



**Wpd Monte Cigliano s.r.l.**

Viale Aventino n. 102 - 00153 ROMA

**REGIONE PUGLIA**  
**COMUNI DI TROIA – LUCERA - BICCARI (FG)**

**PROGETTO DEFINITIVO**  
**PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO NEI TERRITORI**  
**DEI COMUNI DI TROIA - LUCERA E BICCARI (FG)**  
**IN LOCALITA' "MONTARATRO"**

PROGETTISTI:

PROPONENTE:

**M&M ENGINEERING S.r.l.**

Sede Operativa:  
Via I Maggio, n.4  
71045 Orta Nova (FG) - Italy  
tel./fax (+39) 0885791912 -  
[ing.marianomarseglia@gmail.com](mailto:ing.marianomarseglia@gmail.com)

**Progettisti:**

ing. Mariano Marseglia  
ing. Giuseppe Federico Zingarelli

**Consulente:**

ing. Antonio Crisafulli  
ing. Tommaso Mancini  
ing. Fabrizio D'Addario  
ing. Fabio Mastroserio

**Wpd Monte Cigliano s.r.l.**

Viale Aventino n. 102  
00153 ROMA

ELABORATO		TITOLO	COMMESSA		
<b>EOL 19</b>		<b>RELAZIONE IMPATTO ELETTROMAGNETICO</b>	<b>04EOL-2018</b>		
			CODICE ELABORATO		
			<b>EOL-SIA-19</b>		
REVISIONE		Tutte le informazioni tecniche contenute nel presente documento sono di proprietà esclusiva della Studio M&M Engineering S.r.l e non possono essere riprodotte, divulgate o comunque utilizzate senza la sua preventiva autorizzazione scritta. (art. 2575 c.c.)	NOME FILE	PAGINE	
<b>00</b>			<b>EOL-SIA-19.doc</b>	<b>24 + copertina</b>	
REV	DATA		Elaborato	Controllato	Approvato
00	15/04/2019	Prima Emissione	Mancini	Marseglia	Longo
01					
02					
03					
04					
05					
06					

## INDICE

1. OGGETTO .....	2
2. GENERALITÀ SULLE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE .....	2
3. NORME E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....	3
3.1 Definizioni.....	3
4. INQUADRAMENTO NORMATIVO .....	4
5. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO .....	7
5.1 Generalità .....	7
5.2 Linee di distribuzione in MT.....	7
5.3 Quadri MT di stazione elettrica .....	9
5.4 Sottostazione elettrica 150/30 kV .....	9
5.5 Linea di connessione in AT .....	9
6. METODO DI CALCOLO CAMPO MAGNETICO .....	10
6.1 Cenni teorici .....	10
6.2 Metodo di calcolo .....	11
7. LINEE DI DISTRIBUZIONE IN MT .....	12
7.1 Determinazione dei campi magnetici.....	12
7.2 Distanze di prima approssimazione.....	17
8. SOTTOSTAZIONE ELETTRICA 150/30 KV.....	18
9. LINEA DI CONNESSIONE IN AT .....	20
9.1 Determinazione dei campi magnetici.....	20
9.2 Distanze di prima approssimazione.....	21
10. CONCLUSIONI .....	24

## **1. OGGETTO**

Il presente studio è finalizzato al calcolo preventivo delle emissioni elettromagnetiche non ionizzanti determinate dalle installazioni elettriche previste dal progetto di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica della potenza di 121,90 MW, equivalenti all'installazione di n. 23 aerogeneratori della potenza nominale pari a 5,3 MW, sito nei Comuni di Troia, Lucera e Biccari (FG), in località "Montaratro" e delle opere connesse.

## **2. GENERALITÀ SULLE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE**

I campi elettromagnetici consistono in onde elettriche (E) e magnetiche (H) che viaggiano insieme. Esse si propagano alla velocità della luce e sono caratterizzate da una frequenza ed una lunghezza d'onda.

I campi ELF si identificano nei campi a frequenza fino a 300 Hz. A frequenze così basse corrispondono lunghezze d'onda in aria molto grandi e, in situazioni pratiche, il campo elettrico e quello magnetico agiscono in modo indipendente l'uno dall'altro e vengono misurati e valutati separatamente.

I campi elettrici sono prodotti dalle cariche elettriche. Essi governano il moto di altre cariche elettriche che vi siano immerse. La loro intensità viene misurata in volt al metro (V/m) o in chilovolt al metro (kV/m). Quando delle cariche si accumulano su di un oggetto, fanno sì che cariche di segno uguale od opposto vengano, rispettivamente, respinte o attratte. L'intensità di questo effetto viene caratterizzata attraverso la tensione, misurata in volt (V).

L'intensità dei campi elettrici è massima vicino alla sorgente e diminuisce con la distanza (proporzionale alla tensione della sorgente). Molti materiali comuni, come il legno ed il metallo, costituiscono uno schermo per questi campi.

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

I campi magnetici sono massimi vicino alla sorgente e diminuiscono con la distanza (proporzionale alla corrente della sorgente). Essi non vengono schermati dalla maggior parte dei materiali di uso comune, e li attraversano facilmente.

Ai fini dell'esposizione umana alle radiazioni non ionizzanti, considerando le caratteristiche fisiche delle grandezze elettriche in gioco in un impianto eolico (tensioni fino a 150.000 V e frequenze di 50 Hz) i campi elettrici e magnetici sono da valutarsi separatamente perché disaccoppiati.

Come già accennato il campo elettrico, a differenza del campo magnetico, subisce una attenuazione per effetto della presenza di elementi posti fra la sorgente e il punto irradiato. Pertanto le situazioni più critiche sono rappresentate dagli impianti installati in ambiente esterno, rappresentando le schermature dei cavi, la presenza di opere civili e la blindatura degli scomparti validi elementi di schermatura. Inoltre la distanza tra le apparecchiature e le recinzioni sono tali da contenere i valori di campo elettrico entro i valori limite da eventuali ricettori sensibili. Ai fini del presente studio si valuteranno, quindi, i soli campi magnetici.

### **3. NORME E DOCUMENTAZIONE 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".
- CEI 11-17 "Impianti di produzione, trasmissione, distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo".
- CEI 11-60, "Portata al limite termico delle linee elettriche aeree esterne con tensione maggiore a 100 kV",
- 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: linee elettriche aeree e in cavo".

#### **3.1 Definizioni**

Si introducono le seguenti definizioni anche in riferimento a quanto indicato nell'allegato del D.M. del 29 Maggio 2008 "Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto":

##### ***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 e sue successive modifiche e integrazioni.

La corrente di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto è la "portata di corrente in servizio normale relativa al periodo stagionale in cui essa è più elevata":

- Per le linee con tensione >100 kV, è definita dalla norma CEI 11-60;
- Per gli elettrodotti aerei con tensione < 100 kV, i proprietari/gestori fissano la portata in corrente in regime permanente in relazione ai carichi attesi con riferimento alle condizioni progettuali assunte per il dimensionamento dei conduttori;
- Per le linee in cavo è definita dalla norma CEI 11-17 come portata in regime permanente;

### ***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.

### ***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***

È la distanza in pianta dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto, la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più della DPA, si trovi all'esterno della fascia di rispetto. Per le cabine è la distanza da tutte le facce del parallelepipedo della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra.

