

REGIONE BASILICATA

PROVINCIA DI MATERA

COMUNE DI MATERA

Oggetto:

PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI MATERA IN LOCALITÀ "MASSERIA TERLECCHIA PICCOLA" COSTITUITO DA 7 AEROGENERATORI DI POTENZA TOTALE PARI A 50.4 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE

Sezione:

SEZIONE A – PROGETTO DEFINITIVO DELL'IMPIANTO DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE

Elaborato:

RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO

Nome file stampa:

EO.MTR01.PD.A.12.pdf

Codifica regionale:

EO.MTR01.PD.A.12

Scala:

-

Formato di stampa:

A4

Nome elaborato:

EO.MTR01.PD.A.12

Tipologia:

R

Proponente:

E-WAY 7 S.r.l.

Piazza di San Lorenzo in Lucina, 4
00186 ROMA (RM)
P.IVA 16770971006



E-WAY 7 S.R.L.
P.zza di San Lorenzo in Lucina, 4
00186 - Roma
C.F./P.Iva 16770971006
PEC: e-way7srl@legalmail.it

Progettista:

E-WAY 7 S.r.l.

Piazza di San Lorenzo in Lucina, 4
00186 ROMA (RM)
P.IVA 16770971006



| CODICE | REV. n. | DATA REV. | VERIFICA | VALIDAZIONE |
|------------------|---------|-----------|-----------------------------|-------------|
| EO.MTR01.PD.A.12 | 00 | 03/2024 | F. Di Marino M. Oliviero | A. Bottone |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

E-WAY 7 S.r.l.

Sede legale
Piazza di San Lorenzo in Lucina, 4
00186 ROMA (RM)
PEC: e-way7srl@legalmail.it tel. +39 0694414500

INDICE

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | PREMESSA..... | 4 |
| 2 | RIFERIMENTI NORMATIVI | 5 |
| 3 | DESCRIZIONE E CARATTERISTICHE DELL'OPERA..... | 6 |
| 4 | Inquadramento normativo..... | 8 |
| 5 | METODOLOGIA DI CALCOLO DEI CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI..... | 11 |
| 5.1 | Modello di calcolo normalizzato bidimensionale (§ 6.1 della norma CEI 106-11 parte 1) | 13 |
| 5.2 | Distanza di prima approssimazione di parete..... | 14 |
| 6 | CALCOLO CAMPI ELETTROMAGNETICI | 16 |
| 6.1 | Aerogeneratori..... | 16 |
| 6.2 | Linea elettrica in cavo interrato MT | 17 |
| 6.3 | Cabina di raccolta | 24 |
| 6.3.1 | Quadri MT..... | 24 |
| 6.3.2 | Trasformatore MT/BT per servizi ausiliari | 24 |
| 6.4 | Linea elettrica esterna in cavo interrato MT..... | 25 |
| 6.5 | Stazione elettrica di trasformazione 30/150 kV utente..... | 26 |
| 6.5.1 | Quadri MT e trasformatore MT/BT | 26 |
| 6.5.2 | Trasformatore MT/AT | 26 |
| 6.5.3 | Conduttori AT a 150 kV | 27 |
| 6.6 | Linee elettriche in cavo interrato AT a 150 kV | 29 |
| 7 | CONCLUSIONI | 31 |

INDICE DELLE FIGURE

| | |
|---|--|
| <i>Figura 1: Schema a blocchi di connessione dell'impianto</i> | 6 |
| <i>Figura 2: Inquadramento progetto eolico su CTR</i> | 7 |
| <i>Figura 3: Schematizzazione delle linee aeree e in cavo interrato e formule per la determinazione dei fasori delle componenti spaziali dell'induzione magnetica</i> | 14 |
| <i>Figura 4 Rappresentazione cavo ARE4H5E</i> | Errore. Il segnalibro non è definito. |
| <i>Figura 6: Andamento dell'induzione magnetica in funzione della distanza dall'asse dei conduttori. Una terna da 95 mm².</i> | 18 |
| <i>Figura 5: Andamento dell'induzione magnetica in funzione della distanza dall'asse dei conduttori. Una terna da 400 mm².</i> | 18 |
| <i>Figura 7: Andamento dell'induzione magnetica in funzione della distanza dall'asse dei conduttori. Una terna da 95 mm² e una da 400 mm².</i> | 19 |
| <i>Figura 8: Andamento dell'induzione magnetica in funzione della distanza dall'asse dei conduttori. Due terne da 400 mm².</i> | 19 |
| <i>Figura 9: Andamento dell'induzione magnetica in funzione della distanza dall'asse dei conduttori. Una terna da 95 mm² e tre da 400 mm².</i> | 20 |
| <i>Figura 10: Andamento dell'induzione magnetica in funzione della distanza dall'asse dei conduttori. Tre terne da 630 mm.</i> | 20 |
| <i>Figura 13 Rif. A16 - Allegato A "DPA LINEE AT E CABINE PRIMARIE"</i> | 28 |
| <i>Figura 14 - Rif. A15 - allegato A "DPA LINEE AT E CABINE PRIMARIE" - LINEE GUIDA E-Distribuzione</i> | 30 |

INDICE DELLE TABELLE

| | |
|--|-----------|
| <i>Tabella 1: Definizioni di limiti di esposizione, di valori di attenzione e di obiettivi di qualità secondo la legge quadro.....</i> | <i>8</i> |
| <i>Tabella 2: Limiti di esposizione, limiti di attenzione e obiettivi di qualità del DPCM 08/07/2003, confrontati con i livelli di riferimento della Raccomandazione 1999/512CE.....</i> | <i>9</i> |
| <i>Tabella 3 Elenco tratte cavo interrato MT.....</i> | <i>17</i> |
| <i>Tabella 4: Andamento dell'induzione magnetica in funzione della distanza dall'asse dei conduttori. Parte 1</i> | <i>21</i> |
| <i>Tabella 5: Andamento dell'induzione magnetica in funzione della distanza dall'asse dei conduttori. Parte 2</i> | <i>22</i> |
| <i>Tabella 6: Distanza di prima approssimazione per cavidotti di collegamento del parco eolico</i> | <i>23</i> |
| <i>Tabella 7 Caratteristiche dei cavi AT di impiego prevalente.....</i> | <i>29</i> |

1 PREMESSA

Il presente elaborato è riferito al progetto per la costruzione e l'esercizio di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, ed opere di connessione annesse, denominato "Masseria Terlecchia Piccola", sito nel Comune di Matera (MT).

In particolare, il progetto è relativo ad un impianto eolico di potenza totale pari a 50.4 MW e costituito da:

- 7 aerogeneratori di potenza nominale 7.2 MW, diametro di rotore 162 m e altezza al mozzo 119 m (del tipo Vestas V162 o assimilabili);
- n. 1 cabina di raccolta e misura;
- linee elettriche in media tensione a 30 kV in cavo interrato necessarie per l'interconnessione degli aerogeneratori alla cabina di raccolta e misura e da questa alla stazione elettrica di trasformazione;
- una stazione elettrica utente di trasformazione 30/150 kV;
- una linea elettrica in alta tensione a 150 kV in cavo interrato per la connessione in antenna della sezione di impianto e lo stallo a 150 kV previsto all'interno della stazione elettrica della RTN "Matera 380/150/36 kV".
- tutte le apparecchiature elettromeccaniche in alta tensione di competenza utente da installare all'interno della stazione elettrica della RTN in corrispondenza dello stallo assegnato.

Titolare dell'iniziativa proposta è la società E-WAY 7 S.r.l., avente sede legale in Piazza di San Lorenzo in Lucina 4, 00186 Roma, P.IVA 16770971006, e partecipata per la totalità delle quote societaria dalla società E-WAY FINANCE S.p.a. avente sede legale in Piazza di San Lorenzo in Lucina 4, 00186 Roma, P.IVA 15773121007, del gruppo Banca del Fucino S.p.a.

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

- Legge n. 36 del 22 febbraio 2001, “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 20-21 “Calcolo della portata di corrente” (IEC 60287);
- CEI 106-11 Parte 1 “Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6). Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo”;
- CEI 106-11 Parte 2 “Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6). Parte 2: Distanza di prima approssimazione per cabine media-bassa tensione”;
- CEI 211-4 “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche”;
- Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche. Linea Guida per l’applicazione del § 5.1.3 dell’Allegato al DM 29.05.08. Enel Distribuzione S.p.A.
- “Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti” APAT (*Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i servizi Tecnici*);

3 DESCRIZIONE E CARATTERISTICHE DELL'OPERA

Oggetto della presente relazione sarà la determinazione della distanza di prima approssimazione DPA alla quale siano rispettati gli obiettivi di qualità dell'impianto eolico di progetto indicati nell'art. 4 del DPCM 8 luglio 2003.

L'impianto eolico è composto da 7 aerogeneratori di potenza nominale pari a 7.2 MW collegati mediante un cavidotto interrato a 30 kV alla cabina di raccolta utente, da questa mediante cavidotto esterno interrato a 30kV è collegato alla stazione elettrica utente di trasformazione 30/150 kV e mediante cavidotto interrato AT collegato in antenna a 150 kV sulla Stazione Elettrica di trasformazione della RTN 380/150 kV.

Si riporta di seguito uno schema a blocchi che descrive le opere previste per la connessione dell'impianto eolico alla nuova Stazione Elettrica della RTN.

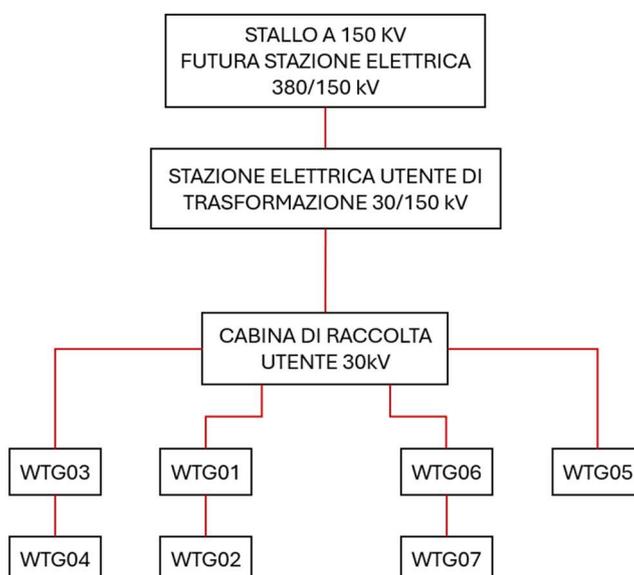


Figura 1: Schema a blocchi di connessione dell'impianto

Le opere elettriche di impianto, sulle quali rivolgere l'attenzione ai fini della presente valutazione sono:

- Aerogeneratori, contenenti sia il trasformatore 0,720/30 kV che le apparecchiature elettromeccaniche a 30 kV (quadri MT);
- Linee elettriche in cavo interrato a 30 kV, congiungente il parco eolico (entra-esce tra i vari aerogeneratori) con la cabina di raccolta (di utenza) e da questa alla stazione elettrica di trasformazione;
- Cabina di raccolta;
- Stazione elettrica di utenza 150/30 kV (SE di utenza) con locali tecnici MT e BT, sezione di trasformazione 30/150 kV, sistema sbarre AT a 150 kV e partenza cavo AT verso SE RTN;
- Linee elettriche in cavo interrato a 150 kV, congiungente la stazione elettrica utente di trasformazione con la stazione elettrica RTN.

