



# PROGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO BRINDISI AREE ESTERNE (BR)

Fotovoltaico - Brindisi (BR)  
Relazione calcolo distanze di prima approssimazione (Dpa) alla frequenza di rete (50 Hz)

## RELAZIONE CALCOLO DISTANZE DI PRIMA APPROSSIMAZIONE (DPA) ALLA FREQUENZA DI RETE (50 HZ)

CD-FE	00	09/11/2022	Emissione	M. Lapenna	D. Pomponio	M.A. Bracale	A. Luce
Stato di Validità	Numero Revisione	Data	Descrizione	BFP Preparato	BFP Verificato	Eni Plenitude S.p.A. Verificato	Eni Plenitude S.p.A. Approvato
Indice Revisione							
Logo Committente e Denominazione Commerciale  <b>Eni New Energy S.p.A.</b>				Nome progetto PROGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO BRINDISI AREE ESTERNE		ID Documento Committente <b>BRINFV00BECA0024</b> Commessa N.	
Logo Appaltatore e Denominazione Commerciale 						ID Documento Appaltatore --	
Nome d'Impianto e Oggetto BRINDISI (BR) Fotovoltaico – Brindisi Aree Esterne						Scala n.a.	Numero di Pagine 1 / 15
Titolo Documento RELAZIONE CALCOLO DISTANZE DI PRIMA APPROSSIMAZIONE (DPA) ALLA FREQUENZA DI RETE (50 HZ)							

Software: Microsoft Word

File Name: Relazione calcolo distanze di prima approssimazione (Dpa) alla frequenza di rete (50 Hz)

	BRINFV00BECA0024	Pagina 2 / 15	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CD-FE	00

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>OGGETTO .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>GENERALITÀ SULLE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>NORME E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1</b>	<b>DEFINIZIONI.....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO NORMATIVO .....</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO.....</b>	<b>8</b>
<b>5.1</b>	<b>CARATTERISTICHE GENERALI DEL PARCO FOTOVOLTAICO .....</b>	<b>8</b>
<b>5.2</b>	<b>CARATTERISTICHE GENERALI DEL SISTEMA DI ACCUMULO (BESS).....</b>	<b>9</b>
<b>5.3</b>	<b>LINEE DI DISTRIBUZIONE IN AT.....</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>METODO DI CALCOLO CAMPO MAGNETICO.....</b>	<b>11</b>
<b>6.1</b>	<b>CENNI TEORICI .....</b>	<b>11</b>
<b>6.2</b>	<b>METODO DI CALCOLO.....</b>	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>VALUTAZIONE PREVENTIVA DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI GENERATI DELLE COMPONENTI DELL'IMPIANTO.....</b>	<b>12</b>
<b>7.1</b>	<b>APPLICAZIONE DELLA NORMATIVA SULLA TUTELA DELLA POPOLAZIONE .....</b>	<b>12</b>
<b>8</b>	<b>LINEE DI DISTRIBUZIONE IN AT.....</b>	<b>13</b>
<b>8.1</b>	<b>DETERMINAZIONE DEI CAMPI MAGNETICI.....</b>	<b>13</b>
<b>8.2</b>	<b>DISTANZE DI PRIMA APPROSSIMAZIONE .....</b>	<b>16</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>16</b>

	BRINFV00BECA0024	Pagina 3 / 15	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CD-FE	00

## 1 OGGETTO

Il presente studio è finalizzato al calcolo preventivo delle emissioni elettromagnetiche non ionizzanti determinate dalle installazioni elettriche previste dal progetto per la realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica della potenza di circa 24,55 MWp e una potenza, ai fini della connessione, pari a 23,76 MW, e delle relative opere connesse, in agro del Comune di Brindisi (BR). L'impianto sarà dotato, inoltre, di un sistema di accumulo pari a 1,49 MW di potenza utile ed autonomia 8,94 MWh. La potenza complessiva ai fini della connessione sarà pari a 25,25 MW, pari alla somma della potenza AC dell'impianto fotovoltaico (23,76 MW) e la potenza AC del sistema di accumulo BESS (1,49 MW).

## 2 GENERALITÀ SULLE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE

I campi elettromagnetici consistono in onde elettriche (E) e magnetiche (H) che viaggiano insieme. Esse si propagano alla velocità della luce e sono caratterizzate da una frequenza ed una lunghezza d'onda.

