



Regione Puglia



Comune di Cerignola



Provincia di Foggia

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE
DI UN PARCO AGROVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA,
DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI
Località Riscata - Comune di Cerignola (FG)

PROGETTO DEFINITIVO

CRG_CEM.01
Studio di impatto elettromagnetico

Proponente



Rinnovabili Sud Due
Via Della Chimica, 103 - 85100 Potenza (PZ)

Formato

A4

Scala

-

Progettista

Ing. Gaetano Cirone

Ing. Pietro Valente

Ing. Adele Oliveto

Geol. Emanuele Bonanno



Revisione	Descrizione	Data	Preparato	Controllato	Approvato
00	Prima emissione	10/02/2022	Ing. A.Oliveto	Ing. Gaetano Cirone	Ing. Gaetano Cirone

Sommario

1. PREMESSA.....	2
2. LO STUDIO DI IMPATTO ELETTROMAGNETICO	4
3. RIFERIMENTI NORMATIVI	4
3.1. VALORI LIMITE ESPOSIZIONE UMANA.....	5
4. GENERALITÀ SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	6
4.1. CAMPO MAGNETICO	7
4.2. CAMPO ELETTRICO.....	9
5. METODOLOGIA DI CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	10
6. FONTI DI EMISSIONE ANALIZZATE.....	12
7. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DAGLI ELETTRODOTTI.....	13
7.1. CAVIDOTTO ESTERNO.....	15
7.2. CAVIDOTTI INTERNI	16
8. CABINA DI TRASFORMAZIONE MT/BT	18
9. STAZIONE ELETTRICA UTENTE	20
9.1. VALUTAZIONE DELLE FASCE DI RISPETTO	20
10. LINEA DI CONNESSIONE AT	23
11. CONCLUSIONI	26

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Schema di campo magnetico.....	10
Figura 2 - Tipico posa cavidotto	13
Figura 3 – cavo unipolare e sue caratteristiche.....	14
Figura 4 - Schema cavo AT con isolamento in XLPE.....	14
Figura 5 – Induzione magnetica cavidotto esterno MT (3 terne)	16
Figura 6 – Induzione magnetica cavidotto con 5 terne	17
Figura 7 - valori dell'induzione magnetica	19
Figura 8 – Stralcio “Linee Guida per l’applicazione del § 5.1.3. dell’Allegato al DM 29.05.2008	21
Figura 9 – Stralcio linee guida di Enel sul calcolo della DPA: sottostazioni di trasformazione in alta tensione	22

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Valori limite di esposizione di cui all’art. 3 del D.P.C.M. 8 luglio 2003.....	6
Tabella 2 - Spettro elettromagnetico	8
Tabella 3 - Caratteristiche linea MT interna.....	17



1. PREMESSA

Il progetto proposto riguarda la realizzazione di un impianto Agro-Fotovoltaico e delle relative opere di connessione ed infrastrutture indispensabili da realizzarsi alla Località Riscata del Comune di Cerignola, in provincia di Foggia.

Più nello specifico, il progetto riguarda la realizzazione un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile con potenza complessiva pari a **36,05 MW**, integrato con la conduzione dell'attività agricola prevista fra i filari dell'impianto fotovoltaico.

Le caratteristiche principali dell'impianto sono:

Estensione (ha)	Potenza (MW)	Rapporto ha / MW	Ubicazione NCT
54,5	36,05	1,51	Fogli 131, 148, 149, 151 (Cerignola)

Da un punto di vista elettrico, il sistema fotovoltaico all'interno dell'impianto è costituito da stringhe.

Una stringa è formata da 28 moduli collegati in serie, pertanto, la tensione di stringa è data dalla somma delle tensioni a vuoto dei singoli moduli, mentre la corrente di stringa coincide con la corrente del singolo modulo.

Moduli per stringa	Vmp (V)	Imp (A) - STC	Tensione stringa
28	34,6	17,49	968,8V

L'energia prodotta dai moduli fotovoltaici, raggruppati in stringhe (ovvero gruppi di 28 moduli collegati in serie tra loro, con tensione massima di stringa pari a circa 968,8 V), viene prima raccolta all'interno dei quadri di stringa, e da questi viene poi trasferita all'interno delle cabine di conversione e quindi successivamente nelle cabine trafo dove avviene l'innalzamento di tensione sino a 30 kV.

L'impianto è formato da 6 sottocampi di cui si riportano di seguito le caratteristiche.

Sottocampi	P _{trafo} (MW)	N° Moduli	N° di Stringhe	N° di Inverter
Campo 1	7,572	12516	447	32
Campo 2	3,964	6552	234	16
Campo 3	2,965	4900	172	12
Campo 4	12,807	21168	756	55
Campo 5	2,829	4676	167	11
Campo 6	5,912	9772	349	24

Dai sottocampi l'energia prodotta viene trasportata nella **Cabina di Raccolta (CdR)**, posizionata all'interno dell'impianto.