Si riporta nel seguito degli estratti della tavola di inquadramento su IGM dell'impianto eolico in cui sono rappresentati i posizionamenti degli gli aerogeneratori e le opere di connessione.

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 di seguito 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);
- 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

08/07/2003 propone i valori presenti nella tabella seguente, a cui sono aggiunti per confronto quelli della normativa europea.

| Normativa | Limiti previsti | Intensità del campo di Induzione magnetica B (μT) | Intensità del campo Elettrico E (kV/m) |
|-----------------------------------|------------------------|--|--|
| L. 36/01 DPCM 8/7/2003 | Limite d'esposizione | 100 | 5 |
| | Limite d'attenzione | 10 | |
| | Obiettivo di qualità | 3 | |
| Racc. Cons. Europeo 12/07/1999 | Livelli di riferimento | 100 | 5 |
| ICNIRP (2010) | Livelli di riferimento | 200 | 5 |

Tabella 2: Limiti di esposizione, limiti di attenzione e obiettivi di qualità del DPCM 08/07/2003, confrontati con i livelli di riferimento della Raccomandazione 1999/512CE

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 e 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 23/04/1992.

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).

Di seguito alcune definizioni:

La Fascia di rispetto è lo 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 ($3 \mu\text{T}$). Come prescritto dall'articolo 4, c. 1 lettera h) della Legge Quadro n. 36 del 22 febbraio 2001, all'interno delle fasce di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario e ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore.

La Distanza di Prima Approssimazione (DPA) per le linee è la 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 della DPA si trovi all'esterno delle fasce di rispetto. Per le cabine secondarie è la distanza, in pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra.

La Distanza di prima approssimazione di parete (DPAP) è la distanza da ogni singola parete, soffitto e pavimento del locale ospitante le apparecchiature elettriche atte alla trasformazione da media a bassa tensione e il sezionamento a media tensione dell'energia elettrica, che garantisce l'osservanza della fascia di rispetto. Nel calcolo della DPA di parete si devono considerare i contributi dovuti alle apparecchiature installate presso la parete in esame.

5 METODOLOGIA DI CALCOLO DEI CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI

Il modello normalizzato utilizzato per la seguente valutazione per il calcolo dell'induzione magnetica prodotta in una sezione trasversale di una linea elettrica aerea è quello descritto dalla Norma CEI 211-4, che viene considerato applicabile anche alle linee in cavo interrato.

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

Vengono assunte le seguenti schematizzazioni della linea:

- tutti i conduttori sono considerati rettilinei, orizzontali, di lunghezza infinita e paralleli tra di loro;
- le correnti sono considerate concentrate negli assi centrali dei conduttori aerei o dei cavi e, nel caso dei conduttori aerei a fascio, negli assi centrali dei fasci, cioè negli assi dei cilindri aventi come generatrici gli assi dei sub-conduttori dei fasci;
- il suolo è considerato perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico e quindi si trascurano le immagini dei conduttori rispetto al suolo, che alla frequenza industriale risultano a profondità molto elevate;

In dettaglio, l'induzione magnetica \mathbf{B} generata da N_r conduttori filiformi, numerati da 0 a $(N_r - 1)$, può essere calcolata mediante la seguente espressione:

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

Dove:

- μ_0 è la permeabilità magnetica del vuoto;
- N_r è il numero dei conduttori (nel nostro caso pari a 3);
- 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.

Indicato con \mathbf{Q} la posizione dell'osservatore, definiamo *sezione normale* il piano verticale passante per \mathbf{Q} e ortogonale ai conduttori; indichiamo quindi con \mathbf{P}_k il punto dove il generico conduttore C_k interseca la *sezione normale*, e con \mathbf{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 \mathbf{Q} si ottiene l'espressione

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_{k=0}^{N_r-1} \int_{C_k} \frac{i_z \vec{z} \times (\mathbf{Q} - \mathbf{P}_k)}{|\mathbf{Q} - \mathbf{P}_k|^2}$$

Per quanto riguarda invece il campo elettrico, non è in generale possibile, tranne che per configurazioni molto semplici, sviluppare procedure analitiche per il caso generale di strutture tridimensionali.

Queste procedure sono basate sul principio delle cariche equivalenti semplificato: non si considera l'esatta distribuzione delle cariche sulle superficie dei conduttori e si suppone che esse siano concentrate al centro degli stessi, con una densità lineare di carica costante.

Per la determinazione delle cariche presenti sui diversi conduttori della linea ci si avvale del principio delle immagini, in base al quale un piano equipotenziale a potenziale nullo (quale si suppone essere il terreno) può essere simulato con una configurazione di cariche immagini, cioè di cariche di segno opposto a quelle che generano il campo e disposte specularmente rispetto al piano stesso.

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

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

Dove:

- λ = densità lineare di carica sul conduttore;
- ϵ_0 = permittività del vuoto;
- d = distanza del conduttore rettilineo dal punto di calcolo;
- \hat{u}_r = versore unitario con direzione radiale al conduttore.

Il modello bidimensionale considerato, con le schematizzazioni sopra elencate, fornisce risultati del tutto accettabili ai fini della presente analisi.

Il calcolo dell'induzione magnetica deve essere eseguito, ai sensi del § 5.1.2 dell'Allegato al D.M. 29 maggio 2008, sulla base delle caratteristiche geometriche, meccaniche ed elettriche della linea, tenendo conto della presenza di eventuali altri elettrodotti.

Detto calcolo delle fasce di rispetto va eseguito utilizzando modelli:

- bidimensionali (2D), se sono rispettate le condizioni di cui al § 6.1 della norma CEI 106-11 parte 1;
- tridimensionali (3D), in tutti gli altri casi (estensione della norma CEI 211-4).

5.1 Modello di calcolo normalizzato bidimensionale (§ 6.1 della norma CEI 106-11 parte 1)

Il modello normalizzato utilizzato per la seguente valutazione per il calcolo dell'induzione magnetica prodotta in una sezione trasversale di una linea elettrica aerea è quello descritto dalla Norma CEI 211-4, che viene considerato applicabile anche alle linee in cavo interrato.

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

Vengono assunte le seguenti schematizzazioni della linea:

- tutti i conduttori sono considerati rettilinei, orizzontali, di lunghezza infinita e paralleli tra di loro;
- le correnti sono considerate concentrate negli assi centrali dei conduttori aerei o dei cavi e, nel caso dei conduttori aerei a fascio, negli assi centrali dei fasci, cioè negli assi dei cilindri aventi come generatrici gli assi dei sub-conduttori dei fasci;
- per le linee aeree non vengono considerate le correnti indotte nelle funi di guardia in quanto il loro effetto sull'induzione magnetica è ritenuto trascurabile; analogamente per le linee in cavo interrato non si tiene conto delle correnti indotte negli schermi;
- il suolo è considerato perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico e quindi si trascurano le immagini dei conduttori rispetto al suolo, che alla frequenza industriale risultano a profondità molto elevate;

Il modello bidimensionale considerato, con le schematizzazioni sopra elencate, fornisce risultati del tutto accettabili ai fini della presente guida per la maggior parte delle situazioni riscontrabili per le linee aeree e in cavo.

L'algoritmo di calcolo considera in sintesi i seguenti passi:

- i valori efficaci e le fasi delle correnti sinusoidali sui conduttori sono rappresentati attraverso fasori (numeri complessi): I_i è il fasore della corrente i ; sul conduttore i ;
- con riferimento ad un generico punto di coordinate (x_p, y_p) sul piano ortogonale ai conduttori si calcolano i fasori delle componenti spaziali dell'induzione magnetica totale B_x e B_y attraverso le formule riportate nella Figura, nella quale è anche illustrato il significato dei simboli usati nelle formule stesse, con riferimento alle linee aeree e a quelle in cavo interrato; per queste ultime la profondità di posa dei cavi (coordinata del centro geometrico di ciascun cavo) va introdotta con il segno negativo; per semplicità e maggior chiarezza, gli schemi riportati si riferiscono a linee a semplice terna, ma ovviamente le formule sotto riportate valgono per linee a doppia terna, introducendo opportunamente i fasori delle correnti in modo da rappresentare la disposizione delle fasi;
- il valore efficace dell'induzione B magnetica viene ottenuto con la formula:

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$$

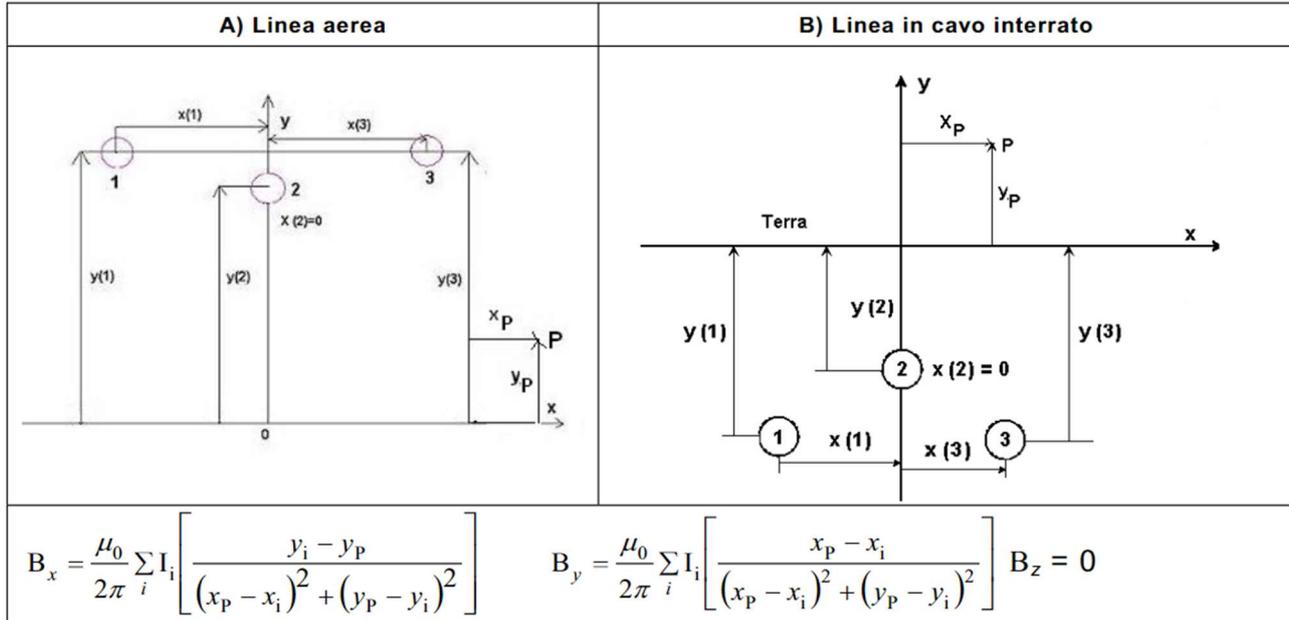


Figura 3: Schematizzazione delle linee aeree e in cavo interrato e formule per la determinazione dei fasori delle componenti spaziali dell'induzione magnetica

