REGIONI LIGURIA

Comuni:
CASTELVECCHIO ROCCA BARBENA (SV): LOCALITA' "MONTE LINGO"

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA
1 AEROGENERATORE

Soluzione alternativa al progetto approvato al procedimento di verifica screening ex l.r. 38/98
con decreto del dirigente n. 2655 del 31/07/2012

Sezione 9:
SCREENING AMBIENTALE

Titolo elaborato:
RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO

N. Elaborato 9.11 | Scala: - | Data: FEBBRAIO 2014

Committente

fen Energia

Via Nazionale, 2
25052 Piancogno (BS)

Legale Rappresentante
Dott. Elio Rosario Gheza

Progettazione

TENPROJECT

sede legale e operativa
San Giorgio Del Sannio (BN) via de Gasperi 61
sede operativa
Lucera (FG) S.S.17 loc. Vaccarella snc c/o Villaggio Don Bosco
P.IVA 01465940623
Azienda con sistema gestione qualità Certificato N. 50 100 11873

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

00	Febbraio 2014	F.D.M.		PSE	M.O.		Richiesta A.U. - D.Lgs 387/03
REV.	DATA	sigla	firma	settore	sigla	firma	DESCRIZIONE
		REDAZIONE		CONTROLLO-EMISSIONE			

INDICE

1. PREMESSA 2
2. NORME E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO 3
3. INQUADRAMENTO NORMATIVO 4
4. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO 6
5. METODOLOGIA DI CALCOLO CAMPO MAGNETICO 7
5.1 Definizioni 7
5.2 Cenni teorici sul modello utilizzato 7
5.3 Metodo di calcolo 8
6. METODOLOGIA DI CALCOLO CAMPO ELETTRICO 9
6.1 Cenni teorici 9
7. CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIANTI DI UTENZA 10
7.1 Linea elettrica interrata 10
8. CAMPI ELETTROMAGNETICI AEROGENERATORE 13
8.1 Interferenze elettromagnetiche 13
9. CAMPI ELETTROMAGNETICI CABINA TRASFORMAZIONE MT/BT 14
10. CAMPI ELETTROMAGNETICI CABINA DI CONSEGNA 15
11. CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIANTI DI RETE 19
11.1 Linea elettrica interrata 19
12. IMPATTO CUMULATIVO LINEE INTERRATE 22
13. CONCLUSIONI 25

1. PREMESSA

Obiettivo dell'iniziativa imprenditoriale a cui è legato il progetto è la realizzazione di una centrale eolica nel comune di Castelvecchio di Rocca Barbena (SV). La centrale sarà costituita da 1 aerogeneratore di potenza unitaria di 3 MW, quindi con una potenza complessiva pari a 3 MW.

Più in dettaglio l'impianto eolico presenta:

- 1 aerogeneratore ad asse orizzontale da 3 MW di potenza;
- 1 cabina di trasformazione MT/BT posta all'interno della torre;
- un cavidotto in cavo sotterraneo in media tensione (15 kV) per il collegamento tra l'aerogeneratore e la cabina di consegna MT (impianto di utenza);
- 1 cabina di consegna, suddivisa in una sezione utente, una sezione di misura, e, una sezione di rete (questi ultimi dedicate al distributore);
- un cavidotto in cavo sotterraneo in media tensione (15 kV) per il collegamento tra la cabina di consegna ed il punto di connessione su rete di distribuzione (impianto di rete ceduto successivamente al distributore). La soluzione di connessione prevede il collegamento in due punti differenti della rete di distribuzione, pertanto verranno realizzate due linee di collegamento in media tensione.

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 degli aerogeneratori eolici fanno sì che i livelli di elettromagnetismo risultanti si posizionino ben al di sotto di quelli che sono i limiti di legge, poiché 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.

La relazione è stata redatta al fine di determinare i valori di campo elettrico e campo magnetico attesi (calcolo previsionale) e la valutazione degli effetti ambientali conseguenti ai sensi della legge 36/01 e DPCM 08/07/2003.

2. NORME E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- Legge 22 febbraio 2001, n. 36 “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici”.
- DPCM 8 luglio 2003 “Fissazione dei limiti di esposizione, valori di attenzione ed obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti”.
- DM 29 maggio 2008, GU n. 156 del 5 luglio 2008, “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti”.
- "Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti" APAT.
- CEI 11-17 “Impianti di produzione, trasmissione, distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo”.
- CEI 20-21 “Calcolo della portata di corrente” (IEC 60287).
- 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 I”.
- "La protezione dai campi elettromagnetici" - Edizione TNE.
- "Inquinamento elettromagnetico" - P. Bevitori et al. - Maggioli Editore.
- "La valutazione dell’inquinamento elettromagnetico" - Edizione Maggioli Editore.
- Documento di progetto: 01-Relazione tecnica

Ten Project

Sede legale ed operativa: Via A. De Gasperi 61 - 82018 San Giorgio del Sannio (BN) - **Sede Operativa**: S.S. 17 loc. Vaccarella - 71036 Lucera (FG)

3. 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.

