

# “NURRI IR”

**Integrale ricostruzione del Parco Eolico di Nurri (SU)**  
**Intervento di Repowering con sostituzione degli**  
**aerogeneratori esistenti e relativa riduzione del numero delle macchine**

*Comune di Nurri (SU)*

COMMITTENTE



**Edison Rinnovabili S.p.A.**

Foro Buonaparte n.31 - Milano (MI)  
P.IVA: 12921540154

**Studio di Impatto Ambientale**  
**Appendice H**

**Studio dei Campi Elettromagnetici**  
**dell'Elettrodotto MT**



REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	DOCUMENTAZIONE PER AUTORIZZAZIONI	10/2023	P. Guiso G. Lombardo	M. Compagnino M. Galbo	M. Compagnino

Codifica documento: P0032447-1-H13

## INDICE

	Pag.
<b>LISTA DELLE TABELLE</b>	<b>2</b>
<b>LISTA DELLE FIGURE</b>	<b>2</b>
<b>1   PREMESSA</b>	<b>3</b>
<b>2   NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	<b>4</b>
<b>3   FONTI DI EMISSIONE</b>	<b>6</b>
<b>4   ELETTRODOTTO MT</b>	<b>8</b>
4.1   SOTTOCAMPI DEL PARCO EOLICO	8
4.2   CARATTERISTICHE CAVI DI COLLEGAMENTO	8
<b>5   VALORI LIMITE DI RIFERIMENTO</b>	<b>9</b>
5.1   DEFINIZIONI	9
5.2   VALORI LIMITE DEL CAMPO MAGNETICO	10
5.3   VALORI LIMITE DEL CAMPO ELETTRICO	10
<b>6   CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DAGLI ELETTRODOTTI INTERRATI MT</b>	<b>11</b>
6.1   GENERALITÀ	11
6.2   VALUTAZIONE DEL CAMPO MAGNETICO	11
6.2.1   Modello di calcolo normalizzato	11
6.2.2   Formule analitiche approssimate	12
6.2.3   Cavi unipolari posati a trifoglio	13
6.3   VALUTAZIONE DEL CAMPO MAGNETICO PER LA CONFIGURAZIONE DI POSA 8	15
6.4   VALUTAZIONE DEL CAMPO MAGNETICO PER LA CONFIGURAZIONE DI POSA 7	19
6.5   VALUTAZIONE DEL CAMPO MAGNETICO PER LA CONFIGURAZIONE DI POSA 5	22
6.6   VALUTAZIONE DEL CAMPO ELETTRICO	25
<b>7   CONCLUSIONI</b>	<b>26</b>

## LISTA DELLE TABELLE

	Pag.
Tabella 4.1. Caratteristiche cavi 30 kV di progetto	8
Tabella 5.1: Valori dell'induzione magnetica	10
Tabella 6.1 Principali grandezze degli elettrodotti di progetto	11
Tabella 6-2 Condizioni di calcolo	16
Tabella 6.3: Calcolo del campo magnetico	16
Tabella 6.4: Posa 7 - Condizioni di calcolo	19
Tabella 6.5: Posa 7 - Calcolo del campo magnetico	20
Tabella 6.6: Posa 5 - Condizioni di calcolo	23
Tabella 6.7: Posa 5 - Calcolo del campo magnetico	23
Figura 6.8: Posa 5 - Distribuzione dei valori del campo magnetico	24

## LISTA DELLE FIGURE

	Pag.
Figura 3.1. Parco eolico "Guzzini" di 92,4 MW	7
Figura 6.1. Rappresentazione di una terna aerea o in cavo e simboli utilizzati nelle formule	12
Figura 6.2. Modello geometrico posto a base dei calcoli (posa trifoglio a singola terna)	14
Figura 6.3. Modello geometrico posto a base dei calcoli (posa trifoglio a doppia terna)	15
Figura 6.4: Sezione tipo di scavo con posa di n. 4 terne	16
Figura 6.5. Distribuzione dei valori del campo magnetico	18
Figura 6.6: Posa 7 - Sezione tipo di scavo con posa di n. 4 terne	19
Figura 6.7: Posa 7 - Distribuzione dei valori del campo magnetico	21
Figura 6.8: Posa 5 - Sezione tipo di scavo con posa di n. 4 terne	22

## 1 PREMESSA

Il presente documento è stato redatto nell'ambito del progetto di integrale ricostruzione di un parco eolico esistente situato in Sardegna, Comune di Nurri (SU) ormai prossimo al termine della vita utile. Il soggetto proponente proprietario del parco, è la società Edison Rinnovabili S.p.A., con sede legale in Foro Buonaparte, 31, a Milano.

L'impianto esistente è ubicato sulla piana denominata Monte Guzzini ed è composto da n. 26 aerogeneratori della tipologia Vestas V52 ciascuno dei quali in grado di sviluppare una potenza di 0,85 MW. La potenza complessiva dell'impianto attuale è pari a 22,10 MW.

L'energia prodotta viene convogliata, attraverso apposito elettrodotto interrato in MT a 20 kV, presso la Sotto-Stazione Elettrica di Utente (SSEU), 20/150 kV, ubicata, nei pressi dell'impianto.

L'impianto è entrato in esercizio nell'ottobre 2004.

L'attività di repowering proposta in progetto ha lo scopo di:

- ✓ incrementare l'intensità e la densità energetica, determinando un migliore sfruttamento energetico dei siti su cui è già presente l'impianto eolico, con aumento della produzione in contrapposizione ad una notevole diminuzione degli indici di occupazione territoriale;
- ✓ sostituire gli aerogeneratori (integrale ricostruzione) presenti con aerogeneratori di taglie di maggiore potenza, con valorizzazione di siti con alti livelli di producibilità.

Il progetto di integrale ricostruzione in esame consiste nello smantellamento degli aerogeneratori esistenti e nella installazione di n. 14 aerogeneratori, di potenza fino a 6,6 MW per una potenza complessiva installata fino a 92,4 MW, con una potenza massima in immissione in rete fino a 90 MW in accordo con quanto previsto dalla STMG (Soluzione Tecnica Minima Generale).

La presente relazione tecnica specialistica ha per oggetto la valutazione dell'impatto elettromagnetico delle opere in progetto, individuando le potenziali sorgenti di emissione e valutandone i potenziali rischi legati all'esposizione delle persone.

In particolare, lo studio approfondisce la valutazione dell'impatto elettromagnetico prodotto dall'elettrodotto MT che vettoria l'energia presso la SSEU (SottoStazione Elettrica di Utente).

Per l'impatto elettromagnetico prodotto dalla SSEU si rimanda alla specifica relazione (Doc. No. G1063\_DEF\_R\_006\_Rel\_CEM\_1-1\_REV00).

## 2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Nella redazione del progetto si è fatto costante riferimento alla seguente normativa:

### **Studio di Impatto Ambientale**

- Art. 22 del D. Lgs. 152/2006, Norme in materia ambientale, aggiornato dal D. Lgs. 104/2017.

### **Rumore**

- L. 447/95 “Legge Quadro” e successivi decreti attuativi
- DPCM 14/11/1997 sulla "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore"
- DPCM 1/03/1991 sui “Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno”.

### **Energie rinnovabili**

- D.Lgs. 387/2003
- D.Lgs. 28/2011

### **Elettrodotti, linee elettriche, sottostazione e cabina di trasformazione**

- Regio Decreto 11 dicembre 1933, n. 1775 "Testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e impianti elettrici;
- D.P.R. 18 marzo 1965, n. 342 "Norme integrative della legge 6 dicembre 1962, n. 1643 e norme relative al coordinamento e all'esercizio delle attività elettriche esercitate da enti ed imprese diversi dall'Ente Nazionale per l'Energia Elettrica";
- Legge 28 giugno 1986, n. 339 "Nuove norme per la disciplina della costruzione e dell'esercizio di linee elettriche aeree esterne";
- Decreto legislativo 31 marzo 1998, n. 112 "Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59";
- Norma CEI 211-4/1996 “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche”;
- Norma CEI 211-6/2001 “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”
- Norma CEI 11-17/2006 “Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica – Linee in cavo”;
- CEI 0-2 Guida per la definizione della documentazione di progetto per impianti elettrici
- CEI 11-1 Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata
- CEI 11-17 Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica – Linee in cavo
- CEI 11-20 Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti I e II categoria
- CEI 13-4 Sistema di misura dell'energia elettrica – Composizione, precisione e verifica
- CEI 20-19 Cavi isolati con gomma con tensione nominale non superiore a 450/750 V
- CEI 20-20 Cavi isolati con polivinilcloruro con tensione nominale non superiore a 450/750 V
- CEI 20-40 Guida per l'uso di cavi in bassa tensione
- CEI 20-67 Guida per l'uso di cavi 0,6/1 kV
- CEI 22-2 Convertitori elettronici di potenza per applicazioni industriali e di trazione
- CEI 23-46 Sistemi di tubi e accessori per installazioni elettriche – Prescrizioni particolari per sistemi in tubi interrati
- CEI 23-51 Prescrizioni per la realizzazione, le verifiche e le prove dei quadri di distribuzione per installazioni fisse per uso domestico e similare
- CEI 64-8 Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua
- CEI 64-12 Guida per l'esecuzione dell'impianto di terra negli edifici per uso residenziale e terziario
- CEI 81-1 Protezione delle strutture contro i fulmini

- CEI 82-1 Dispositivi fotovoltaici – Parte 1: Misura delle caratteristiche fotovoltaiche corrente-tensione
- CEI 82-2 Dispositivi fotovoltaici – Parte 2: Prescrizioni per celle solari di riferimento
- CEI 82-3 Dispositivi fotovoltaici – Parte 3: Principi di misura dei sistemi solari fotovoltaici (PV) per uso terrestre e irraggiamento spettrale di riferimento.
- CEI 82-4 Protezione contro la sovratensione dei sistemi fotovoltaici per la produzione di energia - Guida
- CEI 82-8 Moduli fotovoltaici in Silicio cristallino per applicazioni terrestri – Qualifica del progetto e omologazione del tipo
- CEI 82-9 Sistemi fotovoltaici – Caratteristica dell'interfaccia di raccordo alla rete
- CEI 82-15 Rilievo delle prestazioni dei sistemi fotovoltaici – Linee guida per la misura, lo scambio e l'analisi dei dati
- CEI 82-16 Schiere di moduli fotovoltaici in silicio cristallino – Misura sul campo delle caratteristiche I-V
- CEI 82-17 Sistemi fotovoltaici di uso terrestre per la generazione di energia elettrica – Generalità e guida
- CEI 82-22 Fogli informativi e dati di targa per moduli fotovoltaici
- CEI 82-25 Guida per la realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di Media e Bassa tensione
- DM 29/05/2008 “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti”.
- Legge 22 febbraio 2001, n. 36 "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetiche.

