0	Luglio 2023	PRIMA EMISSIONE	VF	MG	EG
REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APROVATO

REGIONE SICILIA
Provincia di Catania
COMUNE DI CALTAGIRONE

PROGETTO

PARCO EOLICO "CALTAGIRONE"

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO DI POTENZA NOMINALE PARI A 54,00 MW INTEGRATO CON UN SISTEMA DI ACCUMULO DA 36,00MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE DI DISTRIBUZIONE

PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE :

Wind Energy Caltagirone Srl

Via Caravaggio, 125 - 65125 Pescara
P.I. 02349170684

PROGETTISTA :

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

galbo mariano
04.08.2023
09:03:28
GMT+01:00

ORDINE DEGLI INGEGNERI PROV. TRAPANI
Ing. Mariano Galbo N. 724

OGGETTO DELL'ELABORATO

RELAZIONE TECNICA SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO

CODICE ELABORATO	SCALA	FOGLIO	FORMATO	CODICE COMMITTENTE
CAL-PD-R06	/	1 di 43	A4	

ID ELABORATO (HE): CAL-PD-R06

NOME FILE: CAL-PD-R06_Relazione tecnica sull'impatto elettromagnetico

Wind energy Caltagirone S.r.l. si riserva tutti i diritti su questo documento che non può essere riprodotto neppure parzialmente senza la sua autorizzazione scritta.

ISO A4

INDICE

1. PREMESSA 2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO 3
3. FONTI DI EMISSIONE 4
4. VALORI LIMITE DI RIFERIMENTO 7
4.1. VALORI LIMITE DEL CAMPO MAGNETICO 7
4.2. VALORI LIMITE DEL CAMPO ELETTRICO 8
5. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DAGLI ELETTRODOTTI 9
5.1. CAVI POSA ELICORDATA SEZIONE 185-300 MM² 9
5.2. CAVI POSA A TRIFOGLIO SEZIONE 630 MM² 10
5.2.1. CASO B – 2 TERNE DI CAVI 15
5.2.2. CASO C – 3 TERNE DI CAVI 20
5.2.3. CASO D – 5 TERNE DI CAVI 25
5.2.4. CASO E – 8TERNE DI CAVI 31
5.3. RIEPILOGO DPA ELETRODOTTI 37
6. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DAGLI AEROGENERATORI 38
7. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DALL'EDIFICIO CONSEGNA 39
8. CONCLUSIONI 40
1. ALLEGATO A: DPA ELETTRODOTTI 41

1. PREMESSA

La società Hydro Engineering s.s. è stata incaricata di redigere il progetto definitivo dell'impianto eolico denominato "Parco eolico Caltagirone" composto da nove aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 6,00 MW, per una potenza complessiva di 54 MW, ubicato nel Comune di Caltagirone, Provincia di Catania e proposto dalla società Wind Energy Caltagirone S.r.l. con sede in Pescara nella via Caravaggio 125. Il modello tipo di aerogeneratore scelto avrà potenza nominale di 6,00 MW con altezza mozzo pari a 115 m, diametro rotore pari a 170 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.

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

- un elettrodotto interrato con cavi a 36 kV, di collegamento tra gli aerogeneratori;
- un edifico di consegna;
- un sistema di BESS (storage) di accumulo per circa 36 MW;
- una nuova Stazione Elettrica di Terna 380/150/36 "Raddusa 380" da inserire in entra – esce sulla futura linea RTN a 380 kV "Chiaramonte Gulfi -Ciminna"
- raccordi di connessione AT a 380 kV, tra la stazione 380/150/36kV "Raddusa 380" e la linea RTN a 380 kV "Chiaramonte Gulfi -Ciminna".

Dunque, la richiesta di connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) è stata accettata per un impianto di generazione da fonte rinnovabile (eolica) con potenza nominale pari a 54 MW e integrato con un sistema di accumulo da 36 MW. La potenza totale richiesta ai fini della connessione è di 90 MW in immissione e 36 MW in prelievo.

Si precisa che la progettazione della futura stazione elettrica di Terna 380/150/36 "Raddusa 380" , e dei relativi raccordi aerei 380 kV di collegamento alla RTN che interessano i Comuni di Ramacca (CT), sono oggetto di procedimento autorizzativo che fa capo ad un altro proponente definito "Capofila", che ha partecipato alle attività di coordinamento organizzate da Terna spa."

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:

- Regio Decreto 11 dicembre 1933, n. 1775 "Testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e impianti elettrici;
- Legge 23 luglio 2009, n°99, "Disposizioni per lo sviluppo e l'internazionalizzazione delle imprese, nonché in materia di energia";
- Decreto del 27/02/09, Ministero della Sviluppo Economico;
- Decreto del 29/05/08, "Approvazione delle procedure di misura e valutazione dell'induzione magnetica";
- 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. 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.
- Quadri elettrici nella sala quadri a 36kV dell'edificio Consegna;
- tutte le linee elettriche a servizio dell'impianto:
  - elettrodotto a 36 kV di interconnessione fra gli aerogeneratori;
  - elettrodotto a 36 kV di vettoriamento dell'energia prodotta dai sottocampi verso la SE Terna "Raddusa380";

La fonte di campo elettromagnetico identificata con le linee elettriche aeree in AT, di connessione tra la SE e la Rete di Trasmissione Nazionale, è stata analizzata nel Progetto elettrico per l'ottenimento del benestare TERNA, nell'ambito del quale sono state definite le relative DPA.
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.

