

REGIONE
SICILIANA



COMUNE DI
SALEMI



COMUNE DI
MARSALA



Il Committente:

NP Sicilia 2

NP Sicilia 2 S.r.l.

Via San Marco, 21
20121 MILANO
P.IVA - C.F. 12844470968

Il Progettista:



dott. ing. VITTORIO RANDAZZO



dott. ing. VINCENZO DI MARCO



Titolo del progetto:

PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"
POTENZA NOMINALE 39,6 MW

Elaborato:

PROGETTO DEFINITIVO

Codice Elaborato:

NPS2_SAL_D09_REL

TITOLO ELABORATO:

Calcolo dei campi elettromagnetici

FOGLIO:

SCALA:

FORMATO:

A4

Rev:	Data	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
0			G.Z.	V.D.	V.R.

	PARCO EOLICO “CELISO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 1

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	2
2. QUADRO NORMATIVO	3
2.1 Indicazioni Generali	3
2.2 Riferimenti Normativi.....	3
3. FONTI DI EMISSIONE.....	6
4. MODELLO DI CALCOLO.....	8
5. RISULTATI DEI CALCOLI CAVIDOTTO A 36 kV	11
6. RIEPILOGO DETERMINAZIONE DELLE FASCE DI RISPETTO	31

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 2

1. INTRODUZIONE

Su incarico di NP Sicilia 2 s.r.l., la società AGON Engineering S.r.l. ha redatto il progetto definitivo relativo alla realizzazione di un impianto eolico nei comuni di Salemi (TP) e Marsala (TP).

Il progetto prevede l'installazione di n. 6 nuovi aerogeneratori con potenza unitaria di 6,6 MW, per una potenza complessiva di impianto pari a 39,6 MW. All'impianto verrà altresì affiancato un sistema di storage avente una potenza nominale pari a 13,4 MW, corrispondente a una capacità di accumulo di ca. 54 MWh.

Nel dettaglio, tutti gli aerogeneratori ricadono all'interno del territorio afferente al comune di Salemi (TP), mentre la viabilità di esercizio, il cavidotto di collegamento alla rete elettrica nazionale, interesseranno sia il comune di Salemi (TP) sia quello di Marsala (TP).

Nel territorio comunale di Salemi (TP) sarà realizzata una Stazione Utente (SU), dove giungeranno i cavidotti provenienti sia dal parco eolico, sia dall'impianto di storage in oggetto, e dalla quale partirà una doppia terna che verrà collegata alla RTN (Rete Trasmissione Nazionale) in antenna a 36 kV previa realizzazione di una nuova stazione elettrica di trasformazione (SE) a 220/36 kV della RTN, inserita in entra - esce sulla linea RTN a 220 kV “Fulgatore - Partanna”, nel territorio comunale di Marsala (TP).

Le attività di progettazione definitiva e di studio di impatto ambientale sono state sviluppate dalla società di ingegneria AGON Engineering S.r.l., che è costituita da selezionati e qualificati professionisti con decennale esperienza nell'ambito delle consulenze ingegneristiche, tecniche, ambientali e gestionali.

	PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 3

2. QUADRO NORMATIVO

2.1 INDICAZIONI GENERALI

Il DPCM 8 luglio 2003 stabilisce i limiti di esposizione ed i valori di attenzione per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) nonché, per il campo magnetico, anche un obiettivo di qualità ai fini della progressiva minimizzazione delle esposizioni.

Il sopracitato DPCM stabilisce, come limite di esposizione, il valore di 100 μ T per il campo magnetico, ed un valore di attenzione di 10 μ T nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori alle quattro ore giornaliere.

Per nuovi elettrodotti ed installazioni elettriche viene fissato l'obiettivo di qualità a 3 μ T in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenza non inferiori alle quattro ore giornaliere.

2.2 RIFERIMENTI NORMATIVI

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

	PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 4

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 211/6 "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"
- DPCM 8 luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti";
- Decreto Ministeriale 29 maggio 2008 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti";
- Norma CEI 11/60 (2a edizione) "portate al limite termico delle linee elettriche aeree esterne con tensione maggiore di 100 kV";
- Norma CEI 211/4" Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche";
- Norma CEI 20/21 "Calcolo delle portate dei cavi elettrici. Parte 1 in regime permanente
- Norma CEI 11/17 "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia – Linee in cavo".

Oltre a rispettare la normativa vigente, è necessario che:

- le linee ad Alta Tensione dovranno seguire, ove possibile, il percorso stradale;
- se la distanza del parco eolico dalla Rete di Trasmissione Nazionale è inferiore ad 1 km, le linee ad Alta Tensione devono confluire in un unico elettrodotto di collegamento, altrimenti l'eventuale elettrodotto di nuova installazione deve essere interrato;

	PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 5

- le linee interrate dovranno essere ad una profondità minima di 1 m, protette, accessibili nei punti di giunzione ed opportunamente segnalate;
- il valore del campo elettromagnetico dovuto alle linee elettriche da realizzare e/o potenziare non deve superare il valore previsto dalla Legge n. 36/2001.

In particolare, Il DPCM 22.02.2001 n. 36 detta i principi fondamentali diretti ad assicurare la tutela della salute dei lavoratori e della popolazione dagli effetti dell'esposizione a determinati livelli di campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, promuovere la ricerca scientifica per la valutazione degli effetti a lungo termine ed assicurare la tutela dell'ambiente e del paesaggio promuovendo l'innovazione tecnologica e le azioni di risanamento volte a minimizzare l'intensità e gli effetti dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici secondo le migliori tecnologie disponibili.

Nello specifico la legge trova applicazione, tra l'altro, agli elettrodotti intesi come insieme di linee elettriche e sottostazione di utenza.

In base alla legge quadro, per esposizione si intende la condizione di una persona soggetta a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici. In base alla medesima legge, si intende per limite di esposizione il valore del campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, definito ai fini della tutela della salute, da effetti acuti, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori.

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 6

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:

- tutte le linee elettriche a servizio del parco:
 - elettrodotto di interconnessione fra gli aerogeneratori del sottocampo;
 - elettrodotto di vettoriamento dell'energia prodotta dai sottocampi verso la stazione di utenza;
- le cabine elettriche;
- Le altre possibili sorgenti di onde elettromagnetiche di minore rilevanza (linee ed apparecchiature in BT, trasformatori, ecc.), sono da considerarsi non significative ai fini della valutazione del campo elettromagnetico indotto, come peraltro riscontrato anche nella letteratura di settore.

