

REGIONE SICILIANA
Comune di Mazara del Vallo
Provincia di Trapani

PROPONENTE:
VRG Wind 060 S.r.l.

VRg wind 060

FICHTNER
ITALIA



**INGEGNERIA
PROGETTI** SRL

PROGETTO:

Integrale Ricostruzione del Parco Eolico "VRG Wind 060"
ubicato nel Comune di Mazara del Vallo (TP)

Elaborato: Q.2

Formato (A4)
Numero foglio -
scala -

Progetto definitivo

Elaborato:
Relazione sull'impatto elettromagnetico
dell'impianto

I progettisti

_____ Firma

_____ Firma

_____ Firma

_____ Firma

REV	DATA	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO	
01	17/03/2022	Ingegneria Progetti	Fichtner	VRG Wind 060 S.r.l.	Job: F614

Sommario

1. PREMESSA	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3. INQUADRAMENTO NORMATIVO	5
4. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO	8
4.1 Linee MT	9
5. METODOLOGIA DI CALCOLO CAMPO ELETTRICO	16
6. METODOLOGIA DI CALCOLO CAMPO MAGNETICO	16
6.1 Definizioni	16
6.2 Modello utilizzato	17
6.3 Metodo di calcolo	18
7. LINEE IN CAVO INTERRATO IN MEDIA TENSIONE	18
7.1 Determinazione del Campo Elettrico	18
7.2 Determinazione del Campo di induzione Magnetica	19
7.2.1 Simulazione S1 – 1 terna – Cavo sezione 300 mm²	21
7.2.2 Simulazione S2 – 1 terna – Cavo sezione 630 mm²	22
7.2.3 Simulazione S3 – 2 terne – Cavi sezione 300 mm² e 630 mm²	23
7.2.4 Simulazione S4 – 4 terne – Cavi sezione 630 mm²	24
7.3 Determinazione della distanza di prima approssimazione (DPA)	25
8. SOTTOSTAZIONE UTENTE (SSEU) DI TRASFORMAZIONE 150/30 kV	27
9. CONCLUSIONI	29

	RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	Q.2 01 19/07/2022 17/03/2023 3 di 29
---	---	--	--

1. PREMESSA

Descrizione del Proponente

Il soggetto proponente del progetto in esame è la società VRG Wind 060 S.r.l. con sede in Via Algardi 4, 20148 Milano, P.IVA n. 02219610819; interamente parte del gruppo Sorgenia S.p.A., uno dei maggiori operatori energetici italiani. Il Gruppo è attivo nella produzione di energia elettrica con oltre 4.750 MW di capacità di generazione installata e oltre 400.000 clienti in fornitura in tutta Italia. Efficienza energetica e attenzione all'ambiente sono le linee guida della sua crescita. Il parco di generazione, distribuito su tutto il territorio nazionale, è costituito dai più avanzati impianti a ciclo combinato e da impianti a fonte rinnovabile, per una capacità di circa 370 MW tra biomassa ed eolico. Nell'ambito delle energie rinnovabili, il Gruppo, nel corso della sua storia, ha anche sviluppato, realizzato e gestito impianti di tipo fotovoltaico (ca. 24 MW), ed idroelettrico (ca.33 MW). In quest'ultimo settore, Sorgenia è attiva con oltre 75 MW di potenza installata gestita tramite la società Tirreno Power, detenuta al 50%. Il Gruppo Sorgenia, tramite le sue controllate, fra le quali VRG Wind 060 S.r.l. è attualmente impegnata nello sviluppo di un importante portafoglio di progetti rinnovabili di tipo eolico, fotovoltaico, biometano, geotermico ed idroelettrico, caratterizzati dall'impiego delle Best Available Technologies nel pieno rispetto dell'ambiente.

Sintesi del progetto

Il Progetto prevede l'integrale ricostruzione (*repowering*) del Parco Eolico esistente di Mazara del Vallo, ricadente nei limiti amministrativi territoriali dei comuni di Mazara del Vallo (TP) e Salemi (TP), mentre dal punto di vista catastale le opere di progetto risultano individuate all'interno dei fogli del Comune di Mazara del Vallo, e di proprietà della società VRG Wind 060 S.r.l. (il soggetto proponente).

Il parco eolico esistente è costituito da

- 1) un vecchio impianto costituito da n. 24 aerogeneratori da 2 MW, per una potenza nominale complessiva di 48 MW;
- 2) un ampliamento più recente (in esercizio dal 2016) costituito da n. 6 aerogeneratori Vestas V126 da 3 MW, per una potenza nominale complessiva di 18 MW.

Il progetto di integrale ricostruzione prevede la dismissione del vecchio impianto di 24 aerogeneratori da 48 MW complessivi e l'installazione nelle stesse aree di 13 aerogeneratori di grande taglia, aventi diametro del rotore fino a 170 m, altezza al mozzo fino a 125 m e altezza totale fino a 210 m, ed una potenza nominale di 6 MW ciascuno, per una potenza totale di 78 MW.

	RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	Q.2 01 19/07/2022 17/03/2023 4 di 29
---	---	--	--

Il progetto rispetta i criteri del DL Semplificazioni¹, che specifica il numero massimo di turbine, l'altezza totale dell'estremità delle pale, nonché l'estensione dell'area di sito utilizzabile perché il progetto di repowering sia considerato una modifica non sostanziale.

Il progetto prevede il massimo riutilizzo della viabilità esistente a servizio del parco eolico attualmente in esercizio, con gli opportuni adeguamenti, e la realizzazione di nuove piazzole in corrispondenza della posizione dei nuovi aerogeneratori.

Il soggetto proponente ha richiesto la modifica della connessione alla rete elettrica dell'impianto esistente, e si propone di mantenere come punto di connessione quello già esistente alla Cabina Primaria a 150 kV "Mazara 2", di e-distribuzione S.p.A., situata nel Comune di Mazara del Vallo. Si prevede pertanto il riutilizzo della Sottostazione Elettrica di Utente (SSEU) e della connessione in alta tensione alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) esistenti, con interventi tecnici di adeguamento degli impianti alla nuova potenza del parco eolico.

La rete di cavi elettrici interrati a servizio del parco esistente sarà rinnovata, con la posa di nuovi cavidotti in media tensione a 30 kV disposti lungo la viabilità di servizio e pubblica, su tracciato -per quanto possibile - della rete esistente. I cavidotti collegheranno gli aerogeneratori alla SSEU, dove avviene la trasformazione da 30 kV a 150 kV per consentire la consegna dell'energia a 150 kV alla RTN.

Nella SSEU esistente rimarrà connesso alla rete anche l'ampliamento del parco eolico da 18MW in esercizio dal 2016.

I progetti del tipo in esame rispondono a finalità di interesse pubblico (riduzione dei gas ad effetto serra, risparmio di fonti fossili scarse ed importate) ed in quanto tali sono indifferibili ed urgenti, come stabilito dalla legge 1° giugno 2002, n. 120, concernente "Ratifica ed esecuzione del Protocollo di Kyoto alla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, fatto a Kyoto l'11 dicembre 1997" e dal D.Lgs. 29 dicembre 2003, n.387 "Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità" e s.m.i..

L'utilizzo di fonti rinnovabili comporta infatti beneficio a livello ambientale, in termini di tonnellate equivalenti di petrolio (TEP) risparmiate e mancate emissioni di gas serra, polveri e inquinanti. Per il progetto in esame si stima una producibilità del parco eolico superiore a 240 GWh/anno, che consente di risparmiare almeno 44.800 TEP/anno (fonte ARERA: 0,187 TEP/MWh) e di evitare almeno 107.784 ton/anno di emissioni di CO2 (fonte Rapporto ISPRA 2022: 449,1 gCO2/kWh).

La presente relazione riporta lo studio elettromagnetico relativo all'impianto sopra descritto.

¹ DL 77 del 31/05/2021 convertito con la Legge 108 del 29/07/2021, come modificato da DL 17/2022 convertito con la Legge 34/2022

	RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	Q.2 01 19/07/2022 17/03/2023 5 di 29
---	---	---	--

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Legge 22 febbraio 2001, n. 36 “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici”;
- DPCM 8 luglio 2003 “Fissazione dei limiti di esposizione, valori di attenzione ed obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti”;
- DM 29 maggio 2008, GU n. 156 del 5 luglio 2008, “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti”;
- "Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti" APAT;
- CEI 11-17 “Impianti di produzione, trasmissione, distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo”;
- CEI 20-21 “Calcolo della portata di corrente” (IEC 60287);
- 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 I”;
- Linea guida ENEL “Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche)

3. INQUADRAMENTO NORMATIVO

La normativa nazionale per la tutela della popolazione dagli effetti dei campi elettromagnetici disciplina separatamente le basse frequenze (es. elettrodotti) e le alte frequenze (es. impianti radiotelevisivi, stazioni radiobase, ponti radio).

Il 14 febbraio 2001 è stata approvata dalla Camera dei deputati la legge quadro sull'inquinamento elettromagnetico (L.36/01). In generale il sistema di protezione dagli effetti delle esposizioni agli inquinanti ambientali distingue tra:

- effetti acuti (o di breve periodo), basati su una soglia, per cui si fissano limiti di esposizione che garantiscono - con margini cautelativi - la non insorgenza di tali effetti;
- Effetti cronici (o di lungo periodo), privi di soglia e di natura probabilistica (all'aumentare dell'esposizione aumenta non l'entità ma la probabilità del danno), per cui si fissano livelli operativi di riferimento per prevenire o limitare il possibile danno complessivo.

È importante, dunque, distinguere il significato dei termini utilizzati nelle leggi (riportiamo nella tabella 1 le definizioni inserite nella legge quadro).

	RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	Q.2 01 19/07/2022 17/03/2023 6 di 29
---	---	--	--

Tabella 1: Definizioni di limiti di esposizione, di valori di attenzione e di obiettivi di qualità secondo la legge quadro

Limiti di esposizione	Valori di CEM che non devono essere superati in alcuna condizione di esposizione, ai fini della tutela dagli effetti acuti.
Valori di attenzione	Valori di CEM che non devono essere superati negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate. Essi costituiscono la misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti di lungo periodo.
Obiettivi di qualità	Valori di CEM causati da singoli impianti o apparecchiature da conseguire nel breve, medio e lungo periodo, attraverso l'uso di tecnologie e metodi di risanamento disponibili. Sono finalizzati a consentire la minimizzazione dell'esposizione della popolazione e dei lavoratori ai CEM anche per la protezione da possibili effetti di lungo periodo.

La normativa di riferimento in Italia per le linee elettriche è il DPCM del 08/07/2003 (G.U. n. 200 del 29.08.2003) "Fissazione dei limiti massimi di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti"; tale decreto, per effetto di quanto fissato dalla legge quadro sull'inquinamento elettromagnetico, stabilisce:

- I limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la tutela della salute della popolazione nei confronti dei campi elettromagnetici generati a frequenze non contemplate dal D.M. 381/98, ovvero i campi a bassa frequenza (ELF) e a frequenza industriale (50 Hz);
- I limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la tutela della salute dei lavoratori professionalmente esposti nei confronti dei campi elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 0 Hz e 300 GHz (esposizione professionale ai campi elettromagnetici);
- Le fasce di rispetto per gli elettrodotti.

Relativamente alla definizione di limiti di esposizione, valori di attenzione e obiettivi di qualità per l'esposizione della popolazione ai campi di frequenza industriale (50 Hz) relativi agli elettrodotti, il DPCM 08/07/03 propone i valori descritti in tabella 2, confrontati con la normativa europea.

	RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTRROMAGNETICO DELL'IMPIANTO Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	Q.2 01 19/07/2022 17/03/2023 7 di 29
---	--	--	--

Tabella 2: Definizioni di limiti di esposizione, di valori di attenzione e di obiettivi di qualità secondo la legge quadro

Normativa	Limiti previsti	Induzione magnetica B [μ T]	Campo Elettrico [V/m]
DPCM	Limite di esposizione	100	5.000
	Limite di attenzione	10	
	Obiettivo di qualità	3	
Racc. 1999/512/CE	Livelli di riferimento (ICNIRRP1998, OMS)	100	5.000

Il valore di attenzione di 10 μ T si applica nelle aree di gioco per l'infanzia, negli ambienti abitativi, negli ambienti scolastici e in tutti i luoghi in cui possono essere presenti persone per almeno 4 ore al giorno. Tale valore è da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

L'obiettivo di qualità di 3 μ T si applica ai nuovi elettrodotti nelle vicinanze dei sopraccitati ambienti e luoghi, nonché ai nuovi insediamenti ed edifici in fase di realizzazione in prossimità di linee e di installazioni elettriche già esistenti (valore inteso come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio). Da notare che questo valore corrisponde approssimativamente al livello di induzione prevedibile, per linee a pieno carico, alle distanze di rispetto stabilite dal vecchio DPCM 23/04/92.

Si ricorda che i limiti di esposizione fissati dalla legge sono di 100 μ T per lunghe esposizioni e di 1000 μ T per brevi esposizioni.

Per quanto riguarda la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, sentite le ARPA, ha approvato, con Decreto 29 maggio 2008, "La metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti".

Tale metodologia, ai sensi dell'art. 6 comma 2 del D.P.C.M. 8 luglio 2003, ha lo scopo di fornire la procedura da adottarsi per la determinazione delle fasce di rispetto pertinenti alle linee elettriche aeree e interrate, esistenti e in progetto. I riferimenti contenuti in tale articolo implicano che le fasce di rispetto debbano attribuirsi ove sia applicabile l'obiettivo di qualità: "Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree di gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione di nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio" (Art. 4). Al fine di semplificare la gestione territoriale e il calcolo delle fasce di rispetto è stato introdotto nella metodologia di calcolo un

	RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTRIMAGNETICO DELL'IMPIANTO Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	Q.2 01 19/07/2022 17/03/2023 8 di 29
---	---	--	--

procedimento semplificato che trasforma la fascia di rispetto (volume) in una distanza di prima approssimazione (distanza).

Infine, in questa relazione, si richiamano le principali Norme CEI:

- CEI 211-7 "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz – 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana";
- 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";

In particolare, per quanto riguarda il calcolo dell'induzione magnetica e la determinazione delle fasce si è tenuto conto delle indicazioni tecniche previste nel decreto del 29 maggio 2008 e nella Norma CEI 106-11, nelle quali viene ripreso il modello di calcolo normalizzato dalla Norma 211-4 e vengono proposte, in aggiunta, delle formule analitiche approssimate che permettono il calcolo immediato dell'induzione magnetica a una data distanza dal centro geometrico della linea elettrica.

4. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

Nell'esercizio degli impianti eolici i campi elettromagnetici si manifestano a frequenza di 50 Hz, frequenza bassa alla quale corrispondono lunghezze d'onda in aria molto grandi (6.000 km). Il campo elettrico e quello magnetico agiscono in modo indipendente l'uno dall'altro e sono calcolati e misurati separatamente.

I campi elettrici sono prodotti dalle cariche elettriche e la loro intensità viene misurata in Volt al metro (V/m) o in chiloVolt al metro (kV/m). La loro intensità è massima vicino al dispositivo e diminuisce con la distanza; vengono schermati dalla maggior parte dei materiali di uso comune, anche dal terreno nel caso di linee in cavo interrate.

I campi magnetici sono, invece, prodotti dal moto delle cariche elettriche, cioè dalla corrente. La loro intensità si misura in Ampere al metro (A/m), ma è spesso espressa in termini di una grandezza corrispondente, l'induzione magnetica, che si misura in Tesla (T), milliTesla (mT) o microTesla (μ T). Sono massimi vicino alla sorgente e diminuiscono con la distanza e non vengono schermati dalla maggior parte dei materiali di uso comune che ne vengono facilmente attraversati.

Le opere elettriche di impianto sulle quali rivolgere l'attenzione al fine della valutazione dell'impatto elettrico e magnetico sono di seguito descritte:

- Cavidotti MT di collegamento tra gli aerogeneratori, detti "cavidotti interni";
- Cavidotti MT di collegamento alla SSEU, detti "cavidotti esterni";
- SSEU 150/30 kV.

	RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	Q.2 01 19/07/2022 17/03/2023 9 di 29
---	---	--	--

Nella presente relazione non sarà presa in considerazione la Cabina Primaria a 150 kV "Mazara 2" perché già esistente.

4.1 Linee MT

Il collegamento tra i diversi aerogeneratori e tra questi la Sottostazione Elettrica di Utente (SSEU) e la Cabina Primaria Cabina Primaria a 150 kV "Mazara 2" verranno realizzati con cavi MT del tipo ARE4H5E 18/30 (36) kV, o equivalenti, con conduttore in alluminio, con isolamento in XLPE a spessore ridotto, guaina esterna maggiorata in PE, a tenuta d'acqua e resistente all'impatto, che permette la posa direttamente interrata senza armatura e senza l'adozione di opere addizionali come previsto dalla norma CEI 11-17, temperatura di impiego estesa fino a 105 °C che permette un range di impiego più ampio e quindi la possibilità di trasportare una corrente maggiore in condizioni normali.

Le sezioni calcolate, per i collegamenti interni e i collegamenti esterni, sono pari a 300 e a 630 mm², le quali presentano le seguenti caratteristiche:

- **Sigla ARE4H5E 18/30 kV 300 mm²**
 - Diametro del conduttore 20,7 mm
 - Diametro sull'isolante 34,9 mm
 - Diametro esterno 48 mm
 - Peso approssimativo 2.060 kg/km
 - Portata di corrente cavi interrati a trifoglio a 20 °C 463 A

- **Sigla ARE4H5E 18/30 kV 630 mm²**
 - Diametro del conduttore 30,0 mm
 - Diametro sull'isolante 45,0 mm
 - Diametro esterno 58,6 mm
 - Peso approssimativo 3.390 kg/km
 - Portata di corrente cavi interrati a trifoglio a 20 °C 687 A

Di seguito si riporta il layout del progetto di Repowering con la disposizione degli Aerogeneratori e dei collegamenti previsti:

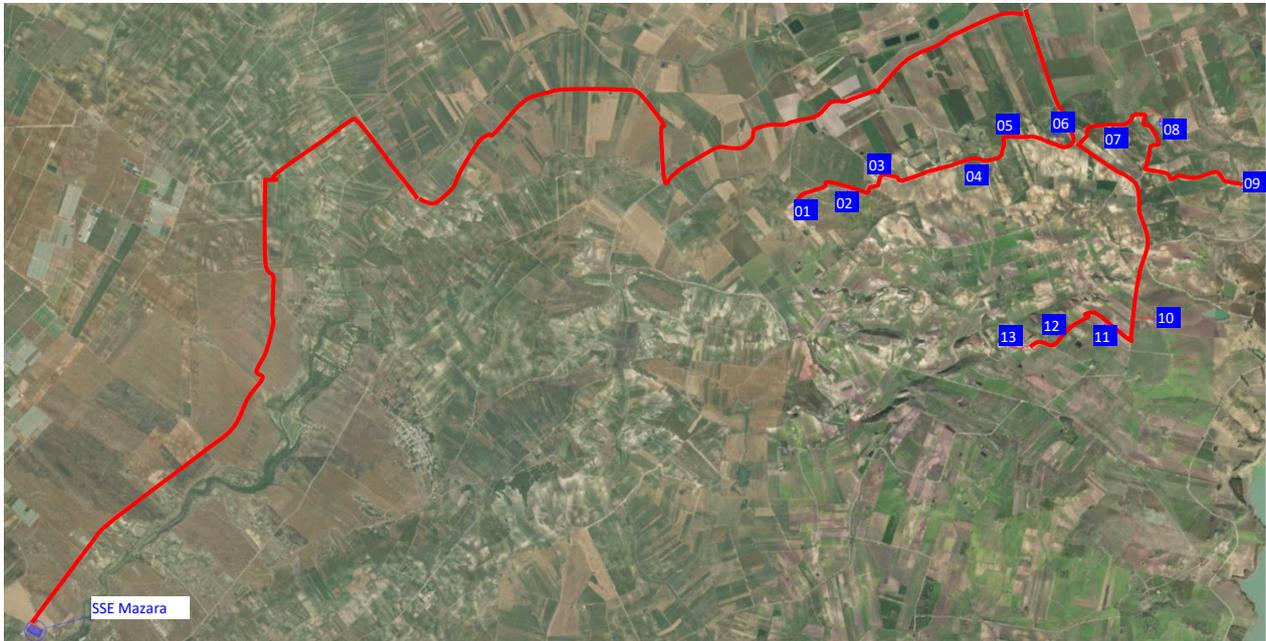


Figura 1: Inquadramento su base Ortofoto del Layout di progetto (repowering)

Si riportano di seguito le sezioni tipiche di posa previste:

SEZIONE A-A
CAVIDOTTO MT INTERRATO
1 TERNA DI CAVI
PERCORSO SU STRADA ESISTENTE DA
ADEGUARE

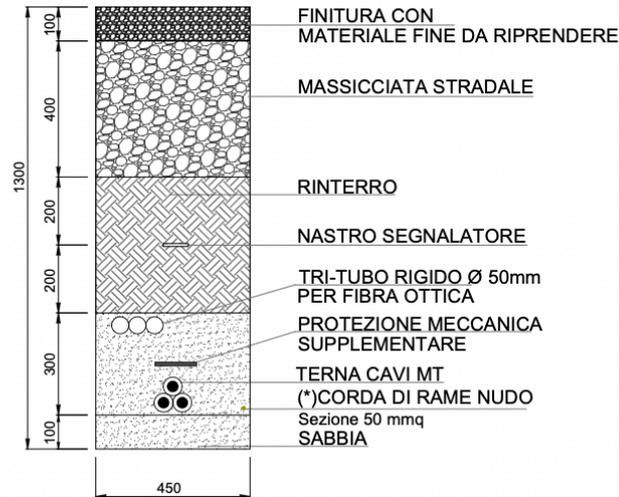


Figura 2: Sezione A-A: posa 1 terna su strada esistente da adeguare

SEZIONE B-B
CAVIDOTTO MT INTERRATO
1 TERNA DI CAVI
PERCORSO SU STRADA ESISTENTE
IN MASSICCATA

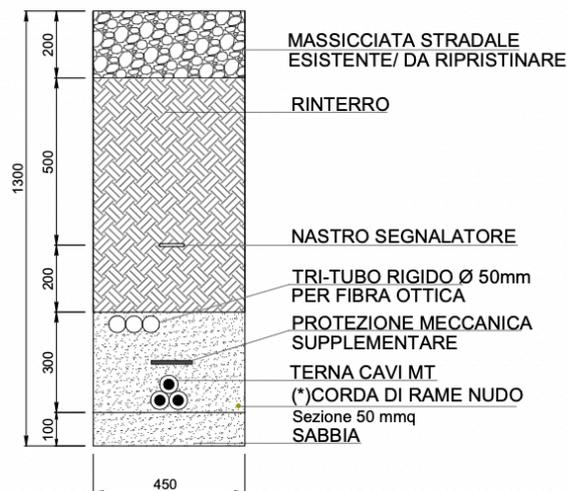


Figura 3: Sezione B-B: di posa 1 terna di casi su strada esistente asfaltata

SEZIONE C-C
CAVIDOTTO MT INTERRATO
2 TERNE DI CAVI
PERCORSO SU STRADA
ESISTENTE DA ADEGUARE



Figura 4: Sezione C-C: di posa 2 terne su strada da adeguare

SEZIONE D-D
CAVIDOTTO MT INTERRATO
2 TERNE DI CAVI
PERCORSO SU STRADA ESISTENTE IN
MASSICCATA

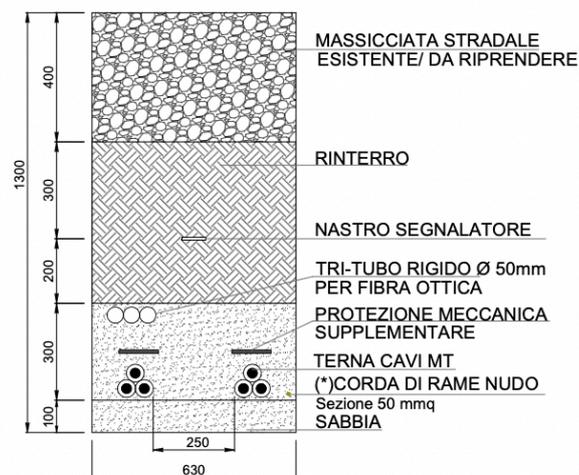


Figura 5: Sezione D-D: di posa 2 terne su strada esistente in massiccata

SEZIONE E-E
CAVIDOTTO MT INTERRATO
4 TERNE DI CAVI
PERCORSO SU STRADA ESISTENTE
ASFALTATA

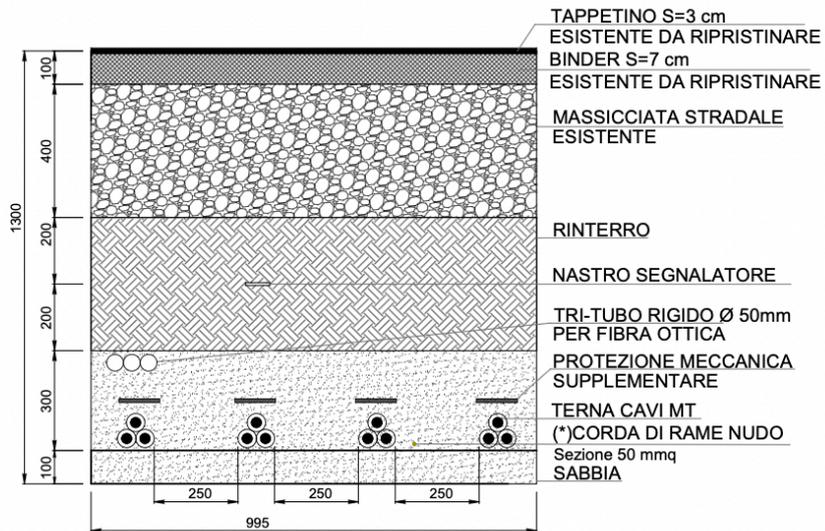


Figura 6: Sezione D-D: di posa 4 terne su strada esistente da adeguare

SEZIONE F-F
CAVIDOTTO MT INTERRATO
4 TERNE DI CAVI
PERCORSO SU STRADA ESISTENTE DA
ADEGUARE

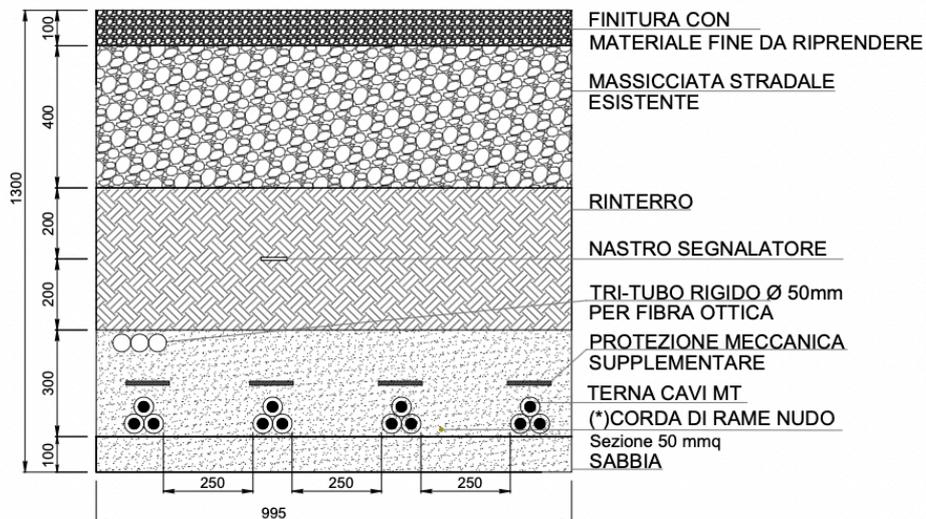


Figura 7 Sezione F-F: di posa 4 terne su strada esistente da adeguare

Si riporta di seguito lo schema a blocchi dell'intero Parco Eolico di Mazara del Vallo:

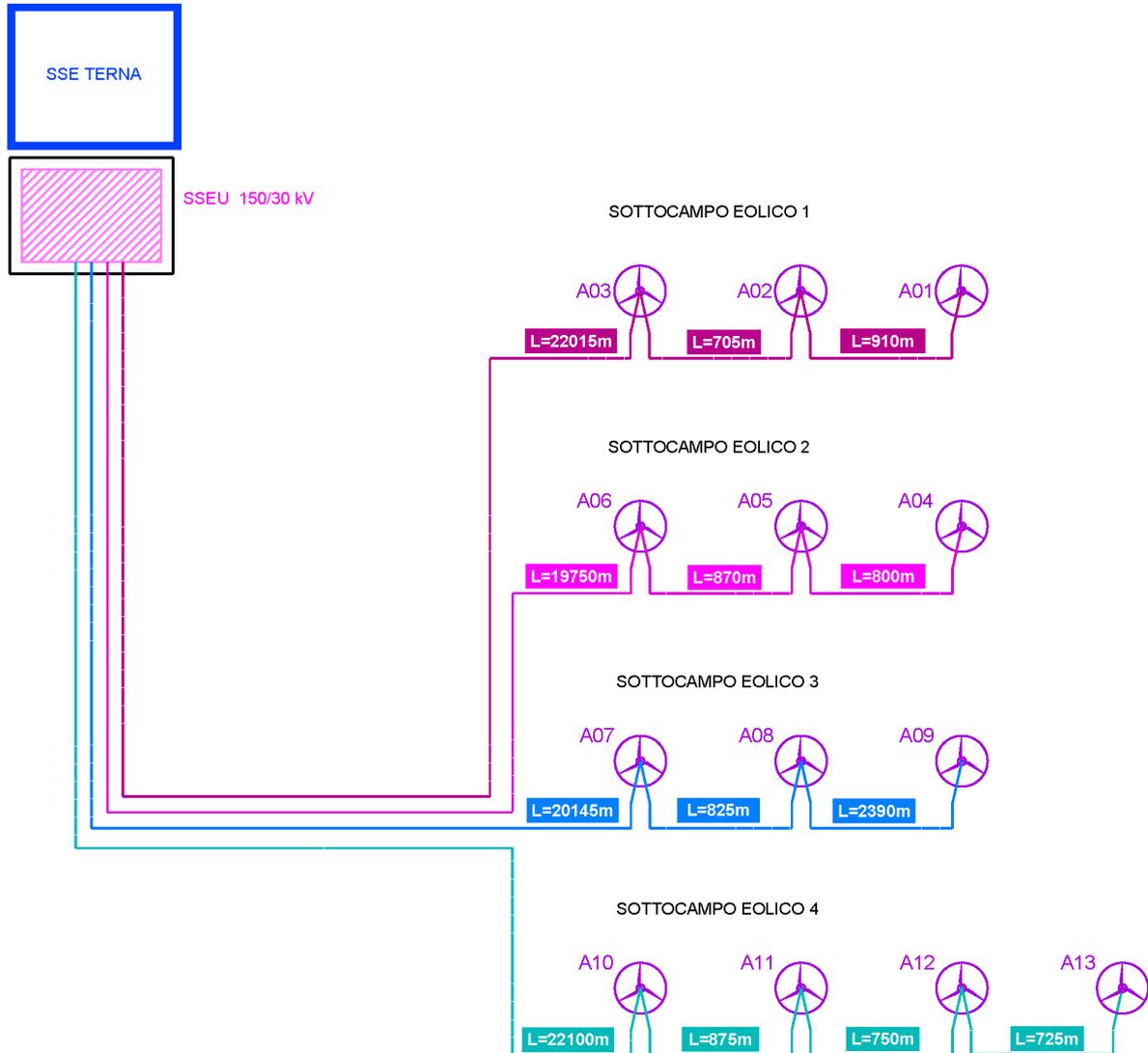


Figura 8 Schema a blocchi con indicazione delle distanze

Infine, si riporta la tabella riepilogativa con lunghezze collegamenti, sezione cavi e correnti:

Tabella 3: Tabella tratte e portate

Tratta	Lunghezza	Numero	Sezioni cavidotto	I_b	I_z
Nome	[m]	terne	[mm ²]	[A]	[A]
SSEU1-T03	22015	4	630	373	488
T03-T02	705	1	300	244	387
T02-T01	910	1	300	122	387
SSEU1-T06	19750	4	630	372	488
T06-T05	870	2	630 e 300	244	381
T05-T04	800	2	630 e 300	122	381
SSEU2-T07	20145	4	630	374	488
T07-T08	825	2	300	246	387
T08-T09	2390	1	300	124	387
SSEU2-T10	22100	4	6300	484	488
T10-T11	875	1	630	367	574
T11-T12	750	1	300	245	387
T12-T13	725	1	300	122	387

Si è indicato con:

- I_b : corrente di impiego della tratta di linea;
- I_z : portata del cavo nelle condizioni di esercizio;

5. METODOLOGIA DI CALCOLO CAMPO ELETTRICO

In generale, per il calcolo del campo elettrico si ricorre al principio delle immagini in base al quale il terreno, considerato come piano equipotenziale a potenziale nullo, può essere simulato con una configurazione di cariche immagini. In altre parole, per ogni conduttore reale, sia attivo che di guardia, andrà considerato un analogo conduttore immagine la cui posizione è speculare, rispetto al piano di terra, a quella del conduttore reale e la cui carica è opposta rispetto a quella del medesimo conduttore reale.

In particolare, il campo elettrico di un conduttore rettilineo di lunghezza infinita con densità lineare di carica costante può essere espresso come:

$$\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 d} \vec{u}_r$$

Dove:

- λ è la densità lineare di carica sul conduttore;
- ϵ_0 è la permittività del vuoto;
- d è la distanza del conduttore rettilineo dal punto di calcolo
- \vec{u}_r è il versore unitario con direzione radiale al conduttore

6. METODOLOGIA DI CALCOLO CAMPO MAGNETICO

6.1 Definizioni

In riferimento all'allegato del D.M. del 29 Maggio 2008 "Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto" si introducono le seguenti definizioni:

- **Corrente:** valore efficace dell'intensità di corrente elettrica.
- **Portata in corrente in servizio normale:** corrente che può essere sopportata da un conduttore per il 100% del tempo con limiti accettabili del rischio di scarica sugli oggetti mobili e sulle opere attraversate e dell'invecchiamento. Essa è definita nella norma CEI 11-60 par. 2.6 e sue successive modifiche e integrazioni.
- **Portata in regime permanente:** massimo valore della corrente che, in regime permanente e in condizioni specificate, il conduttore può trasmettere senza che la sua temperatura superi un valore specificato (secondo CEI 11-17 par. 1.2.05).

- **Fascia di rispetto:** spazio circostante un elettrodotto, che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità.
- **Distanza di prima approssimazione (DPA):** 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. Per le cabine è la distanza, in pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra.

6.2 Modello utilizzato

L'induzione magnetica B generata da NR conduttori filiformi, numerati da 0 a $(NR-1)$, può essere calcolata con l'espressione riportata di seguito; si fa notare che solo i conduttori reali contribuiscono al campo magnetico, perché si assume il suolo perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico e non si considerano quindi i conduttori immagine.

$$\vec{B} = -\frac{\mu_0}{4\pi} \sum_{k=0}^{NR-1} \int_{C_k} \frac{i}{r^3} \vec{r} \times d\vec{l}$$

Dove:

- μ_0 è la permeabilità magnetica del vuoto;
- NR è il numero dei conduttori (nel nostro caso pari a 3),
- i la corrente;
- C_k il conduttore generico;
- $d\vec{l}$ un tratto elementare del conduttore generico;
- r la distanza tra il tratto elementare del conduttore generico e il punto dove si vuole calcolare il campo.

Il modello adottato (conduttori cilindrici rettilinei orizzontali indefiniti paralleli tra di loro) consente di eseguire facilmente l'integrazione e semplificare i calcoli. Indicato con Q il punto dove si vuole determinare il campo, definiamo sezione normale il piano verticale passante per Q e ortogonale ai conduttori; indichiamo quindi con P_k il punto dove il generico conduttore C_k interseca la sezione normale, e con I_k la corrente nel singolo conduttore (si è preso l'asse z nella direzione dei conduttori). Con queste posizioni, per l'induzione magnetica in Q si ottiene l'espressione:

$$\vec{B} = -\frac{\mu_0}{2\pi} \sum_{k=0}^{NR-1} \frac{i_k \vec{z} \times (Q - P_k)}{|Q - P_k|^2}$$

	RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTRROMAGNETICO DELL'IMPIANTO Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	Q.2 01 19/07/2022 17/03/2023 18 di 29
---	--	---	---

La formula indica che l'induzione magnetica è inversamente proporzionale al quadrato della distanza del punto di interesse dai conduttori; esiste inoltre una proporzionalità diretta tra l'induzione e la distanza tra i singoli conduttori di ogni terna.

6.3 Metodo di calcolo

Lo studio dell'impatto elettromagnetico nel caso di linee elettriche aeree e interrate si traduce nella determinazione di una fascia di rispetto. Per l'individuazione di tale fascia si deve effettuare il calcolo dell'induzione magnetica basata sulle caratteristiche geometriche, meccaniche ed elettriche della linea presa in esame. Esso deve essere eseguito secondo modelli tridimensionali o bidimensionali con l'applicazione delle condizioni espresse al paragrafo 6.1 della norma CEI 106-11.

Al fine di semplificare la gestione territoriale e il calcolo delle fasce di rispetto, in prima approssimazione è possibile:

- Calcolare la fascia di rispetto combinando la configurazione dei conduttori, geometrica e di fase, e la portata in corrente in servizio normale che forniscono il risultato più cautelativo sull'intero tronco;
- Proiettare al suolo verticalmente tale fascia;
- Individuare l'estensione rispetto alla proiezione del centro linea (DPA).

7. LINEE IN CAVO INTERRATO IN MEDIA TENSIONE

Tutti i cavi di cui si farà utilizzo saranno di tipo unipolare; le sezioni adottate sono pari a 300 mm² e a 630 mm². I cavi verranno interrati a una profondità di 1,20 m, così come da sezioni sopra riportate.

7.1 Determinazione del Campo Elettrico

Il D.P.C.M. dell'8 luglio 2003 in merito al rispetto dell'esposizione ai campi elettrici prevede un limite di esposizione di 5 kV/m.

