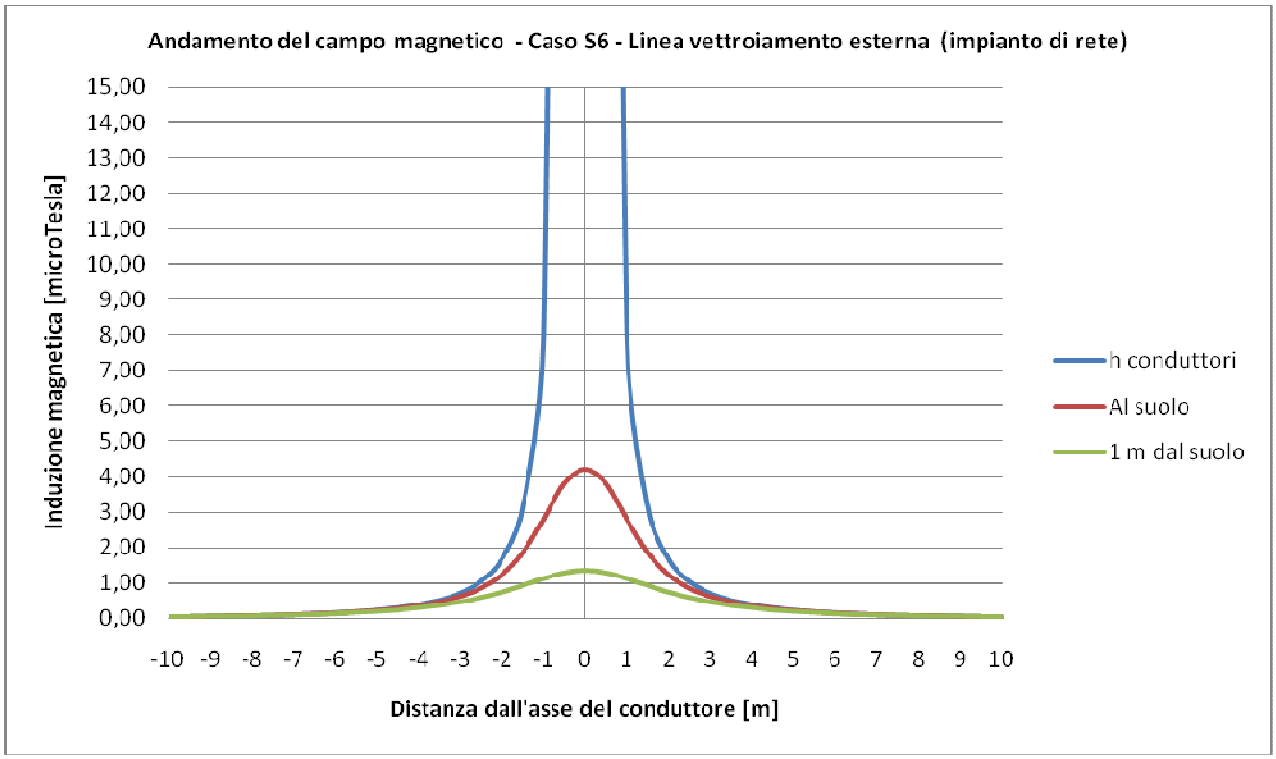
Simulazione del calcolo di linee di collegamento esterne al parco

Per la linea di vettoriamento (impianto di rete) che collega la cabina di consegna con la cabina primaria MT/AT di Altare (SV), lo studio del campo elettromagnetico è stato effettuato, alla tensione nominale di 15 kV, sul seguente tratto di cavidotto costituito da:

- **S7**: due terne di conduttori di sezione 185 mm² percorse da corrente massima pari a 365 A.

Anche in questo caso i valori del campo magnetico sono stati misurati ad altezza conduttori, al suolo e ad 1 m dal suolo. Più precisamente, i risultati di seguito riportati illustrano, per ognuna delle situazioni richiamate, l'andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori e l'andamento del campo magnetico su di un asse ortogonale all'asse dei conduttori.

