

# "PARCO EOLICO FLORINAS (SS)"

Progetto per la realizzazione di un parco eolico con potenza pari a 48 MW  
sito nel Comune di Florinas (SS)

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE



Hydro Engineering s.s.  
di Damiano e Mariano Galbo  
via Rossotti, 39  
91011 Alcamo (TP) Italy

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Mariano Galbo", is written over a horizontal line.



TITOLO ELABORATO

RELAZIONE TECNICA SULL'IMPATTO  
ELETTROMAGNETICO

SCALA

COMMESSA

**SVIL-1000183613**

CODIFICA DOCUMENTO

FLO-SA-REL-014\_00

4					
3					
2					
1					
0	PRIMA EMISSIONE	Dicembre 2023	FC	EG	MG
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					

Questo disegno non può essere riprodotto, nè utilizzato altrove, nè ceduto a terzi in tutto o in parte senza il consenso scritto degli autori

## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>3</b>
2.1 NORMATIVA DI CARATTERE GENERALE.....	3
2.2 NORMATIVA IMPIANTI EOLICI .....	3
2.3 NORMATIVA STAZIONI ELETTRICHE AT/MT.....	4
2.4 NORMATIVA CAMPI ELETTROMAGNETICI .....	6
<b>3. DESCRIZIONE DEL PROGETTO .....</b>	<b>7</b>
<b>4. FONTI DI EMISSIONE .....</b>	<b>10</b>
<b>5. VALORI LIMITE DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>11</b>
5.1 VALORI LIMITE DEL CAMPO MAGNETICO.....	11
5.2 VALORI LIMITE DEL CAMPO ELETTRICO.....	11
<b>6. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DAGLI ELETTRODOTTI.....</b>	<b>13</b>
6.1 CAVI POSA ELICORDATA SEZIONE 185-300 MM <sup>2</sup> .....	13
6.2 CAVI POSA A TRIFOGLIO SEZIONE 630 MM <sup>2</sup> .....	14
6.2.1 Caso A – 1 terna di cavi.....	15
6.2.2 Caso B – 2 terne di cavi.....	19
6.2.3 Caso C – 3 terne di cavi.....	25
6.2.4 Caso D – 1 terna di cavi AT – posa 1,50 m.....	30
6.3 RIEPILOGO DPA ELETTRODOTTI .....	34
7 ELETTROMAGNETICO GENERATO DAGLI AEROGENERATORI.....	35
8 CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DALLA SSEU .....	36
9 CONCLUSIONI.....	36
10 ALLEGATO A: DPA ELETTRODOTTI.....	37
11 ALLEGATI: DPA ELETTRODOTTI E DPA SSEU.....	39

## 1. PREMESSA

La società Hydro Engineering s.s. è stata incaricata di redigere il progetto definitivo dell'impianto eolico denominato "Florinas (SS)" composto da 8 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 6,0 MW, per una potenza complessiva di 48 MW, ubicato nel comune di Florinas (SS) e proposto dalla società Edison Rinnovabili S.p.A., facente parte del Gruppo Edison, con sede legale in Milano via Foro Buonaparte 31, 20121.

Il modello tipo di aerogeneratore scelto avrà potenza nominale di 6,0 MW, con diametro rotore fino a 155 m e altezza massima al top della pala pari a 200 m. Questa tipologia di aerogeneratore è allo stato attuale quella ritenuta più idonea per il sito di progetto dell'impianto. Le aree interessate dal posizionamento degli aerogeneratori ricadono nelle contrade Sa Pedraia (FL01), Sadde Senida (FL02), Sa Punta de Sas Baddes (FL03 e FL04), Coladolzos (FL05 e FL06), Banzos (FL07), Peru Saddu (FL08).

Oltre che degli aerogeneratori, il progetto si compone dei seguenti elementi:

- elettrodotto interrato MT da 30 kV, di collegamento tra gli aerogeneratori e la stazione di trasformazione utente 30/150 kV ed ubicato nel Comune di Florinas in via Roma 96-102
- stazione elettrica di trasformazione 30/150 kV;
- un cavidotto interrato AT a 150 kV lungo circa 500 m che collegherà al SSE, con la stazione TERNA RTN "Florinas";
- futuro ampliamento (previsto da Piano di Sviluppo Terna) della Stazione Elettrica (SE) di Smistamento a 150 kV della RTN denominata "Florinas".

Si precisa che la progettazione del futuro ampliamento della stazione elettrica di Terna 150 KV "Florinas" (previsto da Piano di Sviluppo Terna) riportata nella documentazione progettuale, sarà integrata al seguito del benessere Terna.

Nel seguito della relazione si darà in particolare descrizione della normativa di riferimento, dei campi generati dagli aerogeneratori, dalla sottostazione elettrica di collegamento alla rete di trasmissione nazionale, ed infine dalle linee elettriche in MT di collegamento fra gli aerogeneratori e la sottostazione elettrica.

Il documento si propone di fornire una descrizione generale completa del progetto definitivo volto al rilascio da parte delle Autorità competenti, delle autorizzazioni e concessioni necessarie alla sua realizzazione.

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per la realizzazione del presente progetto si è fatto riferimento, tra l'altro, alla seguente normativa.

### 2.1 NORMATIVA DI CARATTERE GENERALE

- D.lgs. 387/2003
- D.lgs. 28/2011
- 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".

### 2.2 NORMATIVA IMPIANTI EOLICI

- Norma CEI 20-13: Cavi con isolamento estruso in gomma per tensioni nominali da 1 a 30 kV;
- Norma CEI 20-24: Giunzioni e terminazioni per cavi di energia;
- Norma CEI 20-56: Cavi da distribuzione con isolamento estruso per tensioni nominali da 3,6/6 (7,2) kV a 20,8/36 (42) kV inclusi;
- Norma CEI 11-1: Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata;
- Norma CEI EN 61936-1 (CEI 99-2) "Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a. - Parte 1: Prescrizioni comuni";
- Norma CEI EN 50522 (CEI 99-3) "Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a.";
- Norma CEI 11-4: Esecuzione delle linee elettriche aeree esterne;
- Norma CEI 11-17: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica – Linee in cavo;
- Norma CEI 11-32: Impianti di produzione di energia elettrica collegati a reti di III categoria;
- Norma CEI 11-3; V1: Impianti di produzione eolica;



- Norma CEI 11-35: Guida all'esecuzione delle cabine elettriche d'utente;
- Norma CEI 17-1: Apparecchiature ad alta tensione – Interruttori a corrente alternata ad alta tensione;
- Norma CEI 11-25: Calcolo delle correnti di corto circuito nelle reti trifasi a c.a., (IIa Ediz., Fasc. 6317, 2001-12).
- Norma CEI 0-16: Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica.

### 2.3 NORMATIVA STAZIONI ELETTRICHE AT/MT

- Norma CEI 11-32: Impianti di produzione di energia elettrica collegati a reti di III categoria;
- Norma CEI 0-16 Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica;
- Norma CEI 11-27 Lavori su impianti elettrici;
- Norma CEI EN 50110-1-2 Esercizio degli impianti elettrici;
- Norma CEI 11-1 Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata;
- Norma CEI 11-4 Esecuzione delle linee elettriche aeree esterne;
- Norma CEI 11-17 Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica – Linee in cavo;
- Norma CEI 11-20 Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti di I e II categoria;
- Norma CEI 11-37: Guida per l'esecuzione degli impianti di terra nei sistemi utilizzatori di energia alimentati a tensione maggiore di 1 kV;
- Norma CEI 20-13 Cavi con isolamento estruso in gomma per tensioni nominali da 1 a 30 kV;
- Norma CEI EN 60721-3-3 Classificazioni delle condizioni ambientali;
- Norma CEI EN 60721-3-4 Classificazioni delle condizioni ambientali;
- Norma CEI EN 60068-3-3 Prove climatiche e meccaniche fondamentali Parte 3: Guida – Metodi di prova sismica per apparecchiature;
- Norma CEI 64-2 Impianti elettrici in luoghi con pericolo di esplosione;
- Norma CEI 64-8 Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua;
- Norma CEI EN 62271-100 Interruttori a corrente alternata ad alta tensione;
- Norma CEI EN 62271-102 Sezionatori e sezionatori di terra a corrente alternata per alta tensione;

- Norma CEI EN 61009-1 Interruttori differenziali con sganciatori di sovracorrente incorporati per installazioni domestiche e similari;
- Norma CEI EN 60898-1 Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari;
- Norma CEI 33-2 Condensatori di accoppiamento e divisori capacitivi;
- Norma CEI 36-12 Caratteristiche degli isolatori portanti per interno ed esterno destinati a sistemi con tensioni nominali superiori a 1000 V;
- Norma CEI EN 60044-1 Trasformatori di corrente;
- Norma CEI EN 60044-2 Trasformatori di tensione induttivi;
- Norma CEI EN 60044-5 Trasformatori di tensione capacitivi;
- Norma CEI 57-2 Bobine di sbarramento per sistemi a corrente alternata;
- Norma CEI 57-3 Dispositivi di accoppiamento per impianti ad onde convogliate;
- Norma CEI EN 60076-1 Trasformatori di potenza;
- Norma CEI EN 60137 Isolatori passanti per tensioni alternate superiori a 1 kV;
- Norma CEI EN 60099-4 Scaricatori ad ossido di zinco senza spinterometri per reti a corrente alternata;
- Norma CEI EN 60099-5 Scaricatori – Raccomandazioni per la scelta e l'applicazione;
- Norma CEI EN 60507 Prove di contaminazione artificiale degli isolatori per alta tensione in sistemi a corrente alternata;
- Norma CEI EN 60694 Prescrizioni comuni per l'apparecchiatura di manovra e di comando ad alta tensione;
- Norma CEI EN 60529 Gradi di protezione degli involucri (Codice IP);
- Norma CEI EN 60168 Prove di isolatori per interno ed esterno di ceramica e di vetro per impianti con tensione nominale superiore a 1000 V;
- Norma CEI EN 60383-1 Isolatori per linee aeree con tensione nominale superiore a 1000 V – Parte 1 Isolatori in materiale ceramico o in vetro per sistemi in corrente alternata;
- Norma CEI EN 60383-2 Isolatori per linee aeree con tensione nominale superiore a 1000 V – Parte 2 Catene di isolatori e equipaggiamenti completi per reti in corrente alternata;
- Norme CEI EN 61284 Linee aeree – Prescrizioni e prove per la morsetteria;
- Norma CEI EN 61000-6-2 Immunità per gli ambienti industriali;
- Norma CEI EN 61000-6-4 Emissione per gli ambienti industriali;
- Norma CEI EN 61400 Sistemi di generazione a turbina eolica;
- Norma CEI-UNEL 35027: Cavi di energia per tensione nominale U da 1 kV a 30 kV - Portate di corrente in regime permanente - Posa in aria ed interrata;

- Guida Terna. INSIX1016 Criteri di coordinamento dell'isolamento nelle reti AT;
- Guida Terna DRRPX04042 Criteri generali di protezione delle reti a tensione uguale o superiore a 120 kV;
- Guida Terna DRRPX02003 Criteri di automazione delle stazioni elettriche a tensione uguale o superiore a 120 kV;
- Guida Terna DRRPX03048 Specifica funzionale per sistema di monitoraggio delle reti elettriche a tensione uguale o superiore a 120 kV.