Di seguito verrà data una caratterizzazione delle sorgenti appena individuate.

Il DPCM 08.07.2003 fissa limiti di esposizione (indicati nella Tabella 1) e valori di attenzione per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento ed all'esercizio degli elettrodotti, e stabilisce un obiettivo di qualità per il campo magnetico, ai fini della progressiva minimizzazione delle esposizioni.

Gli stessi limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità non si applicano ai lavoratori esposti per ragioni professionali.

A tutela delle esposizioni a campi con frequenze comprese tra 0 Hz e 100 kHz generati da sorgenti non riconducibili agli elettrodotti, in base al DPCM, si applica l'insieme delle restrizioni di cui alla Raccomandazione CE 12.07.1999 n.99-519 pubblicata nella G.U.C.E. n.199 del 30.07.1999 relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz.

	PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 7

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 aree 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'arco 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 e delle nuove aree di cui sopra in prossimità delle linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio)	3 μT (da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio)

Tabella 1: Valori limite fissati dal DPCM 08/07/2003.

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 8

4. MODELLO DI CALCOLO

Con il D.M. 29.05.2008 DPCM 08.07.2003 viene approvata la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti elaborata dall’Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i Servizi Tecnici nel rispetto dei principi della Legge Quadro n.36/2001 e del D.P.C.M. 08.07.2003.

La metodologia approvata dal D.M. Ambiente 29.05.2008, elaborata dall’ARPAT ai sensi dell’art.6 comma 2 del DPCM 08.07.2003, ha lo scopo di fornire la procedura per la determinazione delle fasce di rispetto pertinenti alle linee elettriche aeree ed interrato, esistenti ed in progetto, che devono attribuirsi ove sia applicabile, in base allo stesso DPCM, l’obiettivo di qualità.

Secondo la metodologia ARPAT, per “Fascia di rispetto” si intende lo spazio circostante un elettrodotto, che comprende tutti i punti, al di sopra ed al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un’induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all’obiettivo di qualità, con la conseguenza che, in base all’art.4 comma 1 lettera h della Legge Quadro n.36/2001, all’interno delle fasce di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario ovvero ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore; in particolare, la determinazione della fascia di rispetto è finalizzata alla definizione del volume, attorno ai conduttori, al cui interno si potrebbe avere una induzione magnetica superiore a 3 μ T e non all’individuazione della proiezione verticale al suolo di detto volume, come invece definito in maniera semplificata dalla procedura di calcolo della Dpa.

In base alla stessa metodologia, per “Distanza di prima approssimazione” (Dpa) per le linee si intende la distanza, in pianta sul livello del suolo, dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più di Dpa si trovi all’esterno delle fasce di rispetto.

Pertanto, per linee elettriche aeree e no, lo spazio costituito da tutti i punti caratterizzati da valori di induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all’obiettivo di qualità, definisce

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 9

attorno ai conduttori un volume e, la superficie di questo volume delimita la fascia di rispetto pertinente ad una o più linee elettriche aeree e non.

Come detto, gli elementi costituenti un parco eolico che possono essere considerati possibili sorgenti di inquinamento elettromagnetico sono gli aerogeneratori, la sottostazione elettrica di utenza, la stazione RTN, la rete di alta tensione (AT).

Al fine di valutare l'effettiva importanza di tali macchine, si considera che ogni generatore elettrico, necessario per trasformare la potenza elettrica, sia situato ad una quota superiore ai 80 m rispetto al terreno. Per cui il contributo all'inquinamento elettromagnetico dovuto alle componenti interne dell'aerogeneratore è del tutto trascurabile.

La rete di alta tensione all'interno del parco eolico ha lo scopo di collegare tra loro gli aerogeneratori e di convogliare l'energia prodotta alla stazione di utenza, con una tensione di 36 kV.

Tale rete viene interrata ad una profondità di 1,20 m con formazione a trifoglio su strada asfaltata, profondità di 1,10 m con formazione a trifoglio su terreno agricolo, per schermare l'emissione del campo elettro-magnetico, per cui può essere sistemata anche in prossimità di centri abitati, ma è necessario che siano calcolate le relative fasce di rispetto a 3 μ T, nel rispetto della normativa vigente.

Per il calcolo di tali fasce di rispetto, si fa riferimento alla norma CEI 106 e al Decreto del 29/05/08 emanato dal Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare recante "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti".

La corrente utilizzata per il calcolo del campo magnetico tiene conto del fatto che la rete di alta tensione all'interno del parco eolico non è impiegata alla distribuzione di energia elettrica, ma al convogliamento dell'energia prodotta dagli aerogeneratori.

Il valore del campo magnetico viene valutato ad 1 metro dal suolo, come previsto dall'art. 5 del DPCM 08/07/03 e dalla guida CEI 211-6, anche in virtù del fatto che nel caso di linee elettriche interrate i campi elettrici già al di sopra delle linee sono insignificanti e sempre minori rispetto alle linee aeree grazie all'effetto schermante del rivestimento del cavo e del terreno.

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 10

Per la corrente è stato considerato il valore massimo generato da ciascun aerogeneratore, pari a 222,84 A (a cui corrisponde un valore di circa 334,27 A per l'intera dorsale, nel tratto ove la potenza trasportata è maggiore) ed il valore massimo della corrente (894,75 A) sulla dorsale di collegamento alla stazione Terna. Si sono trascurati gli effetti schermanti dello schermo metallico del cavo. Le assunzioni fatte appaiono estremamente cautelative, considerando che la corrente dei generatori può ridursi notevolmente in funzione della variabilità delle condizioni meteorologiche nel corso della giornata (secondo il citato DPCM, i limiti del campo sono da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore giornaliere nelle normali condizioni di esercizio).