Si precisa inoltre che in fase di progettazione esecutiva si potrà adottare una configurazione differente fermo restando la potenza complessiva dell'impianto.



In estrema sintesi l'Impianto sarà composto da:

- 1) **59584 moduli fotovoltaici** in silicio monocristallino (collettori solari) di potenza massima unitaria pari a 605 Wp, installati su inseguitori monoassiali da 56/28 moduli.
- 2) **2125 stringhe**, ciascuna costituita da 28 moduli da 605 Wp ciascuno, collegati in serie. Tensione di stringa 968,8 V e corrente di stringa 17,49 A;
- 3) **13 cabine di campo prefabbricate** contenenti il gruppo conversione (inverter);
- 4) **13 cabine di campo prefabbricate** contenenti il gruppo trasformazione;
- 5) **1 Una Cabina di Raccolta principale**, in cui viene raccolta tutta l'energia prodotta dall'impianto;
- 6) **3 cabine di raccolta secondarie**, in cui viene raccolta l'energia delle cabine di campo;
- 7) **1 locale guardiania**;
- 8) **Cavidotti media tensione interni per** il trasporto dell'energia elettrica dalle cabine di trasformazione dai vari sottocampi alla *Cabina di Raccolta*;
- 9) **Cavidotto media tensione esterno**, per il trasporto dell'energia dalla *Cabina di Raccolta* sino alla Sottostazione Elettrica Utente (SE utente) 30/150 kV;
- 10) **Impianti ausiliari** (illuminazione, monitoraggio e controllo, sistema di allarme anti-intrusione e videosorveglianza, sistemi di allarme antincendio).
- 11) **Una Sottostazione Elettrica Utente condivisa** in cui avviene la raccolta dell'energia prodotta (in MT a 30 kV), la trasformazione di tensione (30/150 kV) e la consegna (in AT a 150 kV). In essa sarà installato il trasformatore elevatore di Tensione 30/150 kV.
- 12) **Impianto di accumulo elettrochimico** della Potenza di **14 MW** e capacità **28 MWh**. L'impianto verrà realizzato all'interno dell'area di impianto (si rimanda al capitolo specifico per una descrizione dettagliata delle opere);
- 13) **Cavidotto AT** di collegamento alla nuova Stazione Terna 380/150 "Foggia – Palo del Colle".

Per le opere su elencate saranno necessarie una serie di opere civili, oltre a quelle elettriche, descritte nei paragrafi successivi.

Di seguito si elencano le opere che saranno oggetto di verifica dei campi elettromagnetici:

- **Rete di cavidotti interni in MT di collegamento dei sotto-campi alla Cabina di Raccolta**
- **Linea MT in cavo interrato**, per il trasporto dell'energia dalla *Cabina di Raccolta* sino ad una Sottostazione Elettrica Utente (SSE) 30/150 kV;
- **Cabine elettriche di trasformazione BT/AT all'interno dell'area di generazione**;
- **Sottostazione Elettrica Utente** in cui avviene la raccolta dell'energia prodotta (in MT a 30 kV), la trasformazione di tensione (30/150 kV) e la consegna (in AT a 150 kV).



2. LO STUDIO DI IMPATTO ELETTROMAGNETICO

Le opere di progetto sono finalizzate a consentire la produzione di energia elettrica da sorgente fotovoltaica, nel rispetto delle condizioni per la sicurezza delle apparecchiature e delle persone. Lo studio di impatto elettromagnetico si rende necessario al fine di una valutazione del campo elettrico e magnetico nei riguardi della popolazione. In particolare “la fascia di rispetto” di cui al DM 29/05/2008 viene calcolata tenendo conto dell’elettrodotto interrato e della Sottostazione Elettrica MT/AT.

Al calcolo della fascia di rispetto segue la verifica dell’assenza di ricettori sensibili all’interno di tale fascia, se presenti.

3. RIFERIMENTI NORMATIVI

I principali riferimenti normativi per la stesura del presente documento sono i seguenti:

- D.M. del 29 maggio 2008;
- Linee Guida per l’applicazione del § 5.1.3 dell’Allegato A al DM 29.05.08;
- Norma CEI 106-11 (Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del D.P.C.M. 8 luglio 2003 (art.6));
- D.P.C.M. del 8 luglio 2003 “Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti”;
- Legge n.36 del 22 febbraio 2001;
- Decreto Interministeriale del 21 marzo 1988 n.449;
- Norme CEI:
 - CEI 211-7 “Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell’intervallo di frequenza 10 kHz – 300 GHz, con riferimento all’esposizione umana”;
 - CEI 106-11 “Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6) – Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo;
 - CEI 106-12 “Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/bT”.