#### **Opere civili**

- Legge 5 novembre 1971, n. 1086 "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- Legge 2 febbraio 1974, n. 64 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"; D.M. LL.PP. 16 gennaio 1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche".
- D.M. 17.01.2018: Aggiornamento norme tecniche per le costruzioni.

#### **Sicurezza**

- D.LGS 9 aprile 2008 “Testo unico sulla sicurezza”.

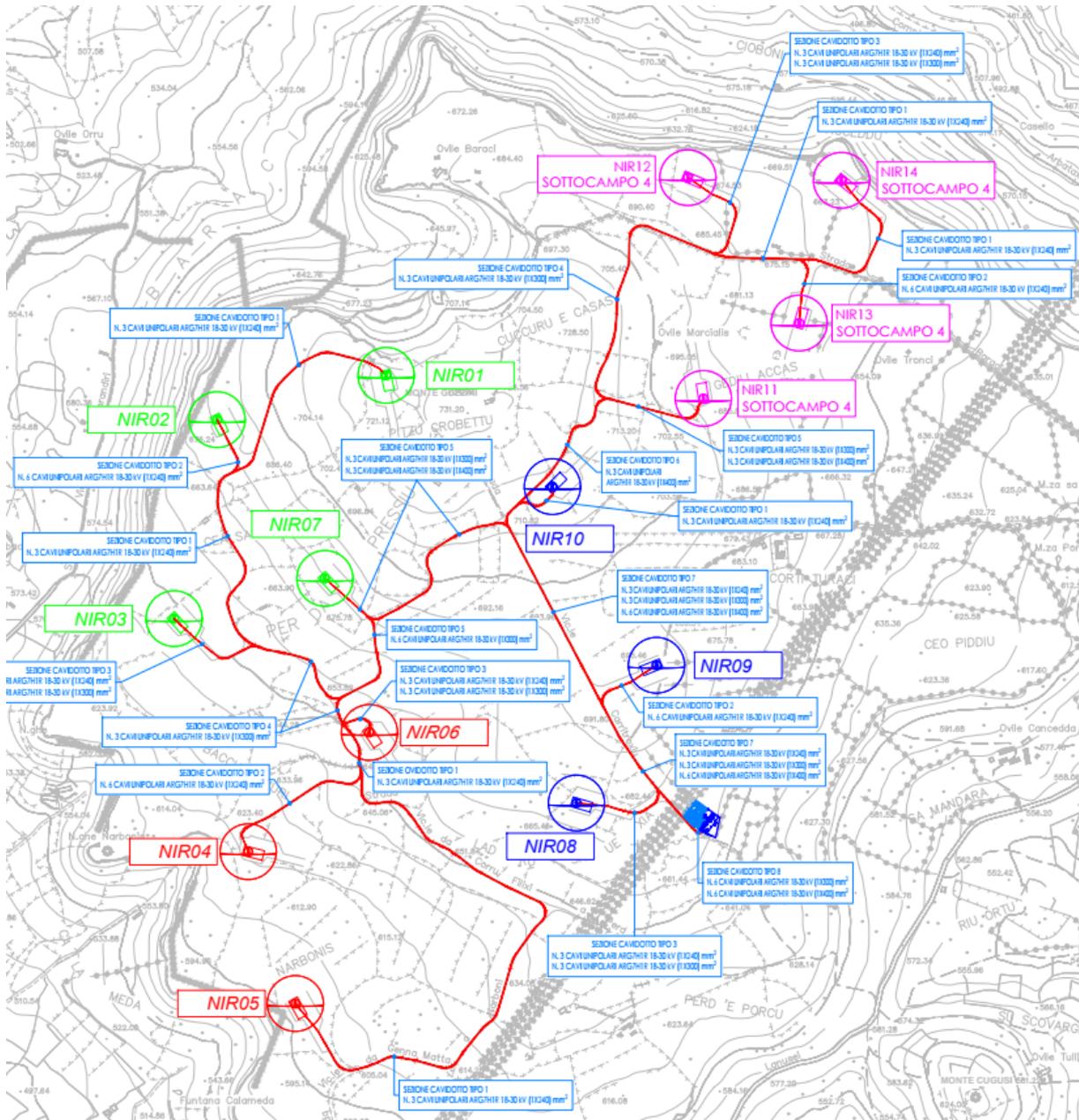
### 3 FONTI DI EMISSIONE

Il parco eolico durante il suo ordinario funzionamento genera campi elettromagnetici con radiazioni non ionizzanti.

In particolare, in questa relazione, vengono considerate come sorgenti del campo elettromagnetico gli elettrodotti MT del parco eolico in progetto:

- ✓ elettrodotto MT di interconnessione fra le torri eoliche dello stesso sottocampo presenti all'interno del parco;
- ✓ elettrodotto MT di vettoriamento dell'energia prodotta dai vari sottocampi verso la SSEU di trasformazione MT/AT.

Nella seguente figura è riportato un estratto dell'elaborato di progetto doc. No. NIR.ELB10a "Tracciato elettrodotti su CTR e sezioni tipiche di scavo" raffigurante il layout del parco eolico in progetto; l'elettrodotto MT è rappresentato in rosso, mentre i sottocampi sono suddivisi per colore (4 sottocampi).



**Figura 3.1. Parco eolico "Guzzini" di 92,4 MW**

Di seguito verrà data una descrizione delle sorgenti appena individuate.

## 4 ELETTRODOTTO MT

### 4.1 SOTTOCAMPI DEL PARCO EOLICO

Il parco eolico dal punto di vista elettrico risulta composto da:

- ✓ 4 Sottocampi:
  - Sottocampo 1 di potenza complessiva 19,8 MW, composto da 3 aerogeneratori indicati come NIR04, NIR05 e NIR06;
  - Sottocampo 2 di potenza complessiva 26,4 MW, composto da 4 aerogeneratori indicati come NIR01, NIR02 e NIR03 e NIR07;
  - Sottocampo 3 di potenza complessiva 19,8 MW, composto da 3 aerogeneratori indicati come NIR08, NIR09 e NIR10;
  - Sottocampo 4 di potenza complessiva 26,4 MW, composto da 4 aerogeneratori indicati come NIR11, NIR12 e NIR13 e NIR14;
- ✓ Elettrodotto MT di tipo ARG7H1R 18-30 kV per il collegamento tra gli aerogeneratori e la SSEU.

### 4.2 CARATTERISTICHE CAVI DI COLLEGAMENTO

Tutti i cavi di cui si farà utilizzo, sia per il collegamento interno dei campi sia per la connessione alla SSEU, saranno di tipologia ARG7H1R 18/30 kV o equivalente.

Si tratta di cavi unipolari da posare in formazione a trifoglio con conduttori in alluminio, congiunti in maniera da formare un unico fascio di forma rotonda.

L'isolante dei cavi è costituito da gomma HEPR di qualità G7, e fra esso e il conduttore è interposto uno strato di miscela semiconduttrice in materiale estruso.

Sopra l'isolante è posto uno strato per la tenuta all'acqua, consistente in un nastro semiconduttore.

Il cavo presenta uno schermo metallico realizzato con fili di rame rosso avvolto a cilindro in controspirale.

Sopra lo schermo metallico è presente una guaina esterna in PVC di qualità Rz.

I cavi verranno interrati ad una profondità pari a 1,10 m per le tratte di collegamento interne ed esterne al parco fotovoltaico.

La tensione di esercizio dei cavi è pari a 30 kV.

Di seguito le caratteristiche tecniche del cavo:

Tabella 4.1. Caratteristiche cavi 30 kV di progetto

Tipo	ARG7H1R - o equivalente		
Tensione nominale [kV]:	18/30	18/30	18/30
Formazione e sezione [mm <sup>2</sup> ]:	3 x (1 x 240)	3 x (1 x 300)	3 x (1 x 400)
Resistenza a 90 °C [Ω/km]:	0,161	0,130	0,102
Reattanza [Ω/km]:	0,110	0,110	0,110
Portata per posa interrata a 20°C [A]	357	404	543

Per i valori di sezione e di portata si fa riferimento alla tavola NIR.ELB08c “Schema a blocchi impianto eolico” e all'elaborato NIR.ELB08b “Schemi unifilari e calcoli elettrici BT/MT”.

## 5 VALORI LIMITE DI RIFERIMENTO

Nella redazione della relazione tecnica sui campi elettromagnetici è stato tenuto conto della normativa vigente in materia.

In particolare, sono state recepite le indicazioni contenute nel DPCM 08/07/2003, il quale fissa i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete generati dagli elettrodotti.

Si è, inoltre, tenuto conto di quanto previsto dal DM 29/05/2008 per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti (metodologia di calcolo indicata dall'APAT), e della Legge quadro 22/02/2001, n. 36, "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici", G.U. 7 marzo 2001, n.55.

### 5.1 DEFINIZIONI

L'esposizione a campi elettromagnetici molto intensi è dannosa per la salute umana. I campi elettromagnetici interagiscono con il corpo umano provocando una risposta che dipende dall'intensità del campo e che può tradursi in un effetto biologico; tale interazione non implica necessariamente un danno alla salute.

