

REGIONE SICILIA
PROVINCIA DI TRAPANI
COMUNI DI SALEMI MARSALA E TRAPANI

<p>IL COMMITTENTE</p> <div style="text-align: center; font-size: 2em; font-weight: bold; margin-top: 20px;"> NP Sicilia 2 </div>	<p style="text-align: center; margin-top: 20px;">NP Sicilia 2 S.r.l. Via Galleria Passarella, 2 20122 MILANO P.IVA - C.F. 12844470968</p>
--	---

<p>IL PROGETTISTA</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 10px;"> </div>	<p style="text-align: center; margin-top: 10px;">Dott. Ing. Vittorio Maria Randazzo</p> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p>Dott. Ing. Vincenzo Di Marco</p> </div>
---	--

<p>TITOLO DEL PROGETTO</p> <p style="text-align: center; font-size: 1.2em; font-weight: bold; margin-top: 10px;"><u>PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”</u></p> <p style="text-align: center; font-size: 1.2em; font-weight: bold; margin-top: 5px;"><u>POTENZA NOMINALE 39,6 MW</u></p>
--

<p>DOCUMENTO</p> <p style="font-weight: bold; margin-top: 5px;">PROGETTO DEFINITIVO</p>	<p>N° DOCUMENTO</p> <p style="font-weight: bold; margin-top: 5px;">NPS2_SAL_D09_REL</p>
---	---

--	--	--	--

<p style="font-weight: bold; margin: 0;">Calcolo dei campi elettromagnetici_var1</p>
--

--	--	--	--

Rev	Data	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
0				V.D.	V.R.
1	22/04/2024		G.Z.	V.D.	V.R.

	<p>PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”</p>	 		
	<p>CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI</p>	<p>22/04/2024</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 3</p>

INDICE

1. INTRODUZIONE	4
2. QUADRO NORMATIVO.....	6
2.1 INDICAZIONI GENERALI	6
2.2 RIFERIMENTI NORMATIVI	6
3. FONTI DI EMISSIONE	10
4. MODELLO DI CALCOLO	12
5. RISULTATI DEI CALCOLI CAVIDOTTO A 36 kV	15
6. DPA CABINA UTENTE 36/36 KV/KV	34
7. DPA STORAGE	35
8. RIEPILOGO DETERMINAZIONE DELLE FASCE DI RISPETTO	39

	<p align="center">PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”</p>	 		
	<p align="center">CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI</p>	<p align="center">22/04/2024</p>	<p align="center">REV.1</p>	<p align="center">Pag. 4</p>

1. INTRODUZIONE

La presente relazione è stata integrata a seguito di alcuni interventi in variante al progetto del parco eolico di NP Sicilia 2 s.r.l. denominato “CELSO PESCES” sito nei comuni di Salemi (TP) e Marsala (TP), di potenza pari a 36,9 MW. La presentazione dell’istanza di VIA è stata effettuata in data 20/06/2023, con l’avvio della consultazione pubblica in data 28/06/2023 e avente codice di procedura (ID_VIP7ID_MATTM) 9949.

Gli interventi di cui alla presente variante hanno l’obiettivo di ridurre al minimo l’impatto ambientale potenziale generato dall’opera, soprattutto in termini di impatto paesaggistico e di interferenze/cumulo con altri impianti e progetti incidenti sul territorio, mantenendo il pieno rispetto delle normative vigenti in materia ambientale. In estrema sintesi, le modifiche apportate al progetto prevedono:

ricollocazione dell’aerogeneratore WTG 5;

ricollocazione della Cabina Utente (CU) e dello Storage.

Su incarico di NP Sicilia 2 s.r.l., le società Entrope s.r.l. e AGON Engineering s.r.l. hanno redatto il progetto definitivo già presentato al MASE il 20/06/2023 e si sono occupate di redigere il progetto a seguito delle modifiche sopra presentate.

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 il cavidotto di collegamento alla rete elettrica nazionale, interesserà sia il comune di Salemi (TP) sia quello di Marsala (TP).

Nel territorio comunale di Trapani (TP) sarà realizzata una Cabina Utente (CU), dove giungeranno i cavidotti provenienti sia dal parco eolico, sia dall’impianto di storage in oggetto

	<p>PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”</p>	 		
	<p>CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI</p>	<p>22/04/2024</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 5</p>

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 Trapani (TP).

Le attività di progettazione definitiva e di studio di impatto ambientale sono state sviluppate dalle società di ingegneria Entrope s.r.l. e AGON Engineering s.r.l., le quali sono costituite da selezionati e qualificati professionisti con decennale esperienza nell’ambito delle consulenze ingegneristiche, tecniche, ambientali e gestionali.

	<p align="center">PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"</p>	 		
	<p align="center">CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI</p>	<p align="center">22/04/2024</p>	<p align="center">REV.1</p>	<p align="center">Pag. 6</p>

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";

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	22/04/2024	REV.1	Pag. 7

- 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 211/6 "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

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	22/04/2024	REV.1	Pag. 8

- 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;
- 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

NP Sicilia 2	PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"	 
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTRROMAGNETICI	22/04/2024 REV.1 Pag. 9

acuti, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori.

