

PROPONENTE

## Repower Renewable Spa

Via Lavaredo, 44  
30174 Mestre (VE)



### PROGETTAZIONE



Sinergo Spa - via Ca' Bembo 152  
30030 - Maerne di Martellago - Venezia - Italy  
tel 041.3642511 - fax 041.640481  
sinergospa.com - info@sinergospa.com  
Numero di commessa interno progettazione: 20041



Tenproject Srl - via De Gasperi 61  
82018 S.Giorgio del Sannio (BN)  
t +39 0824 337144 - f +39 0824 493175  
tenproject.it - info@tenproject.it

Progettista :  
Ing. Nicola Forte



Ingegneria Progetti Srl - via della Libertà 97  
90143 - Palermo (PA)  
+39 091 640 5229  
prio@ingegneriaprogetti.com  
dupella@ingegneriaprogetti.com

Consulenti  
per TENPROJECT

N° COMMESSA

# 1443

**NUOVO PARCO EOLICO "BORGO CHITARRA"  
LIBERO CONSORZIO COMUNALE DI TRAPANI  
COMUNI DI MAZARA DEL VALLO - MARSALA**

PROGETTO DEFINITIVO PER AUTORIZZAZIONE

ELABORATO

RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO  
DELL'IMPIANTO

CODICE ELABORATO

# IE.SIA.01

NOME FILE

1443-PD\_A\_IE.SIA.01\_TAV\_r00

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDDATO	VERIFICA	APPROVAZIONE
00	Marzo 2021	PRIMA EMISSIONE	MC	GP	NF

	<b>RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO</b>	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	PD_A_IE.SIA.01 22/03/2021 30/03/2021 00 1 di 27
---	--	---	---

**PROGETTO DI UN IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA N. 8 GENERATORI NEL COMUNE DI  
MAZARA DEL VALLO (TP) IN LOCALITA' BORGO CHITARRA**

**RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO**

	<b>RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO</b>	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	PD_A_IE.SIA.01 22/03/2021 30/03/2021 00 2 di 27
---	--	---	---

## Sommario

1.	PREMESSA.....	3
1.1	Normativa di riferimento.....	3
1.2	Elaborati progettuali di riferimento .....	3
2.	INQUADRAMENTO NORMATIVO.....	4
3.	DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO .....	6
3.1	Generalità .....	6
3.2	Caratteristiche dell'aerogeneratore .....	7
3.3	Linee MT .....	7
3.4	Stazione elettrica di utenza AT/MT .....	11
3.5	Linea AT .....	11
4.	METODOLOGIA DI CALCOLO CAMPO MAGNETICO.....	11
4.1	Definizioni.....	11
4.2	Cenni teorici sul modello utilizzato .....	12
4.3	Metodo di calcolo .....	13
5.	METODOLOGIA DI CALCOLO CAMPO ELETTRICO.....	13
5.1	Cenni storici .....	13
6.	LINEE IN CAVO INTERRATO IN MEDIA TENSIONE.....	14
6.1	Determinazione del campo di induzione magnetica.....	14
6.2	Determinazione della distanza di prima approssimazione (DPA) .....	23
7.	LINEE IN CAVO INTERRATO IN ALTA TENSIONE.....	23
8.	STAZIONE ELETTRICA UTENTE .....	26
9.	CONCLUSIONI .....	27

	<b>RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTRIMAGNETICO DELL'IMPIANTO</b>	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	PD_A_IE.SIA.01 22/03/2021 30/03/2021 00 3 di 27
---	--	---	---

## 1. PREMESSA

Il presente studio elettromagnetico fa riferimento alla proposta di progetto della società Repower Renewable S.p.A. per la realizzazione di un parco eolico nel comune di Mazara del Vallo (TP) in località "Borgo Chitarra". Il progetto è composto da n. 8 aerogeneratori aventi una potenza unitaria di 6,00 MW ciascuno, per una potenza complessiva di 48 MW.

L'energia prodotta dall'intero parco eolico verrà smistata, attraverso un collegamento in antenna in cavo interrato a 220 kV, nella Stazione Elettrica di Smistamento "Partanna 2", attualmente in fase di realizzazione con inserimento in entra – esce sulla linea RTN 220 kV "Fulgatore – Partanna".

Per la connessione dell'impianto eolico di Borgo Chitarra è prevista la realizzazione delle seguenti opere di rete, anch'esse parte del progetto della società Repower Renewable S.p.A.:

- Ampliamento della Stazione Elettrica RTN 220 kV di Partanna;
- Realizzazione elettrodotto RTN 220 kV "Partanna 2 – Partanna".

### 1.1 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)
- 

### 1.2 Elaborati progettuali di riferimento

- LAYOUT DI PROGETTO SU CARTA TECNICA REGIONALE (C.T.R.) – Elaborati 1443-PD\_A\_3.1.a-c\_TAV\_r00
- LAYOUT DI PROGETTO SU PLANIMETRIA CATASTALE– Elaborati 1443-PD\_A\_3.2.a-c\_TAV\_r00
- SEZIONI TIPO CAVIDOTTO MT– Elaborato 1443-PD\_A\_3.3\_TAV\_r00
- PLANIMETRIA - STAZIONE ELETTRICA 30/150 kV – Elaborato 1443-PD\_A\_5.1\_TAV\_r00
- STAZIONE ELETTRICA MT/AT: PROFILO ELETTRIMECCANICO– Elaborato 1443-PD\_A\_5.2\_TAV\_r00
- SCHEMA ELETTRICO UNIFILARE– Elaborato 1443-PD\_A\_5.3\_TAV\_r00
- RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE MT – Elaborato 1443-PD\_A\_10.2\_REL\_r00

	<b>RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTRIMAGNETICO DELL'IMPIANTO</b>	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	PD_A_IE.SIA.01 22/03/2021 30/03/2021 00 4 di 27
---	--	---	---

## 2. 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).

<b>Limiti di esposizione</b>	<b>Valori di CEM che non devono essere superati in alcuna condizione di esposizione, ai fini della tutela dagli effetti acuti.</b>
<b>Valori di attenzione</b>	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.
<b>Obiettivi di qualità</b>	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.

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

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:

	<b>RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTRIMAGNETICO DELL'IMPIANTO</b>	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	PD_A_IE.SIA.01 22/03/2021 30/03/2021 00 5 di 27
---	--	---	---

- 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.

Normativa	Limiti previsti	Induzione magnetica B [ $\mu$ 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

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

Il valore di attenzione di 10  $\mu$ 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  $\mu$ 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  $\mu$ T per lunghe esposizioni e di 1000  $\mu$ T per brevi esposizioni.

Olt

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 interrato, esistenti e in progetto. I

	<b>RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTRIMAGNETICO DELL'IMPIANTO</b>	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	PD_A_IE.SIA.01 22/03/2021 30/03/2021 00 6 di 27
---	--	---	---

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 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";
- CEI 106-12 "Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT7bt).

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 nelle Norme CEI 106-11 e CEI 106-12, 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.

### 3. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

#### 3.1 Generalità

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 ( $\mu$ 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.

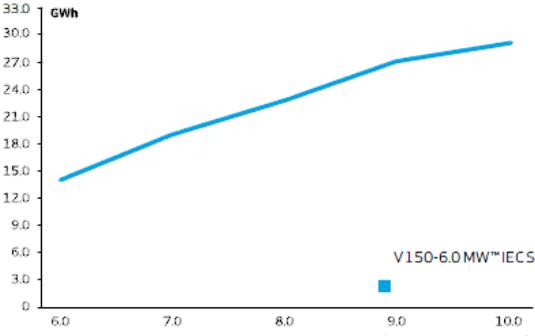
Le opere elettriche di impianto sulle quali rivolgere l'attenzione al fine della valutazione dell'impatto elettrico e magnetico sono di seguito descritte:

- Il cavidotto MT di collegamento tra gli aerogeneratori, denominato cavidotto interno;
- Il cavidotto MT di collegamento tra i gruppi di aerogeneratori e la stazione elettrica 30/150 kV, denominato cavidotto esterno;

 <b>INGEGNERIA PROGETTI</b> <sup>SRL</sup>	<b>RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTRIMAGNETICO DELL'IMPIANTO</b>	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	PD_A_IE.SIA.01 22/03/2021 30/03/2021 00 7 di 27
---	--	---	---

- La sezione MT e AT all'interno della stazione elettrica di utenza 30/150 kV;
- La linea AT a 220 kV che collegherà la stazione di utenza alla sezione 220 kV della stazione elettrica RTN di Partanna 2.

