

REGIONE SARDEGNA
PROVINCE DI ORISTANO E NUORO
Suni(OR) - Sindia (NU) - Macomer (NU)

LOCALITA' "S'ena e Cheos ", "Tiruddone", "Ferralzos"

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE - 7 AEROGENERATORI

Sezione SIA:

STUDIO IMPATTO AMBIENTALE

Titolo elaborato:

RELAZIONE SUUL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO

N. Elaborato: SIA09.IE.01

Scala: -

Proponente

ORTA ENERGY 9 Srl

Largo Guido Donegani, 2
CAP 20121 Milano (MI)
P.Iva 11898400962

Amministratore

Francesco DOLZANI

Progettazione



sede legale e operativa

San Martino Sannita (BN) Loc. Chianarile snc Area Industriale

sede operativa

Lucera (FG) via A. La Cava 114

P.IVA 01465940623

Azienda con sistema gestione qualità Certificato N. 50 100 11873



Progettista

Dott. Ing. Nicola Forte



Rev.	Data	Elaborazione	Approvazione	Emissione	DESCRIZIONE
00	LUGLIO 2023	FDM sigla	FDM-PR sigla	NF sigla	Emissione progetto definitivo
Nome File sorgente		ES.SUN01.SIA09.IE.01.R00.doc	Nome file stampa	ES.SUN01.SIA09.IE.01.R00.pdf	Formato di stampa A4

INDICE

1	PREMESSA	4
2	NORME E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	6
3	INQUADRAMENTO NORMATIVO	6
4	DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO	8
4.1	Generalità	8
4.2	Linee di distribuzione in MT	9
4.3	Cabina di raccolta dell'impianto	9
4.4	Stazione elettrica di utenza 30/150 kV	9
4.5	Quadri MT stazione elettrica 30 kV	10
4.6	Sistema di accumulo	10
4.5	Cavidotto in alta tensione	10
5	METODOLOGIA DI CALCOLO CAMPO MAGNETICO	11
5.1	Definizioni	11
5.2	Cenni teorici sul modello utilizzato	11
5.3	Metodo di calcolo	12
6	METODOLOGIA DI CALCOLO CAMPO ELETTRICO	13
6.1	Cenni teorici	13
7	LINEA IN CAVO INTERRATO IN MEDIA TENSIONE	14
7.1	Determinazione dei campi magnetici	14
7.4	Determinazione della distanza di prima approssimazione (DPA)	19
8	CABINA DI RACCOLTA DELL'IMPIANTO	20
9	STAZIONE ELETTRICA DI UTENZA 30/150 kV	23
9.1	Sistema di accumulo	28
10	LINEA IN CAVO INTERRATO IN AT	30
11	VALUTAZIONE DEL RISCHIO DERIVANTE DALL'ESPOSIZIONE DEI LAVORATORI A CAMPI ELETTROMANETICI	32
11.1	Generalità	32
11.2	Analisi del rischio	32
11.3	Segnaletica	36
11.4	Informazione e formazione dei lavoratori	36
11.5	Sorveglianza sanitaria	37
12	CONCLUSIONI	38



Indice delle tabelle e delle figure

Tabella 1: Definizioni di limiti di esposizione, di valori di attenzione e di obiettivi di qualità secondo la legge quadro.....	7
Tabella 2: Limiti di esposizione, limiti di attenzione e obiettivi di qualità del DPCM 08/07/03, confrontati con i livelli di riferimento della Raccomandazione 1999/512CE.....	7
Tabella 3 Caratteristiche dimensionale ed elettriche dei cavi MT.....	9
Tabella 4 Caratteristiche dimensionale ed elettriche dei cavi MT.....	10
Tabella 5 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa alla simulazione S1.....	15
Tabella 6 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa alla simulazione S2.....	16
Tabella 7 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa alla simulazione S3.....	17
Tabella 8 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa alla simulazione S4.....	18
Tabella 9- Distanza di prima approssimazione per cavidotti di collegamento del parco eolico.....	19
Tabella 10 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare – sbarre MT cabina di raccolta dell'impianto.....	21
Tabella 11 Andamento del campo elettrico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare – sbarre MT cabina di raccolta dell'impianto.....	22
Tabella 12 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare - Sbarre AT stallo di trasformazione di progetto 30/150 kV - Valutazione della Distanza di prima Approssimazione.....	24
Tabella 13 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare – Sbarre MT stallo di trasformazione di progetto 30/150 kV - Valutazione della Distanza di prima Approssimazione.....	25
Tabella 14 Andamento del campo elettrico in forma tabellare –.....	26
Tabella 15 Andamento del campo elettrico in forma tabellare –.....	27
Tabella 16 Andamento del campo elettrico in forma tabellare –.....	31
Tabella 17 Scala delle probabilità “P” di accadimento di un evento.....	33
Tabella 18 Scala dell'entità del Danno “D”.....	34
Tabella 19 – Valutazione del Rischio.....	35
Tabella 20– Limiti imposti dalla normativa.....	35
Figura 1 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa alla simulazione S1.....	15
Figura 2 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa alla simulazione S2.....	16

 TENPROJECT	RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO	Codice Revisione Data di creazione Data ultima modif. Pagina	ES.SUN01.SIA09.IE.01 00 02/08/2023 04/08/2023 3 di 38
---	--	--	---

Figura 3 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa alla simulazione S3.	17
Figura 4 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa alla simulazione S4.	18
Figura 5 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica – sbarre MT cabina di raccolta dell'impianto.	20
Figura 6 Andamento del campo elettrico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica – sbarre MT cabina di raccolta dell'impianto.	21
Figura 7 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica - Sbarre AT stallo di trasformazione di progetto 30/150 kV - Valutazione della Distanza di prima Approssimazione.	23
Figura 8 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica - Sbarre MT stallo di trasformazione di progetto 30/150 kV - Valutazione della Distanza di prima	24
Figura 9 Andamento del campo elettrico in forma grafica - Sbarre AT stallo di trasformazione di progetto 30/150 kV.	25
Figura 10 Andamento del campo elettrico in forma grafica – Sbarre MT stallo di trasformazione di progetto 30/150 kV.	26
Figura 11 Rappresentazione grafica della DPA cavidotto AT 150 kV.....	30
Figura 12 Esempio di Matrice di Valutazione del Rischio: $R = P \times D$	33

1 PREMESSA

Il progetto descritto nella presente relazione riguarda la realizzazione di un impianto eolico costituito da 7 aerogeneratori della potenza di 6 MW ciascuno, per una potenza di 42 MW, integrato con un sistema di accumulo con batterie agli ioni da 20 MW, per una potenza complessiva in immissione di 62 MW da installare nel comune di Suni (OR) e Sindia (NU) alle località "S'ena e Cheos", "Tiruddone" e "Ferralzos", con opere di connessione alla rete di trasmissione nazionale ricadenti nel comune Macomer (NU) alla località "Mura de Putzu". Proponente dell'iniziativa è la società Orta Energy 9 srl.

Il sito di installazione degli aerogeneratori è ubicato tra i centri abitati di Suni e Sindia, dai quali gli aerogeneratori più prossimi distano rispettivamente 4,5 km e 2,5 km.

Gli aerogeneratori sono collegati tra loro mediante un cavidotto in media tensione interrato denominato "cavidotto interno" che sarà posato quasi totalmente al di sotto di viabilità esistente e che giunge fino alla cabina di raccolta, prevista nel comune di Sindia alla località "Piena Porcalzos" nei pressi della strada comunale Miali Spina.

Dalla cabina di raccolta parte il tracciato del cavidotto interrato in media tensione "esterno", che corre su strada esistente e che, dopo circa 19 km, raggiunge la stazione elettrica di trasformazione 30/150 kV di progetto (in breve SE di utenza).

La SE di utenza, infine, è collegata in antenna a 150 kV sulla sezione a 150 kV della futura Stazione Elettrica (SE) di trasformazione 380/150 kV della RTN da inserire in entra-esce alla linea a 380 kV "Ittiri - Selargius".

All'interno della stazione di utenza è prevista l'installazione di un sistema di accumulo di energia denominato BESS - Battery Energy Storage System, basato su tecnologia elettrochimica a ioni di litio, comprendente gli elementi di accumulo, il sistema di conversione DC/AC e il sistema di elevazione con trasformatore e quadro di interfaccia. Il sistema di accumulo è dimensionato per 20 MW con soluzione containerizzata, composto sostanzialmente da:

- 16 Container metallici Batterie HC ISO con relativi sistemi di comando e controllo;
- 8 Container metallici PCS HC ISO per le unità inverter completi di quadri servizi ausiliari e relativi pannelli di controllo e trasformazione BT/MT.

Completano il quadro delle opere da realizzare una serie di adeguamenti temporanei alle strade esistenti necessari a consentire il passaggio dei mezzi eccezionali di trasporto delle strutture costituenti gli aerogeneratori.

In fase di realizzazione dell'impianto sarà necessario predisporre un'area logistica di cantiere con le funzioni di stoccaggio materiali e strutture, ricovero mezzi, disposizione dei baraccamenti necessari alle maestranze (fornitore degli aerogeneratori, costruttore delle opere civili ed elettriche) e alle figure deputate al controllo della realizzazione (Committenza dei lavori, Direzione Lavori, Coordinatore della Sicurezza in fase di esecuzione, Collaudatore).

Al termine dei lavori di costruzione dell'impianto, le aree di cantiere, le opere temporanee di

 TENPROJECT	RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO	Codice Revisione Data di creazione Data ultima modif. Pagina	ES.SUN01.SIA09.IE.01 00 02/08/2023 04/08/2023 5 di 38
---	--	--	---

adeguamento della viabilità e quelle funzionali alla realizzazione dell'impianto saranno rimosse ed i luoghi saranno ripristinati come ante operam.

La relazione è stata redatta al fine di determinare i valori di campo elettrico e campo magnetico attesi (calcolo previsionale) e la valutazione degli effetti ambientali conseguenti ai sensi della legge 36/01 e DPCM 08/07/2003.