L'algoritmo di calcolo utilizza il seguente modello semplificato:

- tutti i conduttori costituenti la linea sono considerati rettilinei, orizzontali, di lunghezza infinita e paralleli tra loro;
- i conduttori sono considerati di forma cilindrica con diametro costante;
- nel caso di conduttori a fascio, supponendo che tutti i sub conduttori siano uguali tra loro e che, in relazione alla sezione normale del fascio, i loro centri giacciono sulla circonferenza circoscritta al fascio, si sostituisce al fascio di sub conduttori un conduttore unico di opportuno diametro equivalente;
- tensione e corrente su ciascun conduttore attivo sono considerati in fase tra di loro;

	PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 11

5. RISULTATI DEI CALCOLI CAVIDOTTO A 36 kV

Per fornire una panoramica dei valori attesi di campo magnetico lungo i percorsi delle linee in cavo interrato, Si sono considerate le seguenti sezioni (vedi Tabella 2), attraversate dai valori più alti di corrente. (La numerazione delle Linee è data in relazione a quella utilizzata per il Dimensionamento dei cavi).

Sezione	Descrizione	Linee	Torri aerogeneratori connesse	Corrente max [A]
Sezione 1	Sezione attraversata da 1 terna	Linea 1	Torri 1-2-3	334,27
Sezione 2	Sezione attraversata da 2 terne	Linea 1 Linea 2	Torri 1-2-3 Torri 4-5	334,27 222,84
Sezione 3	Sezione attraversata da 3 terne	Linea 1 Linea 2 Linea 3	Torri 1-2-3 Torri 4-5 Torre 6	334,27 222,84 111,42
Sezione 4	Sezione attraversata da 2 terne a 400 mm ² (doppia terna in parallelo)	Linea 5	Intero Impianto	894,75

Tabella 2: Dati di progetto per la valutazione del campo magnetico

NP Sicilia 2	PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"	Agon engineering		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTRIMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 12
		entropé srl		



Foto 1 - Sezione 1



Foto 2 - Sezione 2

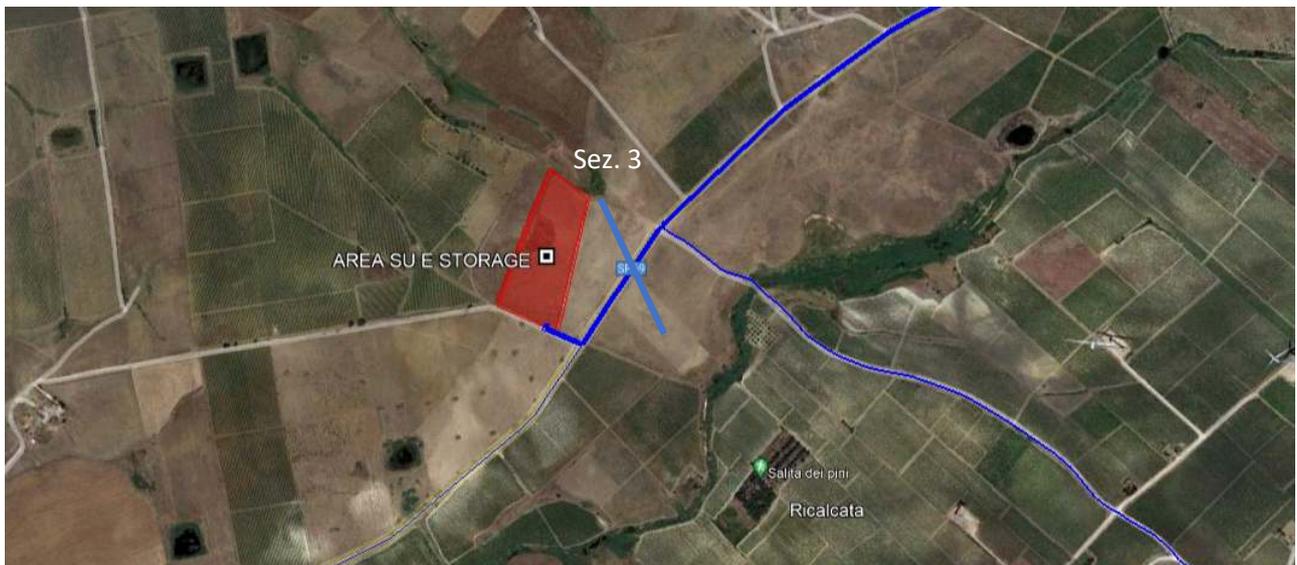


Foto 3 Sezione 3

	PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 14



Foto 4 - Sezione 4

I cavi unipolari sono in rame a formazione rigida compatta, con tipo di isolatore in mescola speciale di gomma ad alto modulo, schermatura a filo di rame rosso più nastro o fascetto e guaina in polietilene e posati ad una profondità minima di 1,20 m con formazione a trifoglio su strada asfaltata, e profondità di 1,10 m con formazione a trifoglio su terreno agricolo.

La profondità di posa influisce notevolmente sulla riduzione dei campi magnetici, pertanto nonostante la profondità di posa minima dettata dalle norme sia di 1,1 metri, i casi di profondità maggiore risultano essere una scelta migliorativa.

Il campo elettrico risulta ridotto in maniera significativa, anche, per l'effetto combinato dovuto alla speciale guaina schermante del cavo oltre che dalla presenza del terreno, che presenta una conducibilità elevata, e ad una disposizione oculata dei conduttori all'interno del cavidotto.

La riduzione così operata del campo elettrico consente agli individui di avvicinarsi maggiormente ai conduttori stessi; pertanto, poiché il campo elettrico risulta ampiamente

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”			
		CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1

entro i limiti di legge, sia nel caso della potenza effettiva calcolata sia nel caso di potenza nominale, non verrà considerato nelle analisi e grafici che seguono per quanto riguarda i cavidotti AT.

Per il calcolo del campo magnetico dei cavidotti i dati da considerare sono:

- La tensione nominale della rete $V = 36 \text{ kV}$;
- La corrente nominale alla quale è sottoposto il singolo tratto di cavo (da tabella 2);
- La sezione di cavo del singolo tratto della rete;

SEZIONE 1

Per quanto concerne il caso di una singola terna di cavi interrati 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.