In alternativa all'utilizzazione del modello di calcolo normalizzato sopra descritto, che richiede l'uso di codici di calcolo, seppur relativamente semplici, si può ricorrere a formule analitiche approssimate, che permettono il calcolo immediato dell'induzione magnetica ad una data distanza dal centro geometrico dei conduttori della linea elettrica o reciprocamente la distanza da tale centro geometrico a cui si verifica un prefissato valore di induzione magnetica: esse sono pertanto molto utili per valutazioni approssimate e immediate delle fasce di rispetto delle **linee aeree e in cavo interrato**.

Tali formule derivano dalla considerazione che l'induzione magnetica generata da un sistema di conduttori di lunghezza infinita e tra di loro paralleli può essere espresso dalla scomposizione in serie della legge di Biot-Savart e che, per punti relativamente lontani dai conduttori, quali quelli di interesse per la valutazione delle fasce di rispetto a 3 μ T, lo sviluppo in serie può essere troncato al primo termine con un'approssimazione tanto più accettabile tanto più è elevata la distanza dai conduttori. Con questa approssimazione le curve isolivello dell'induzione magnetica sono le circonferenze aventi per centro il **centro geometrico dei conduttori**.

5.2 Distanza di prima approssimazione di parete

Per quanto riguarda le cabine elettriche, si adotta una metodologia semplificata (**§ 5 della norma CEI 106-11 parte 2**) che tiene conto della disposizione dei componenti all'interno di una cabina; quindi, si rende necessario ampliare il concetto della distanza di prima approssimazione (DPA), unica per tutte le pareti, ad un concetto di distanza di prima approssimazione di parete (DPAP).

I componenti presenti in cabina possono essere modellizzati mediante sorgenti di campo magnetico proporzionali all'intensità della corrente e inversamente proporzionali alla distanza dalla sorgente o dal quadrato o dal cubo della stessa.

$$B = \alpha * \frac{I}{r^\beta}$$

La sorgente può avere inoltre simmetria di tipo cilindrico o sferico.

Dalla formula dell'andamento dell'induzione è possibile determinare la fascia di rispetto associata al valore dell'obiettivo di qualità 3 μ T:

$$r_{3\mu T} = \sqrt{\frac{\beta}{3}} \sqrt{\alpha} \sqrt{I}$$

I coefficienti α e β sono determinati in funzione dei parametri geometrici delle diverse sorgenti (trasformatore, collegamenti elettrici, quadri).

Il campo elettrico è legato in maniera direttamente proporzionale alla tensione della sorgente; esso si attenua, allontanandosi da un elettrodotto, come l'inverso della distanza dai conduttori. Dal momento che i valori efficaci delle tensioni di linea variano debolmente con le correnti che le attraversano, l'intensità del campo elettrico può considerarsi, in prima approssimazione, costante.

La presenza di alberi, oggetti conduttori o edifici in prossimità delle linee riduce l'intensità del campo elettrico, e in particolare all'interno degli edifici, si possono misurare intensità di campo fino a 10 (anche 100) volte inferiori a quelle rilevabili all'esterno.

Per il caso di elettrodotti interrati, **il campo elettrico** è ridotto dai rivestimenti dei cavi e soprattutto dall'interramento, tanto che già a brevissima distanza dal cavo il campo è sostanzialmente trascurabile (**§ 6.5.2.2 della norma CEI 11-17**). Si pensi infatti che date le caratteristiche dielettriche del terreno, il piano di terra costituisce un riferimento elettrico equipotenziale, a potenziale nullo. Per tale motivo, il campo elettrico non è generalmente di interesse per la valutazione di effetti biologici legati alla presenza di elettrodotti in bassa frequenza (50Hz), e le normative che fissano i limiti di esposizione a bassa frequenza sono incentrate sul campo magnetico.

6 CALCOLO CAMPI ELETTROMAGNETICI

Si riportano nel presente capitolo i risultati di calcolo sviluppato seguendo la metodologia su esposta per le opere elettriche di impianto influenti dal punto di vista elettromagnetico.

6.1 Aerogeneratori

L'impatto EM dell'aerogeneratore è essenzialmente prodotto dal trasformatore MT/BT ($P_{nom} = 8400$ kVA), presente all'interno della navicella ($h=119$ m), e dalle apparecchiature elettromeccaniche MT, poste alla base della torre.

Per i motivi suddetti, si omette di considerare la DPA del trasformatore, e si riportano quelli generati dalle celle MT.

Per il calcolo, in via cautelativa, si fa riferimento alle celle MT dell'aerogeneratore che compone la serie tra due turbine, interessate da una corrente complessiva pari a:

$$I [A] = \frac{7200 * 2}{30 * \sqrt{3}} \cong 277$$

| | |
|--|------|
| $r_{x(3\mu T)} = 0,3024 \sqrt[3]{I} [m]$ | 1,97 |
| $r_{y(3\mu T)} = 0,3485 \sqrt[3]{I} [m]$ | 2,27 |
| $r_{z(3\mu T)} = 0,6437 \sqrt[3]{I} [m]$ | 4,20 |
| $\max(r_{x(3\mu T)}, r_{y(3\mu T)}) [m]$ | 2,27 |
| DRS piano x,y [m] | 2,5 |

Nel caso di quadro non isolato in aria, le dimensioni sono inferiori e pertanto l'approccio proposto è cautelativo.

Ne risulta quindi una DPA pari a 2,5 metri dal centro della cella in media tensione, pertanto contenuta in un intorno della base della torre eolica.

6.2 Linea elettrica in cavo interrato MT

Per i collegamenti elettrici in media tensione interrati si prevede l'utilizzo di cavi del tipo **ARE4H5E** o equivalenti, caratterizzati da conduttori a corda rotonda compatta di alluminio, semiconduttivi interni ed esterni in mescola estrusa, isolante in Polietilene reticolato e schermatura a nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale. Il tutto è ricoperto da una guaina di Polietilene di colore rosso, in conformità alla Norma CEI 20-13.

Le sezioni di cavo previste per le diverse tratte per il collegamento degli aerogeneratori fino alla cabina di raccolta e dalla stessa fino alla stazione elettrica utente di trasformazione 30/150 kV, sono riportate nella seguente tabella:

| Tratta | Cavo | Formazione | Corrente di impiego I_b [A] | Portata peggiorativa I_z [A] |
|-------------|------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| WTG07-WTG06 | ARE4H5E 18/30 kV | 3 x (1 x 95 mm ²) | 139 | 250 |
| WTG06-CR | ARE4H5E 18/30 kV | 3 x (1 x 400 mm ²) | 277 | 538 |
| WTG05-CR | ARE4H5E 18/30 kV | 3 x (1 x 95 mm ²) | 139 | 250 |
| WTG04-WTG03 | ARE4H5E 18/30 kV | 3 x (1 x 95 mm ²) | 139 | 250 |
| WTG03-CR | ARE4H5E 18/30 kV | 3 x (1 x 400 mm ²) | 277 | 538 |
| WTG02-WTG01 | ARE4H5E 18/30 kV | 3 x (1 x 95 mm ²) | 139 | 250 |
| WTG01-CR | ARE4H5E 18/30 kV | 3 x (1 x 400 mm ²) | 277 | 538 |
| CR-SSEU | ARE4H5E 18/30 kV | 3 x 3 x (1 x 630 mm ²) | 970 | 695 |

Tabella 3 Elenco tratte cavo interrato MT

Per il calcolo della portata in regime permanente è stato considerata la condizione peggiorativa avente le seguenti caratteristiche:

- Profondità di posa 1,2 m;
- Posa direttamente interrata;
- Temperatura di posa 20 °C;
- Un solo circuito nello scavo;
- Resistività termica del terreno 1 K m/W.

I risultati seguenti sono ottenuti applicando il metodo descritto nel paragrafo 5.1 calcolando il valore dell'induzione magnetica su un asse orizzontale, ortogonale all'asse dei conduttori e posizionato ad altezza dei conduttori.

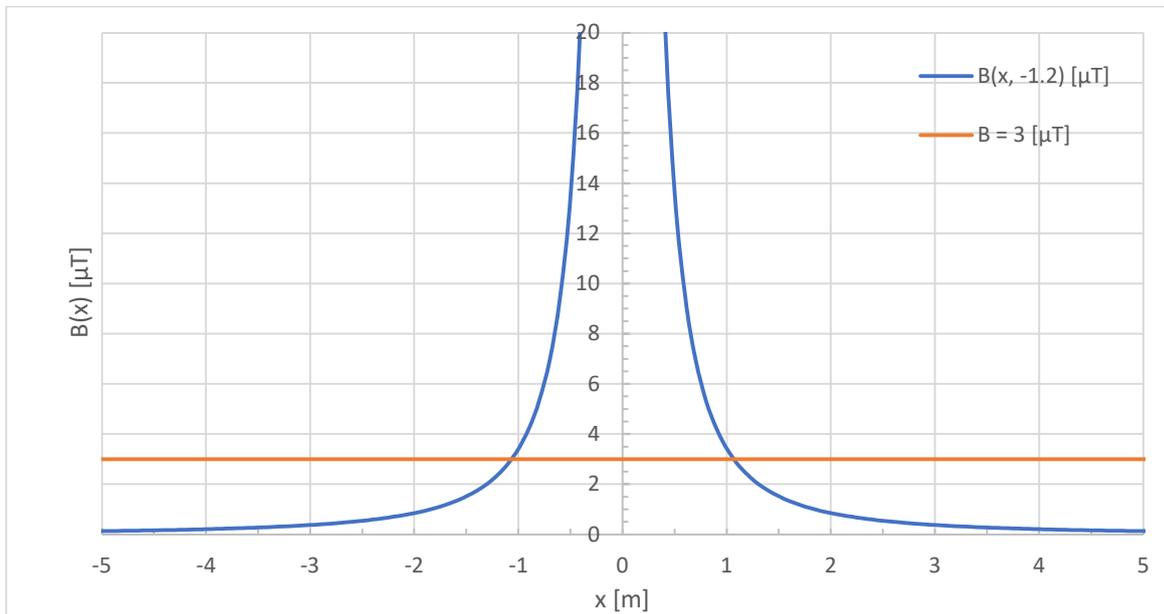


Figura 4: Andamento dell'induzione magnetica in funzione della distanza dall'asse dei conduttori. Una terna da 95 mm².

