



**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DI UN IMPIANTO DI
PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE
FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA DI CIRCA 65,7 MWp
DENOMINATO "CSPV FOGGIA" SITO IN AGRO DI
LUCERA (FG) E DELLE RELATIVE OPERE CONNESSE
UBICATE ANCHE IN AGRO DI FOGGIA**



Tecnico

ing. Danilo POMPONIO

Collaborazioni

ing. Milena MIGLIONICO
ing. Giulia CARELLA
ing. Chiara CIFARELLI
ing. Antonio CRISAFULLI
ing. Fabio MASTROSERIO
ing. Valentina SAMMARTINO
ing. Tommaso MANCINI
pianif. terr. Antonio SANTANDREA

Responsabile Commessa

ing. Danilo POMPONIO

Via Napoli, 363/I - 70132 Bari - Italy
www.bfpgroup.net - info@bfpgroup.net
tel. (+39) 0805046361 - fax (+39) 0805619384

AZIENDA CON SISTEMA GESTIONE
UNI EN ISO 9001:2015
UNI EN ISO 14001:2015
OHSAS 18001:2007
CERTIFICATO DA CERTIQUALITY



ELABORATO		TITOLO	COMMESSA	TIPOLOGIA	
E02		VALUTAZIONE PRELIMINARE CAMPI ELETTROMAGNETICI	20042	D	
			CODICE ELABORATO		
			DC20042D-E02		
REVISIONE			SOSTITUISCE	SOSTITUITO DA	
00		Tutte le informazioni tecniche contenute nel presente documento sono di proprietà esclusiva della Studio Tecnico BFP S.r.l e non possono essere riprodotte, divulgate o comunque utilizzate senza la sua preventiva autorizzazione scritta. All technical information contained in this document is the exclusive property of Studio Tecnico BFP S.r.l. and may neither be used nor disclosed without its prior written consent. (art. 2575 c.c.)	-	-	
			NOME FILE	PAGINE	
			DC20042D-E02.doc	20 + copertina	
REV	DATA	MODIFICA	Elaborato	Controllato	Approvato
00	05/10/20	Emissione	Mancini	Crisafulli	Pomponio
01					
02					
03					
04					
05					
06					

INDICE

1. OGGETTO	2
2. GENERALITÀ SULLE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE	2
3. NORME E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	3
3.1 Definizioni.....	3
4. INQUADRAMENTO NORMATIVO.....	4
5. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO.....	7
5.1 Caratteristiche generali del parco fotovoltaico.....	7
5.2 Cabine di conversione, trasformazione e raccolta/sezionamento	7
5.3 Linee di distribuzione in MT.....	8
5.4 Quadri MT di stazione elettrica.....	10
5.5 Sottostazione elettrica 150/30 kV	10
6. METODO DI CALCOLO CAMPO MAGNETICO	10
6.1 Cenni teorici.....	10
6.2 Metodo di calcolo	11
7. VALUTAZIONE PREVENTIVA DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI GENERATI DELLE COMPONENTI DELL'IMPIANTO	12
7.1 Applicazione della normativa sulla tutela della popolazione.....	12
8. LINEE DI DISTRIBUZIONE IN MT	12
8.1 Determinazione dei campi magnetici.....	12
9. DISTANZE DI PRIMA APPROSSIMAZIONE	14
10.SOTTOSTAZIONE ELETTRICA 150/30 KV	14
11.LINEA DI CONNESSIONE IN AT.....	17
11.1 Determinazione dei campi magnetici	18
11.2 Distanze di prima approssimazione	19
12.CONCLUSIONI	19

1. OGGETTO

Il presente studio è finalizzato al calcolo preventivo delle emissioni elettromagnetiche non ionizzanti determinate dalle installazioni elettriche previste dal progetto di un nuovo impianto di produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica denominato "CSPV" in agro di Lucera (FG), Località "Vado Biccari", delle relative opere connesse anche in agro di Foggia (FG), della potenza di circa 65,7 MWp.

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 (μ 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 150.000 V e frequenze di 50 Hz) i campi elettrici e magnetici sono da valutarsi separatamente perché disaccoppiati.