S7 - Cavidotto esterno MT a due terne di sezione 185 mm² interrate a 1,20 m dal piano di campagna.



Distanza dai cavi	*Altezza conduttori*	*Al suolo*	*Ad 1 m dal suolo*
-10,00	0,06	0,06	0,06
-9,00	0,08	0,08	0,08
-8,00	0,10	0,10	0,09
-7,00	0,13	0,13	0,12
-6,00	0,18	0,17	0,16
-5,00	0,26	0,25	0,22
-4,00	0,41	0,38	0,32
-3,00	0,73	0,64	0,48
-2,00	1,70	1,25	0,75
-1,00	8,03	2,81	1,13
0,00	46,64	4,21	1,35
1,00	8,03	2,81	1,13
2,00	1,70	1,25	0,75
3,00	0,73	0,64	0,48
4,00	0,41	0,38	0,32
5,00	0,26	0,25	0,22
6,00	0,18	0,17	0,16
7,00	0,13	0,13	0,12
8,00	0,10	0,10	0,09
9,00	0,08	0,08	0,08
10,00	0,06	0,06	0,06

Figura 7: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica e tabellare – CASO S7 – Linea di vettoriamento in MT (impianto di rete)

Determinazione della distanza di prima approssimazione (Dpa)

Il calcolo della Dpa per i cavidotti di collegamento in MT simulati si traduce graficamente nell'individuazione di una distanza che ha origine dal punto di proiezione dall'asse del cavidotto al suolo e ha termine in un punto individuato sul suolo il cui valore del campo magnetico risulta essere uguale o inferiore ai 3 μT. Si riportano nella seguente tabella le distanze di prima approssimazione per i tratti di cavidotto presi in esame:

Tabella 3: Distanza di prima approssimazione per cavidotti interni ed esterni al parco eolico.

CASO DI STUDIO	N°TERNE	SEZIONI [mm²]	TIPOLOGIA CAVO	TENSIONE [kV]	DPA [m]
S1	1	3x1x95	elica cordato	15	**1**
S2	1	3x1x95	elica cordato	15	**2**
	1	3x1x185	elica cordato	15	
S3	1	3x1x185	elica cordato	15	**2**
S4	1	3x1x185	elica cordato	15	**2**
	1	3x1x300	elica cordato	15	
S5	1	3x1x300	elica cordato	15	**2**
S6	2	3x1x300	elica cordato	15	**2**

S7	2	3x1x185	elica cordato	15	**2**

Elementi di mitigazione

Qualora durante la fase di esercizio dell'impianto eolico, a seguito di misure dei campi magnetici lungo il cavidotto, in prossimità di ambienti abitativi, si riscontrassero delle DpA diverse e comunque maggiori rispetto a quelle calcolate sarà cura del proponente applicare degli elementi di mitigazione.

Il modo migliore per limitare il campo magnetico è schermarlo.

Le possibili schermature possono essere:

- Schermature attive;
- Schermature passive.

La schermatura attiva consiste nel creare, attraverso circuiti controllati, un campo contrario a quello disturbante con lo scopo di tendere ad annullarlo. Questa tecnica è molto complessa e costosa e viene utilizzata soltanto per applicazioni molto particolari.

La schermatura passiva consiste invece nel collocare schermi, costituiti da materiali con opportuna forma e disposizione, nelle vicinanze delle sorgenti di campo e può essere realizzata con materiali magnetici o con materiali conduttori. La schermatura con materiali magnetici ha lo scopo di realizzare una via preferenziale per le linee di campo che saranno spinte a deviare dal loro percorso quanto più è elevata la permeabilità magnetica del materiale di cui lo schermo è costituito. I materiali utilizzati allo scopo sono il mumetal e il permalloy.