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	22/04/2024	REV.1	Pag. 10

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 sotto-campo;
 - elettrodotto di vettoriamento dell'energia prodotta dai sotto-campi verso la stazione di utenza;

Le altre possibili sorgenti di onde elettromagnetiche di minore rilevanza (linee ed apparecchiature in BT, inverter bidirezionali, 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.

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	22/04/2024	REV.1	Pag. 11

n.199 del 30.07.1999 relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz.

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	22/04/2024	REV.1	Pag. 12

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 interrate, 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 $3 \mu\text{T}$ 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.

	<p>PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”</p>	 		
	<p>CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI</p>	<p>22/04/2024</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 13</p>

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 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 agli 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 cabina di utenza, con una tensione di 36 kV.

Tale rete viene interrata ad una 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.

	<p>PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”</p>	 		
	<p>CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI</p>	<p>22/04/2024</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 14</p>

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.

Per la corrente è stato considerato il valore massimo generato da ciascun aerogeneratore, pari a 111,42 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	22/04/2024	REV.1	Pag. 15

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.

Sezione	Descrizione	Linee	Torri aerogeneratori connesse	Corrente nominale [A]
Sezione 1	Sezione attraversata da 1 terna – 1 torre	Linea 1	Torri 1 - 2	111,42
Sezione 2	Sezione attraversata da 1 terna - 3 torri	Linea 1	Torri 1 – 3 - 2	334,27
Sezione 3	Sezione attraversata da 2 terne – 6 torri	Linea 1 Linea 2	Torri 1 – 3 - 2 Torri 4 – 5 - 6	334,27 334,27
Sezione 4	Sezione attraversata da 1 linea – 6 torri - doppia terna	Linea 4	CU – SE Terna	894,75
Sezione 5	Sezione attraversata da 2 linea – 6 torri – CU/SE con doppia terna	Linea 1 Linea 2 Linea 4	Torri 1 – 3 - 2 Torri 4 – 5 - 6 CU – SE Terna	334,27 334,27 894,75

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



Foto 1 Sezione 1 -Sezione 2

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”		 	
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTRIMAGNETICI		22/04/2024	REV.1



Foto 2 Sezione 3



Foto 3 Sezione 4 – Sezione 5

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	22/04/2024	REV.1	Pag. 18

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 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;

	<p>PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”</p>	 		
	<p>CALCOLO DEI CAMPI ELETTRIMAGNETICI</p>	<p>22/04/2024</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 19</p>

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.