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.

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;
- 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.

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.

Cabina primaria

La cabina primaria (CP), denominata di seguito anche sottostazione 150/30 kV, è un impianto elettrico che ha la funzione di trasformare l'energia in ingresso in alta tensione (solitamente 120kV, 132kV o 150kV, raramente anche 60kV o 220kV) ad media tensione (8.4, 10, 15 o 20 kV).

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).

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 (μT)	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.

Il valore di attenzione di 10 μT 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).

5. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

5.1 Caratteristiche generali del parco fotovoltaico

L'impianto sarà di tipo ad inseguimento monoassiale, ovvero con pannelli fotovoltaici posizionati su tracker infissi nel terreno.

Per l'ottimizzazione del numero di moduli e quindi delle stringhe installabili si prevede l'installazione di 22 inverter di potenza da 2,5 MW settati in modo che la potenza AC in uscita non superi il valore autorizzato.

I moduli fotovoltaici che saranno installati avranno una Potenza di picco di 525 Wp.

Tali valori potranno variare a seconda delle caratteristiche tecniche dei convertitori scelti in fase esecutiva.

5.2 Cabine di conversione, trasformazione e raccolta/sezionamento

All'interno dei locali di conversione, presenti all'interno dell'impianto, avverrà il passaggio da corrente continua a corrente alternata per mezzo di convertitori statici trifase.

Tali apparecchi saranno dotati di idonei dispositivi atti a sezionare e proteggere sia il lato in corrente continua che il lato in corrente alternata. Le cabine saranno prefabbricate realizzate in cemento armato vibrato (c.a.v.), complete di vasca di fondazione del medesimo materiale, assemblate con inverter e quadri di media tensione, posate su un magrone di sottofondazione in cemento. Le cabine saranno internamente suddivise nei seguenti due vani:

- il vano conversione, in cui sono alloggiati gli inverter (due per cabina) e il trasformatore per i servizi ausiliari della cabina;
- il vano quadri di media tensione, in cui sono alloggiati i quadri elettrici di media tensione.

L'elevazione di tensione a 30.000 V in corrente alternata avverrà mediante un trasformatore da esterno opportunamente recintato, così da poter convogliare l'energia prodotta dal campo fotovoltaico verso la stazione elettrica per essere ceduta all'Ente distributore.

All'interno dell'area, inoltre, è presente una cabina di raccolta/sezionamento. All'interno di questa cabina sono presenti gli arrivi delle celle di media del campo fotovoltaico e le celle di media di partenza per il collegamento dell'impianto fotovoltaico in sottostazione elettrica. All'interno di queste cabine, in un apposito vano saranno installati i dispositivi di monitoraggio di

ogni area del campo fotovoltaico e i quadri dei servizi ausiliari nonché il trasformatore dei servizi ausiliari.

5.3 Linee di distribuzione in MT

La potenza elettrica raccolta dalle aree di produzione sarà trasferita in elettrodotto MT interrato al punto di consegna.

L'elettrodotto si comporrà delle seguenti sezioni fondamentali:

- collegamenti tra le cabine di conversione e trasformazione;
- collegamento a 30 kV dall'area del campo fotovoltaico alla sottostazione elettrica AT/MT 150/30 kV.

Per il collegamento delle cabine di conversione e trasformazione si prevede la realizzazione di singole linee MT in uscita da ogni cabina di raccolta presente in ogni area.

I cavi impiegati saranno del tipo unipolari **ARG16H1R16 18/30 kV** (qualora disponibili sul mercato prima dell'esecuzione dell'impianto)¹ o un cavo tipo **ARG7H1R 18/30 kV** o similare con posa in cavidotto a "trifoglio" e direttamente interrati e con protezione meccanica tramite lastre o tegoli. Essi sono costituiti da un conduttore sarà in alluminio a corda rotonda compatta di alluminio e tra il conduttore e l'isolante in mescola in elastomero termoplastico (qualità HEPR), sarà interposto uno strato di semiconduttore estruso. Tra l'isolante e lo schermo metallico invece sarà interposto uno strato di semiconduttore a mescola estrusa che, a sua volta sarà coperto da un rivestimento protettivo costituito da un nastro semiconduttore igroespandente. La schermatura sarà fatta mediante fili di rame rosso con nastro di rame in controspirale. La guaina sarà costituita da una mescola a base di PVC di colore rosso.