Si ricorda che i limiti di esposizione fissati dalla legge sono di 100 μT per lunghe esposizioni e di 1000 μT per brevi esposizioni.

Per quanto riguarda la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, 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).

4. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

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

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.

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 (690 V) 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 vettoriata verso la rete di distribuzione tramite cavidotti in media tensione (15 kV) interrati.

Il progetto delle opere elettriche, in sintesi, prevede:

- l'istallazione di n. 1 aerogeneratore;
- la costruzione di una nuova cabina di consegna dell'energia elettrica prodotta;
- la realizzazione di una linea elettrica interrata per l'impianto di utenza;
- la realizzazione di più linee elettriche in tubo interrato per l'impianto di rete.

5. METODOLOGIA DI CALCOLO CAMPO MAGNETICO

5.1 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.

5.2 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.

5.3 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.

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).

6. METODOLOGIA DI CALCOLO CAMPO ELETTRICO

6.1 Cenni teorici

In generale, per il calcolo del campo elettrico si ricorre al principio delle immagini in base al quale il terreno, considerato come piano equipotenziale a potenziale nullo, può essere simulato con una configurazione di cariche immagini. In altre parole per ogni conduttore reale, sia attivo che di guardia, andrà considerato un analogo conduttore immagine la cui posizione è speculare, rispetto al piano di terra, a quella del conduttore reale e la cui carica è opposta rispetto a quella del medesimo conduttore reale.

In particolare il campo elettrico di un conduttore rettilineo di lunghezza infinita con densità lineare di carica costante può essere espresso come:

$$\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 d}\vec{u_r}$$

Dove: λ = densità lineare di carica sul conduttore

ε0 = permettività del vuoto

d = distanza del conduttore rettilineo dal punto di calcolo

ur = versore unitario con direzione radiale al conduttore

Ten Project

Sede legale ed operativa: Via A. De Gasperi 61 - 82018 San Giorgio del Sannio (BN) - **Sede Operativa**: S.S. 17 loc. Vaccarella - 71036 Lucera (FG)

7. CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIANTI DI UTENZA

7.1 Linea elettrica interrata

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 nelle immediate prossimità dei cavi.

I cavi impiegati per il collegamento dell'aerogeneratore con la cabina di consegna saranno del tipo schermato a conduttori unipolari, disposti ad elica visibile (a trifoglio), in alluminio con sezione del conduttore di 185 mm². 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 ad una profondità minima di 1,20 metri.

La sezione dei singoli cavi componenti la terna, presenta le seguenti caratteristiche dimensionali:

Tabella 3: Dati geometrici cavi MT

Sezione conduttore	Diametro conduttore	Spessore Isolante	Diametro cavo	Portata al limite termico
[mm²]	[mm]	[mm]	[mm]	[A]
3x1x185	15,8	5.5	36,3	365

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

Nel caso in questione, lo studio del campo elettromagnetico è stato effettuato, alla tensione nominale di 15 kV, sul seguente tratto di cavidotto così costituito:

- **S1**: una terna di conduttori di sezione 185 mm² percorsa da corrente massima pari a 365 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, 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.

S1 - Cavidotto MT ad una terna di sezione 185 mm² interrata a 1.2 m dal piano di campagna – impianto di utenza