## 2.4 NORMATIVA CAMPI ELETTROMAGNETICI

- DM del 29.5.2008, "Approvazione della metodologia di calcolo delle fasce di rispetto per gli elettrodotti";
- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 08/07/2003, "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti", G.U. 28 agosto 2003, n. 200;
- 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;
- Norma CEI 106-11 "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6) – Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo";
- Norma CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche";
- Norma CEI 211-6 "Guida per la misura e la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz – 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana";
- Norma CEI 11-17: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica – Linee in cavo;

### 3. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

L'impianto Eolico sarà costituito da n° 8 aerogeneratori, ciascuno di potenza massima da 6,0 MW, corrispondenti ad una potenza installata massima di 48,00 MW.

Per la sua realizzazione sono quindi da prevedersi le seguenti opere ed infrastrutture:

- opere civili: comprendenti l'esecuzione dei plinti di fondazione delle macchine eoliche, la realizzazione delle piazzole degli aerogeneratori, l'adeguamento/ampliamento della rete viaria esistente nel sito e la realizzazione della viabilità di servizio interna all'impianto;
- opere impiantistiche: comprendenti l'installazione degli aerogeneratori e l'esecuzione dei collegamenti elettrici in cavidotti interrati tra i singoli aerogeneratori, tra gli aerogeneratori, l'edificio di consegna e la sottostazione elettrica di trasformazione.

Tutte le opere in conglomerato cementizio armato e quelle a struttura metallica sono state progettate e saranno realizzate secondo quanto prescritto dalle Norme Tecniche vigenti relative alle leggi sopracitate, così pure gli impianti elettrici.

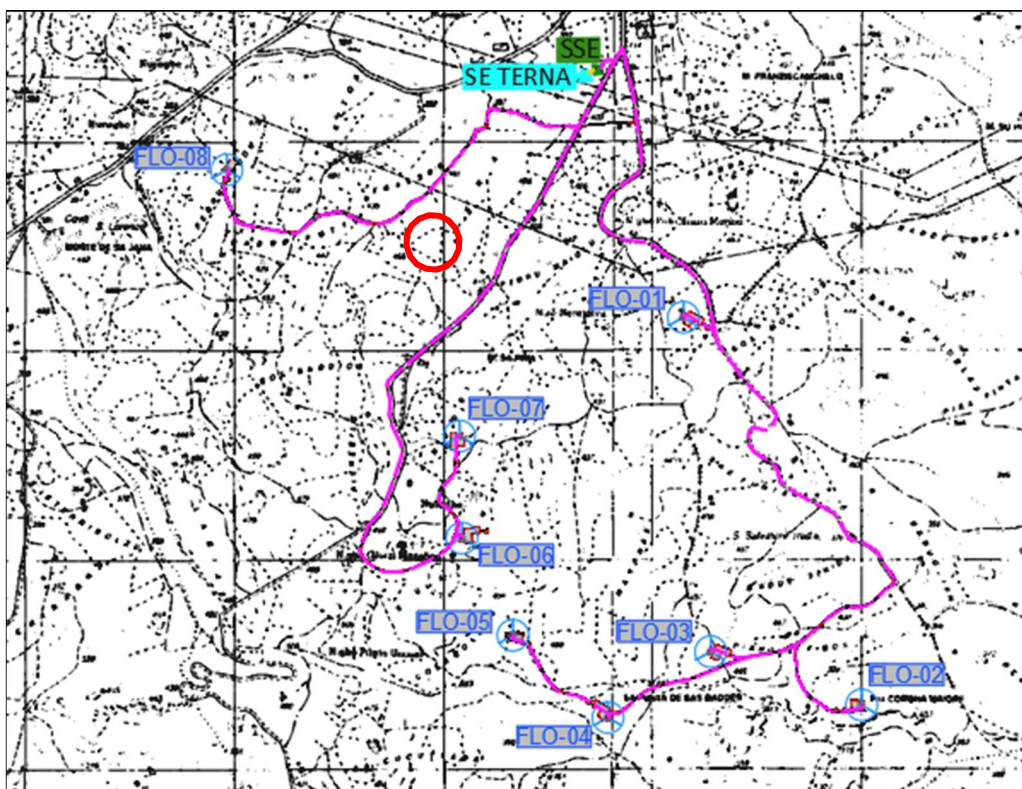


Figura 1 Inquadramento impianto su IGM 1:25.000





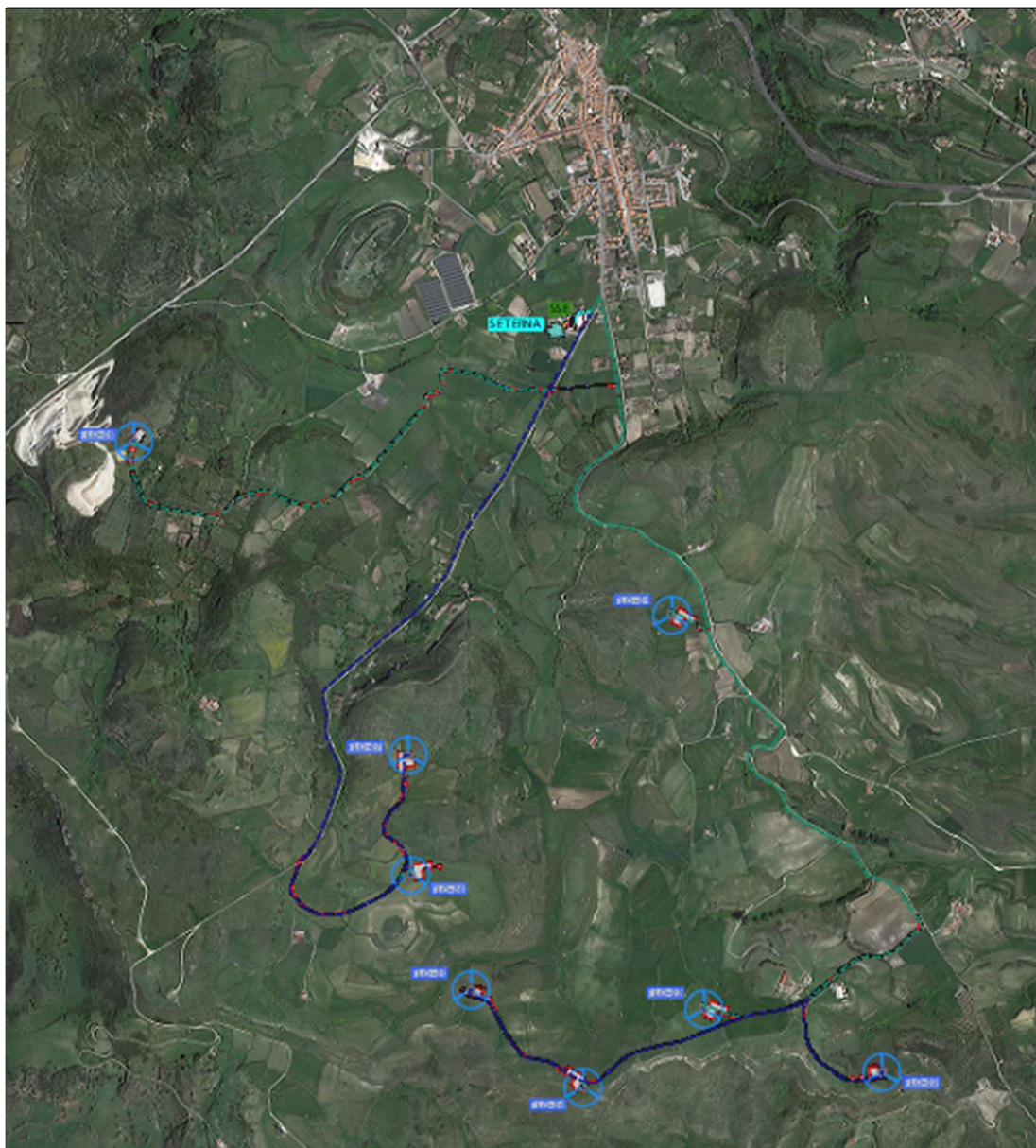


Figura 3 Inquadramento impianto su ortofoto

#### 4. FONTI DI EMISSIONE

Le apparecchiature elettromeccaniche previste nella realizzazione del parco eolico in oggetto generano normalmente, durante il loro funzionamento, campi elettromagnetici con radiazioni non ionizzanti.

In particolare, sono da considerarsi come sorgenti di campo elettromagnetico le seguenti componenti del parco eolico:

- i generatori eolici.
- la cabina di trasformazione secondaria (Sottostazione Elettrica Utente, SSEU 30/150 kV;
- tutte le linee elettriche a servizio dell'impianto;
- elettrodotto in MT di interconnessione fra gli aerogeneratori;
- elettrodotto MT di vettoriamento dell'energia prodotta dai sottocampi verso la SSEU;
- elettrodotto in AT di collegamento tra SSEU e SE.

Le rimanenti componenti dell'impianto (sezione BT, apparecchiature del sistema di controllo, etc.) sono state giudicate non significative dal punto di vista delle emissioni elettromagnetiche; pertanto, non verranno trattate ai fini della valutazione.

Di seguito verrà data una caratterizzazione delle sorgenti appena individuate.

## 5. VALORI LIMITE DI RIFERIMENTO

Nella redazione della relazione tecnica sui campi elettromagnetici e sul contenimento del rischio di elettrocuzione 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.**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 in tabella.

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)

### 5.2 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 5kV/m, inteso come valore efficace.

## 6. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DAGLI ELETTRODOTTI

Quella che viene presentata in questi paragrafi è una valutazione analitica del campo magnetico generato dagli elettrodotti, 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 occorre innanzitutto distinguere gli elettrodotti in funzione della tipologia dei cavi utilizzati.

Il progetto, infatti, prevede l'utilizzo di cavi del tipo in alluminio schermati in posa a trifoglio a elica visibile per sezioni fino a 300 mm<sup>2</sup>, mentre a semplice trifoglio per i cavi di sezione maggiore.

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

	Cavi con isolamento in EPR			
Tensione	30 kV	30 kV	30 kV	150 kV
Sezione (mm <sup>2</sup> )	120	300	630	630
Tipo posa	Cordato a elica visibile	Cordato a elica visibile	Trifoglio	Trifoglio
Profondità posa (m)	1,10	1,10	1,10	1,50

### 6.1 CAVI POSA ELICORDATA SEZIONE 185-300 MM<sup>2</sup>

Si fa presente che, date le caratteristiche costruttive, i cavi in progetto presentano una configurazione ad elica visibile per le sezioni fino a 300 mm<sup>2</sup>.