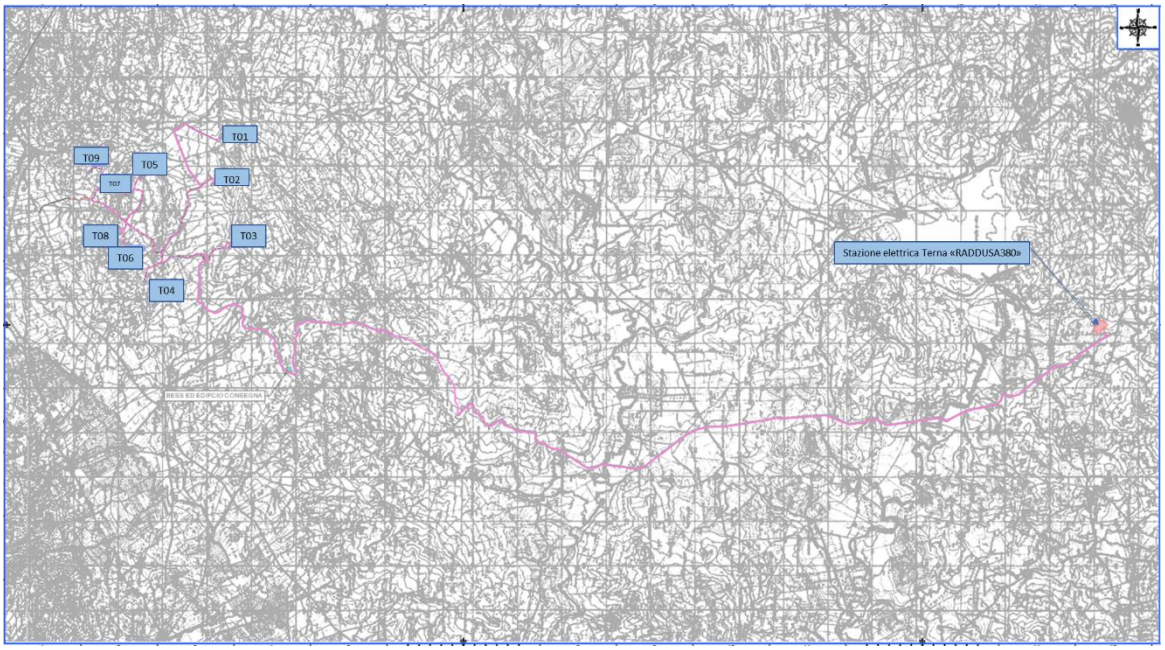


Fig. 1 a Inquadramento impianto su stralcio IGM 1:25.000

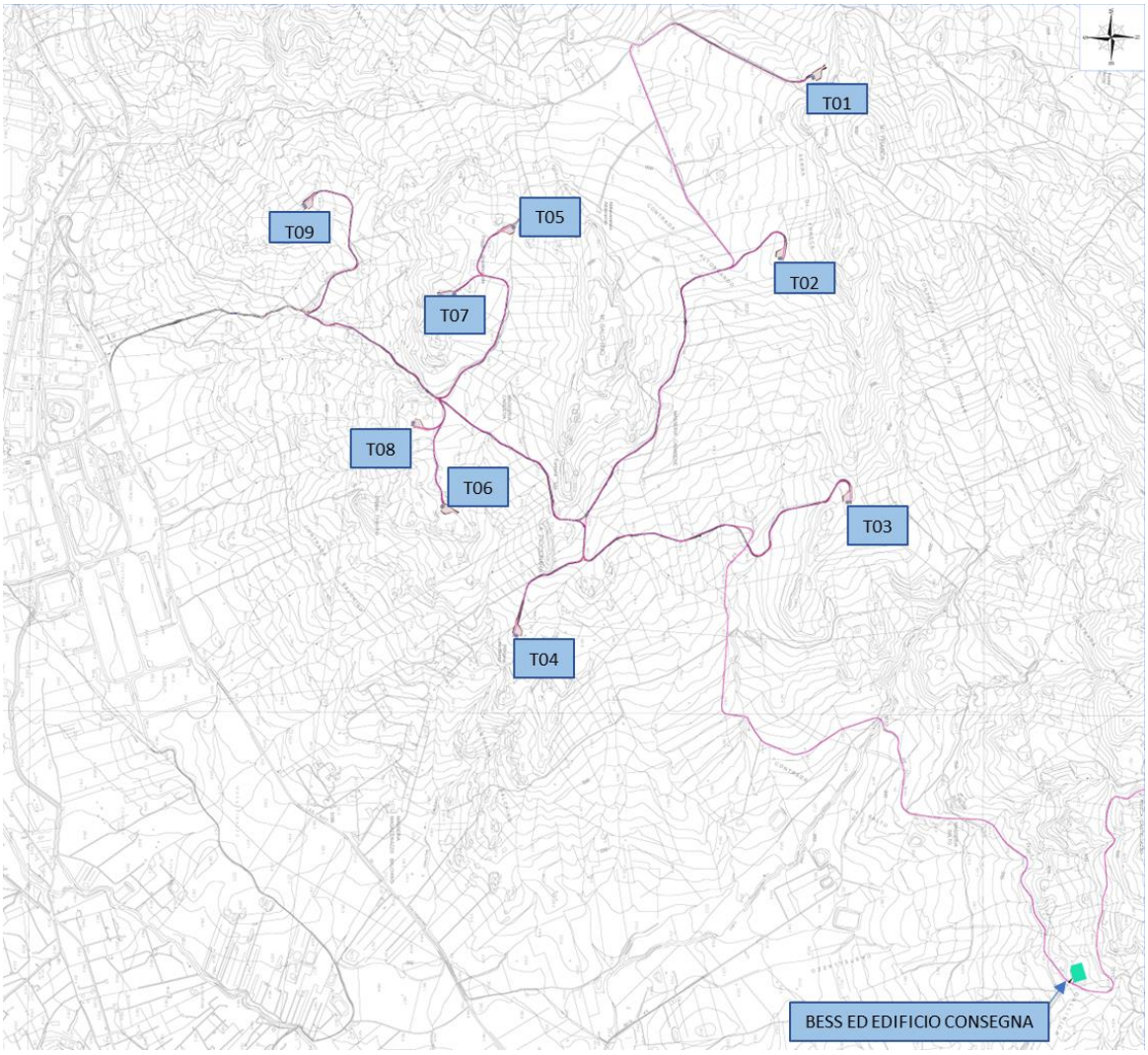


Fig 1b Inquadramento impianto su CTR 1:10.000

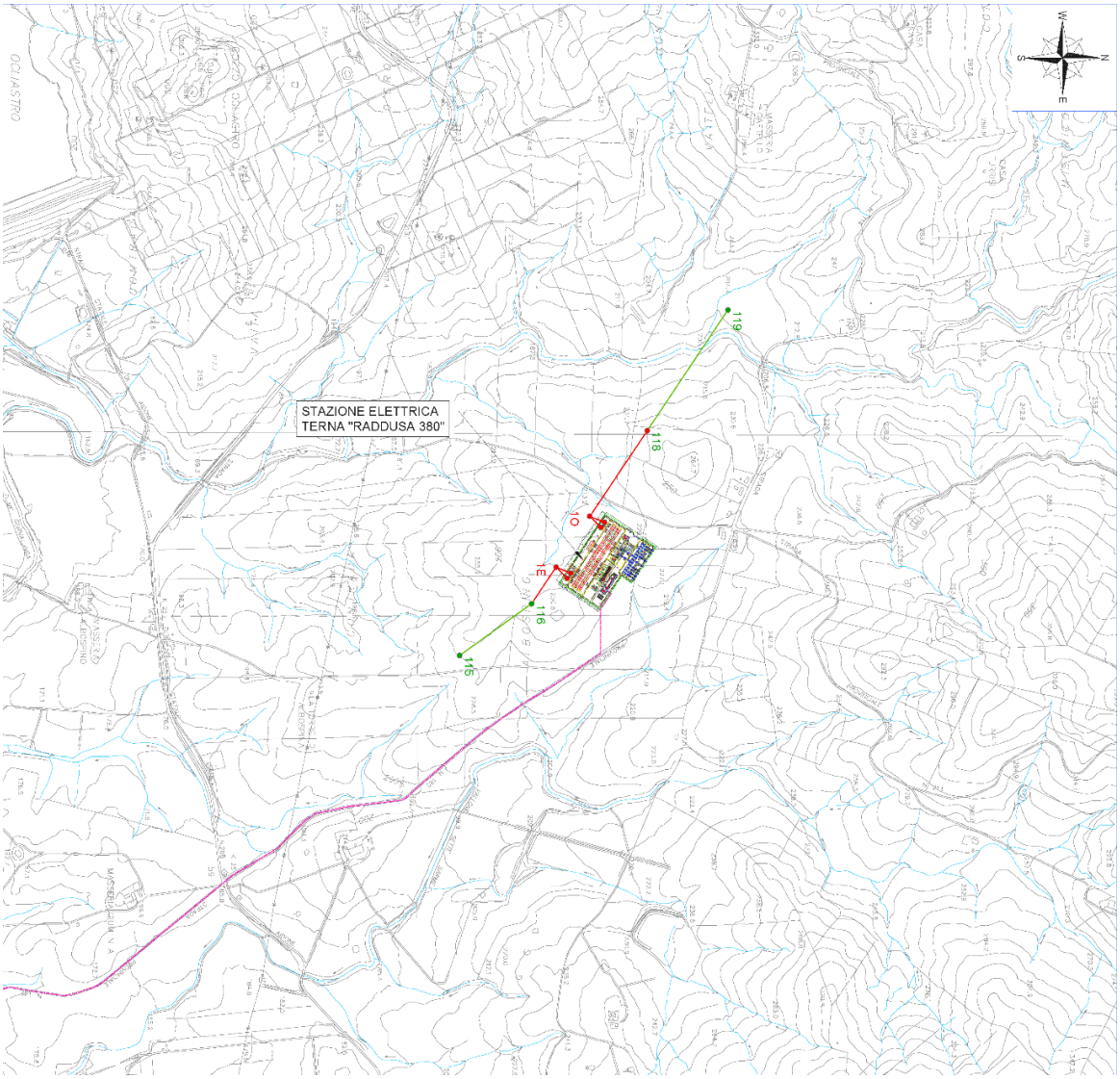


Fig. 1c Inquadramento Stazione elettrica su CTR 1:10.000

4. 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 pr 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.

4.1. 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
Limite di esposizione	**100 µT** (da intendersi come valore efficace)
Valore di attenzione (misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, nelle ar di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere)	**10 µT** (da intendersi come mediana dei valori nell' delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio)
Obiettivo di qualità (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 delle nuove aree di cui sopra in prossimità delle linee ed installazioni elettriche presenti nel territorio)	**3 µT** (da intendersi come mediana dei valori nell' delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio)

4.2. 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.