Per il calcolo dell’induzione magnetica e la determinazione delle fasce si terrà conto delle indicazioni tecniche previste nel decreto del 29 maggio 2008 e nelle Norme CEI 106-11 e CEI 106-12 nelle quali viene ripreso il modello di calcolo normalizzato della Norma CEI 211-4 e vengono proposte, in aggiunta, delle formule analitiche approssimate che permettono il calcolo immediato dell’induzione magnetica ad una data di stanza dal centro geometrico della linea elettrica.



3.1. Valori Limite Esposizione Umana

Il D.P.C.M. 8 luglio 2003 fissa i limiti di esposizione e valori di attenzione, per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento ed all'esercizio degli elettrodotti, in particolare:

- nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di $100 \mu T$ per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci (art.3 comma 1);
- a titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di $10 \mu T$, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio (art.3 comma 2);
- Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a *permanenze non inferiori a quattro ore* e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di $3 \mu T$ per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio (Art.4 comma 1);
- Lo stesso DPCM, all'art 6, fissa i parametri per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, per le quali si dovrà fare riferimento all'obiettivo di qualità ($B=3\mu T$) di cui all'art. 4 sopra richiamato ed alla portata della corrente in servizio normale. L'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (Metodologie di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti) definisce quale fascia di rispetto lo spazio circostante l'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;
- Ai fini del calcolo della fascia di rispetto si omettono verifiche del campo elettrico, in quanto nella pratica questo determinerebbe una fascia (basata sul limite di esposizione, nonché valore di attenzione pari a 5kV/m) che è sempre inferiore a quella fornita dal calcolo dell'induzione magnetica;

Alla luce delle soprarichiamate disposizioni, nei paragrafi successivi sarà condotta la verifica ed il calcolo delle fasce di rispetto dagli elettrodotti del progetto in esame, facendo riferimento al limite di qualità di $3 \mu T$.



Frequenza 50 Hz	Intensità di Campo	
	Elettrico E (kV/m)	Induzione Magnetica B (μ T)
Limiti di esposizione	5	100
Valore di attenzione	-	10
Obiettivo di qualità	-	3

Tabella 1 – Valori limite di esposizione di cui all'art. 3 del D.P.C.M. 8 luglio 2003

Con il Decreto del 29 maggio 2008 (G.U. n. 153 del 2 Luglio 2008 e Supplemento Ordinario n. 160 alla G.U. 5 Luglio n. 156) "Approvazione delle procedure di misura e valutazione dell'induzione magnetica", si stabilivano le metodologie di misura dell'induzione magnetica secondo la norma CEI 211-6 del 2001-01 e s.m.i., in particolare prevedendo che "Nel caso di campo magnetico uniforme nello spazio, tipicamente quello generato da linee elettriche aeree, per una accurata caratterizzazione possono essere sufficienti rilievi ad un'altezza compresa tra 100 e 150cm dal piano di calpestio; nel caso di campo fortemente non omogeneo, tipicamente quello generato dalle cabine elettriche, dovrà essere eseguita una serie di rilievi anche a quote differenti".

In particolare, per quanto riguarda il calcolo dell'induzione magnetica e la determinazione delle fasce di rispetto si è tenuto conto delle indicazioni tecniche previste nel decreto del 29 maggio 2008 e nelle Norme CEI 106-11 e CEI 106-12, nelle quali viene ripreso il modello di calcolo normalizzato della Norma CEI 211-4 e vengono proposte, in aggiunta, delle formule analitiche approssimate che permettono il calcolo immediato dell'induzione magnetica ad una data di stanza dal centro geometrico della linea elettrica.

4. GENERALITÀ SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Ogni apparecchiatura che produce o che viene attraversata da una corrente elettrica (dinamo, cavi elettrici, elettrodomestici, etc.) è caratterizzata da un *campo elettromagnetico*.

Il campo elettromagnetico presente in un dato punto dello spazio è definito da due vettori:

- il campo elettrico
- l'induzione magnetica.

Il campo elettrico, misurato in V/m , dipende dall'intensità e dal voltaggio della corrente, mentre l'*induzione magnetica*, che si misura in μT , dipende dalla permeabilità magnetica del mezzo.

Il rapporto tra l'induzione magnetica e la permeabilità del mezzo individua il *campo magnetico*.



4.1. Campo Magnetico

I campi elettromagnetici sono un insieme di grandezze fisiche misurabili, introdotte per caratterizzare un insieme di fenomeni osservabili indotti senza contatto diretto tra sorgente ed oggetto del fenomeno, vale a dire fenomeni in cui è presente un'azione a distanza attraverso lo spazio. Esso è composto in generale da tre campi vettoriali:

- il campo elettrico,
- il campo magnetico,
- la "sorgente".