2 NORME E DOCUMENTAZIONE 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”.
- "La protezione dai campi elettromagnetici" - Edizione TNE.
- "Inquinamento elettromagnetico" - P. Bevitori et al. - Maggioli Editore.
- "La valutazione dell'inquinamento elettromagnetico" - Edizione Maggioli Editore.
- ES.SUN01.PD.5.1.R00 Punto di consegna: planimetria catastale e collegamento alla RTN;
- ES.SUN01.PD.5.2.R00 Punto di consegna: planimetria e profilo elettromeccanico;
- ES.SUN01.PD.5.3.R00 Punto di consegna: planimetria ed architettonici di fondazione - particolari costruttivi;
- ES.SUN01.PD.5.4.R00 Punto di consegna: particolari edifici;
- ES.SUN01.PD.5.6.R00 Schema elettrico unifilare impianto eolico.

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

 TENPROJECT	RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO	Codice	ES.SUN01.SIA09.IE.01
		Revisione	00
		Data di creazione	02/08/2023
		Data ultima modif.	04/08/2023
		Pagina	7 di 38

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).

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.

Tabella 2: Limiti di esposizione, limiti di attenzione e obiettivi di qualità del DPCM 08/07/03, confrontati con i livelli di riferimento della Raccomandazione 1999/512CE.

Normativa	Limiti previsti	Induzione magnetica B (μ T)	Intensità del campo elettrico E (V/m)
DPCM	Limite d'esposizione	100	5.000
	Limite d'attenzione	10	
	Obiettivo di qualità	3	
Racc. 1999/512/CE	Livelli di riferimento (ICNIRP1998,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 μT 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 μT per lunghe esposizioni e di 1000 μT 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 procedimento semplificato che trasforma la fascia di rispetto (volume) in una distanza di prima approssimazione (distanza).

4 DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

4.1 Generalità

I campi a frequenze estremamente basse (ELF), quali quelli che si manifestano nell'esercizio delle linee elettriche, sono quelli con frequenze fino a 300 Hz. A frequenze così basse corrispondono lunghezze d'onda in aria molto grandi (6000 km a 50 Hz e 5000 km a 60 Hz) e, in situazioni pratiche, il campo elettrico e quello magnetico agiscono in modo indipendente l'uno dall'altro e sono calcolati e misurati separatamente.

I campi magnetici sono 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 (μT). I campi magnetici 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 in MT di collegamento tra gli aerogeneratori;
- Il cavidotto in MT di collegamento tra i gruppi di aerogeneratori e la cabina di raccolta;
- La sezione in MT della cabina di raccolta;
- Il cavidotto in MT di collegamento tra la cabina di raccolta e la SE di utenza in progetto;
- Stallo di trasformazione 30/150 kV della SE di utenza in progetto;
- Sistema di accumulo di energia denominato BESS - Battery Energy Storage System in progetto all'interno della SE di utenza.

4.2 Linee di distribuzione in MT

Gli aerogeneratori saranno connessi tra di loro da una rete di distribuzione in cavo interrato esercita in media tensione a 30 kV, costituente il collegamento interno.

Il gruppo di aerogeneratori dell'impianto saranno connessi alla stazione elettrica 30/150 kV di utenza attraverso una rete di distribuzione in media tensione a 30 kV, costituente il collegamento esterno.

I cavi MT utilizzati per le linee elettriche interrate saranno del tipo unipolare ARE4H5E – $U_0/U_m = 18/30$ kV – con conduttore in alluminio di sezioni 95 mm², 240 mm², 500 mm², 630 mm² con schermo in tubo Al, isolante XLPE, rivestimento esterno in guaina.

I cavi previsti sono destinati a sistemi elettrici di distribuzione con $U_0/U_m=18/30$ kV e tensione massima $U_m=36$ kV, sigla di designazione ARE4H5E.

La sezione dei singoli cavi componenti le terne, presenta le seguenti caratteristiche dimensionali:

Tabella 3 Caratteristiche dimensionale ed elettriche dei cavi MT.

Sezione conduttore	Diametro conduttore	Spessore Isolante	Diametro cavo	Portata al limite termico
[mm ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[A]
3x1x95	11,4	8	36,6	252
3x1x240	18,2	8	44,1	422
3x1x500	26,7	8	53,9	422
3x1x630	30,5	8	58,7	703

4.3 Cabina di raccolta dell'impianto

All'interno della cabina di raccolta dell'impianto sono presenti le apparecchiature di media tensione (quadri MT), per la protezione ed il sezionamento delle linee elettriche, che collegano il parco eolico alla cabina ed alla stazione elettrica, il quadro di bassa tensione ed il trasformatore per i servizi ausiliari

4.4 Stazione elettrica di utenza 30/150 kV

La SE di utenza sarà costituita da un'area chiusa composta da:

- Edificio Utente costituito dai locali BT, MT e TSA;
- Stallo di trasformazione 30/150 kV;
- Una sezione partenza linea AT 150 kV per la consegna dell'energia prodotta alla Rete di Trasmissione Nazionale.



4.5 Quadri MT stazione elettrica 30 kV

All'interno del locale MT saranno ubicati i quadri in MT, per la protezione ed il sezionamento delle linee elettriche in arrivo dal parco eolico e in partenza verso il trasformatore di potenza AT/MT.

4.6 Sistema di accumulo

All'interno della stazione elettrica di utenza è prevista l'installazione di un sistema di accumulo di energia denominato BESS - Battery Energy Storage System basato su tecnologia elettrochimica a ioni di litio, comprendente gli elementi di accumulo, il sistema di conversione DC/AC e il sistema di elevazione con trasformatore e quadro di interfaccia.

Il sistema di accumulo è dimensionato per 20 MW con soluzione containerizzata, composto sostanzialmente da:

- 16 Container metallici Batterie HC ISO con relativi sistemi di comando e controllo;
- 8 Container metallici PCS HC ISO per le unità inverter completi di quadri servizi ausiliari e relativi pannelli di controllo e trasformazione BT/MT.

4.5 Cavidotto in alta tensione

Dalla stazione elettrica 30/150 kV di progetto, verrà trasferita alla futura SE Terna a 380/150 kV attraverso un cavidotto interrato in alta tensione.

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

Tabella 4 Caratteristiche dimensionale ed elettriche dei cavi MT.

Sezione conduttore	Diametro conduttore	Diametro cavo	Tipologia	Portata
[mm ²]	[mm]	[mm]		[A]
3x1x1600	45,2	108	Unipolare	1060

5 METODOLOGIA DI CALCOLO CAMPO MAGNETICO

5.1 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.

5.2 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 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 suo tratto elementare, r la distanza tra questo tratto elementare ed 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.

5.3 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).



6 METODOLOGIA DI CALCOLO CAMPO ELETTRICO

6.1 Cenni teorici

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 = densità lineare di carica sul conduttore

ϵ_0 = permittività del vuoto

d = distanza del conduttore rettilineo dal punto di calcolo

u_r = versore unitario con direzione radiale al conduttore



7 LINEA IN CAVO INTERRATO IN MEDIA TENSIONE

7.1 Determinazione dei campi magnetici

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.

Le simulazioni di seguito elencate, rappresentano le condizioni peggiori del calcolo della DPA dell'intero impianto, in quanto le simulazioni sono state effettuate considerando il maggiore numero di terne e la maggiore sezione dei conduttori.

In particolare, sia per il cavidotto interno che per il cavidotto esterno, come condizione peggiorativa ai fini del calcolo della DPA si sono determinate la seguente simulazione:

In dettaglio saranno simulati i seguenti tratti di cavidotto alla tensione nominale di 30 kV:

- **S1:** una terna di conduttori disposti a trifoglio di sezione 95 mm² percorsa da corrente massima pari a 252 A ed interrata ad una profondità di 1,2 m;
- **S2:** una terna di conduttori di sezione 95 mm² ed una terna di sezione 240 mm², disposti a trifoglio, percorse rispettivamente da corrente massima pari a 252 A e 422 A ed interrate ad una profondità di 1,2 m;
- **S3:** una terna di conduttori disposti a trifoglio di sezione 500 mm² percorsa da corrente massima pari a 618 A ed interrata ad una profondità di 1,2 m;
- **S4:** due terne di conduttori di sezione 630 mm², disposti a trifoglio, percorse rispettivamente da corrente massima pari a 703 A ed interrate ad una profondità di 1,2 m.

I valori del campo magnetico sono stati misurati ad altezza conduttori, al suolo e ad 1 m dal suolo. 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.

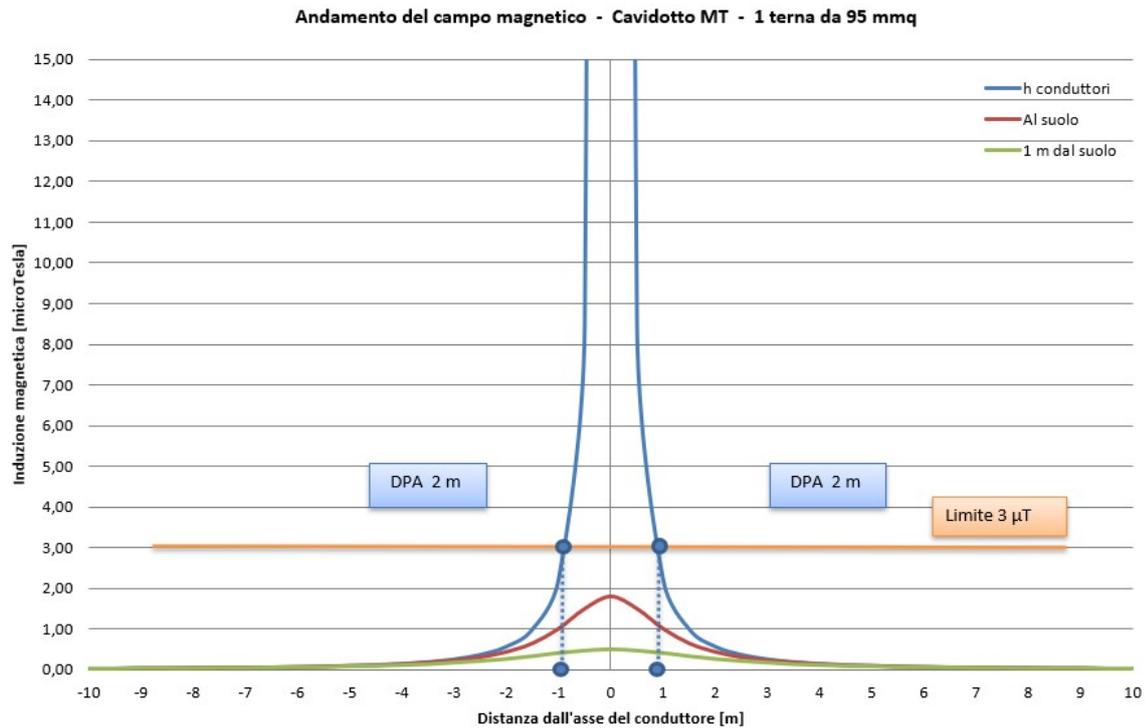


Figura 1 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa alla simulazione S1.