I campi ELF si identificano nei campi a frequenza fino a 300 Hz. A frequenze così basse corrispondono lunghezze d'onda in aria molto grandi e, in situazioni pratiche, il campo elettrico e quello magnetico agiscono in modo indipendente l'uno dall'altro e vengono misurati e valutati separatamente.

I campi elettrici sono prodotti dalle cariche elettriche. Essi governano il moto di altre cariche elettriche che vi siano immerse. La loro intensità viene misurata in volt al metro (V/m) o in chilovolt al metro (kV/m). Quando delle cariche si accumulano su di un oggetto, fanno sì che cariche di segno uguale od opposto vengano, rispettivamente, respinte o attratte. L'intensità di questo effetto viene caratterizzata attraverso la tensione, misurata in volt (V).

L'intensità dei campi elettrici è massima vicino alla sorgente e diminuisce con la distanza (proporzionale alla tensione della sorgente). Molti materiali comuni, come il legno ed il metallo, costituiscono uno schermo per questi campi.

I campi magnetici sono prodotti dal moto delle cariche elettriche, cioè dalla corrente. Essi governano il moto delle cariche elettriche. 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).

I campi magnetici sono massimi vicino alla sorgente e diminuiscono con la distanza (proporzionale alla corrente della sorgente). Essi non vengono schermati dalla maggior parte dei materiali di uso comune, e li attraversano facilmente.

Ai fini dell'esposizione umana alle radiazioni non ionizzanti, considerando le caratteristiche fisiche delle grandezze elettriche in gioco in un impianto fotovoltaico (tensioni fino a 36.000 V e frequenze di 50 Hz) i campi elettrici e magnetici sono da valutarsi separatamente perché disaccoppiati.

	BRINFV00BECA0024	Pagina 4 / 15	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CD-FE	00

Come già accennato il campo elettrico, a differenza del campo magnetico, subisce una attenuazione per effetto della presenza di elementi posti fra la sorgente e il punto irradiato. Pertanto le situazioni più critiche sono rappresentate dagli impianti installati in ambiente esterno, rappresentando le schermature dei cavi, la presenza di opere civili e la blindatura degli scomparti validi elementi di schermatura. Inoltre la distanza tra le apparecchiature e le recinzioni sono tali da contenere i valori di campo elettrico entro i valori limite da eventuali ricettori sensibili. Ai fini del presente studio si valuteranno, quindi, i soli campi magnetici.

### 3 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”.
- CEI 11-17 “Impianti di produzione, trasmissione, distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo”.
- CEI 11-60, "Portata al limite termico delle linee elettriche aeree esterne con tensione maggiore a 100 kV",
- 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: linee elettriche aeree e in cavo”.

#### 3.1 DEFINIZIONI

Si introducono le seguenti definizioni anche in riferimento a quanto indicato nell'allegato del D.M. del 29 Maggio 2008 “Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto”:

##### **Corrente**

Valore efficace dell'intensità di corrente elettrica.

##### **Campo magnetico**

Il campo magnetico può essere definito come una perturbazione di una certa regione spaziale determinata dalla presenza nell'intorno di una distribuzione di corrente elettrica o di massa magnetica.

	BRINFV00BECA0024	Pagina 5 / 15	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CD-FE	00

Tale perturbazione si può verificare constatando che ponendo in tale regione spaziale un corpo magnetizzato, questo risulta soggetto ad una forza. L'unità di misura del campo magnetico è l'A/m.

L'induzione magnetica è una grandezza vettoriale (B) che determina una forza agente sulle cariche in movimento ed è espressa in tesla (T). Nello spazio libero e nei materiali biologici l'induzione magnetica e l'intensità del campo magnetico si ricavano in base all'equazione:  $1A/m = 4\pi \cdot 10^{-7} T$ .

### ***Campo elettrico***

Il campo elettrico può essere definito come una perturbazione di una certa regione spaziale determinata dalla presenza nell'intorno di una distribuzione di carica elettrica. Tale perturbazione si può verificare constatando che ponendo in tale regione spaziale una carica elettrica, questa risulta soggetta ad una forza. L'unità di misura del campo elettrico è il V/m.