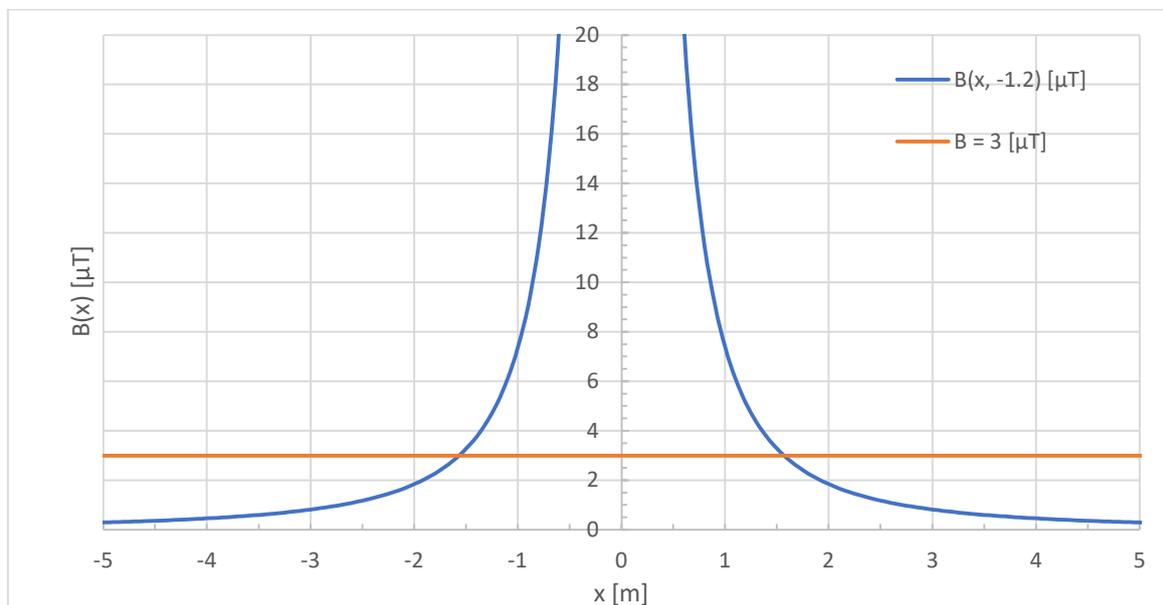


Figura 5: Andamento dell'induzione magnetica in funzione della distanza dall'asse dei conduttori. Una terna da 400 mm².

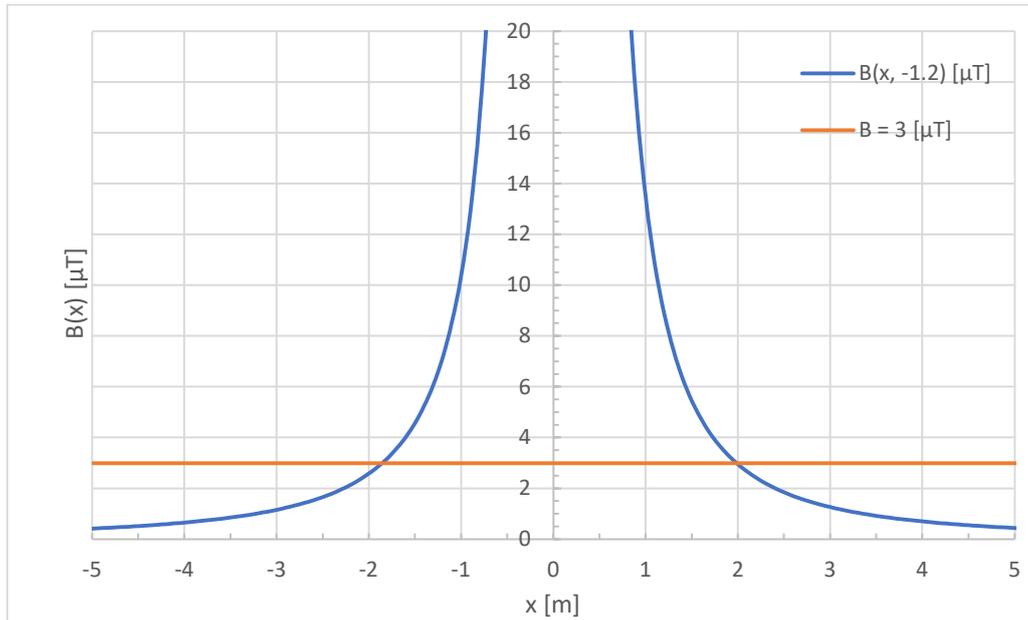


Figura 6: Andamento dell'induzione magnetica in funzione della distanza dall'asse dei conduttori. Una terna da 95 mm² e una da 400 mm².

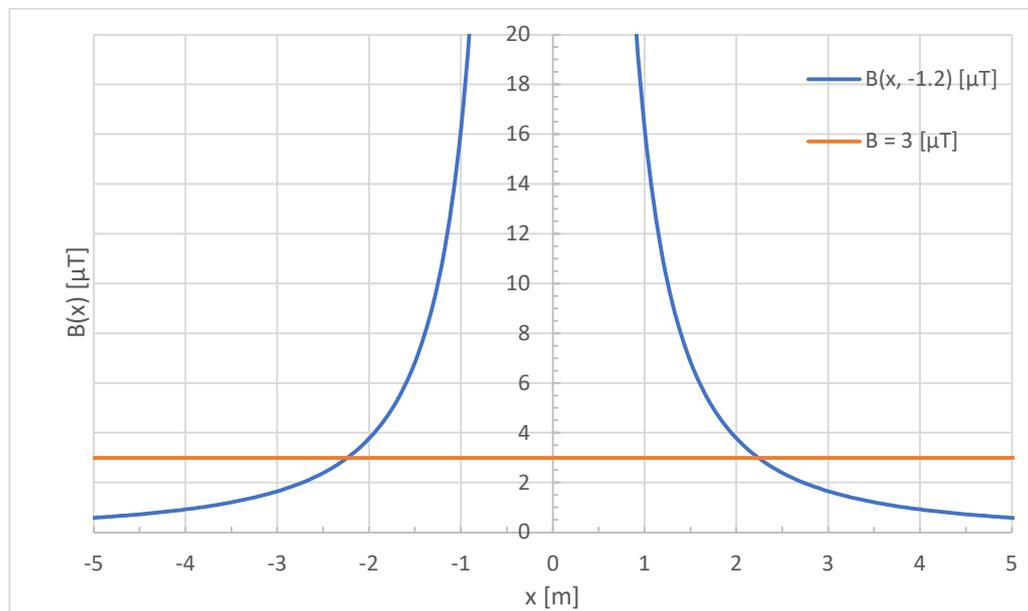


Figura 7: Andamento dell'induzione magnetica in funzione della distanza dall'asse dei conduttori. Due terne da 400 mm².

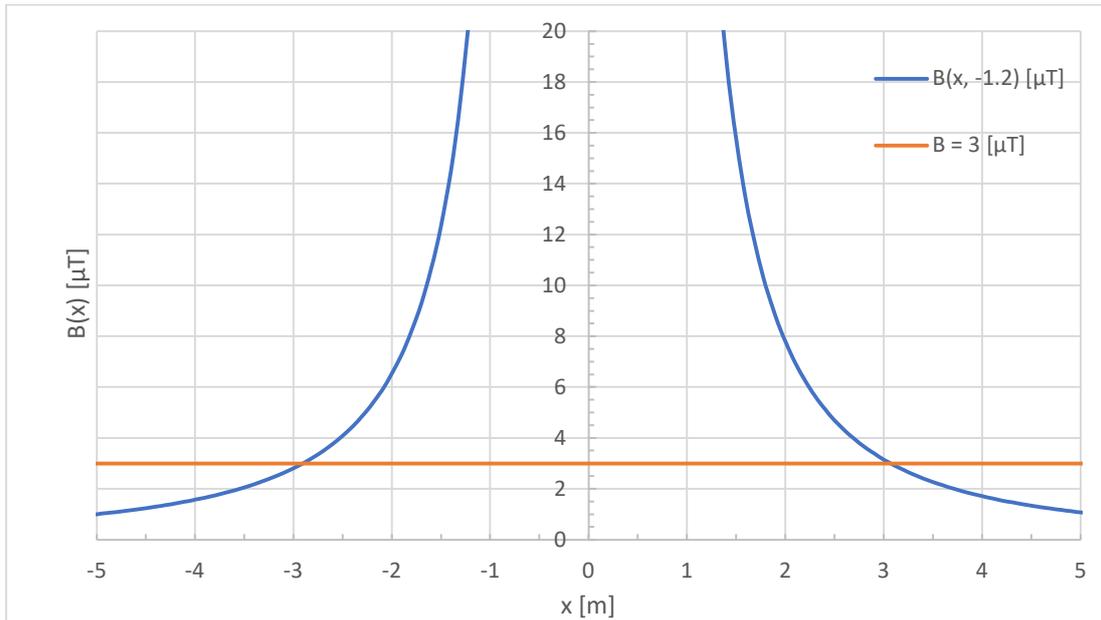


Figura 8: Andamento dell'induzione magnetica in funzione della distanza dall'asse dei conduttori. Una terna da 95 mm² e tre da 400 mm².