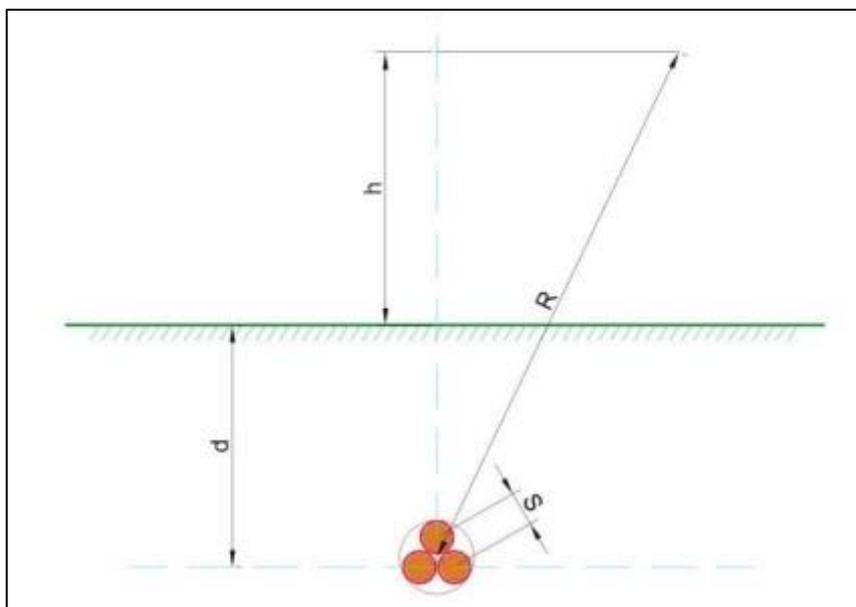


Foto 4 – Modello di calcolo per 1 terna a trifoglio

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	22/04/2024	REV.1	Pag. 20

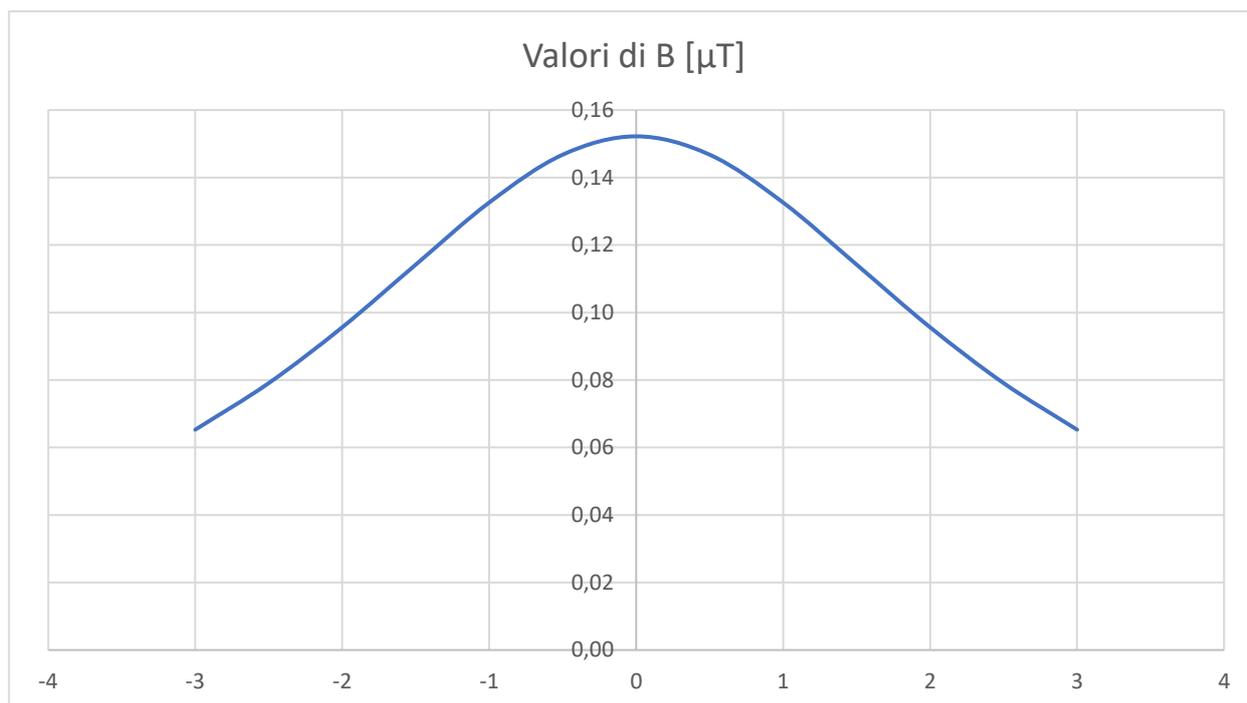
Dove B [μT] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal conduttore centrale, S [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti (ipotizzata a 37,7 mm), percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a I [A].

Di seguito vengono riportati i risultati del caso in esame considerando una profondità di posa di 1,1 m, una corrente di impiego di 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 [μT]
-3,00	0,07
-2,50	0,08
-2,00	0,10
-1,50	0,11
-1,00	0,13
-0,50	0,15
0,00	0,15
0,50	0,15
1,00	0,13
1,50	0,11
2,00	0,10
2,50	0,08
3,00	0,07

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	22/04/2024	REV.1	Pag. 21

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 µT, si rileva che il cavidotto oggetto di studio produce un campo magnetico massimo, a 1,1 m dal suolo, pari a 0,15 µT; mentre in corrispondenza all’asse centrale sul piano di calpestio è pari a 0,46 µT. Per il caso in esame, quindi, risulta pertanto rispettato sia il valore limite di esposizione pari a 100 µT sia l’obbiettivo di qualità 3 µT lungo tutto il percorso dei cavi e non risulta necessario apporre alcuna fascia di rispetto.

	<p>PARCO EOLICO “CELISO-PESCES”</p>	 		
	<p>CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI</p>	<p>22/04/2024</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 22</p>

SEZIONE 2

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.