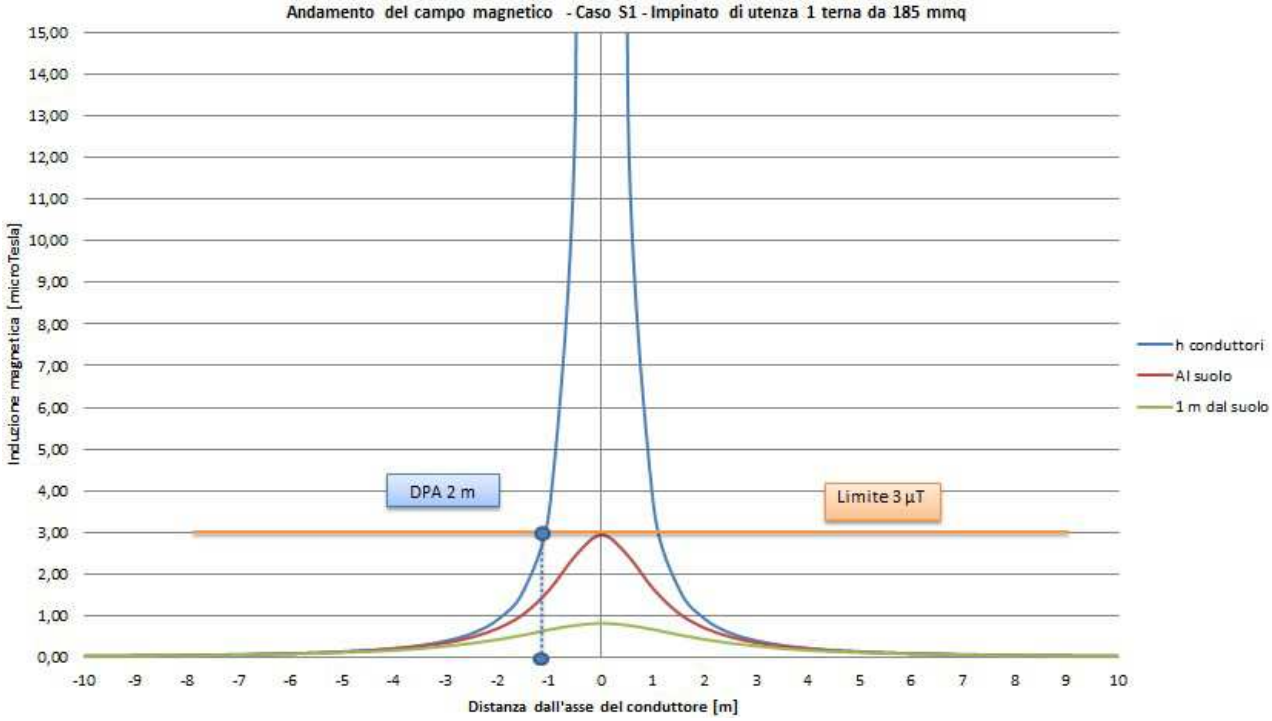


Figura 1: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica - CASO S1 – Cavidotto impianto di utenza

Tabella 4: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare - CASO S1 – Cavidotto impianto di utenza

Distanza dai cavi (m)	*Altezza conduttori (µT)*	*Al suolo (µT)*	*Ad 1 m dal suolo (µT)*
-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

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 5: Distanza di prima approssimazione per cavidotti dell'impianto di utenza

CASO DI STUDIO	N° TERNE	SEZIONI [mm²]	TIPOLOGIA CAVO	TENSIONE [kV]	DPA [m]
S1	1	3x1x185	elica cordato	15	**2**

.

Nel caso in esame (**S1**), la DPA è stata calcolata con una approssimazione non superiore al metro così come indicato nel paragrafo 5.1.2 della guida allegata al DM del 29/05/2008, ovvero:

- **CASO S1** - Valore a 3 µT: 1,2 m - Valore DPA: 2 m.

8. CAMPI ELETTROMAGNETICI AEROGENERATORE

8.1 Interferenze elettromagnetiche

Gli aerogeneratori possono essere fonte di interferenza elettromagnetica a causa della riflessione e della diffusione delle onde radio che investono la struttura. L'origine di disturbi elettromagnetici dovuti alla presenza di aerogeneratori è da ricercare nella interferenza delle pale (specialmente se in materiali metallici o riflettenti o se dotate di strutture metalliche all'interno) e dei sostegni con campi elettromagnetici, supporto di telecomunicazioni (televisione, segnali di ponti radio, mezzi di aiuto alla radionavigazione, ecc.). Gli effetti di questo fenomeno possono essere studiati e calcolati facendo ricorso a modelli matematici predittivi che permettono di individuare, in maniera conservativa, la zona oltre la quale il rapporto tra segnale e disturbo è tale da non incidere sulla qualità del radioservizio. La misurazione degli effetti è possibile attraverso prove sperimentali.

Sulla base di quanto riportato a questo proposito in letteratura sulla caratterizzazione di macchine di media taglia, considerando che l'impianto è costituito da un solo aerogeneratore e che lo stesso non si frappone a ripetitori di segnali di telecomunicazione, si ritiene che il rischio di tali disturbi possa considerarsi irrilevante. Si consideri altresì che i moderni aerogeneratori utilizzano pale in materiale non metallico e antiriflettente, cosa che come detto riduce ulteriormente il disturbo.

9. CAMPI ELETTROMAGNETICI CABINA TRASFORMAZIONE MT/BT

Il sistema elettrico degli aerogeneratori è costituito da apparecchiature in bassa tensione collocati sulla navicella e cavi di bassa tensione che da quest'ultima raggiungono il trasformatore MT/BT. Per i cavi in BT non è applicabile la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti (art. 3.2 DM 29/05/2008).