Le grandezze indicative degli effetti che i campi elettrici, magnetici e elettromagnetici hanno sulla salute possono classificarsi in due tipi di grandezze:

- ✓ Grandezze interne, nel senso che vanno misurate all'interno del corpo. Queste, non sono sempre misurabili direttamente, vengono di seguito elencate:
  - Densità di corrente (J) espressa in A/m<sup>2</sup>;
  - Tasso di assorbimento specifico di energia (SAR) espresso in W/kg;
  - Densità di potenza (S) espressa in W/m<sup>2</sup>;
- ✓ Grandezze esterne, cioè campo elettrico indisturbato e campo magnetico;

La legge n.36 del 22/02/2001 fornisce le seguenti definizioni:

- ✓ 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 (superiore a 4 ore giornaliere). 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. Costituiscono valori a cui far tendere quelli di attenzione nelle nuove costruzioni, al fine di consentire la minimizzazione dell'esposizione della popolazione e dei lavoratori ai CEM anche per la protezione da possibili effetti di lungo periodo.

I valori associati a queste definizioni e riguardanti il pubblico sono fissati dai DPCM n.199 e n. 200 del 2003.

La protezione dei lavoratori dai rischi legati alle radiazioni non ionizzanti e i limiti di esposizione sono invece definiti dal D.lgs 81/08, quelli relativi alle radiazioni ionizzanti dal D.lgs 230/95.

In realtà il D.lgs 81/08 non fissa i limiti di esposizione ma richiama le linee guida dell'ICNIRP e impone al datore di lavoro di effettuare, tramite personale qualificato, una valutazione del rischio con cadenza almeno quadriennale e comunque ogniqualvolta si effettuano delle modifiche che possono rendere il documento di valutazione obsoleto e di prendere tutte le precauzioni atte a ridurre il rischio di esposizione; la valutazione richiede il calcolo o la misura dei livelli di esposizione.

Il DM 29/05/2008 definisce:

- ✓ 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 (3 $\mu$ T). Come prescritto dall'articolo 4, comma 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 ovvero ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore;
- ✓ 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 dal suolo disti dalla proiezione della linea più della DPA si trovi all'esterno della fascia di rispetto. Per le cabine di trasformazione è la

distanza, in pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti della cabina stessa che garantisca i requisiti di cui sopra.

## 5.2 VALORI LIMITE DEL CAMPO MAGNETICO

Per quanto concerne il campo magnetico generato dagli elettrodotti, esistono tre diverse soglie cui fare riferimento, fissate attraverso il DPCM 8/07/2003.

L'art. 3 del citato decreto indica come soglie i valori dell'induzione magnetica mostrati nella seguente tabella.

Tabella 5.1: Valori dell'induzione magnetica

Soglia	Valore limite del campo magnetico
<b>Limite di esposizione</b>	<b>100 <math>\mu\text{T}</math></b> Da intendersi come valore efficace
<b>Valore di attenzione</b> Misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, nelle aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere	<b>10 <math>\mu\text{T}</math></b> Da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio
<b>Obiettivo di qualità</b> Nella progettazione di nuovi elettrodotti in aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, e nella progettazione di nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità delle linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio	<b>3 <math>\mu\text{T}</math></b> Da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio

## 5.3 VALORI LIMITE DEL CAMPO ELETTRICO

Per quanto concerne il campo elettrico, il DPCM 8/07/2003 stabilisce il valore limite di tale campo pari a 5 kV/m, inteso come valore efficace.

## 6 CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DAGLI ELETTRODOTTI INTERRATI MT

### 6.1 GENERALITÀ

Nei seguenti paragrafi si riporta la valutazione analitica del campo magnetico generato dagli elettrodotti interrati, basata sulle metodologie di calcolo suggerite dall'APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici), approvate dal D.M. 29/05/2008, e specificate dalla norma CEI 106-11.

Per la valutazione del campo magnetico generato dall'elettrodotto interrato occorre innanzitutto distinguere gli elettrodotti in funzione della tipologia dei cavi utilizzati.

Il progetto, infatti, prevede l'utilizzo di cavi unipolari del tipo in alluminio schermati in posa a trifoglio per tutte le sezioni di scavo.

La tabella che segue mostra le differenti tipologie di cavi da utilizzare e le caratteristiche di posa.

Tabella 6.1 Principali grandezze degli elettrodotti di progetto

Cavi con isolamento in HEPR			
Tensione (kV)	30	30	30
Sezione (mm <sup>2</sup> )	240	300	400
Tipo posa	Trifoglio	Trifoglio	Trifoglio
Profondità posa (m)	1,10	1,10	1,10

### 6.2 VALUTAZIONE DEL CAMPO MAGNETICO

Per la valutazione del campo magnetico generato da tali elettrodotti occorre innanzitutto individuare le possibili diverse configurazioni che si presentano nel caso in esame, e sulla base di questi individuare i diversi casi sui quali effettuare la valutazione del campo.

Si riporta di seguito la valutazione specifica del campo magnetico.

#### 6.2.1 Modello di calcolo normalizzato

Il modello normalizzato per il calcolo dell'induzione magnetica prodotta in una sezione trasversale di una linea elettrica aerea è descritto nella 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 e Savart per determinare l'induzione magnetica dovuta a ciascun conduttore percorso da corrente e quindi la sovrapposizione degli effetti per determinare l'induzione magnetica totale, tenendo ovviamente conto delle fasi delle correnti, supposte 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.

In alcuni casi particolari può risultare appropriato eseguire valutazioni con metodi più completi di tipo tridimensionale, come cabine e stazioni (CEI 106-11).

L'algoritmo di calcolo, implementabile con codici relativamente semplici, considera in sintesi i seguenti passi (CEI 106-11 par.6.1):

- ✓ 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 sotto. Inoltre viene riportata una 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;

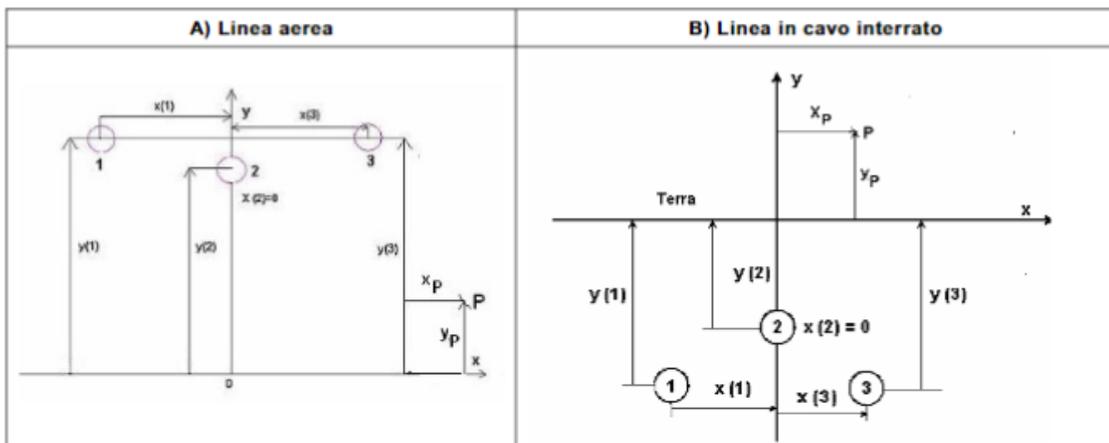


Figura 6.1. Rappresentazione di una terna aerea o in cavo e simboli utilizzati nelle formule

$$B_x = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[ \frac{y_i - y_P}{(x_P - x_i)^2 + (y_P - y_i)^2} \right] ; B_y = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[ \frac{x_P - x_i}{(x_P - x_i)^2 + (y_P - y_i)^2} \right] ; B_z = 0$$

- ✓ il valore efficace dell'induzione B magnetica viene ottenuto nel modo seguente

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

## 6.2.2 Formule analitiche approssimate

In alternativa all'utilizzazione del modello di calcolo normalizzato, che richiede l'uso di codici di calcolo, 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.

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 punti relativamente lontani dai conduttori, quali quelli di interesse per la valutazione delle fasce di rispetto a 3  $\mu$ T, lo sviluppo in serie può essere troncato al primo termine con un'approssimazione tanto più accettabile tanto più elevata è la distanza dei conduttori.

Le caratteristiche principali dei cavi interrati sono:

- ✓ che essi si mantengono sempre paralleli alla superficie del terreno;
- ✓ che la distanza tra i conduttori è piccola.

In particolare, nell'impianto eolico in esame le configurazioni di posa per la linea a 30 kV sono le seguenti:

- ✓ Linea elettrica in cavo interrato costituita da 1 terna di cavi 30 kV posate a trifoglio, sezione 240 mm<sup>2</sup>, profondità di posa 1,10 m (POSA 1);
- ✓ Linea elettrica in cavo interrato costituita da 1 terna di cavi 30 kV posate a trifoglio, sezione 300 mm<sup>2</sup>, profondità di posa 1,10 m (POSA 4);
- ✓ Linea elettrica in cavo interrato costituita da 1 terna di cavi 30 kV posate a trifoglio, sezione 400 mm<sup>2</sup>, profondità di posa 1,10 m (POSA 6);
- ✓ Linea elettrica in cavo interrato costituita da 2 terne di cavi 30 kV posate a trifoglio, sezione 240 mm<sup>2</sup>, profondità di posa 1,10 m (POSA 2);
- ✓ Linea elettrica in cavo interrato costituita da 2 terne di cavi MT posate a trifoglio, sezione 240 e 300 mm<sup>2</sup>, profondità di posa 1,10 m (POSA 3);
- ✓ Linea elettrica in cavo interrato costituita da 2 terne di cavi MT posate a trifoglio, sezione 240 e 300 mm<sup>2</sup>, profondità di posa 1,10 m (POSA 5);
- ✓ Linea elettrica in cavo interrato costituita da 4 terne di cavi MT posate a trifoglio, sezione 240, 300 e 400 mm<sup>2</sup>, profondità di posa 1,10 m (POSA 7);
- ✓ Linea elettrica in cavo interrato costituita da 4 terne di cavi MT posate a trifoglio, sezione 300 e 400 mm<sup>2</sup>, profondità di posa 1,10 m (POSA 8).