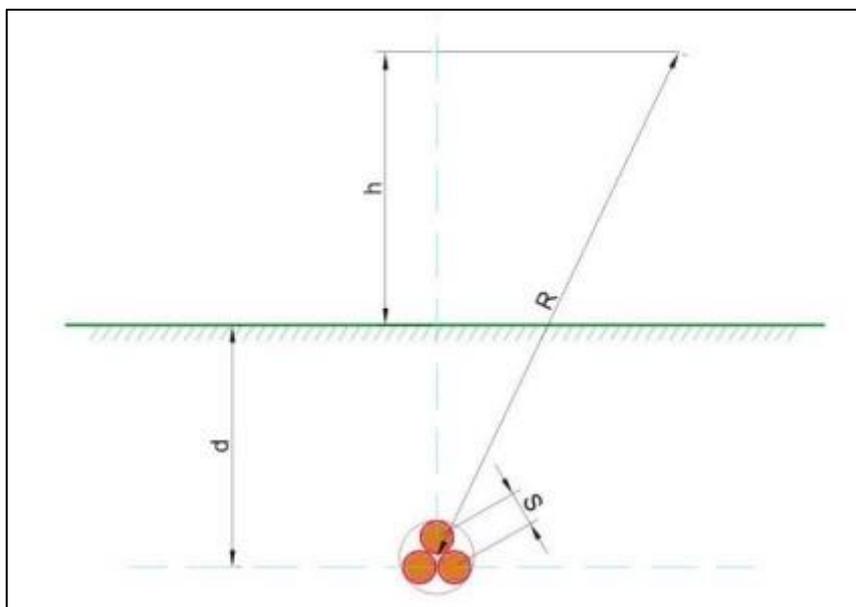


Foto 4 – Modello di calcolo per 1 terna a trifoglio

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	22/04/2024	REV.1	Pag. 23

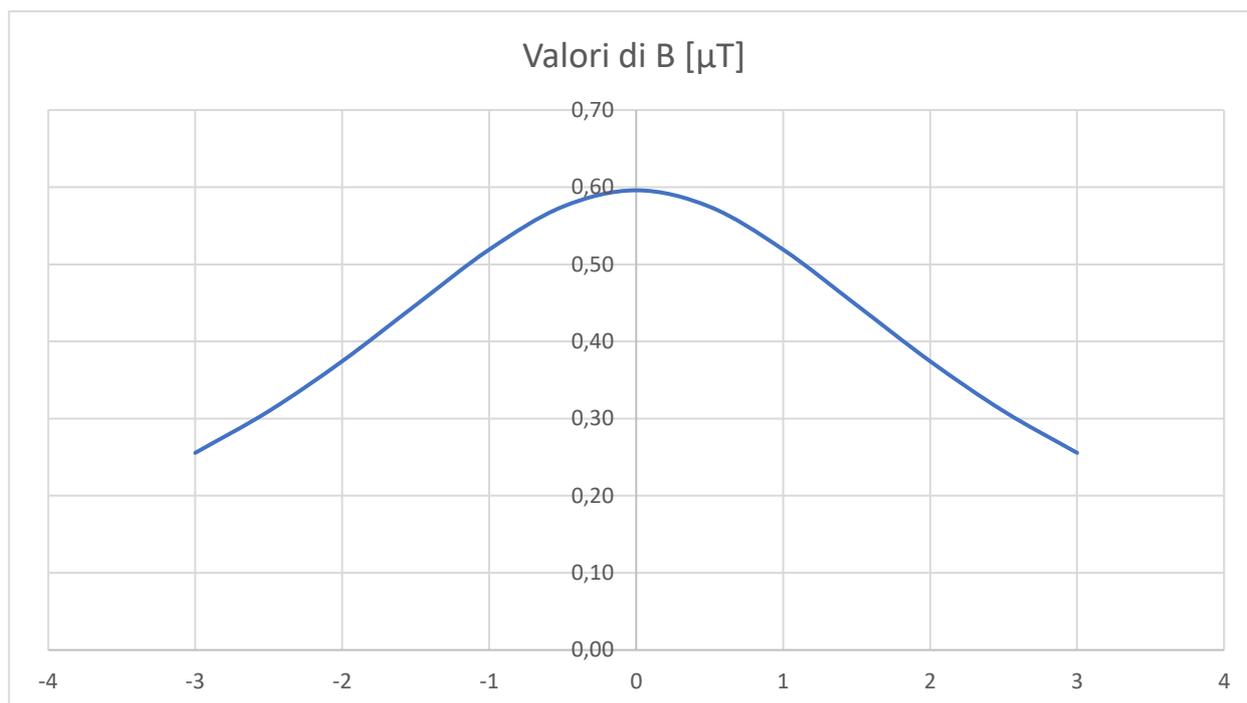
Dove B [μT] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal conduttore centrale, S [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti (ipotizzata a 49,2 mm), percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a I [A].

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 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 [μT]
-3,00	0,26
-2,50	0,31
-2,00	0,37
-1,50	0,45
-1,00	0,52
-0,50	0,57
0,00	0,60
0,50	0,57
1,00	0,52
1,50	0,45
2,00	0,37
2,50	0,31
3,00	0,26

	PARCO EOLICO “CELISO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	22/04/2024	REV.1	Pag. 24

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 µT, si rileva che il cavidotto oggetto di studio produce un campo magnetico massimo, a 1,1 m dal suolo, pari a 0,60 µT; mentre, in corrispondenza all’asse centrale sul piano di calpestio, è pari a 1,79 µT. Per il caso in esame, quindi, risulta pertanto rispettato sia il valore limite di esposizione pari a 100 µT sia l’obbiettivo di qualità 3 µT lungo tutto il percorso dei cavi e non risulta necessario apporre alcuna fascia di rispetto.

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”		 	
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTRICI		22/04/2024	REV.1

SEZIONE 3

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:

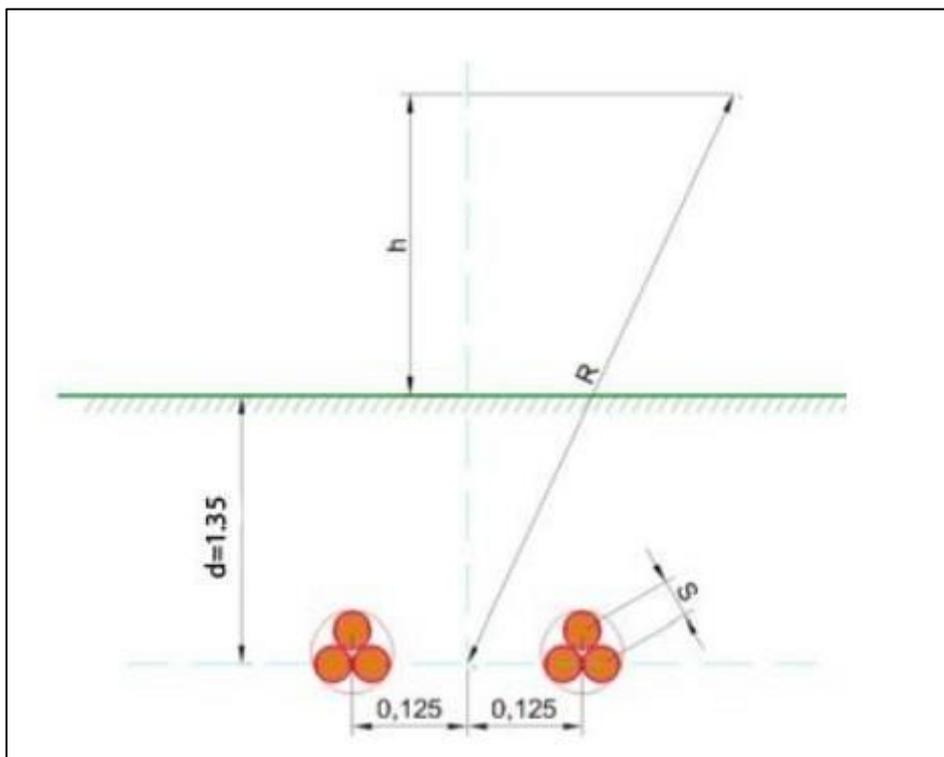


Foto 6 – Modello di calcolo per 2 o più terne a trifoglio

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:

	<p align="center">PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”</p>	 		
	<p align="center">CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI</p>	<p>22/04/2024</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 26</p>

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

dove B [μ T] 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 due terne, e fissando l'asse centrale del sistema coincidente con il punto mediano fra le terne, 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:

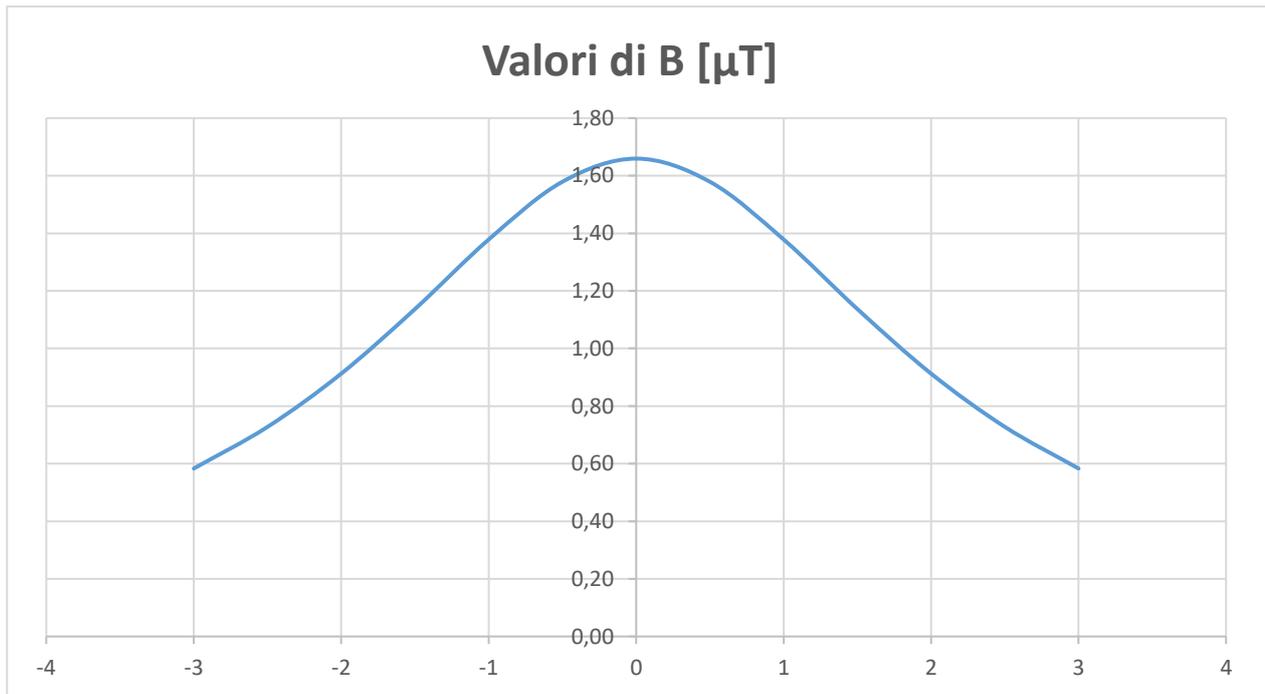
- $S_1 = S_2 = 0,0492$ m;
- $I_1 = I_2 = 334,27$ A;
- $d = 1,1$ m;
- $x_1 = -0,125$ m;
- $x_2 = 0,125$ m

	<p align="center">PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”</p>	 		
	<p align="center">CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI</p>	<p>22/04/2024</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 27</p>

Di seguito vengono riportati i risultati del caso in esame considerando una profondità di posa di 1,1 m, due correnti di impiego entrambi paria a 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	0,58
-2,50	0,73
-2,00	0,91
-1,50	1,14
-1,00	1,38
-0,50	1,58
0,00	1,66
0,50	1,58
1,00	1,38
1,50	1,14
2,00	0,91
2,50	0,73
3,00	0,58

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 in corrispondenza all'asse centrale sul piano di calpestio è pari a 6,57 μ T (superiore all'obiettivo di qualità fissato dalla norma ma comunque inferiore al limite di esposizione di 100 μ T) mentre il valore massimo a 1,1 m dal suolo risulta pari a 1,66 μ T. Per interpolazione dei dati risulta una DPA di ca 1,2 m dall'asse del cavidotto, tale valore risulta inferiore alla fascia asservita al cavidotto ($\pm 2,0$ m) e si può quindi ritenere non necessario apporre alcuna fascia aggiuntiva.