<i>Distanza dai cavi [m]</i>	<i>Altezza conduttori [μT]</i>	<i>Al suolo [μT]</i>	<i>Ad 1 m dal suolo [μT]</i>
-10,00	0,02	0,02	0,02
-9,00	0,03	0,03	0,03
-8,00	0,04	0,03	0,03
-7,00	0,05	0,04	0,04
-6,00	0,06	0,06	0,06
-5,00	0,09	0,09	0,08
-4,00	0,14	0,13	0,11
-3,00	0,25	0,22	0,17
-2,00	0,56	0,43	0,26
-1,00	2,22	1,00	0,41
0,00	156,58	1,79	0,50
1,00	2,22	1,00	0,41
2,00	0,56	0,43	0,26
3,00	0,25	0,22	0,17
4,00	0,14	0,13	0,11
5,00	0,09	0,09	0,08
6,00	0,06	0,06	0,06
7,00	0,05	0,04	0,04
8,00	0,04	0,03	0,03
9,00	0,03	0,03	0,03
10,00	0,02	0,02	0,02

Tabella 5 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa alla simulazione S1.

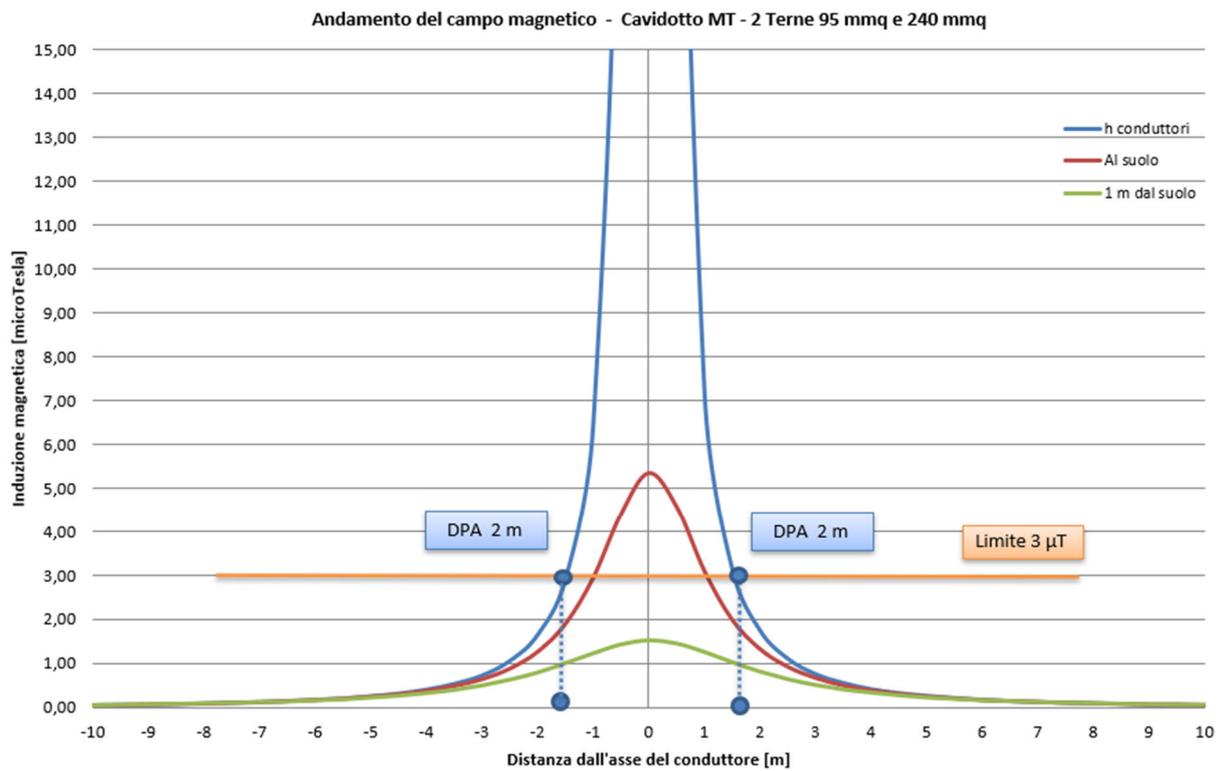


Figura 2 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa alla simulazione S2.

<i>Distanza dai cavi [m]</i>	<i>Altezza conduttori [μT]</i>	<i>Al suolo [μT]</i>	<i>Ad 1 m dal suolo [μT]</i>
-10,00	0,07	0,07	0,06
-9,00	0,08	0,08	0,08
-8,00	0,11	0,10	0,10
-7,00	0,14	0,13	0,13
-6,00	0,19	0,18	0,17
-5,00	0,27	0,26	0,23
-4,00	0,42	0,39	0,33
-3,00	0,74	0,65	0,50
-2,00	1,66	1,27	0,79
-1,00	6,45	2,94	1,22
0,00	167,38	5,33	1,51
1,00	7,22	3,09	1,25
2,00	1,76	1,33	0,81
3,00	0,77	0,68	0,51
4,00	0,43	0,40	0,34
5,00	0,28	0,26	0,23
6,00	0,19	0,18	0,17
7,00	0,14	0,14	0,13
8,00	0,11	0,11	0,10
9,00	0,08	0,08	0,08
10,00	0,07	0,07	0,07

Tabella 6 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa alla simulazione S2.

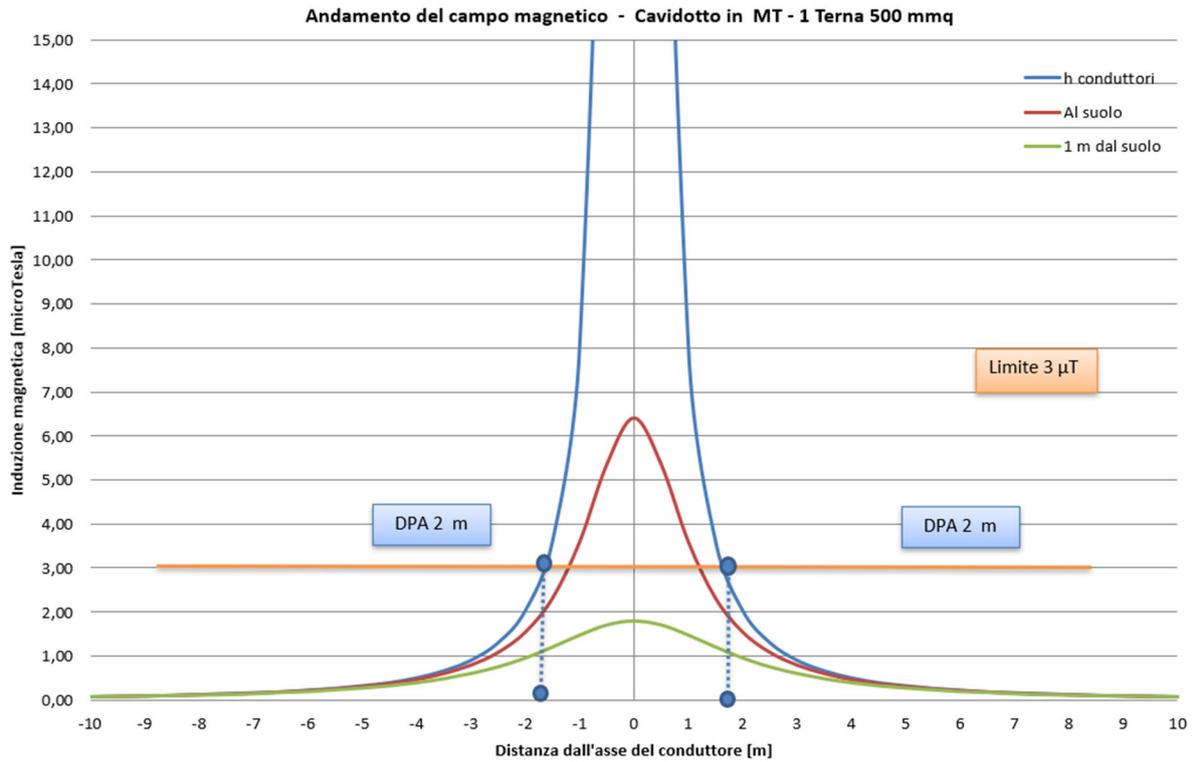


Figura 3 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa alla simulazione S3.

<i>Distanza dai cavi [m]</i>	<i>Altezza conduttori [μT]</i>	<i>Al suolo [μT]</i>	<i>Ad 1 m dal suolo [μT]</i>
-10,00	0,08	0,08	0,08
-9,00	0,10	0,10	0,10
-8,00	0,13	0,13	0,12
-7,00	0,17	0,16	0,15
-6,00	0,23	0,22	0,20
-5,00	0,33	0,31	0,28
-4,00	0,51	0,47	0,40
-3,00	0,91	0,80	0,61
-2,00	2,04	1,55	0,96
-1,00	8,06	3,60	1,48
0,00	495,55	6,41	1,80
1,00	8,06	3,60	1,48
2,00	2,04	1,55	0,96
3,00	0,91	0,80	0,61
4,00	0,51	0,47	0,40
5,00	0,33	0,31	0,28
6,00	0,23	0,22	0,20
7,00	0,17	0,16	0,15
8,00	0,13	0,13	0,12
9,00	0,10	0,10	0,10
10,00	0,08	0,08	0,08

Tabella 7 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa alla simulazione S3.