Nei successivi paragrafi si analizzano le configurazioni di posa che comportano una Distanza di Prima Approssimazione "DPA" diversa da zero (configurazione posa 8 e configurazione posa 7).

Si è, inoltre, analizzato il caso peggiore delle configurazioni che hanno dato DPA pari a zero (configurazione posa 5) tralasciando le altre configurazioni perché certamente la DPA è nulla.

### 6.2.3 Cavi unipolari posati a trifoglio

Come suggerito dalla norma CEI 106-11 al cap. 6.2.3, per i cavi unipolari posati a trifoglio a singola terna è possibile ricorrere ad una espressione approssimata del campo magnetico, che tiene conto non del singolo conduttore ma dell'intera terna, come di seguito riportato.

$$B = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S \cdot I}{R^2} \quad [\mu T] \quad ; \quad R = 0,286 \cdot \sqrt{S \cdot I} \quad [m]$$

Lo schema è riportato nella figura seguente.

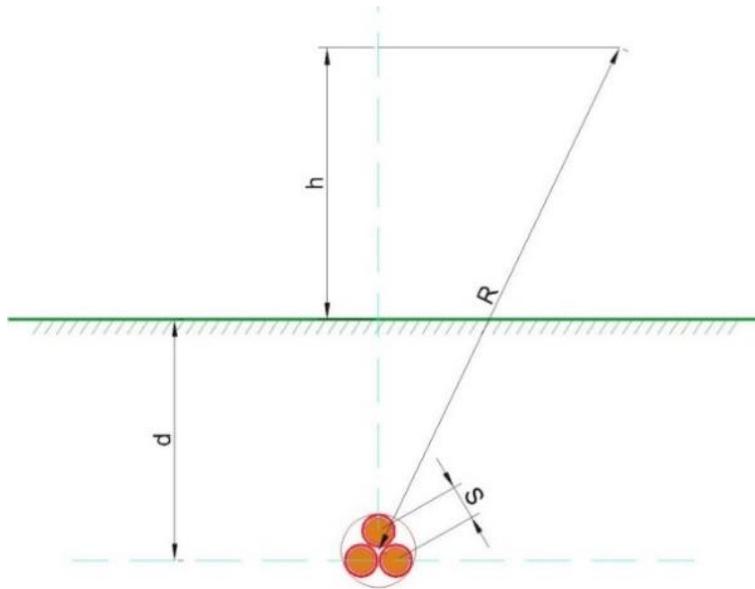


Figura 6.2. Modello geometrico posto a base dei calcoli (posa trifoglio a singola terna)

$B$  [ $\mu T$ ] è l'induzione magnetica in un generico punto distante  $R$  [m] dal conduttore centrale,  $S$  [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a  $I$  [A].

In questo caso, la formula semplificata per il calcolo diretto della distanza  $R_0$  dall'asse della linea a livello del suolo ( $h=0$ ) oltre la quale l'induzione magnetica scende al di sotto del valore di  $3 \mu T$  è la seguente:

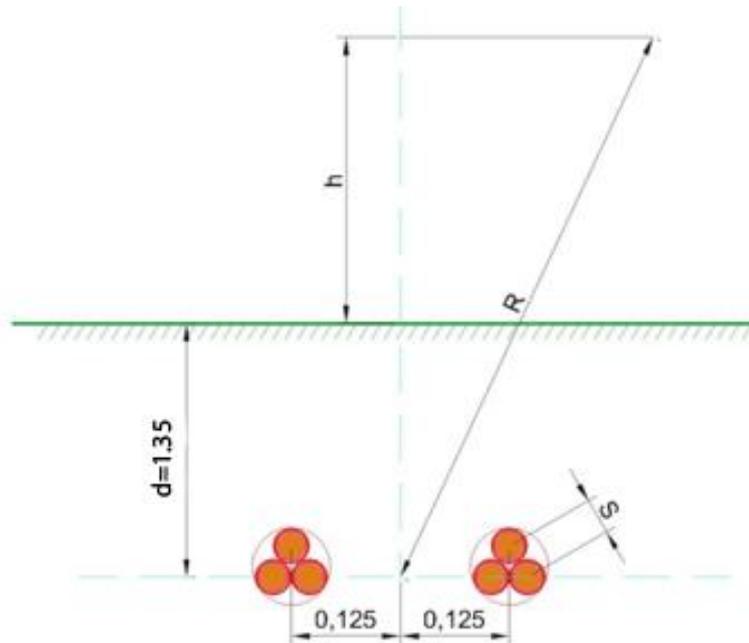
$$R_0 = \sqrt{0,082 \cdot S \cdot I - d^2}$$

Quando si tratta invece di una doppia terna (anche più), considerando la natura vettoriale del campo magnetico, è possibile sommare i contributi dovuti alle singole terne e calcolare, attraverso il modello semplificato di cui prima, il valore del campo magnetico nello spazio circostante l'elettrodotto.

Considerata quindi la disposizione spaziale delle terne, e fissando l'asse centrale del sistema come riportato in figura, si può calcolare il campo magnetico generato dall'elettrodotto attraverso la seguente formula (indicativa per due terne):

$$B = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S_1 \cdot I_1}{R_1^2} + 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S_2 \cdot I_2}{R_2^2} \quad [\mu T]$$

$$R_1 = 0,286 \cdot \sqrt{S_1 \cdot I_1} \quad ; \quad R_2 = 0,286 \cdot \sqrt{S_2 \cdot I_2} \quad [m]$$



**Figura 6.3. Modello geometrico posto a base dei calcoli (posa trifoglio a doppia trina)**

Analogamente, si può procedere anche con quattro terne interrate.

Per quanto riguarda la corrente  $I_l$ , il DPCM 8/07/2003 all'art.6 indica di fare riferimento alla portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto, così come definita dalla norma CEI 11-60, la quale regola la portata al limite termico delle linee aeree esterne con tensione maggiore di 100 kV.

Trattandosi nel caso specifico invece di linea interrata in media tensione (30 kV), e non potendosi fare riferimento a quanto previsto dal decreto, si è fatto riferimento alla portata in corrente in regime permanente, così come definita dalla norma CEI 11-17.

Sono stati quindi calcolate, fissando vari valori di  $h$ , le distribuzioni dell'intensità del campo magnetico su piani fuori terra paralleli al suolo.

### 6.3 VALUTAZIONE DEL CAMPO MAGNETICO PER LA CONFIGURAZIONE DI POSA 8

In questo paragrafo si analizza la configurazione di posa peggiore che prevede all'interno della sezione di scavo la collocazione di n. 4 terne, di cui n. 2 con sezione pari a 300 mm<sup>2</sup> e n. 2 con sezione pari a 400 mm<sup>2</sup> in posa a trifoglio (cfr. immagine appresso riportata):

### SEZIONE CAVIDOTTO TIPO 8

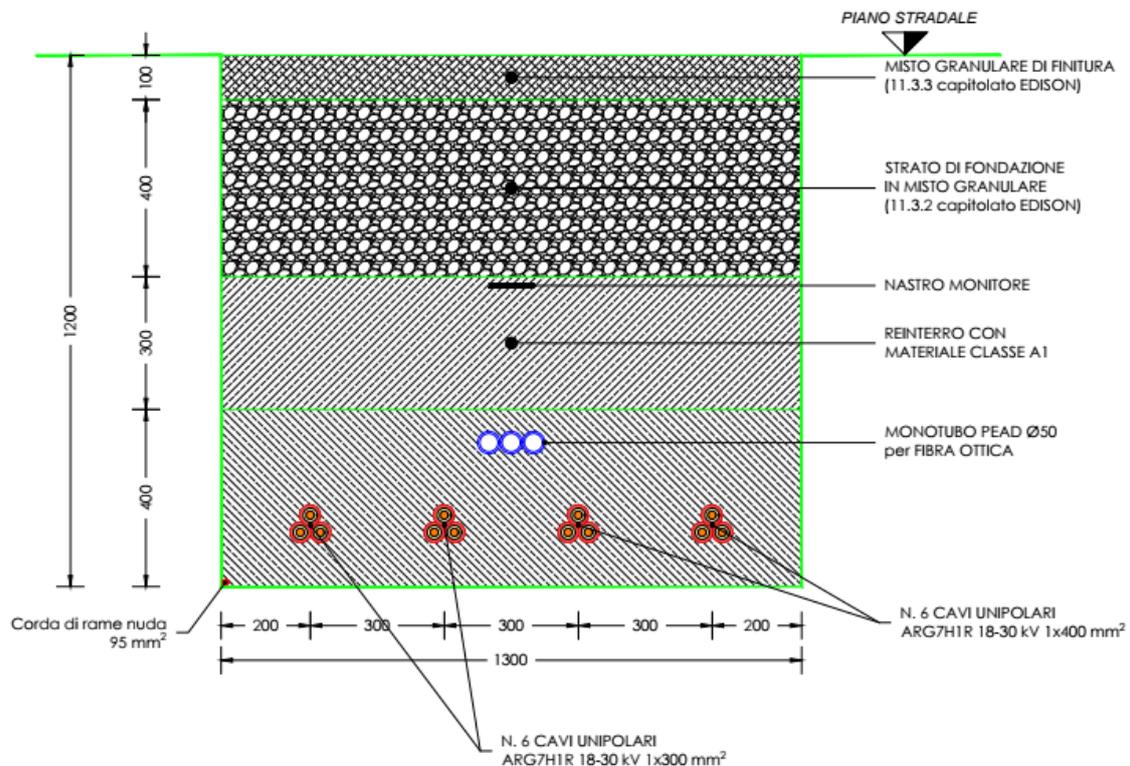


Figura 6.4: Sezione tipo di scavo con posa di n. 4 terne

Le condizioni di calcolo secondo cui sono state eseguite le valutazioni dei campi magnetici sono le seguenti:

Tabella 6-2 Condizioni di calcolo

Condizioni operative	T1	T2	T3	T4
Sezione [mm <sup>2</sup> ]	3x1x300	3x1x300	3x1x400	3x1x400
Distanza dall'asse y [m]	-0,450	-0,150	0,150	0,450
Portata cavo corretta I <sub>z</sub> [A]	404	404	543	543
Profondità di posa [m]	1,10	1,10	1,10	1,10

Per la portata dei cavi, si è tenuto conto della portata corretta secondo i fattori di correzione che tengono conto delle condizioni di esercizio.