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.

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

Tratto	Tratto	N. di terne	Portata in servizio normale massima	Sezione conduttore	Diametro conduttore	Spessore isolante	Diametro cavo	Portata al limite termico del cavo ⁽¹⁾
		N.	[A]	[mm ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[A]
Caso 1	da Area FV a SSE	4	288,7	630	30,1	8,0	60,2	706

(1) posa interrata a trifoglio e resistività del terreno $\rho=1 \text{ }^\circ\text{Cm/W}$ (valore ricavato dalla scheda tecnica del cavo)

Tabella 3: Caratteristiche dimensionali dei cavi in MT.

¹ 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**)

La scelta delle sezioni dei cavi è stata fatta considerando:

- le correnti di impiego determinate dalla potenza effettiva, che equivale alla potenza nominale ridotta del 15% per tener conto della effettiva potenza massima che i moduli FV riescono a produrre (a valle delle perdite nella conversione), per evitare un sovradimensionamento dei cavi;
- le portate dei cavi per la tipologia di posa (norma CEI 20-21) e per la tipologia di carico ciclico giornaliero (CEI 20-42/1);
- il contenimento delle perdite di linea.

Nella Tabella più avanti sono riportati i risultati della scelta delle sezioni e la portata dei cavi MT per la posa interrata.

I coefficienti di calcolo per la portata dei cavi (profondità di posa, condizioni termiche, ecc.) sono stati assunti secondo le seguenti ipotesi:

- resistività termica del terreno pari a 2 °K m/W (in fase di progettazione esecutiva sarà effettuata una misura di resistività termica del terreno lungo il tracciato previsto, in modo tale da effettuare una correzione del valore se risultasse più alto);
- temperatura terreno pari a 25° C (CEI 20-21 A.3);
- coefficiente di variazione della portata per carico ciclico giornaliero;
- fattori di riduzione quando nello scavo sono presenti condutture affiancate (si è ipotizzato condutture poste a 20 cm di distanza tra di loro misurate dall'interasse delle singole terne);
- ulteriore fattore di sicurezza corrispondente ad una riduzione del 10% rispetto alla portata calcolata (Iz);
- condizioni di posa con la situazione termica più critica;
- altezza di posa pari a 1,20 m dal piano di calpestio.

La scelta della sezione è stata effettuata considerando che il cavo deve avere una portata Iz uguale o superiore alla corrente di impiego Ib del circuito tenendo conto del numero di terne affiancate nello stesso scavo.

LINEE	Distanza (m)	Potenza (kW)	U (V)	I (A)	Sezione (mm2)	Formazione cavi	Corrente nominale e cavo (A)	Ca Tmp	Cd Deph	Cg Group	Ci Ther res	Iz (A)	ΔV (%)
CS (LINEA 1) - SSE	13.215	10.000	30.000	192,5	630	3x1cx630 mm2	593	0,95	0,954	0,68	0,88	322	1,09%
CS (LINEA 2) - SSE	13.215	15.000	30.000	288,7	630	3x1cx630 mm2	593	0,95	0,954	0,68	0,88	322	1,63%
CS (LINEA 3) - SSE	13.215	15.000	30.000	288,7	630	3x1cx630 mm2	593	0,95	0,954	0,68	0,88	322	1,63%
CS (LINEA 4) - SSE	13.215	15.000	30.000	288,7	630	3x1cx630 mm2	593	0,95	0,954	0,68	0,88	322	1,63%

Ca: fattore di correzione per temperatura del terreno diversa da 20°C (ipotesi di temperatura 25 °C - da IEC 60502-2-2014, tabella B.11)

Cd: fattore di correzione per profondità di posa diversa da 0,8 m per cavi direttamente interrati (ipotesi di posa 1,2 m - da IEC 60502-2-2014, tabella B.12)

Cg: fattore di correzione per gruppi di circuiti formati da cavi unipolari in formazione trifase, direttamente interrati (da IEC 60502-2-2014, tabella B.19)

Ci: fattore di correzione della resistività termica del terreno diversa da 1,5 K·m/W per cavi unipolari direttamente interrati (ipotesi di resistività termica 2,0 K·m/W -da IEC 60502-2-2014, tabella B.14)

Tabella 4 - Calcoli preliminari

Ai fini della valutazione dei campi magnetici, di seguito descritta, sono state considerate come portate in servizio normale 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.