Riguardo i trasformatori MT/BT il valore dell'induzione magnetica decresce rapidamente al crescere della distanza dal trasformatore. Per distanze comprese tra 1 m e 10 m da un trasformatore in resina si può calcolare il valore del campo magnetico con la seguente formula:

$$B = 5\frac{u_{cc}}{6}\sqrt{\frac{S_r}{630}}\left(\frac{3}{a}\right)^{2,8}$$

Dove

- Ucc è la tensione percentuale di cortocircuito;
- Sr è la potenza nominale del trasformatore (kVA);
- a è la distanza dal trasformatore.

La tabella seguente mostra i valori dell'induzione magnetica al variare della potenza del trasformatore e della distanza dal trasformatore stesso.

Tabella 6: Valori di campo magnetico di un trasformatore in resina in base alla distanza dallo stesso.

Potenza TRAFO (kVA)	DISTANZA DAL TRASFORMATORE				
	1 m	2 m	3 m	5 m	7 m
1600	172.70	24.8	7.97	1.91	0.74
2000	193.09	27.72	8.91	2.13	0.83
2500	215.88	31.00	9.96	2.38	0.93
3000	**236.48**	**33.95**	**10.91**	**2.61**	**1.02**

Per un trasformatore in olio delle stesse caratteristiche e nelle stesse condizioni l'induzione magnetica risulta inferiore rispetto ai valori riportati in tabella. Un valore di DPA pari a 5 m attorno al trasformatore garantisce valori di campo magnetico inferiori al limite consentito dalla legge.

10. CAMPI ELETTROMAGNETICI CABINA DI CONSEGNA

Il calcolo del campo elettromagnetico per la cabina di consegna MT, invece, è stato effettuato sulle sbarre a 15 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: 630 A;
- valore efficace della tensione fra conduttore e terra: 8670 V;

A favore della sicurezza, i valori di corrente utilizzati nella simulazione di calcolo sono quelli relativi alle correnti termiche nominali delle sbarre a 15 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.

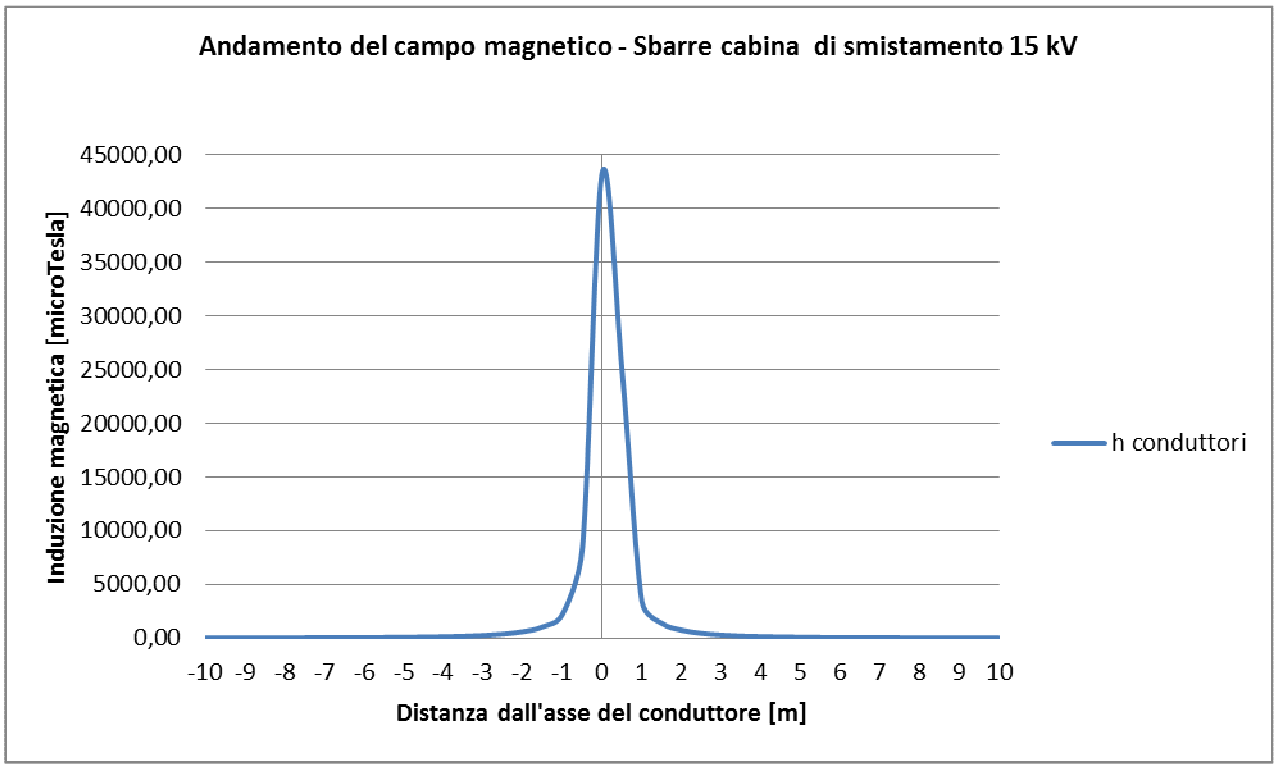


Figura 2: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica e tabellare - Sbarre MT della cabina di consegna.