Come già anticipato, trattasi di cavi elicordati ad elica visibile. Come noto dalla normativa citata in materia, le particolarità costruttive di questi cavi, ossia la ridotta distanza tra le fasi e la loro continua trasposizione dovuta alla cordatura, fanno sì che il campo magnetico prodotto sia notevolmente inferiore a quello prodotto da cavi analoghi posati in piano o a trifoglio.

In aggiunta a questa prima considerazione, si fa notare come la metodologia di calcolo suggerite dall'APAT (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici), approvate dal D.M. 29/05/2008, con le quali verranno condotti i calcoli nel seguito, fanno esplicito riferimento al caso in questione come un caso per il quale non è richiesto alcun calcolo delle fasce di rispetto.

All'art. 3.2 dell'allegato al suddetto decreto viene infatti detto che:

*“sono escluse dall'applicazione della metodologia:*

.....

- *Le linee in MT in cavo cordato ad elica (interrate o aeree);  
In tutti questi casi le fasce associabili hanno ampiezza ridotta, inferiori alle distanze previste dal Decreto interministeriale n. 449/88 e dal decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 16 gennaio 1991”.*

Trattandosi nei casi in questione di un elettrodotto costituito da linee in MT in cavo cordato ad elica, come evidenziato in precedenza, si ritiene a maggior ragione non essere necessario alcuno studio circa i campi magnetici generati dai cavi di sezione 185 – 300 mm<sup>2</sup>.

**Il campo elettromagnetico generato dai cavi di sezione 185 –300 mm<sup>2</sup> risulta essere infatti di gran lunga inferiore ai valori limite richiesti e, pertanto, già dopo una prima analisi qualitativa, se ne può escludere la valutazione numerica, così come previsto dalla normativa e dalle leggi vigenti.**

## 6.2 CAVI POSA A TRIFOGLIO SEZIONE 630 MM2

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 possono individuare nel parco eolico in progetto le seguenti tipologie di elettrodotti:

- CASO A: Linea elettrica in cavo interrato costituita da 1 terne cavi MT posata a trifoglio;
- CASO B: Linea elettrica in cavo interrato costituita da 2 terne cavi MT;
- CASO C: Linea elettrica in cavo interrato costituita da 3 terne cavi MT di cui 12 posata a trifoglio da 630 mm<sup>2</sup> ed 1 cordato a elica visibile da 300 mm<sup>2</sup>;
- CASO D: Linea elettrica in cavo interrato costituita da 1 terne cavi AT posata a trifoglio;

Tali casistiche sono riferite alle sezioni costituite da cavi di sezione 630 mm<sup>2</sup>, della tipologia ARP1H5(AR)E o equivalente, ossia cavi unipolari, in quanto, come già detto al paragrafo precedente, per i cavi di sezioni inferiori è previsto l'utilizzo di cavi tripolari elicordati i cui campi elettromagnetici generati sono già definiti trascurabili dalla normativa.

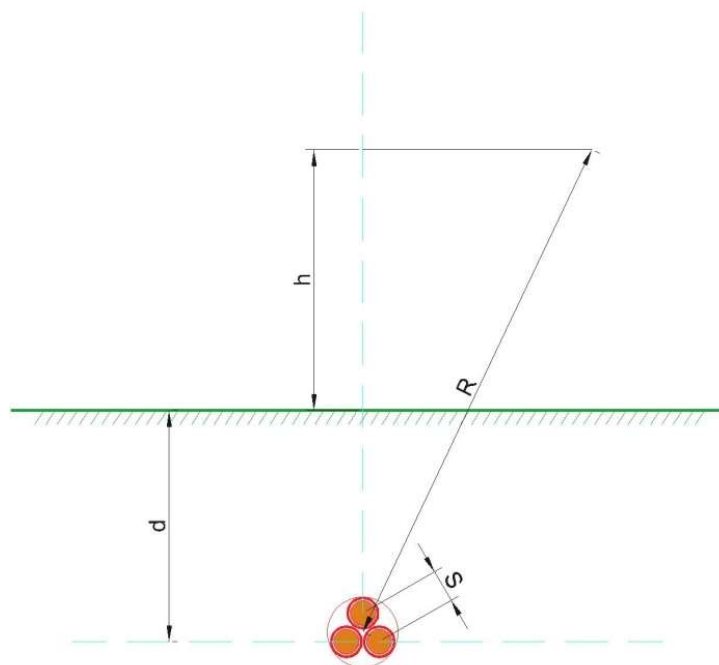
Occorre inoltre tenere in considerazione la tipologia dei cavi usati per la realizzazione degli elettrodotti; si tratta, infatti, di cavi sotterranei in posa a trifoglio, posati ad una profondità di 1,10 m. Si procederà adesso, per ognuno dei casi precedentemente introdotti, ad una valutazione specifica del campo magnetico.

### 6.2.1 Caso A – 1 terna di cavi

Per quanto concerne il caso di una singola terna di cavi sotterranei di media tensione posati a trifogli, la norma CEI 106-11 al cap.7.1 indica che con una profondità di posa pari a 0,80 m già al livello del suolo sulla verticale del cavo e nelle condizioni limite di portata si determina una induzione magnetica inferiore a  $3 \mu\text{T}$ . A maggior ragione, considerata una reale profondità di posa pari a 1,10 m, risulta al livello del suolo un valore ancora inferiore.

A scopo cautelativo, si è comunque effettuato il calcolo analitico dei campi magnetici generati da questa configurazione.

Si terrà conto nel seguito per il modello del sistema di cavi unipolari posati a trifoglio e non elicordati, come di seguito riportato.



Come infatti suggerito dalla norma CEI 106-11 al cap. 6.2.3, per i cavi unipolari posati a trifoglio è possibile ricorrere ad una espressione approssimata del campo magnetico, come di seguito riportato.

$$B = 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S * I}{R^2}$$

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

I [A].

Le condizioni operative per le quali sono stati eseguiti i calcoli sono le seguenti:

<b>Profondità di posa dei cavi</b>	-1,10 m
<b>distanza terna dall'asse y</b>	0 m
<b>Sezione terna</b>	3x1x630 mm <sup>2</sup>
<b>Portata cavo nominale</b>	725 A
<b>Portata cavo corretta</b>	675 A

Ai fini del calcolo relativo a una terna di cavi, è stato preso in esame il caso di una terna di cavi della sezione di 630 mm<sup>2</sup>.

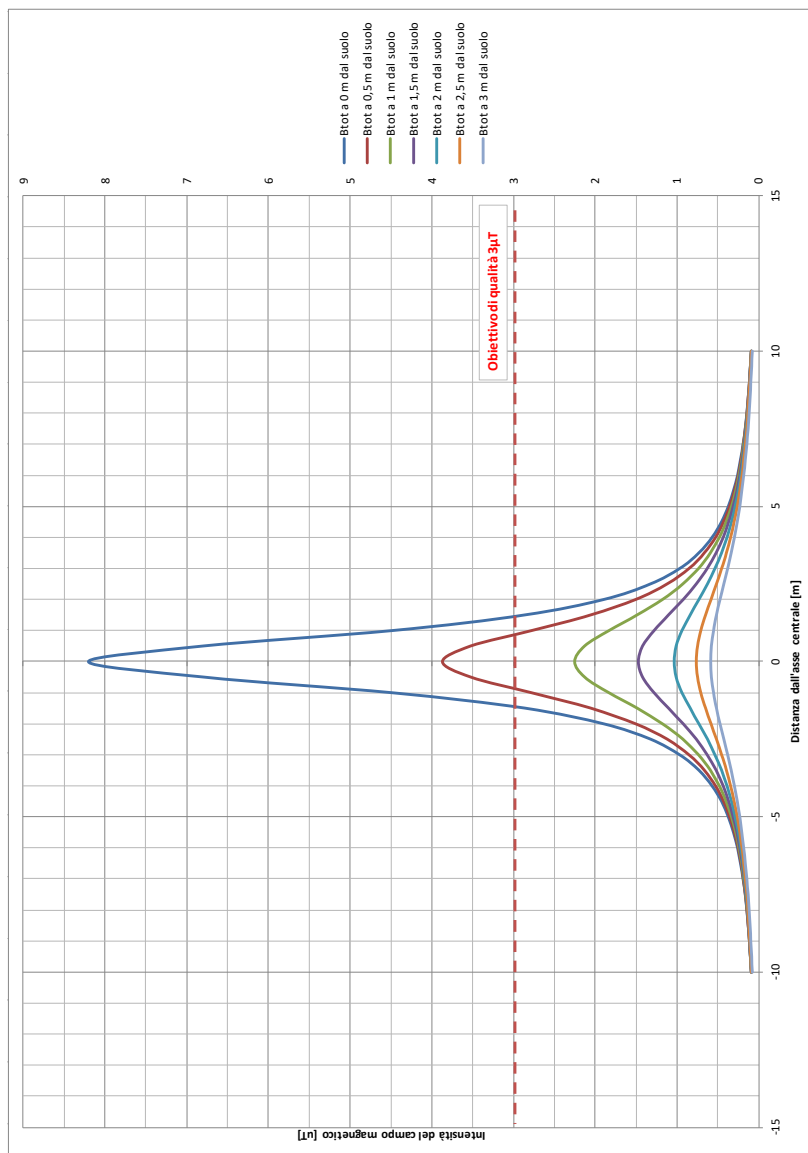
Per la portata dei cavi, si è tenuto conto della portata corretta secondo i fattori di correzione di cui al paragrafo 4.1.1, che tiene conto delle condizioni di esercizio e della compresenza di più cavi nello stesso scavo.

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

Distanza dall'asse centrale [m]	B <sub>tot</sub> a 1 m dal suolo [ $\mu$ T]	B <sub>tot</sub> a 1,5 m dal suolo [ $\mu$ T]	B <sub>tot</sub> a 2 m dal suolo [ $\mu$ T]	B <sub>tot</sub> a 2,5 m dal suolo [ $\mu$ T]	B <sub>tot</sub> a 3 m dal suolo [ $\mu$ T]
-10,00	0,10	0,09	0,09	0,09	0,08
-9,50	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09
-9,00	0,12	0,11	0,11	0,11	0,10
-8,50	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11
-8,00	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12
-7,50	0,16	0,16	0,15	0,14	0,14
-7,00	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15
-6,50	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17
-6,00	0,25	0,23	0,22	0,20	0,19
-5,50	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21
-5,00	0,34	0,31	0,29	0,26	0,24
-4,50	0,40	0,37	0,33	0,30	0,27
-4,00	0,49	0,44	0,39	0,34	0,30
-3,50	0,60	0,52	0,45	0,39	0,34
-3,00	0,74	0,63	0,53	0,45	0,38
-2,50	0,93	0,76	0,63	0,52	0,43
-2,00	1,18	0,92	0,73	0,58	0,48
-1,50	1,49	1,10	0,84	0,65	0,52
-1,00	1,83	1,28	0,94	0,71	0,56
-0,50	2,13	1,42	1,01	0,75	0,58
0,00	2,25	1,47	1,03	0,77	0,59
0,50	2,13	1,42	1,01	0,75	0,58
1,00	1,83	1,28	0,94	0,71	0,56
1,50	1,49	1,10	0,84	0,65	0,52
2,00	1,18	0,92	0,73	0,58	0,48
2,50	0,93	0,76	0,63	0,52	0,43
3,00	0,74	0,63	0,53	0,45	0,38
3,50	0,60	0,52	0,45	0,39	0,34
4,00	0,49	0,44	0,39	0,34	0,30
4,50	0,40	0,37	0,33	0,30	0,27
5,00	0,34	0,31	0,29	0,26	0,24
5,50	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21
6,00	0,25	0,23	0,22	0,20	0,19
6,50	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17
7,00	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15
7,50	0,16	0,16	0,15	0,14	0,14
8,00	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12
8,50	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11
9,00	0,12	0,11	0,11	0,11	0,10
9,50	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09
10,00	0,10	0,09	0,09	0,09	0,08

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.