### ***Campo elettromagnetico***

Un campo elettrico variabile nel tempo genera, in direzione perpendicolare a se stesso, un campo magnetico pure variabile che, a sua volta, influisce sul campo elettrico stesso. Questi campi concatenati determinano nello spazio la propagazione di un campo elettromagnetico. È importante la distinzione tra campo vicino e campo lontano. La differenza consiste essenzialmente nel fatto che in prossimità della sorgente irradiante, cioè in condizioni di campo vicino, il campo elettrico ed il campo magnetico assumono rapporti variabili con la distanza, mentre ad una certa distanza, cioè in campo lontano, il rapporto tra campo elettrico e campo magnetico rimane costante.

ELF è la terminologia anglosassone per definire i campi elettromagnetici a frequenze estremamente basse, comprese tra 30 Hz e 300 Hz.

L'esposizione a campi ELF dovuta ad una determinata sorgente è valutabile misurando separatamente l'entità del campo elettrico e del campo magnetico. Questo perché alle frequenze estremamente basse, le caratteristiche fisiche dei campi sono più simili a quelle dei campi statici, piuttosto che a quelle dei campi elettromagnetici veri e propri. I campi ELF sono quindi caratterizzati da due entità distinte: il campo elettrico, generato dalla presenza di cariche elettriche o tensioni, ed il campo magnetico, generato invece dalle correnti elettriche.

### ***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 e sue successive modifiche e integrazioni.

La corrente di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto è la "portata di corrente in servizio normale relativa al periodo stagionale in cui essa è più elevata":

- Per le linee con tensione >100 kV, è definita dalla norma CEI 11-60;

	BRINFV00BECA0024	Pagina 6 / 15	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CD-FE	00

- Per gli elettrodotti aerei con tensione < 100 kV, i proprietari/gestori fissano la portata in corrente in regime permanente in relazione ai carichi attesi con riferimento alle condizioni progettuali assunte per il dimensionamento dei conduttori;
- Per le linee in cavo è definita dalla norma CEI 11-17 come portata in regime permanente;

### ***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.

### ***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.

### ***Limite di esposizione***

È il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, definito ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori.

### ***Distanza di prima approssimazione***

È la distanza in pianta dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto, la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più della DPA, si trovi all'esterno della fascia di rispetto. Per le cabine è la distanza da tutte le facce del parallelepipedo della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra.

## **4 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).

	BRINFV00BECA0024	Pagina 7 / 15	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CD-FE	00

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.

Tabella 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:

- 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);
- Parametri per la determinazione delle 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)	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

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.

	BRINFV00BECA0024	Pagina 8 / 15	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CD-FE	00

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

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

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

Al fine di semplificare la gestione territoriale e il calcolo delle fasce di rispetto è stato introdotto nella metodologia di calcolo un procedimento semplificato che trasforma la fascia di rispetto (volume) in una distanza di prima approssimazione (distanza).

## 5 DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

### 5.1 CARATTERISTICHE GENERALI DEL PARCO FOTOVOLTAICO

L'impianto fotovoltaico sarà costituito da n.6 sottocampi ed altrettante cabine di trasformazione per una potenza complessiva di circa 24,55 MWp e una potenza ai fini della connessione pari a 23,76 MW. L'ottimizzazione del numero di moduli e quindi delle stringhe installabili ha previsto l'installazione di inverter centralizzati di potenza massima in c.a. pari a 4400 kVA settati in modo che la potenza AC in uscita non superi il valore autorizzato. La tipologia di struttura utilizzata sarà costituita da una stringa di 28 moduli.

	BRINFV00BECA0024	Pagina 9 / 15	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CD-FE	00

Sarà prevista una cabina di raccolta MTR in cui verrà concentrata la potenza generata dai 6 sottocampi che verrà convogliata verso il punto di connessione.

Nelle cabine di conversione e trasformazione interne al campo avverrà l'innalzamento della tensione da 0,66 kV a 36 kV come previsto dalla STMG per il collegamento alla rete.

## 5.2 CARATTERISTICHE GENERALI DEL SISTEMA DI ACCUMULO (BESS)

Il sistema di accumulo dell'energia elettrica prodotta previsto (Battery Energy Storage System) è costituito da n°4 container da 40 piedi in cui saranno installati un totale di n.25 battery pack, modello Powin Stack 360E o equivalente, e da uno skid inverter/power station per la conversione e trasformazione modello SMA SCS UP 3450/ SMA MV PS 4000 o equivalenti. La potenza nominale installata sarà pari a 1,49 MW con una capacità nominale pari a 8,94 MWh (6h).