5. 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^2, 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	36 kV	36 kV	36 kV
Sezione (mm²)	185	300	630
Tipo posa	Cordato a elica visibi	Cordato a elica visibi	Trifoglio
Profondità posa (m)	1,10	1,10	1,10

5.1. CAVI POSA ELICORDATA SEZIONE 185-300 mm^2

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^2.

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 le metodologie 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 a 36kV 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 36kV 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^2.

Il campo elettromagnetico generato dai cavi di sezione 185 –300 mm^2 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.

5.2. CAVI POSA A TRIFOGLIO SEZIONE 630 mm^2

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 a 36kV posata a trifoglio;
- CASO B: Linea elettrica in cavo interrato costituita da 2 terne cavi a 36kV posata a trifoglio;
- CASO C: Linea elettrica in cavo interrato costituita da 3 terne cavi a 36kV posata a trifoglio;

Tali casistiche sono riferite alle sezioni costituite da cavi di sezione 6300 mm^2, della tipologia ARE4H5E 36kV 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.

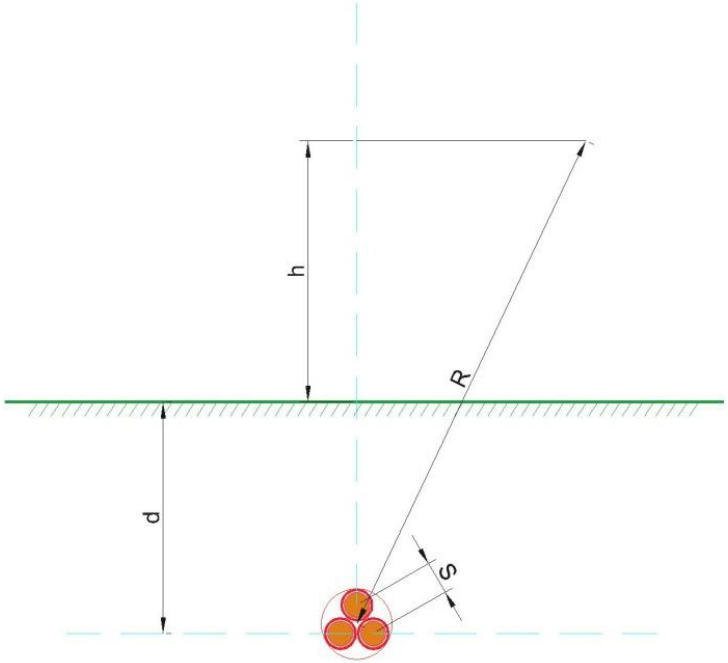
Occorre inoltre tenere in considerazione la tipologia dei cavi usati per la realizzazione degli elettrodotti; si tratta, infatti, di cavi sotterranei in posa a trifoglio, posati ad una profondità di 1,10 m.

Si procederà adesso, per ognuno dei casi precedentemente introdotti, ad una valutazione specifica del campo magnetico.

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 µT. 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 [µT] 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].

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

Profondità di posa dei cavi	-1,10 m
distanza terna dall'asse y	0 m
Sezione terna	3x1x630 mm^2
Portata cavo nominale	622 A
Portata cavo corretta	580 A

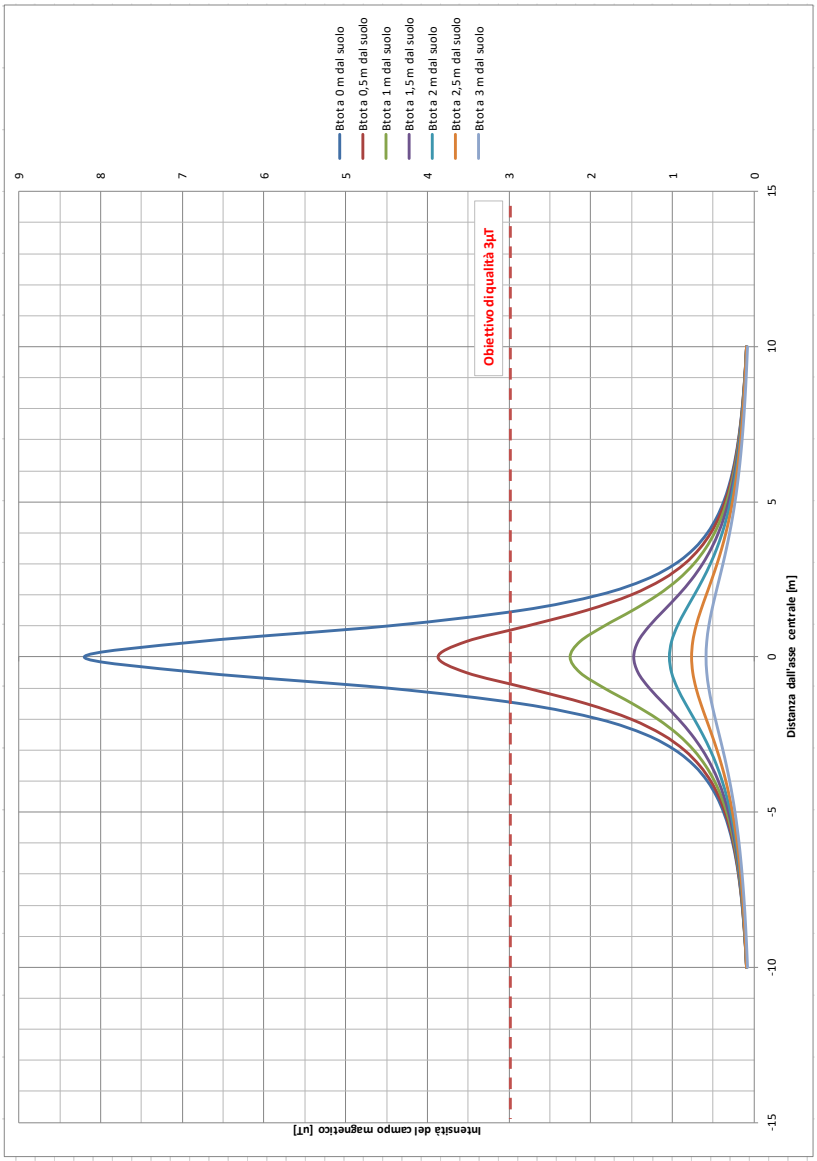
Ai fini del calcolo relativo a una terna di cavi, è stato preso in esame il caso di una terna di cavi della sezione di 630 mm^2.

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'a centrale [m	B_{tot} a 1 m da suolo [μT]	B_{tot} a 1,5 m d suolo [μT]	B_{tot} a 2 m da suolo [μT]	B_{tot} a 2,5 m d suolo [μT]	B_{tot} a 3 m da suolo [μT]
-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 µT, si rileva che l'elettrodotto oggetto di studio produce un campo magnetico massimo, in corrispondenza all'asse centrale, pari a 2,25 µT, inferiore al limite fissato.

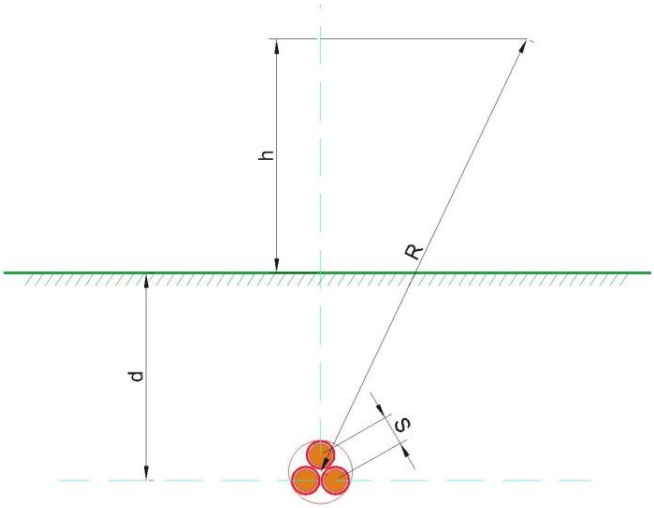
Per il caso A in esame, risulta pertanto abbondantemente rispettato il valore limite di esposizione pari a 100 µT lungo tutto il percorso dei cavi, così pure l'obiettivo di qualità pari a 3 µT.