Ricordando che il vincolo 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 all'asse centrale, pari a 2,25  $\mu\text{T}$ , inferiore al limite fissato.

**Per il caso A in esame, risulta pertanto abbondantemente rispettato il valore limite di esposizione pari a 100  $\mu\text{T}$  lungo tutto il percorso dei cavi, così pure l'obiettivo di qualità pari a 3  $\mu\text{T}$ .**

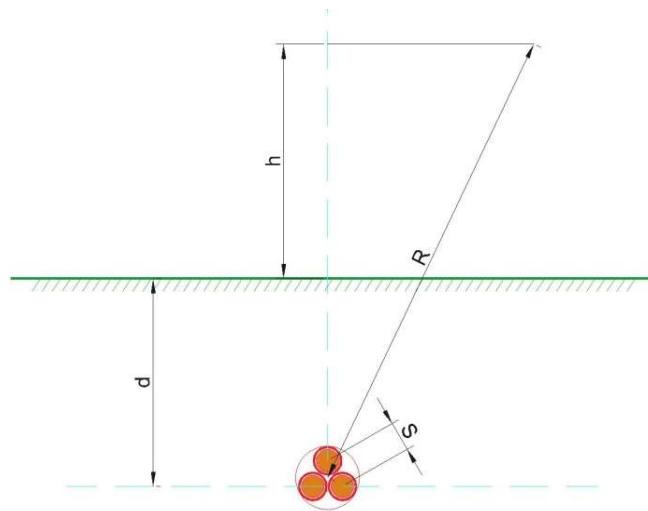
### 6.2.2 Caso B – 2 terne di cavi

Per tener conto della presenza di due o più terne nella stessa sezione di scavo si è fatto ricorso ad un modello matematico che tenesse conto del campo magnetico generato da ogni singola terna.

Il modello costituito, secondo quanto previsto e suggerito dalla norma CEI 211-4 cap. 4.3, tiene conto delle componenti spaziali dell'induzione magnetica, calcolate come somma del contributo delle correnti nei diversi conduttori.

$$B_x = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[ \frac{y_i - y}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right] \quad B_y = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[ \frac{x_i - x}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right]$$

È possibile a questo punto effettuare una semplificazione del modello, che consideri il contributo non del singolo conduttore ma dell'intera terna, della quale sono note le caratteristiche geometriche. Si terrà conto nel seguito per il modello del sistema di cavi unipolari posati a trifoglio e non elicordati: in questo modo viene introdotto un grado di protezione maggiore nel sistema, essendo il campo magnetico generato da un cavo elicordato meno intenso di quello di una terna posata a trifoglio.



Come infatti suggerito dalla norma CEI 106-11 al cap. 6.2.3, per i cavi unipolari posati a trifoglio è possibile ricorrere ad una espressione approssimata del campo magnetico, come di seguito riportato.

$$B = 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S * I}{R^2}$$

dove B [ $\mu\text{T}$ ] 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].

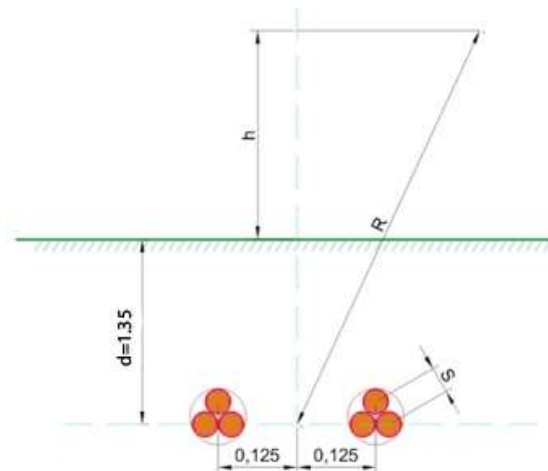
Considerata la natura vettoriale del campo magnetico, è possibile sommare i contributi dovuti alle



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 due 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:

$$B = 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S_1 * I_1}{(x - x_1)^2 + (y - d)^2} + 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S_2 * I_2}{(x - x_2)^2 + (y - d)^2}$$



dove B [ $\mu$ T] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal centro del sistema (baricentro delle due terne di cavi), Si [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti della terna i-esima, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a Ii [A] (specificata della terna i-esima). Per quanto riguarda la corrente I, 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.

Le condizioni operative per le quali sono stati eseguiti i calcoli sono le seguenti:

<b>Profondità di posa dei cavi</b>	-1,10 m
<b>distanza terna 1 dall'asse y</b>	-0,125 m
<b>distanza terna 2 dall'asse y</b>	0,125 m
<b>Sezione terne</b>	3x1x630 mm <sup>2</sup>
<b>Portata cavo nominale</b>	725 A
<b>Portata cavo corretta</b>	607 A

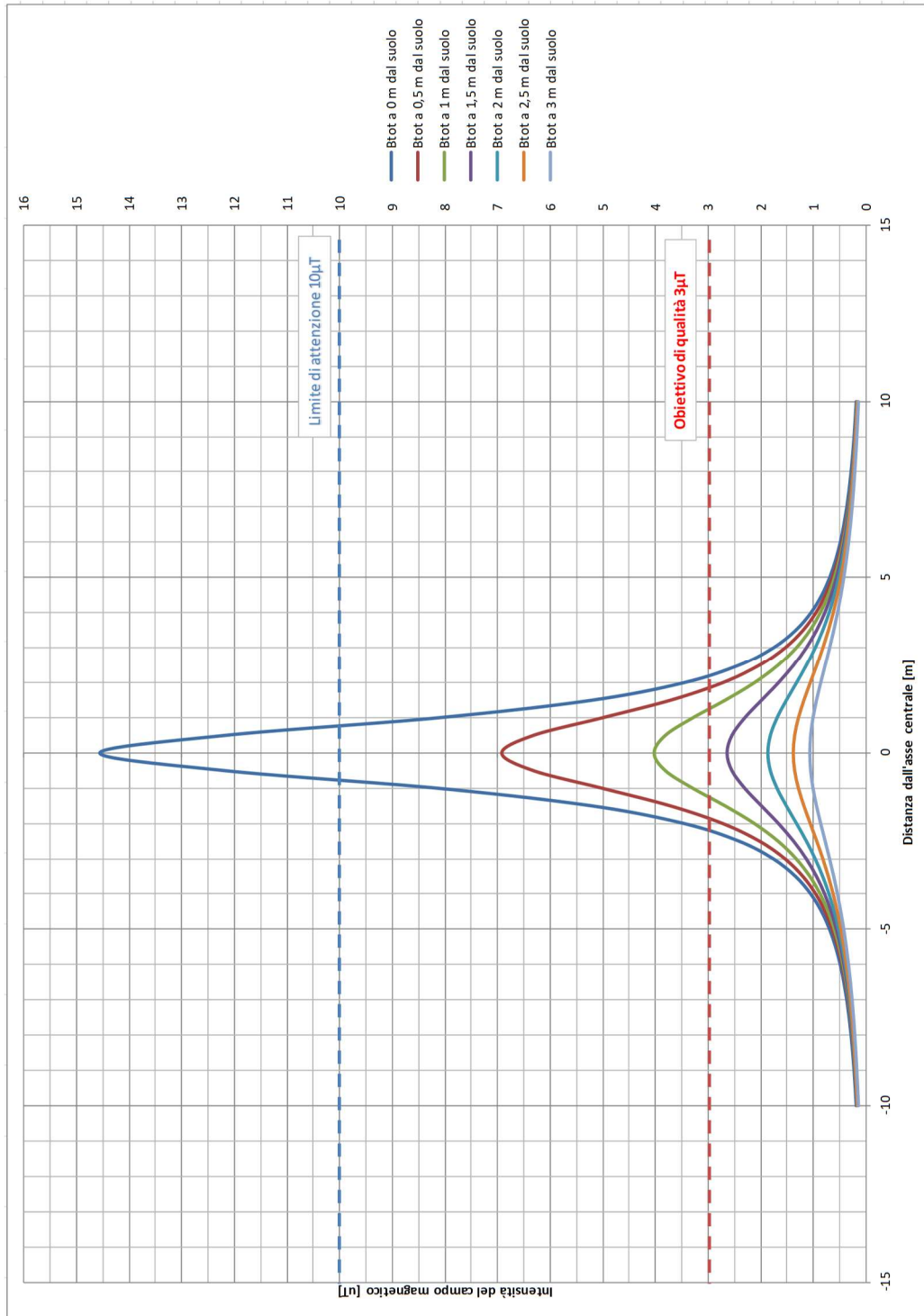
Ai fini del calcolo relativo a due terne di cavi, è stato preso in esame il caso con la compresenza nello stesso scavo di due terne di cavi della sezione di 630 mm<sup>2</sup>.

Per la portata dei cavi, si è tenuto conto della portata corretta secondo i fattori di correzione di cui al paragrafo 4.1.1, che tiene conto delle condizioni di esercizio e della compresenza di più cavi nello stesso scavo.