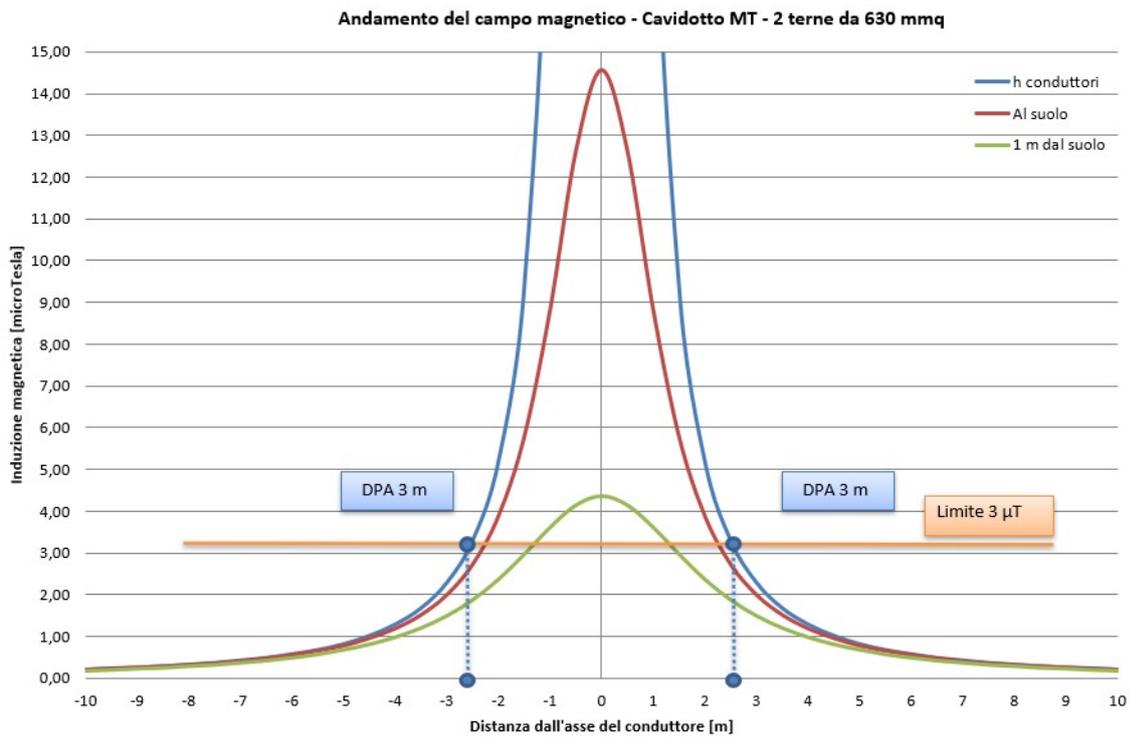


Figura 4 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa alla simulazione S4.

<i>Distanza dai cavi [m]</i>	<i>Altezza conduttori [μT]</i>	<i>Al suolo [μT]</i>	<i>Ad 1 m dal suolo [μT]</i>
-10,00	0,20	0,20	0,19
-9,00	0,25	0,25	0,24
-8,00	0,32	0,31	0,30
-7,00	0,42	0,40	0,38
-6,00	0,57	0,55	0,50
-5,00	0,81	0,77	0,69
-4,00	1,28	1,18	0,99
-3,00	2,28	1,99	1,50
-2,00	5,18	3,88	2,37
-1,00	21,97	8,82	3,61
0,00	134,51	14,58	4,36
1,00	21,97	8,82	3,61
2,00	5,18	3,88	2,37
3,00	2,28	1,99	1,50
4,00	1,28	1,18	0,99
5,00	0,81	0,77	0,69
6,00	0,57	0,55	0,50
7,00	0,42	0,40	0,38
8,00	0,32	0,31	0,30
9,00	0,25	0,25	0,24
10,00	0,20	0,20	0,19

Tabella 8 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa alla simulazione S4.



7.4 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 μ T. Si riportano nella seguente tabella le distanze di prima approssimazione per i tratti di cavidotto presi in esame:

Tabella 9- Distanza di prima approssimazione per cavidotti di collegamento del parco eolico.

CASO DI STUDIO	N° TERNE	SEZIONI [mm ²]	TIPOLOGIA CAVO	TENSIONE [kV]	DPA [m]
S1	1	3x1x95	Posa a trifoglio	30	1
S2	2	3x1x95 3x1x240	Posa a trifoglio	30	2
S3	1	3x1x500	Posa a trifoglio	30	2
S4	2	3x1x630 3x1x630	Posa a trifoglio	30	3

All'interno di tali aree ricadenti su strade esistenti non sono stati rinvenuti recettori sensibili.

In particolare, negli elaborati ES.SUN01.SIA09.IE.02.1.R00-ES.SUN01.SIA09.IE.02.2.R00-ES.SUN01.SIA09.IE.02.3.R00, sono rappresentati alcuni eventuali recettori individuati lungo il percorso del cavidotto MT, i quali però risultano ubicati a una distanza dal cavidotto superiore rispetto alle DPA precedentemente calcolate.



8 CABINA DI RACCOLTA DELL'IMPIANTO

Il calcolo del campo elettrico e magnetico per la cabina di raccolta dell'impianto è stato effettuato sulle sbarre a 30 kV dei quadri in MT. I parametri geometrici utilizzati per il calcolo risultano i seguenti:

- Altezza delle sbarre: 1.60 m;
- Distanza tra le sbarre: 0.3 m;

I parametri elettrici riportati nel software risultano, invece, i seguenti:

- Valore massimo della corrente che può transitare sulle sbarre a piena potenza alla tensione 30 kV: 630 A;
- Valore efficace della tensione fra conduttore e terra: 17341 V.

A favore della sicurezza, i valori di corrente utilizzati nella simulazione di calcolo sono quelli relativi alle correnti termiche nominali delle sbarre a 30 kV.

I valori di campo magnetico sono stati calcolati ad altezza conduttori, più precisamente, i risultati di seguito riportati illustrano l'andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse delle sbarre e su di un asse ortogonale alle stesse.

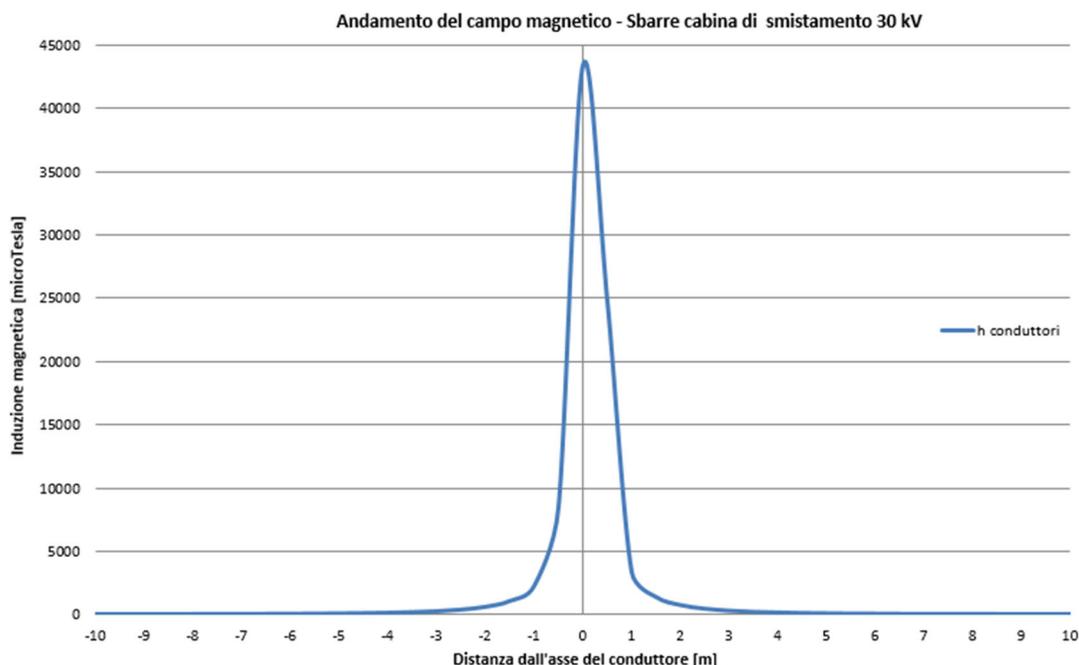


Figura 5 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica – sbarre MT cabina di raccolta dell'impianto.

<i>Distanza dall'asse [m]</i>	<i>Valori di campo magnetico [μT]</i>
	<i>Altezza conduttori</i>
-10,00	0,78
-9,00	0,96
-8,00	1,22
-7,00	1,59
-6,00	2,46
-5,00	3,13
-4,00	4,90
-3,00	8,75
-2,00	19,96
-1,00	85,79
0,00	1558,85
1,00	85,79
2,00	19,96
3,00	8,75
4,00	4,90
5,00	3,13
6,00	2,46
7,00	1,59
8,00	1,22
9,00	0,96
10,00	0,78

Tabella 10 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare – sbarre MT cabina di raccolta dell'impianto.