### ***Cabina primaria***

La cabina primaria (CP), denominata di seguito anche sottostazione 150/30 kV, è un impianto elettrico che ha la funzione di trasformare l'energia in ingresso in alta tensione (solitamente 120kV, 132kV o 150kV, raramente anche 60kV o 220kV) ad media tensione (8.4, 10, 15 o 20 kV).

## **4. 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.

È importante dunque distinguere il significato dei termini utilizzati nelle leggi (riportiamo nella tabella 1 le definizioni inserite nella 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.

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

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);
- Parametri per la determinazione delle 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.

Normativa	Limiti previsti	Induzione magnetica B ( $\mu\text{T}$ )	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

**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.**

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

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

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

## **5. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO**

### **5.1 Generalità**

Le opere elettriche di impianto sulle quali rivolgere l'attenzione al fine della valutazione dell'impatto elettrico e magnetico sono di seguito descritte:

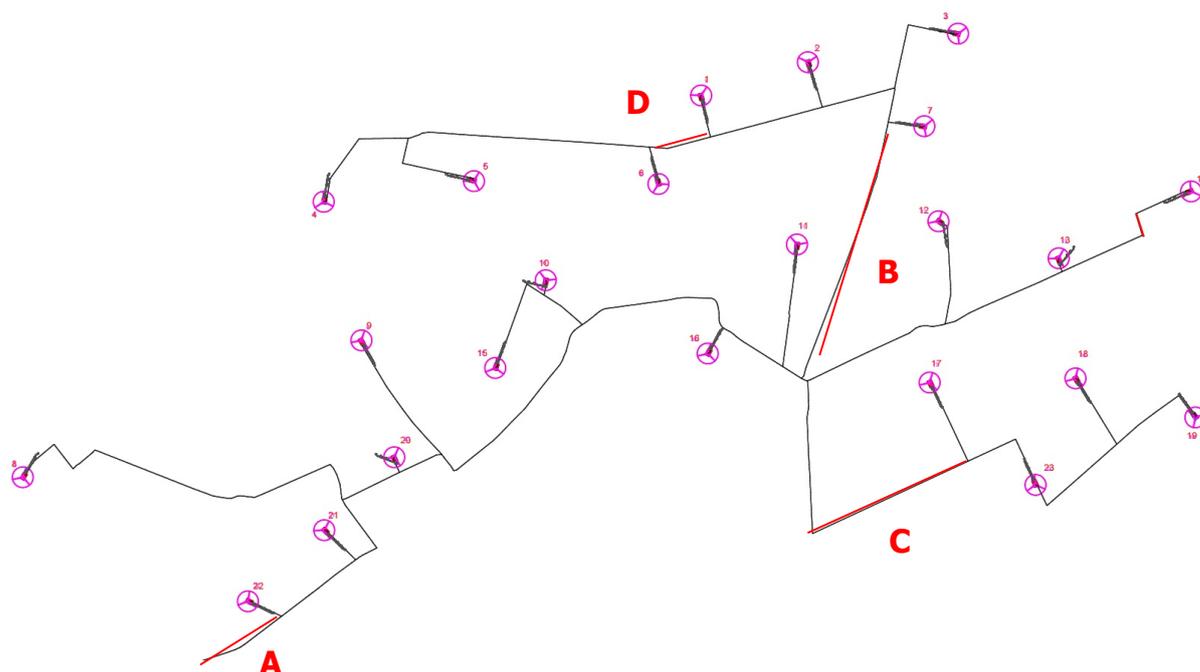
- Cavidotti MT dei vari sottocampi costituenti il parco eolico;
- Cavidotti MT di collegamento dell'impianto eolico alla sottostazione 18/30 kV;
- Quadri MT all'interno della sottostazione elettrica;
- Sottostazione elettrica 150/30 kV;
- Linea di connessione in AT tra la sottostazione 150/30 kV e la stazione 380/150 kV esistente della RTN denominata "Troia" ubicata nel Comune di Troia (FG).

### **5.2 Linee di distribuzione in MT**

Gli aerogeneratori sono collegati tra loro e alla sottostazione elettrica di connessione da una rete di distribuzione in cavo interrato esercita in media tensione a 30 kV.

I cavi impiegati saranno del tipo unipolari ARP1H5(AR)E 18/30 KV con posa in cavidotto a "trifoglio". Essi sono costituiti con conduttori di alluminio rivestito da un primo strato di semiconduttore, da un isolante primario in elastomero termoplastico, da un successivo strato di semiconduttore, da uno schermo a nastro di alluminio, da protezione meccanica in materiale polimerico (Air Bag, consentendo la posa direttamente interrata) e guaina in polietilene di colore rosso. Sia il semiconduttore (che ha la funzione di uniformare il campo elettrico) che l'isolante primario sono di tipo estruso.

Il cavo suddetto è definito a campo radiale in quanto, essendo ciascuna anima rivestita da uno schermo metallico, le linee di forza elettriche risultano perpendicolari agli strati dell'isolante.



**Figura 1 - Tratti di cavidotto presi in esame**

La sezione dei singoli cavi componenti le terne, presenta le seguenti caratteristiche:

Tratto	N. di terne	Portata in servizio nominale	Sezione conduttore	Diametro conduttore	Spessore isolante	Diametro cavo	Portata al limite termico del cavo <sup>(1)</sup>
	N.	[A]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm]	[mm]	[mm]	[A]
A:WTG 22 – SSE	5	429,47	3x1x630	30,5	15	61	541
	1	322,1	3x1x400	23,8	14	53	416
B:WTG 7 – SSE	1	429,47	3x1x630	30,5	15	61	541
	1	322,1	3x1x400	23,8	14	53	416
C:WTG 17 - SSE	1	429,47	3x1x630	30,5	15	61	541
D:WTG 6 - SSE	1	322,1	3x1x400	23,8	14	53	416

(1) posa interrata a trifoglio e resistività del terreno  $\rho=2 \text{ }^\circ\text{Cm/W}$

**Tabella 3: Caratteristiche dimensionali dei cavi in MT.**

Ai fini della valutazione dei campi magnetici, di seguito descritta, sono state considerate come portate in servizio nominale le correnti massime generate dall'impianto eolico. Tali valori di

corrente risultano sovradimensionati e quindi di tipo conservativo in quanto i valori massimi reali, comunque inferiori ai valori indicati, si otterranno solo in determinate condizioni di funzionamento, funzione di diversi parametri quali per esempio le condizioni atmosferiche, rendimento delle macchine ecc.

### 5.3 Quadri MT di stazione elettrica

All'interno della cabina di stazione sono ubicati i quadri in MT, per la protezione ed il sezionamento delle linee elettriche in arrivo dal campo eolico e in partenza verso il trasformatore di potenza AT/MT 150/30 kV.