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

Distanza dall'asse centrale [m]	B <sub>tot</sub> a 1 m dal suolo [ $\mu$ T]	B <sub>tot</sub> a 1,5 m dal suolo [ $\mu$ T]	B <sub>tot</sub> a 2 m dal suolo [ $\mu$ T]	B <sub>tot</sub> a 2,5 m dal suolo [ $\mu$ T]	B <sub>tot</sub> a 3 m dal suolo [ $\mu$ T]
-10,00	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15
-9,50	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17
-9,00	0,21	0,20	0,20	0,19	0,18
-8,50	0,23	0,23	0,22	0,21	0,20
-8,00	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22
-7,50	0,29	0,28	0,27	0,26	0,24
-7,00	0,33	0,32	0,30	0,29	0,27
-6,50	0,38	0,36	0,34	0,32	0,30
-6,00	0,44	0,42	0,39	0,36	0,34
-5,50	0,52	0,48	0,45	0,41	0,38
-5,00	0,61	0,56	0,52	0,47	0,43
-4,50	0,72	0,66	0,60	0,54	0,48
-4,00	0,88	0,78	0,70	0,62	0,54
-3,50	1,07	0,94	0,82	0,71	0,61
-3,00	1,33	1,13	0,96	0,81	0,69
-2,50	1,68	1,37	1,13	0,93	0,77
-2,00	2,13	1,66	1,31	1,05	0,86
-1,50	2,68	1,98	1,50	1,17	0,94
-1,00	3,30	2,30	1,68	1,28	1,00
-0,50	3,82	2,54	1,81	1,35	1,04
0,00	4,03	2,63	1,85	1,38	1,06
0,50	3,82	2,54	1,81	1,35	1,04
1,00	3,30	2,30	1,68	1,28	1,00
1,50	2,68	1,98	1,50	1,17	0,94
2,00	2,13	1,66	1,31	1,05	0,86
2,50	1,68	1,37	1,13	0,93	0,77
3,00	1,33	1,13	0,96	0,81	0,69
3,50	1,07	0,94	0,82	0,71	0,61
4,00	0,88	0,78	0,70	0,62	0,54
4,50	0,72	0,66	0,60	0,54	0,48
5,00	0,61	0,56	0,52	0,47	0,43
5,50	0,52	0,48	0,45	0,41	0,38
6,00	0,44	0,42	0,39	0,36	0,34
6,50	0,38	0,36	0,34	0,32	0,30
7,00	0,33	0,32	0,30	0,29	0,27
7,50	0,29	0,28	0,27	0,26	0,24
8,00	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22
8,50	0,23	0,23	0,22	0,21	0,20
9,00	0,21	0,20	0,20	0,19	0,18
9,50	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17
10,00	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15

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.



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 all'asse centrale ad 1m dal piano di calpestio, pari a  $4,03\mu\text{T}$ , superiore all'obiettivo di qualità fissato dalla norma, ma comunque inferiore al limite di esposizione di  $100\mu\text{T}$ .

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 circa 1,30 m, alla quale il campo residuo risulta essere pari a  $2,93\ \mu\text{T}$ .

**Pertanto, relativamente all'elettrodotta costituito da 2 terne (caso B), viene individuata una fascia di rispetto complessiva di 2,6 m, centrata sull'asse del cavidotto (DPA pari a 1,30 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, con fattori di sovradimensionamento del 30-40%. Pertanto, i campi realmente generati saranno inferiori a quelli calcolati di un fattore pari al 30-40 %.

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 degli aerogeneratori, ipotizzando il funzionamento a piena potenza.

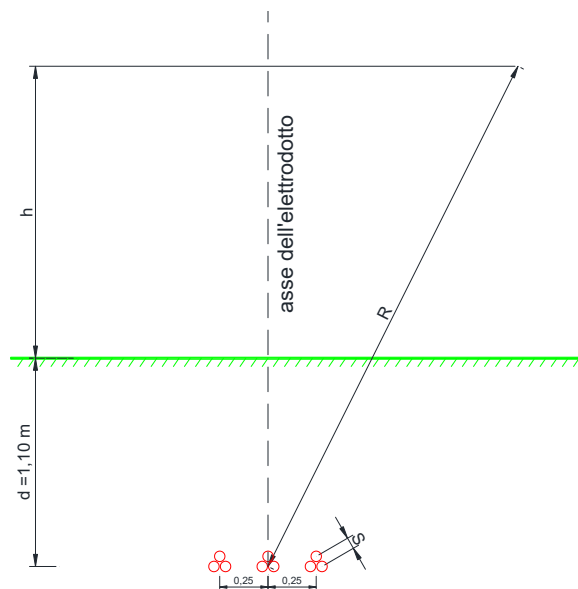
Data la natura non programmabile della fonte eolica, e la sua aleatorietà nel tempo, i valori reali saranno certamente inferiori a quelli utilizzati nei calcoli, con una significativa diminuzione del valore dei campi elettromagnetici generati, ben al di sotto dei valori normativi precedentemente illustrati.

### 6.2.3 Caso C – 3 terne di cavi

Analogamente a quanto visto nel paragrafo precedente, viene condotto lo studio nel caso di un elettrodotto costituito da tre terne di cavi.

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:

$$B = 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S_1 * I_1}{(x - x_1)^2 + (y - d)^2} + 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S_2 * I_2}{(x - x_2)^2 + (y - d)^2} + 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S_3 * I_3}{(x - x_3)^2 + (y - d)^2}$$



dove  $B$  [ $\mu\text{T}$ ] è l'induzione magnetica in un generico punto distante  $R$  [m] dal centro del sistema (baricentro delle terne di cavi),  $S_i$  [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti della terna  $i$ -esima, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a  $I_i$  [A] (specifica della terna  $i$ -esima). Sono stati quindi calcolate, fissando vari valori di  $h$ , le distribuzioni dell'intensità del campo magnetico su piani fuori terra paralleli al suolo.

Le condizioni operative per le quali sono stati eseguiti i calcoli sono le seguenti:

<b>Profondità di posa dei cavi</b>	-1,10 m
<b>distanza terna 1 dall'asse y</b>	-0,250 m
<b>distanza terna 2 dall'asse y</b>	0 m
<b>distanza terna 3 dall'asse y</b>	+ 0,250 m
<b>Sezione terne</b>	3x1x630 mm <sup>2</sup>
<b>Portata cavo nominale</b>	725 A
<b>Portata cavo corretta</b>	574 A

Ai fini del calcolo relativo a due terne di cavi, a scopo cautelativo è stato preso in esame il caso della compresenza nello stesso scavo di tre terne di cavi della sezione di 630 mm<sup>2</sup>.

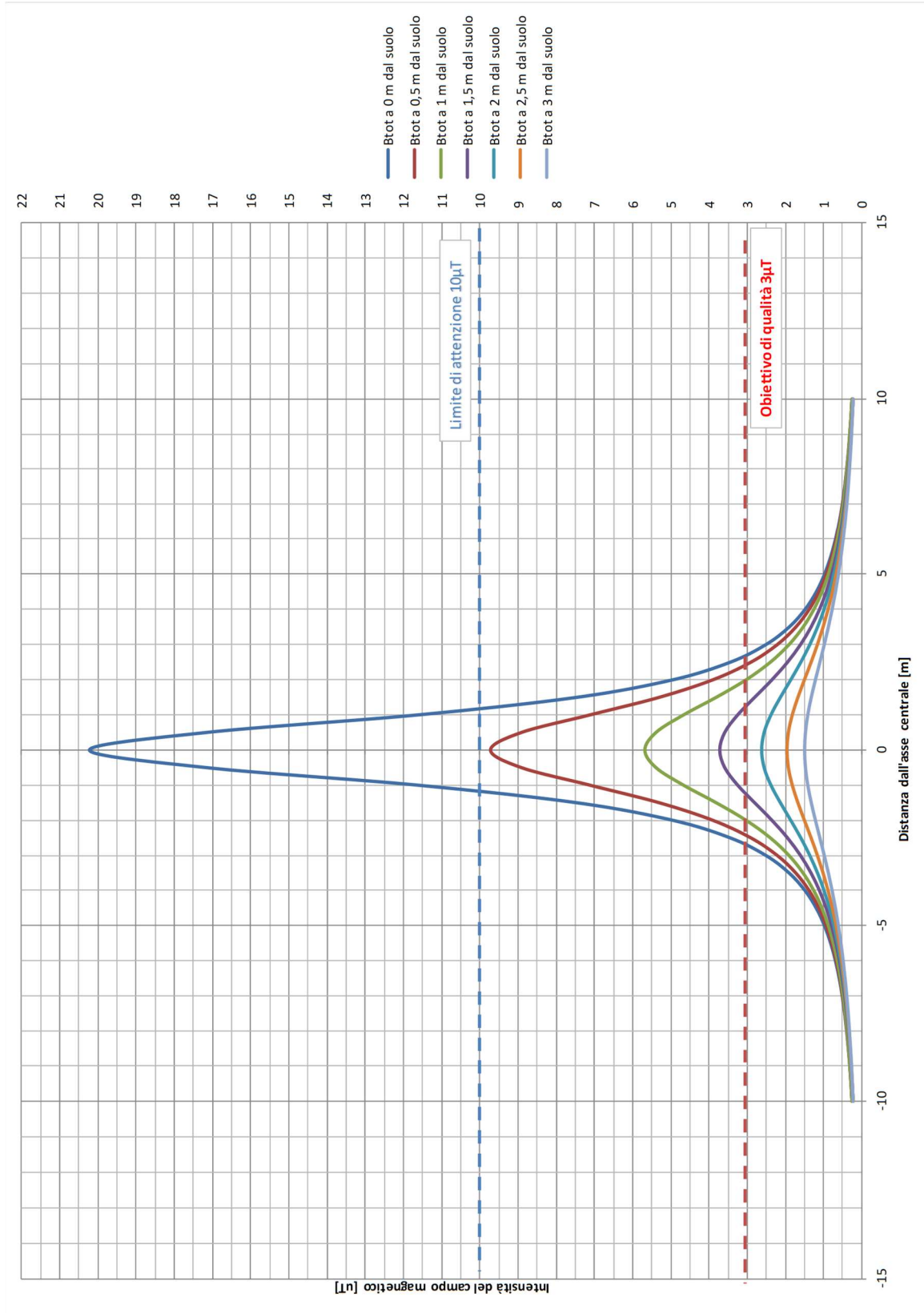
Per la portata dei cavi, si è tenuto conto della portata corretta secondo i fattori di correzione di cui al paragrafo 4.1.1, che tiene conto delle condizioni di esercizio e della compresenza di più cavi nello stesso scavo.

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

Distanza dall'asse centrale [m]	B <sub>tot</sub> a 1 m dal suolo [ $\mu$ T]	B <sub>tot</sub> a 1,5 m dal suolo [ $\mu$ T]	B <sub>tot</sub> a 2 m dal suolo [ $\mu$ T]	B <sub>tot</sub> a 2,5 m dal suolo [ $\mu$ T]	B <sub>tot</sub> a 3 m dal suolo [ $\mu$ T]
-10	0,24	0,24	0,23	0,22	0,22
-9,5	0,27	0,26	0,25	0,25	0,24
-9	0,30	0,29	0,28	0,27	0,26
-8,5	0,33	0,32	0,31	0,30	0,28
-8	0,37	0,36	0,34	0,33	0,31
-7,5	0,42	0,40	0,38	0,37	0,35
-7	0,47	0,45	0,43	0,41	0,39
-6,5	0,54	0,52	0,49	0,46	0,43
-6,00	0,63	0,59	0,56	0,52	0,48
-5,50	0,73	0,69	0,64	0,59	0,54
-5,00	0,86	0,80	0,73	0,67	0,61
-4,50	1,03	0,94	0,85	0,76	0,68
-4,00	1,25	1,12	0,99	0,88	0,77
-3,50	1,53	1,34	1,16	1,01	0,87
-3,00	1,90	1,61	1,36	1,15	0,98
-2,50	2,39	1,95	1,60	1,32	1,10
-2,00	3,02	2,36	1,86	1,49	1,22
-1,50	3,81	2,81	2,13	1,66	1,33
-1,00	4,67	3,25	2,38	1,81	1,42
-0,50	5,39	3,59	2,56	1,91	1,48
0,00	5,69	3,72	2,62	1,95	1,50
0,50	5,39	3,59	2,56	1,91	1,48
1,00	4,67	3,25	2,38	1,81	1,42
1,50	3,81	2,81	2,13	1,66	1,33
2,00	3,02	2,36	1,86	1,49	1,22
2,50	2,39	1,95	1,60	1,32	1,10
3,00	1,90	1,61	1,36	1,15	0,98
3,50	1,53	1,34	1,16	1,01	0,87
4,00	1,25	1,12	0,99	0,88	0,77
4,50	1,03	0,94	0,85	0,76	0,68
5,00	0,86	0,80	0,73	0,67	0,61
5,50	0,73	0,69	0,64	0,59	0,54
6,00	0,63	0,59	0,56	0,52	0,48
6,50	0,54	0,52	0,49	0,46	0,43
7,00	0,47	0,45	0,43	0,41	0,39
7,50	0,42	0,40	0,38	0,37	0,35
8,00	0,37	0,36	0,34	0,33	0,31
8,50	0,33	0,32	0,31	0,30	0,28
9,00	0,30	0,29	0,28	0,27	0,26
9,50	0,27	0,26	0,25	0,25	0,24
10,00	0,24	0,24	0,23	0,22	0,22

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.