	<p>PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”</p>	 		
	<p>CALCOLO DEI CAMPI ELETTRICI</p>	<p>22/04/2024</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 29</p>

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:

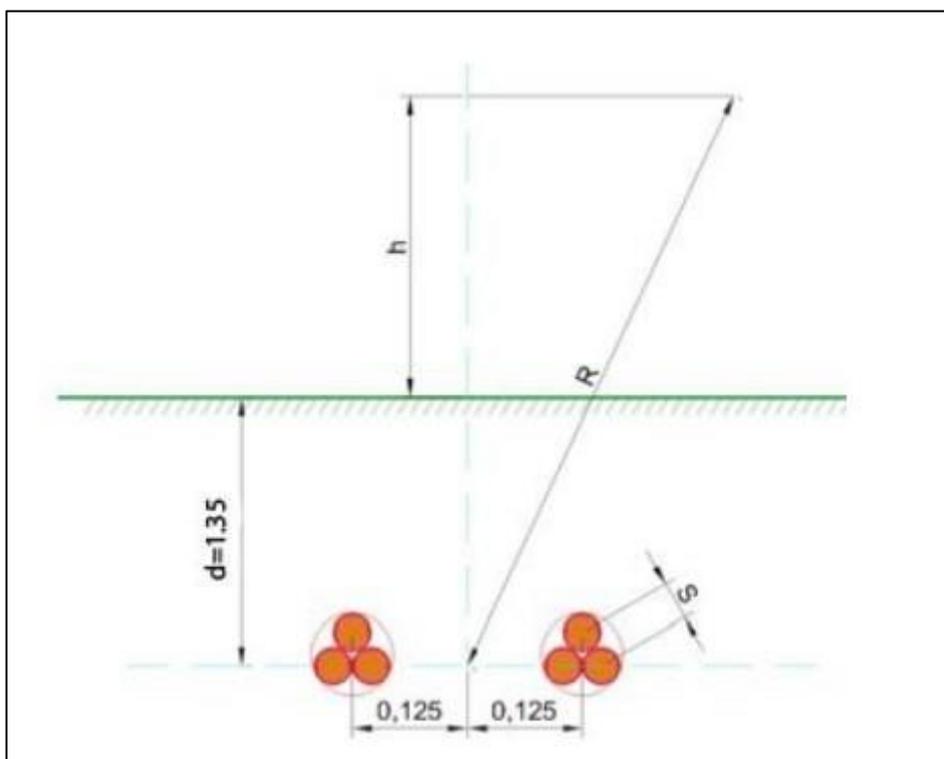


Foto 6 – Modello di calcolo per 2 o più terne a trifoglio

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:

	<p style="text-align: center;">PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”</p>	 		
	<p style="text-align: center;">CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI</p>	<p>22/04/2024</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 30</p>

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

dove B [μ T] 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 due terne, e fissando l'asse centrale del sistema coincidente con il punto mediano fra le terne, 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:

- $S_1 = S_2 = 0,0553$ m;
- $I_1 = I_2 = 447,375$ A;
- $d = 1,1$ m;
- $x_1 = -0,125$ m;
- $x_2 = 0,125$ m

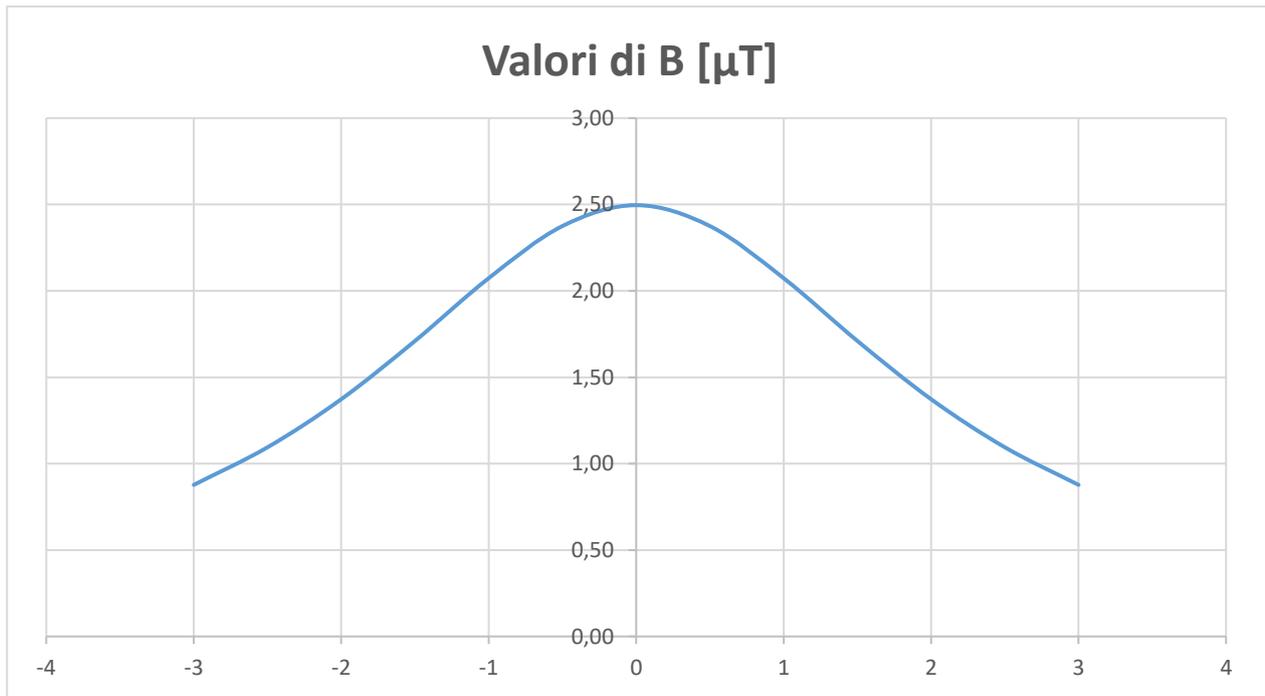
	<p align="center">PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”</p>	 		
	<p align="center">CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI</p>	<p>22/04/2024</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 31</p>