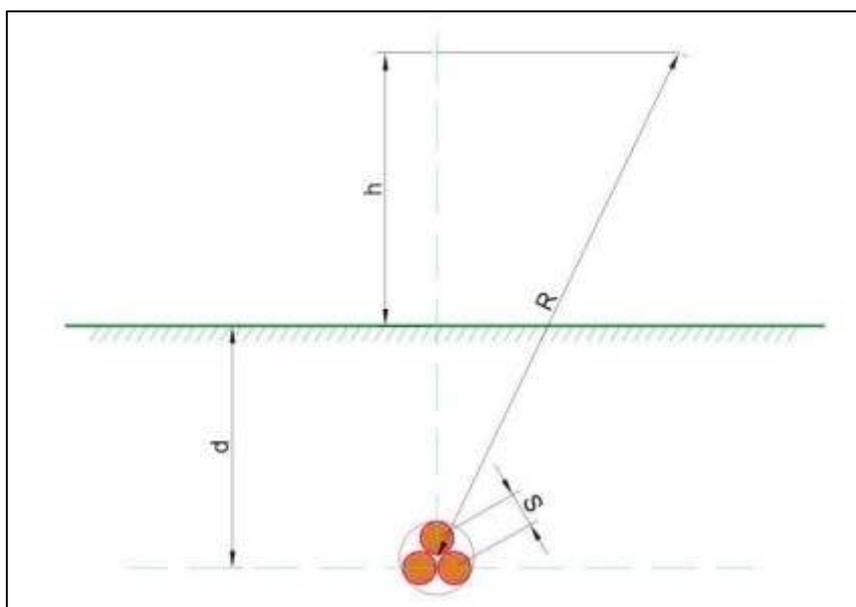


Foto 4 – Modello di calcolo per 1 terna a trifoglio

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 16

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:

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

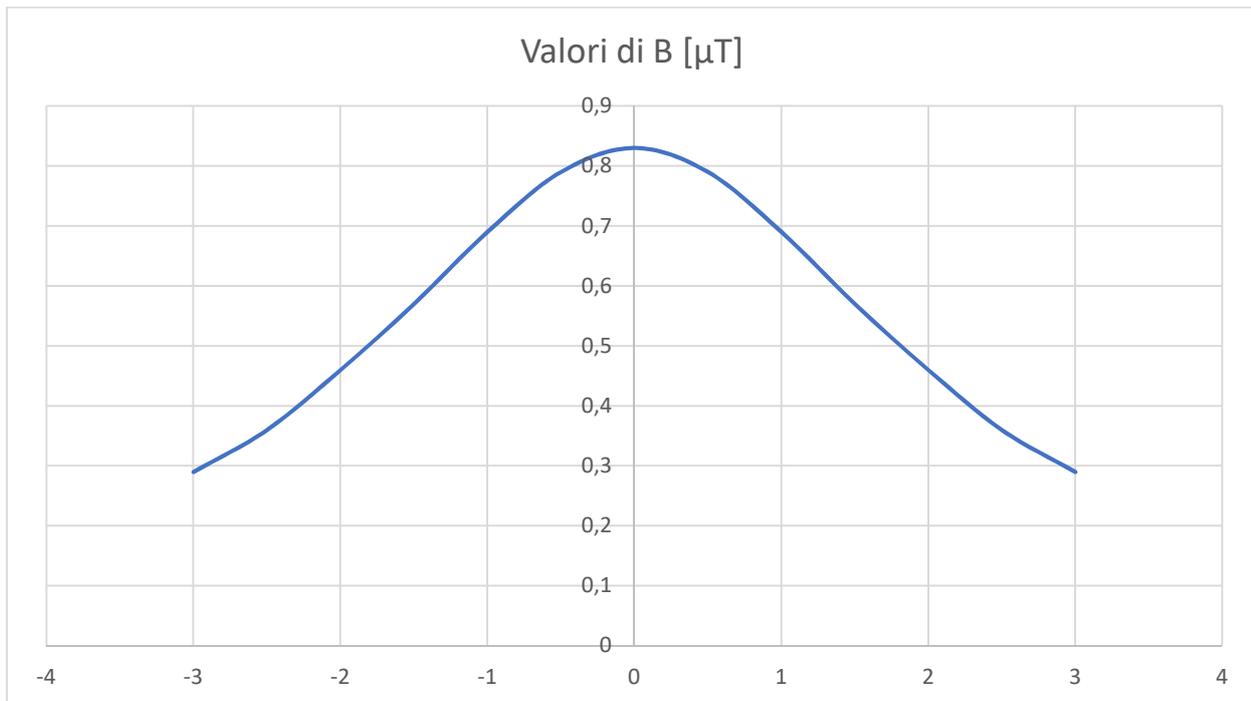
Dove B [μ T] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal conduttore centrale, S [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti (ipotizzata a 52,6 mm), percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a I [A].

Di seguito vengono riportati i risultati del caso in esame considerando una profondità di posa di 1,1 m, una corrente di impiego di 334,27 calcolando il valore di B a distanza di 0,5 - 1 - 1,5 - 2 - 2,5 - 3 m dall'asse centrale:

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 17

Distanza dall'asse centrale [m]	B _{tot} a 1,1 m dal suolo [μT]
-3,00	0,29
-2,50	0,36
-2,00	0,46
-1,50	0,57
-1,00	0,69
-0,50	0,79
0,00	0,83
0,50	0,79
1,00	0,69
1,50	0,57
2,00	0,46
2,50	0,36
3,00	0,29

Tabella 3: Valori della distribuzione, con un intervallo di campionamento dei valori in ascissa (ossia della distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m



Ricordando che l'obiettivo da rispettare per il caso in esame è l'obiettivo di qualità, pari a 3 μ T, si rileva che il cavidotto oggetto di studio produce un campo magnetico massimo, in corrispondenza all'asse centrale sul piano di calpestio, pari a 0,83 μ T. Per il caso in esame, quindi, risulta pertanto rispettato il valore limite di esposizione pari a 100 μ T lungo tutto il percorso dei cavi, e non risulta necessario apporre alcuna fascia di rispetto ulteriore rispetto a quella asservita alla presenza del cavo stesso.