### 3.2 Caratteristiche dell'aerogeneratore

<b>POWER REGULATION</b> Pitch regulated with variable speed	<b>TURBINE OPTIONS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Condition Monitoring System</li> <li>· Oil Debris Monitoring System</li> <li>· Service Personnel Lift</li> <li>· Low Temperature Operation to -30°C</li> <li>· Vestas Ice Detection™</li> <li>· Vestas Anti-Icing System™</li> <li>· Vestas IntelliLight®</li> <li>· Vestas Shadow Detection System</li> <li>· Aviation Lights</li> <li>· Aviation Markings on the Blades</li> <li>· Fire Suppression System</li> <li>· Vestas Bat Protection System</li> <li>· Lightning Detection System</li> <li>· Load Optimised Modes</li> </ul>
<b>OPERATING DATA</b> Rated power: 6,000kW Cut-in wind speed: 3m/s Cut-out wind speed*: 25m/s Wind class: IEC S Standard operating temperature range from -20°C** to +45°C *High Wind Operation available as standard **Subject to different temperature options	<b>ANNUAL ENERGY PRODUCTION</b>  <p>Assumptions: One wind turbine, 100% availability, 0% losses, k factor = 2, Standard air density = 1.225, wind speed at hub height</p> <p style="text-align: right;">Attiva Passa a l</p>
<b>SOUND POWER</b> Maximum: 104.9dB(A)** ***Sound Optimised Modes available dependent on site and country	
<b>ROTOR</b> Rotor diameter: 150m Swept area: 17,672m² Aerodynamic brake: full blade feathering with 3 pitch cylinders	
<b>ELECTRICAL</b> Frequency: 50/60Hz Converter: full scale	
<b>GEARBOX</b> Type: two planetary stages	
<b>TOWER</b> Hub height: 105m (IEC S), 125m (IEC S), 155m (IEC S)	

**Tab. 3:** Caratteristiche aerogeneratore

### 3.3 Linee MT

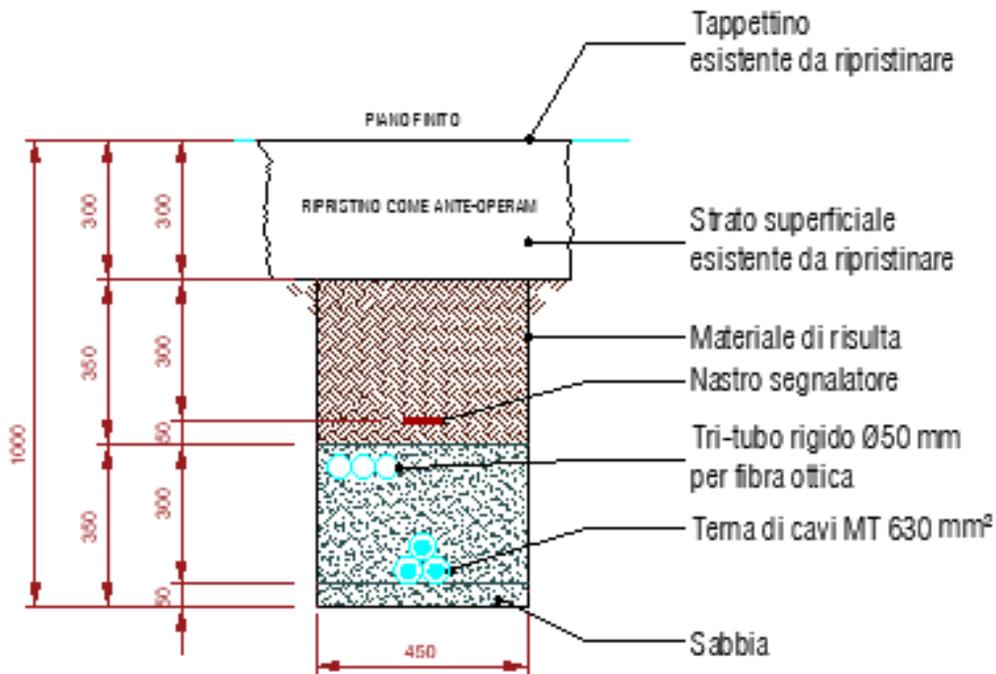
Il collegamento tra i diversi aerogeneratori e tra questi e la stazione di utenza verranno realizzati con cavi MT del tipo ARG7H1E(X) 18/30(36) kV, il quale è del tipo unipolare, con conduttore in alluminio, guaina esterna maggiorata in PE che permette la posa direttamente interrata senza armatura e senza l'adozione di opere aggiuntive 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.

La sezione calcolata, unica per i collegamenti interni e i collegamenti esterni, è pari a 630 mm<sup>2</sup>, la quale presenta le seguenti caratteristiche:

- Sigla ARG7H1E(x) 18/30 kV 630 mm<sup>2</sup> SK1-105
- Diametro del conduttore 30,0 mm
- Diametro sull'isolante 45,0 mm
- Diametro esterno 59,5 mm
- Peso approssimativo 3.750 kg/km
- Portata di corrente cavi interrati a trifoglio a 20 °C 728 A

Si riportano di seguito le sezioni tipiche di posa:

**SEZIONE TIPO FV  
1 TERNA DA 630 mmq**



**Fig.1:** Sezione di posa 1 terna con cavi a trifoglio

**SEZIONE TIPO FV  
2 TERNE DA 630 mmq**

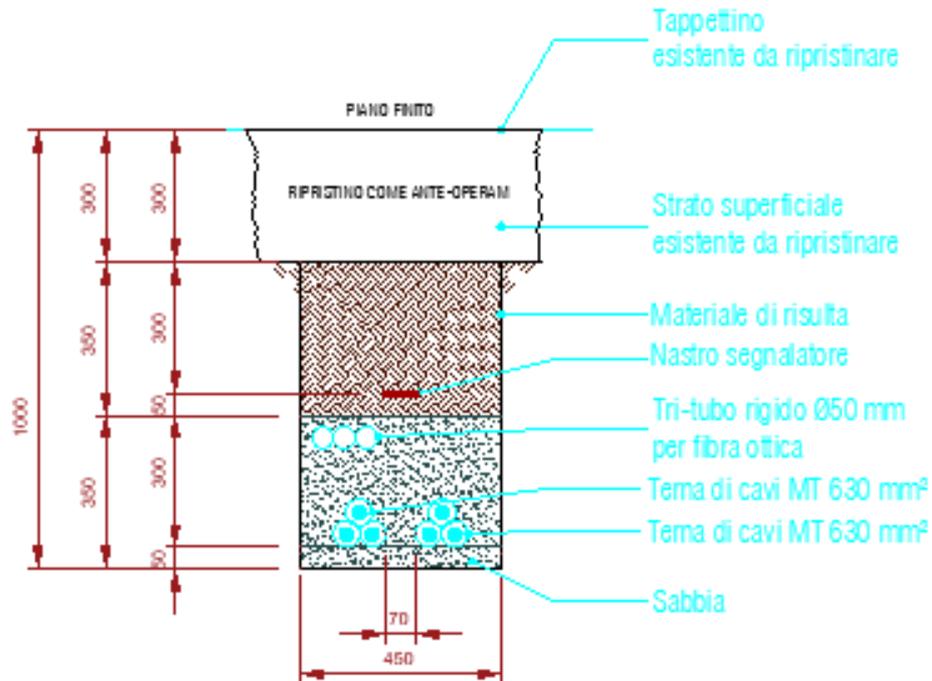
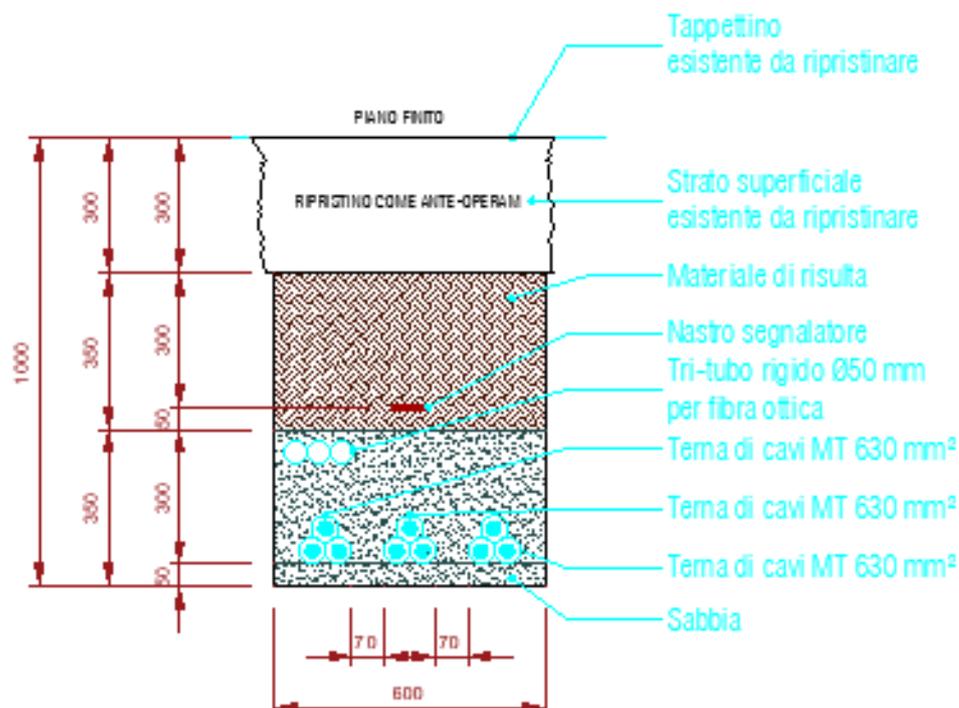


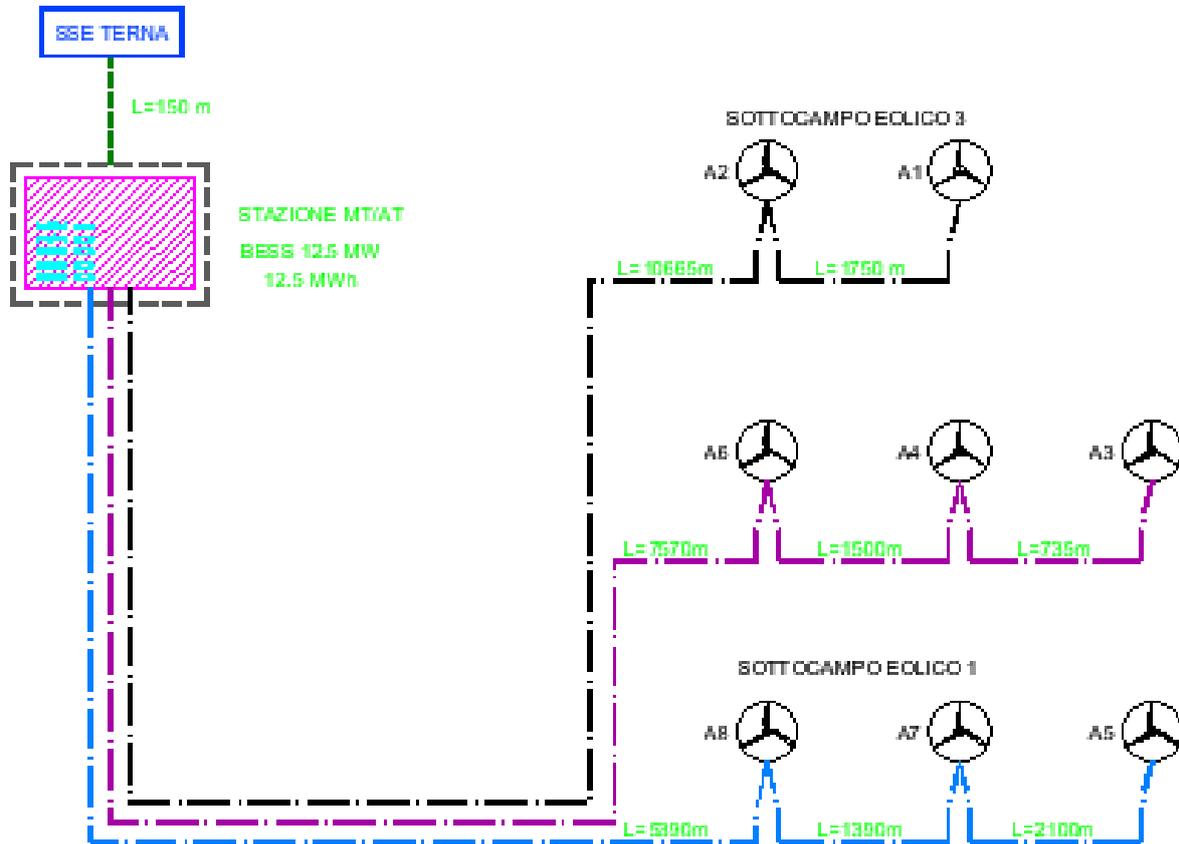
Fig.2: Sezione di posa 2 terne con cavi a trifoglio