Ten Project
Sede legale ed operativa: Via A. De Gasperi 61 - 82018 San Giorgio del Sannio (BN) - **Sede Operativa**: S.S. 17 loc. Vaccarella - 71036 Lucera (FG)

Tabella 7: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare - Sbarre MT della cabina di consegna.

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

Ten Project

Sede legale ed operativa: Via A. De Gasperi 61 - 82018 San Giorgio del Sannio (BN) - **Sede Operativa**: S.S. 17 loc. Vaccarella - 71036 Lucera (FG)

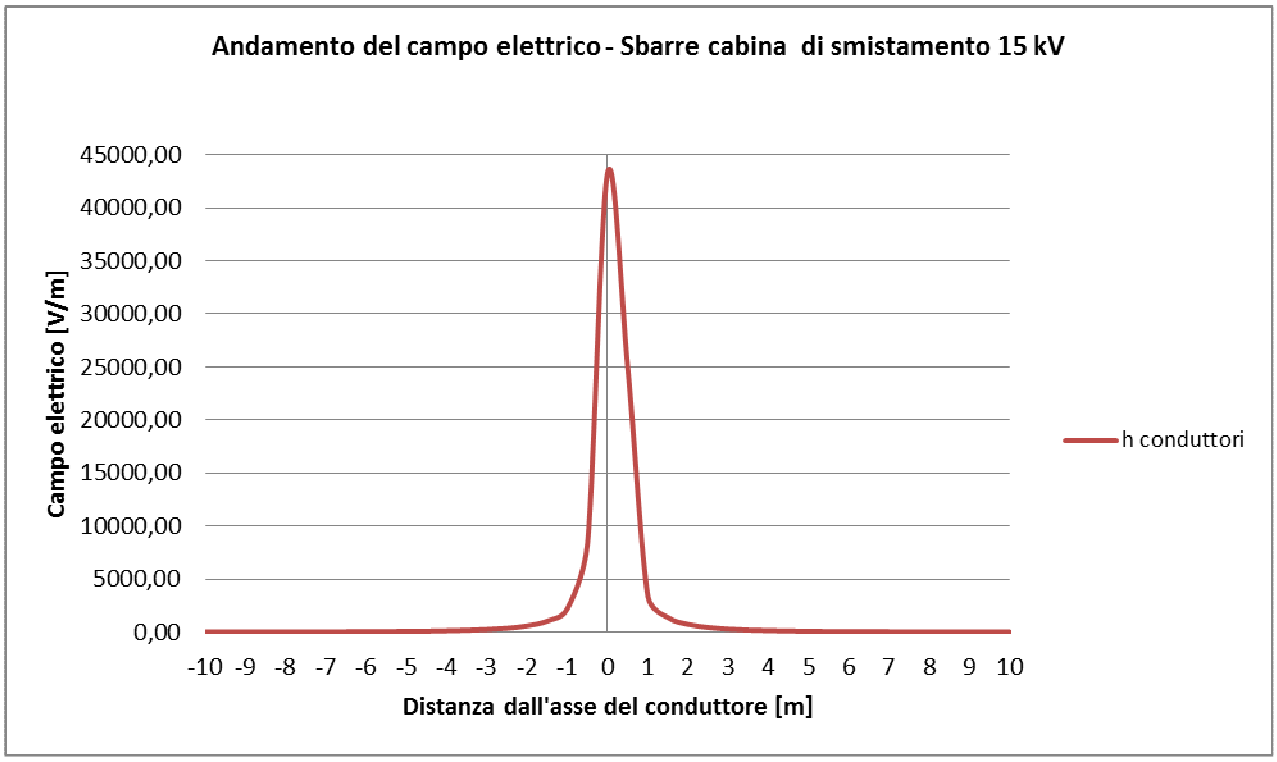


Figura 3: Andamento del campo elettrico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica - Sbarre MT della cabina di consegna.

Ten Project

Sede legale ed operativa: Via A. De Gasperi 61 - 82018 San Giorgio del Sannio (BN) - **Sede Operativa**: S.S. 17 loc. Vaccarella - 71036 Lucera (FG)

Tabella 8: Andamento del campo elettrico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare - Sbarre MT 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

Come si evince dalla simulazione del calcolo (fig. 2) 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. 3), 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 1 m dai conduttori stessi.

11. CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIANTI DI RETE

Come sinteticamente descritto l'impianto di rete, per il collegamento della cabina di consegna con la rete di distribuzione, si articola in due linee elettriche interrate che seguono percorsi differenti. La soluzione di connessione prevede il collegamento in due punti della rete di distribuzione.

La prima linea elettrica interrata sarà costituita da una singola terna di cavi posati in tubo interrato per il collegamento della cabina di consegna con il punto di consegna in media tensione sulla linea elettrica aerea esistente (vedi STMG); la seconda linea elettrica interrata, che prevede il collegamento della cabina di consegna con una cabina di distribuzione esistente, sarà in comune con la linea elettrica interrata appartenente all'impianto di rete a capo di un altro produttore (Tersia). Per questo secondo collegamento si riporta lo studio cumulativo dei due cavidotti.

11.1 Linea elettrica interrata a singola terna di cavi

Lo studio del campo elettromagnetico è stato effettuato, alla tensione nominale di 15 kV, sul primo collegamento del cavidotto di rete (costituito da una terna di cavi posata in tubo in PE interrato) che collega il locale ENEL della cabina di consegna con il punto di consegna in media tensione sulla linea elettrica aerea esistente (vedi STMG).

Il cavidotto è costituito da una terna di cavi unipolari ad elica visibile con conduttori in alluminio aventi isolamento estruso (HEPR o XLPE) con schermo in rame avvolto a nastro sulle singole fasi. La sezione normalizzata è di 185 mm² avente portata al limite termico di 365 A.

In base alle precedenti considerazioni si è effettuata una simulazione di calcolo (**CASO S2**) di campo magnetico ad altezza conduttori, al suolo e ad 1,20 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.

S2 - Cavidotto MT ad una terna di sezione 185 mm² interrato a 1.2 m dal piano di campagna – impianto di rete

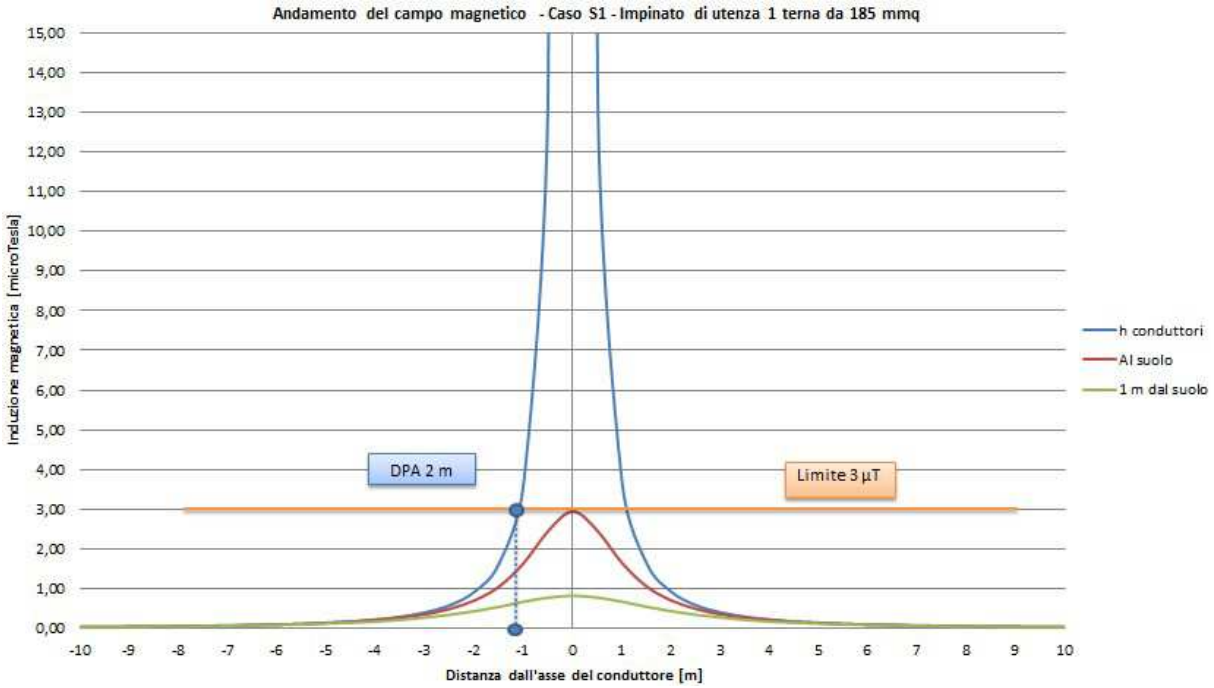


Figura 4: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica– CASO S2 - Cavidotto impianto di rete

Tabella 9: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare– CASO S2 - Cavidotto impianto di rete

Distanza dai cavi (m)	*Altezza conduttori (µT)*	*Al suolo (µT)*	*Ad 1 m dal suolo (µT)*
-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

Le fasce di rispetto dagli elettrodotti e la distanza di prima approssimazione (Dpa), previste dal D.M. 29 Maggio 2008, determinate in base all'obiettivo di qualità di 3 µT, vengono riportate nella tabella seguente.