5.2.1. 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.

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

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.

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

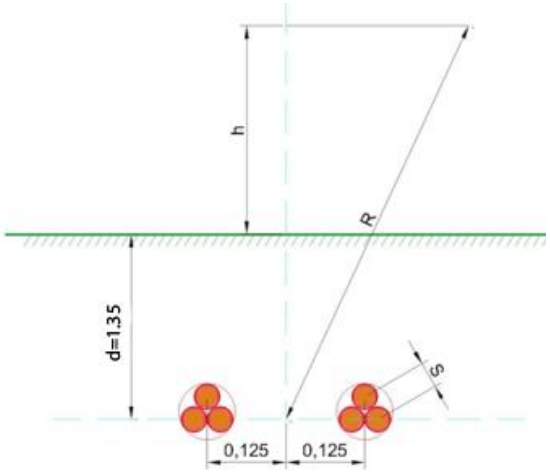
dove B [μT] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal conduttore centrale, S [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di

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 [μT] 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] (specifica della terna i-esima).

Per quanto riguarda la corrente I_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 regolamenta 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:

Profondità di posa dei cavi	-1,10 m
distanza terna 1 dall'asse y	-0,125 m
distanza terna 2 dall'asse y	0,125 m
Sezione terne	3x1x630 mm^2
Portata cavo nominale	622 A
Portata cavo corretta	525 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^2.

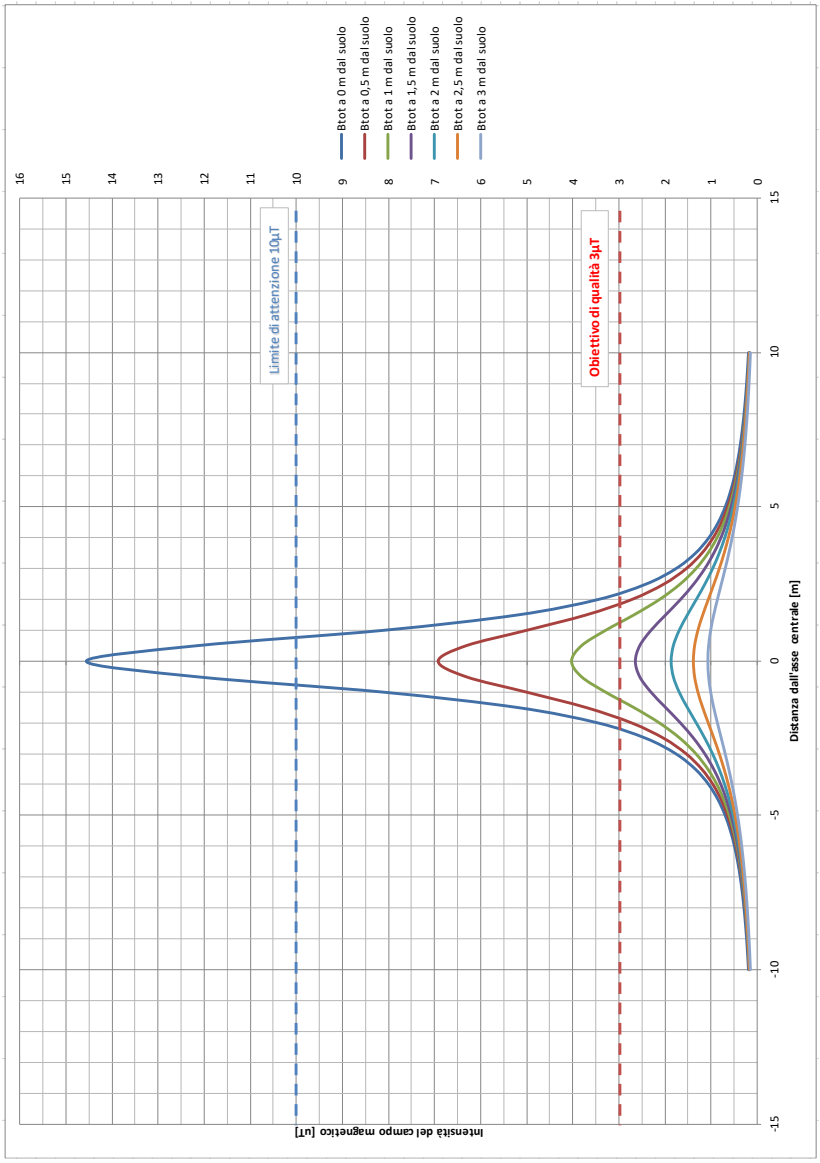
Per la portata dei cavi, si è tenuto conto della portata corretta secondo i fattori di correzione di cui al paragrafo 4.1.1, che tiene conto delle condizioni di esercizio e della compresenza di più cavi nello stesso scavo.

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'a centrale [m	B_{tot} a 1 m da suolo [μT]	B_{tot} a 1,5 m d suolo [μT]	B_{tot} a 2 m da suolo [μT]	B_{tot} a 2,5 m d suolo [μT]	B_{tot} a 3 m da suolo [μT]
-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

Distanza dall'a centrale [m	B_{tot} a 1 m da suolo [μT]	B_{tot} a 1,5 m d suolo [μT]	B_{tot} a 2 m da suolo [μT]	B_{tot} a 2,5 m d suolo [μT]	B_{tot} a 3 m da suolo [μT]
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 µT, si rileva che l'elettrodotto oggetto di studio produce un campo magnetico massimo, in corrispondenza all'asse centrale ad 1 m dal piano di calpestio, pari a 4,03 µT, superiore all'obiettivo di qualità fissato dalla norma, ma comunque inferiore al limite di esposizione di 100 µT.

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 circa 1,30 m, alla quale il campo residuo risulta essere pari a 2,93 µT.

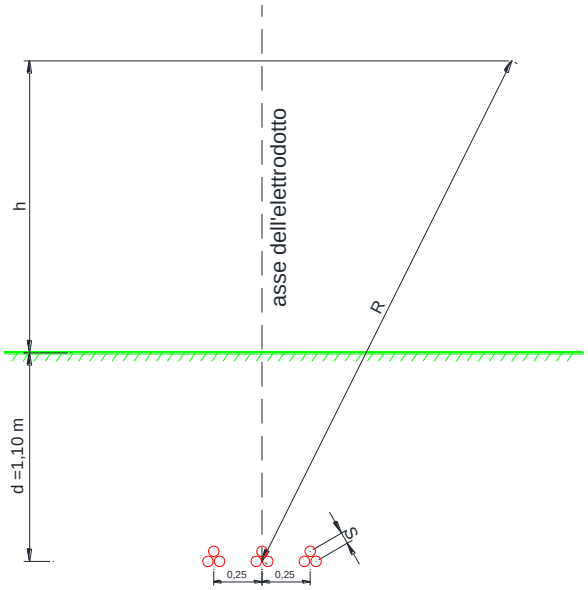
Pertanto, relativamente all'elettrodotto costituito da 2 terne (caso B), viene individuata una fascia di rispetto complessiva di 2,6 m, centrata sull'asse del cavidotto (DPA pari a 1,30 m), al di fuori della quale è garantito il rispetto dell'obiettivo di qualità richiesto.

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 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 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.

5.2.2. 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 [μT] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal centro del sistema (baricentro delle 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] (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:

Profondità di posa dei cavi	-1,10 m
distanza terna 1 dall'asse y	-0,250 m
distanza terna 2 dall'asse y	0 m
distanza terna 3 dall'asse y	+ 0,250 m
Sezione terne	3x1x630 mm^2
Portata cavo nominale	622 A
Portata cavo corretta	495 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^2.