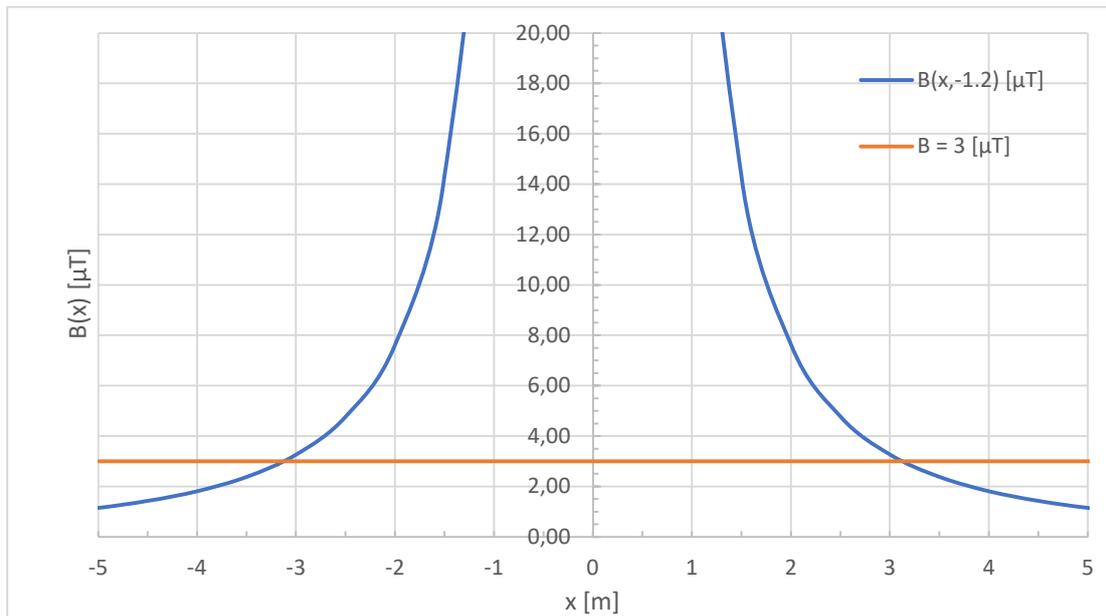


Figura 9: Andamento dell'induzione magnetica in funzione della distanza dall'asse dei conduttori. Tre terna da 630 mm.

| x | B(x, -1.2) [μ T] | | | | | |
|------|-----------------------|----------------|---------------------------------|----------------|---------------------------------|----------------|
| | 1 terna da 95 | 1 terna da 400 | 1 terna da 95 1 terna da 400 | 2 terne da 400 | 1 terna da 95 3 terne da 400 | 3 terne da 630 |
| -6 | 0,10 | 0,20 | 0,29 | 0,41 | 0,70 | 0,80 |
| -5,9 | 0,10 | 0,21 | 0,30 | 0,43 | 0,72 | 0,83 |
| -5,8 | 0,10 | 0,22 | 0,31 | 0,44 | 0,75 | 0,86 |
| -5,7 | 0,11 | 0,23 | 0,33 | 0,46 | 0,77 | 0,89 |
| -5,6 | 0,11 | 0,24 | 0,34 | 0,47 | 0,80 | 0,92 |
| -5,5 | 0,11 | 0,24 | 0,35 | 0,49 | 0,83 | 0,95 |
| -5,4 | 0,12 | 0,25 | 0,36 | 0,51 | 0,86 | 0,99 |
| -5,3 | 0,12 | 0,26 | 0,38 | 0,53 | 0,89 | 1,03 |
| -5,2 | 0,13 | 0,27 | 0,39 | 0,55 | 0,93 | 1,07 |
| -5,1 | 0,13 | 0,28 | 0,41 | 0,57 | 0,97 | 1,11 |
| -5 | 0,14 | 0,30 | 0,42 | 0,59 | 1,01 | 1,16 |
| -4,9 | 0,14 | 0,31 | 0,44 | 0,62 | 1,05 | 1,20 |
| -4,8 | 0,15 | 0,32 | 0,46 | 0,64 | 1,09 | 1,26 |
| -4,7 | 0,16 | 0,33 | 0,48 | 0,67 | 1,14 | 1,31 |
| -4,6 | 0,16 | 0,35 | 0,50 | 0,70 | 1,19 | 1,37 |
| -4,5 | 0,17 | 0,36 | 0,52 | 0,73 | 1,24 | 1,43 |
| -4,4 | 0,18 | 0,38 | 0,54 | 0,77 | 1,30 | 1,50 |
| -4,3 | 0,19 | 0,40 | 0,57 | 0,80 | 1,36 | 1,57 |
| -4,2 | 0,19 | 0,42 | 0,60 | 0,84 | 1,43 | 1,65 |
| -4,1 | 0,20 | 0,44 | 0,63 | 0,88 | 1,50 | 1,73 |
| -4 | 0,21 | 0,46 | 0,66 | 0,93 | 1,57 | 1,82 |
| -3,9 | 0,23 | 0,49 | 0,69 | 0,98 | 1,65 | 1,91 |
| -3,8 | 0,24 | 0,51 | 0,73 | 1,03 | 1,74 | 2,02 |
| -3,7 | 0,25 | 0,54 | 0,77 | 1,09 | 1,84 | 2,13 |
| -3,6 | 0,26 | 0,57 | 0,81 | 1,15 | 1,94 | 2,25 |
| -3,5 | 0,28 | 0,60 | 0,86 | 1,21 | 2,06 | 2,39 |
| -3,4 | 0,30 | 0,64 | 0,91 | 1,29 | 2,18 | 2,53 |
| -3,3 | 0,31 | 0,68 | 0,96 | 1,37 | 2,32 | 2,69 |
| -3,2 | 0,33 | 0,72 | 1,02 | 1,46 | 2,47 | 2,87 |
| -3,1 | 0,36 | 0,77 | 1,09 | 1,55 | 2,63 | 3,06 |
| -3 | 0,38 | 0,82 | 1,16 | 1,66 | 2,81 | 3,27 |
| -2,9 | 0,41 | 0,88 | 1,24 | 1,78 | 3,01 | 3,51 |
| -2,8 | 0,44 | 0,94 | 1,33 | 1,91 | 3,24 | 3,77 |
| -2,7 | 0,47 | 1,01 | 1,43 | 2,05 | 3,49 | 4,07 |
| -2,6 | 0,51 | 1,09 | 1,54 | 2,21 | 3,77 | 4,40 |
| -2,5 | 0,55 | 1,18 | 1,66 | 2,40 | 4,09 | 4,77 |
| -2,4 | 0,59 | 1,28 | 1,80 | 2,61 | 4,45 | 5,20 |
| -2,3 | 0,65 | 1,39 | 1,96 | 2,84 | 4,86 | 5,68 |
| -2,2 | 0,71 | 1,52 | 2,14 | 3,11 | 5,34 | 6,24 |
| -2,1 | 0,78 | 1,67 | 2,35 | 3,42 | 5,89 | 6,89 |
| -2 | 0,86 | 1,84 | 2,59 | 3,78 | 6,54 | 7,64 |
| -1,9 | 0,95 | 2,04 | 2,86 | 4,20 | 7,30 | 8,53 |
| -1,8 | 1,06 | 2,28 | 3,19 | 4,69 | 8,21 | 9,59 |
| -1,7 | 1,19 | 2,55 | 3,57 | 5,28 | 9,31 | 10,86 |
| -1,6 | 1,34 | 2,88 | 4,03 | 5,99 | 10,66 | 12,41 |
| -1,5 | 1,52 | 3,28 | 4,58 | 6,85 | 12,35 | 14,34 |
| -1,4 | 1,75 | 3,76 | 5,26 | 7,91 | 14,52 | 16,76 |
| -1,3 | 2,03 | 4,36 | 6,10 | 9,25 | 17,38 | 19,90 |
| -1,2 | 2,38 | 5,12 | 7,16 | 10,96 | 21,30 | 24,06 |
| -1,1 | 2,83 | 6,09 | 8,55 | 13,22 | 26,93 | 29,78 |
| -1 | 3,42 | 7,37 | 10,39 | 16,26 | 35,62 | 37,98 |
| -0,9 | 4,22 | 9,10 | 12,92 | 20,54 | 50,55 | 50,47 |
| -0,8 | 5,34 | 11,51 | 16,57 | 26,84 | 81,26 | 71,16 |
| -0,7 | 6,98 | 15,02 | 22,14 | 36,73 | 170,81 | 110,03 |
| -0,6 | 9,48 | 20,42 | 31,41 | 53,72 | 809,68 | 200,07 |
| -0,5 | 13,63 | 29,35 | 48,98 | 87,25 | 1098,58 | 514,82 |
| -0,4 | 21,24 | 45,72 | 90,75 | 170,78 | 297,93 | 3480,48 |
| -0,3 | 37,51 | 80,76 | 250,39 | 506,84 | 546,41 | 1941,20 |
| -0,2 | 82,92 | 178,53 | 1535,55 | 3340,05 | 3309,67 | 539,61 |
| -0,1 | 306,63 | 660,16 | 478,24 | 987,80 | 1009,38 | 952,75 |

Tabella 4: Andamento dell'induzione magnetica in funzione della distanza dall'asse dei conduttori. Parte 1