**SEZIONE TIPO FV E COLLEGAMENTO FV-SSE  
3 TERNE DA 630 mmq**



**Fig.3:** Sezione di posa 3 terne con cavi a trifoglio

Si riporta di seguito lo schema dell'intero parco eolico:



**Fig.4:** Schema impianto

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

Tratta	Lunghezza [km]	Vn [kV]	Ic [A]	n. terne	Iz [A]
L_A5-A7	2,1	30	115,47	1	582,40
L_A7-A8	1,39	30	230,94	1	582,40
L_A8-MT	5,39	30	346,41	1	502,32
L_A3-A4	0,735	30	115,47	1	582,40
L_A4-A6	1,5	30	230,94	1	582,40
L_A6-MT	7,57	30	346,41	1	205,32
L_A1-A2	1,75	30	115,47	1	582,40
L_A2-MT	10,665	30	230,94	1	502,32

**Tab. 4:** Tabella tratte

	<b>RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTRICITÀ ELETTRICITÀ ELETTRICITÀ ELETTRICITÀ</b>	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	PD_A_IE.SIA.01 22/03/2021 30/03/2021 00 11 di 27
---	---	---	--

### 3.4 Stazione elettrica di utenza AT/MT

La stazione elettrica di utenza AT/MT consente di elevare l'energia prodotta e raccolta dai sottocampi da 30 kV al livello di 220 kV della stazione di consegna TERNA S.p.A.

Sarà costituita da un'area chiusa, composta da:

- Locale bt
- Locale MT, contenente i quadri MT per la protezione e il sezionamento delle linee elettriche in arrivo dal parco eolico e in partenza verso il trasformatore AT/MT;
- Locale trasformatore dei servizi ausiliari;
- Locale gruppo elettrogeno;
- Locale TLC;
- Locale misure;
- Sezione trasformazione AT/MT 220/30 kV;
- Sezione di partenza in cavo AT per la consegna alla stazione elettrica RTN.

### 3.5 Linea AT

Ai fini della simulazione di calcolo dei campi elettromagnetici è stata scelta la sezione di cavi più gravosa che presenta le seguenti caratteristiche:

- Sezione conduttore 3\*1\*1600 mm<sup>2</sup>;
- Diametro esterno cavo 108 mm;
- Portata 910 A.

## 4. METODOLOGIA DI CALCOLO CAMPO MAGNETICO

### 4.1 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).

	<b>RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTRIMAGNETICO DELL'IMPIANTO</b>	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	PD_A_IE.SIA.01 22/03/2021 30/03/2021 00 12 di 27
---	--	---	--

- **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.

#### 4.2 Cenni teorici sul 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:

- $\mu_0$  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:

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

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.

	<b>RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO</b>	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	PD_A_IE.SIA.01 22/03/2021 30/03/2021 00 13 di 27
---	--	---	--

### 4.3 Metodo di calcolo

Lo studio dell'impatto elettromagnetico nel caso di linee elettriche aeree e non, 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).

## 5. METODOLOGIA DI CALCOLO CAMPO ELETTRICO

### 5.1 Cenni storici

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:

- $\lambda$  è la densità lineare di carica sul conduttore;
- $\epsilon_0$  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

	<b>RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO</b>	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	PD_A_IE.SIA.01 22/03/2021 30/03/2021 00 14 di 27
---	--	---	--

## 6. LINEE IN CAVO INTERRATO IN MEDIA TENSIONE

Premesso che la sezione dei cavi scelta è per tutti i cavidotti pari a 630 mm<sup>2</sup> e che la profondità di interrimento è pari a 1,00 m, occorre calcolare il valore della massima corrente transitabile in ogni sezione (Fig.1, Fig.2, Fig.3), moltiplicando il valore di portata indicato dal costruttore, 728 A, per un fattore K che dipende da:

### 6.1 Determinazione del campo di induzione magnetica

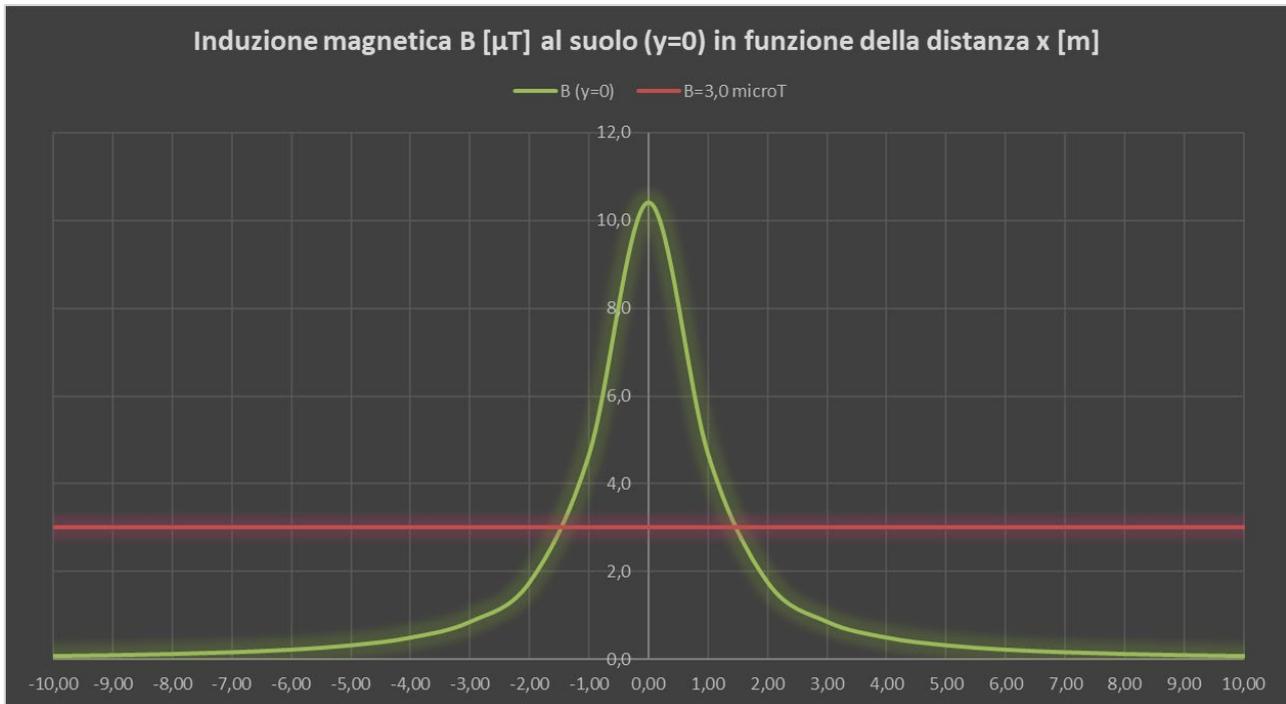
Per la realizzazione dei cavidotti di collegamento sono stati considerati tutti gli accorgimenti che consentono la minimizzazione degli effetti elettromagnetici sull'ambiente e sulle persone. In particolare, la scelta di operare con linee in MT interrate permette di eliminare la componente elettrica del campo, grazie all'effetto schermante del terreno; inoltre, la limitata distanza tra i cavi (ulteriormente ridotta grazie all'impiego di terne cosiddette "a trifoglio") fa sì che l'induzione magnetica risulti significativa solo in prossimità dei cavi.