La tabella che segue mostra il calcolo dei valori della distribuzione, con un intervallo di calcolo dei valori in ascissa (ossia della distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m.

Tabella 6.3: Calcolo del campo magnetico

Distanza dall'asse centrale [m]	B <sub>tot</sub> a 1 m dal suolo [μT]	B <sub>tot</sub> a 1,5 m dal suolo [μT]	B <sub>tot</sub> a 2 m dal suolo [μT]	B <sub>tot</sub> a 2,5 m dal suolo [μT]	B <sub>tot</sub> a 3 m dal suolo [μT]
-10,00	0,21747	0,21270	0,20719	0,20107	0,19447
-9,50	0,23982	0,23403	0,22737	0,22002	0,21214
-9,00	0,26573	0,25863	0,25053	0,24163	0,23215
-8,50	0,29599	0,28721	0,27724	0,26638	0,25491

Distanza dall'asse centrale [m]	B <sub>tot</sub> a 1 m dal suolo [μT]	B <sub>tot</sub> a 1,5 m dal suolo [μT]	B <sub>tot</sub> a 2 m dal suolo [μT]	B <sub>tot</sub> a 2,5 m dal suolo [μT]	B <sub>tot</sub> a 3 m dal suolo [μT]
-8,00	0,33160	0,32062	0,30824	0,29487	0,28087
-7,50	0,37388	0,35996	0,34443	0,32781	0,31059
-7,00	0,42453	0,40666	0,38693	0,36607	0,34473
-6,50	0,48582	0,46255	0,43718	0,41072	0,38403
-6,00	0,56084	0,53002	0,49695	0,46302	0,42936
-5,50	0,65375	0,61221	0,56846	0,52447	0,48168
-5,00	0,77030	0,71320	0,65447	0,59680	0,54200
-4,50	0,91852	0,83835	0,75828	0,68189	0,61125
-4,00	1,10958	0,99449	0,88368	0,78159	0,69015
-3,50	1,35896	1,18998	1,03461	0,89735	0,77888
-3,00	1,68739	1,43411	1,21425	1,02945	0,87656
-2,50	2,12014	1,73479	1,42315	1,17592	0,98068
-2,00	2,68048	2,09302	1,65610	1,33095	1,08644
-1,50	3,36890	2,49245	1,89787	1,48345	1,18634
-1,00	4,12040	2,88647	2,12021	1,61685	1,27058
-0,50	4,76356	3,19511	2,28448	1,71154	1,32871
0,00	5,06170	3,33013	2,35375	1,75050	1,35222
0,50	4,87481	3,24517	2,31007	1,72590	1,33736
1,00	4,28922	2,96908	2,16466	1,64265	1,28649
1,50	3,53951	2,58550	1,95164	1,51620	1,20723
2,00	2,82509	2,18088	1,71091	1,36624	1,10989
2,50	2,23344	1,81040	1,47387	1,21044	1,00463
3,00	1,77358	1,49618	1,25861	1,06125	0,89955
3,50	1,42416	1,23986	1,07222	0,92556	0,80008
4,00	1,15922	1,03429	0,91504	0,80607	0,70919
4,50	0,95676	0,87015	0,78425	0,70285	0,62805
5,00	0,80015	0,73875	0,67595	0,61463	0,55668
5,50	0,67737	0,63290	0,58628	0,53961	0,49444
6,00	0,57979	0,54693	0,51179	0,47589	0,44041
6,50	0,50121	0,47649	0,44962	0,42168	0,39360
7,00	0,43716	0,41825	0,39742	0,37545	0,35303
7,50	0,38437	0,36968	0,35332	0,33586	0,31781
8,00	0,34040	0,32884	0,31583	0,30181	0,28716
8,50	0,30343	0,29421	0,28376	0,27240	0,26041
9,00	0,27207	0,26464	0,25616	0,24687	0,23698
9,50	0,24527	0,23922	0,23227	0,22460	0,21639
10,00	0,22218	0,21721	0,21147	0,20510	0,19823

Il grafico che segue mostra la distribuzione di tali valori in funzione della distanza dall'asse centrale. Le varie curve mostrano il valore dell'intensità del campo al variare del parametro h (da 1 m a 3 m da terra), ossia la distribuzione del campo su piani fuori terra paralleli al suolo.

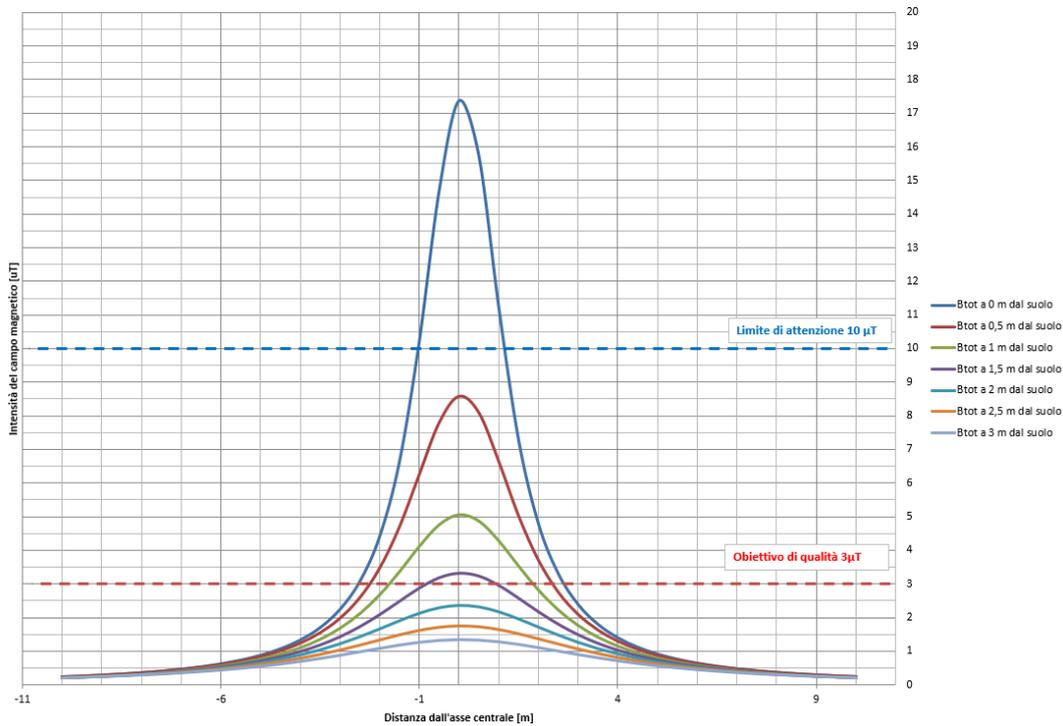


Figura 6.5. Distribuzione dei valori del campo magnetico

Ricordando che l'obiettivo da rispettare per il caso in esame è l'obiettivo di qualità, pari a  $3 \mu\text{T}$ , si rileva che l'elettrodotto oggetto di studio produce un campo magnetico massimo, in corrispondenza, circa, all'asse centrale e ad 1m dal piano di calpestio, pari a  $5,06 \mu\text{T}$ , superiore all'obiettivo di qualità.

Risulta, quindi, necessario individuare una fascia di rispetto, definita, secondo la normativa citata, come la distanza sul piano orizzontale (ad altezza  $h=1\text{m}$ ) dalla proiezione verticale della sorgente alla quale il campo elettromagnetico risulta essere inferiore all'obiettivo di qualità pari a  $3 \mu\text{T}$ .

Utilizzando tali valori per il calcolo, la DPA risulta essere pari a 2,00 m, alla quale il campo residuo risulta essere pari a circa  $2,68 \mu\text{T}$  a sinistra e  $2,83 \mu\text{T}$  a destra, rispetto l'asse centrale.

**Pertanto, relativamente all'elettrodotto in argomento, viene individuata una fascia di rispetto complessiva di 4,00 m, centrata sull'asse dell'elettrodotto (DPA pari a 2,0 m), al di fuori della quale è garantito il rispetto dell'obiettivo di qualità richiesto.**

Si ricorda, inoltre, che le condizioni nelle quali è stato effettuato il calcolo sono peggiorative rispetto alla reale configurazione del sistema.