Di seguito vengono riportati i risultati del caso in esame considerando una profondità di posa di 1,1 m, due correnti di impiego entrambi paria a 447,375 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	0,88
-2,50	1,09
-2,00	1,37
-1,50	1,71
-1,00	2,07
-0,50	2,38
0,00	2,50
0,50	2,38
1,00	2,07
1,50	1,71
2,00	1,37
2,50	1,09
3,00	0,88

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	22/04/2024	REV.1	Pag. 32



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 in corrispondenza all'asse centrale sul piano di calpestio è pari a 9,88 μT (superiore all'obiettivo di qualità fissato dalla norma ma comunque inferiore al limite di esposizione di 100 μT) mentre il valore massimo a 1,1 m dal suolo risulta pari a 2,50 μT . Per interpolazione dei dati risulta una DPA di ca 1,4 m dall'asse del cavidotto, tale valore risulta inferiore alla fascia asservita al cavidotto ($\pm 2,0$ m) e si può quindi ritenere non necessario apporre alcuna fascia aggiuntiva.

SEZIONE 5

Per la sezione 5 vanno fatte alcune considerazioni preliminari: benché siano presenti 4 terne in AT 36 kV va considerato che esse trasmettono la stessa potenza e la stessa corrente in uguale direzione ma versi opposti, queste serie di terne corrono parallele per un tratto fuori dalle aree delle stazioni elettriche e, come detto, hanno correnti di verso opposto, ciò

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	22/04/2024	REV.1	Pag. 33

comporta che il contributo di due terne sia negativo rispetto alla somma vettoriale dei campi prodotti dalle altre due terne, risulta quindi evidente che la situazione sia riduttiva (in termini di calcolo della DPA) rispetto alla Sezione 4 e poiché in tale caso la fascia di DPA risultava interna alla fascia asservita ai cavidotti si può ragionevolmente considerare per la sezione 5 una fascia DPA interna alla fascia asservita ai cavidotti.

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	22/04/2024	REV.1	Pag. 34

6. DPA CABINA UTENTE 36/36 KV/KV

La Cabina Utente (CU) raccoglie l'energia generata dal parco eolico alla tensione di 36 kV e la immette sulla RTN attraverso il cavidotto precedentemente indicato come sezione 4.

In accordo con quanto riportato dal Decreto 29 maggio 2008 (GU n. 156 del 5 luglio 2008) § 5.2.2 si può ritenere che “la DPA rientra nel perimetro dell'impianto in quanto non vi sono livelli di emissione sensibili oltre detto perimetro” questo poiché le DPA dei singoli elementi costituenti la Cabina ricadono nelle aree perimetrare dalla CU stessa.

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	22/04/2024	REV.1	Pag. 35

7. DPA STORAGE

Le possibili sorgenti di onde elettromagnetiche presenti nell'impianto di Storage possono essere raggruppate in:

- Locale interruttori (Switchgear Room);
- Trasformatori elevatori;
- Inverter;
- Container batterie.

Le emissioni provenienti dagli inverter sono da considerarsi non significative ai fini della valutazione del campo elettromagnetico indotto, come peraltro riscontrato anche nella letteratura di settore; analoga considerazione può essere fatta per i containers batterie operanti in corrente continua e quindi non generanti campi magnetici varianti nel tempo: per le emissioni elettromagnetiche generate in corrente continua (DC) i VLE (Valori Limite di Esposizione) da applicare ai sensi del D.lgs 81/08 sono 2 T e 8 T così come riportato nella “Tabella A1, Allegato XXXVI – Parte II effetti non termici” sotto riportata e ampiamente al di sopra delle emissioni registrate in letteratura di settore.