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 19

SEZIONE 2

Per quanto concerne il caso di due o più terne di cavi interrati di alta tensione posati a trifoglio, la norma CEI 106-11 al cap.6.2.3 indica le modalità di calcolo. Come fatto in precedenza, si terrà conto nel seguito per il modello del sistema di cavi unipolari posati a trifoglio e non elicordati, come di seguito riportato:

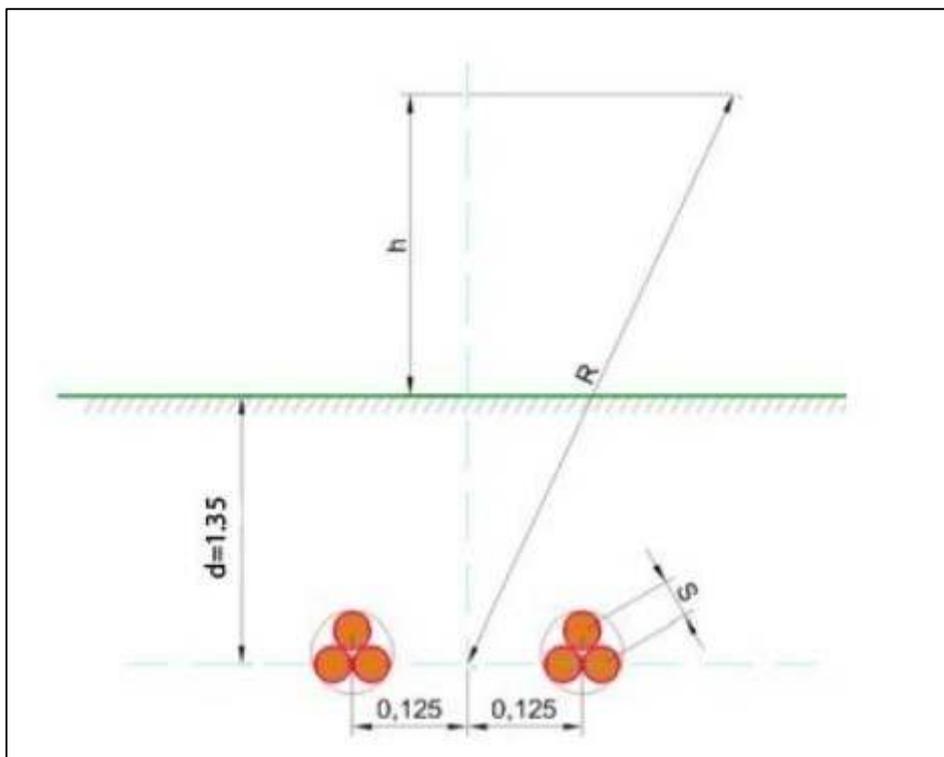


Foto 5 – Modello di calcolo per 2 o più terne a trifoglio

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:

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

	PARCO EOLICO “CELISO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 20

dove B [μT] in questo caso è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal centro del sistema (baricentro delle due terne di cavi).

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 tre terne, e fissando l'asse centrale del sistema coincidente con la terna centrale, si può calcolare il campo magnetico generato dall'elettrodotto attraverso la seguente formula:

$$B_{tot} = 0,1 * \sqrt{6} * \left[\frac{S_1 * I_1}{(x - x_1)^2 + (y - d)^2} + \frac{S_2 * I_2}{(x - x_2)^2 + (y - d)^2} \right]$$

Dove:

- $S_1=0,049$ m;
- $S_2=0,045$ m;
- $I_1=334,27$ A;
- $I_2= 222,84$ A;
- $d=1,1$ m;
- $x_1 =-0,125$ m;
- $x_2= 0,125$ m

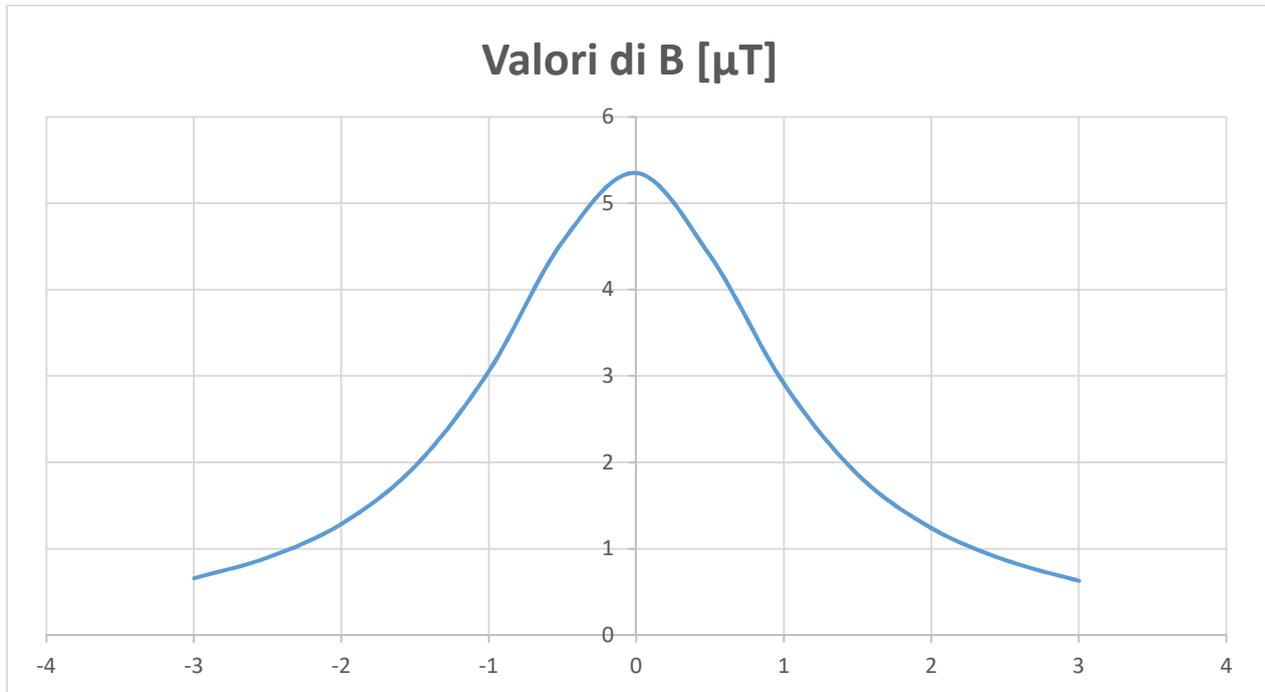
	PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 21

Di seguito vengono riportati i risultati del caso in esame considerando una profondità di posa di 1,1 m, due correnti di impiego di 222,84 A e 334,27 A, calcolando il valore di B a distanza di 0,5 - 1 - 1,5 - 2 - 2,5 - 3 m dall'asse centrale:

Distanza dall'asse centrale [m]	B _{tot} a 1,1 m dal suolo [μ T]
-3,00	0,66
-2,50	0,90
-2,00	1,29
-1,50	1,96
-1,00	3,06
-0,50	4,56
0,00	5,35
0,50	4,39
1,00	2,91
1,50	1,86
2,00	1,24
2,50	0,87
3,00	0,63

Tabella 5: Valori della distribuzione, con un intervallo di campionamento dei valori in ascissa (ossia della distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m

	PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 22



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 il cavidotto oggetto di studio produce un campo magnetico massimo, in corrispondenza all'asse centrale sul piano di calpestio, pari a $5,35 \mu\text{T}$, 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 $h=1,1 \text{ m}$) 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 $1,01 \text{ m}$ (approssimata per eccesso a $1,10\text{m}$), alla quale il campo residuo risulta essere pari $3,00 \mu\text{T}$.