I cavi con cui vengono realizzati gli elettrodotti sono caratterizzati dal possedere al loro interno uno schermo metallico che, tra le sue funzioni, permette di abbattere e rendere nullo il campo elettrico irradiato dal cavo stesso verso l'ambiente esterno. Pertanto, poiché il campo elettrico esterno al cavo è sempre nullo, il rispetto del valore limite di esposizione al campo elettrico è sempre garantito per elettrodotti in cavo.

7.2 Determinazione del Campo di induzione Magnetica

Per la progettazione dei tracciati dei cavidotti di collegamento sono stati considerati tutti gli accorgimenti che consentono la minimizzazione degli effetti elettromagnetici sull'ambiente e sulle persone. In particolare, la limitata distanza tra i cavi (ulteriormente ridotta grazie all'impiego di terne con disposizione dei cavi "a trifoglio") fa sì che l'induzione magnetica risulti significativa solo in prossimità dei cavi.

Premesso che le sezioni dei cavi scelti sono pari a 300 mm^2 e a 630 mm^2 e che la profondità di interramento è pari a 1,20 m per tutti i tipici di posa, si riportano di seguito le due simulazioni condotte nelle condizioni più gravose, che coprono tutte le casistiche presenti in tutto l'impianto:

- **S1:** sezione tipica con 1 terna interrata e con sezione del cavo pari a 300 mm^2 e corrente pari alla sua portata, 387 A
- **S2:** sezione tipica con 1 terna interrata e con sezione del cavo pari a 630 mm^2 e corrente pari alla sua portata, 574 A

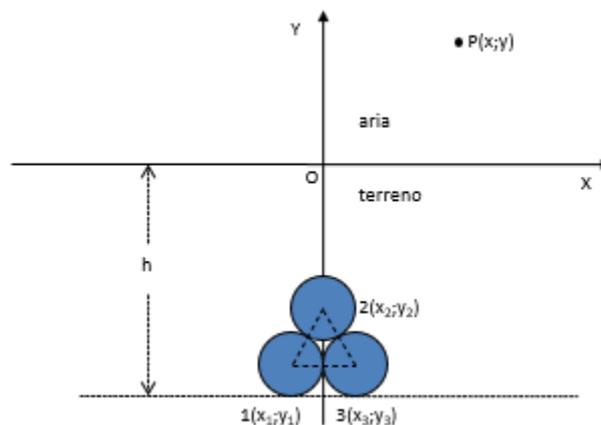


Figura 9: Configurazione per simulazioni S1 – S2

- **S3:** sezione tipica con 2 terne affiancate e spaziate di 250 mm; una terna è realizzata con cavo di sezione pari a 300 mm^2 con corrente pari a 381 A e l'altra con cavo di sezione pari a 630 mm^2 e corrente di 566 A.

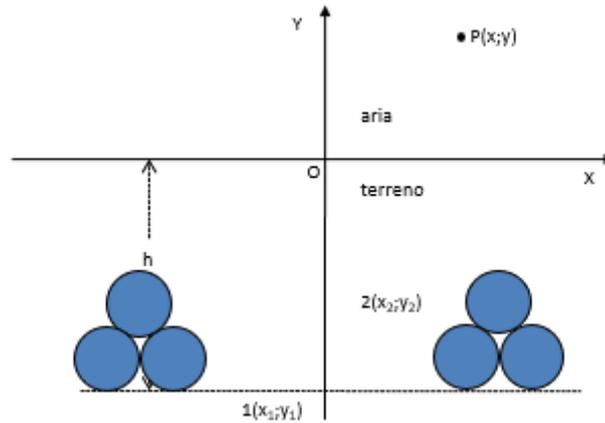


Figura 10: Configurazione per simulazioni S3

- **S4**: sezione tipica con 4 terne affiancate e spaziate di 250 mm; tutte le terne sono realizzate con cavi di sezione pari a 630 mm^2 e corrente pari a 488 A.

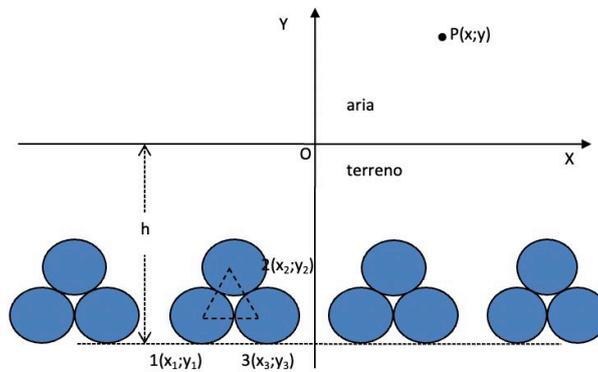


Figura 11 Configurazione per simulazione S4

I valori di induzione magnetica sono stati misurati ad altezza 1 m dal suolo (valore di riferimento normativo ai fini delle verifiche) e ad altezza asse conduttori (per la determinazione della DPA). Più precisamente, i risultati di seguito riportati illustrano l'andamento del campo di induzione magnetica in funzione della distanza dall'asse del tipico di posa considerato.

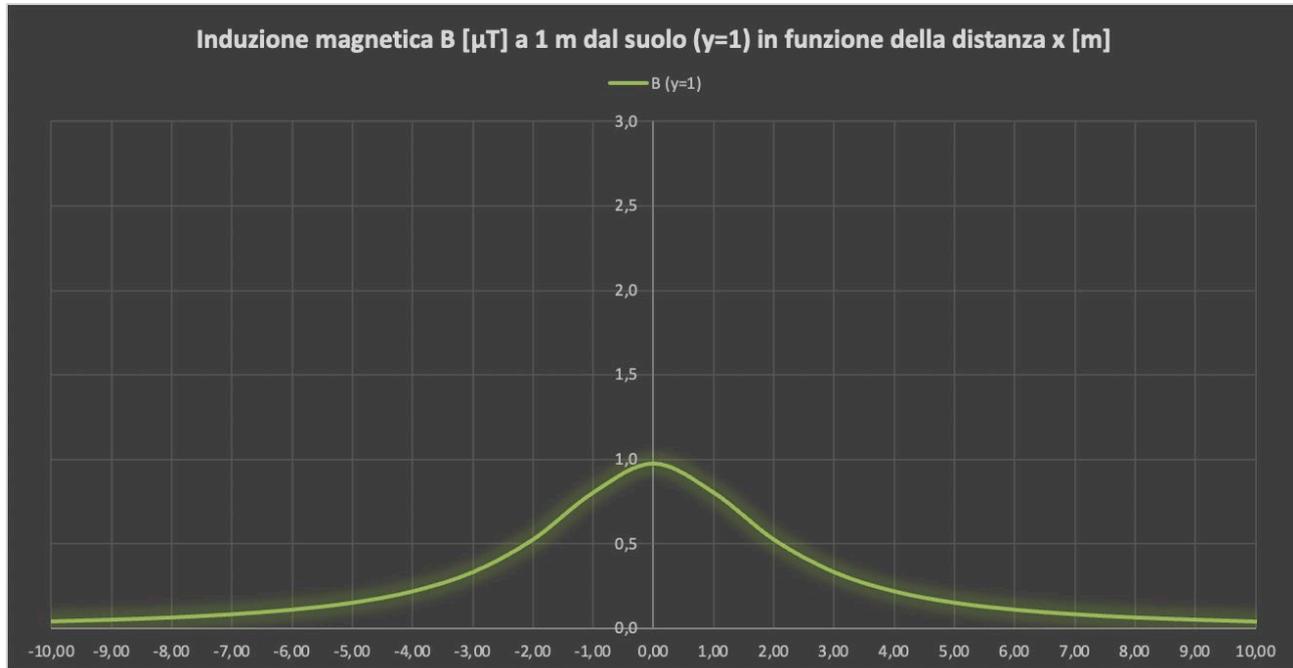
7.2.1 Simulazione S1 – 1 terna – Cavo sezione 300 mm²


Figura 12 : Andamento del campo di induzione magnetica per 1 terna – cavi 300 mm² - corrente 387 A

Tabella 4 : Valori del campo di induzione magnetica B in funzione della distanza x ad h = 1 m

x [m]	Bx [μ T]	By [μ T]	B [μ T]
-10	0,031	0,031	0,043
-9	0,038	0,037	0,053
-8	0,047	0,047	0,066
-7	0,060	0,060	0,085
-6	0,079	0,079	0,112
-5	0,109	0,106	0,153
-4	0,156	0,155	0,220
-3	0,235	0,235	0,333
-2	0,368	0,374	0,525
-1	0,563	0,571	0,802
0	0,697	0,679	0,973
1	0,563	0,571	0,802
2	0,368	0,374	0,525
3	0,235	0,235	0,333
4	0,156	0,155	0,220
5	0,109	0,108	0,153
6	0,079	0,079	0,112
7	0,060	0,060	0,085
8	0,047	0,047	0,066
9	0,038	0,037	0,053
10	0,031	0,031	0,042