Tabella10: Distanza di prima approssimazione per cavidotti dell'impianto di rete.

CASO DI STUDIO	N° TERNE	SEZIONI [mm²]	TIPOLOGIA CAVO	TENSIONE [kV]	DPA [m]
S2	1	3x1x185	elica cordato	15	**2**

Nel caso in esame (**S2**), la DPA è stata calcolata con una approssimazione non superiore al metro così come indicato nel paragrafo 5.1.2 della guida allegata al DM del 29/05/2008, ovvero:

- **CASO S2** - Valore a 3 µT: 1,2 m - Valore DPA: 2 m.

12. IMPATTO CUMULATIVO LINEE INTERRATE

L'impianto di utenza e l'impianto di rete, per alcuni tratti, verranno a trovarsi lungo il loro percorso in parallelo con un altro cavidotto in media tensione in progetto di proprietà della società Tersia.

Il cavidotto in media tensione (impianto di utenza) proveniente dall'impianto eolico sarà posato in uno scavo comune, direttamente interrato, con il cavidotto della società Tersia, fino la cabina di consegna.
Anche una ramo del cavidotto in media tensione (impianto di rete) che va dalla cabina di consegna fino alla cabina esistente, verrà posato in uno scavo comune, in tubi differenti e direttamente interrati, con un altro cavidotto in media tensione (impianto di rete afferente ad altro produttore).
Entrambi i collegamenti elettrici, simili nella posa e dal punto di vista elettromagnetico, verranno considerati per lo studio dell'impatto cumulativo. Per la valutazione si considera la seguente ipotesi:

- parallelismo di posa tra due cavidotti in media tensione.

Nella valutazione del parallelismo si è tenuto conto delle seguenti condizioni:

- Il cavidotto di progetto sarà posato nello stesso scavo del cavidotto di altro produttore ad una distanza di 25 cm (condizione peggiore ai fine della valutazione dell'impatto cumulativo);
- Il cavidotto di progetto sarà costituito da una terna di sezione di 185 mm^2;
- Il cavidotto dell'altro produttore sarà costituito da una terna di sezione 185 mm^2.

In figura 5 si riporta la simulazione (**S3**) del parallelismo del cavidotto MT di progetto e il cavidotto MT esistente.

Ten Project
Sede legale ed operativa: Via A. De Gasperi 61 - 82018 San Giorgio del Sannio (BN) - **Sede Operativa**: S.S. 17 loc. Vaccarella - 71036 Lucera (FG)

S3 – Parallelismo cavidotto MT di progetto (1 terna da 185 mmq) e cavidotto MT esistente (1 terna da 185 mmq) con distanza tra le terne 25 cm – interrate ad 1,20 m dal piano di campagna