5.4 Quadri MT di stazione elettrica

All'interno della cabina di stazione sono ubicati i quadri in MT, per la protezione ed il sezionamento delle linee elettriche in arrivo dal parco fotovoltaico e in partenza verso il trasformatore di potenza AT/MT 150/30 kV.

Per gli edifici di stazione la DPA da considerare è quella delle linee MT entranti/uscenti.

5.5 Sottostazione elettrica 150/30 kV

All'interno dell'area recintata della sottostazione elettrica sarà ubicato un fabbricato suddiviso in vari locali che a seconda dell'utilizzo ospiteranno i quadri MT, gli impianti BT e di controllo, gli apparecchi di misura, il locale per l'alloggiamento del gruppo elettrogeno, i servizi igienici, un trasformatore MT/BT per l'alimentazione dei servizi ausiliari di sottostazione. Sarà presente un'area aperta composta da una sezione di trasformazione AT/MT ed una sezione di partenza in AT per la consegna dell'energia prodotta alla Rete di Trasmissione Nazionale.

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 μ_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 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.

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 basato 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 ad abitazioni o scuole, vanno verificati esclusivamente i limiti di esposizione. Non trovano applicazione, per le stesse motivazioni, gli obiettivi di qualità del DPCM 8 luglio 2003.

8. LINEE DI DISTRIBUZIONE IN MT

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 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 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 30 kV:

- Caso 1: quattro terne di conduttori disposti a trifoglio di sezione 630 mm² interrata ad una profondità di 1,20 m con portata in servizio normale totale di 1059 A;

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.

CASO 1 – quattro terne di conduttori disposti a trifoglio di sezione 630 mm² interrate ad una profondità di 1,20 m con portata in servizio nominale totale di 1059 A