Tabella: Tabella A1 –VLE per l'induzione magnetica esterna (B_0) per frequenze comprese tra 0 e 1 Hz

	VLE relativi agli effetti sensoriali [T]
Condizioni di lavoro normali	2
Esposizione localizzata degli arti	8
	VLE relativi agli effetti sanitari [T]
Condizioni di lavoro controllate	8

(nota: tale Tabella fissa gli stessi VLE per i campi variabili nel tempo con frequenze inferiori a 1 Hz)

Per il locale interruttori (Switchgear Room), in accordo con quanto riportato dal Decreto 29 maggio 2008 (GU n. 156 del 5 luglio 2008) § 5.2.2, si può ritenere che “la DPA rientra nel

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	22/04/2024	REV.1	Pag. 36

perimetro dell’impianto in quanto non vi sono livelli di emissione sensibili oltre detto perimetro” questo poiché le DPA dei singoli elementi costituenti la Cabina ricadono nelle aree perimetrata dalla CU stessa (si consideri, a titolo esplicativo, che il cavo in uscita dalla Switchgear Room trasporta l’intera corrente dello storage per un valore di ca 226 A e che il cavidotto produce un campo magnetico massimo, in corrispondenza all’asse centrale sul piano di calpestio, pari a ca 1,01 μT al di sotto del valore 3 μT).

Vanno trattati infine i trasformatori, presenti in n.5 isolati in resina della taglia di 6 MVA cadauno, che generano un campo magnetico composito.

Si consideri che, ai sensi del § 5.2 dell’allegato al Decreto 29 maggio 2008 (GU n. 156 del 5 luglio 2008), la fascia di rispetto deve essere calcolata simulando una linea trifase, con cavi paralleli, percorsa dalla corrente nominale BT in uscita dal trasformatore (I) e con distanza tra le fasi pari al diametro reale (conduttori + isolante) del cavo (x) (§ 5.2.1) applicando la seguente relazione:

$$Dpa = 0.40942 \cdot X^{0.5241} \cdot \sqrt{I}$$

Nella tabella successiva si riportano a titolo di esempio le distanze di prima approssimazione (Dpa) per fasce di 3 μT calcolate in alcuni casi reali.

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
		CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	22/04/2024	REV.1

Diametro dei cavi (m)	Tipologia trasformatore (kVA)	Corrente (A)	Dpa (m)
0.010	250	361	1
	400	578	1
	630	909	1.5
0.012	250	361	1
	400	578	1.5
	630	909	1.5
0.014	250	361	1
	400	578	1.5
	630	909	1.5
0.018	250	0.947	1.5
	400	1.199	1.5
	630	1.503	2
0.022	250	361	1.5
	400	578	1.5
	630	909	2
0.027	250	361	1.5
	400	578	2
	630	909	2.5
0.035	250	361	1.5
	400	578	2
	630	909	2.5

Tabella 1 Distanze di prima approssimazione (Dpa) per fasce di 3 μT calcolate in alcuni casi reali

Si prenda ora in considerazione il caso di un trasformatore tipo (in resina da 6 MVA e rapporto di trasformazione 0,578/36 kV) che riceve la piena potenza dell'impianto di accumulo ad esso annesso (n.2 inverter con potenza pari a 2.756 kW cadauno, ogni inverter ha, infatti, associato n.2 containers batteria con capacità di 4,8 MWh e rapporto capacità/potenza pari a 4/1), risulta quindi che:

1. La corrente in ingresso nel trasformatore sia pari a $2 \times I_{AC, inverter}$ dove $I_{AC, inverter}$ è la corrente in uscita da un inverter così calcolata

$$I_{AC, inverter} = \frac{P \text{ (kW)}}{V \text{ (kV)} \times \cos \phi \times \sqrt{3}} = \frac{2.756}{0,578 \times 1 \times \sqrt{3}} \text{ A} = 2.753 \text{ A};$$

2. Il diametro dei cavi X , compresi di isolante in uscita dal trasformatore lato MT, espressa in metri e pari a 0,0412 m.

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTRROMAGNETICI	22/04/2024	REV.1	Pag. 38

Applicando la formula per la Dpa di cui sopra si ottiene una distanza, approssimata, di 5,5 m. Volendo considerare i n.5 trasformatori posizionati uno di fianco all'altro ad una distanza di ca 3 m e volendo aumentare la Dpa laterale dei trasformatori ai due estremi del 50% (a favore di sicurezza), risulta un valore pari a ca 10 m, tale valore ricade ampiamente nel perimetro recintato dell'area di storage.

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	22/04/2024	REV.1	Pag. 39

8. 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:

Sezione	Descrizione	Larghezza Fascia [m]	DPA
Sezione 1	Sezione attraversata da 1 terna	N.A.	N.A.
Sezione 2	Sezione attraversata da 1 terna	N.A.	N.A.
Sezione 3	Sezione attraversata da 2 terne	$\pm 1,2$	$\pm 2,0$ m
Sezione 4	Sezione attraversata da 2 terne	$\pm 1,4$	$\pm 2,0$ m
Sezione 5	Sezione attraversata da 4 terne	N.A.	N.A.

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

Le DPA calcolate sono tutte inferiori all'area asservita al relativo cavidotto e non risulta quindi necessario apporre ulteriori fasce. Risulta inoltre che in tale aree non vi sono luoghi adibiti a permanenze continuative non inferiori a quattro ore giornaliere ai sensi del DPCM, ricadesse all'interno delle stesse.

	<p>PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”</p>	 		
	<p>CALCOLO DEI CAMPI ELETTRROMAGNETICI</p>	<p>22/04/2024</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 40</p>

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.