L'unità di conversione e trasformazione è costituita da un sistema che combina inverter, trasformatore AT/BT e quadro AT in skid preassemblati e con un grado di protezione che permette l'installazione dei componenti elettrici direttamente all'esterno, riducendo di conseguenza le volumetrie da realizzare. La potenza raccolta da questa unità di conversione e trasformazione, analogamente a quanto previsto per il campo fotovoltaico, verrà anch'essa convogliata verso la cabina di raccolta MTR e, da questa, al punto di connessione.

## 5.3 LINEE DI DISTRIBUZIONE IN AT

Le cabine di trasformazione saranno collegate fra loro e con la cabina di raccolta da una rete di distribuzione in cavo interrato esercita in alta tensione a 36 kV. Stessa tipologia di distribuzione verrà utilizzata per il collegamento della cabina di raccolta MTR al punto di connessione.

I cavi impiegati saranno del tipo unipolari<sup>1</sup> HV XLPE 26/45 KV con posa in cavidotto a "trifoglio". Essi sono costituiti con conduttori di alluminio rivestito da un primo strato di semiconduttore, da un isolante primario in elastomero termoplastico, da un successivo strato di semiconduttore, da uno schermo a fili di rame, nastro di alluminio e guaina esterna in polietilene. Sia il semiconduttore (che ha la funzione di uniformare il campo elettrico) che l'isolante primario sono di tipo estruso.

Il cavo suddetto è definito a campo radiale in quanto, essendo ciascuna anima rivestita da uno schermo metallico, le linee di forza elettriche risultano perpendicolari agli strati dell'isolante.

Le sezioni dei singoli cavi componenti le terne, presentano le seguenti caratteristiche:

---

<sup>1</sup> Per quanto riguarda i cavi non "CPR", se immessi sul mercato dopo il 01/07/2017, dovranno essere sostituiti con cavi "CPR" corrispondenti, qualora disponibili sul mercato prima dell'esecuzione dell'impianto (**D.lgs n 106 del 16/06/2017**)

	BRINFV00BECA0024		Pagina 10 / 15	
			Stato di Validità	Numero Revisione
			CD-FE	00

Tratto	N. di terne	Portata in servizio nominale	Sezione conduttore	Diametro conduttore	Diametro sull' isolante	Diametro cavo	Portata al limite termico del cavo <sup>(1)</sup>
	N.	[A]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm]	[mm]	[mm]	[A]
S1 Dalla MTR alla SE Terna	1	414,4	3x1x630	29,3	49,1	60	715
S2 (Vedi Figura 1)	2	197,3	3x1x300	20,0	39,2	49	480
		52,1	3x1x95	11,3	34,3	41	255

(1) posa interrata a trifoglio, profondità di posa 1m, resistività del terreno  $\rho=1 \text{ }^\circ\text{Cm/W}$ , temperatura del terreno  $20^\circ\text{C}$  (valori ricavati da scheda tecnica)

Tabella 3: Caratteristiche dimensionali dei cavi in AT.



Figura 1 – Posizione cavidotto AT caso S2

Ai fini della valutazione dei campi magnetici, di seguito descritta, sono state considerate come portate in servizio nominale le correnti massime generate dall'impianto fotovoltaico. Tali valori di corrente risultano sovradimensionati e quindi di tipo conservativo in quanto i valori massimi reali, comunque inferiori ai valori indicati, si otterranno solo in determinate condizioni di funzionamento, funzione di diversi parametri quali per esempio le condizioni atmosferiche, rendimento delle apparecchiature, ecc.

	BRINFV00BECA0024	Pagina 11 / 15	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CD-FE	00

## 6 METODO DI CALCOLO CAMPO MAGNETICO

### 6.1 CENNI TEORICI

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,  $i$  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.

Per il calcolo del campo elettrico, invece, 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 immagine. 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:  $\lambda$  = densità lineare di carica sul conduttore;

	BRINFV00BECA0024	Pagina 12 / 15	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CD-FE	00

$\epsilon_0$  = permittività del vuoto;

d = distanza del conduttore rettilineo dal punto di calcolo;

$u_r$  = versore unitario con direzione radiale al conduttore.

## 6.2 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).

Come già accennato il campo Elettrico, a differenza del campo Magnetico, subisce una attenuazione per effetto della presenza di elementi posti fra la sorgente e il punto irradiato risultando nella totalità dei casi inferiore ai limiti imposti dalla norma.