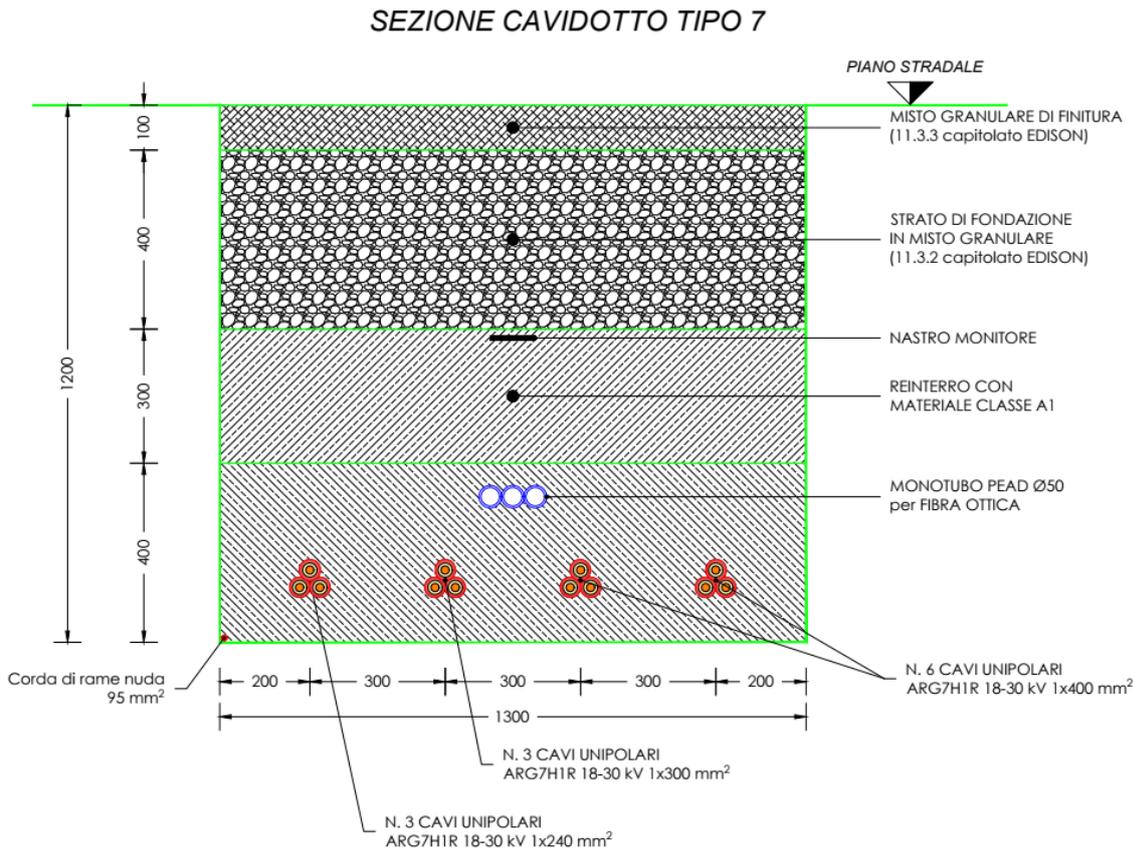
Infatti, per il calcolo si è fatto riferimento alle portate massime dei cavi, corrette in funzione delle specifiche condizioni di posa. Tale ipotesi, prevista dalla norma, è comunque molto cautelativa, in quanto, trattandosi di impianto di produzione con potenza predeterminata, le massime correnti realmente transitanti nei conduttori (e di conseguenza i relativi campi elettromagnetici generati) saranno inferiori alle portate nominali.

Infine, sia l'obiettivo di qualità di  $3 \mu\text{T}$  che il limite di attenzione di  $10 \mu\text{T}$  fanno riferimento al valore della mediana nelle 24 ore di esercizio. Tutti i dimensionamenti, invece, sono stati eseguiti tenendo conto delle potenze nominali del parco eolico, ipotizzando il funzionamento a piena potenza. In tal senso, occorre tenere conto delle effettive ore di produzione giornaliere in cui l'elettrodotto risulta trasportare energia, e conseguentemente generare campi elettromagnetici.

Data la natura aleatoria della fonte rinnovabile, i valori reali saranno certamente inferiori a quelli utilizzati nei calcoli, con una significativa diminuzione del valore dei campi elettromagnetici generati, ben al di sotto dei valori normativi precedentemente illustrati.

## 6.4 VALUTAZIONE DEL CAMPO MAGNETICO PER LA CONFIGURAZIONE DI POSA 7

In questo paragrafo si analizza la configurazione di posa che prevede all'interno della sezione di scavo la collocazione di n. 4 terne, di cui n. 1 con sezione pari a 240 mm<sup>2</sup>, n. 1 con sezione pari a 300 mm<sup>2</sup> e n. 2 con sezione pari a 400 mm<sup>2</sup> in posa a trifoglio (cfr. immagine appresso riportata):



**Figura 6.6: Posa 7 - Sezione tipo di scavo con posa di n. 4 terne**

Le condizioni di calcolo secondo cui sono state eseguite le valutazioni dei campi magnetici sono le seguenti:

**Tabella 6.4: Posa 7 - Condizioni di calcolo**

Condizioni operative	T1	T2	T3	T4
Sezione [mm <sup>2</sup> ]	3x1x240	3x1x300	3x1x400	3x1x400
Distanza dall'asse y [m]	-0,450	-0,150	0,150	0,450
Portata cavo corretta I <sub>z</sub> [A]	357	404	543	543
Profondità di posa [m]	1,10	1,10	1,10	1,10

Per la portata dei cavi, si è tenuto conto della portata corretta secondo i fattori di correzione che tengono conto delle condizioni di esercizio.

La tabella che segue mostra il calcolo dei valori della distribuzione, con un intervallo di calcolo dei valori in ascissa (ossia della distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m.

Tabella 6.5: Posa 7 - Calcolo del campo magnetico

Distanza dall'asse centrale [m]	B <sub>tot</sub> a 1 m dal suolo [μT]	B <sub>tot</sub> a 1,5 m dal suolo [μT]	B <sub>tot</sub> a 2 m dal suolo [μT]	B <sub>tot</sub> a 2,5 m dal suolo [μT]	B <sub>tot</sub> a 3 m dal suolo [μT]
-10,00	0,20998	0,20539	0,20009	0,19420	0,18784
-9,50	0,23152	0,22595	0,21955	0,21247	0,20488
-9,00	0,25649	0,24967	0,24187	0,23331	0,22419
-8,50	0,28564	0,27720	0,26762	0,25717	0,24613
-8,00	0,31994	0,30939	0,29749	0,28463	0,27117
-7,50	0,36065	0,34728	0,33236	0,31638	0,29983
-7,00	0,40939	0,39225	0,37330	0,35326	0,33274
-6,50	0,46837	0,44604	0,42169	0,39627	0,37062
-6,00	0,54051	0,51096	0,47923	0,44666	0,41432
-5,50	0,62981	0,59001	0,54807	0,50586	0,46476
-5,00	0,74179	0,68713	0,63085	0,57553	0,52291
-4,50	0,88412	0,80744	0,73076	0,65751	0,58969
-4,00	1,06749	0,95751	0,85145	0,75358	0,66581
-3,50	1,30674	1,14541	0,99676	0,86519	0,75146
-3,00	1,62178	1,38012	1,16981	0,99266	0,84584
-2,50	2,03700	1,66947	1,37131	1,13420	0,94661
-2,00	2,57538	2,01488	1,59650	1,28434	1,04918
-1,50	3,23901	2,40139	1,83104	1,43253	1,14636
-1,00	3,96847	2,78509	2,04798	1,56286	1,22874
-0,50	4,60129	3,08924	2,21000	1,65631	1,28612
0,00	4,90648	3,22730	2,28078	1,69610	1,31013
0,50	4,74004	3,15173	2,24196	1,67425	1,29694
1,00	4,17928	2,88829	2,10353	1,59511	1,24863
1,50	3,45232	2,51772	1,89826	1,47349	1,17250
2,00	2,75633	2,12478	1,66505	1,32848	1,07851
2,50	2,17884	1,76410	1,43477	1,17739	0,97657
3,00	1,72968	1,45782	1,22533	1,03245	0,87462
3,50	1,38839	1,20784	1,04382	0,90049	0,77799
4,00	1,12965	1,00733	0,89070	0,78421	0,68964
4,50	0,93199	0,84725	0,76326	0,68373	0,61072
5,00	0,77916	0,71911	0,65774	0,59785	0,54128
5,50	0,65939	0,61592	0,57037	0,52481	0,48072
6,00	0,56423	0,53212	0,49781	0,46276	0,42816
6,50	0,48763	0,46349	0,43725	0,41000	0,38261
7,00	0,42521	0,40675	0,38642	0,36499	0,34313
7,50	0,37378	0,35945	0,34349	0,32646	0,30886
8,00	0,33095	0,31968	0,30700	0,29332	0,27905
8,50	0,29495	0,28597	0,27578	0,26470	0,25302
9,00	0,26443	0,25719	0,24892	0,23986	0,23024
9,50	0,23834	0,23245	0,22567	0,21821	0,21021
10,00	0,21588	0,21103	0,20544	0,19923	0,19255

Il grafico che segue mostra la distribuzione di tali valori in funzione della distanza dall'asse centrale. Le varie curve mostrano il valore dell'intensità del campo al variare del parametro h (da 1 m a 3 m da terra), ossia la distribuzione del campo su piani fuori terra paralleli al suolo.