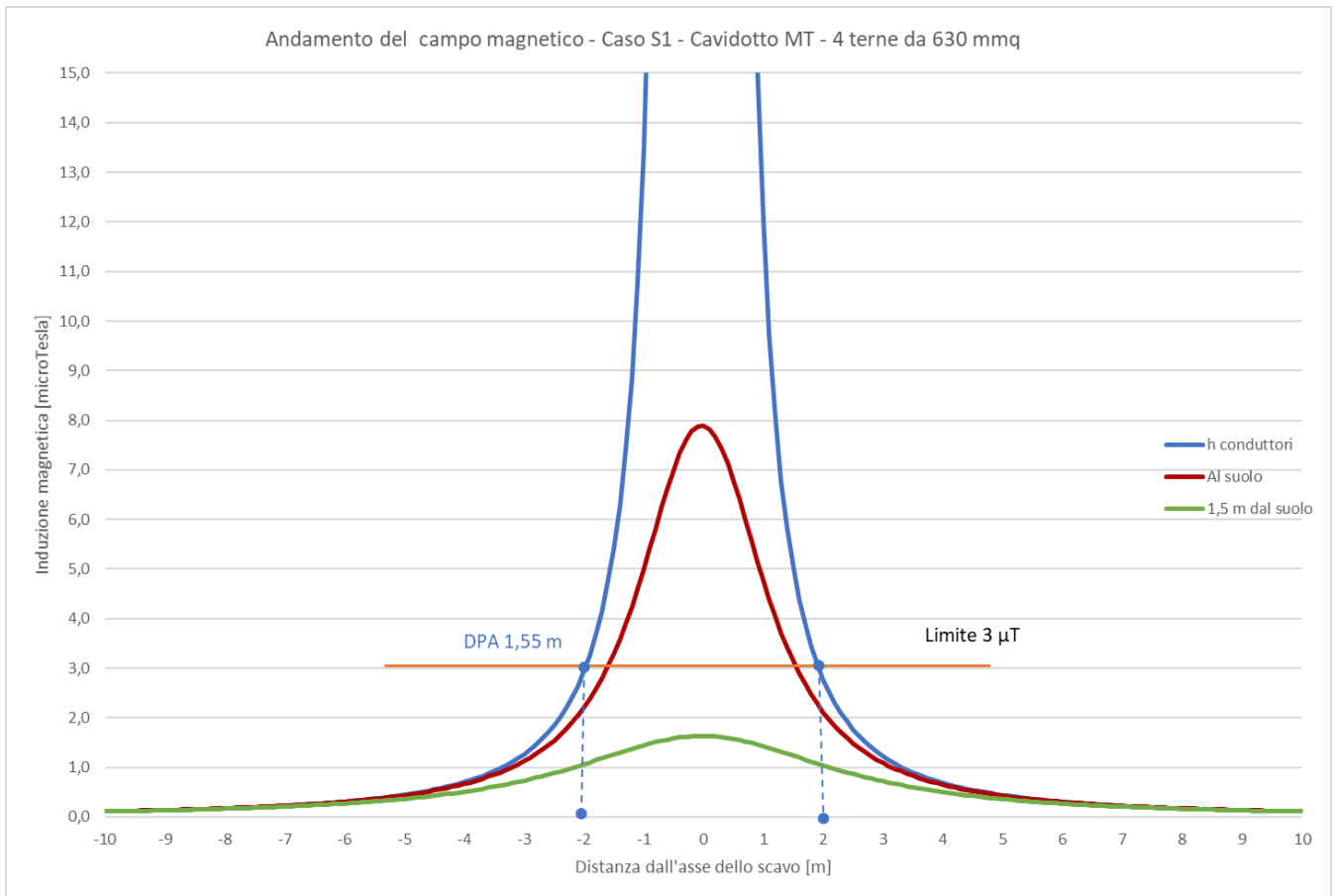


Figura 1: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa CASO 1.

Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [μ T]	Al suolo [μ T]	A 1,5 m dal suolo [μ T]
-10	0,113	0,114	0,110
-9	0,139	0,140	0,134
-8	0,175	0,176	0,166
-7	0,229	0,228	0,210
-6	0,312	0,307	0,273
-5	0,450	0,436	0,367

-4	0,706	0,666	0,511
-3	1,268	1,125	0,734
-2	2,932	2,204	1,064
-1	13,448	4,992	1,447
0	218,149	7,895	1,633
1	12,008	4,767	1,428
2	2,776	2,116	1,044
3	1,223	1,090	0,720
4	0,687	0,650	0,502
5	0,441	0,428	0,361
6	0,307	0,302	0,269
7	0,226	0,225	0,207
8	0,173	0,174	0,164
9	0,137	0,138	0,133
10	0,112	0,113	0,109

Tabella 5: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa al CASO 1.

9. DISTANZE DI PRIMA APPROSSIMAZIONE

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 il tratto di cavidotto preso in esame:

CASO DI STUDIO	N° TERNE	SEZIONI [mm ²]	TIPOLOGIA CAVO	TENSIONE [kV]	DPA [m]
1	4	630	ARG16H1R16	30	2

Tabella 6: Distanza di prima approssimazione per cavidotti di collegamento tra l'impianto fotovoltaico e la sottostazione 150/30 kV

In dettaglio si sono ottenuti i seguenti valori:

- **CASO 1** - Valore a 3 μ T: 1,98 m - Valore DPA: 2 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.

10. SOTTOSTAZIONE ELETTRICA 150/30 KV

Nella sottostazione elettrica di utenza la tensione viene innalzata da 30 kV a 150 kV.

La sottostazione utente consiste nelle seguenti apparecchiature:

- Trasformatore AT/MT 150/30 kV e stallo trasformatore con apparecchiature di misura, controllo e protezione isolati in aria;
- Sistema di sbarre;

- Stallo di linea con apparecchiature di misura, controllo e protezione isolati in aria e collegamento in cavo interrato alla stazione 150 kV della Rete elettrica nazionale tramite terna di cavi interrati;
- Opere civili contenenti i quadri MT di arrivo e protezione linee, protezione trasformatore e misura, i quadri BT di alimentazione servizi ausiliari, sistema di controllo da locale e da remoto, gruppo elettrogeno di soccorso.