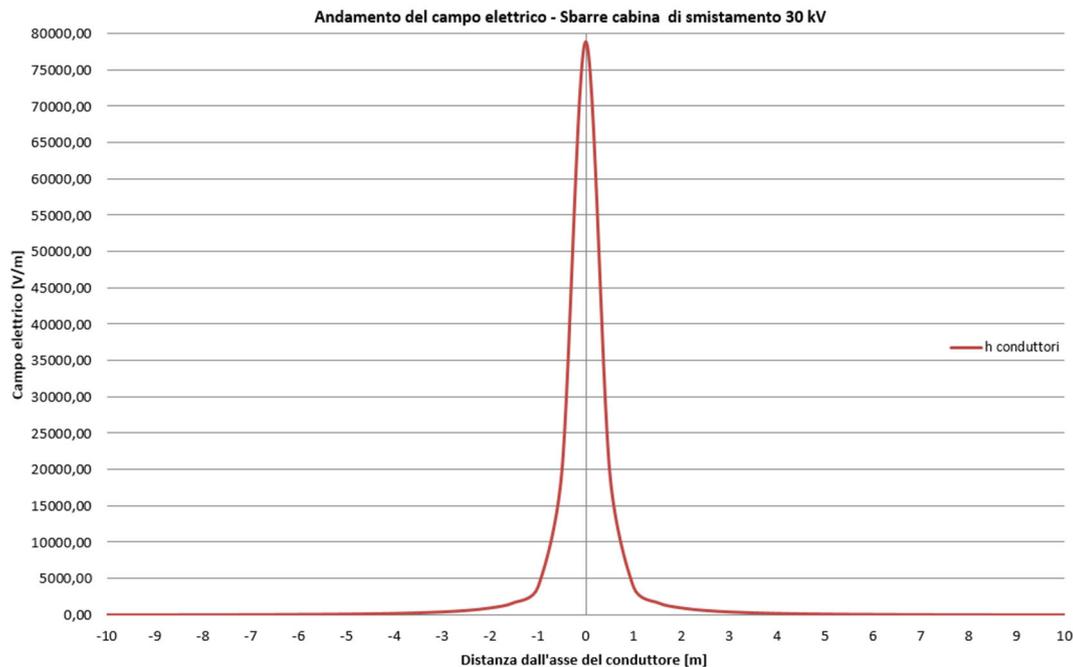


Figura 6 Andamento del campo elettrico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica – sbarre MT cabina di raccolta dell'impianto.



Distanza dall'asse [m]	Valori di campo elettrico [V/m]
	Altezza conduttori
0,00	78925,50
0,50	19701,50
1,00	3846,20
1,50	1714,70
2,00	983,20
2,50	632,90
3,00	435,50
3,50	313,50
4,00	233,60
4,50	178,90
5,00	140,20
5,50	112,10
6,00	91,20
6,50	75,40
7,00	63,10
7,50	53,50
8,00	45,80
8,50	39,70
9,00	34,60
9,50	30,40
10,00	27,00

Tabella 11 Andamento del campo elettrico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare – sbarre MT cabina di raccolta dell'impianto.

Come si evince dalla simulazione del calcolo (figura 5 e tabella 10) i valori di campo magnetico ad altezza conduttori restano al di sotto dei 3 μ T ad una distanza di circa 6 m dal muro perimetrale della cabina. Tale valore di induzione magnetica è indicato nel DPCM 08/07/2003 come obiettivo di qualità previsto per le 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.

Per quanto riguarda il campo elettrico, l'intensità risulta massima vicino al dispositivo e diminuisce con la distanza. Considerando il campo elettrico calcolato ad altezza conduttori si ottengono valori di campo elettrico inferiore ai limiti di 5000 V/m imposti dalla normativa a solo 1 m dalle sbarre in MT (figura 6 e tabella 11).

Nell'elaborato ES.SUN01.SIA09.IE.02.1.R00 viene rappresentata la DPA della cabina di raccolta.



9 STAZIONE ELETTRICA DI UTENZA 30/150 kV

Il calcolo del campo elettrico e magnetico per stazione elettrica di utenza 30/150 kV è stato effettuato sulle sbarre a 150 kV all'interno dell'area di stazione e sulle sbarre a 30 kV dei quadri in MT ubicati all'interno del locale MT anch'esso all'interno della recinzione della stazione.

I parametri geometrici ed elettrici utilizzati per il calcolo sulle sbarre a 150 kV risultano i seguenti:

- Altezza delle sbarre: 7,7 m;
- Distanza tra le sbarre: 2,2 m;
- Valore efficace della corrente delle sbarre: 870 A;
- Valore efficace della tensione fra conduttore e terra: 86705 V.

I parametri geometrici ed elettrici utilizzati per il calcolo sulle sbarre a 30 kV risultano, invece, i seguenti:

- Altezza delle sbarre: 1,6 m;
- Distanza tra le sbarre: 0,37 m;
- Valore efficace della corrente delle sbarre: 1250 A;
- Valore efficace della tensione fra conduttore e terra: 17341 V.

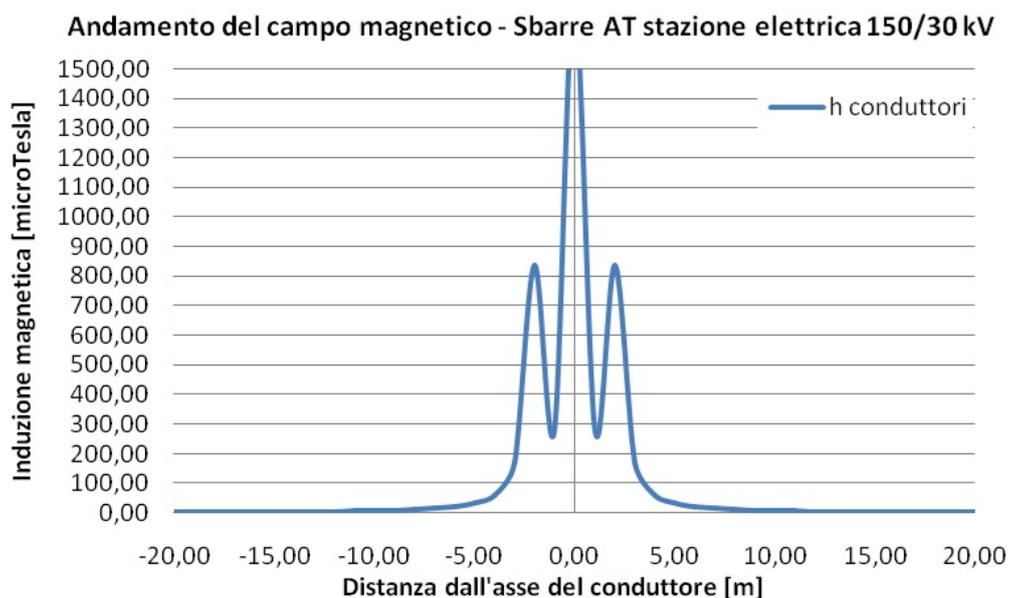


Figura 7 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica - Sbarre AT stallo di trasformazione di progetto 30/150 kV - Valutazione della Distanza di prima Approssimazione.

Valutazione Distanza di prima approssimazione			
Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [μ T]	Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [μ T]
-20	1,68	1	277,17
-19	1,87	2	835,8
-18	2,08	3	171,7
-17	2,34	4	62,23
-16	2,65	5	33,91
-15	2,96	6	21,74
-14	3,48	7	15,26
-13	4,06	8	11,35
-12	4,79	9	8,79
-11	5,75	10	7,02
-10	7,02	11	5,75
-9	8,79	12	4,79
-8	11,35	13	4,06
-7	15,26	14	3,48
-6	21,74	15	2,96
-5	33,91	16	2,65
-4	62,23	17	2,34
-3	171,7	18	2,08
-2	835,8	19	1,87
-1	277,17	20	1,68
0	1741,79		

Tabella 12 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare - Sbarre AT stallo di trasformazione di progetto 30/150 kV - Valutazione della Distanza di prima Approssimazione.

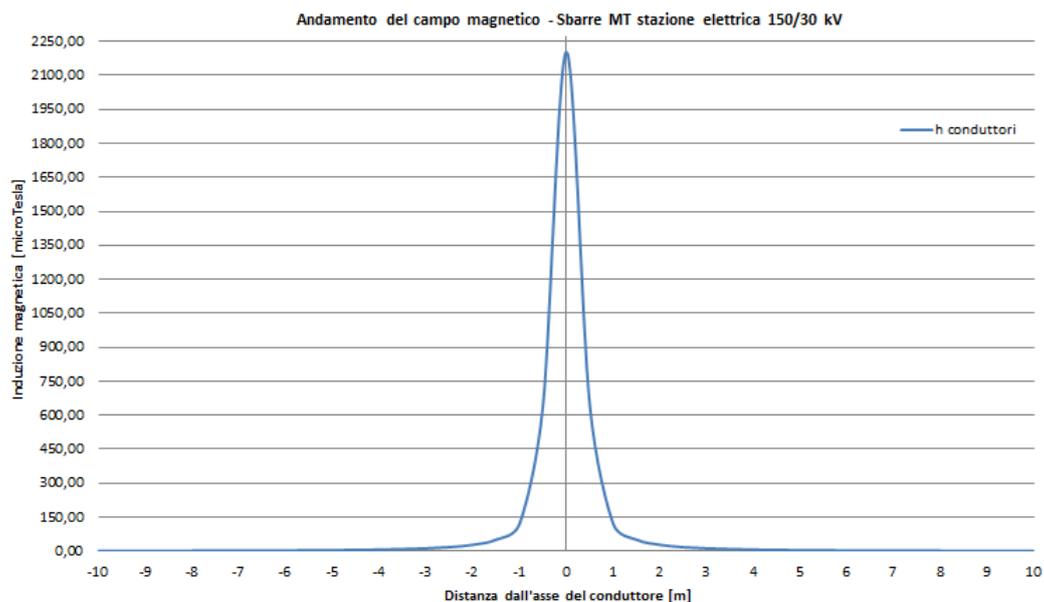


Figura 8 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica - Sbarre MT stallo di trasformazione di progetto 30/150 kV - Valutazione della Distanza di prima Approssimazione.

Distanza dall'asse [m]	Valori di campo magnetico [μT]
	Altezza conduttori
-10,00	1,10
-9,00	1,36
-8,00	1,72
-7,00	2,25
-6,00	3,07
-5,00	4,42
-4,00	6,93
-3,00	12,37
-2,00	28,20
-1,00	121,25
0,00	2203,17
1,00	121,25
2,00	28,20
3,00	12,37
4,00	6,93
5,00	4,42
6,00	3,07
7,00	2,25
8,00	1,72
9,00	1,36
10,00	1,10

Tabella 13 Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare – Sbarre MT stallo di trasformazione di progetto 30/150 kV - Valutazione della Distanza di prima Approssimazione.