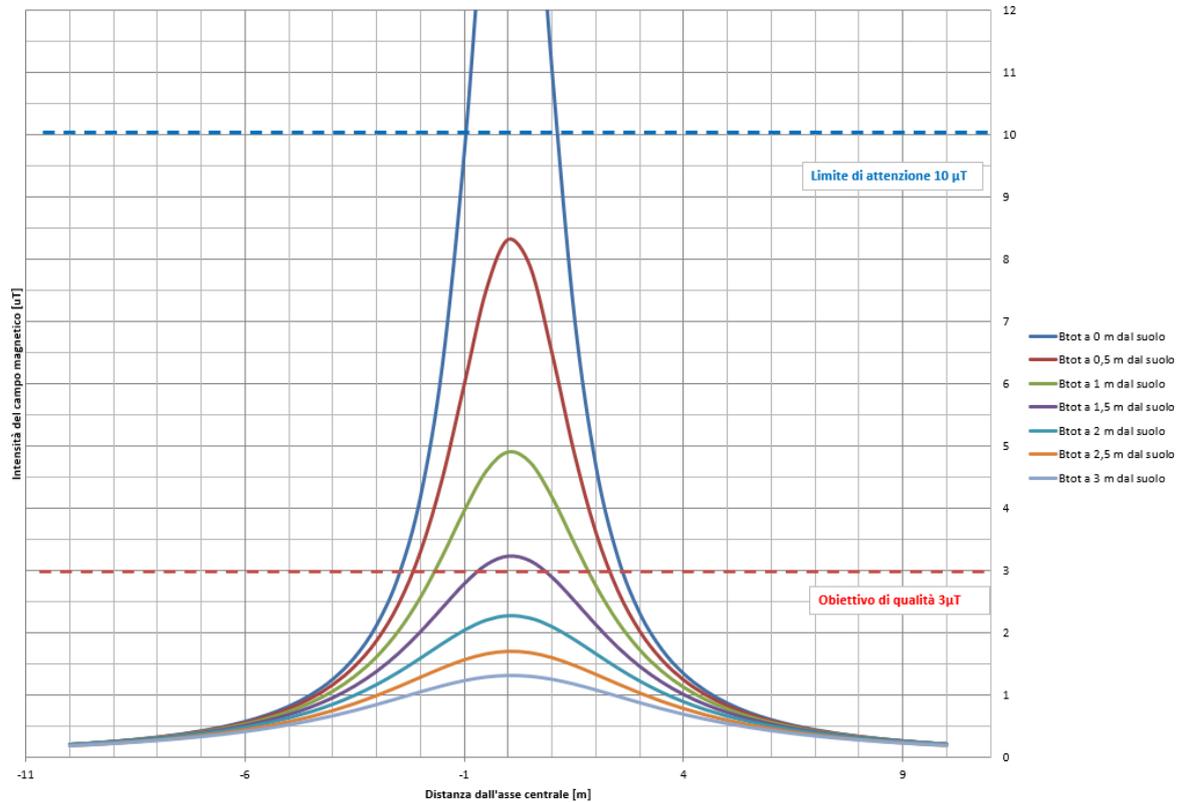


Figura 6.7: Posa 7 - Distribuzione dei valori del campo magnetico

Ricordando che l'obiettivo da rispettare per il caso in esame è l'obiettivo di qualità, pari a 3 µT, si rileva che l'elettrodotto oggetto di studio produce un campo magnetico massimo, in corrispondenza, circa, all'asse centrale e ad 1m dal piano di calpestio, pari a 4,91 µT, superiore all'obiettivo di qualità.

Risulta, quindi, necessario individuare una fascia di rispetto, definita, secondo la normativa citata, come la distanza sul piano orizzontale (ad altezza h=1m) dalla proiezione verticale della sorgente alla quale il campo elettromagnetico risulta essere inferiore all'obiettivo di qualità pari a 3 µT.

Utilizzando tali valori per il calcolo, la DPA risulta essere pari a 2,00 m, alla quale il campo residuo risulta essere pari a circa 2,58 µT a sinistra e 2,76 µT a destra, rispetto l'asse centrale.

**Pertanto, relativamente all'elettrodotto in argomento, viene individuata una fascia di rispetto complessiva di 4,00 m, centrata sull'asse dell'elettrodotto (DPA pari a 2,00 m), al di fuori della quale è garantito il rispetto dell'obiettivo di qualità richiesto.**

Si ricorda, inoltre, che le condizioni nelle quali è stato effettuato il calcolo sono peggiorative rispetto alla reale configurazione del sistema. Infatti, per il calcolo si è fatto riferimento alle portate massime dei cavi, corrette in funzione delle specifiche condizioni di posa. Tale ipotesi, prevista dalla norma, è comunque molto cautelativa, in quanto, trattandosi di impianto di produzione con potenza predeterminata, le massime correnti realmente transitanti nei conduttori (e di conseguenza i relativi campi elettromagnetici generati) saranno inferiori alle portate nominali.

Infine, sia l'obiettivo di qualità di 3 µT che il limite di attenzione di 10 µT fanno riferimento al valore della mediana nelle 24 ore di esercizio. Tutti i dimensionamenti, invece, sono stati eseguiti tenendo conto delle potenze nominali del parco eolico, ipotizzando il funzionamento a piena potenza. In tal senso, occorre tenere conto delle effettive ore di produzione giornaliere in cui l'elettrodotto risulta trasportare energia, e conseguentemente generare campi elettromagnetici.

Data la natura aleatoria della fonte rinnovabile, i valori reali saranno certamente inferiori a quelli utilizzati nei calcoli, con una significativa diminuzione del valore dei campi elettromagnetici generati, ben al di sotto dei valori normativi precedentemente illustrati.

## 6.5 VALUTAZIONE DEL CAMPO MAGNETICO PER LA CONFIGURAZIONE DI POSA 5

In questo paragrafo si analizza la configurazione di posa che prevede all'interno della sezione di scavo la collocazione di n. 2 terne, di cui n. 1 con sezione pari a  $300 \text{ mm}^2$  e n. 1 con sezione pari a  $400 \text{ mm}^2$  in posa a trifoglio (cfr. immagine appresso riportata):

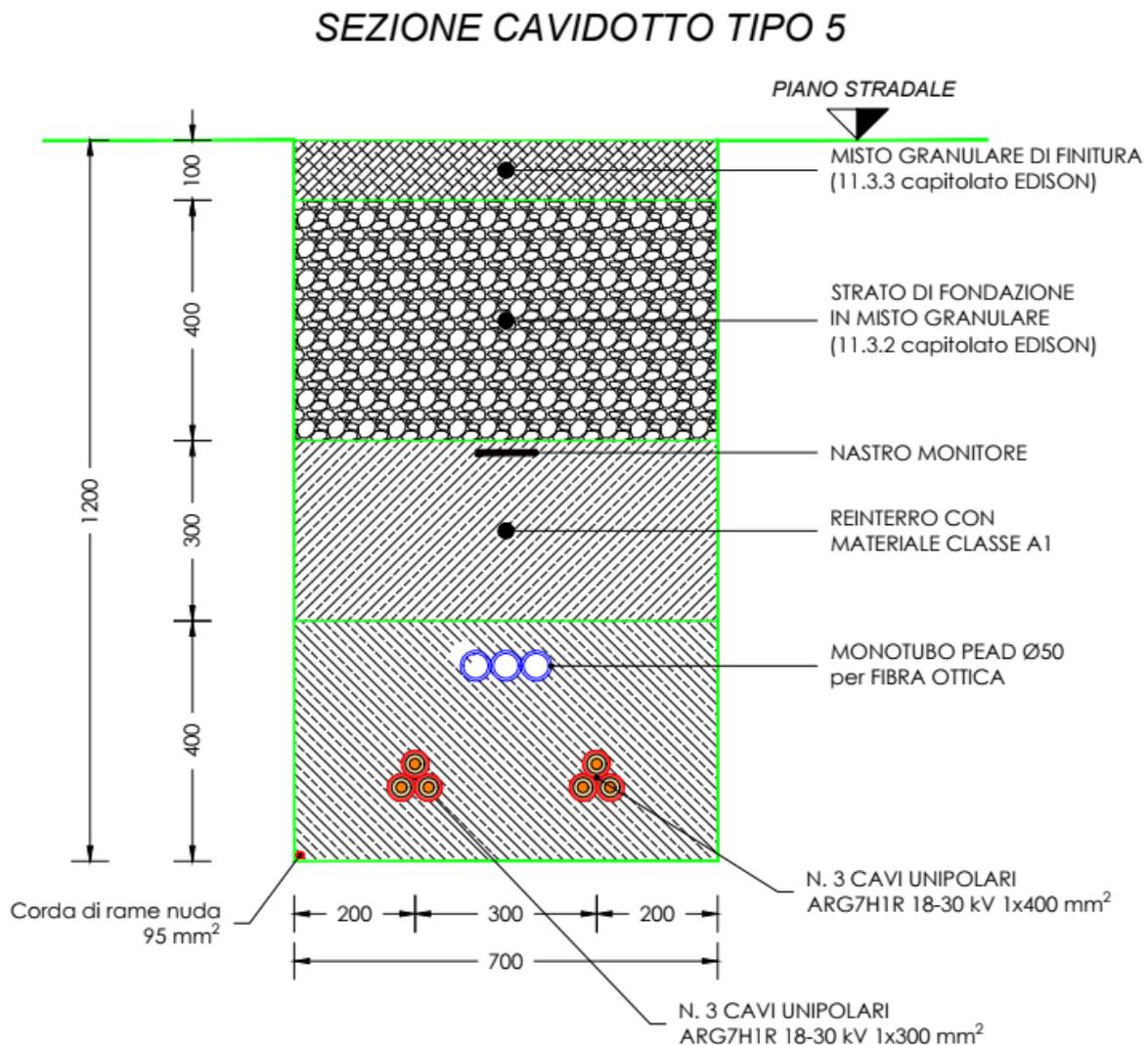


Figura 6.8: Posa 5 - Sezione tipo di scavo con posa di n. 4 terne

Le condizioni di calcolo secondo cui sono state eseguite le valutazioni dei campi magnetici sono le seguenti.

Tabella 6.6: Posa 5 - Condizioni di calcolo

Condizioni operative	T1	T2
Sezione [mm <sup>2</sup> ]	3x1x300	3x1x400
Distanza dall'asse y [m]	-0,150	0,150
Portata cavo corretta I <sub>z</sub> [A]	404	543
Profondità di posa [m]	1,10	1,10

Per la portata dei cavi, si è tenuto conto della portata corretta secondo i fattori di correzione che tengono conto delle condizioni di esercizio.

La tabella che segue mostra il calcolo dei valori della distribuzione, con un intervallo di calcolo dei valori in ascissa (ossia della distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m.