La schermatura con materiali conduttori si ottiene, invece, grazie alla proprietà di questi materiali di creare un campo contrario a quello di disturbo. E' noto, infatti, che un corpo conduttore immerso in un campo magnetico variabile diventa sede di correnti indotte, le quali tendono ad annullare il campo che le ha generate. I materiali comunemente utilizzati sono il rame e l'alluminio; quest'ultimo preferito per il minor costo ed il minor peso a confronto di un'accettabile riduzione di conducibilità.

CAMPI ELETTROMAGNETICI CABINE MT/BT E CABINA DI CONSEGNA MT

Riguardo le cabine di trasformazione MT/BT poste all'interno degli aerogeneratori, si fa riferimento alla tabella 4 che riporta i valori di campo elettrico e di campo magnetico misurati ai piedi di una turbina eolica, ossia, in corrispondenza del trasformatore interno al pilone di sostegno. Il campo elettrico è risultato pari a 2 V/m e il campo magnetico pari a 0,6 μT, valori inferiori ai limiti di legge.

Tabella 4

Luogo di misura	Valore di intensità di campo elettrico (V/m)	Valore di intensità di induzione magnetica (10^{-6} tesla)
Piedi di una turbina eolica	**2**	**0,6**
Periferia dell'impianto	**0**	**0,1**

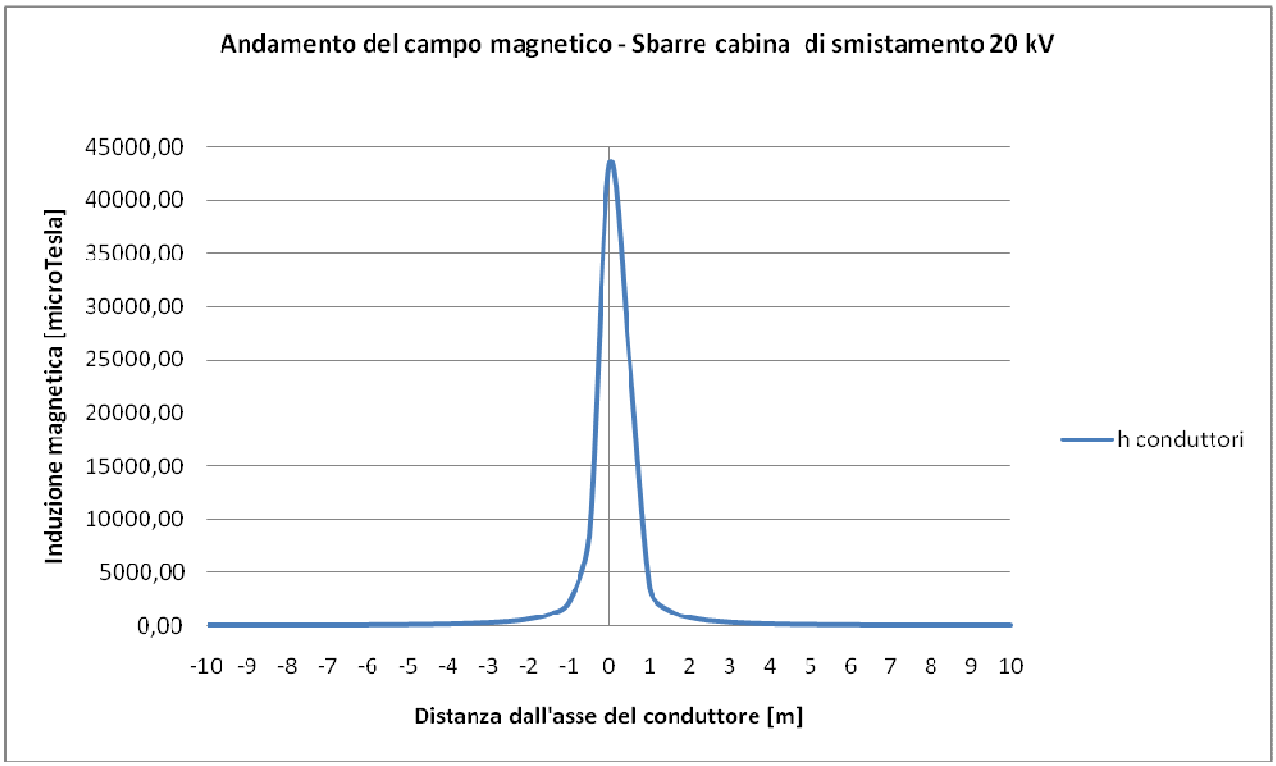
Il calcolo del campo elettromagnetico per la cabina di consegna MT, invece, è stato effettuato sulle sbarre a 20 kV dei quadri in MT. I parametri geometrici utilizzati per il calcolo risultano i seguenti:

- altezza delle sbarre: 1.1 m;
- distanza tra le sbarre: 0.3 m;

I parametri elettrici riportati nel software risultano, invece, i seguenti:

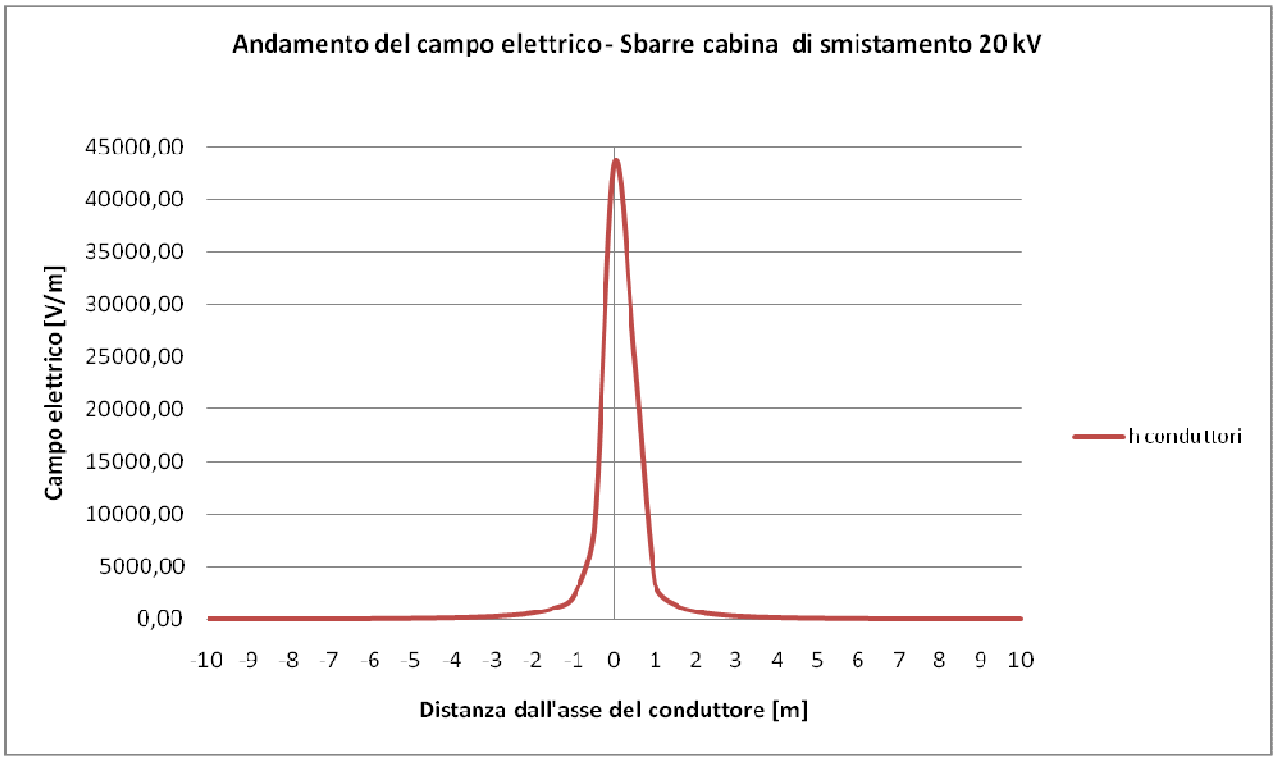
- valore efficace della corrente delle sbarre: 800 A;
- valore efficace della tensione fra conduttore e terra: 11560 V;

A favore della sicurezza, i valori di corrente utilizzati nella simulazione di calcolo sono quelli relativi alle correnti termiche nominali delle sbarre a 20 kV.
I valori di campo magnetico sono stati calcolati ad altezza conduttori, più precisamente, i risultati di seguito riportati illustrano l'andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse delle sbarre e su di un asse ortogonale alle stesse.