Premesso che la sezione dei cavi scelta è per tutti i cavidotti pari a 630 mm<sup>2</sup> e che la profondità di interrimento è pari a 1,00 m, facendo riferimento ai dati contenuti nella Tab.4, si riporta di seguito l'elenco delle simulazioni condotte, che coprono tutte le casistiche presenti dai singoli generatori fino alla stazione di utenza:

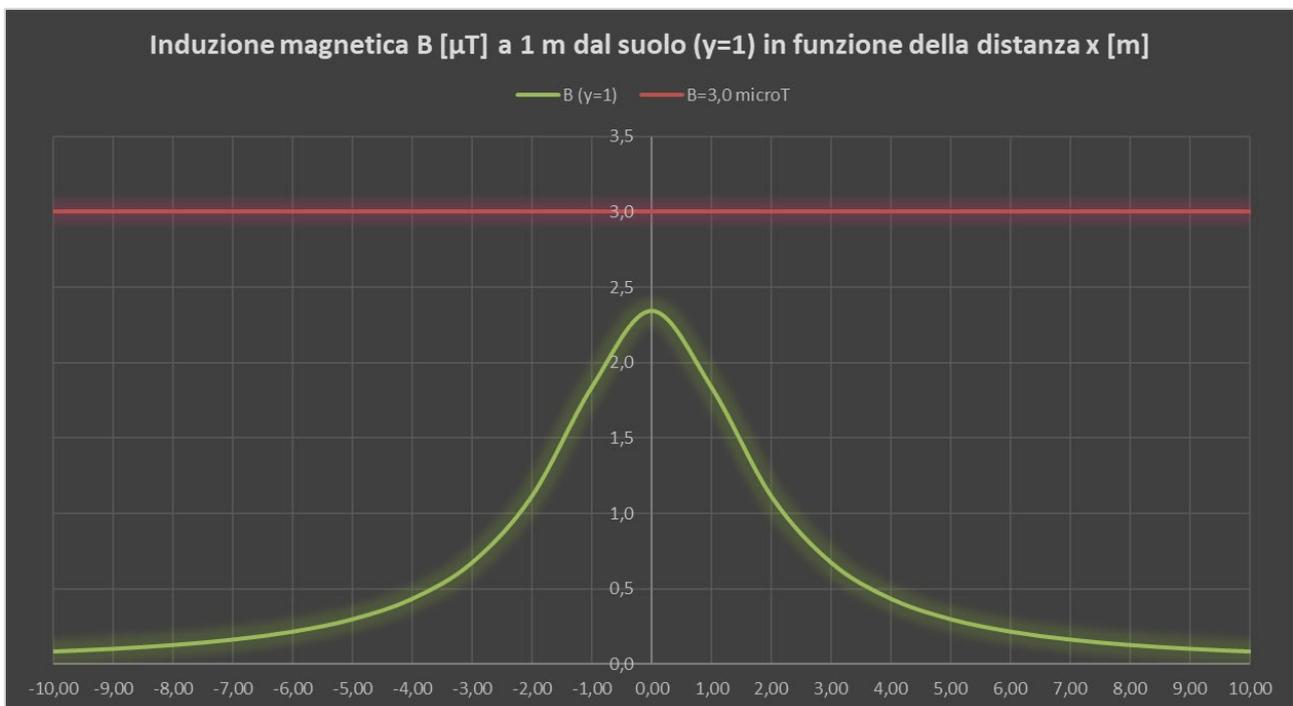
- **S1:** una terna di conduttori disposti a trifoglio percorsa da corrente pari a 582,40 A (L\_A1-A2 / L\_A3-A4 / L\_A4-A6 / L\_A5-A7 / L\_A7-A8)
- **S2:** una terna di conduttori disposti a trifoglio percorsa da corrente pari a 502,32 A (tratto iniziale di L\_A2-MT)
- **S3:** doppia terna di conduttori disposti a trifoglio percorse da corrente pari a 502,32 A (parte iniziale di L\_A6-MT e centrale di L\_A2--MT)
- **S4:** tripla terna di conduttori disposti a trifoglio, ciascuna delle quali percorsa da corrente pari a 502,32 A (L\_A2-MT / L\_A6-MT / L\_A8-MT)

I valori del campo magnetico sono stati misurati ad altezza conduttori (per la determinazione della DPA), al suolo e ad 1 m dal suolo (valore di riferimento ai fini delle verifiche). Più precisamente, i risultati di seguito riportati illustrano l'andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori e l'andamento del campo magnetico su di un asse ortogonale all'asse dei conduttori.