Ai fini del presente studio si valuteranno i soli campi magnetici per tutte le apparecchiature elettriche costituenti l'impianto.

## 7 VALUTAZIONE PREVENTIVA DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI GENERATI DELLE COMPONENTI DELL'IMPIANTO

### 7.1 APPLICAZIONE DELLA NORMATIVA SULLA TUTELA DELLA POPOLAZIONE

Per tutto ciò che attiene la valutazione dei campi magnetici ed elettrici all'interno dell'impianto, essendo l'accesso ammesso esclusivamente a personale lavoratore autorizzato, non trova applicazione il DPCM 8 luglio 2003.

Essendo le zone direttamente confinanti con l'impianto non adibite né ad una permanenza giornaliera non inferiore alle 4 ore né a zone gioco per l'infanzia/abitazioni scuole, vanno verificati esclusivamente i limiti di esposizione. Non trovano applicazione, per le stesse motivazioni, gli obiettivi di qualità del DPCM 8 luglio 2003.

	BRINFV00BECA0024	Pagina 13 / 15	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CD-FE	00

## 8 LINEE DI DISTRIBUZIONE IN AT

### 8.1 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 AT interrato 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 posate "a trifoglio") fa sì che l'induzione magnetica risulti significativa solo in prossimità dei cavi.

In dettaglio saranno simulati i seguenti tratti di cavidotto alla tensione nominale di 36 kV:

- S1: una terna di conduttori disposti a trifoglio di sezione 630 mm<sup>2</sup> interrata ad una profondità di 1,20 m;
- S2: due terne di conduttori disposti a trifoglio di sezione 300 e 95 mm<sup>2</sup> interrato ad una profondità di 1,20 m

Maggiori dettagli sulle correnti massime trasportate e le caratteristiche dei conduttori sono riportati in tabella 3. I valori del campo magnetico sono stati misurati all'altezza dei conduttori (-1,20 m dal livello del suolo), al suolo e ad altezza dal suolo di 1,50 m. 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.