L'area occupata dalla sottostazione è opportunamente recintata e tale recinzione comprende tutta una zona di pertinenza intorno alle apparecchiature, per permettere le operazioni di costruzione e manutenzione con mezzi pesanti. Per questo motivo nel Decreto 29-05-2008 del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, si evidenzia che generalmente la fascia di rispetto rientra nei confini della suddetta area di pertinenza, rendendo superflua la valutazione.

Le stazioni ad alta tensione sono caratterizzate da valori di campo elettrico ed induzione magnetica che dipendono, oltre che dall'intensità della corrente di esercizio, dalle caratteristiche degli specifici componenti presenti nella stazione stessa.

I valori più elevati del campo elettrico sono attribuibili al funzionamento dei sezionatori di sbarra (1,2 – 5 kV/m), mentre il valore più elevato di induzione magnetica è registrabile in corrispondenza dei trasformatori (6 – 15 μ T), valori che scendono in genere al disotto persino degli obiettivi di qualità in corrispondenza della recinzione della stazione.

A scopo di esempio, di seguito, è riportata l'individuazione delle fasce di rispetto relative ad una cabina primaria di Enel, estratto dalle Linee guida per l'applicazione del par. 5.1.3 dell'allegato al DM 29-05-2008).

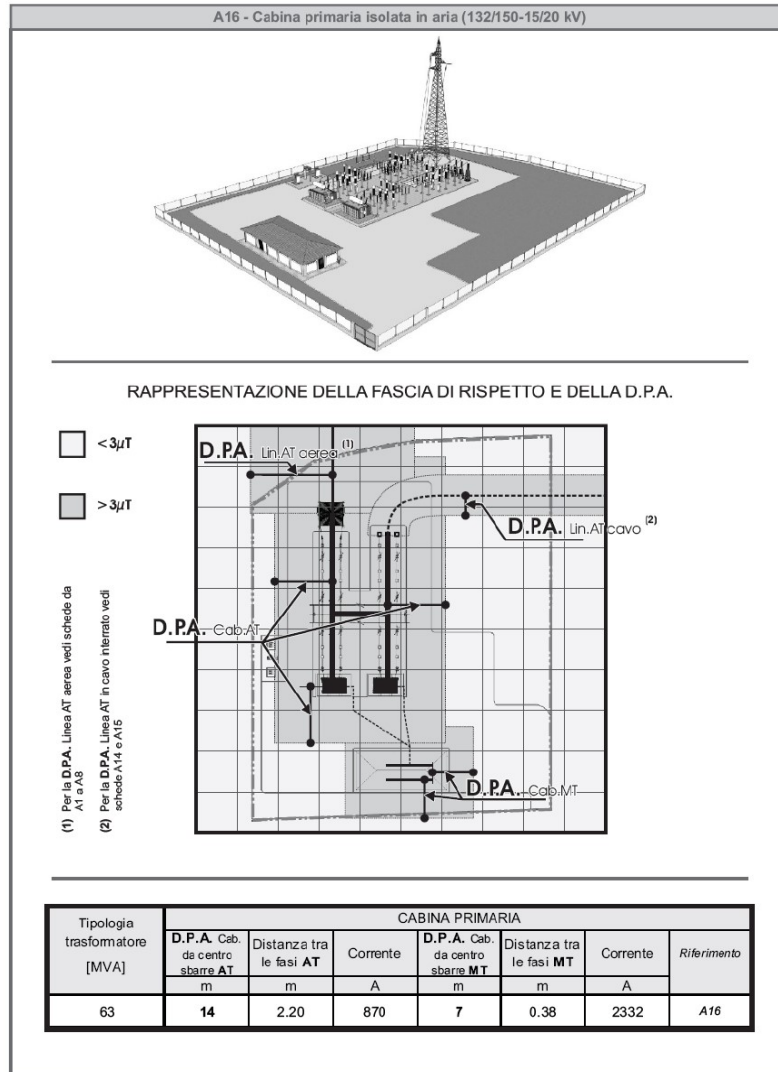


Figura 4: Esempio di fasce di rispetto relative ad una cabina primaria

Le aree esterne alla stazione ad alta tensione, quindi, sono caratterizzate da valori di induzione magnetica e di campo elettrico inferiori ai limiti normativi vigenti.