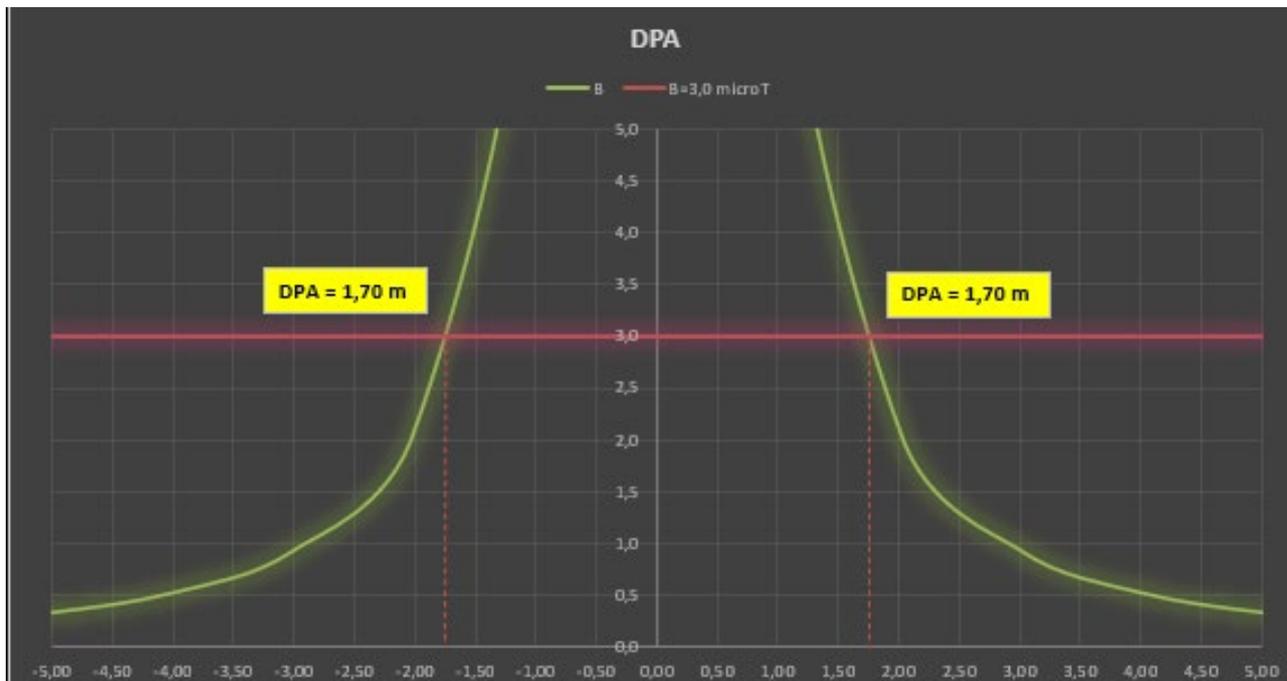
**SIMULAZIONE S1**



**Fig.5:** Andamento dell'induzione magnetica al suolo in funzione della distanza dall'asse dei conduttori



**Fig.6:** Andamento dell'induzione magnetica a 1 m dal suolo in funzione della distanza dall'asse dei conduttori

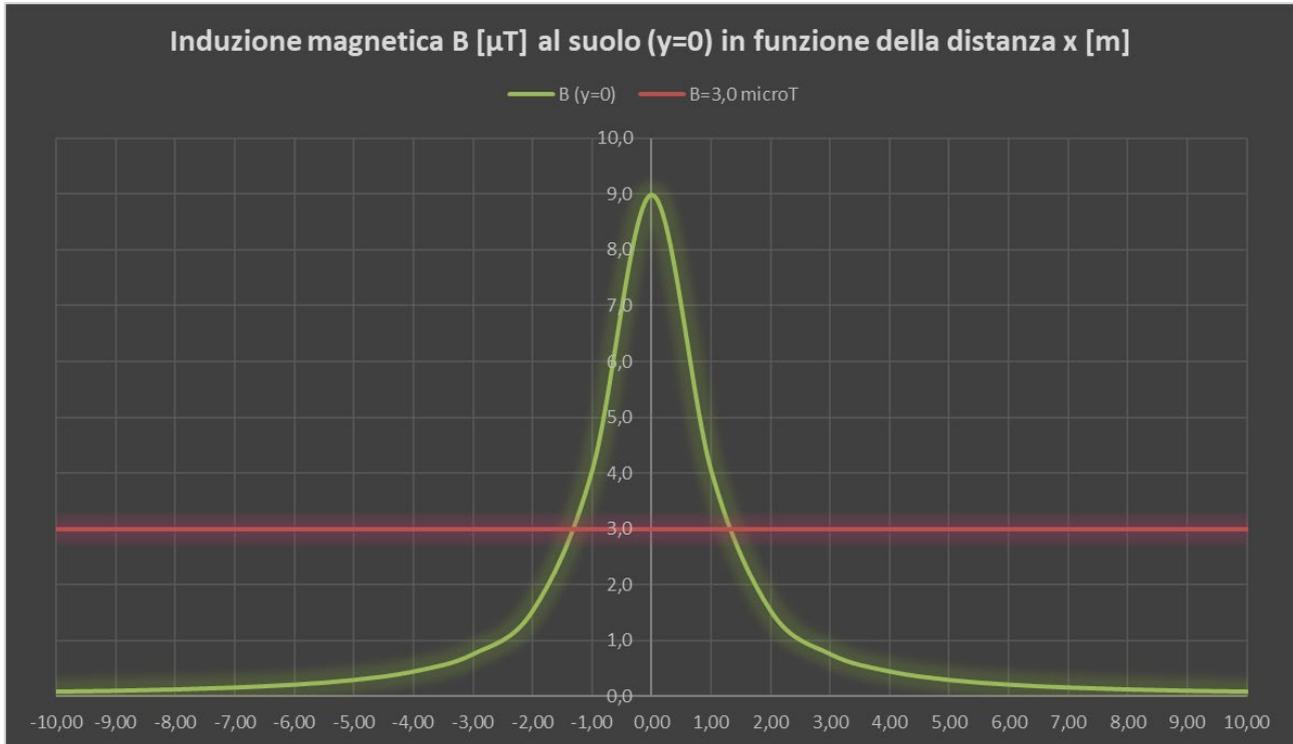


**Fig.7:** Andamento dell'induzione magnetica alla profondità dei conduttori per determinare la DPA

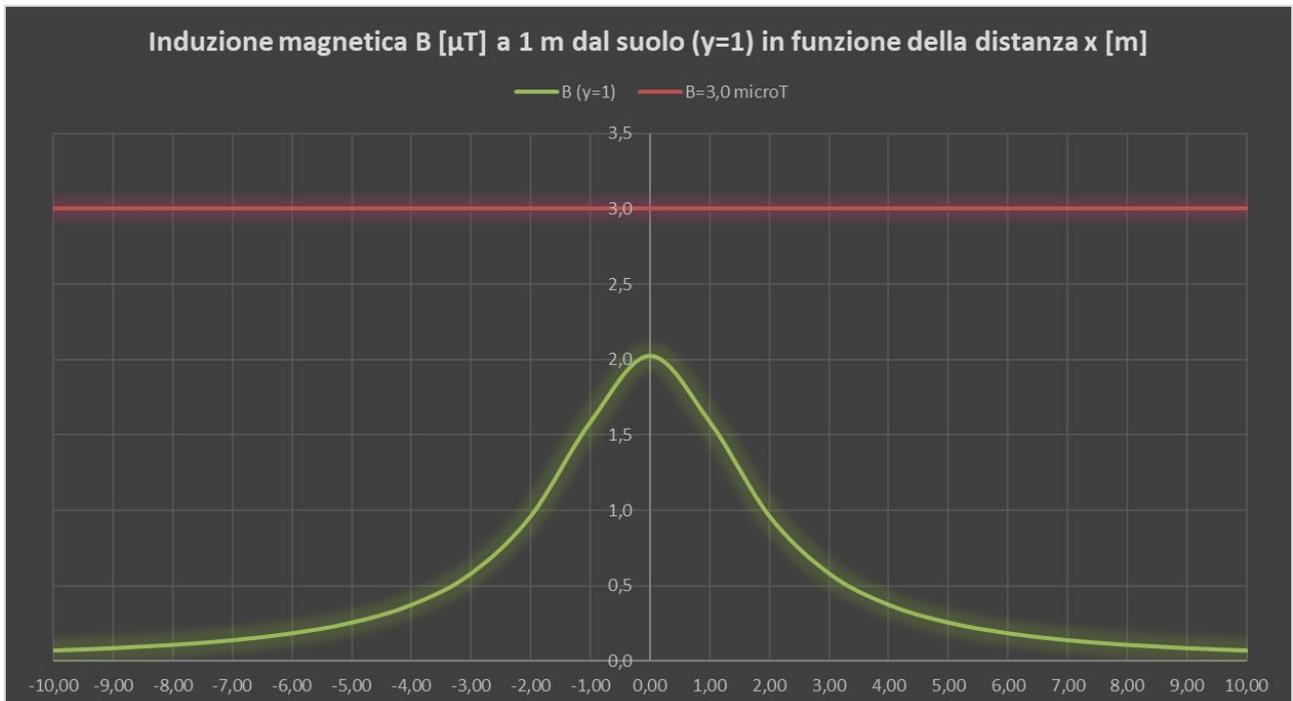
	y = 0 [m]	y = 1 [m]
x [m]	B [mT]	B [mT]
-10,00	0,084	0,082
-9,00	0,104	0,100
-8,00	0,131	0,126
-7,00	0,170	0,161
-6,00	0,231	0,214
-5,00	0,329	0,297
-4,00	0,505	0,433
-3,00	0,865	0,673
-2,00	1,763	1,114
-1,00	4,677	1,837
<b>0,00</b>	<b>10,416</b>	<b>2,344</b>
1,00	4,677	1,837
2,00	1,763	1,114
3,00	0,865	0,673
4,00	0,505	0,433
5,00	0,329	0,297
6,00	0,231	0,214
7,00	0,170	0,161
8,00	0,131	0,126
9,00	0,104	0,100
10,00	0,084	0,082