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 all'asse centrale ad 1m dal piano di calpestio, pari a  $5,68 \mu\text{T}$ , superiore all'obiettivo di qualità fissato dalla norma, ma comunque inferiore al limite di esposizione di  $100 \mu\text{T}$ .

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 circa 2,1 m, alla quale il campo residuo risulta essere pari a  $2,88 \mu\text{T}$ .

**Pertanto, relativamente all'elettrodotto costituito da 3 terne (caso C), viene individuata una fascia di rispetto complessiva di 4,2 m, centrata sull'asse del cavidotto (DPA pari a 2,1 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 transittanti nei conduttori (e di conseguenza i relativi campi elettromagnetici generati) saranno inferiori alle portate nominali, con fattori di sovradimensionamento del 30-40%. Pertanto, i campi realmente generati saranno inferiori a quelli calcolati di un fattore pari al 30-40 %.

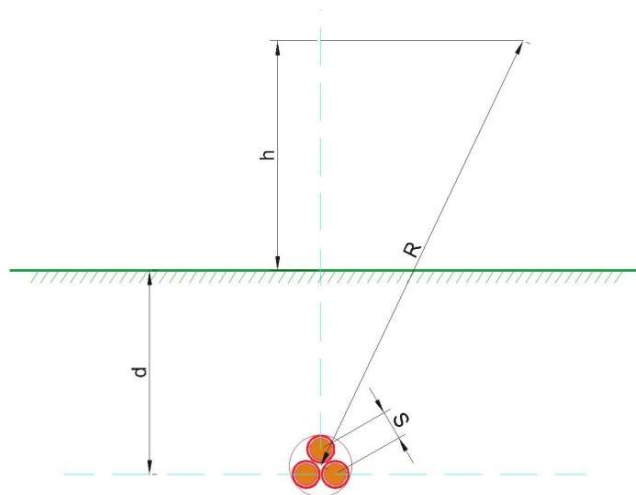
Infine, sia l'obiettivo di qualità di  $3 \mu\text{T}$  che il limite di attenzione di  $10 \mu\text{T}$  fanno riferimento al valore della mediana nelle 24 ore di esercizio. Tutti i dimensionamenti, invece, sono stati eseguiti tenendo conto delle potenze nominali degli aerogeneratori, ipotizzando il funzionamento a piena potenza.

Data la natura non programmabile della fonte eolica, e la sua aleatorietà nel tempo, 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.

### 6.2.4 Caso D – 1 terna di cavi AT – posa 1,50 m

Per quanto concerne il caso di una singola terna di cavi sotterranei di alta tensione posati a trifoglio, la norma CEI 106-11 al cap.6.2.3 indica le modalità di calcolo.

Si terrà conto nel seguito per il modello del sistema di cavi unipolari posati a trifoglio e non elicordati, come di seguito riportato.



Come infatti suggerito dalla norma CEI 106-11 al cap. 6.2.3, per i cavi unipolari posati a trifoglio è possibile ricorrere ad una espressione approssimata del campo magnetico, come di seguito riportato.

$$B = 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S * I}{R^2}$$

dove 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 (10cm), percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a I [A].

Le condizioni operative per le quali sono stati eseguiti i calcoli sono le seguenti:

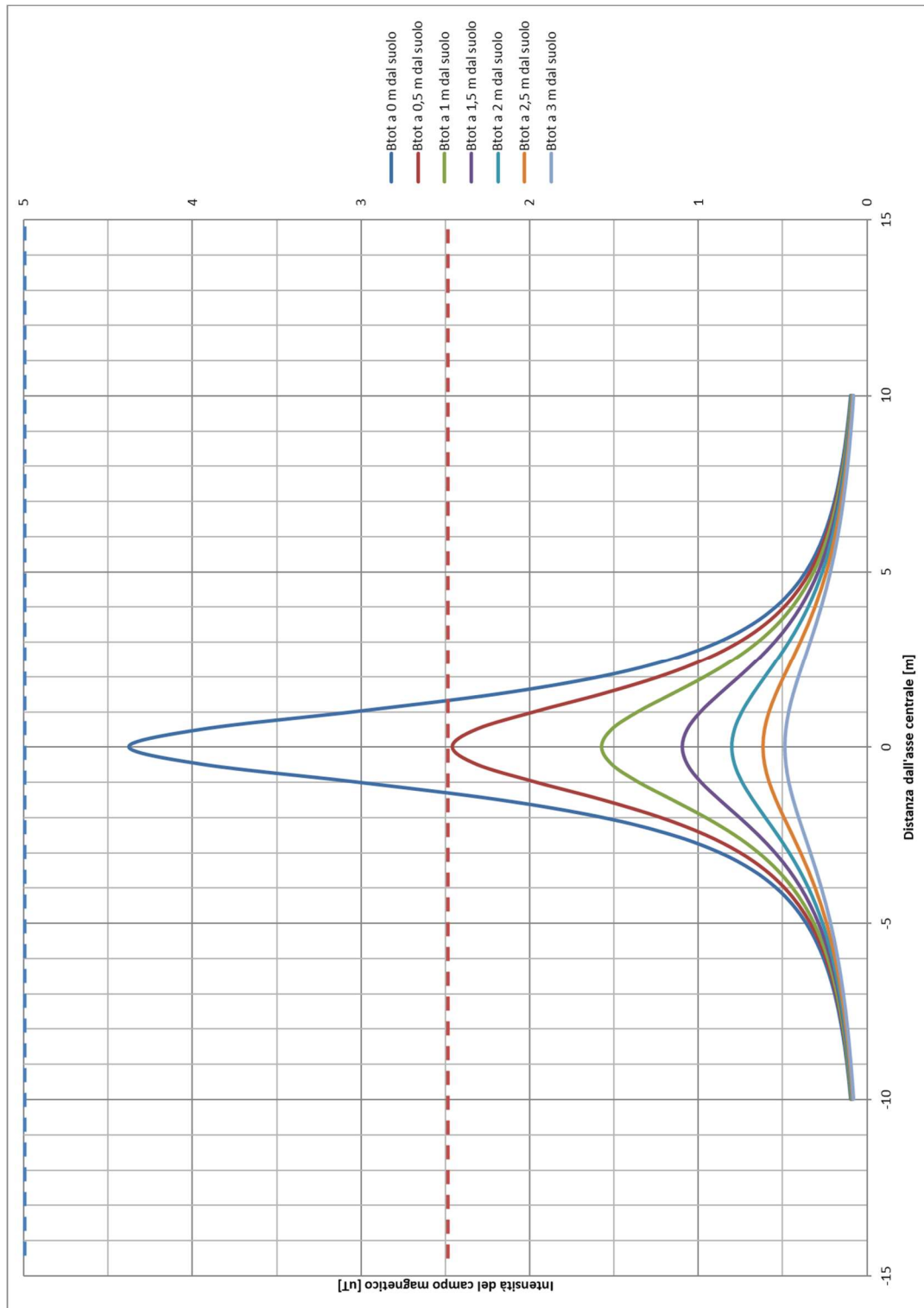
<b>Profondità di posa dei cavi</b>	-1,50 m
<b>distanza terna dall'asse y</b>	0 m
<b>Sezione terna</b>	3x1x630 mm <sup>2</sup>
<b>Portata cavo nominale</b>	670A
<b>Portata cavo corretta</b>	605 A

Ai fini del calcolo relativo a una terna di cavi, è stato preso in esame il caso di una terna di cavi della sezione di 630 mm<sup>2</sup>, corrispondente alla tratta di collegamento fra la SSE utente e la SE Terna. Per la portata dei cavi, si è tenuto conto della portata corretta secondo i fattori di correzione di cui al paragrafo 4.1.1, che tiene conto delle condizioni di esercizio e della eventuale compresenza di più cavi nello stesso scavo.