Pertanto, relativamente al cavidotto indicato in sez. 2 viene individuata una fascia di rispetto complessiva di $2,20 \text{ m}$, centrata sull'asse del cavidotto (DPA pari a $1,10 \text{ m}$), al di fuori della quale è garantito il rispetto dell'obiettivo di qualità richiesto.

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 23

SEZIONE 3

Per quanto concerne il caso di tre terne di cavi interrati di alta tensione posati a trifoglio, la norma CEI 106-11 al cap.6.2.3 indica le modalità di calcolo. Come fatto in precedenza, si terrà conto nel seguito per il modello del sistema di cavi unipolari posati a trifoglio e non elicordati, come di seguito riportato:

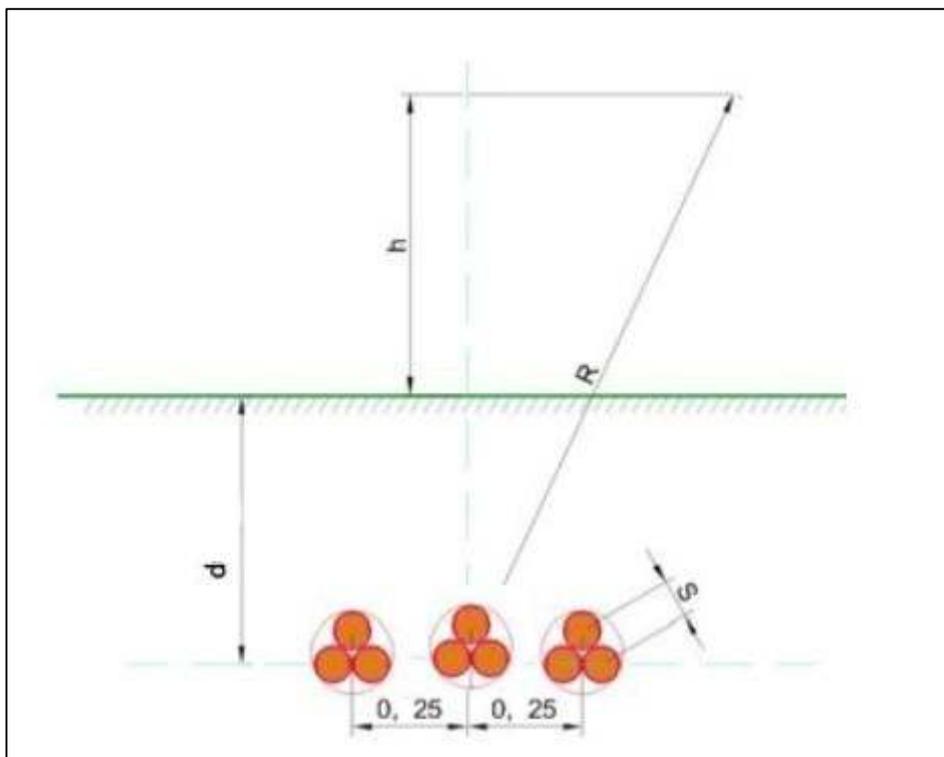


Foto 5 – Modello di calcolo per 2 o più terne a trifoglio

Con la differenza che, in questo caso, una delle tre terne di cavi sarà posizionata coincidente con l'origine degli assi e la distanza con le altre due sarà ± 25 cm.

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:

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

	PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 24

dove B [μT] in questo caso è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal centro del sistema (baricentro delle due terne di cavi).

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 tre terne, e fissando l'asse centrale del sistema coincidente con la terna centrale, si può calcolare il campo magnetico generato dall'elettrodotto attraverso la seguente formula:

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

Dove:

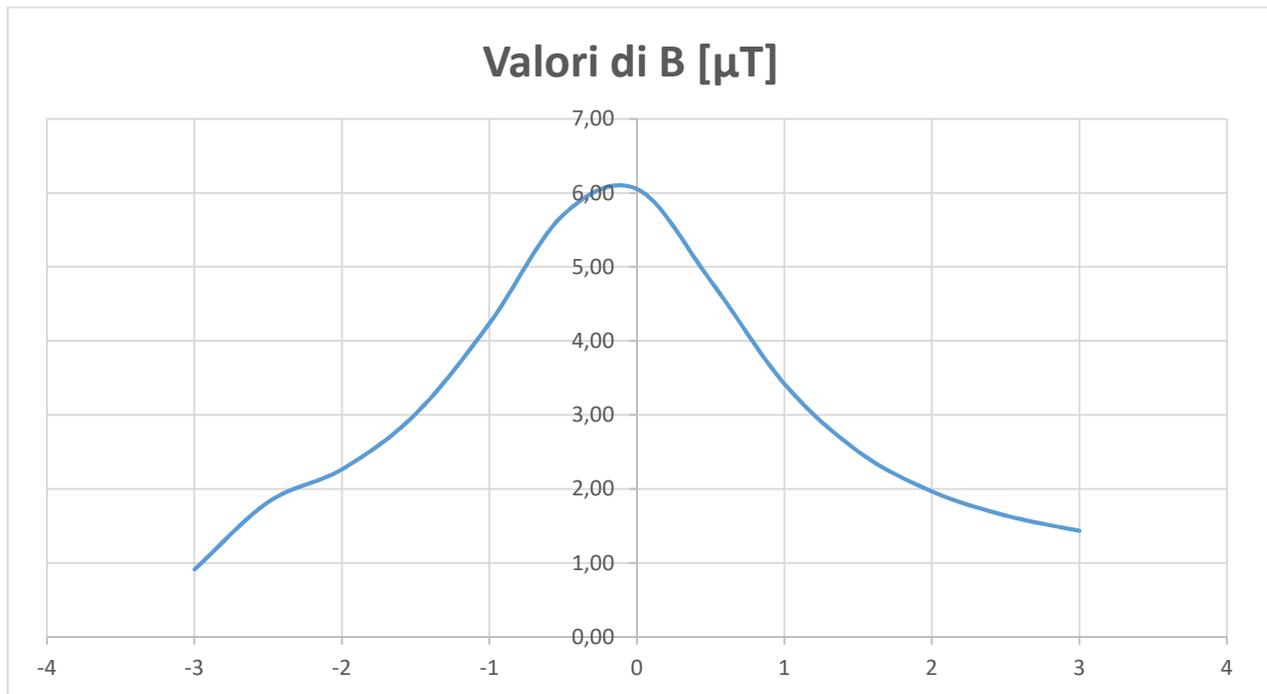
- $S_1=0,049$ m;
- $S_2=0,045$ m;
- $S_3=0,040$ m
- $I_1=334,27$ A;
- $I_2= 222,84$ A;
- $I_3=111,42$ A
- $d=1,1$ m;
- $x_1 =-0, 25$ m;
- $x_2= 0,00$ m
- $x_3= 0,25$ m

	PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 25

Di seguito vengono riportati i risultati del caso in esame considerando una profondità di posa di 1,1 m, le correnti di impiego di 222,84 A, 334,27 A e 111,42 A calcolando il valore di B a distanza di 0,5 - 1 - 1,5 - 2 - 2,5 - 3 m dall'asse centrale:

Distanza dall'asse centrale [m]	B _{tot} a 1,1 m dal suolo [μ T]
-3,00	0,92
-2,50	1,83
-2,00	2,27
-1,50	3,02
-1,00	4,24
-0,50	5,71
0,00	6,06
0,50	4,81
1,00	3,42
1,50	2,51
2,00	1,97
2,50	1,64
3,00	1,44

Tabella 5: Valori della distribuzione, con un intervallo di campionamento dei valori in ascissa (ossia della distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m



Ricordando che l'obiettivo da rispettare per il caso in esame è l'obiettivo di qualità, pari a 3 μ T, si rileva che il cavidotto oggetto di studio produce un campo magnetico massimo, in corrispondenza all'asse centrale sul piano di calpestio, pari a 6,06 μ T, superiore all'obiettivo di qualità fissato dalla norma, ma comunque inferiore al limite di esposizione di 100 μ T.

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

Utilizzando tali valori per il calcolo, la DPA risulta essere pari a circa 1,8 m sul lato dove si trova la terna più caricata e 1,3 m dal lato della terna meno caricata, alla quale il campo residuo risulta essere pari 3,00 μ T.

Pertanto, relativamente al cavidotto indicato in sez. 3 viene individuata una fascia di rispetto complessiva di 2,0 m, centrata sull'asse del cavidotto, sul lato dove si trova la terna più caricata e 1,5 m, centrata sull'asse del cavidotto, dal lato della terna meno caricata al di fuori della quale è garantito il rispetto dell'obiettivo di qualità richiesto.

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”			
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTRMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 27

SEZIONE 4

Per quanto concerne il caso di due o più terne di cavi interrati di alta tensione posati a trifoglio, la norma CEI 106-11 al cap.6.2.3 indica le modalità di calcolo. Come fatto in precedenza, si terrà conto nel seguito per il modello del sistema di cavi unipolari posati a trifoglio e non elicordati, come di seguito riportato:

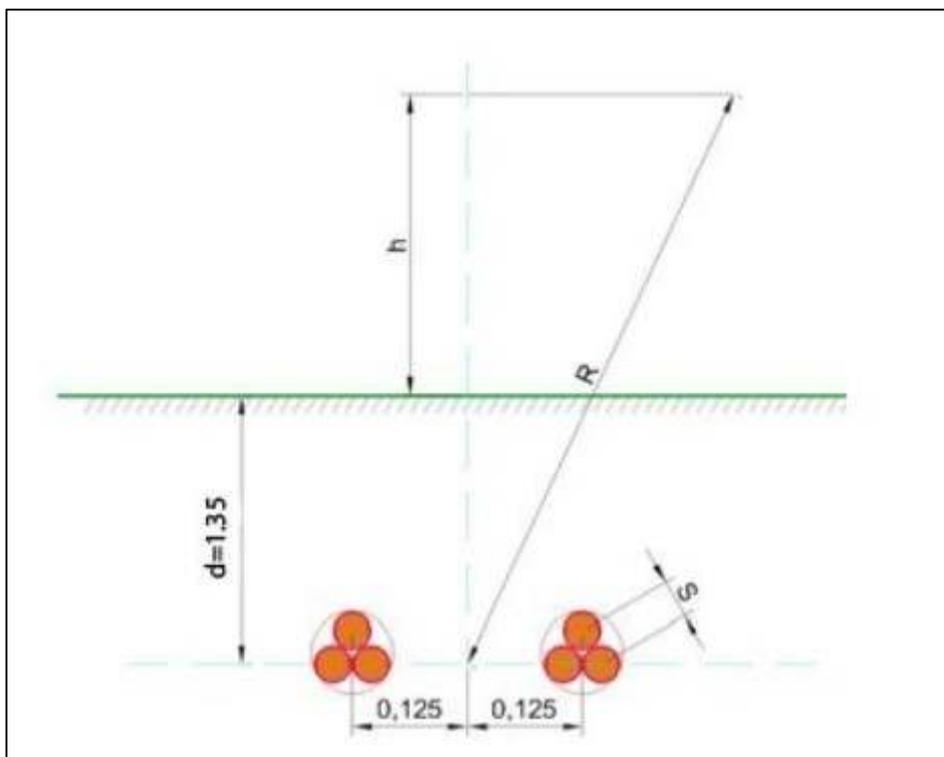


Foto 6 – Modello di calcolo per 2 terne a trifoglio

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:

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

	PARCO EOLICO “CELISO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 28

dove B [μT] in questo caso è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal centro del sistema (baricentro delle due terne di cavi).