Per gli edifici di stazione la DPA da considerare è quella della linea MT entrante/uscente, pertanto, come si vedrà più avanti, sarà pari a circa 3 m.

### 5.4 Sottostazione elettrica 150/30 kV

All'interno dell'area recintata della sottostazione elettrica sarà ubicato un fabbricato suddiviso in vari locali che a seconda dell'utilizzo ospiteranno i quadri MT, gli impianti BT e di controllo, gli apparecchi di misura, il locale per l'alloggiamento del gruppo elettrogeno, i servizi igienici, un trasformatore MT/BT per l'alimentazione dei servizi ausiliari di sottostazione. Sarà presente un'area aperta composta da una sezione di trasformazione MT/AT ed una sezione di partenza in AT per la consegna dell'energia prodotta alla Rete di Trasmissione Nazionale (stazione Terna 380/150 kV denominata "Troia").

### 5.5 Linea di connessione in AT

La stazione elettrica di utenza, sarà collegata alla stazione di Terna 380/150 kV con una terna di cavi AT posati entro cavidotto interrato con posa in piano e ad una profondità di 1,5 m.

Nella tabella seguente sono riportati i dati principali del cavidotto.

Linea	Potenza trasmessa <sup>(1)</sup>	Portata in servizio nominale	Sezione conduttore	Sezione schermo	Diametro cavo	Portata al limite termico del cavo
	[MW]	[A]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm]	[A]
Tra Sottostazione 150/30 kV e stazione Terna 380/150 kV	300	1283	3x1x1200	170	95	1315

(1) potenza di dimensionamento conduttori superiore alla potenza dell'impianto eolico pari a 121,9 MW

**Tabella 4: Caratteristiche dimensionali dei cavi in AT.**

Ai fini del dimensionamento dei cavi in AT e della valutazione dei campi magnetici, di seguito descritta, è stata considerata come potenza massima trasmessa un valore di 300 MW.

I relativi valori di correnti risultano, quindi, molto sovradimensionati rispetto ai valori di corrente generati dalla presenza del solo impianto eolico, per tenere in considerazione eventuali ampliamenti futuri e la connessione di ulteriori produttori alla stessa sottostazione 150/30 kV.

## 6. METODO DI CALCOLO CAMPO MAGNETICO

### 6.1 Cenni teorici

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.

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

Dove  $\mu_0$  è la permeabilità magnetica del vuoto,  $NR$  è il numero dei,  $i$  la corrente,  $C_k$  il conduttore generico,  $d\vec{l}$  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  $P_k$  il punto dove il generico conduttore  $C_k$  interseca la sezione normale, e con  $I_k$  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.

Per il calcolo del campo elettrico, invece, 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:

$$\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 d} \vec{u}_r$$

Dove:  $\lambda$  = densità lineare di carica sul conduttore;

$\epsilon_0$  = permittività del vuoto;

$d$  = distanza del conduttore rettilineo dal punto di calcolo;

$u_r$  = versore unitario con direzione radiale al conduttore.

## 6.2 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).

Come già accennato il campo Elettrico, a differenza del campo Magnetico, subisce una attenuazione per effetto della presenza di elementi posti fra la sorgente e il punto irradiato risultando nella totalità dei casi inferiore ai limiti imposti dalla norma.

Ai fini del presente studio si valuteranno i soli campi magnetici per tutte le apparecchiature elettriche costituenti l'impianto.

## 7. LINEE DI DISTRIBUZIONE IN MT

### 7.1 Determinazione dei campi magnetici

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 posate "a trifoglio") fa sì che l'induzione magnetica risulti significativa solo in prossimità dei cavi.

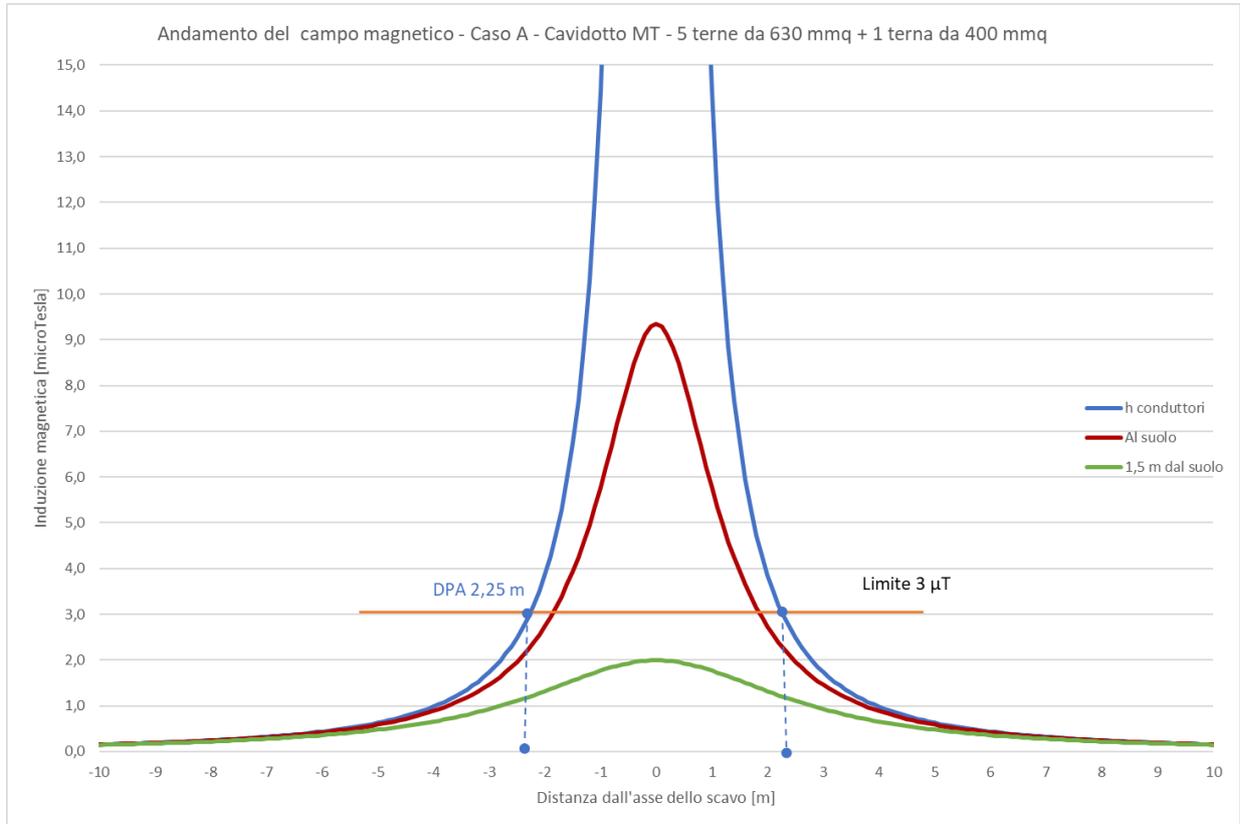
In dettaglio saranno simulati i seguenti tratti di cavidotto alla tensione nominale di 30 kV:

- A: sei terne di conduttori disposti a trifoglio di cui cinque di sezione 630 mm<sup>2</sup> e una di sezione 400 mm<sup>2</sup> interrate ad una profondità di 1,5 m e una interdistanza di 20 cm in senso orizzontale e 30 cm in senso verticale;
- B: due terne di conduttori disposti a trifoglio di cui una di sezione 630 mm<sup>2</sup> e una di sezione 400 mm<sup>2</sup> interrate ad una profondità di 1,20 m e una interdistanza di 20 cm;
- C: una terna di conduttori disposti a trifoglio di sezione 630 mm<sup>2</sup> interrata ad una profondità di 1,20 m;
- D: una terna di conduttori disposti a trifoglio di sezione 400 mm<sup>2</sup> interrata ad una profondità di 1,20 m;

Maggiori dettagli sulle correnti massime trasportate e le caratteristiche dei conduttori sono riportati in tabella 3.

I valori del campo magnetico sono stati misurati all'altezza dei conduttori (-1,20 m dal livello del suolo), al suolo e ad altezza dal suolo di 1,50 m. 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.

**A - sei terne di conduttori disposti a trifoglio di cui cinque di sezione 630 mm<sup>2</sup> e una di sezione 400 mm<sup>2</sup> interrata ad una profondità di 1,5 m e una interdistanza di 20 cm in senso orizzontale e 30 cm in senso verticale**



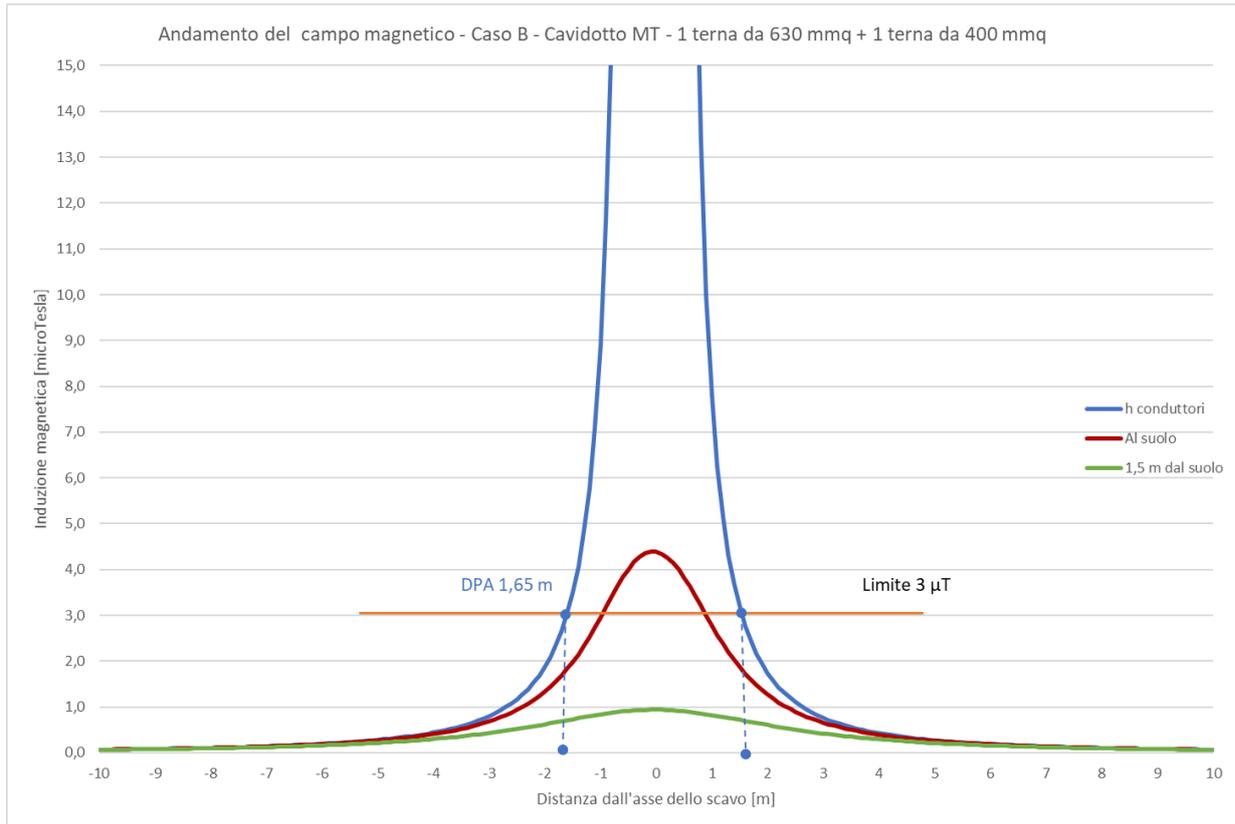
**Figura 2 - Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa alla simulazione A.**

Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [μT]	Al suolo [μT]	A 1,5 m dal suolo [μT]
-10	0,158	0,155	0,146
-9	0,194	0,190	0,177
-8	0,246	0,240	0,219
-7	0,321	0,310	0,277
-6	0,437	0,417	0,358
-5	0,628	0,588	0,478
-4	0,980	0,886	0,657
-3	1,734	1,461	0,929
-2	3,851	2,730	1,320
-1	14,416	5,768	1,768
0	2317,694	9,341	1,994
1	14,416	5,768	1,768
2	3,851	2,730	1,320
3	1,734	1,461	0,929
4	0,980	0,886	0,657
5	0,628	0,588	0,478
6	0,437	0,417	0,358

7	0,321	0,310	0,277
8	0,246	0,240	0,219
9	0,194	0,190	0,177
10	0,158	0,155	0,146

**Tabella 5: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa alla simulazione A.**

**B - due terne di conduttori disposti a trifoglio di cui una di sezione 630 mm<sup>2</sup> e una di sezione 400 mm<sup>2</sup> interrata ad una profondità di 1,20 m e una interdistanza di 20 cm;**