| x | B(x, -1.2) [μ T] | | | | | |
|-----|-----------------------|----------------|---------------------------------|----------------|---------------------------------|----------------|
| | 1 terna da 95 | 1 terna da 400 | 1 terna da 95 1 terna da 400 | 2 terne da 400 | 1 terna da 95 3 terne da 400 | 3 terne da 630 |
| 0 | 1564,24 | 3367,73 | 285,39 | 382,58 | 418,32 | 4236,06 |
| 0,1 | 306,63 | 660,16 | 971,90 | 987,80 | 1019,49 | 952,75 |
| 0,2 | 82,92 | 178,53 | 3356,78 | 3340,05 | 3289,55 | 539,61 |
| 0,3 | 37,51 | 80,76 | 492,19 | 506,84 | 581,83 | 1941,20 |
| 0,4 | 21,24 | 45,72 | 159,45 | 170,78 | 460,68 | 3480,48 |
| 0,5 | 13,63 | 29,35 | 78,84 | 87,25 | 2389,66 | 514,82 |
| 0,6 | 9,48 | 20,42 | 47,28 | 53,72 | 1714,92 | 200,07 |
| 0,7 | 6,98 | 15,02 | 31,65 | 36,73 | 320,38 | 110,03 |
| 0,8 | 5,34 | 11,51 | 22,74 | 26,84 | 137,60 | 71,16 |
| 0,9 | 4,22 | 9,10 | 17,17 | 20,54 | 79,28 | 50,47 |
| 1 | 3,42 | 7,37 | 13,43 | 16,26 | 52,73 | 37,98 |
| 1,1 | 2,83 | 6,09 | 10,81 | 13,22 | 38,14 | 29,78 |
| 1,2 | 2,38 | 5,12 | 8,89 | 10,96 | 29,12 | 24,06 |
| 1,3 | 2,03 | 4,36 | 7,45 | 9,25 | 23,10 | 19,90 |
| 1,4 | 1,75 | 3,76 | 6,33 | 7,91 | 18,84 | 16,76 |
| 1,5 | 1,52 | 3,28 | 5,45 | 6,85 | 15,71 | 14,34 |
| 1,6 | 1,34 | 2,88 | 4,74 | 5,99 | 13,33 | 12,41 |
| 1,7 | 1,19 | 2,55 | 4,17 | 5,28 | 11,47 | 10,86 |
| 1,8 | 1,06 | 2,28 | 3,69 | 4,69 | 9,98 | 9,59 |
| 1,9 | 0,95 | 2,04 | 3,29 | 4,20 | 8,78 | 8,53 |
| 2 | 0,86 | 1,84 | 2,95 | 3,78 | 7,78 | 7,64 |
| 2,1 | 0,78 | 1,67 | 2,66 | 3,42 | 6,95 | 6,89 |
| 2,2 | 0,71 | 1,52 | 2,41 | 3,11 | 6,25 | 6,24 |
| 2,3 | 0,65 | 1,39 | 2,20 | 2,84 | 5,66 | 5,68 |
| 2,4 | 0,59 | 1,28 | 2,01 | 2,61 | 5,14 | 5,20 |
| 2,5 | 0,55 | 1,18 | 1,85 | 2,40 | 4,69 | 4,77 |
| 2,6 | 0,51 | 1,09 | 1,70 | 2,21 | 4,31 | 4,40 |
| 2,7 | 0,47 | 1,01 | 1,58 | 2,05 | 3,96 | 4,07 |
| 2,8 | 0,44 | 0,94 | 1,46 | 1,91 | 3,66 | 3,77 |
| 2,9 | 0,41 | 0,88 | 1,36 | 1,78 | 3,39 | 3,51 |
| 3 | 0,38 | 0,82 | 1,27 | 1,66 | 3,15 | 3,27 |
| 3,1 | 0,36 | 0,77 | 1,18 | 1,55 | 2,94 | 3,06 |
| 3,2 | 0,33 | 0,72 | 1,11 | 1,46 | 2,74 | 2,87 |
| 3,3 | 0,31 | 0,68 | 1,04 | 1,37 | 2,57 | 2,69 |
| 3,4 | 0,30 | 0,64 | 0,98 | 1,29 | 2,41 | 2,53 |
| 3,5 | 0,28 | 0,60 | 0,92 | 1,21 | 2,27 | 2,39 |
| 3,6 | 0,26 | 0,57 | 0,87 | 1,15 | 2,14 | 2,25 |
| 3,7 | 0,25 | 0,54 | 0,82 | 1,09 | 2,02 | 2,13 |
| 3,8 | 0,24 | 0,51 | 0,78 | 1,03 | 1,91 | 2,02 |
| 3,9 | 0,23 | 0,49 | 0,74 | 0,98 | 1,81 | 1,91 |
| 4 | 0,21 | 0,46 | 0,70 | 0,93 | 1,71 | 1,82 |
| 4,1 | 0,20 | 0,44 | 0,67 | 0,88 | 1,63 | 1,73 |
| 4,2 | 0,19 | 0,42 | 0,64 | 0,84 | 1,55 | 1,65 |
| 4,3 | 0,19 | 0,40 | 0,61 | 0,80 | 1,47 | 1,57 |
| 4,4 | 0,18 | 0,38 | 0,58 | 0,77 | 1,40 | 1,50 |
| 4,5 | 0,17 | 0,36 | 0,55 | 0,73 | 1,34 | 1,43 |
| 4,6 | 0,16 | 0,35 | 0,53 | 0,70 | 1,28 | 1,37 |
| 4,7 | 0,16 | 0,33 | 0,51 | 0,67 | 1,22 | 1,31 |
| 4,8 | 0,15 | 0,32 | 0,48 | 0,64 | 1,17 | 1,26 |
| 4,9 | 0,14 | 0,31 | 0,46 | 0,62 | 1,12 | 1,20 |
| 5 | 0,14 | 0,30 | 0,45 | 0,59 | 1,08 | 1,16 |
| 5,1 | 0,13 | 0,28 | 0,43 | 0,57 | 1,03 | 1,11 |
| 5,2 | 0,13 | 0,27 | 0,41 | 0,55 | 0,99 | 1,07 |
| 5,3 | 0,12 | 0,26 | 0,40 | 0,53 | 0,95 | 1,03 |
| 5,4 | 0,12 | 0,25 | 0,38 | 0,51 | 0,92 | 0,99 |
| 5,5 | 0,11 | 0,24 | 0,37 | 0,49 | 0,88 | 0,95 |
| 5,6 | 0,11 | 0,24 | 0,35 | 0,47 | 0,85 | 0,92 |
| 5,7 | 0,11 | 0,23 | 0,34 | 0,46 | 0,82 | 0,89 |
| 5,8 | 0,10 | 0,22 | 0,33 | 0,44 | 0,79 | 0,86 |
| 5,9 | 0,10 | 0,21 | 0,32 | 0,43 | 0,76 | 0,83 |
| 6 | 0,10 | 0,20 | 0,31 | 0,41 | 0,74 | 0,80 |

Tabella 5: Andamento dell'induzione magnetica in funzione della distanza dall'asse dei conduttori. Parte 2

Si riportano nella seguente tabella le distanze di prima approssimazione DPA dei tratti di linea in cavo interrato risultato dalle simulazioni effettuate.

| Simulazione | Terne | Formazione | Tensione | DPA [m] |
|-------------|-------|---|----------|---------|
| 1 | 1 | 3 x (1 x 95 mm ²) | 30 kV | 1.1 |
| 2 | 1 | 3 x (1 x 400 mm ²) | 30 kV | 1.6 |
| 3 | 2 | 3 x (1 x 95 mm ²) 3 x (1 x 400 mm ²) | 30 kV | 2 |
| 4 | 2 | 3 x (1 x 400 mm ²) 3 x (1 x 400 mm ²) | 30 kV | 2.3 |
| 5 | 4 | 3 x (1 x 95 mm ²) 3 x (1 x 400 mm ²) 3 x (1 x 400 mm ²) 3 x (1 x 400 mm ²) | 30 kV | 3.1 |
| 6 | 3 | 3 x (1 x 630 mm ²) 3 x (1 x 630 mm ²) 3 x (1 x 630 mm ²) | 30 kV | 3.2 |

Tabella 6: Distanza di prima approssimazione per cavidotti di collegamento del parco eolico

I cavi MT di progetto per le linee elettriche interrate saranno del tipo unipolare con disposizione a trifoglio; detto ciò, se si utilizzassero per le linee MT dei cavi elicordati (disponibili fino alla sezione di 300mm²), si potrebbe ottenere un impatto elettromagnetico sensibilmente inferiore.

In particolare, nel paragrafo 7.1 della norma CEI 106-11 per le linee MT in cavo cordato ad elica visibile, si descrive che per la ridotta distanza fra le fasi e la loro trasposizione, dovuta alla cordatura, l'obiettivo di qualità di 3 µT viene raggiunto già a breve distanza dall'asse del cavo stesso (50-80 cm).

Pertanto, come descritto nel paragrafo 7.1.1 della norma CEI 106-11, per questa tipologia di impianti realizzati con cavi cordati non è necessario stabilire una fascia di rispetto in quanto l'obiettivo qualità è rispettato ovunque.

Si fa notare in proposito che anche il DM 29 maggio 2008, sulla determinazione della distanza di prima approssimazione, ha esentato dalla procedura di calcolo le linee MT in cavo interrato e/o aereo con cavi cordati.

6.3 Cabina di raccolta

Considerando la distribuzione degli aerogeneratori e la potenza complessiva in gioco, le ipotesi di collegamento si prevede di installare all'interno della cabina di raccolta una cella MT per le linee in arrivo, tre celle MT per le linee in partenza ed una cella MT per alimentazione del trasformatore MT/BT dei servizi ausiliari.

All'interno della cabina di raccolta, *ai fini dell'emissione elettromagnetica*, si configurano due punti di emissione:

- Quadri a 30 kV;
- Trasformatore 30/0.4 kV per servizi ausiliari.

Nei paragrafi successivi vengono descritte le caratteristiche elettriche delle sorgenti, interne alla cabina, ed il calcolo delle relative DPA.

6.3.1 Quadri MT

Per il calcolo si fa riferimento alle celle MT interessate da una corrente complessiva pari a:

$$I [A] = \frac{7200 * 7}{30 * \sqrt{3}} \cong 970$$

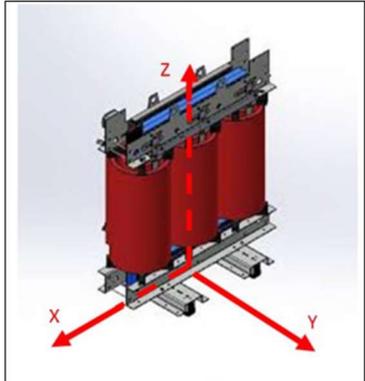
| | |
|--|------|
| $r_{x(3\mu T)} = 0,3024 \sqrt[3]{I} [m]$ | 2,99 |
| $r_{y(3\mu T)} = 0,3485 \sqrt[3]{I} [m]$ | 3,45 |
| $r_{z(3\mu T)} = 0,6437 \sqrt[3]{I} [m]$ | 6,37 |
| $\max(r_{x(3\mu T)}, r_{y(3\mu T)}) [m]$ | 3,45 |
| DRS piano x,y [m] | 3,5 |

Da cui risulta una DPA di 3,5 metri dal centro di ciascuna cella in media tensione.