**Tab.5:** Valori di induzione magnetica per la simulazione S1

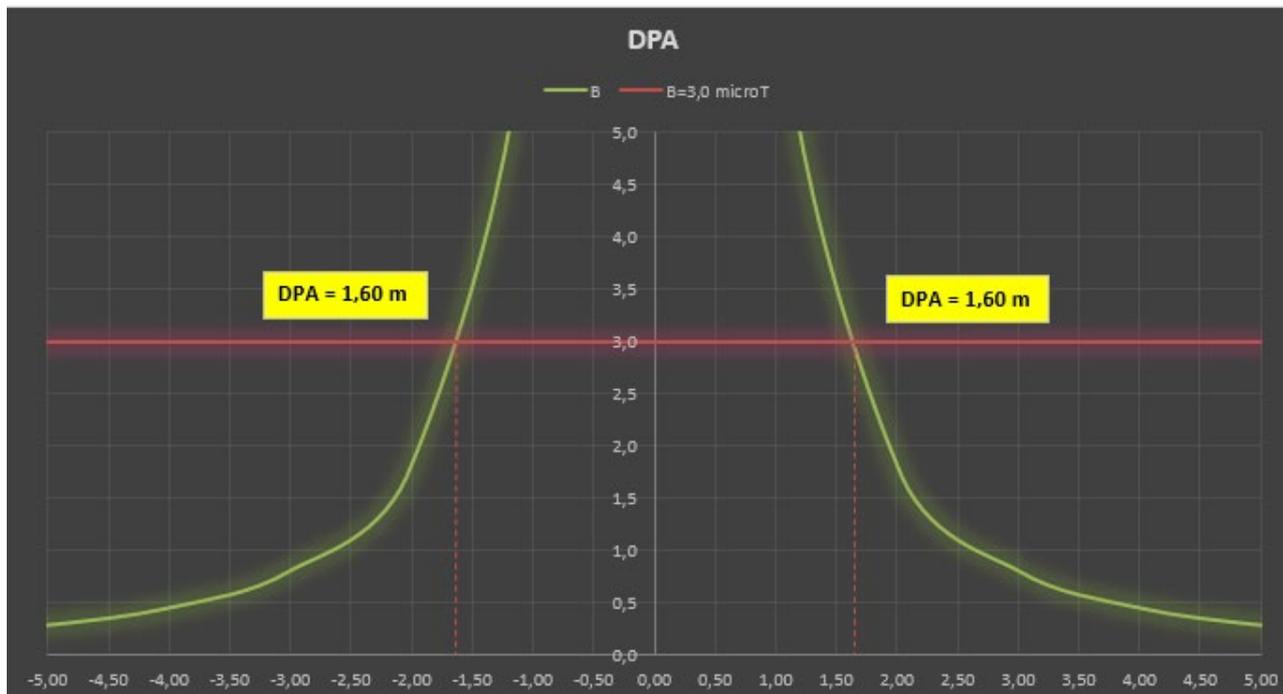
**SIMULAZIONE S2**



**Fig.8:** Andamento dell'induzione magnetica al suolo in funzione della distanza dall'asse dei conduttori



**Fig.9:** Andamento dell'induzione magnetica a 1 m dal suolo in funzione della distanza dall'asse dei conduttori

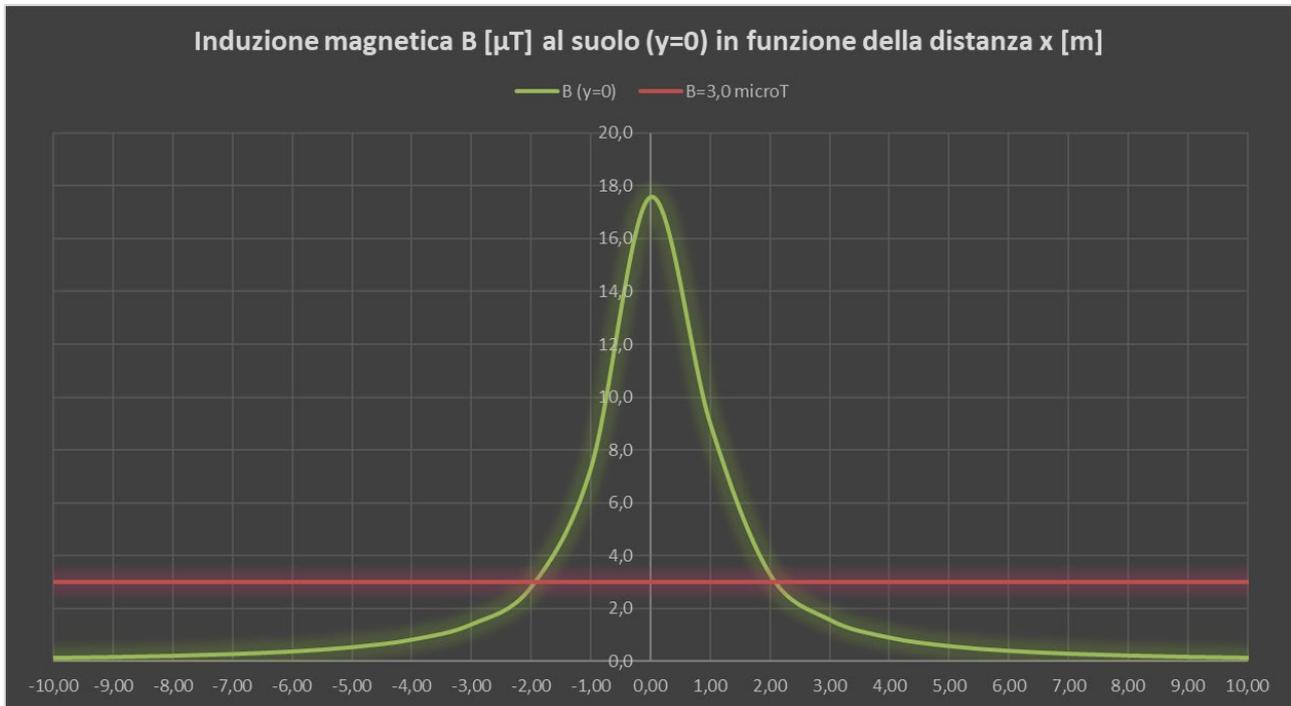


**Fig.10:** Andamento dell'induzione magnetica all'altezza dei conduttori per determinare la DPA

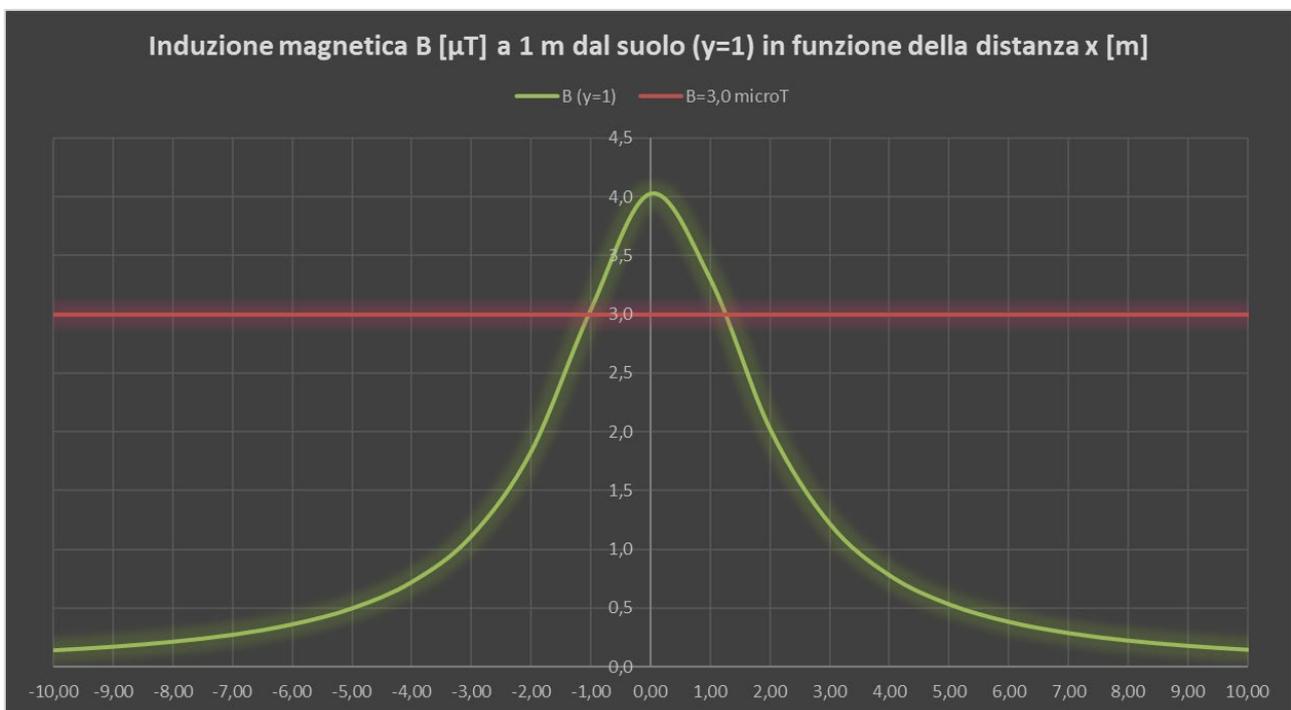
	<b>y = 0 [m]</b>	<b>y = 1 [m]</b>
<b>x [m]</b>	<b>B [mT]</b>	<b>B [mT]</b>
-10,00	0,073	0,071
-9,00	0,089	0,087
-8,00	0,113	0,108
-7,00	0,147	0,139
-6,00	0,199	0,185
-5,00	0,284	0,256
-4,00	0,435	0,373
-3,00	0,746	0,580
-2,00	1,520	0,961
-1,00	4,034	1,584
<b>0,00</b>	<b>8,984</b>	<b>2,022</b>
1,00	4,034	1,584
2,00	1,520	0,961
3,00	0,746	0,580
4,00	0,435	0,373
5,00	0,284	0,256
6,00	0,199	0,185
7,00	0,147	0,139
8,00	0,113	0,108
9,00	0,089	0,087
10,00	0,073	0,071