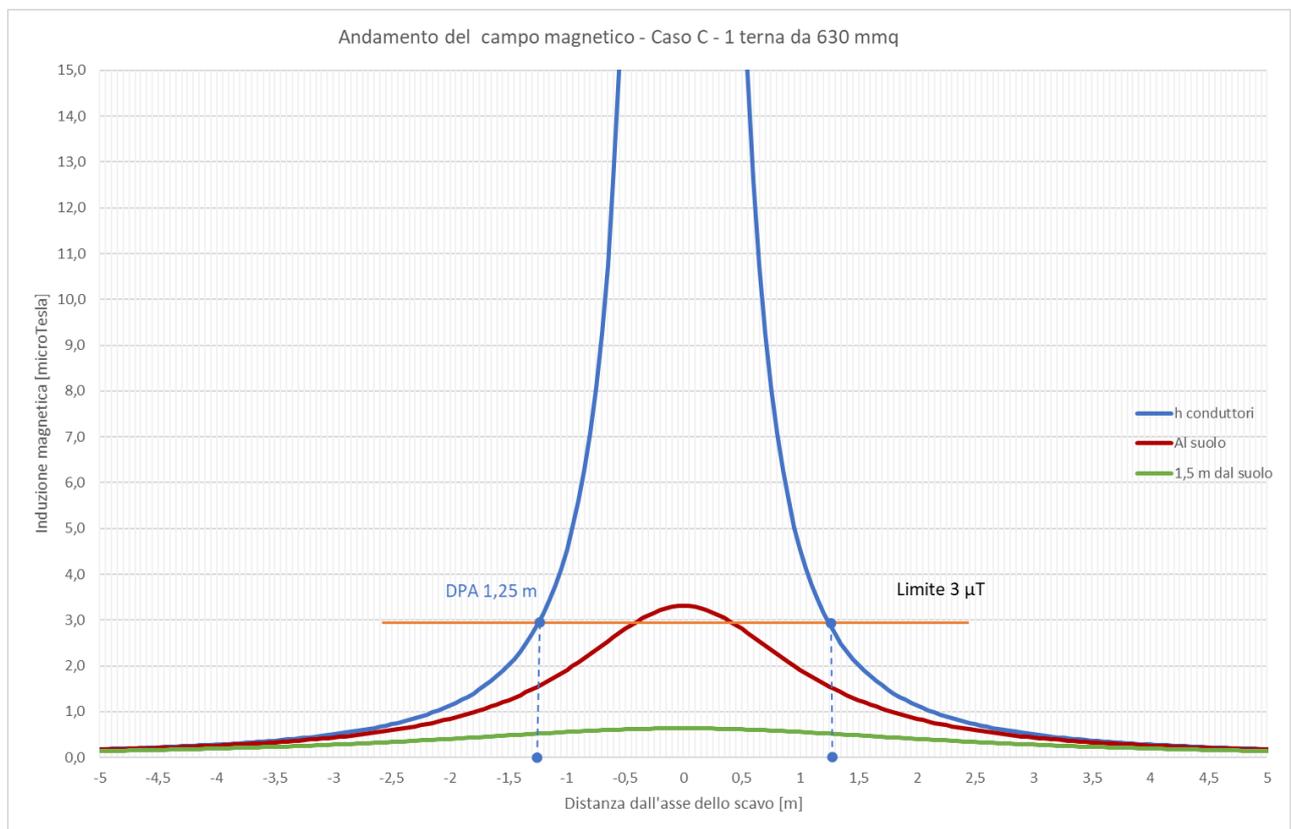
**Figura 3 - Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa alla simulazione B.**

Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [ $\mu$ T]	Al suolo [ $\mu$ T]	A 1,5 m dal suolo [ $\mu$ T]
-10	0,070	0,069	0,065
-9	0,086	0,085	0,079
-8	0,109	0,107	0,098
-7	0,143	0,139	0,124
-6	0,195	0,188	0,162
-5	0,282	0,267	0,218
-4	0,444	0,407	0,303
-3	0,801	0,688	0,434
-2	1,872	1,340	0,624
-1	8,901	2,956	0,840
0	107,914	4,384	0,941

1	7,780	2,778	0,825
2	1,744	1,271	0,608
3	0,764	0,660	0,422
4	0,429	0,394	0,295
5	0,274	0,260	0,213
6	0,190	0,183	0,159
7	0,140	0,136	0,122
8	0,107	0,105	0,096
9	0,085	0,083	0,078
10	0,069	0,068	0,064

**Tabella 6: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa alla simulazione B.**

**C - una terna di conduttori disposti a trifoglio di sezione 630 mm<sup>2</sup> interrata ad una profondità di 1,20 m;**



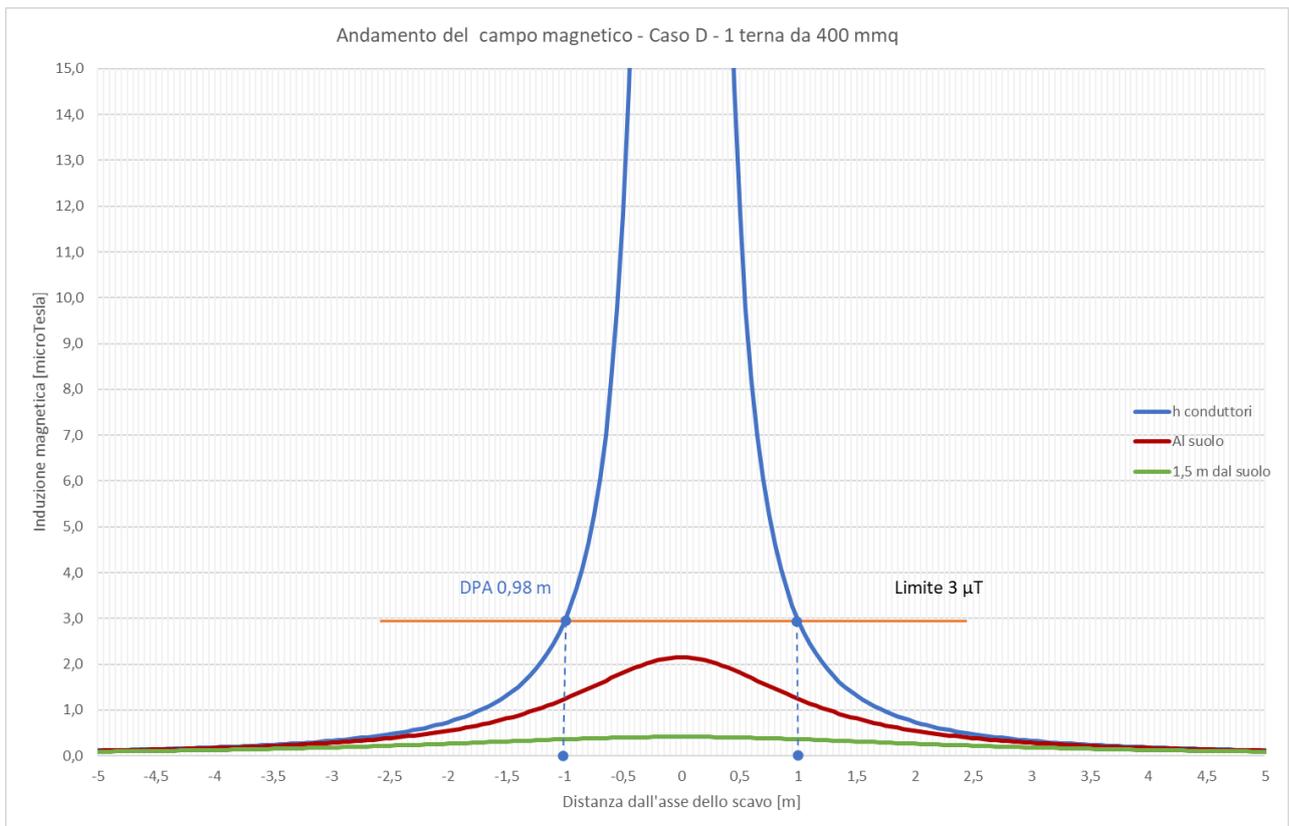
**Figura 4 - Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa alla simulazione C.**

Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [μT]	Al suolo [μT]	A 1,5 m dal suolo [μT]
-5	0,182	0,172	0,141
-4,5	0,224	0,210	0,166
-4	0,284	0,261	0,196
-3,5	0,370	0,333	0,234
-3	0,504	0,438	0,281

-2,5	0,726	0,596	0,339
-2	1,134	0,845	0,408
-1,5	2,017	1,254	0,484
-1	4,538	1,916	0,558
-0,5	18,150	2,804	0,615
0	2438,898	3,315	0,637
0,5	18,150	2,804	0,615
1	4,538	1,916	0,558
1,5	2,017	1,254	0,484
2	1,134	0,845	0,408
2,5	0,726	0,596	0,339
3	0,504	0,438	0,281
3,5	0,370	0,333	0,234
4	0,284	0,261	0,196
4,5	0,224	0,210	0,166
5	0,182	0,172	0,141

**Tabella 7: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa alla simulazione C.**

**D - una terna di conduttori disposti a trifoglio di sezione 400 mm<sup>2</sup> interrata ad una profondità di 1,20 m;**



**Figura 5 - Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa alla simulazione D.**

Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [ $\mu$ T]	Al suolo [ $\mu$ T]	A 1,5 m dal suolo [ $\mu$ T]
-5	0,118	0,112	0,092
-4,5	0,146	0,137	0,108
-4	0,185	0,170	0,128
-3,5	0,241	0,217	0,152
-3	0,329	0,285	0,183
-2,5	0,473	0,388	0,221
-2	0,739	0,550	0,265
-1,5	1,314	0,815	0,315
-1	2,957	1,244	0,363
-0,5	11,827	1,817	0,400
0	2105,259	2,146	0,414
0,5	11,827	1,817	0,400
1	2,957	1,244	0,363
1,5	1,314	0,815	0,315
2	0,739	0,550	0,265
2,5	0,473	0,388	0,221
3	0,329	0,285	0,183
3,5	0,241	0,217	0,152
4	0,185	0,170	0,128
4,5	0,146	0,137	0,108
5	0,118	0,112	0,092

**Tabella 7: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa alla simulazione D**

## 7.2 Distanze di prima approssimazione

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  $\mu$ T. Si riportano nella seguente tabella le distanze di prima approssimazione per i tratti di cavidotto presi in esame:



CASO DI STUDIO	N° TERNE	SEZIONI [mm <sup>2</sup> ]	TIPOLOGIA CAVO	TENSIONE [kV]	DPA [m]
<b>A</b>	5	3x1x630	ARP1H5(AR)E	30	<b>3</b>
	1	3x1x400			
<b>B</b>	1	3x1x630	ARP1H5(AR)E	30	<b>2</b>
	1	3x1x400			
<b>C</b>	1	3x1x630	ARP1H5(AR)E	30	<b>2</b>
<b>D</b>	1	3x1x400	ARP1H5(AR)E	30	<b>1</b>

**Tabella 8: Distanza di prima approssimazione per cavidotti di collegamento tra il parco eolico e la sottostazione 150/30 kV**

In dettaglio si sono ottenuti i seguenti valori:

- **CASO A** - Valore a 3  $\mu$ T: 2,25 m - Valore DPA: 3 m;
- **CASO B** - Valore a 3  $\mu$ T: 1,65 m - Valore DPA: 2 m;
- **CASO C** - Valore a 3  $\mu$ T: 1,25 m - Valore DPA: 2 m;
- **CASO D** - Valore a 3  $\mu$ T: 0,98 m - Valore DPA: 1 m;

le cui DPA sono state calcolate con una approssimazione non superiore al metro così come indicato nel paragrafo 5.1.2 della guida allegata al DM del 29/05/2008.

## 8. SOTTOSTAZIONE ELETTRICA 150/30 KV

Nella sottostazione elettrica di utenza la tensione viene innalzata da 30 kV a 150 kV.

La sottostazione utente consiste nelle seguenti apparecchiature:

- Trasformatore AT/MT 150/30 kV e stallo trasformatore con apparecchiature di misura, controllo e protezione isolati in aria;
- Sistema di sbarre;
- Stallo di linea con apparecchiature di misura, controllo e protezione isolati in aria e collegamento in cavo interrato alla stazione 150 kV della Rete elettrica nazionale tramite terna di cavi in rame di sezione 1200 mm<sup>2</sup>;
- Opere civili contenenti i quadri MT di arrivo e protezione linee, protezione trasformatore e misura, i quadri BT di alimentazione servizi ausiliari, sistema di controllo da locale e da remoto, gruppo elettrogeno di soccorso.

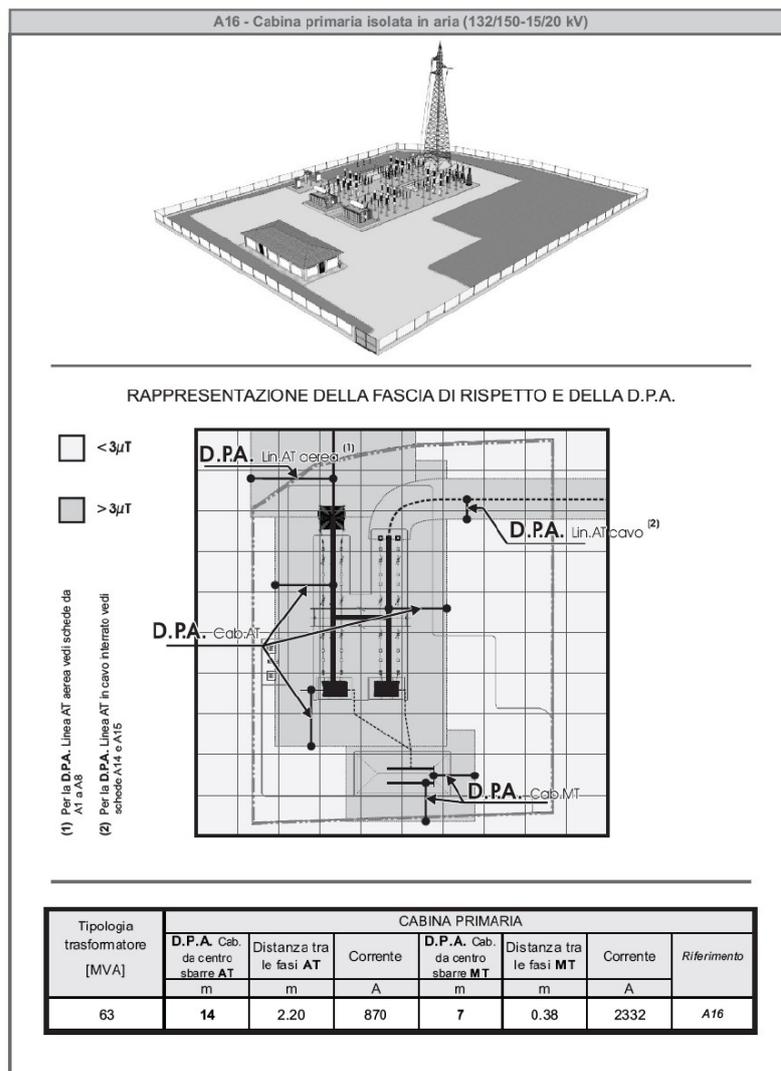
L'area occupata dalla sottostazione è opportunamente recintata e tale recinzione comprende tutta una zona di pertinenza intorno alle apparecchiature, per permettere le operazioni di costruzione e manutenzione con mezzi pesanti. Per questo motivo nel Decreto 29-05-2008 del

Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, si evidenzia che generalmente la fascia di rispetto rientra nei confini della suddetta area di pertinenza, rendendo superflua la valutazione.

Le stazioni ad alta tensione sono caratterizzate da valori di campo elettrico ed induzione magnetica che dipendono, oltre che dall'intensità della corrente di esercizio, dalle caratteristiche degli specifici componenti presenti nella stazione stessa.

I valori più elevati del campo elettrico sono attribuibili al funzionamento dei sezionatori di sbarra (1,2 – 5 kV/m), mentre il valore più elevato di induzione magnetica è registrabile in corrispondenza dei trasformatori (6 – 15  $\mu$ T), valori che scendono in genere al disotto persino degli obiettivi di qualità in corrispondenza della recinzione della stazione.

A scopo di esempio, di seguito, è riportata l'individuazione delle fasce di rispetto relative ad una cabina primaria di Enel, estratto dalle Linee guida per l'applicazione del par. 5.1.3 dell'allegato al DM 29-05-2008).



**Figura 6 - Esempio di fasce di rispetto relative ad una cabina primaria Enel**

Le aree esterne alla stazione ad alta tensione, quindi, sono caratterizzate da valori di induzione magnetica e di campo elettrico inferiori ai limiti normativi vigenti.

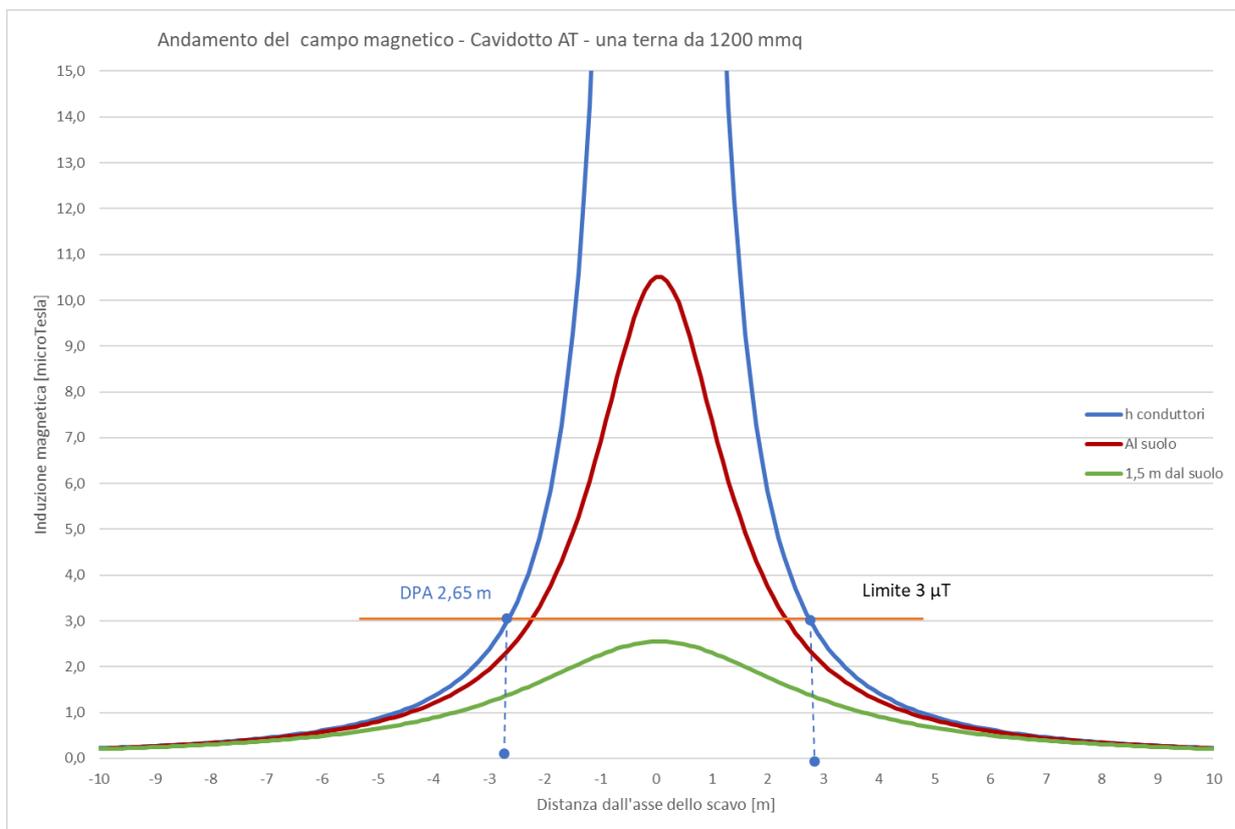
## 9. LINEA DI CONNESSIONE IN AT

### 9.1 Determinazione dei campi magnetici

Per la realizzazione del collegamento tra la sottostazione 150/30 kV e la stazione TERNA 380/150 kV della Rete di Trasmissione Nazionale denominata "Troia", come già anticipato nei paragrafi precedenti, sono stati considerati cavi in rame con schermo in alluminio avente sezione 1200 mm<sup>2</sup> posati entro cavidotto in piano ad una profondità di 1,5 m.

Maggiori dettagli sulle correnti massime trasportate e le caratteristiche dei conduttori sono riportati in tabella 4.

I valori del campo magnetico sono stati misurati all'altezza dei conduttori (-1,5 m), al suolo e ad un'altezza dal suolo di 1,50 m. 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.