6.3.2 Trasformatore MT/BT per servizi ausiliari

All'interno della cabina di raccolta verrà utilizzato un trasformatore in resina, di potenza nominale **50 kVA**, con tensione primaria = 30 kV e tensione secondaria = 400 V; si tenga presente che il valore di potenza considerato per il calcolo risulta essere doppio rispetto alla taglia dell'apparecchio previsto nel progetto, ciò viene fatto per consentire l'utilizzo dei coefficienti presenti in norma che riportano come taglia minima per un trasformatore in resina il valore di 100 kVA.

| | | | |
|--------------|---------|---|--|
| CEI 106-11/2 | par.6.3 | TRASFORMATORE A SECCO (IN RESINA) con h = 1m (Tab.3 e Tab.4) | |
|--------------|---------|---|--|

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|----------------|---|----------------|---|---|-------------|--------------|-------------|-------------|---------------|-------|------------------------|----------------------|----------|-----------------------------|--|------------|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|--|----------------------------|--|-------------------------------------|---|
| <table border="1"> <tr> <td>Lungo X</td> <td>$r_{3\mu T} = \frac{\beta_x}{3} \sqrt{\frac{\alpha_x}{3} \beta_x \sqrt{I}}$</td> </tr> <tr> <td>Lungo Y</td> <td>$r_{3\mu T} = \frac{\beta_y}{3} \sqrt{\frac{\alpha_y}{3} \beta_y \sqrt{I}}$</td> </tr> <tr> <td>Lungo Z</td> <td>$r_{3\mu T} = \frac{\beta_z}{3} \sqrt{\frac{\alpha_z}{3} \beta_z \sqrt{I}}$</td> </tr> </table> | Lungo X | $r_{3\mu T} = \frac{\beta_x}{3} \sqrt{\frac{\alpha_x}{3} \beta_x \sqrt{I}}$ | Lungo Y | $r_{3\mu T} = \frac{\beta_y}{3} \sqrt{\frac{\alpha_y}{3} \beta_y \sqrt{I}}$ | Lungo Z | $r_{3\mu T} = \frac{\beta_z}{3} \sqrt{\frac{\alpha_z}{3} \beta_z \sqrt{I}}$ | <table border="0"> <tr> <td>Vpri (kV) =</td> <td>30,00</td> </tr> <tr> <td>Vsec (kV) =</td> <td>0,40</td> </tr> <tr> <td>Rapp.trasf. =</td> <td>75,00</td> </tr> <tr> <td>Potenza nominale (kVA)</td> <td>Phom = 100,00</td> </tr> <tr> <td>Isec (A)</td> <td>I = 144,34 uscita BT</td> </tr> <tr> <td></td> <td>DRS</td> </tr> <tr> <td>Bx (m)</td> <td>r3μT = 1,83</td> </tr> <tr> <td>By (m)</td> <td>r3μT = 1,50</td> </tr> <tr> <td>Bz (m)</td> <td>r3μT = 3,03</td> </tr> <tr> <td></td> <td>max(x,y) [m] = 1,83</td> </tr> <tr> <td></td> <td>DRS_{x,y} [m] = 2,00</td> </tr> </table> | Vpri (kV) = | 30,00 | Vsec (kV) = | 0,40 | Rapp.trasf. = | 75,00 | Potenza nominale (kVA) | Phom = 100,00 | Isec (A) | I = 144,34 uscita BT | | DRS | Bx (m) | r3μT = 1,83 | By (m) | r3μT = 1,50 | Bz (m) | r3μT = 3,03 | | max(x,y) [m] = 1,83 | | DRS_{x,y} [m] = 2,00 |  |
| Lungo X | $r_{3\mu T} = \frac{\beta_x}{3} \sqrt{\frac{\alpha_x}{3} \beta_x \sqrt{I}}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lungo Y | $r_{3\mu T} = \frac{\beta_y}{3} \sqrt{\frac{\alpha_y}{3} \beta_y \sqrt{I}}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lungo Z | $r_{3\mu T} = \frac{\beta_z}{3} \sqrt{\frac{\alpha_z}{3} \beta_z \sqrt{I}}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vpri (kV) = | 30,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vsec (kV) = | 0,40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rapp.trasf. = | 75,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Potenza nominale (kVA) | Phom = 100,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Isec (A) | I = 144,34 uscita BT | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | DRS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bx (m) | r3μT = 1,83 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| By (m) | r3μT = 1,50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bz (m) | r3μT = 3,03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | max(x,y) [m] = 1,83 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | DRS_{x,y} [m] = 2,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

L'origine degli assi coincide con la proiezione sul piano z = 0 del baricentro della base della colonna centrale del trasformatore. Infatti le colonne non poggiano sul piano z = 0 (generalmente il piano di calpestio), ma sono rialzate di una quota che dipende dalla taglia del trasformatore (0,5 m)

Figura 6 – Sistema di riferimento per il trasformatore a secco

Dal calcolo risulta una DPA pari a 2 metri dal centro dell'apparecchiatura elettromeccanica.

Risulta quindi per la cabina di raccolta la DPA complessiva di quadri e trasformatore di 3,5 m.

6.4 Linea elettrica esterna in cavo interrato MT

La linea esterna di collegamento tra la cabina di raccolta e la stazione elettrica di trasformazione 30/150 kV è formata da tre terne di cavi di sezione pari a 630 mm², come risultato del dimensionamento elettrico riportato nella relazione "EO.MTR01.PD.A.11.2 – RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE LINEE ELETTRICHE".

Come si può constatare dalla Tabella 6 questa simulazione ha restituito DPA di 3,2 m.

6.5 Stazione elettrica di trasformazione 30/150 kV utente

All'interno della stazione elettrica di trasformazione si configurano più punti di emissione, dati dalla presenza delle apparecchiature MT/AT.

Per maggiori dettagli sulle configurazioni elettromeccaniche e geometriche delle diverse aree elettriche si rimanda agli elaborati EO.MTR01.PD.A.b.9.1 - "PLANIMETRIA ELETTROMECCANICA E PROFILO ELETTROMECCANICO DELLA STAZIONE ELETTRICA DI TRASFORMAZIONE 30/150 kV UTENTE".

L'impatto elettromagnetico nella stazione elettrica di trasformazione è sostanzialmente prodotto da:

- quadri a 30 kV e trasformatore MT/BT, all'interno dell'edificio utente;
- trasformatore elevatore 30/150 kV;
- conduttori aerei a 150 kV di collegamento tra le apparecchiature elettriche e tra le sbarre.
- Linea AT in cavo

6.5.1 Quadri MT e trasformatore MT/BT

Il locale quadri MT ed i quadri a 30 kV ed il trasformatore MT/BT, in esso contenuti, sono del tutto identici a quelli previsti per la cabina di raccolta, dove si è ricavato il valore di DPA pari a 3,5 metri dal centro di ciascuna cella in media tensione ed una DPA pari a 2 metri dal centro del trasformatore.

6.5.2 Trasformatore MT/AT

Il trasformatore di potenza previsto per l'impianto eolico in progetto ha un valore di potenza pari a 20 MVA inferiore a quello utilizzato per la determinazione delle DPA, di potenza pari a 63 MVA.

Questo aspetto, a garanzia della sicurezza, permetterà di utilizzare un trasformatore di taglia commerciale superiore a quello in progetto.

CEI 106-11 p.2

appendice **TRASFORMATORE MT-BT in olio con pot.nom. 63000 kVA**

Trasformatore in olio

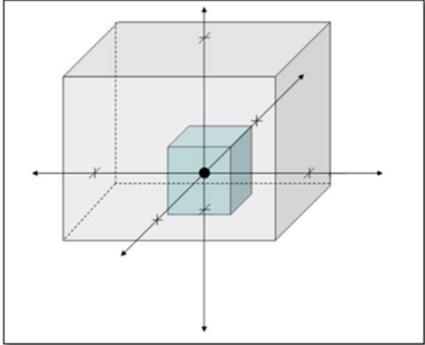
Vpri (kV) = 30,00
Vsec (kV) = 150,00

potenza nominale (kVA) Pnom = 63000,00
Isec (A) I = 242,49

B0 = 3,00
Ucc (%) 8,00%

d3μT [m]= 7,56

$$d_{3\mu T} = 3 \left(\frac{B_0 u_{cc\%}}{18} \sqrt{\frac{S}{630}} \right)^{0.357}$$



Dal calcolo risulta pertanto una **DPA di 8 metri** dal centro dell'apparecchiatura elettromeccanica

6.5.3 Conduttori AT a 150 kV

I conduttori AT a 150 kV sono tutti i collegamenti tra le apparecchiature elettriche e tra queste e le sbarre AT dello stallo di trasformazione e di partenza linea AT (in cavo).

Per il calcolo elettromagnetico i conduttori a 150 kV sono assimilabili ad una linea aerea trifase a 150 kV, con conduttori posti in piano ad una distanza reciproca di 2,20 m (distanza tra le fasi), percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate.

Nel caso in esame si è ipotizzata una potenza di transito sulle sbarre AT pari a 200 MVA; tale valore può essere considerato come il massimo dei valori di potenza proveniente da tutti gli impianti dei diversi produttori che potranno condividere il sistema di sbarre.

Nel seguito si riporta il risultato di calcolo:

CEI 106-11 p.1 *par.6.2.1 punto a)*

Linee aeree trifase a semplice terna (cond. disposti in piano orizz./vert.)

obiettivo di qualità
distanza tra conduttori
correnti simm. ed equilibrate

B (μ T) = 3,00 Tens. di linea (kV) = 150,00
S (m) = 2,20 Pot.nom. (kVA) = 200.000,00
I (A) = 769,80
k = 0,34

R>>S R (m) = 13,98

Da cui si determina una **DPA di 14 metri** dall'asse principale della terna di conduttori; questa verrà estesa all'intero sistema a tensione 150 kV, ovvero stalli di trasformazione, stalli di partenza linea e sbarre.

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 del locale MT ed all'interno della stazione elettrica il cui accesso è consentito al solo personale autorizzato.

Tutti i risultati sono in accordo con gli studi effettuati da e-distribuzione, difatti, la S.E. di transizione 30/150 kV utente è del tutto assimilabile ad una Cabina Primaria, per la quale il calcolo della fascia di rispetto si sviluppa secondo quanto riportato al paragrafo 5.1 "Allegato A "DPA LINEE AT E CABINE PRIMARIE" rif. A16 (vedi figura 11) delle Linee Guida e-distribuzione per l'applicazione del 5.1.3 dell'Allegato al D.M. 29.05.08, di seguito se ne riporta lo stralcio.