11. LINEA DI CONNESSIONE IN AT

La stazione elettrica di utenza, sarà collegata alla stazione Terna con una terna di cavi AT posati entro cavidotto interrato con posa in piano e ad una profondità di 1,5 m.

Nella tabella seguente sono riportati i dati principali del cavidotto.

Linea	Potenza trasmessa	Portata in servizio nominale	Sezione conduttore	Sezione schermo	Diametro cavo	Portata al limite termico del cavo ⁽²⁾
	[MW]	[A]	[mm ²]	[mm ²]	[mm]	[A]
Tra Sottostazione 150/30 kV e stazione di TERNA	225	911,6	3x1x1200	95	100	1235

(2) posa interrata a trifoglio e resistività del terreno $\rho=1 \text{ }^\circ\text{Cm/W}$ (valore ricavato dalla scheda tecnica del cavo)

Tabella 7: Caratteristiche dimensionale dei cavi in AT

Ai fini del dimensionamento dei cavi in AT e della valutazione dei campi magnetici, di seguito descritta, è stata considerata come potenza massima trasmessa un valore di 225 MW.

I relativi valori di correnti risultano, quindi, molto sovradimensionati rispetto ai valori di corrente generati dalla presenza del solo impianto fotovoltaico, per tenere in considerazione eventuali ampliamenti futuri e la connessione di ulteriori produttori alla stessa sottostazione 150/30 kV.

I coefficienti di calcolo per la portata dei cavi (profondità di posa, condizioni termiche, ecc.) sono stati assunti secondo le seguenti ipotesi:

- C_i : resistività termica del terreno pari a $1,5^\circ\text{K m/W}$ (in fase di progettazione esecutiva sarà effettuata una misura di resistività termica del terreno lungo il tracciato previsto, in modo tale da effettuare una correzione del valore se risultasse più alto);
- C_a : temperatura terreno pari a 25°C ;
- C_d : coefficiente relativo alla profondità di posa (1,5 m);
- C_g : coefficiente relativo alla distanza tra i conduttori (a contatto).

La scelta della sezione è stata effettuata considerando che il cavo deve avere una portata I_z uguale o superiore alla corrente di impiego I_b del circuito.

LINEE	Total Dist. (m)	Potenza (kW)	U (V)	I (A)	Sezione (mm ²)	Formazione cavi	Corrente nominale cavo (A)	Ca Tmp	Cd Deph	Cg Group	Ci Ther res	Iz (A)	ΔV (%)
Tratto SSE-SE TERNA	185	225.000	150.000	911,6	1200	3x1cx1200 mm ²	1235	0,96	0,97	1,00	0,84	966	0,02%

Tabella 8 - Calcoli preliminari



11.1 Determinazione dei campi magnetici

Per la realizzazione del collegamento tra la sottostazione 150/30 kV e il futuro ampliamento della Stazione Elettrica (SE) a 380/150 kV della RTN denominata "Foggia", sono stati considerati cavi in rame con schermo in alluminio avente sezione 1200 mm² posati entro cavidotto in piano ad una profondità di 1,5 m.

Maggiori dettagli sulle correnti massime trasportate e le caratteristiche dei conduttori sono riportati in tabella 6.

I valori del campo magnetico sono stati misurati all'altezza dei conduttori (-1,50 m), al suolo e ad un'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.