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

Distanza dall'asse centrale [m]	B <sub>tot</sub> a 1 m dal suolo [ $\mu$ T]	B <sub>tot</sub> a 1,5 m dal suolo [ $\mu$ T]	B <sub>tot</sub> a 2 m dal suolo [ $\mu$ T]	B <sub>tot</sub> a 2,5 m dal suolo [ $\mu$ T]	B <sub>tot</sub> a 3 m dal suolo [ $\mu$ T]
-10,00	0,0926772	0,090339	0,0877234	0,0848875	0,0818873
-9,50	0,1020409	0,0992136	0,0960678	0,0926772	0,0891127
-9,00	0,112859	0,1094105	0,1055973	0,1015149	0,0972538
-8,50	0,1254388	0,1211932	0,1165319	0,1115802	0,1064535
-8,00	0,1401701	0,1348897	0,1291403	0,1230869	0,1168777
-7,50	0,1575512	0,1509111	0,1437511	0,1362899	0,1287183
-7,00	0,1782253	0,169775	0,1607665	0,1514915	0,1421942
-6,50	0,2030299	0,1921356	0,180678	0,1690463	0,1575512
-6,00	0,2330639	0,2188211	0,2040818	0,1893644	0,1750569
-5,50	0,2697794	0,2508777	0,2316929	0,212907	0,1949891
-5,00	0,3151024	0,2896161	0,2643476	0,2401695	0,2176121
-4,50	0,371583	0,3366478	0,302983	0,27164	0,2431345
-4,00	0,4425595	0,393878	0,3485646	0,3077171	0,27164
-3,50	0,5322675	0,4633858	0,4019163	0,3485646	0,302983
-3,00	0,6457016	0,5470527	0,4633858	0,393878	0,3366478
-2,50	0,7877559	0,6457016	0,5322675	0,4425595	0,371583
-2,00	0,9606779	0,7574576	0,6059661	0,4923474	0,4060597
-1,50	1,1584646	0,8752843	0,6790999	0,5395588	0,4376422
-1,00	1,3581998	0,9846949	0,7431659	0,5792323	0,4633858
-0,50	1,5149152	1,064535	0,7877559	0,6059661	0,480339
0,00	1,5755118	1,0941054	0,8038326	0,6154343	0,4862691
0,50	1,5149152	1,064535	0,7877559	0,6059661	0,480339
1,00	1,3581998	0,9846949	0,7431659	0,5792323	0,4633858
1,50	1,1584646	0,8752843	0,6790999	0,5395588	0,4376422
2,00	0,9606779	0,7574576	0,6059661	0,4923474	0,4060597
2,50	0,7877559	0,6457016	0,5322675	0,4425595	0,371583
3,00	0,6457016	0,5470527	0,4633858	0,393878	0,3366478
3,50	0,5322675	0,4633858	0,4019163	0,3485646	0,302983
4,00	0,4425595	0,393878	0,3485646	0,3077171	0,27164
4,50	0,371583	0,3366478	0,302983	0,27164	0,2431345
5,00	0,3151024	0,2896161	0,2643476	0,2401695	0,2176121
5,50	0,2697794	0,2508777	0,2316929	0,212907	0,1949891
6,00	0,2330639	0,2188211	0,2040818	0,1893644	0,1750569
6,50	0,2030299	0,1921356	0,180678	0,1690463	0,1575512
7,00	0,1782253	0,169775	0,1607665	0,1514915	0,1421942
7,50	0,1575512	0,1509111	0,1437511	0,1362899	0,1287183
8,00	0,1401701	0,1348897	0,1291403	0,1230869	0,1168777
8,50	0,1254388	0,1211932	0,1165319	0,1115802	0,1064535
9,00	0,112859	0,1094105	0,1055973	0,1015149	0,0972538
9,50	0,1020409	0,0992136	0,0960678	0,0926772	0,0891127
10,00	0,0926772	0,090339	0,0877234	0,0848875	0,0818873

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.



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 all'asse centrale ad 1m dal piano di calpestio, pari a  $1,35 \mu\text{T}$ , inferiore all'obiettivo di qualità.

**Per il caso D in esame, risulta pertanto abbondantemente rispettato il valore limite di esposizione pari a  $100 \mu\text{T}$  lungo tutto il percorso dei cavi, così pure l'obiettivo di qualità pari a  $3 \mu\text{T}$ , e non risulta necessario apporre alcuna fascia di rispetto.**

### 6.3 RIEPILOGO DPA ELETRODOTTI

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 possono individuare nel parco eolico in progetto le seguenti tipologie di elettrodotti:

- CASO A: Linea elettrica in cavo interrato costituita da 1 terne cavi MT posata a trifoglio;
- CASO B: Linea elettrica in cavo interrato costituita da 2 terne cavi MT;
- CASO C: Linea elettrica in cavo interrato costituita da 3 terne cavi MT di cui 12 posata a trifoglio da 630 mm<sup>2</sup> ed 1 cordato a elica visibile da 300 mm<sup>2</sup>;
- CASO D: Linea elettrica in cavo interrato costituita da 1 terne cavi AT posata a trifoglio;

ARP1H5(AR)E o equivalente, ossia cavi unipolari, in quanto, come già detto al paragrafo precedente, per i cavi di sezioni inferiori è previsto l'utilizzo di cavi tripolari elicordati i cui campi elettromagnetici generati sono già definiti trascurabili dalla normativa.

Occorre inoltre tenere in considerazione la tipologia dei cavi usati per la realizzazione degli elettrodotti; si tratta, infatti, di cavi sotterranei in posa a trifoglio, posati ad una profondità di 1,10 m. Si procederà adesso, per ognuno dei casi precedentemente introdotti, ad una valutazione specifica del campo magnetico.

La tabella che segue mostra un riepilogo delle DPA dagli elettrodotti interrati di media tensione, calcolate come meglio specificato nei paragrafi precedenti.

Tipologia cavi	Tensione	Sezione cavi	N. terne in parallelo	DPA
cavo interrato posa elicordata	30 kV - MT	120mm <sup>2</sup> - 300 mm <sup>2</sup>	Qualunque	0 m
cavo interrato posa a trifoglio	30 kV - MT	630 mm <sup>2</sup>	1 (caso A)	0 m
	30 kV - MT	2 terne da 630 mm <sup>2</sup>	2 (caso B)	1,3 m
	30 kV - MT	(2 terne da 630 mm <sup>2</sup> 1 terna da 300 mm <sup>2</sup> )	3 (caso C)	2,1 m
	150 kV	630 mm <sup>2</sup>	1 (caso D)	0 m

## 7 ELETTROMAGNETICO GENERATO DAGLI AEROGENERATORI

Le principali componenti dell'aerogeneratore che risultano essere fonte di campi elettromagnetici sono il generatore elettrico ed il trasformatore BT/MT.

Entrambe le sorgenti operano con correnti e tensioni di esercizio tali che i campi elettromagnetici prodotti risultano estinti nell'arco di pochi metri dalle sorgenti. Considerata inoltre la quota di installazione, superiore a 125 m, ne consegue che al livello del suolo si possa considerare nullo l'effetto di tali sorgenti.

Inoltre, la struttura metallica dell'aerogeneratore, entro il quale tali apparecchiature sono collocate, funge da ulteriore schermatura per i campi elettrici, attenuandone ulteriormente l'intensità.

A maggior tutela, si ricorda che gli aerogeneratori sono posti, rispetto alle abitazioni e agli edifici civili in cui vi sia una permanenza prolungata, ad una distanza tale da poter considerare l'entità dei campi elettromagnetici generati assolutamente insignificante.



## 8 CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DALLA SSEU

La SSEU MT/AT 30/150 kV è una potenziale sorgente di campi elettromagnetici.

Con riferimento alla valutazione dei campi elettromagnetici, sono state individuate le seguenti possibili sorgenti in grado di generare un campo elettromagnetico significativo determinando dunque l'opportunità di definire la relativa Distanza di Prima Approssimazione (DPA):

- Sbarre AT a 150 kV in aria;
- Condutture in cavo interrato o in aria a tensione nominale 30 kV;
- 

Le altre possibili sorgenti di onde elettromagnetiche di minore rilevanza (linee di BT, trasformatori MT/BT, trasformatori AT/MT, apparecchiature in BT, ecc.), sono state giudicate non significative ai fini della presente valutazione, come peraltro riscontrato anche nella letteratura di settore.

Il gestore di rete ENEL Distribuzione S.p.a., nel documento “Linee Guida per l'applicazione del p.5.1.3 dell'Allegato al DM 29-05-2008 – Distanza di Prima Approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche” riporta le DPA da applicare per le sottostazioni di trasformazione analoghe a quella oggetto della presente relazione.

In particolare, nell'allegato A al sopracitato documento, vengono riportate le distanze minime da garantire dal centro sbarre AT e dal centro sbarre MT rispetto al perimetro dell'area della sottostazione. Tali distanze, per sistemi con caratteristiche analoghe a quelle della sottostazione in oggetto, risultano essere:

- circa 14 m dal centro sbarre AT
- circa 7 m dal centro sbarre MT.

Sulla base di tali indicazioni normative, sono state individuate le fasce di rispetto presso l'area della sottostazione, per il cui dettaglio si rimanda all'**Allegato B**.

## 9 CONCLUSIONI

Nella presente relazione è stato condotto uno studio analitico volto a valutare l'impatto elettromagnetico delle opere da realizzare, e, sulla base delle risultanze, 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).

Di seguito i principali risultati:

- **Elettrodotti:**

- nel caso di cavi elicordati (sezioni 205-300 mm<sup>2</sup>) i campi elettromagnetici sono trascurabili, non è necessaria l'apposizione di alcuna fascia di rispetto;
- nel caso di cavi unipolari posati a trifoglio (sezione 630 mm<sup>2</sup>) i campi elettromagnetici risultano di modesta entità, di poco superiori agli obiettivi di qualità, ma comunque inferiori ai limiti imposti dalla normativa. Sono state individuate differenti casistiche, in funzione del numero di terne parallele posate all'interno della stessa sezione di scavo, e per ciascuna di esse è stata determinata la DPA corrispondente

In questi i casi, l'entità delle DPA è tale da ricadere all'interno della carreggiata stradale lungo la quale giacciono i cavidotti, senza interferenze con luoghi da tutelare.

- **Elettrodoto AT di collegamento tra le stazioni:** i campi elettromagnetici risultano più intensi in prossimità degli elettrodotti AT, ma trascurabili all'esterno dell'area delle SSEU e SE. È stata individuata la fascia di rispetto, ricadente per lo più nelle aree di pertinenza delle due Stazioni e della viabilità di accesso, senza interferenze con luoghi da tutelare.

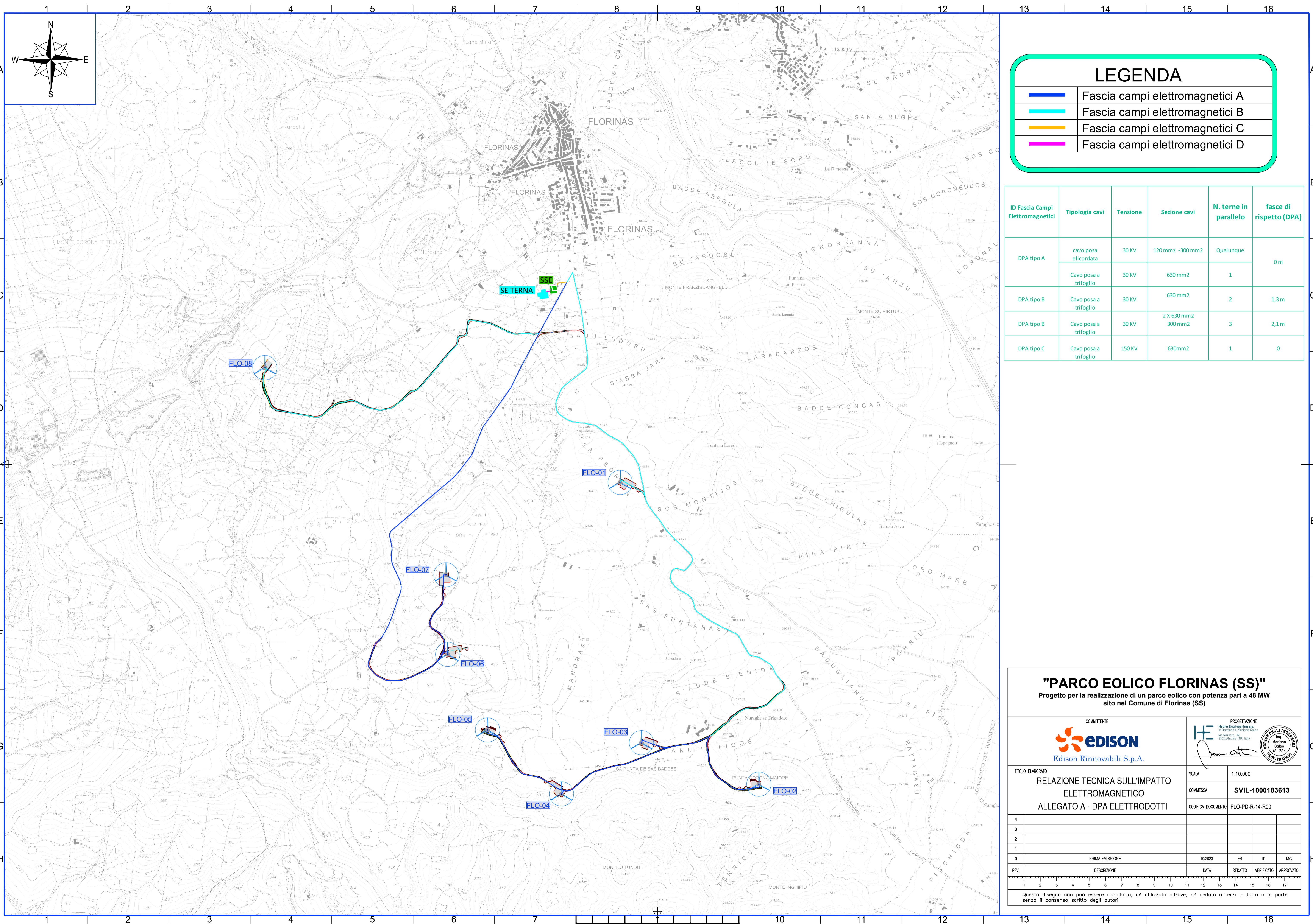
- **Aerogeneratori:** campi elettromagnetici trascurabili, non è necessaria l'apposizione di alcuna fascia di rispetto.