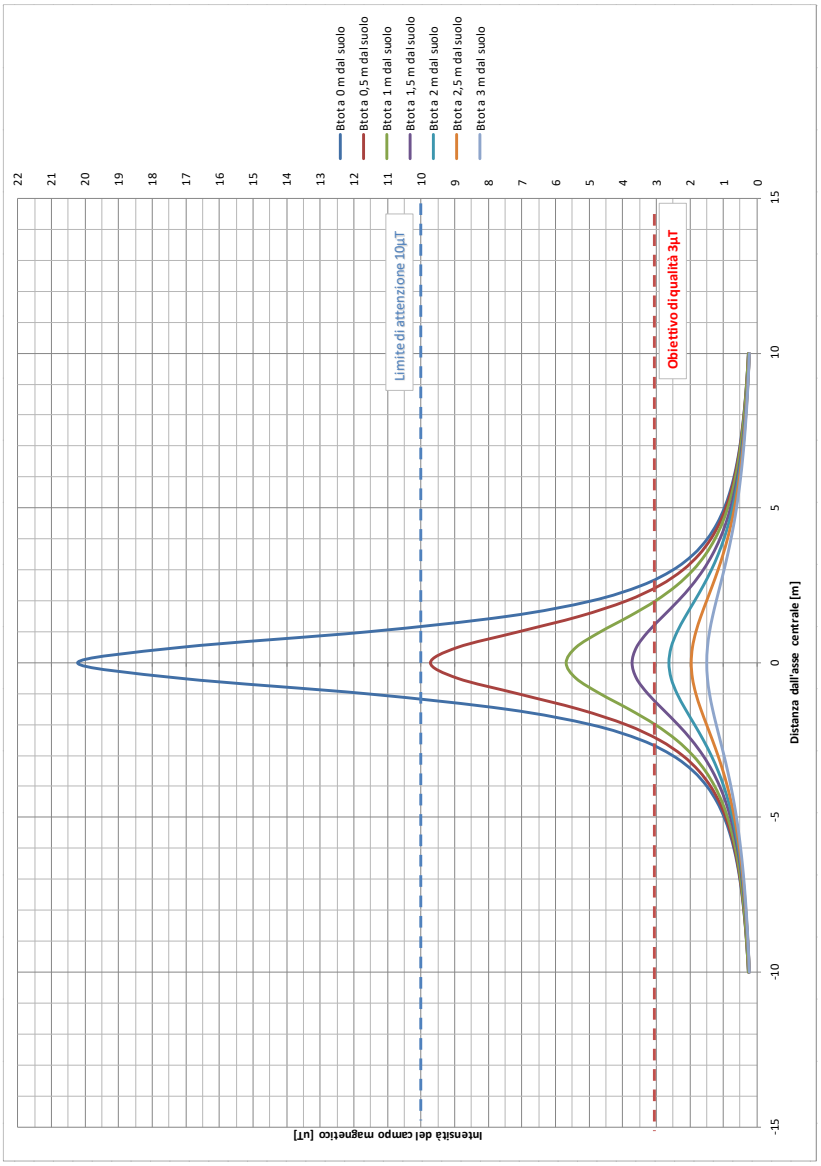
Per la portata dei cavi, si è tenuto conto della portata corretta secondo i fattori di correzione di cui al paragrafo 4.1.1, che tiene conto delle condizioni di esercizio e della compresenza di più cavi nello

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'a centrale [m	B_{tot} a 1 m da suolo [μT]	B_{tot} a 1,5 m d suolo [μT]	B_{tot} a 2 m da suolo [μT]	B_{tot} a 2,5 m d suolo [μT]	B_{tot} a 3 m da suolo [μT]
-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 µT, 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 µT, superiore all'obiettivo di qualità fissato dalla norma, ma comunque inferiore al limite di esposizione di 100 µT.

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 circa 2,1 m, alla quale il campo residuo risulta essere pari a 2,88 µT.

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 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 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 degli aerogeneratori, ipotizzando il funzionamento a piena potenza.

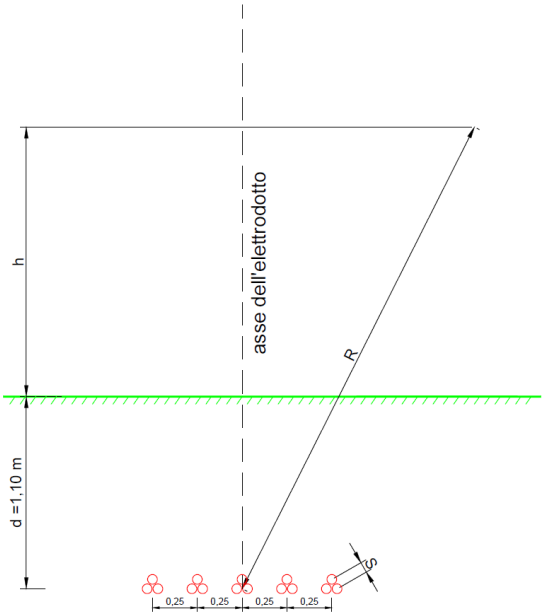
Data la natura non programmabile della fonte eolica, e la sua aleatorietà nel tempo, i valori reali saranno certamente inferiori a quelli utilizzati nei calcoli, con una significativa diminuzione del valore dei campi elettromagnetici generati, ben al di sotto dei valori normativi precedentemente illustrati.

5.2.3. Caso D – 5 terne di cavi

Analogamente a quanto visto nel paragrafo precedente, viene condotto lo studio nel caso di un elettrodotto costituito da quattro 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:

$$B = 0{,}1 * \sqrt{6} * \frac{S_1 * I_1}{(x - x_1)^2 + (y - d)^2} + 0{,}1 * \sqrt{6} * \frac{S_2 * I_2}{(x - x_2)^2 + (y - d)^2} + 0{,}1 * \sqrt{6} * \frac{S_3 * I_3}{(x - x_3)^2 + (y - d)^2} + 0{,}1 * \sqrt{6} * \frac{S_4 * I_4}{(x - x_4)^2 + (y - d)^2} + 0{,}1 * \sqrt{6} * \frac{S_5 * I_5}{(x - x_5)^2 + (y - d)^2}$$



dove B [μT] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal centro del sistema (baricentro delle 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] (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:

Profondità di posa dei cavi	-1,10 m
distanza terna 1 dall'asse y	-0,500 m
distanza terna 2 dall'asse y	-0,250 m
distanza terna 3 dall'asse y	+ 0 m
distanza terna 4 dall'asse y	+ 0,250 m
distanza terna 4 dall'asse y	+ 0,500 m
Sezione terne cavi 1-2-3	3x1x630 mm²
Sezione terne 4-5	3x1x300 mm² (cavi esistenti)
Portata cavo nominale cavi 1-2-3	725 A
Portata cavo corretta cavi 1-2-3	540 A
Portata cavo nominale cavi 4-5	486 A (cavi esistenti)
Portata cavo corretta cavi 4-5	362 A (cavi esistenti)

Ai fini del calcolo relativo a due terne di cavi, a scopo cautelativo è stato preso in esame il caso più gravoso riscontrato nell'intero impianto, ossia la compresenza nello stesso scavo di tre terne di cavi della sezione di 630 mm² relativi al parco eolico Partinico-Monreale, affiancati ad ulteriori due terne