Distanza dall'asse [m]	Valori di campo magnetico [µT]
	Altezza conduttori
-10,00	0,82
-9,00	1,01
-8,00	1,27
-7,00	1,65
-6,00	2,24
-5,00	2,98
-4,00	4,97
-3,00	8,74
-2,00	19,26
-1,00	74,37
0,00	1425,81
1,00	115,56
2,00	23,65
3,00	10,00
4,00	5,50
5,00	2,98
6,00	2,39
7,00	1,75
8,00	1,33
9,00	1,05
10,00	0,85

Figura 8: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica e tabellare - Sbarre MT dei quadri della cabina di consegna



Distanza dall'asse [m]	Valori di campo elettrico [V/m] *Altezza conduttori*
0,00	43342,30
0,50	24863,10
1,00	3381,50
1,50	1376,50
2,00	734,50
2,50	442,10
3,00	286,70
3,50	196,40
4,00	140,50
4,50	104,20
5,00	79,60
5,50	62,30
6,00	49,90
6,50	40,70
7,00	33,70
7,50	28,40
8,00	24,10
8,50	20,80
9,00	18,00
9,50	15,80
10,00	14,00

Figura 9: Andamento del campo elettrico - Sbarre MT della cabina di consegna

Come si evince dalla simulazione del calcolo (fig. 8) i valori di campo magnetico ad altezza conduttori restano al di sotto dei 3 μT ad una distanza di circa 5 m dal muro perimetrale della cabina. Tale valore di induzione magnetica è indicato nel DPCM 08/07/2003 come obiettivo di qualità previsto per le 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.
Per quanto riguarda il campo elettrico (fig. 9), l'intensità risulta massima vicino al dispositivo e diminuisce con la distanza. Considerando il campo elettrico calcolato ad altezza conduttori si ottengono valori di campo elettrico inferiore ai limiti di 5000 V/m imposti dalla normativa a soli 50 cm dai conduttori stessi.

CONCLUSIONI

La determinazione delle DPA è stata effettuata in accordo al D.M. del 29/05/2008 riportando per ogni opera elettrica (cavidotti, cabine elettriche e stazione elettrica) la summenzionata Dpa. Dalle analisi, i cui risultati sono riassunti nei grafici e tabelle riportati nei paragrafi precedenti si può desumere quanto segue:

- per i cavidotti di distribuzione interna al parco (impianto di utenza) la distanza di prima approssimazione non eccede il range di ±2 m rispetto all'asse del cavidotto; si fa presente 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 ecc., correndo per la gran parte del loro percorso lungo la rete viaria o ai margini delle strade di impianto;
- per i cavidotti di vettoriamento esterni al parco (impianto di rete) la distanza di prima approssimazione non eccede il range di ±2 m rispetto all'asse del cavidotto;
- per la cabina di consegna, la distanza di prima approssimazione è stata valutata in 5 m dal muro perimetrale della cabina.

I valori di campo elettrico risultano rispettare i valori imposti dalla norma (<5000 V/m) in quanto le aree con valori superiori ricadono all'interno della cabine MT.

Tutte le aree summenzionate delimitate dalla Dpa rientreranno all'interno di aree da asservire all'impianto, all'interno delle quali non si riscontra la presenza di persone per più di 4 ore giornaliere. Si può quindi concludere che la realizzazione delle opere elettriche relative al parco eolico di Mallare in provincia di Savona non costituisce pericolo per la salute pubblica.