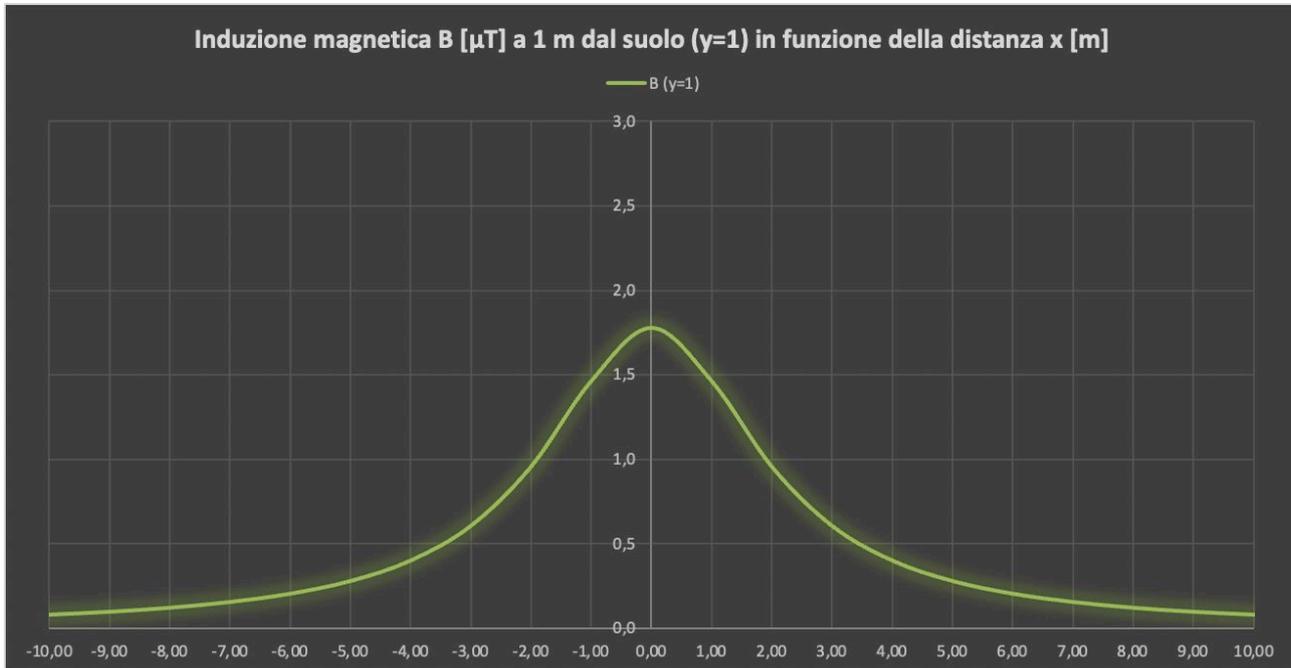
7.2.2 Simulazione S2 – 1 terna – Cavo sezione 630 mm²

 Figura 13 : Andamento del campo di induzione magnetica per 1 terna – cavi 630 mm² - corrente 574 A

Tabella 5 Valori del campo di induzione magnetica B in funzione della distanza x ad h = 1 m

x [m]	B _x [μ T]	B _y [μ T]	B [μ T]
-10	0,056	0,056	0,079
-9	0,068	0,068	0,096
-8	0,085	0,085	0,120
-7	0,109	0,108	0,154
-6	0,144	0,143	0,203
-5	0,198	0,195	0,278
-4	0,284	0,281	0,399
-3	0,427	0,427	0,604
-2	0,668	0,681	0,954
-1	1,025	1,042	1,461
0	1,276	1,236	1,776
1	1,025	1,042	1,461
2	0,668	0,681	0,954
3	0,427	0,427	0,604
4	0,284	0,281	0,399
5	0,198	0,195	0,278
6	0,144	0,143	0,203
7	0,109	0,108	0,154
8	0,085	0,085	0,120
9	0,068	0,068	0,096
10	0,056	0,056	0,079

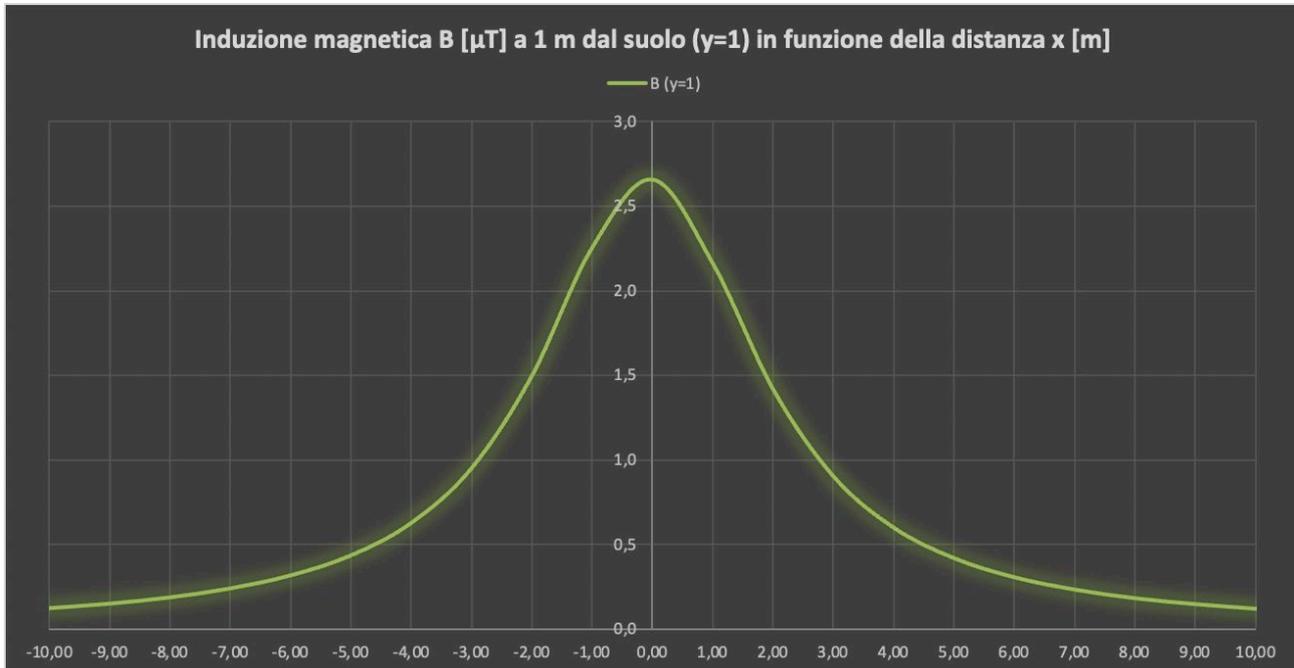
7.2.3 Simulazione S3 – 2 terne – Cavi sezione 300 mm² e 630 mm²

 Figura 14: Andamento del campo di induzione magnetica per 2 terne – cavi 630+300 mm²

Tabella 6: Valori del campo di induzione magnetica B in funzione della distanza x ad h = 1 m

x [m]	Bx [μT]	By [μT]	B [μT]
-10	0,086	0,086	0,122
-9	0,106	0,105	0,149
-8	0,132	0,131	0,186
-7	0,170	0,168	0,239
-6	0,224	0,222	0,316
-5	0,309	0,305	0,434
-4	0,444	0,441	0,626
-3	0,671	0,671	0,949
-2	1,047	1,068	1,495
-1	1,585	1,603	2,254
0	1,906	1,852	2,658
1	1,516	1,541	2,162
2	0,994	1,010	1,417
3	0,638	0,638	0,902
4	0,425	0,421	0,598
5	0,297	0,294	0,418
6	0,217	0,215	0,305
7	0,165	0,163	0,232
8	0,129	0,128	0,181
9	0,103	0,103	0,146
10	0,085	0,084	0,119

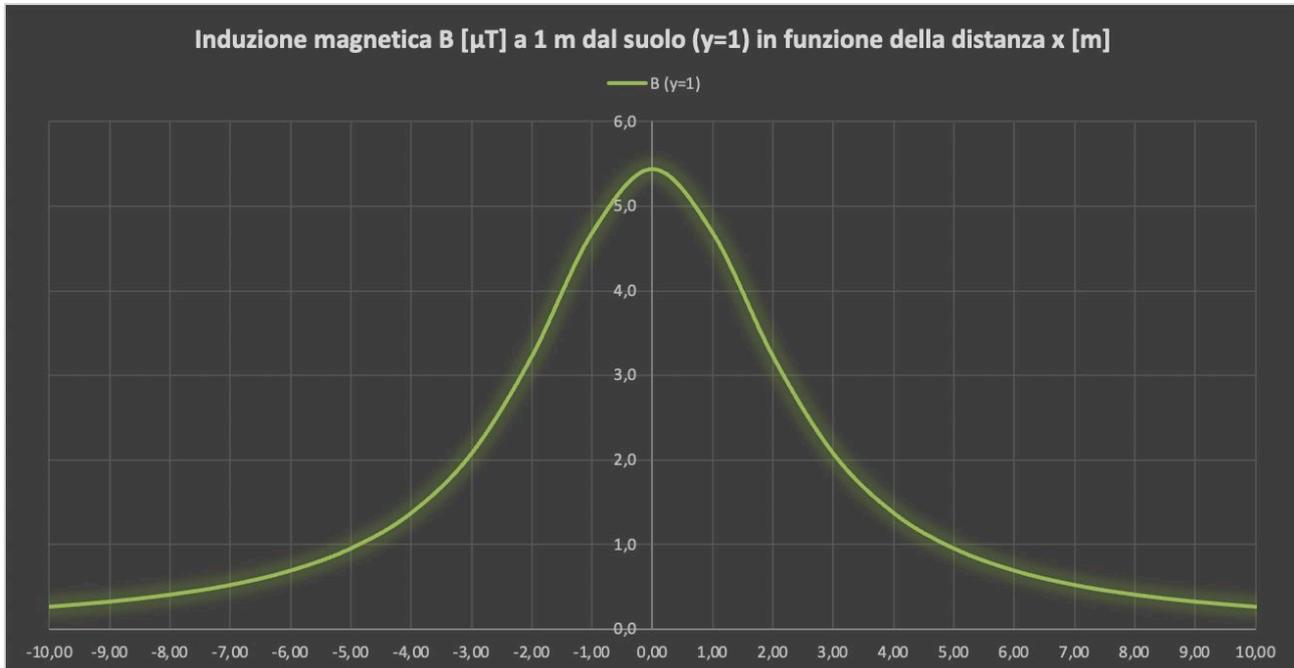
7.2.4 Simulazione S4 – 4 terne – Cavi sezione 630 mm²