- **SSEU:** i campi elettromagnetici risultano più intensi in prossimità delle apparecchiature AT, ma trascurabili all'esterno dell'area della sottostazione. È stata individuata la fascia di rispetto, ricadente per lo più nelle aree di pertinenza della SSEU e della viabilità di accesso, senza interferenze con luoghi da tutelare.

A conclusione del presente studio, è possibile affermare che per tutte le sorgenti di campi elettromagnetici individuate, le emissioni risultano essere al di sotto dei limiti imposti dalla vigente normativa.

## 10 ALLEGATO A: DPA ELETTRODOTTI





### LEGENDA

	Fascia campi elettromagnetici A
	Fascia campi elettromagnetici B
	Fascia campi elettromagnetici C
	Fascia campi elettromagnetici D

ID Fascia Campi Elettromagnetici	Tipologia cavi	Tensione	Sezione cavi	N. terne in parallelo	fasce di rispetto (DPA)
DPA tipo A	cavo posa elicordata	30 KV	120 mm2 -300 mm2	Qualunque	0m
	Cavo posa a trifoglio	30 KV	630 mm2	1	
DPA tipo B	Cavo posa a trifoglio	30 KV	630 mm2	2	1,3 m
DPA tipo B	Cavo posa a trifoglio	30 KV	2 X 630 mm2 300 mm2	3	2,1 m
DPA tipo C	Cavo posa a trifoglio	150 KV	630mm2	1	0

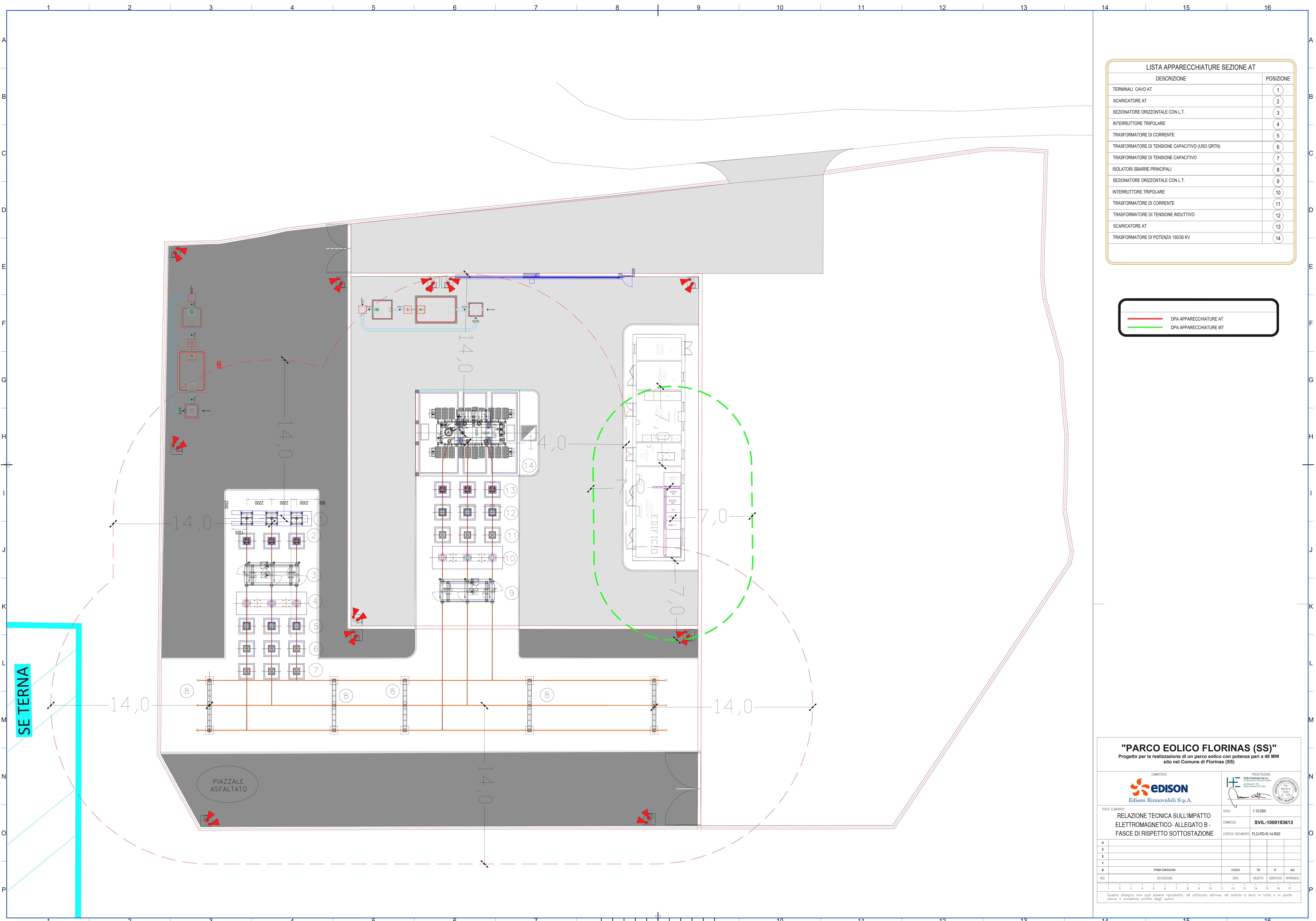
## "PARCO EOLICO FLORINAS (SS)"

Progetto per la realizzazione di un parco eolico con potenza pari a 48 MW  
sito nel Comune di Florinas (SS)

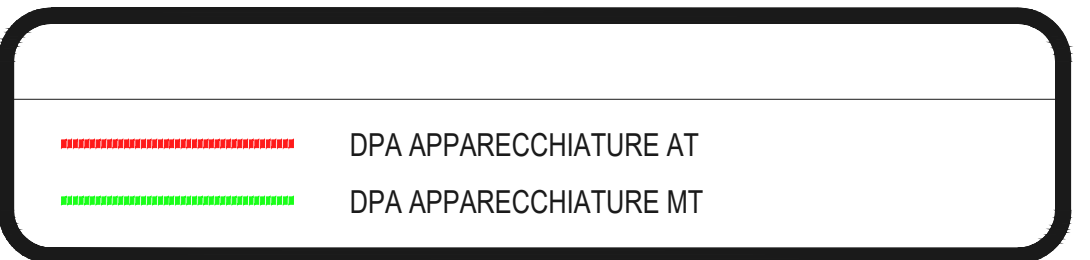
<b>Edison Rinnovabili S.p.A.</b>		<b>Hydro Engineering S.p.A.</b> <small>Hydro Engineering S.p.A. di Daniela e Mariano Gallo via Rossetti 39 90131 Alcamo (TP) Italy</small>	
TITOLO ELABORATO <b>RELAZIONE TECNICA SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO</b> <b>ALLEGATO A - DPA ELETTRODOTTI</b>		SCALA <b>1:10.000</b>	COMMESSA <b>SVIL-1000183613</b>
		CODIFICA DOCUMENTO <b>FLO-PD-R-14-R00</b>	
4			
3			
2			
1			
0	PRIMA EMISSIONE	10/2023	FB IP MG
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO VERIFICATO APPROVATO
1			
<small>Questo disegno non può essere riprodotto, né utilizzato altrove, né ceduto a terzi in tutto o in parte senza il consenso scritto degli autori</small>			



## 11 ALLEGATI: DPA ELETTRODOTTI E DPA SSEU



LISTA APPARECCHIATURE SEZIONE AT	
DESCRIZIONE	POSIZIONE
TERMINALI CAVO AT	1
SCARICATORE AT	2
SEZIONATORE ORIZZONTALE CON L.T.	3
INTERRUTTORE TRIPOLARE	4
TRASFORMATORE DI CORRENTE	5
TRASFORMATORE DI TENSIONE CAPACITIVO (USO GRTN)	6
TRASFORMATORE DI TENSIONE CAPACITIVO	7
ISOLATORI SBARRE PRINCIPALI	8
SEZIONATORE ORIZZONTALE CON L.T.	9
INTERRUTTORE TRIPOLARE	10
TRASFORMATORE DI CORRENTE	11
TRASFORMATORE DI TENSIONE INDUTTIVO	12
SCARICATORE AT	13
TRASFORMATORE DI POTENZA 150/30 KV	14



SE TERNA

**"PARCO EOLICO FLORINAS (SS)"**  
 Progetto per la realizzazione di un parco eolico con potenza pari a 48 MW  
 sito nel Comune di Florinas (SS)

COMITENTE: **EDISON**  
 Edison Rinnovabili S.p.A.

PROGETTAZIONE: **HE**  
 Ing. *[Signature]*  
 Edizione: 10/2023

TITOLO ELABORATO: **RELAZIONE TECNICA SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO- ALLEGATO B - FASCE DI RISPETTO SOTTOSTAZIONE**

SCALA: 1:10.000  
 COMESSA: **SVIL-1000183613**  
 CODIFICA DOCUMENTI: **FLO-PD-R-14-R00**

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
4					
3					
2					
1					
0	PRIMA EMISSIONE	10/2023	FB	IP	MG

Questo disegno non può essere riprodotto, né utilizzato altrove, né ceduto a terzi in tutto o in parte senza il consenso scritto degli autori.