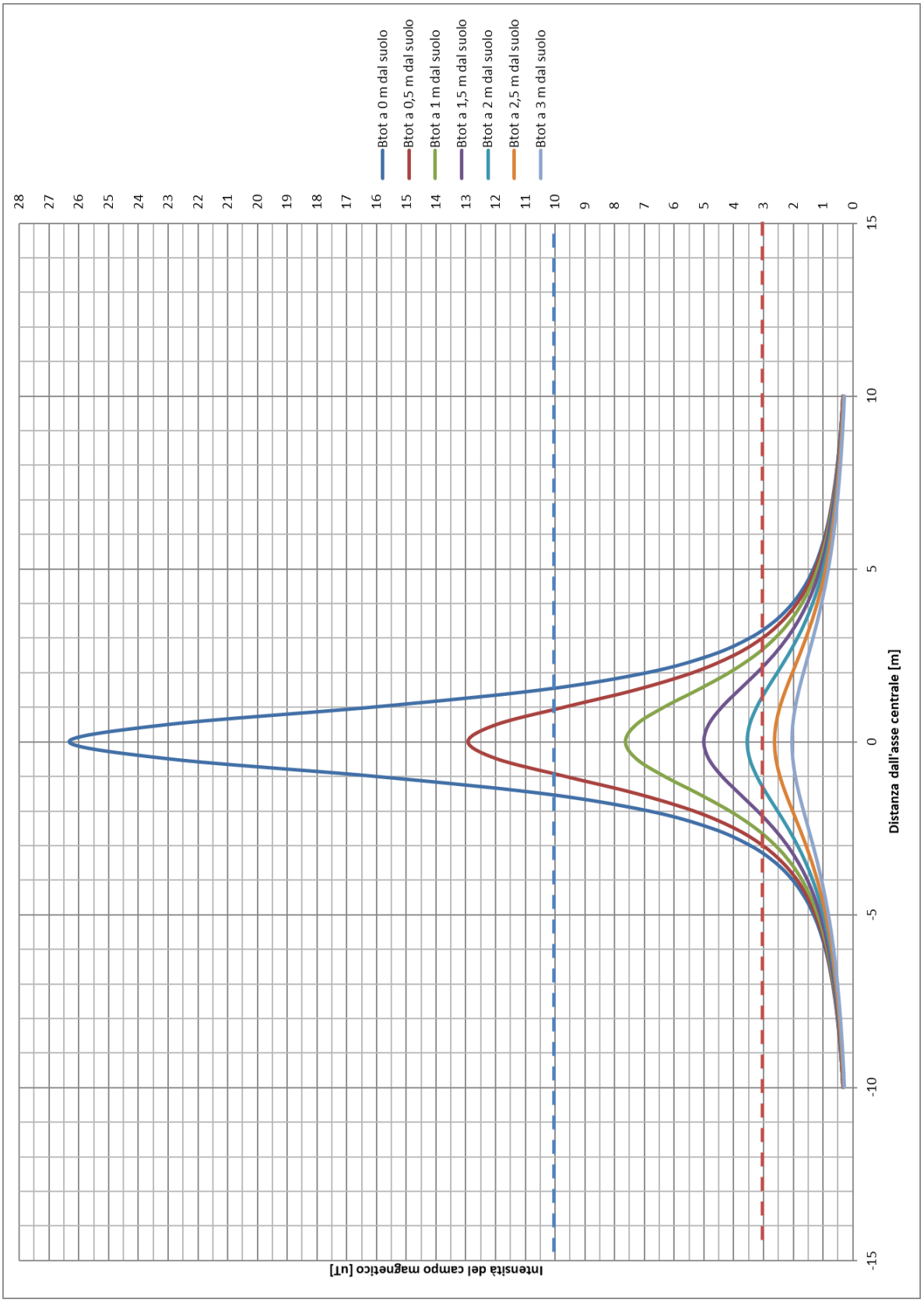
di cavi preesistenti, di sezione pari a 300 mm^2 relativi al parco eolico Campoeale.

Per la portata dei cavi, si è tenuto conto della portata corretta secondo i fattori di correzione di cui al paragrafo 4.1, 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'a centrale [m	B_{tot} a 1 m da suolo [μT]	B_{tot} a 1,5 m d suolo [μT]	B_{tot} a 2 m da suolo [μT]	B_{tot} a 2,5 m d suolo [μT]	B_{tot} a 3 m da suolo [μT]
-10	0,33	0,32	0,32	0,31	0,30
-9,5	0,37	0,36	0,35	0,33	0,32
-9	0,40	0,39	0,38	0,37	0,35
-8,5	0,45	0,44	0,42	0,41	0,39
-8	0,51	0,49	0,47	0,45	0,43
-7,5	0,57	0,55	0,53	0,50	0,47
-7	0,65	0,62	0,59	0,56	0,53
-6,5	0,74	0,71	0,67	0,63	0,59
-6,00	0,86	0,81	0,76	0,71	0,65
-5,50	1,00	0,94	0,87	0,80	0,73
-5,00	1,18	1,09	1,00	0,91	0,83
-4,50	1,41	1,29	1,16	1,04	0,93
-4,00	1,71	1,53	1,35	1,19	1,05
-3,50	2,09	1,83	1,59	1,37	1,19
-3,00	2,60	2,20	1,86	1,57	1,34
-2,50	3,27	2,67	2,18	1,80	1,49
-2,00	4,14	3,22	2,53	2,03	1,65
-1,50	5,20	3,82	2,90	2,26	1,80
-1,00	6,33	4,41	3,23	2,45	1,93
-0,50	7,26	4,85	3,46	2,59	2,01
0,00	7,63	5,02	3,55	2,64	2,04
0,50	7,26	4,85	3,46	2,59	2,01
1,00	6,33	4,41	3,23	2,45	1,93
1,50	5,20	3,82	2,90	2,26	1,80
2,00	4,14	3,22	2,53	2,03	1,65
2,50	3,27	2,67	2,18	1,80	1,49
3,00	2,60	2,20	1,86	1,57	1,34
3,50	2,09	1,83	1,59	1,37	1,19
4,00	1,71	1,53	1,35	1,19	1,05
4,50	1,41	1,29	1,16	1,04	0,93
5,00	1,18	1,09	1,00	0,91	0,83
5,50	1,00	0,94	0,87	0,80	0,73
6,00	0,86	0,81	0,76	0,71	0,65
6,50	0,74	0,71	0,67	0,63	0,59
7,00	0,65	0,62	0,59	0,56	0,53
7,50	0,57	0,55	0,53	0,50	0,47
8,00	0,51	0,49	0,47	0,45	0,43
8,50	0,45	0,44	0,42	0,41	0,39
9,00	0,40	0,39	0,38	0,37	0,35
9,50	0,37	0,36	0,35	0,33	0,32
10,00	0,33	0,32	0,32	0,31	0,30

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.


Btot a 0 m dal suolo
Btot a 0,5 m dal suolo
Btot a 1 m dal suolo
Btot a 1,5 m dal suolo
Btot a 2 m dal suolo
Btot a 2,5 m dal suolo
Btot a 3 m dal suolo
Intensità del campo magnetico [uT]
Distanza dall'asse centrale [m]
28
27
26
25
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
-15
-10
-5
0
5
10
15

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 all'asse centrale ad 1m dal piano di calpestio, pari a 7,63 μT, superiore all'obiettivo di qualità fissato dalla norma, ma comunque inferiore al limite di esposizione di 100 μT.

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 circa 2,7 m, alla quale il campo residuo risulta essere pari a 2,98 μT .

Pertanto, relativamente all'elettrodotto costituito da 5 terne (caso D), viene individuata una fascia di rispetto complessiva di 5,4 m, centrata sull'asse del cavidotto (DPA pari a 2,7 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.

Innanzitutto, è stata presa in considerazione la posa dei cavi di massima sezione possibile (630 mm^2). Il valore reale dei campi risulterà, quindi, inferiore a quello calcolato, laddove la sezione dei cavi è inferiore a quella usata per il calcolo.

Inoltre, 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 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 degli aerogeneratori, ipotizzando il funzionamento a piena potenza.

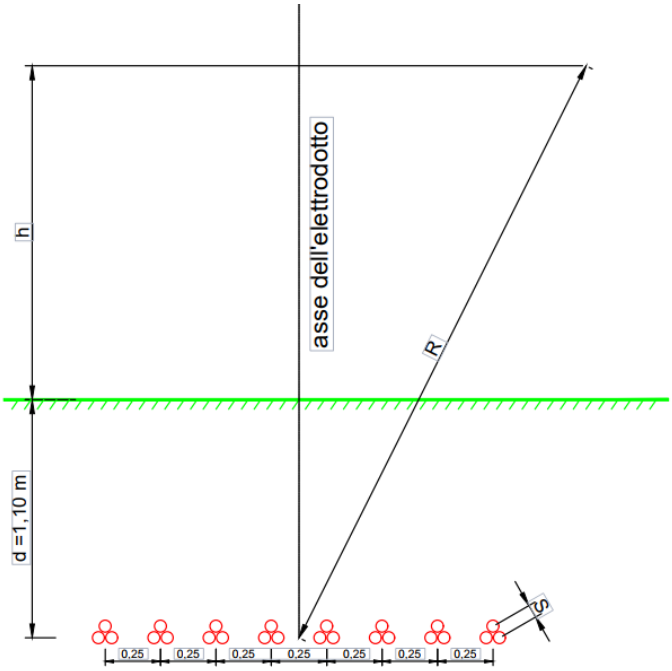
Data la natura non programmabile della fonte eolica, e la sua aleatorietà nel tempo, i valori reali saranno certamente inferiori a quelli utilizzati nei calcoli, con una significativa diminuzione del valore dei campi elettromagnetici generati, ben al di sotto dei valori normativi precedentemente illustrati.