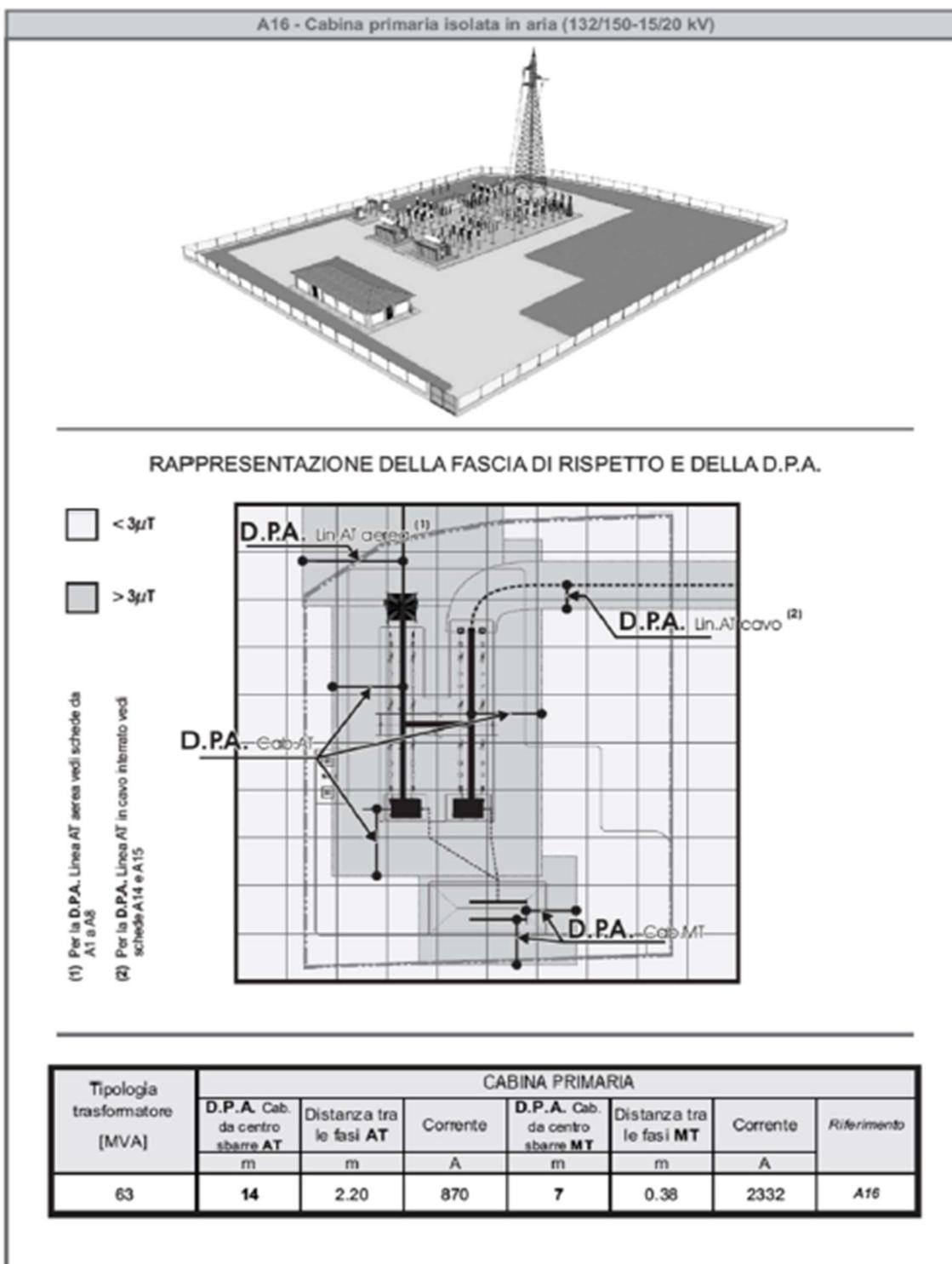


Figura 10 Rif. A16 - Allegato A "DPA LINEE AT E CABINE PRIMARIE"

6.6 Linee elettriche in cavo interrato AT a 150 kV

Per la realizzazione del collegamento in alta tensione tra la stazione elettrica verranno utilizzati cavi interrati in alta tensione. Sono stati considerati tutti gli accorgimenti che consentono la minimizzazione degli effetti elettrici e magnetici sull'ambiente e sulle persone. In particolare, la scelta di operare con linee in AT interrate permette di eliminare la componente elettrica del campo, grazie all'effetto schermante del terreno.

La linea elettrica interrata AT che collegherà la stazione elettrica di trasformazione utente alla stazione di trasformazione RTN, sarà realizzata per mezzo di una terna composta da tre cavi unipolari realizzati con conduttore in alluminio acciaio, isolante in XPLE, schermatura in alluminio e guaina esterna in polietilene.

| Sezione conduttore [mm ²] | Diametro conduttore [mm] | Diametro cavo [mm] | Tipologia | Portata [A] |
|--|-----------------------------|-----------------------|-----------|----------------|
| 3x1x1600 | 45,2 | 108 | Unipolare | 1110 |

Tabella 7 Caratteristiche dei cavi AT di impiego prevalente

La scelta di operare con linee in AT interrate permette di eliminare la componente elettrica del campo, grazie all'effetto schermante del terreno e del cavo stesso.

Nel caso in questione, lo studio del campo magnetico è stato effettuato, alla tensione nominale di esercizio di 150 kV, sul tratto di cavidotto costituito da una terna di conduttori di sezione 1600 mm², percorsa da una corrente massima pari a 1110 Ampere, interrati ad una profondità di 1,60 m.

CEI 106-11 par.6.2.3 punto b)

obiettivo di qualità
distanza tra cond. [m]
profondità di posa [m]

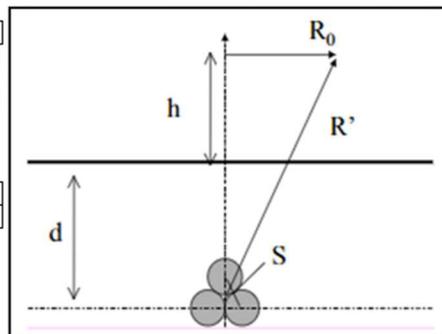
CEI 11-17 portata in corrente regime permanente [A]

Linee in cavo interrato a semplice terna (unipolari posati a trifoglio)

B (μT) = 3,00
S = 0,108
d = 1,60
I = 1110
k = 0,29

h=0
R' [m] = 3,1
R0 [m] = 2,69

$$B = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S \cdot I}{R^2} [\mu T] \quad R' = 0,286 \cdot \sqrt{S \cdot I} [m]$$



Dal calcolo risulta una **DPA pari a 3,1 metri**

Tale risultato è in accordo con le indicazioni fornite dalle Linee Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08 di seguito riportato:

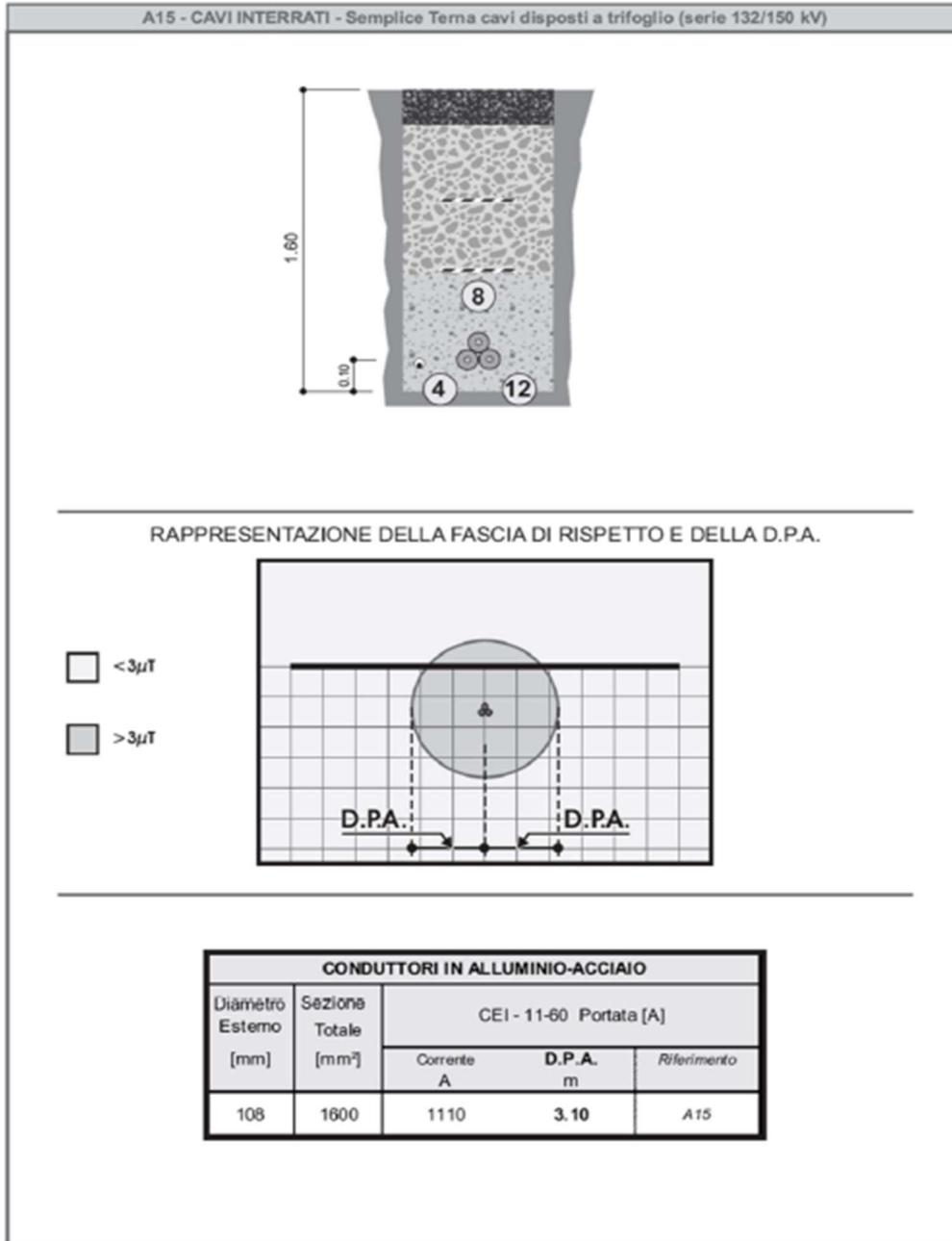


Figura 11 - Rif. A15 - allegato A "DPA LINEE AT E CABINE PRIMARIE" - LINEE GUIDA E-Distribuzione

7 CONCLUSIONI

Dai risultati ottenuti è possibile verificare che tutte le aree caratterizzate da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità (**3 μ T**) sono:

- Interne all'impianto eolico o ricadono in aree utilizzate dall'impianto medesimo. All'interno di tali "aree remote" non si riscontra la presenza di "luoghi tutelati", ovvero aree di gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici, luoghi adibiti a permanenza di persone per più di quattro ore giornaliere.
- Nelle aree recintate delle stazioni AT e nelle immediate vicinanze, comunque ricadenti nelle particelle di interessate dal progetto, ove comunque non sono presenti "luoghi tutelati".

Si può pertanto affermare che, la realizzazione delle opere elettriche previste dal presente progetto sono conformi a quanto stabilito dalla normativa vigente e non costituiscono incremento dei fattori di rischio per la salute pubblica.