Tabella 6.7: Posa 5 - Calcolo del campo magnetico

Distanza dall'asse centrale [m]	B <sub>tot</sub> a 1 m dal suolo [μT]	B <sub>tot</sub> a 1,5 m dal suolo [μT]	B <sub>tot</sub> a 2 m dal suolo [μT]	B <sub>tot</sub> a 2,5 m dal suolo [μT]	B <sub>tot</sub> a 3 m dal suolo [μT]
-10,00	0,10912	0,10673	0,10396	0,10089	0,09758
-9,50	0,12033	0,11743	0,11409	0,11040	0,10645
-9,00	0,13334	0,12978	0,12572	0,12125	0,11650
-8,50	0,14852	0,14412	0,13913	0,13368	0,12792
-8,00	0,16639	0,16089	0,15469	0,14798	0,14096
-7,50	0,18760	0,18063	0,17285	0,16452	0,15589
-7,00	0,21300	0,20406	0,19418	0,18373	0,17303
-6,50	0,24373	0,23210	0,21940	0,20615	0,19277
-6,00	0,28133	0,26594	0,24940	0,23242	0,21555
-5,50	0,32787	0,30716	0,28530	0,26328	0,24184
-5,00	0,38624	0,35780	0,32848	0,29963	0,27217
-4,50	0,46042	0,42057	0,38063	0,34242	0,30701
-4,00	0,55602	0,49890	0,44366	0,39260	0,34675
-3,50	0,68082	0,59708	0,51964	0,45093	0,39148
-3,00	0,84534	0,71993	0,61026	0,51764	0,44079
-2,50	1,06277	0,87181	0,71600	0,59178	0,49345
-2,00	1,34629	1,05389	0,83443	0,67047	0,54700
-1,50	1,69918	1,25869	0,95795	0,74803	0,59759
-1,00	2,09184	1,46251	1,07184	0,81580	0,64012
-0,50	2,43262	1,62207	1,15536	0,86340	0,66909
0,00	2,58269	1,68784	1,18845	0,88178	0,68010
0,50	2,46200	1,63509	1,16195	0,86707	0,67130
1,00	2,13560	1,48379	1,08323	0,82239	0,64417
1,50	1,74262	1,28241	0,97165	0,75636	0,60290
2,00	1,38268	1,07610	0,84831	0,67940	0,55294
2,50	1,09112	0,89083	0,72878	0,60049	0,49950
3,00	0,86684	0,73549	0,62141	0,52564	0,44659
3,50	0,69707	0,60956	0,52907	0,45802	0,39681
4,00	0,56840	0,50885	0,45152	0,39874	0,35153
4,50	0,46996	0,42851	0,38713	0,34767	0,31123
5,00	0,39369	0,36419	0,33386	0,30410	0,27585
5,50	0,33377	0,31233	0,28976	0,26708	0,24504
6,00	0,28606	0,27017	0,25312	0,23564	0,21832
6,50	0,24758	0,23559	0,22252	0,20890	0,19517
7,00	0,21616	0,20696	0,19681	0,18608	0,17511
7,50	0,19022	0,18307	0,17508	0,16654	0,15769
8,00	0,16859	0,16295	0,15659	0,14972	0,14254

Distanza dall'asse centrale [m]	$B_{tot}$ a 1 m dal suolo [ $\mu T$ ]	$B_{tot}$ a 1,5 m dal suolo [ $\mu T$ ]	$B_{tot}$ a 2 m dal suolo [ $\mu T$ ]	$B_{tot}$ a 2,5 m dal suolo [ $\mu T$ ]	$B_{tot}$ a 3 m dal suolo [ $\mu T$ ]
8,50	0,15038	0,14588	0,14076	0,13519	0,12930
9,00	0,13493	0,13129	0,12713	0,12256	0,11771
9,50	0,12170	0,11873	0,11532	0,11155	0,10752
10,00	0,11030	0,10786	0,10503	0,10190	0,09852

Il grafico che segue mostra la distribuzione di tali valori in funzione della distanza dall'asse centrale. Le varie curve mostrano il valore dell'intensità del campo al variare del parametro h (da 1 m a 3 m da terra), ossia la distribuzione del campo su piani fuori terra paralleli al suolo.

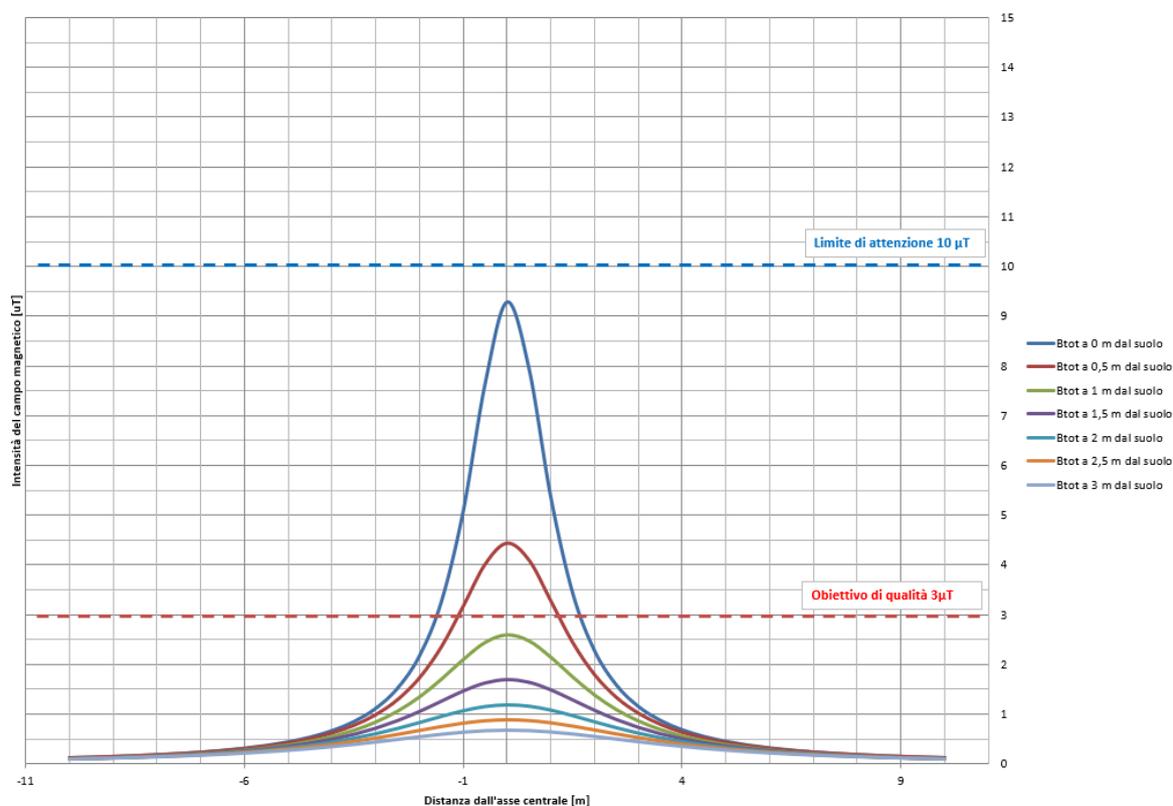


Figura 6.8: Posa 5 - Distribuzione dei valori del campo magnetico

Ricordando che l'obiettivo da rispettare per il caso in esame è l'obiettivo di qualità, pari a 3  $\mu T$ , si rileva che l'elettrodotto oggetto di studio produce un campo magnetico massimo, in corrispondenza, circa, all'asse centrale e ad 1m dal piano di calpestio, pari a 2,58  $\mu T$  inferiore all'obiettivo di qualità.

**Pertanto, in questo caso specifico non sarà necessario prevedere DPA. Poiché, gli altri tipi di posa presentano condizioni migliori rispetto alla posa di tipo 5 in termini di campi elettromagnetici generati, allora anche il resto delle sezioni di elettrodotto non necessitano di DPA.**

## **6.6 VALUTAZIONE DEL CAMPO ELETTRICO**

In generale l'intensità del campo elettrico generato da una linea elettrica è dipendente dal valore della tensione e della configurazione dei conduttori e decresce rapidamente man mano che ci si allontana dalla linea stessa.

Il campo elettrico generato da una fonte a bassa frequenza, come i 50 Hz degli elettrodotti, è molto facile da schermare. Un buon effetto schermante è determinato da eventuali oggetti o strutture interposte tra la fonte e il recettore, come i normali materiali da costruzione, la vegetazione, il terreno, ecc.

I cavi per le linee elettriche 30 kV, in questo caso cavi ARG7H1R, sono costituiti da un conduttore centrale in treccia di alluminio rivestito da un materiale isolante HEPR di qualità G7. Quest'ultimo è avvolto da una speciale protezione dalle infiltrazioni d'acqua e viene schermato attraverso un nastro di rame rosso avvolto a cilindro in controspirale.

Grazie a tale schermo, anche senza considerare gli eventuali ulteriori effetti schermanti esposti nelle considerazioni generali di cui sopra, il campo elettrico prodotto da una linea elettrica in cavo interrato può essere considerato nullo.

## 7 CONCLUSIONI

Nella presente relazione è stato condotto uno studio analitico volto a valutare l'impatto elettromagnetico delle opere da realizzare e, sulla base dei risultati, individuare eventuali fasce di rispetto da apporre al fine di garantire il raggiungimento degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici, secondo il vigente quadro normativo.

Una volta individuate le possibili sorgenti dei campi elettromagnetici, per ciascuna di esse è stata condotta una valutazione di tipo analitico, volta a determinare la consistenza dei campi generati dalle sorgenti e l'eventuale Distanza di Prima Approssimazione (DPA).

Dalle valutazioni condotte nel corpo del presente documento, si conclude che

- ✓ per le configurazioni posa 7 e 8 dell'elettrodotto in MT è stata individuata una fascia di rispetto complessiva di 4,00 m, centrata sull'asse dell'elettrodotto (DPA pari a 2,00 m),
- ✓ per la configurazione di posa 5 e, quindi, anche per il resto delle sezioni dell'elettrodotto in MT non è necessario prevedere una DPA.