5.2.4. Caso E – 8terne di cavi

Analogamente a quanto visto nei paragrafi precedenti, viene condotto lo studio nel caso di un elettrodotto costituito da sei terne di cavi.

Considerata quindi la disposizione spaziale delle sei 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:

$$B = 0{,}1 * \sqrt{6} * \frac{S_1 * I_1}{(x - x_1)^2 + (y - d)^2} + 0{,}1 * \sqrt{6} * \frac{S_2 * I_2}{(x - x_2)^2 + (y - d)^2} + 0{,}1 * \sqrt{6} * \frac{S_3 * I_3}{(x - x_3)^2 + (y - d)^2} + 0{,}1 * \sqrt{6} * \frac{S_4 * I_4}{(x - x_4)^2 + (y - d)^2} + 0{,}1 * \sqrt{6} * \frac{S_5 * I_5}{(x - x_5)^2 + (y - d)^2} + 0{,}1 * \sqrt{6} * \frac{S_6 * I_6}{(x - x_6)^2 + (y - d)^2} + + 0{,}1 * \sqrt{6} * \frac{S_7 * I_7}{(x - x_7)^2 + (y - d)^2} + 0{,}1 * \sqrt{6} * \frac{S_8 * I_8}{(x - x_8)^2 + (y - d)^2}$$



dove B [μT] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal centro del sistema (baricentro delle 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] (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:

Profondità di posa dei cavi	-1,10 m
distanza terna 1 dall'asse y	-0.75 m
distanza terna 2 dall'asse y	-0,625 m
distanza terna 3 dall'asse y	-0,375 m
distanza terna 4 dall'asse y	-0,125 m
distanza terna 5 dall'asse y	0,125 m
distanza terna 6 dall'asse y	0,375 m
distanza terna 7 dall'asse y	0,625 m
distanza terna 8 dall'asse y	0,75 m
Sezione terne	3x1x630 mm²
Portata cavo	622 A

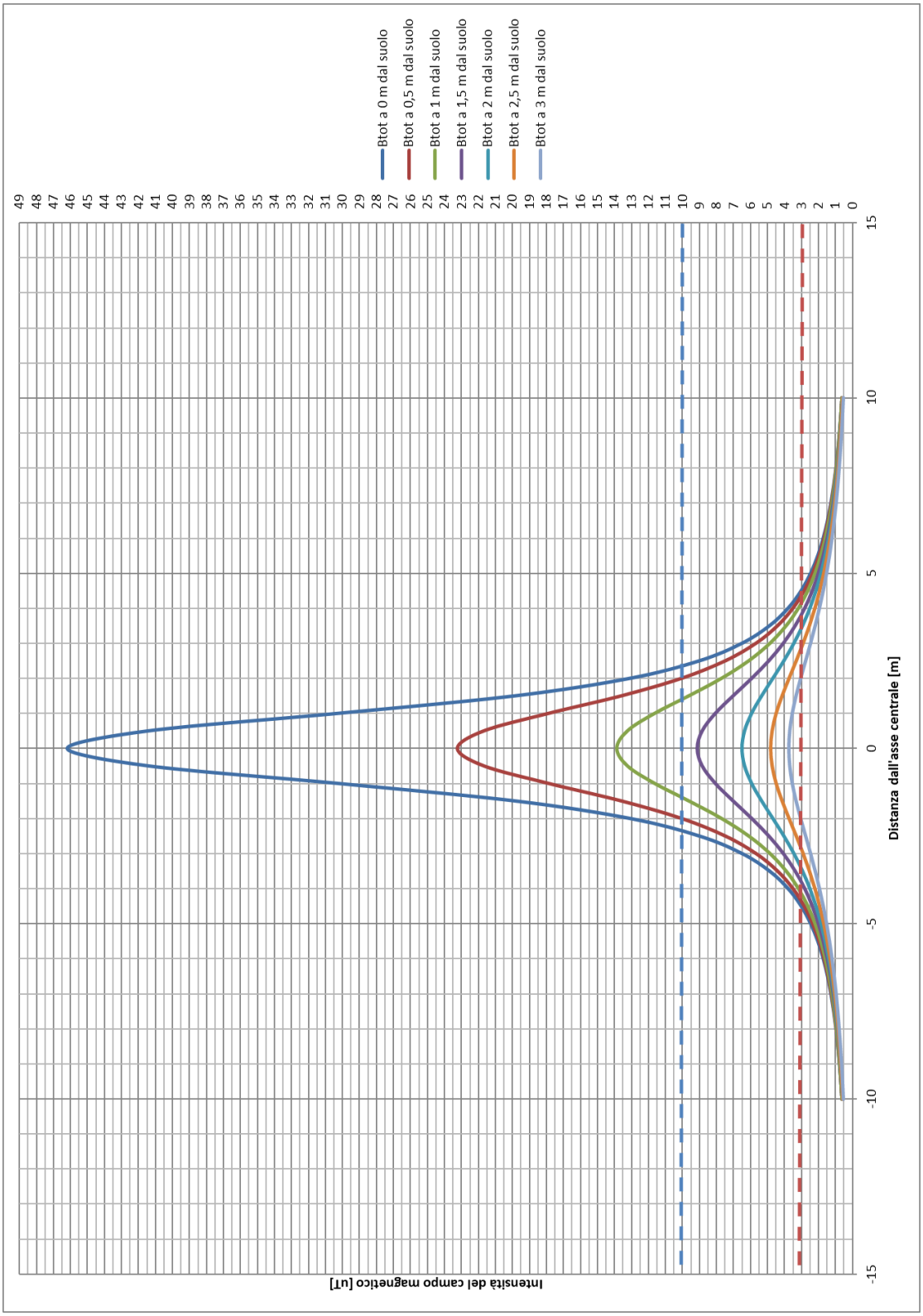
Ai fini del calcolo, a scopo cautelativo è stato preso in esame il caso più gravoso riscontrato nell'intero impianto, ossia la compresenza nello stesso scavo di sei terne di cavi della sezione di 630 mm^2. Tale situazione si riscontra nei pressi dell'ingresso alla Edifico Consegna , per un tratto lungo circa 385 m.

Per la portata dei cavi, si è tenuto conto della portata corretta secondo i fattori di correzione di cui al paragrafo 4.1, 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 cent [m]	B_{tot} a 1 m d suolo [μT]	B_{tot} a 1,5 m c suolo [μT]	B_{tot} a 2 m d suolo [μT]	B_{tot} a 2,5 m c suolo [μT]	B_{tot} a 3 m d suolo [μT]
-10	0,61	0,60	0,58	0,56	0,55
-9,5	0,67	0,66	0,64	0,62	0,60
-9	0,75	0,73	0,70	0,68	0,65
-8,5	0,83	0,81	0,78	0,75	0,72
-8	0,93	0,90	0,87	0,83	0,79
-7,5	1,06	1,01	0,97	0,92	0,87
-7	1,20	1,15	1,09	1,03	0,97
-6,5	1,37	1,31	1,23	1,16	1,08
-6,00	1,59	1,50	1,40	1,31	1,21
-5,50	1,86	1,73	1,61	1,48	1,36
-5,00	2,19	2,02	1,85	1,69	1,53
-4,50	2,62	2,38	2,15	1,93	1,72
-4,00	3,17	2,83	2,50	2,21	1,94
-3,50	3,89	3,39	2,93	2,53	2,19
-3,00	4,84	4,09	3,44	2,91	2,47
-2,50	6,09	4,94	4,03	3,31	2,75
-2,00	7,69	5,94	4,67	3,74	3,04
-1,50	9,61	7,04	5,33	4,15	3,31
-1,00	11,62	8,09	5,92	4,51	3,54
-0,50	13,23	8,87	6,34	4,75	3,69
0,00	13,85	9,16	6,49	4,83	3,74
0,50	13,23	8,87	6,34	4,75	3,69
1,00	11,62	8,09	5,92	4,51	3,54
1,50	9,61	7,04	5,33	4,15	3,31
2,00	7,69	5,94	4,67	3,74	3,04
2,50	6,09	4,94	4,03	3,31	2,75
3,00	4,84	4,09	3,44	2,91	2,47
3,50	3,89	3,39	2,93	2,53	2,19
4,00	3,17	2,83	2,50	2,21	1,94
4,50	2,62	2,38	2,15	1,93	1,72
5,00	2,19	2,02	1,85	1,69	1,53
5,50	1,86	1,73	1,61	1,48	1,36
6,00	1,59	1,50	1,40	1,31	1,21
6,50	1,37	1,31	1,23	1,16	1,08
7,00	1,20	1,15	1,09	1,03	0,97
7,50	1,06	1,01	0,97	0,92	0,87
8,00	0,93	0,90	0,87	0,83	0,79
8,50	0,83	0,81	0,78	0,75	0,72
9,00	0,75	0,73	0,70	0,68	0,65
9,50	0,67	0,66	0,64	0,62	0,60
10,00	0,61	0,60	0,58	0,56	0,55

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 0 m a 3 m da terra), ossia la distribuzione del campo su piani fuori terra paralleli al suolo.