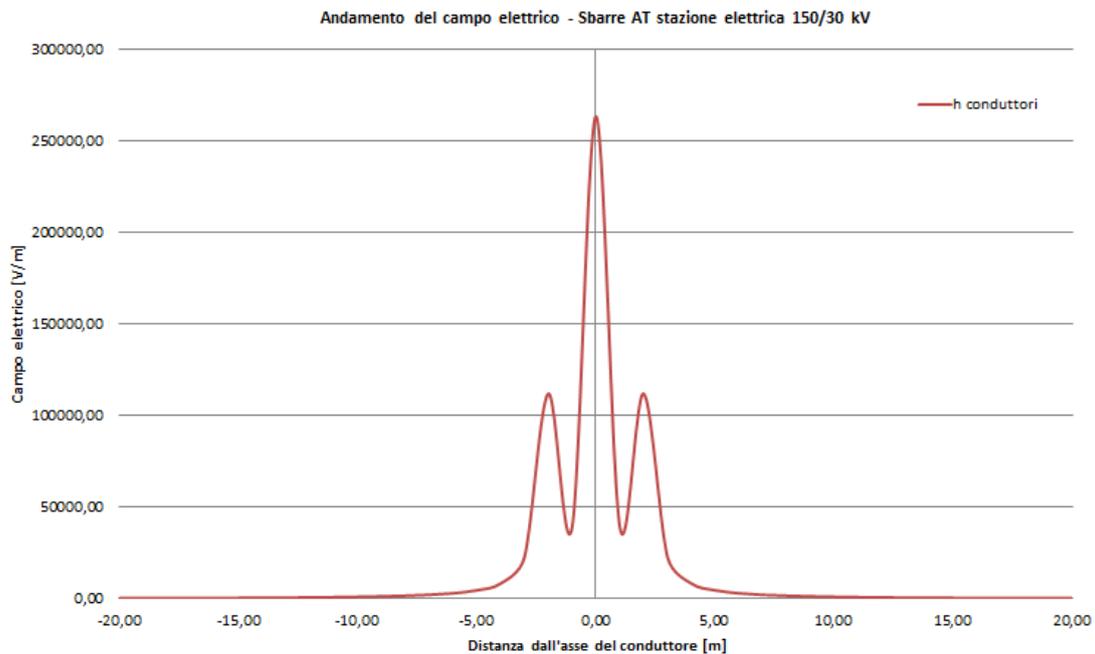


Figura 9 Andamento del campo elettrico in forma grafica - Sbarre AT stallo di trasformazione di progetto 30/150 kV.

Distanza dall'asse [m]	Valori di campo elettrico [V/m]
	Altezza conduttori
0	263460,50
1	39261,50
2	112013,90
3	22797,40
4	8360,50
5	4645,20
6	3040,60
7	2173,40
8	1640,30
9	1283,90
10	1031,40
11	844,70
12	702,40
13	591,20
14	502,60
15	431,10
16	372,50
17	324,00
18	283,60
19	249,50
20	220,70

**Tabella 14 Andamento del campo elettrico in forma tabellare –
Sbarre AT stallo di trasformazione di progetto 150/30 kV.**

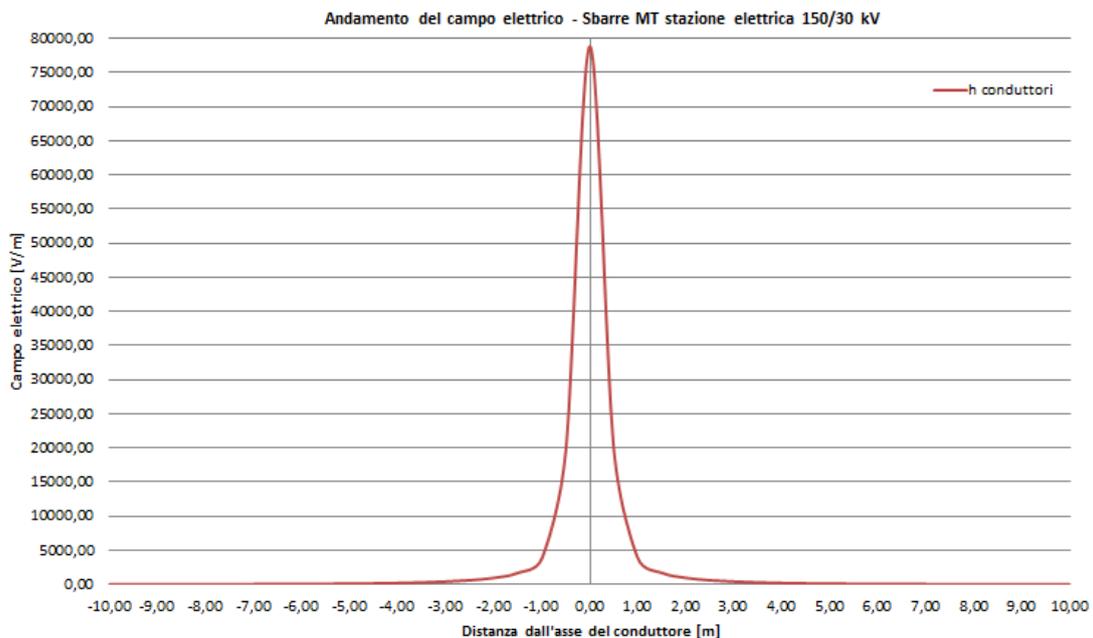


Figura 10 Andamento del campo elettrico in forma grafica – Sbarre MT stallo di trasformazione di progetto 30/150 kV.



<i>Distanza dall'asse [m]</i>	<i>Valori di campo elettrico [V/m]</i>
	<i>Altezza conduttori</i>
0,00	78925,50
0,50	19701,50
1,00	3846,20
1,50	1714,70
2,00	983,20
2,50	632,90
3,00	435,50
3,50	313,50
4,00	233,60
4,50	178,90
5,00	140,20
5,50	112,10
6,00	91,20
6,50	75,40
7,00	63,10
7,50	53,50
8,00	45,80
8,50	39,70
9,00	34,60
9,50	30,40
10,00	27,00

**Tabella 15 Andamento del campo elettrico in forma tabellare –
Sbarre MT stallo di trasformazione di progetto 30/150 kV.**

Come si evince dalla simulazione del calcolo, dalle figure 7 e 8 e dalle relative tabelle, sia i valori di campo magnetico ad altezza conduttori sia quelli ad 1 m dal suolo restano al di sotto dei 3 μT ad una distanza di circa 15 m dall'asse delle sbarre in AT dello stallo di trasformazione di progetto e 7 m circa dai quadri MT di progetto all'interno dell'edificio utente della SE di utenza.

Nell'elaborato ES.SUN01.SIA09.IE.02.2.R00 viene rappresentata la DPA della SE di utenza.

Riguardo al campo elettrico, dai risultati delle simulazioni (figure 9 e 10 e relative tabelle), si ottengono valori di intensità inferiore ai limiti di 5000 V/m imposti dalla normativa a soli 5 m dalle sbarre in AT ed 1 m da quelle in MT.

9.1 Sistema di accumulo

All'interno della stazione utente di progetto è prevista l'installazione di un sistema di accumulo di energia denominato BESS - Battery Energy Storage System con batterie al litio dimensionato per 41,6 MW con soluzione containerizzata, composto sostanzialmente da:

- 16 Container Batterie HC ISO con relativo sistema HVAC ed impianti tecnologici (sistema rilevazione e spegnimento incendi, sistema antintrusione, sistema di emergenza) Pannelli Rack per inserimento moduli batterie e relativi sistemi di sconnessione Sistema di gestione controllo batterie;
- 8 Container PCS HC ISO ognuno dotato di unità inverter Bidirezionale e relativi impianti tecnologici per la corretta gestione ed utilizzo; completo di quadri servizi ausiliari e relativi pannelli di controllo e trasformazione BT/MT.

Il sistema presenta 8 elementi da 2,6 MW per ciascuno dei quali si prevede un container batterie ed un sistema PCS per una capacità cadauno di 5,76 MWh.

Il sistema BESS sarà equipaggiato con tutti i dispositivi previsti dal Regolamento:

- Phasor Measurement Unit (PMU);
- Unità Periferica per il Distacco e Monitoraggio (UPDM);
- Unità per la Verifica della Regolazione Rapida di Frequenza (UVRF);
- Apparati per lo scambio informativo.

I container previsti in fornitura saranno di tipo metallico con struttura realizzata ad hoc per ospitare i rack batterie e i Power Conversion Systems (PCS).

I Power Conversion Systems (PCS), realizzeranno la trasformazione da alimentazione DC, lato batterie, ad AC lato rete in modo bi-direzionale.

Ogni PSC risponderà ai requisiti della normativa vigente (IEC 61000 compatibilità elettromagnetica) per quanto riguarda l'emissione elettromagnetica. Ogni PSC sarà equipaggiato con un set di opportuni filtri: Filtri RFI che prevedono inoltre opportuni filtri antidisturbo e filtri LC sinusoidali opportunamente dimensionati, saranno realizzati ed accordati per ottenere forme d'onda di corrente e tensione in uscita, ad ogni livello di carico.

Le principali fonti normative e tecniche di riferimento sono la Normativa IEC 62103-IEEE 1031-2000, la EMC: CISPR 11-levelA e la conformità a IEC/EN61800-3.