**S1 - una terna di conduttori disposti a trifoglio di sezione 630 mm<sup>2</sup> interrata ad una profondità di 1,2 m**

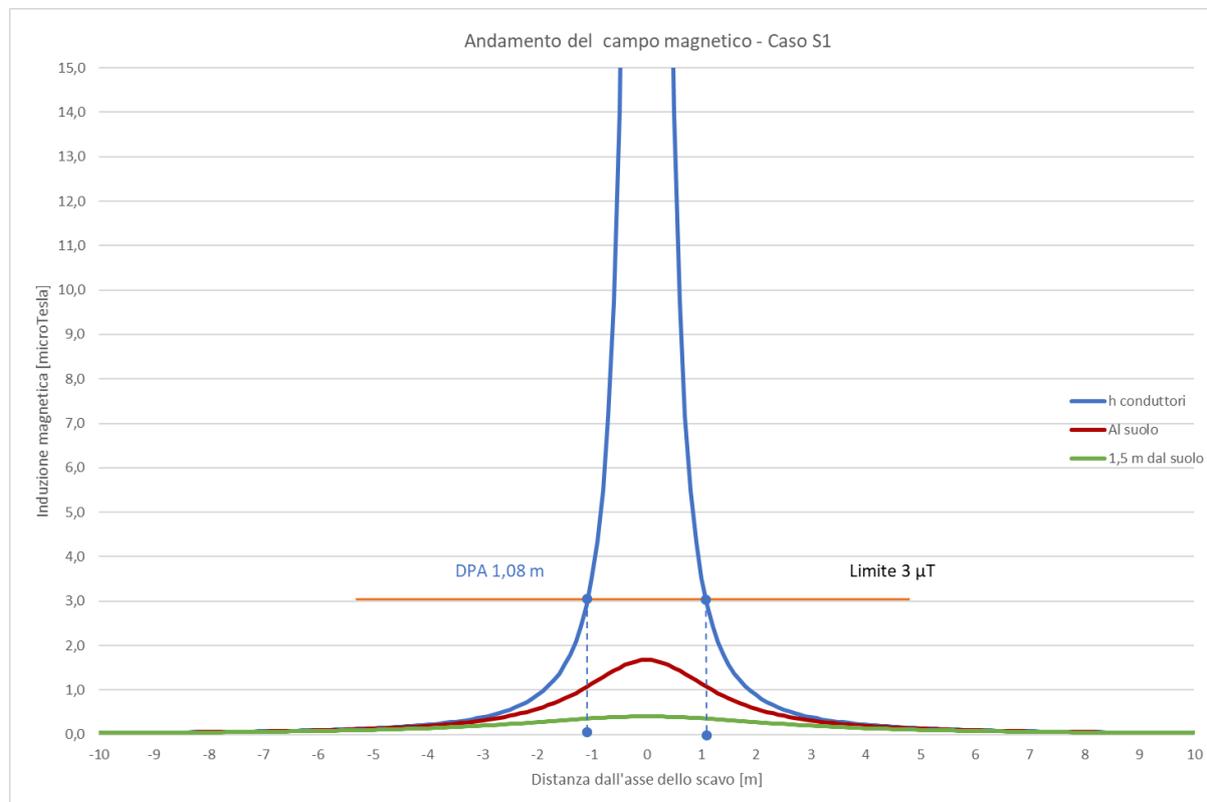


Figura 2 - Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa alla simulazione S1.

Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [μT]	Al suolo [μT]	A 1,5 m dal suolo [μT]
-10	0,035	0,035	0,032
-9	0,044	0,042	0,039
-8	0,055	0,053	0,048
-7	0,072	0,069	0,061
-6	0,098	0,093	0,079
-5	0,141	0,130	0,105
-4	0,220	0,195	0,143
-3	0,391	0,318	0,199
-2	0,881	0,578	0,278
-1	3,516	1,139	0,364
0	452,294	1,682	0,406
1	3,516	1,139	0,364
2	0,881	0,578	0,278
3	0,391	0,318	0,199
4	0,220	0,195	0,143
5	0,141	0,130	0,105
6	0,098	0,093	0,079
7	0,072	0,069	0,061
8	0,055	0,053	0,048
9	0,044	0,042	0,039
10	0,035	0,035	0,032

Tabella 4 - Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa alla simulazione S1.

**S2 - due terne di conduttori disposti a trifoglio di sezione 300 e 95 mm<sup>2</sup> interrata ad una profondità di 1,2 m**

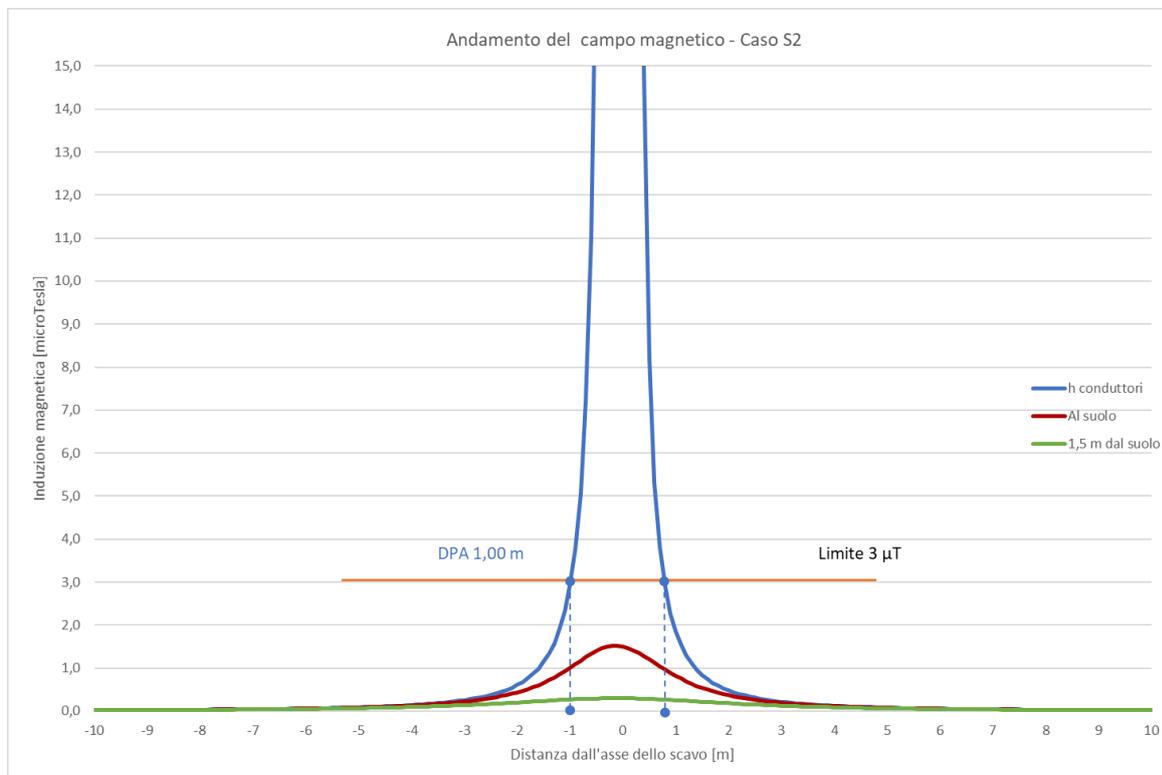


Figura 3 - - Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa alla simulazione S2.

Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [µT]	Al suolo [µT]	A 1,5 m dal suolo [µT]
-10	0,022	0,021	0,020
-9	0,027	0,026	0,025
-8	0,034	0,033	0,031
-7	0,045	0,044	0,039
-6	0,061	0,059	0,051
-5	0,089	0,084	0,069
-4	0,141	0,130	0,096
-3	0,257	0,221	0,138
-2	0,608	0,438	0,200
-1	2,914	1,006	0,270
0	45,966	1,500	0,298
1	1,849	0,821	0,254
2	0,482	0,368	0,184
3	0,220	0,193	0,127
4	0,126	0,116	0,088
5	0,081	0,077	0,064
6	0,057	0,055	0,048
7	0,042	0,041	0,037
8	0,032	0,032	0,029
9	0,025	0,025	0,024
10	0,021	0,020	0,019

Tabella 5 - Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa alla simulazione S2.

	BRIN FV00BECA0024	Pagina 16 / 15	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CD-FE	00

## 8.2 DISTANZE DI PRIMA APPROSSIMAZIONE

Il calcolo della DPA per i cavidotti di collegamento in AT 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	SEZIONI [mm <sup>2</sup> ]	TIPOLOGIA CAVO	TENSIONE [kV]	DPA [m]
<b>S1</b>	1	3x1x630	HV XLPE 26/45 kV	36	<b>2</b>
<b>S2</b>	2	3x1x300	HV XLPE 26/45 kV	36	<b>1</b>
		3x1x95	HV XLPE 26/45 kV	36	

Tabella 6 - Distanza di prima approssimazione per cavidotti di collegamento tra il parco fotovoltaico e la Stazione Terna

In dettaglio si sono ottenuti i seguenti valori:

- **CASO S1** - Valore a 3  $\mu$ T: 1,08 m - Valore DPA: 2 m;
- **CASO S2** - Valore a 3  $\mu$ T: 1,00 m - Valore DPA: 1 m;

le cui DPA sono state calcolate con una approssimazione non superiore al metro così come indicato nel paragrafo 5.1.2 della guida allegata al DM del 29/05/2008.

## 9 CONCLUSIONI

La determinazione delle fasce di rispetto è stata effettuata in accordo al D.M. del 29/05/2008 riportando per ogni opera elettrica la summenzionata DPA.

Dalle analisi e considerazioni fatte si può desumere quanto segue:

- I valori di campo elettrico si possono considerare inferiori ai valori imposti dalla norma (<5000 V/m) in quanto le aree con valori superiori ricadono all'interno delle recinzioni dell'impianto fotovoltaico, della sottostazione elettrica e dei locali quadri e subiscono un'attenuazione per effetto della presenza di elementi posti fra la sorgente e il punto irradiato;
- Per campi magnetici ed elettrici all'interno dell'impianto fotovoltaico, essendo l'accesso alla centrale ammesso esclusivamente a personale lavoratore autorizzato, essendo le apparecchiature installate all'interno della recinzione ad opportuna distanza ed essendo le zone direttamente confinanti con l'impianto fotovoltaico non adibite né ad una permanenza giornaliera superiore alle 4 ore né a zone gioco per l'infanzia/abitazioni scuole è possibile considerare i limiti normativi verificati;
- per i cavidotti in alta tensione la distanza di prima approssimazione non eccede il range di  $\pm$  2 m rispetto all'asse del cavidotto.

	BRINFV00BECA0024	Pagina 17 / 15	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CD-FE	00

*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.*

*Si può quindi concludere che la realizzazione delle opere elettriche relative alla realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica fotovoltaico della potenza di circa 24,55 MWp in agro del Comune di Brindisi (BR) e delle relative opere connesse, rispettano la normativa vigente.*

\*\*\*\*\*