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 tre terne, e fissando l'asse centrale del sistema coincidente con la terna centrale, si può calcolare il campo magnetico generato dall'elettrodotto attraverso la seguente formula:

$$B_{tot} = 0,1 * \sqrt{6} * \left[\frac{S_1 * I_1}{(x - x_1)^2 + (y - d)^2} + \frac{S_2 * I_2}{(x - x_2)^2 + (y - d)^2} \right]$$

Dove:

- $S_1 = S_2 = 0,055 \text{ m}$;
- $I_1 = I_2 = 447,375 \text{ A}$;
- $d = 1,1 \text{ m}$;
- $x_1 = -0,125 \text{ m}$;
- $x_2 = 0,125 \text{ m}$

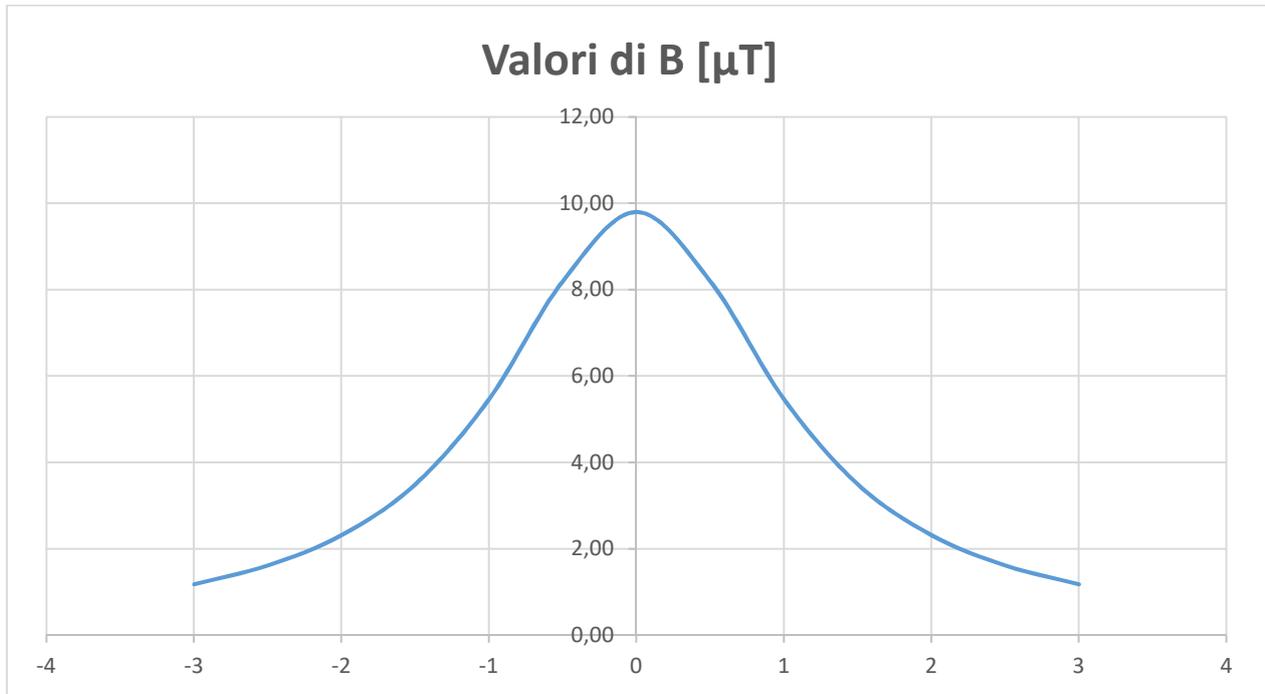
Di seguito vengono riportati i risultati del caso in esame considerando una profondità di posa di 1,1 m, una corrente di impiego di 894,75 A, calcolando il valore di B a distanza di 0,5 - 1 - 1,5 - 2 - 2,5 - 3 m dall'asse centrale:

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 29

Distanza dall'asse centrale [m]	B _{tot} a 1,1 m dal suolo [μ T]
-3,00	1,18
-2,50	1,62
-2,00	2,32
-1,50	3,50
-1,00	5,47
-0,50	8,20
0,00	9,80
0,50	8,20
1,00	5,47
1,50	3,50
2,00	2,32
2,50	1,62
3,00	1,18

Tabella 5: Valori della distribuzione, con un intervallo di campionamento dei valori in ascissa (ossia della distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 30



Ricordando che l’obiettivo da rispettare per il caso in esame è l’obiettivo di qualità, pari a 3 μT , si rileva che il cavidotto oggetto di studio produce un campo magnetico massimo, in corrispondenza all’asse centrale sul piano di calpestio, pari a 10,77 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 $h=1,1\text{ m}$) 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 1,77 m (approssimata per eccesso a 1,80m), alla quale il campo residuo risulta essere pari 3,00 μT .

Pertanto, relativamente al cavidotto indicato in sez. 3 viene individuata una fascia di rispetto complessiva di 3,60 m, centrata sull’asse del cavidotto (DPA pari a 1,80 m), al di fuori della quale è garantito il rispetto dell’obiettivo di qualità richiesto.

	PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25/05/2023	REV.1	Pag. 31

6. RIEPILOGO DETERMINAZIONE DELLE FASCE DI RISPETTO

Dai calcoli effettuati, le fasce di rispetto per l'obiettivo di qualità di 3 μ T, per le diverse sezioni considerate, sono (valore arrotondato al metro superiore):

Sezione	Descrizione	Larghezza Fascia [m]
Sezione 1	Sezione attraversata da 1 terna	N.A.
Sezione 2	Sezione attraversata da 2 terne	$\pm 1,10$
Sezione 3	Sezione attraversata da 3 terne	-2; + 1,5
Sezione 4	Sezione attraversata da 2 terne in parallelo	$\pm 1,80$

Tabella 6: Fasce di rispetto per l'obiettivo di qualità

Le fasce di rispetto sono state determinate al fine di verificare se qualche luogo adibito a permanenze continuative non inferiori a quattro ore giornaliere ai sensi del DPCM, ricadesse all'interno delle stesse.

Sulla base di quanto visionato durante il sopralluogo, si può concludere che, per la zona in oggetto, nessun luogo adibito a permanenze continuative non inferiori a quattro ore giornaliere ai sensi del DPCM, ricade all'interno delle fasce di rispetto.