Tali filtri saranno in grado di evitare la trasmissione di disturbi a frequenza elevate attraverso i conduttori di potenza. L'emissione irradiata invece sarà evitata grazie all'installazione in container metallico. La messa a terra dei containers, la gestione del sistema DC isolato da terra, la presenza del trasformatore BT/MT che assicurerà un isolamento galvanico della sezione di conversione rispetto al punto di connessione MT, consentiranno di evitare i disturbi anche attraverso modalità di accoppiamento di modo comune. I cavi tripolari MT saranno schermati e collegati a terra su entrambi gli estremi del cavo, mentre i cavi unipolari MT saranno schermati e collegati a terra su un solo estremo del cavo. I

 TENPROJECT	RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO	Codice Revisione Data di creazione Data ultima modif. Pagina	ES.SUN01.SIA09.IE.01 00 02/08/2023 04/08/2023 29 di 38
---	--	--	--

cavi tripolari BT saranno schermati e collegati a terra su un entrambi gli estremi del cavo. Tali accorgimenti garantiscono il rispetto dei limiti di riferimento per i campi elettromagnetici per i lavoratori e per la popolazione; pertanto, per il sistema BESS non si procede al calcolo del campo elettrico e magnetico; inoltre, si fa presente che il sistema BESS sarà installato all'interno della SE di utenza di progetto il cui accesso è consentito solo al personale autorizzato.

10 LINEA IN CAVO INTERRATO IN AT

Per la realizzazione del cavidotto di collegamento in AT, tra la SE di utenza e la SE Terna; 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 interrato permette di eliminare la componente elettrica del campo, grazie all'effetto schermante del terreno. Nel caso in questione, lo studio del campo magnetico è stato effettuato, alla tensione nominale di 150 kV, sul seguente tratto di cavidotto così costituito:

- **S5:** una terna di conduttori di sezione 1600 mm² percorsa da corrente massima pari a 1060 A;

I valori del campo magnetico sono stati misurati ad altezza conduttori, al suolo e ad 1 m dal suolo. Più precisamente, i risultati di seguito riportati illustrano, per ognuna delle situazioni richiamate, 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.

S5 - Cavidotto AT ad una terna di sezione 1600 mm² interrata a 1.5 m dal piano di campagna.

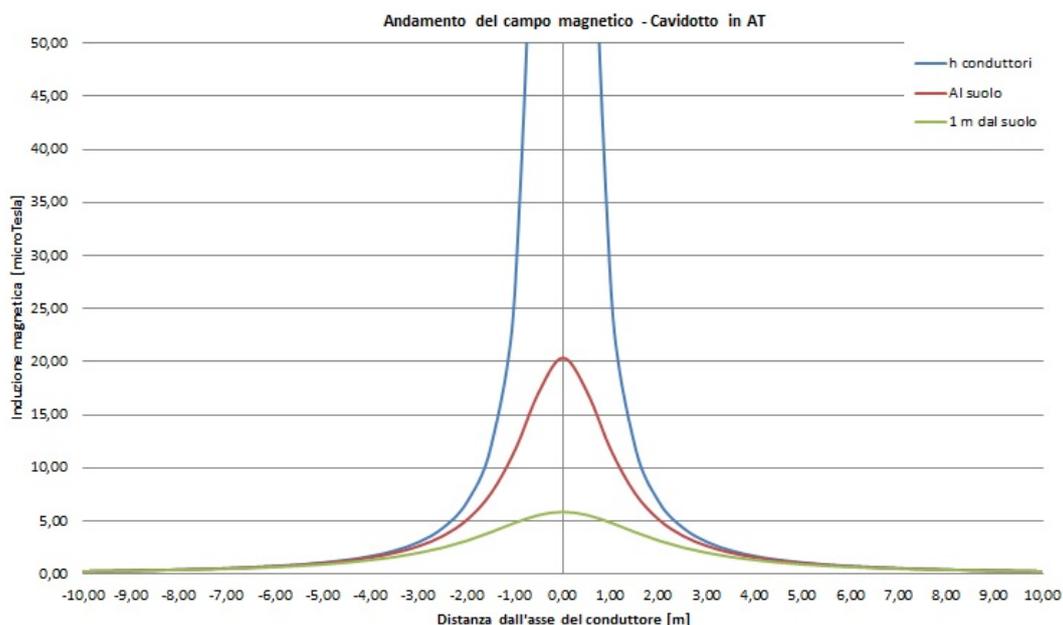


Figura 11 Rappresentazione grafica della DPA cavidotto AT 150 kV.

<i>Distanza dai cavi [m]</i>	<i>Altezza conduttori [μT]</i>	<i>Al suolo [μT]</i>	<i>Ad 1 m dal suolo [μT]</i>
-10,00	0,27	0,27	0,26
-9,00	0,34	0,33	0,32
-8,00	0,43	0,42	0,40
-7,00	0,56	0,54	0,51
-6,00	0,76	0,73	0,67
-5,00	1,10	1,04	0,92
-4,00	1,71	1,58	1,33
-3,00	2,98	2,65	2,01
-2,00	6,81	5,13	3,16
-1,00	26,76	11,68	4,84
0,00	1196,73	20,37	5,87
1,00	26,76	11,68	4,84
2,00	6,81	5,13	3,16
3,00	2,98	2,65	2,01
4,00	1,71	1,58	1,33
5,00	1,10	1,04	0,92
6,00	0,76	0,73	0,67
7,00	0,56	0,54	0,51
8,00	0,43	0,42	0,40
9,00	0,34	0,33	0,32
10,00	0,27	0,27	0,26

**Tabella 16 Andamento del campo elettrico in forma tabellare –
Cavidotto AT 150 kV.**

11 VALUTAZIONE DEL RISCHIO DERIVANTE DALL'ESPOSIZIONE DEI LAVORATORI A CAMPI ELETTROMANETICI

11.1 Generalità

Nell'ambito della valutazione del rischio da esposizione a campi elettromagnetici, il datore di lavoro dovrà provvedere a controllare, attraverso calcoli o misure, i livelli dei campi elettromagnetici ai quali sono esposti i lavoratori, verificando se vengono superati i valori di azione e, qualora questo avvenisse, controllando che non vengano superati i valori limite di esposizione. Nel procedere alla valutazione si dovrà tener conto dei seguenti elementi:

- Il livello, lo spettro di frequenza, la durata e il tipo di esposizione;
- I valori limite di esposizione e i valori di azione;
- Tutti gli effetti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori particolarmente sensibili al rischio;
- Qualsiasi effetto indiretto quale:
 - Interferenza con attrezzature e dispositivi medici elettronici (compresi stimolatori cardiaci e altri dispositivi impiantati);
 - Rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici in campi magnetici statici con induzione magnetica superiore a 3 mT;
 - Innesco di dispositivi elettro esplosivi (detonatori);
 - Incendi ed esplosioni dovuti all'accensione di materiali infiammabili provocata da scintille prodotte da campi indotti, correnti di contatto o scariche elettriche;
- L'esistenza di attrezzature di lavoro alternative progettate per ridurre i livelli di esposizione ai campi elettromagnetici;
- Per quanto possibile, informazioni adeguate raccolte nel corso della sorveglianza sanitaria, comprese le informazioni reperibili in pubblicazioni scientifiche;
- Sorgenti multiple di esposizione;
- Esposizione simultanea a campi di frequenze diverse.

11.2 Analisi del rischio

Il rischio dei lavoratori all'esposizione dei campi elettromagnetici appartiene alla categoria **"Rischi per la salute"**.

Il rischio viene determinato mediante la formula $R = P \times D$, (dove **P** indica la probabilità di accadimento di un determinato evento, mentre **D** indica per il danno per il lavoratore) ed è indicato in forma matriciale in figura 1, avente in ascisse la gravità del danno atteso ed in ordinate la probabilità del suo verificarsi.



P - Probabilità	4	4	8	12	16
	3	3	6	9	12
	2	2	4	6	8
	1	1	2	3	4
		1	2	3	4
		D - Danno			

Figura 12 Esempio di Matrice di Valutazione del Rischio: $R = P \times D$.

I rischi che possono provocare i danni più gravi occupano in tale matrice le caselle in alto a destra (probabilità elevata, danno gravissimo), quelli minori le posizioni più vicine all'origine degli assi (danno lieve, probabilità trascurabile), con tutta la serie di posizioni intermedie facilmente individuabili.

Nelle successive tabelle 3 e 4 sono descritte le scale semiquantitative della "Probabilità" **P** e del "Danno" **D** ed i criteri per l'attribuzione dei valori.

Valore	Livello	Definizioni/criteri
4	Altamente probabile	<ul style="list-style-type: none"> Esiste una correlazione diretta tra la mancanza rilevata ed il verificarsi del danno ipotizzato per i lavoratori. Si sono già verificati danni per la stessa mancanza rilevati nel luogo di lavoro in ambienti simili o situazioni operative simili. Il verificarsi del danno conseguente la mancanza rilevata non susciterebbe alcuno stupore tra gli altri lavoratori.
3	Probabile	<ul style="list-style-type: none"> La mancanza rilevata può provocare un danno, anche se non in modo automatico o diretto. E' noto qualche episodio in cui alla mancanza rilevata ha fatto seguito il danno. Il verificarsi del danno ipotizzato, susciterebbe una moderata sorpresa.
2	Poco probabile	<ul style="list-style-type: none"> La mancanza rilevata può provocare un danno al contemporaneo verificarsi di particolari condizioni. Sono noti solo rari episodi già verificatisi. Il verificarsi del danno ipotizzato susciterebbe una discreta sorpresa.
1	Improbabile	<ul style="list-style-type: none"> La mancanza rilevata può provocare un danno per concomitanza di più eventi poco probabili indipendenti. Non sono noti episodi già verificatisi. Il verificarsi del danno susciterebbe incredulità.

Tabella 17 Scala delle probabilità "P" di accadimento di un evento.



Valore	Livello	Definizioni/criteri
4	Gravissimo	<ul style="list-style-type: none"> • Infortunio o episodio di esposizione acuta con effetti anche letali o che possono determinare una condizione di invalidità permanente. • Infortuni o patologie di carattere fisico e/o psicofisico croniche con effetti totalmente invalidanti.
3	Grave	<ul style="list-style-type: none"> • Infortunio o episodio di esposizione acuta con effetti di invalidità parziale. • Infortuni o patologie di carattere fisico e/o psicofisico croniche con effetti parzialmente invalidanti.
2	Medio	<ul style="list-style-type: none"> • Infortunio o episodio di esposizione acuta con inabilità reversibile. • Infortunio o patologie di carattere fisico e/o psicofisico croniche con effetti reversibili.
1	Lieve	<ul style="list-style-type: none"> • Infortunio o episodio di esposizione acuta con inabilità rapidamente reversibile. • Piccoli Infortuni o patologie di carattere fisico rapidamente reversibili.