 Figura 15: Andamento del campo di induzione magnetica per 4 terne – cavi 630 mm²

Tabella 7 : Valori del campo di induzione magnetica B in funzione della distanza x ad h = 1 m

x [m]	Bx [μ T]	By [μ T]	B [μ T]
-10	0,191	0,190	0,269
-9	0,233	0,232	0,329
-8	0,292	0,289	0,411
-7	0,374	0,371	0,526
-6	0,495	0,490	0,696
-5	0,680	0,673	0,957
-4	0,977	0,969	1,376
-3	1,468	1,470	2,078
-2	2,257	2,304	3,225
-1	3,297	3,332	4,688
0	3,902	3,793	5,442
1	3,297	3,332	4,688
2	2,257	2,304	3,225
3	1,468	1,470	2,078
4	0,977	0,969	1,376
5	0,680	0,673	0,957
6	0,495	0,490	0,696
7	0,374	0,371	0,526
8	0,292	0,289	0,411
9	0,233	0,232	0,329
10	0,191	0,190	0,269

7.3 Determinazione della distanza di prima approssimazione (DPA)

Il calcolo della DPA per i cavidotti di collegamento MT simulati in 7.1 si traduce graficamente nell'individuazione di una distanza che ha origine dal punto di proiezione dell'asse del cavidotto al suolo e ha termine in un punto individuato sul suolo in cui il valore del campo di induzione magnetica risulta essere uguale a $3 \mu\text{T}$.

Si riportano di seguito le distanze di prima approssimazione calcolate per le simulazioni S1, S2, S3 e S4:

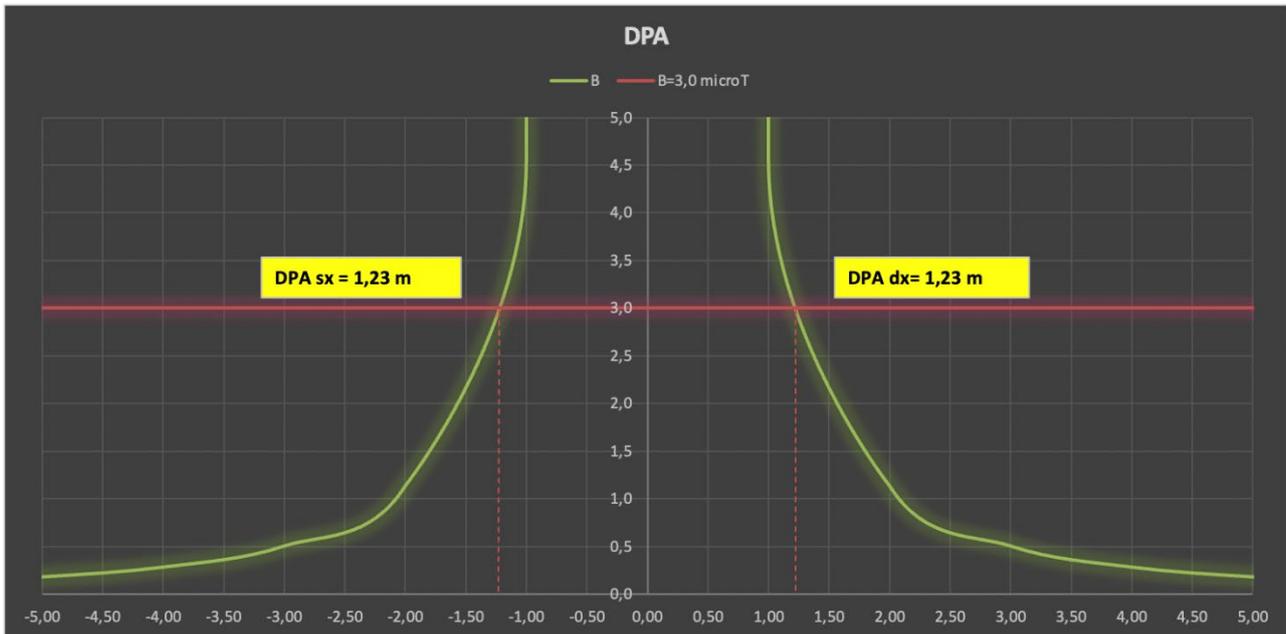


Figura 16 Determinazione DPA simulazione S1

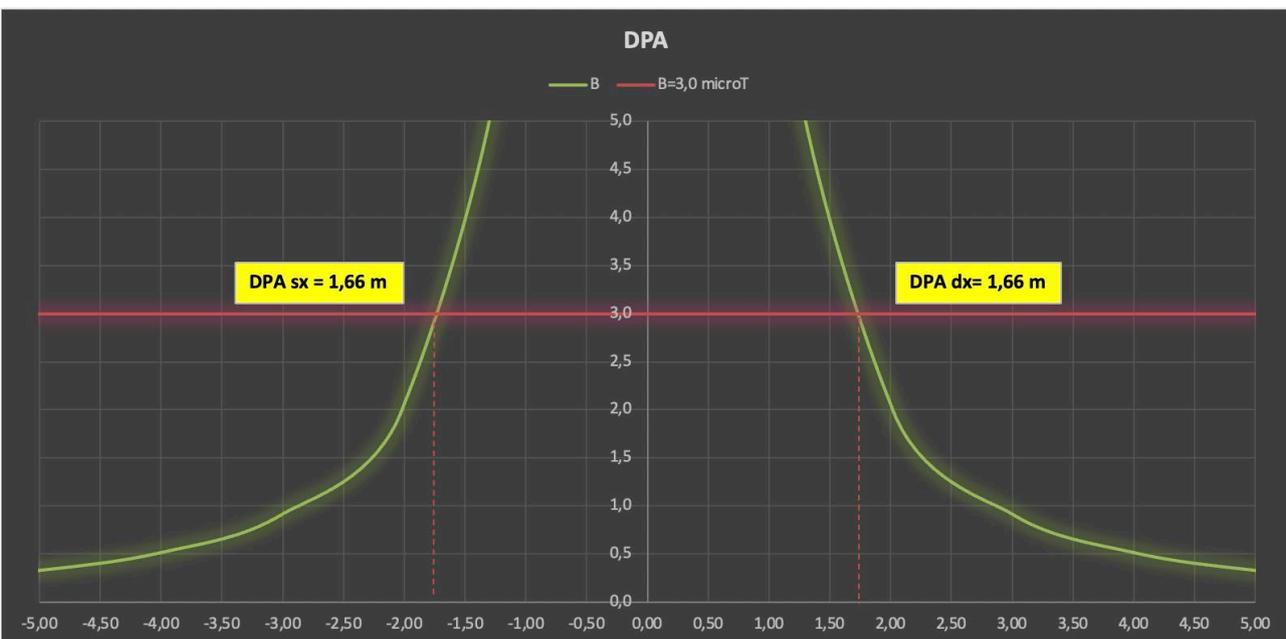


Figura 17 Determinazione DPA simulazione S2

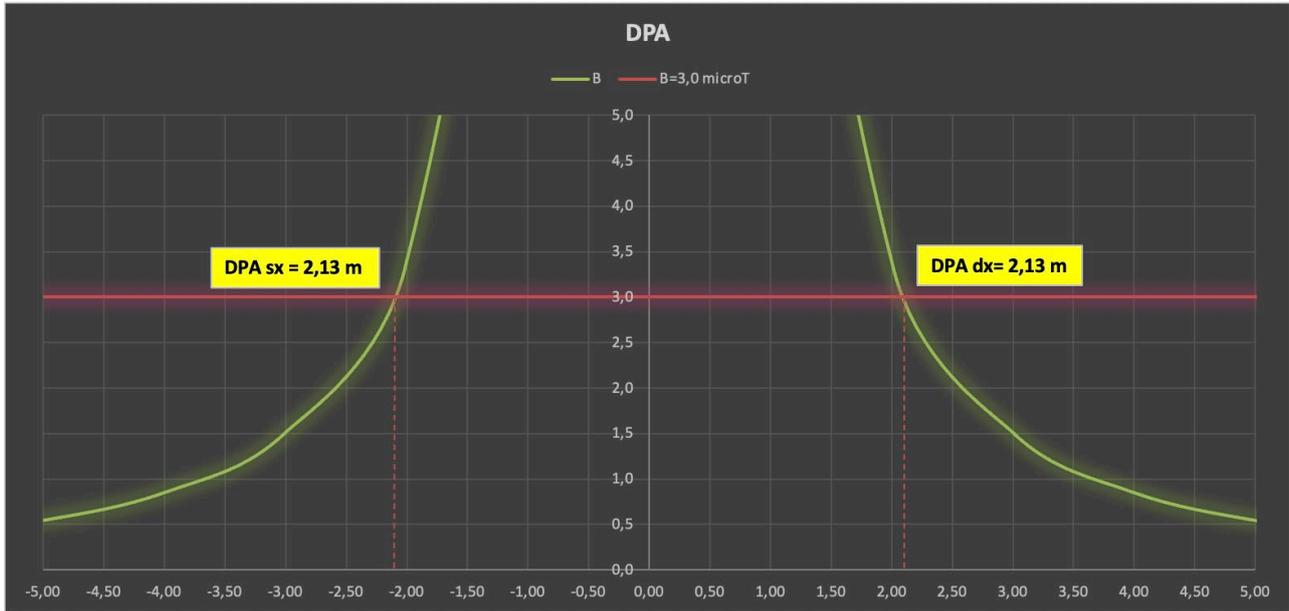


Figura 18 Determinazione DPA simulazione S3

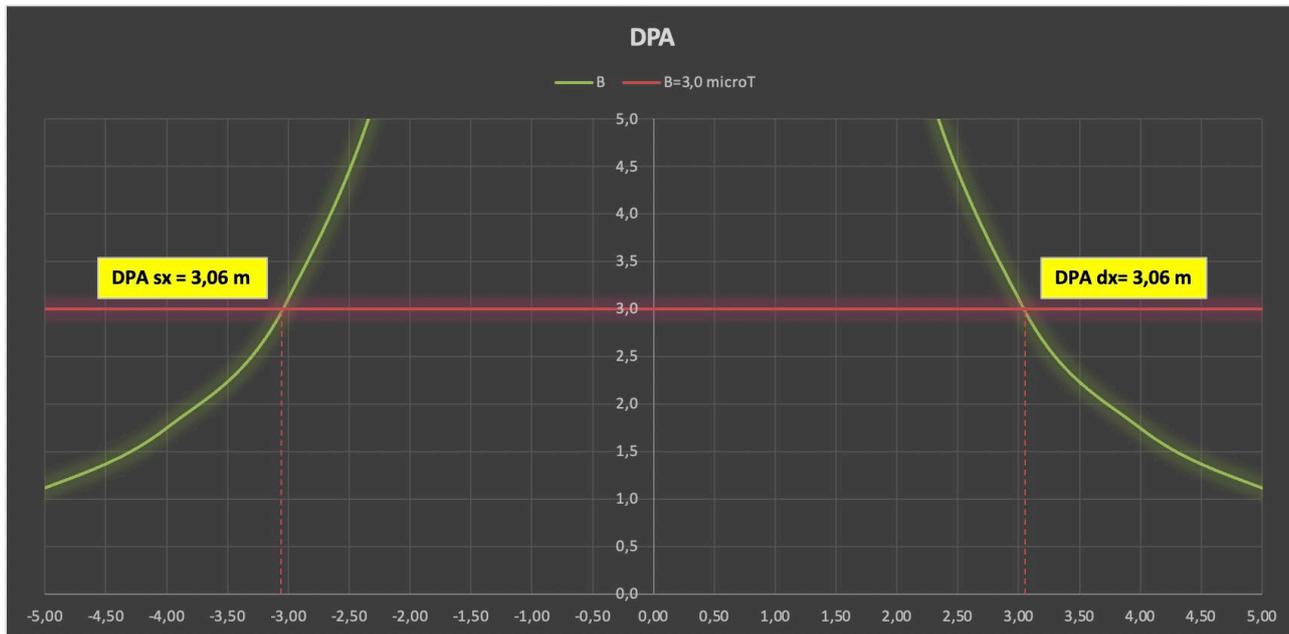


Figura 19 Determinazione DPA simulazione S4

Nel caso in oggetto, per tutte le configurazioni di posa analizzate, all'interno della DPA, NON ricadono strutture potenzialmente sensibili appartenenti alle categorie suddette.

	RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	Q.2 01 19/07/2022 17/03/2023 27 di 29
---	---	---	---

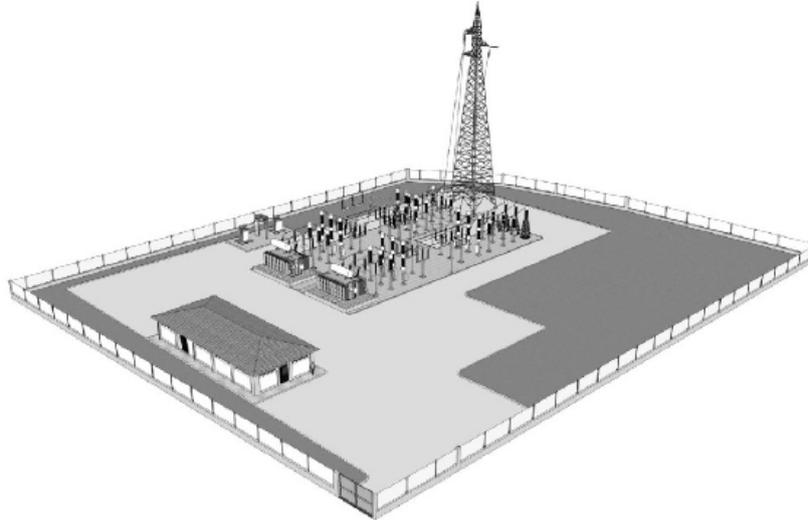
8. SOTTOSTAZIONE UTENTE (SSEU) DI TRASFORMAZIONE 150/30 kV

Ai sensi del paragrafo 5.2.2 del D.M. 29/05/2008, per le sottostazioni la DPA e, quindi, la fascia di rispetto rientra, generalmente, nei confini dell'area di pertinenza dell'impianto stesso.

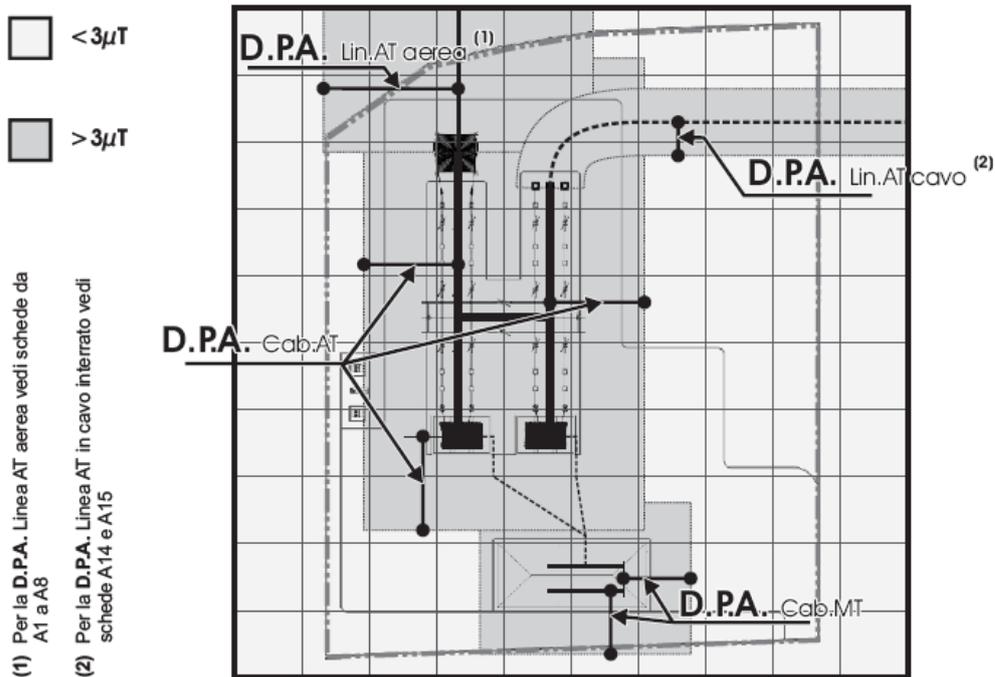
La linea guida per l'applicazione del paragrafo 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.2008 "Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche", elaborato da Enel Distribuzione S.p.A., costituisce un supporto tecnico all'applicazione del Procedimento semplificato per il calcolo della distanza di prima approssimazione.

Si riporta di seguito la scheda A16 – Cabina primaria isolata in aria che riporta i valori della DPA per le sbarre AT, pari a 14 m dall'asse sbarre. Tale valore si può ritenere cautelativo (valore di corrente utilizzato pari a 870 A) rispetto a quello che si calcolerebbe con la corrente nominale dell'impianto, pari a circa 390 A, anche se la corrente nominale del trasformatore è pari a 367 A circa, quindi ancora inferiore.

A16 - Cabina primaria isolata in aria (132/150-15/20 kV)



RAPPRESENTAZIONE DELLA FASCIA DI RISPETTO E DELLA D.P.A.



Tipologia trasformatore [MVA]	CABINA PRIMARIA						
	D.P.A. Cab. da centro sbarre AT	Distanza tra le fasi AT	Corrente	D.P.A. Cab. da centro sbarre MT	Distanza tra le fasi MT	Corrente	Riferimento
	m	m	A	m	m	A	
63	14	2.20	870	7	0.38	2332	A16

	RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTRICITÀ ELETTRICITÀ ELETTRICITÀ ELETTRICITÀ Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	Q.2 01 19/07/2022 17/03/2023 29 di 29
---	--	---	---

9. CONCLUSIONI

La determinazione delle DPA è stata effettuata in accordo al D.M. del 29/05/2008 e alle Norme CEI di riferimento, riportando per ogni opera elettrica (cavidotti MT interni e esterni e cabina elettrica dell'utente) la già menzionata DPA, i cui calcoli sono stati eseguiti con la portata dei cavi in condizioni di esercizio (I_z) di ciascuna tratta (vedi Tab. 3).

Tutti i cavidotti MT producono un campo di induzione magnetica minimo ma, comunque, ricadono all'interno di aree nelle quali non risultano essere presenti recettori sensibili ovvero aree di gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici, luoghi adibiti a permanenza di persone per più di quattro ore giornaliere.

Non si ritiene, pertanto, necessario adottare misure di salvaguardia particolari in quanto il parco eolico in oggetto si trova in lontananza da possibili recettori sensibili presenti.

Si fa, inoltre, presente che all'interno delle stazioni elettriche possono accedere solamente persone esperte del settore e che le stesse risultano rispettare i limiti di campo elettromagnetico se realizzate secondo le specifiche ENEL, TERNA e le Norme CEI.

Si può concludere, pertanto, che la realizzazione dell'opere elettriche relative al parco eolico sito nel Comune di Mazara del Vallo rispetta la normativa vigente.