Btot a 0 m dal suolo
Btot a 0,5 m dal suolo
Btot a 1 m dal suolo
Btot a 1,5 m dal suolo
Btot a 2 m dal suolo
Btot a 2,5 m dal suolo
Btot a 3 m dal suolo
Intensità del campo magnetico [uT]
Distanza dall'asse centrale [m]
-15
-10
-5
0
5
10
15

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 all'asse centrale ad 1m dal piano di calpesio, pari a 10,38 μT, superiore all'obiettivo di qualità fissato dalla norma, ma comunque inferiore al limite di esposizione di 100 μT.
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 circa 3,50 m, alla quale il campo residuo risulta essere pari a 2,92 μT.
Pertanto, relativamente all'elettrodotto costituito da 8 terne (caso D), viene individuata una fascia di rispetto complessiva di 9 m, centrata sull'asse del cavidotto (DPA pari a 4,50 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.
Innanzitutto, è stata presa in considerazione la posa dei cavi di massima sezione possibile (630 mm^2). Il valore reale dei campi risulterà, quindi, inferiore a quello calcolato, laddove la sezione dei cavi è inferiore a quella usata per il calcolo.
Inoltre, 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 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 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.

5.3. 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 36kv posata a trifoglio;
- CASO B: Linea elettrica in cavo interrato costituita da 2 terne cavi 36kV posata a trifoglio;
- CASO C: Linea elettrica in cavo interrato costituita da 3 terne cavi 36kV posata a trifoglio;
- CASO D: Linea elettrica in cavo interrato costituita da 5 terne cavi 36kV posata a trifoglio;
- CASO F: Linea elettrica in cavo interrato costituita da 8 terne cavi 36kV posata a trifoglio;

Tali casistiche sono riferite alle sezioni costituite da cavi di sezione 630 mm^2, 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.

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	36kV	185 - 300 mm^2	Qualunque	0 m
cavo interrato posa a trifoglio	36 kV	630 mm^2	1 (caso A)	0 m
	36 kV		2 (caso B)	1,3 m
	36 kV		3 (caso C)	2.1 m
	36 kV		5 (caso D)	2,7 m
	36 kV		8 (caso E)	4.5 m

6. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DAGLI AEROGENERATORI

Le principali componenti dell'aerogeneratore che risultano essere fonte di campi elettromagnetici sono il generatore elettrico ed il trasformatore BT/36kV.

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.

7. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DALL'EDIFICIO CONSEGNA

L'Edifico 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):

- Condutture in cavo interrato o in aria a tensione nominale 36 kV;

Le altre possibili sorgenti di onde elettromagnetiche di minore rilevanza (linee di BT, trasformatori 36kV/BT, 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 a 36KV rispetto al perimetro dell'area della sottostazione. Tali distanze, per sistemi con caratteristiche analoghe a quelle della sottostazione in oggetto, risultano essere:

- circa 7 m dal centro sbarre a 36KV.

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**.

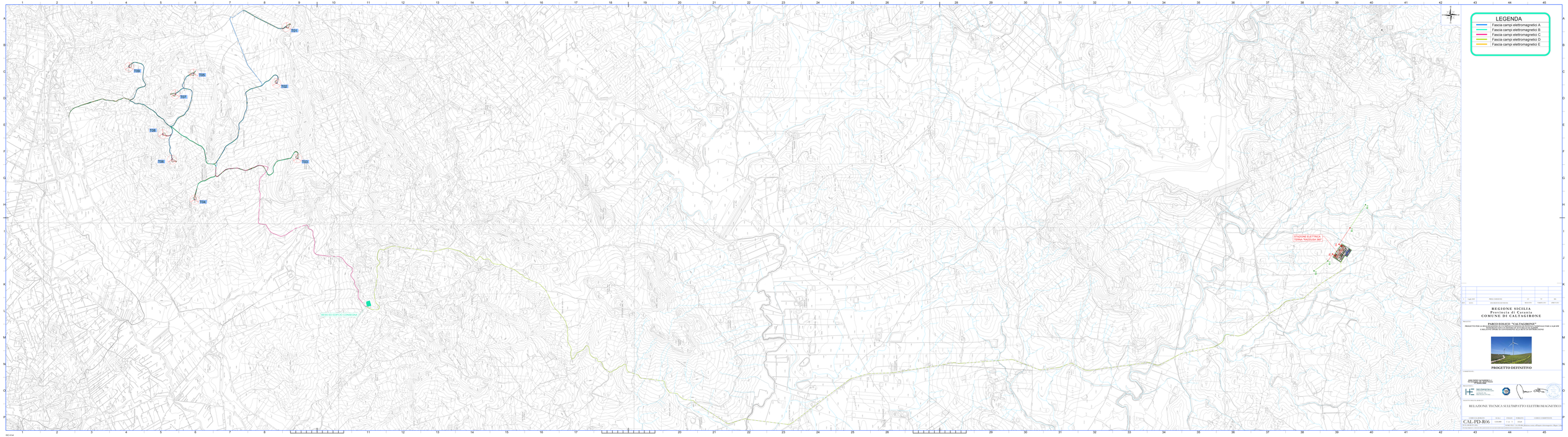
8. CONCLUSIONI

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 185-300 mm^2) i campi elettromagnetici sono trascurabili, non è necessaria l'apposizione di alcuna fascia di rispetto. 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.
  - nel caso di cavi unipolari posati a trifoglio (sezione 630 mm2) 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.
- **Aerogeneratori:** campi elettromagnetici trascurabili, non è necessaria l'apposizione di alcuna fascia di rispetto.
- **Edificio Consegna:** Per l'edificio si è fatto riferimento al calcolo del campo elettromagnetico dovuto agli elettrodotti in ingresso/uscita allo stesso. La DPA ricade all'interno dell'area di pertinenza.

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.

1. ALLEGATO A: DPA ELETTRODOTTI



LEGENDA

- Fascia campi elettromagnetici A
- Fascia campi elettromagnetici B
- Fascia campi elettromagnetici C
- Fascia campi elettromagnetici D
- Fascia campi elettromagnetici E

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	01.12.2021	PRIMA EMISSIONE			

REGIONE SICILIA
PROVINCIA DI ENNA
COMUNE DI CALTAGIRONE

OGGETTO:

PARCO EOLICO "CALTAGIRONE"

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DELL'IMPIANTO EOLICO DENOMINATO "CALTAGIRONE" DI POTENZA PARI A 24,0 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE DI DISTRIBUZIONE

PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE:

WIND PARKS CALTAGIRONE S.r.l.
Via Tiziano, 32 - 00196 ROMA
P.IVA 16.883.441.009

PROGETTISTA:

TECHNO ENGINEERING S.r.l.
Ing. Giuseppe Maria Carlo Marino
Ordine degli Ingegneri di Palermo n. 2475

ELABORATO:

RELAZIONE TECNICA SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO

CODICE ELABORATO	SCALA	FORMATO	FOGLIO	COMMESSA	CODICE COMMITTENTE
CAL-PD-R06	VARIE	A4	1 DI 1	20-47	

NOME FILE: CAL-PD-R06_Relazione tecnica sull'impatto elettromagnetico.Rev00.1.0.dwg

ISO A1/A4