**Tab.6:** Valori di induzione magnetica per la simulazione S2

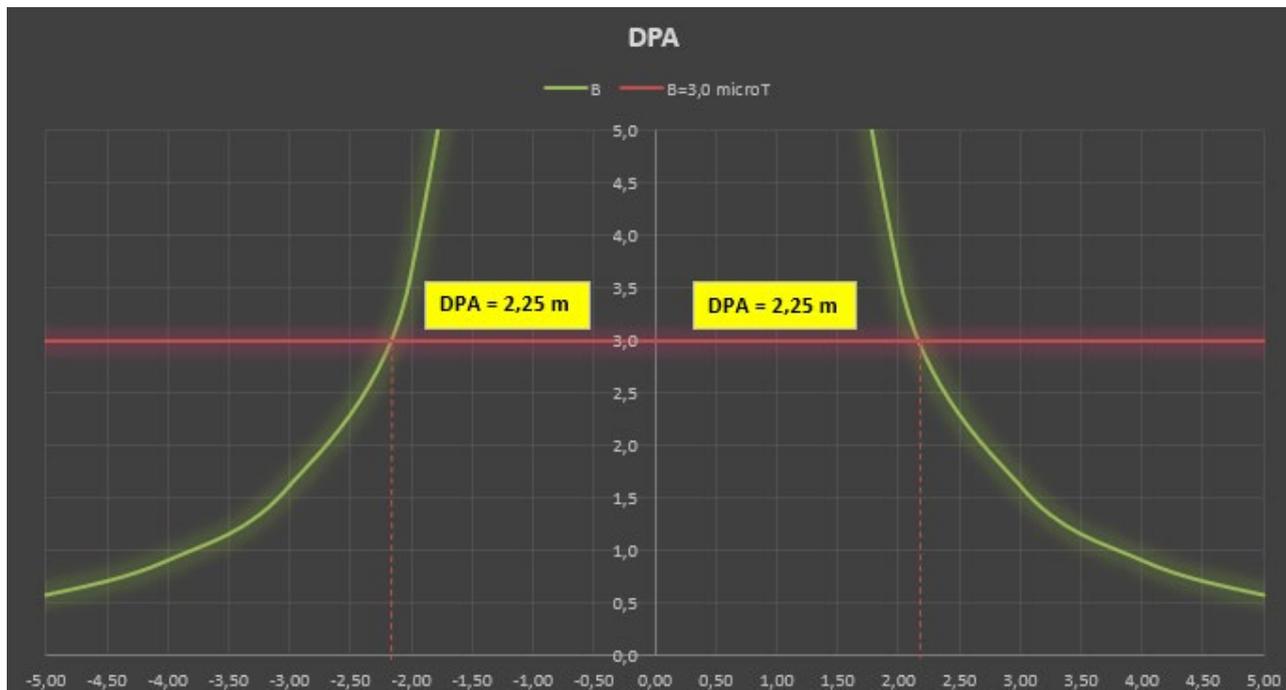
**SIMULAZIONE S3**



**Fig.11:** Andamento del campo magnetico al suolo in funzione della distanza dall'asse dei conduttori



**Fig.12:** Andamento dell'induzione magnetica a 1 m dal suolo in funzione della distanza dall'asse dei conduttori

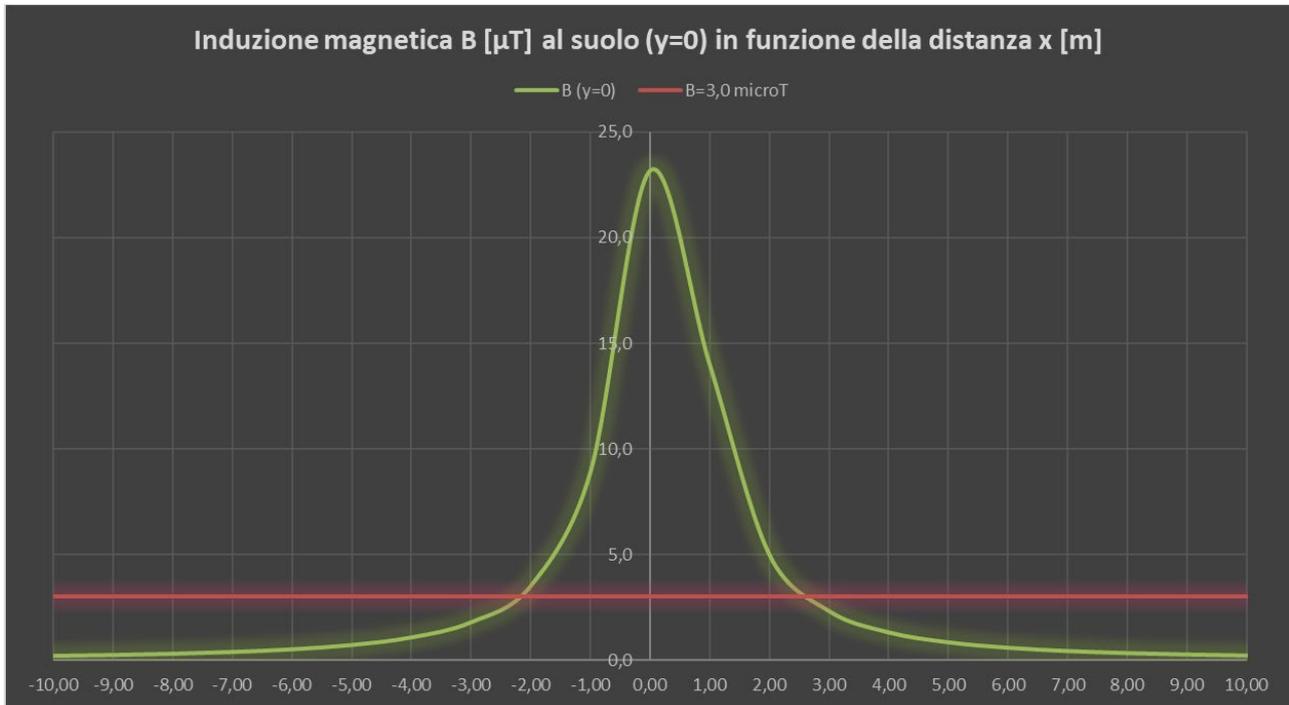


**Fig.13:** Andamento dell'induzione magnetica all'altezza dei conduttori per determinare la DPA

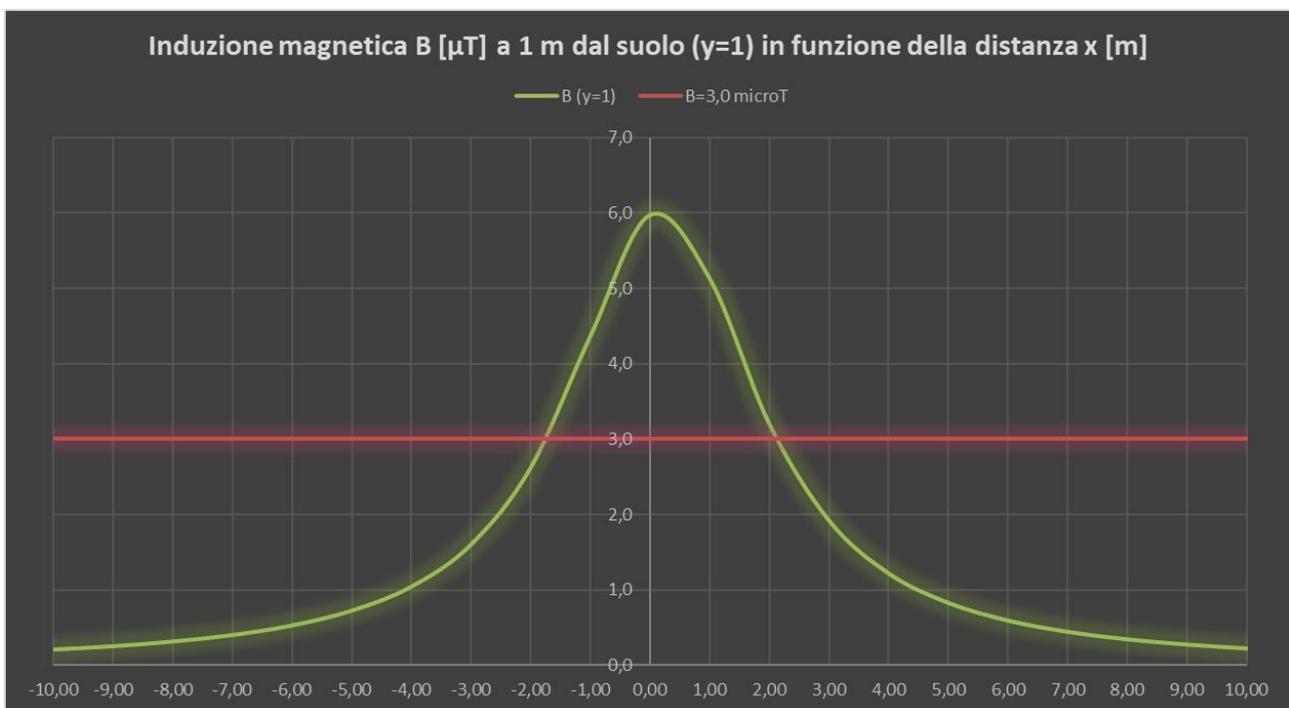
	y = 0 [m]	y = 1 [m]
x [m]	B [mT]	B [mT]
-10,00	0,143	0,139
-9,00	0,175	0,170
-8,00	0,221	0,212
-7,00	0,286	0,271
-6,00	0,386	0,360
-5,00	0,548	0,496
-4,00	0,834	0,719
-3,00	1,412	1,111
-2,00	2,826	1,831
-1,00	7,319	3,038
<b>0,00</b>	<b>17,591</b>	<b>4,024</b>
1,00	9,005	3,295
2,00	3,308	2,022
3,00	1,586	1,215
4,00	0,912	0,776
5,00	0,590	0,530
6,00	0,411	0,381
7,00	0,302	0,285
8,00	0,231	0,221
9,00	0,182	0,177
10,00	0,148	0,144

**Tab.7:** Valori di induzione magnetica per la simulazione S3

**SIMULAZIONE S4**



**Fig.14:** Andamento dell'induzione magnetica al suolo in funzione della distanza dall'asse dei conduttori



**Fig.15:** Andamento dell'induzione magnetica a 1 m dal suolo in funzione della distanza dall'asse dei conduttori



**Fig.16:** Andamento dell'induzione magnetica all'altezza dei conduttori per determinare la DPA

	y = 0 [m]	y = 1 [m]
x [m]	B [mT]	B [mT]
-10,00	0,187	0,205
-9,00	0,230	0,250
-8,00	0,289	0,311
-7,00	0,374	0,397
-6,00	0,500	0,525
-5,00	0,706	0,721
-4,00	1,067	1,040
-3,00	1,784	1,598
-2,00	3,506	2,620
-1,00	8,906	4,364
<b>0,00</b>	<b>23,194</b>	<b>5,969</b>
1,00	13,986	5,122
2,00	4,981	3,193
3,00	2,311	1,913
4,00	1,304	1,213
5,00	0,832	0,823
6,00	0,575	0,589
7,00	0,421	0,439
8,00	0,320	0,340
9,00	0,252	0,271
10,00	0,203	0,220

**Tab.8:** Valori di induzione magnetica per la simulazione S4

	<b>RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO</b>	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	PD_A_IE.SIA.01 22/03/2021 30/03/2021 00 23 di 27
---	--	---	--

## 6.2 Determinazione della distanza di prima approssimazione (DPA)

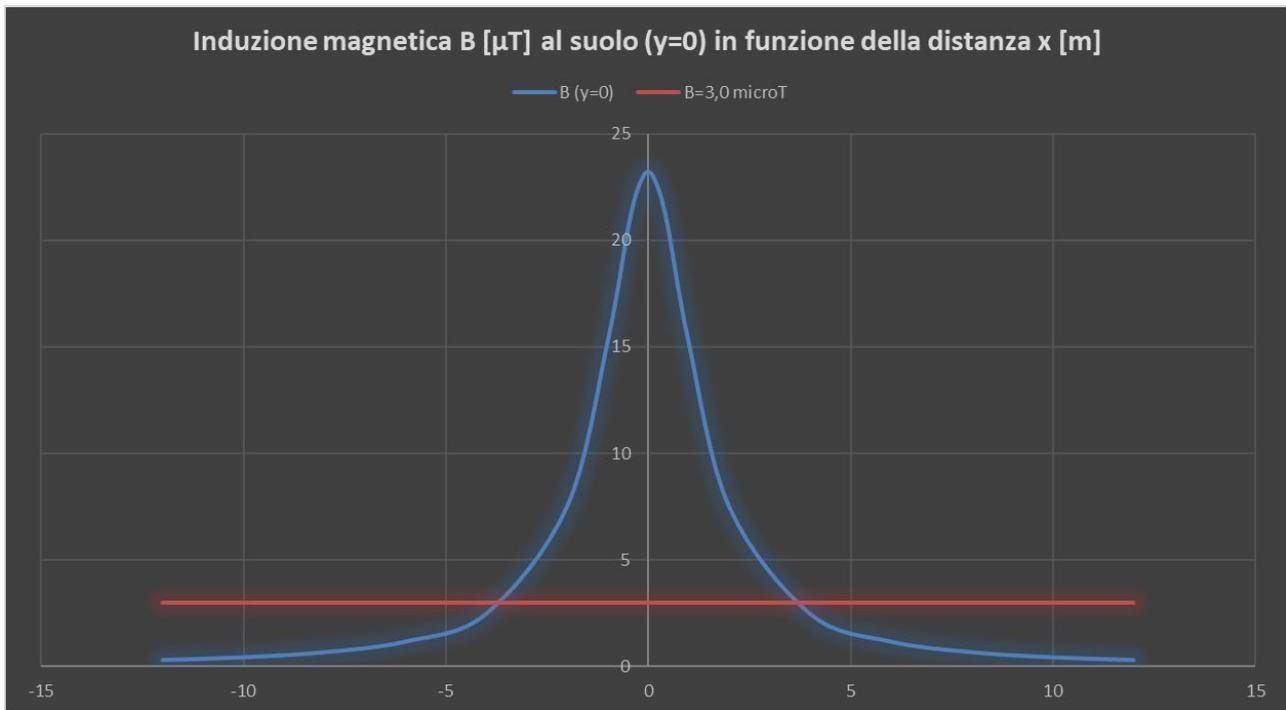
Il calcolo della DPA per i cavidotti di collegamento in MT simulati si traduce graficamente nell'individuazione di una distanza che ha origine dal punto di proiezione dall'asse del cavidotto al suolo e ha termine in un punto individuato sul suolo il cui valore del campo magnetico risulta essere uguale o inferiore ai 3  $\mu$ T. Si riportano nella seguente tabella le distanze di prima approssimazione per i tratti di cavidotto presi in esame:

CASO DI STUDIO	N. TERNE	DPA [m]
S1	1	1,70
S2	1	1,60
S3	1	2,25
S4	2	2,71

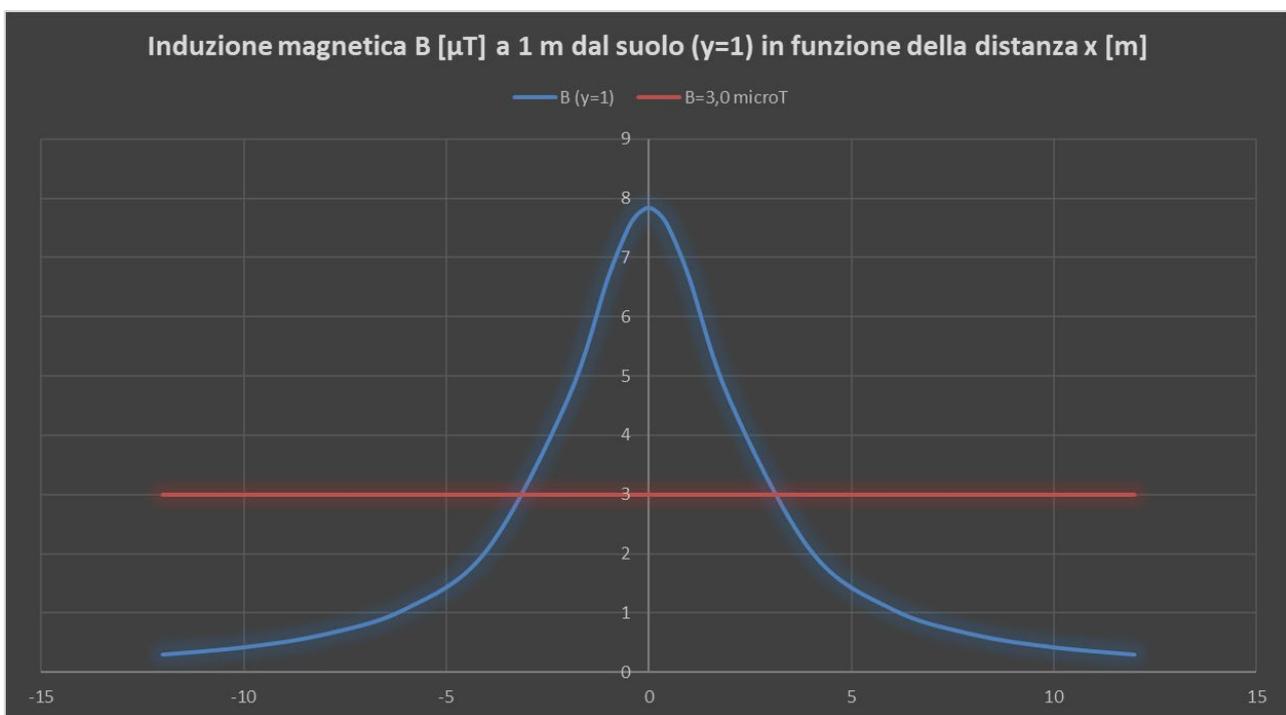
**Tab.9:** Riepilogo valori DPA

## 7. LINEE IN CAVO INTERRATO IN ALTA TENSIONE

Per la realizzazione del cavidotto di collegamento in AT, tra la stazione elettrica di utenza e la stazione elettrica RTN saranno considerati tutti gli accorgimenti che consentono la minimizzazione degli effetti elettrici e magnetici sull'ambiente e sulle persone. In particolare, la scelta di operare con linee in AT interrate permette di eliminare la componente elettrica del campo, grazie all'effetto schermante del terreno. Nel caso in questione, l'elettrodotta in cavo è lungo 150 m circa ed è interno all'area degli impianti di utenza e RTN. La simulazione condotta prevede la posa dei cavi a trifoglio, a profondità di 1,6 m con letto di posa a 1,5 m e corrente pari a 910 A, tipica di un cavo in alluminio da 1.600 mm<sup>2</sup>.



**Fig.17:** Andamento dell'induzione magnetica al suolo in funzione della distanza dall'asse dei conduttori



**Fig.18:** Andamento dell'induzione magnetica a 1 m dal suolo in funzione della distanza dall'asse dei conduttori



**Fig.19:** Andamento dell'induzione magnetica all'altezza dei conduttori per determinare la DPA

	<b>y = 0 [m]</b>	<b>y = 1 [m]</b>
<b>x [m]</b>	<b>B [mT]</b>	<b>B [mT]</b>
-10,00	0,31	0,30
-9,00	0,44	0,42
-8,00	0,68	0,64
-7,00	1,18	1,07
-6,00	2,49	2,05
-5,00	7,53	4,60
-4,00	15,26	6,66
-3,00	20,54	7,50
-2,00	22,18	7,70
-1,00	23,10	7,81
<b>0,00</b>	<b>23,22</b>	<b>7,83</b>
1,00	23,10	7,81
2,00	22,18	7,70
3,00	20,54	7,50
4,00	15,26	6,66
5,00	7,53	4,60
6,00	2,49	2,05
7,00	1,18	1,07
8,00	0,68	0,64
9,00	0,44	0,42
10,00	0,31	0,30

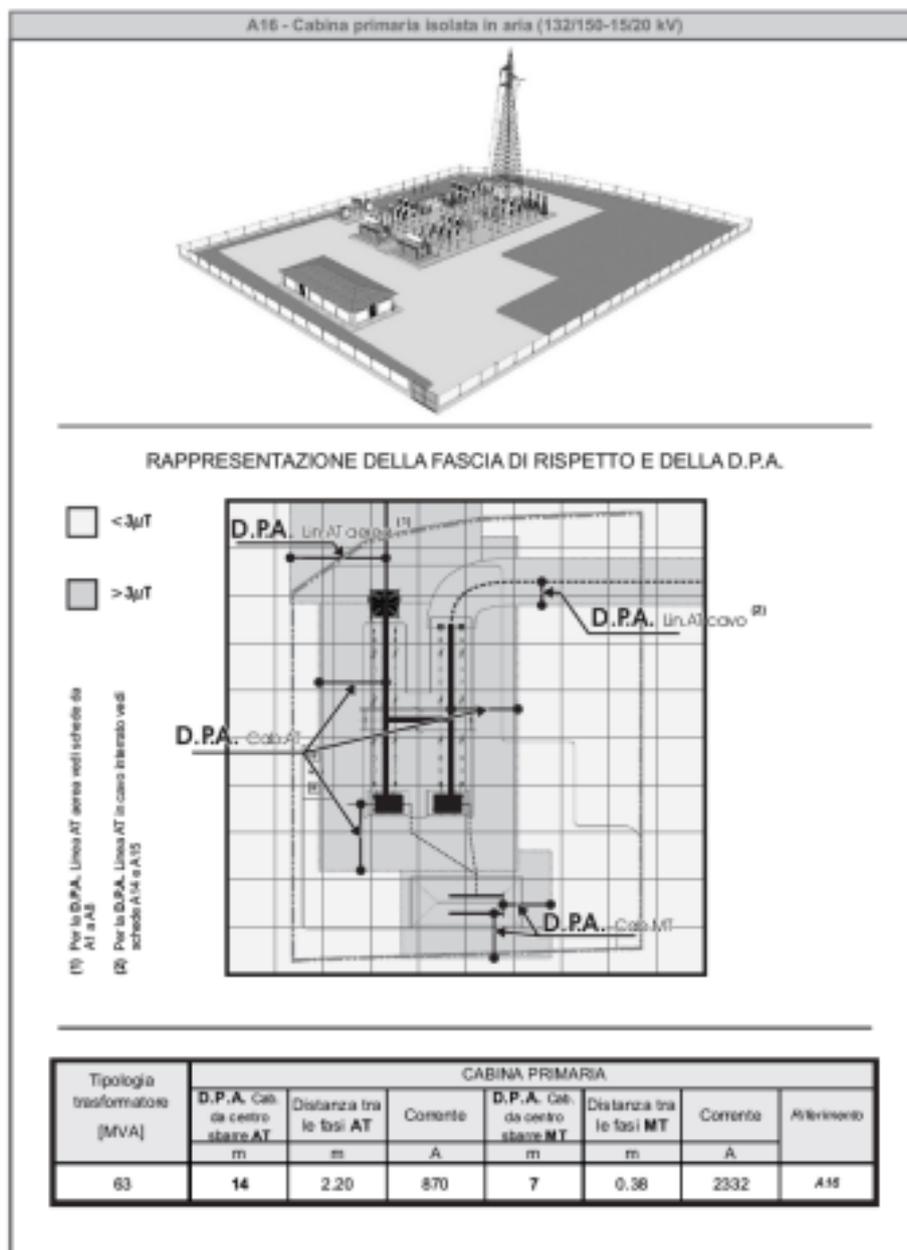
**Tab.10:** Valori di induzione magnetica per il cavo AT

## 8. STAZIONE ELETTRICA UTENTE

L'ENEL ha unificato sul territorio nazionale le fasce di rispetto in caso di opere elettriche esercite in media e alta tensione dopo prolungate misure presso i propri impianti.

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

Pertanto, la DPA per le sbarre MT si può assumere pari a 7 m, così come riportato nella scheda seguente.



	<b>RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO</b>	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	PD_A_IE.SIA.01 22/03/2021 30/03/2021 00 27 di 27
---	--	---	--

La scheda precedente indica anche la DPA per il livello 150 kV mentre la stazione elettrica di utente ha le sbarre a 220 kV. Considerando per queste ultime un'altezza pari a 9,30 m, un'interdistanza pari a 3,20 m e una corrente pari a 3.150 A, si calcola che la DPA è pari a 35 m dall'asse sbarre.

## 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, cavidotto AT e cabina elettrica dell'utente) la già menzionata DPA.

Tutte i cavidotti, delimitati dalla propria DPA, 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 sottolinea, peraltro, che l'innalzamento degli aerogeneratori, la posa dei cavidotti MT, la realizzazione della stazione di trasformazione AT/MT e la posa del cavidotto AT sono stati posizionati in luoghi che non sono adibiti a permanenze prolungate della popolazione e tanto meno negli ambienti particolarmente protetti, quali scuole, aree di gioco per l'infanzia.

In ogni caso si rammenta che i calcoli sono stati effettuati con le correnti al limite termico, correnti che non saranno mai raggiunte, così come risulta evidente dalla Tab.4, e queste ultime sarebbero raggiunte solo nel caso in cui tutte le turbine fossero funzionanti al 100% del rendimento.

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 in località "Borgo Chitarra" a Mazzara del Vallo, di proprietà della Repower Renewable S.p.A. rispetta la normativa vigente.