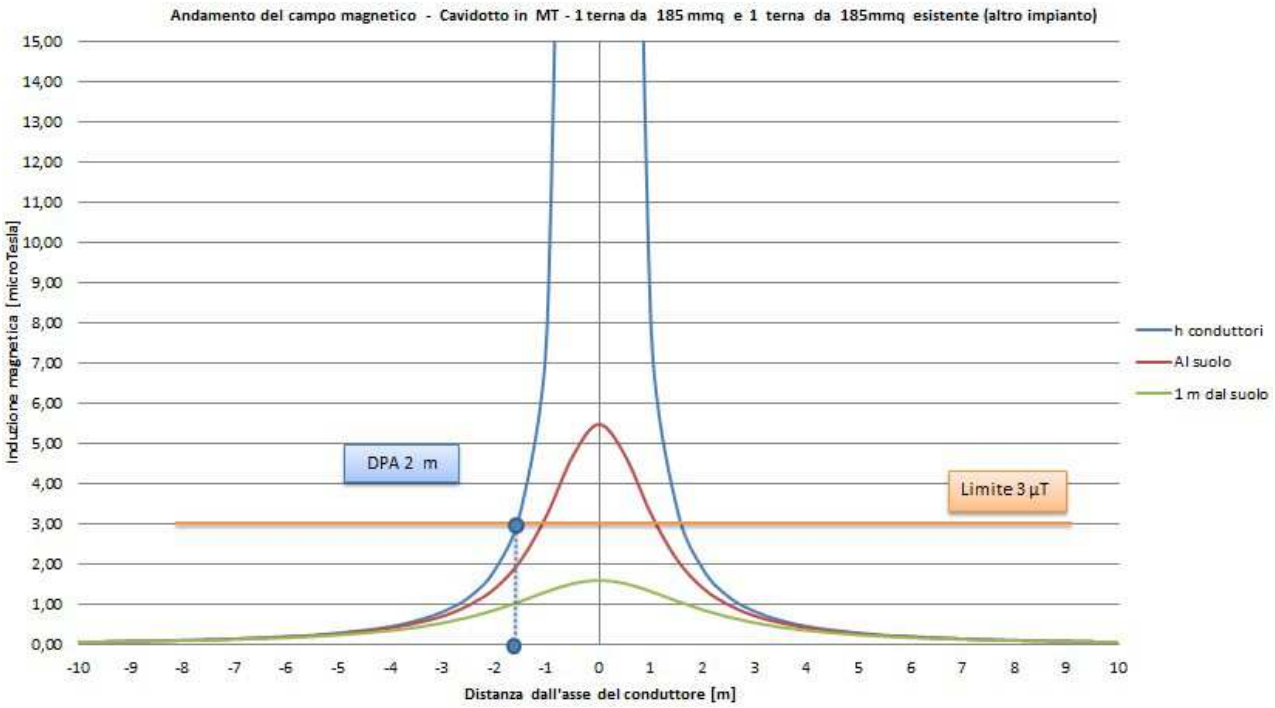


Figura 5: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica – CASO S3 – Impatto cumulativo linee interrate.

Ten Project

Sede legale ed operativa: Via A. De Gasperi 61 - 82018 San Giorgio del Sannio (BN) - **Sede Operativa**: S.S. 17 loc. Vaccarella - 71036 Lucera (FG)

Tabella 11: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare – CASO S3 – Impatto cumulativo linee interrate

Distanza dai cavi (m)	*Altezza conduttori (µT)*	*Al suolo (µT)*	*Ad 1 m dal suolo (µT)*
-10,00	0,07	0,07	0,07
-9,00	0,09	0,09	0,09
-8,00	0,12	0,11	0,11
-7,00	0,15	0,15	0,14
-6,00	0,21	0,20	0,18
-5,00	0,30	0,28	0,25
-4,00	0,46	0,43	0,36
-3,00	0,83	0,72	0,55
-2,00	1,88	1,41	0,87
-1,50	3,38	2,12	1,09
-1,00	7,88	3,25	1,33
-0,50	36,90	4,71	1,53
0,00	51,04	5,49	1,61
0,50	36,90	4,71	1,53
1,00	7,88	3,25	1,33
1,50	3,38	2,12	1,09
2,00	1,88	1,41	0,87
3,00	0,83	0,72	0,55
4,00	0,46	0,43	0,36
5,00	0,30	0,28	0,25
6,00	0,21	0,20	0,18
7,00	0,15	0,15	0,14
8,00	0,12	0,11	0,11
9,00	0,09	0,09	0,09
10,00	0,07	0,07	0,07

Nel caso in esame (**S3**), la DPA è stata calcolata con una approssimazione non superiore al metro così come indicato nel paragrafo 5.1.2 della guida allegata al DM del 29/05/2008, ovvero:

- **CASO S3** - Valore a 3 µT: 1,6 m - Valore DPA: 2 m

Dalla figura 5 si evince che l'esistenza del parallelismo tra il cavidotto di progetto e il cavidotto esistente non comporta un incremento della DPA (2 m) rispetto ai casi **S1** e **S2**; inoltre i valori di campo magnetico in corrispondenza del suolo e a 1 m dal suolo si mantengono inferiori a 3 µT come previsto dalla normativa.

Ten Project

Sede legale ed operativa: Via A. De Gasperi 61 - 82018 San Giorgio del Sannio (BN) - **Sede Operativa**: S.S. 17 loc. Vaccarella - 71036 Lucera (FG)

13. CONCLUSIONI

La determinazione delle DPA è stata effettuata in accordo al D.M. del 29/05/2008 riportando per ogni opera elettrica (cavidotti interrati e cabine elettriche) 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 dell'impianto di utenza sia per i tratti in parallelo con il cavidotto MT di proprietà di Tersia che per i tratti non in parallelo 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 la linea elettrica interrata dell'impianto di rete sia per i tratti in parallelo con il cavidotto MT di proprietà di Tersia che per i tratti non in parallelo 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 ricadono all'interno di aree in cui non risultano recettori sensibili ovvero aree di gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici, luoghi adibiti a permanenza di persone per più di quattro ore giornaliere.

Si può quindi concludere che la realizzazione delle opere elettriche relative alla realizzazione del parco eolico nel comune di Castelvecchio di Rocca Barbena (SV) non costituisce pericolo per la salute pubblica.