**Figura 7 - Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa al cavidotto AT**

Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [ $\mu\text{T}$ ]	Al suolo [ $\mu\text{T}$ ]	A 1,5 m dal suolo [ $\mu\text{T}$ ]
-10	0,220	0,216	0,203
-9	0,271	0,265	0,245
-8	0,343	0,332	0,302
-7	0,447	0,429	0,380
-6	0,607	0,574	0,490
-5	0,871	0,805	0,649
-4	1,355	1,201	0,885
-3	2,389	1,947	1,233
-2	5,288	3,521	1,720
-1	20,160	6,916	2,263
0	4225,858	10,508	2,548
1	24,629	7,375	2,310
2	5,844	3,759	1,775
3	2,554	2,056	1,276
4	1,424	1,255	0,914
5	0,907	0,835	0,669
6	0,628	0,592	0,504
7	0,460	0,441	0,390
8	0,352	0,340	0,309
9	0,277	0,270	0,250
10	0,224	0,220	0,206

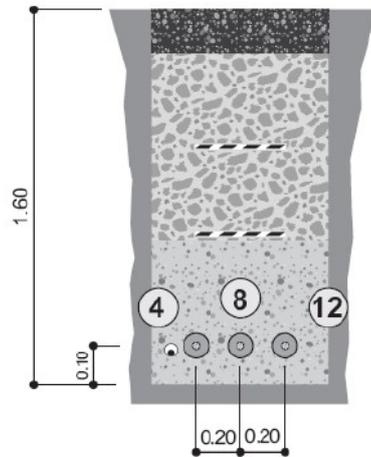
**Tabella 9: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa ai cavi AT**

## 9.2 Distanze di prima approssimazione

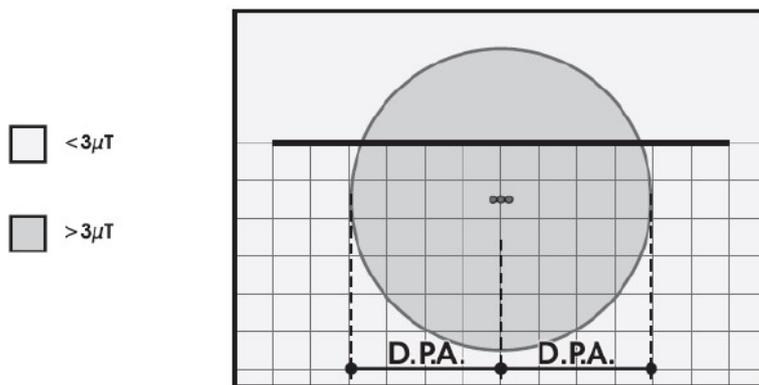
Il calcolo della DPA per i cavidotti di collegamento in AT simulati si traduce graficamente nell'individuazione di una distanza che ha origine dal punto di proiezione dall'asse del cavidotto al suolo e ha termine in un punto individuato sul suolo il cui valore del campo magnetico risulta essere uguale o inferiore ai 3  $\mu\text{T}$ . La distanza di prima approssimazione per il tratto di cavidotto preso in esame è pari a 3 m (valore di 3  $\mu\text{T}$  a 2,65 m), valore approssimato al metro così come indicato nel paragrafo 5.1.2 della guida allegata al DM del 29/05/2008.

A scopo di esempio, di seguito, sono riportate le individuazioni delle fasce di rispetto relative a cavi interrati a semplice terna disposti in piano ed a trifoglio estratto dalle Linee guida per l'applicazione del par. 5.1.3 dell'allegato al DM 29-05-2008.

A14 - CAVI INTERRATI - Semplice Tema cavi disposti in piano (serie 132/150 kV)



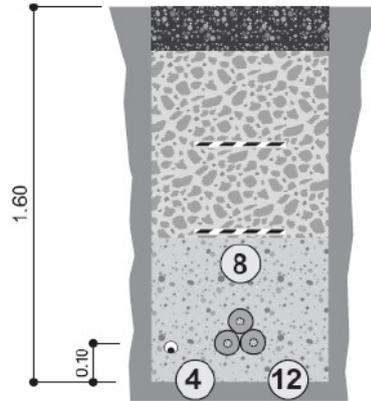
RAPPRESENTAZIONE DELLA FASCIA DI RISPETTO E DELLA D.P.A.



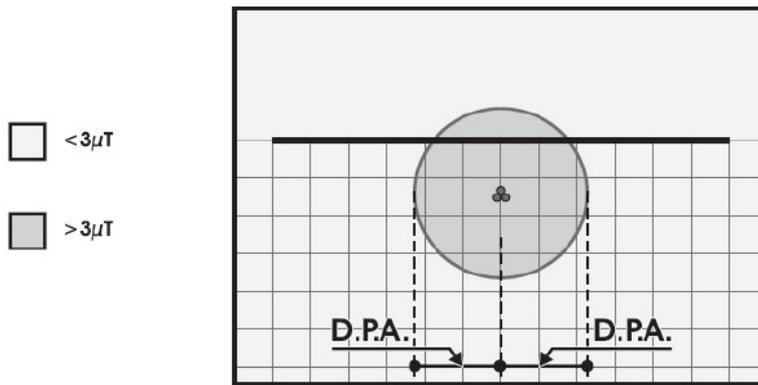
CONDUTTORI IN ALLUMINIO-ACCIAIO				
Diametro Esterno [mm]	Sezione Totale [mm <sup>2</sup> ]	CEI - 11-60 Portata [A]		
		Corrente A	D.P.A. m	Riferimento
108	1600	1110	5.10	A14

Figura 8 - Esempio di fasce di rispetto cavidotto interrato AT con posa in piano

A15 - CAVI INTERRATI - Semplice Tema cavi disposti a trifoglio (serie 132/150 kV)



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



CONDUTTORI IN ALLUMINIO-ACCIAIO				
Diametro Esterno [mm]	Sezione Totale [mm <sup>2</sup> ]	CEI - 11-60 Portata [A]		
		Corrente A	D.P.A. m	Riferimento
108	1600	1110	3.10	A15

Figura 9 - Esempio di fasce di rispetto cavidotto interrato AT con posa a trifoglio

Dagli esempi si constata come la posa a trifoglio dei cavi riduce sensibilmente le fasce di rispetto da mantenere al fine di rientrare nei limiti normativi i campi magnetici.

## 10. CONCLUSIONI

La determinazione delle fasce di rispetto è stata effettuata in accordo al D.M. del 29/05/2008 riportando per ogni opera elettrica la summenzionata DPA. Dalle analisi e considerazioni fatte si può desumere quanto segue:

- I valori di campo elettrico si possono considerare inferiori ai valori imposti dalla norma (<5000 V/m) in quanto le aree con valori superiori ricadono all'interno delle recinzioni della sottostazione elettrica e dei locali quadri e subiscono un'attenuazione per effetto della presenza di elementi posti fra la sorgente e il punto irradiato;
- Per i cavidotti in media tensione la distanza di prima approssimazione non eccede il range di  $\pm 3$  m rispetto all'asse del cavidotto;
- Per la sottostazione elettrica 150/30 kV le fasce di rispetto ricadono nei confini della suddetta area di pertinenza rendendo superflua la valutazione secondo il Decreto 29-05-2008 del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare;
- Per il cavidotto in AT la distanza di prima approssimazione non eccede il range di  $\pm 3$  m rispetto all'asse del cavidotto.

*All'interno delle aree summenzionate delimitate dalle DPA 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 di un impianto eolico con potenza complessiva pari a 121,9 MW, sito nei Comuni di Troia, Lucera e Biccari (FG), in località "Montaratro", rispetta la normativa vigente.*