Tabella 18 Scala dell'entità del Danno "D".

Il valore di **Probabilità** di accadimento di un determinato evento è espresso in una scala di valori da 1 a 4. L'evento che può o potrebbe determinare un **Danno** per il lavoratore è valutato in relazione alla tipologia di rischio. La classificazione del **"Danno"** che un lavoratore potrebbe subire al verificarsi di un dato evento o dovuto a criticità e carenze degli aspetti organizzativi e gestionali viene effettuata mediante una scala di valori variabili da 1 a 4.

Per la determinazione del fattore di rischio il datore di lavoro, al termine della realizzazione dell'impianto eolico, dovrà redigere un Documentazione di Valutazione del Rischio che tenga conto dei rischi dell'esposizione dei lavoratori agli agenti fisici tra cui quelli dovuti ai campi elettrici e magnetici. Tale valutazione dovrà essere eseguita attraverso misurazioni in campo.

In fase di progettazione definitiva si procederà alla definizione del fattore di rischio sulla base dei calcoli eseguiti nei paragrafi precedenti. Di seguito una tabella riassuntiva dei luoghi di lavoro, tipologia di lavoratori e valori di campi magnetici ed elettrici entro il metro di distanza dalla sorgente (area di lavoro).



Luogo di lavoro	Tipologia di lavoratori	Campo Magnetico	Campo Elettrico	Fattore di rischio
Cavidotto MT caso S1	Operai e tecnici per Manutenzione ordinaria e straordinaria	2,22 μ T	Assente	4
Cavidotto MT caso S2		1,76 μ T	Assente	4
Cavidotto MT caso S3		2,04 μ T	Assente	4
Cavidotto MT caso S4		2,28 μ T	Assente	4
Cabina di raccolta sbarre MT		2,46 μ T	3846,20 V/m	6
Stazione elettrica sbarre AT		277 μ T	39261 V/m	6
Stazione elettrica sbarre MT		121 μ T	3846 V/m	6
Cavidotto AT caso S8		2,98 μ T	Assente	4

Tabella 19 – Valutazione del Rischio.

Per definire quali sono i parametri a cui fare riferimento per valutare i valori limite, sia per il campo elettrico che per quello magnetico, sono state prese in considerazione la tabella dei valori di azione dal paragrafo “Normativa di riferimento” e la frequenza delle sorgenti di campo elettromagnetico pari a 50 Hz.

Da questo studio si sono ottenuti, per tutti i lavoratori a servizio del parco eolico, i valori limite di azione sia di campo magnetico che di campo elettrico:

TIPOLOGIA DI MISURA	PARAMETRO LIMITE
Campo Magnetico	500 μ T
Campo Elettrico	10000 V/m

Tabella 20– Limiti imposti dalla normativa.

Si sottolinea che tali valori vanno applicati esclusivamente ai lavoratori del parco eolico (luogo di lavoro), in quanto i valori riferibili alla popolazione, che non può entrare all'interno delle strutture del parco, sono di gran lunga inferiori.

Per i campi magnetici, i valori di azione calcolati non superano mai quelli definiti dalla normativa in nessun luogo di lavoro.

A seguito della valutazione dei rischi di cui all'articolo 210, qualora risulti che i valori di azione di cui all'articolo 208 sono superati, il datore di lavoro, a meno che la valutazione effettuata a norma dell'articolo 209, comma 2, dimostri che i valori limite di esposizione non sono superati e che possono essere esclusi rischi relativi alla sicurezza, elabora ed applica un programma d'azione che comprenda misure tecniche e organizzative intese a prevenire esposizioni superiori ai valori limite di esposizione, tenendo conto in particolare:

- Di altri metodi di lavoro che implicano una minore esposizione ai campi elettromagnetici;
- Della scelta di attrezzature che emettano campi elettromagnetici di intensità inferiore, tenuto conto del lavoro da svolgere;

 TENPROJECT	RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO	Codice Revisione Data di creazione Data ultima modif. Pagina	ES.SUN01.SIA09.IE.01 00 02/08/2023 04/08/2023 36 di 38
---	--	--	--

- Delle misure tecniche per ridurre l'emissione dei campi elettromagnetici, incluso se necessario l'uso di dispositivi di sicurezza, schermature o di analoghi meccanismi di protezione della salute;
- Degli appropriati programmi di manutenzione delle attrezzature di lavoro, dei luoghi e delle postazioni di lavoro;
- Della progettazione e della struttura dei luoghi e delle postazioni di lavoro;
- Della limitazione della durata e dell'intensità dell'esposizione;
- Della disponibilità di adeguati dispositivi di protezione individuali.

Fermo restando che in nessun caso i lavoratori devono essere esposti a valori superiori ai valori limite di esposizione, se questi risultino superati, il datore di lavoro adotta misure immediate per riportare l'esposizione al disotto dei valori limite di esposizione, individua le cause del superamento dei valori limite di esposizione e adegua di conseguenza le misure di protezione e prevenzione per evitare un nuovo superamento.

11.3 Segnaletica

I luoghi di lavoro dove i lavoratori, in base alla valutazione del rischio, possono essere esposti a campi elettromagnetici che superano i valori di azione devono essere indicati con un'apposita segnaletica. Se il datore di lavoro dimostra che i valori limite di esposizione non sono superati e che possono essere esclusi rischi alla sicurezza, tale obbligo non sussiste. Dette aree sono inoltre identificate e l'accesso alle stesse è limitato, laddove ciò sia tecnicamente possibile e sussista il rischio di superamento dei valori di esposizione.

11.4 Informazione e formazione dei lavoratori

Il datore di lavoro provvede affinché i lavoratori esposti a rischi derivanti da campi elettrici e magnetici sul luogo di lavoro e i loro rappresentanti vengano informati e formati in relazione al risultato della valutazione dei rischi di cui all'articolo 209 con particolare riguardo:

- All'entità e al significato dei valori limite di esposizione e dei valori di azione di cui all'articolo 208, nonché ai potenziali rischi associati;
- Ai risultati della valutazione, misurazione o calcolo dei livelli di esposizione ai campi elettromagnetici;
- Alle modalità per individuare e segnalare gli effetti negativi dell'esposizione della salute;
- Alle circostanze nelle quali i lavoratori hanno diritto a una sorveglianza sanitaria e agli obiettivi della stessa;
- Alle procedure di lavoro sicure per ridurre al minimo i rischi derivanti dall'esposizione.



11.5 Sorveglianza sanitaria

Sono sottoposti a sorveglianza sanitaria i lavoratori per i quali è stata rilevata un'esposizione superiore ai valori limite di cui all'articolo 208, comma 1. La sorveglianza sanitaria viene effettuata periodicamente, di norma una volta l'anno. Tenuto conto dei risultati della valutazione dei rischi, il medico competente può effettuarla con periodicità inferiore con particolare riguardo ai lavoratori particolarmente sensibili al rischio.

Rivelato in un lavoratore l'esistenza di un danno alla salute (l'effetto biologico è al di fuori dell'intervallo in cui l'organismo può normalmente compensarlo e ciò porta a qualche condizione di detrimento della salute) il medico competente ne informa il datore di lavoro che procede ad effettuare una nuova valutazione del rischio a norma dell'articolo 209.

 TENPROJECT	RELAZIONE SULL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO	Codice Revisione Data di creazione Data ultima modif. Pagina	ES.SUN01.SIA09.IE.01 00 02/08/2023 04/08/2023 38 di 38
---	--	--	--

12 CONCLUSIONI

La determinazione delle DPA è stata effettuata in accordo al D.M. del 29/05/2008 riportando per ogni opera elettrica la summenzionata DPA. Dalle analisi, i cui risultati sono riassunti nei grafici e tabelle riportati nei paragrafi precedenti, si può desumere quanto segue:

- Per la stazione elettrica 30/150 kV, la distanza di prima approssimazione è stata valutata in ± 15 m per le sbarre in alta tensione (150 kV) e 7 m per le sbarre in media tensione (30 kV) dell'edificio utente. Si fa presente che tali DPA ricadono all'interno delle particelle catastali dell'area di stazione elettrica. **In particolare, all'interno delle aree summenzionate delimitate dalle DPA non risultano 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, come risulta evidente nell'elaborato ES.SUN01.SIA09.IE.02.3.R00;**
- Per il cavidotto del collegamento interno in media tensione del parco eolico la distanza di prima approssimazione non eccede il range di ± 2 m rispetto all'asse del cavidotto;
- Per il cavidotto del collegamento esterno in media tensione del parco eolico la distanza di prima approssimazione non eccede il range di ± 3 m rispetto all'asse del cavidotto;
- Il sistema di accumulo denominato BESS, rispetta i requisiti della normativa vigente (IEC 61000 compatibilità elettromagnetica) per quanto riguarda l'irradiazione elettromagnetica; pertanto, non sono stati previsti calcoli dei campi elettrici e magnetici. Si fa presente che il sistema BESS sarà installato all'interno della SE di utenza di progetto il cui accesso è consentito solo al personale autorizzato;
- Per il cavidotto del collegamento tra la SE di utenza e la futura Stazione Elettrica (SE) di trasformazione della RTN a 380/150 in alta tensione la distanza di prima approssimazione non eccede il range di ± 3 m rispetto all'asse del cavidotto.

I valori di campo elettrico risultano rispettare i valori imposti dalla norma (<5000 V/m) in quanto le aree con valori superiori ricadono all'interno dell'edificio MT, all'interno della stazione elettrica e il cui accesso è consentito al solo personale autorizzato.

Tutte le aree summenzionate delimitate dalla DPA ricadono all'interno di aree nelle quali non risultano 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.

Si può quindi concludere che la realizzazione delle opere elettriche relative al parco eolico sito nei comuni di Suni (OR) e Sindia (NU) alle località "S'ena e Cheos", "Tiruddone" e "Ferralzos", con opere di connessione alla rete di trasmissione nazionale ricadenti nel comune Macomer (NU) rispetta la normativa vigente.