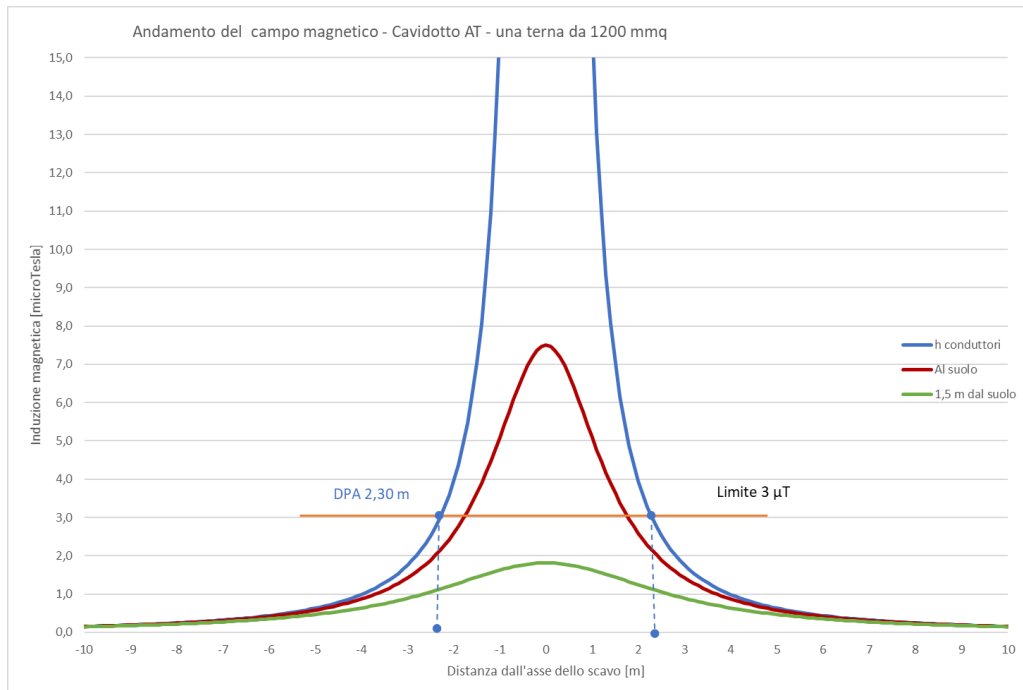


Figura 2: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa al cavidotto AT

Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [μ T]	Al suolo [μ T]	A 1,5 m dal suolo [μ T]
-10	0,158	0,155	0,145
-9	0,195	0,190	0,176
-8	0,247	0,239	0,217
-7	0,322	0,309	0,274
-6	0,439	0,414	0,353
-5	0,632	0,583	0,469

-4	0,987	0,872	0,639
-3	1,754	1,422	0,892
-2	3,947	2,588	1,243
-1	15,789	5,088	1,627
0	3157,875	7,501	1,814
1	15,789	5,088	1,627
2	3,947	2,588	1,243
3	1,754	1,422	0,892
4	0,987	0,872	0,639
5	0,632	0,583	0,469
6	0,439	0,414	0,353
7	0,322	0,309	0,274
8	0,247	0,239	0,217
9	0,195	0,190	0,176
10	0,158	0,155	0,145

Tabella 9: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa ai cavi AT

11.2 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 μT . La distanza di prima approssimazione per il tratto di cavidotto preso in esame è pari a 3 m (valore di 3 μT a 2,30 m), valore approssimato al metro così come indicato nel paragrafo 5.1.2 della guida allegata al DM del 29/05/2008.

12. 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 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 i cavidotti in media tensione la distanza di prima approssimazione non eccede il range di ± 2 m rispetto all'asse del cavidotto;
- Per la sottostazione elettrica 150/30 kV le fasce di rispetto ricadono nei confini della suddetta area di pertinenza rendendo superflua la valutazione secondo il Decreto 29-05-2008 del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare;

- Per il cavidotto in AT la distanza di prima approssimazione non eccede il range di ± 3 m rispetto all'asse del cavidotto.

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 fotovoltaico, sito nel Comune di Lucera (FG), in località "Vado Biccari" e delle relative opere e infrastrutture connesse e necessarie anche nel territorio del Comune di Foggia (FG), rispetta la normativa vigente.

In fase esecutiva si valuterà la possibilità di ridurre ulteriormente le emissioni elettromagnetiche e quindi le DPA valutando soluzioni tecniche e di posa alternative e migliorative.