Questi vettori che caratterizzano il campo elettromagnetico hanno ciascuno un valore definito in ciascun punto del tempo e dello spazio.

I vettori utilizzati per modellare le grandezze introdotte nella definizione del modello fisico dei campi elettromagnetici sono quindi:

- E = campo elettrico
- B = campo di induzione magnetica
- D = spostamento elettrico o induzione dielettrica
- H = campo magnetico.

L'esposizione umana ai campi elettromagnetici è una problematica relativamente recente che assume notevole interesse con l'introduzione massiccia dei sistemi di telecomunicazione e dei sistemi di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica. In realtà anche in assenza di tali sistemi siamo costantemente immersi nei campi elettromagnetici per tutti quei fenomeni naturali riconducibili alla natura elettromagnetica, primo su tutti l'irraggiamento solare.

Per quanto concerne i fenomeni elettrici si fa riferimento al campo elettrico, il quale può essere definito come una perturbazione di una certa regione spaziale determinata dalla presenza nell'intorno di una distribuzione di carica elettrica.

Per i fenomeni di natura magnetica si fa riferimento ad una caratterizzazione dell'esposizione ai campi magnetici, non in termini del vettore campo magnetico, ma in termini di induzione magnetica, che tiene conto dell'interazione tra ambiente e i mezzi materiali in cui il campo si propaga. Dal punto di vista macroscopico ogni fenomeno elettromagnetico è descritto dall'insieme di equazioni note come *equazioni di Maxwell*.

La normativa attualmente in vigore disciplina in modo differente i valori ammissibili di campo elettromagnetico, distinguendo i "campi elettromagnetici quasi statici" ed i "campi elettromagnetici a radio frequenza".

Nel caso dei *campi elettromagnetici quasi statici*, si ragiona separatamente sui fenomeni elettrici e magnetici e si impongono separatamente i limiti normativi alle intensità del campo elettrico e dell'induzione magnetica. Il modello quasi statico è applicato per il caso concreto della distribuzione di energia, in relazione alla frequenza di distribuzione dell'energia della rete che è pari a 50 Hz.

In generale gli elettrodotti dedicati alla trasmissione e distribuzione di energia elettrica sono percorsi da correnti elettriche di intensità diversa, ma tutte alla frequenza di 50 Hz, e quindi tutti i fenomeni



elettromagnetici che li vedono come sorgenti possono essere studiati correttamente con il modello per campi quasi statici.

Gli impianti per la produzione e la distribuzione dell'energia elettrica alla frequenza di 50 Hz, costituiscono una sorgente di campi elettromagnetici nell'intervallo 30-300 Hz.

DENOMINAZIONE	SIGLA	FREQUENZA	LUNGHEZZA D'ONDA	
FREQUENZE ESTREMAMENTE BASSE	ELF	0 - 3kHz	> 100Km	
FREQUENZE BASSISSIME	VLF	3 - 30kHz	100 - 10Km	
RADIOFREQUENZE	FREQUENZE BASSE (ONDE LUNGHE)	LF	30 - 300kHz	10 - 1Km
	MEDIE FREQUENZE (ONDE MEDIE)	MF	300kHz - 3MHz	1Km - 100m
	ALTE FREQUENZE	HF	3 - 30MHz	100 - 10m
	FREQUENZE ALTISSIME (ONDE METRICHE)	VHF	30 - 300MHz	10 - 1m
MICROONDE	ONDE DECIMETRICHE	UHF	300MHz - 3GHz	1m - 10cm
	ONDE CENTIMETRICHE	SHF	3 - 30GHz	10 - 1cm
	ONDE MILLIMETRICHE	EHF	30 - 300GHz	1cm - 1mm
INFRAROSSO	IR	0,3 - 385THz	1000 - 0,78mm	
LUCE VISIBILE		385 - 750THz	780 - 400nm	
ULTRAVIOLETTO	UV	750 - 3000THz	400 - 100nm	
RADIAZIONI IONIZZANTI	X	> 3000THz	< 100nm	

Tabella 2 - Spettro elettromagnetico

Le grandezze che determinano l'intensità del campo magnetico circostante un elettrodotto sono principalmente:

- **Distanza dalle sorgenti (conduttori);**
- **Intensità delle sorgenti (correnti di linea);**
- **Disposizione e distanza tra sorgenti (distanza mutua tra i conduttori di fase);**
- **Presenza di sorgenti compensatrici;**
- **Suddivisione delle sorgenti (terne multiple).**

I metodi di controllo del campo magnetico si basano principalmente sulla riduzione della distanza tra le fasi, sull'installazione di circuiti addizionali (spire) nei quali circolano correnti di schermo, sull'utilizzazione di circuiti in doppia terna a fasi incrociate e sull'utilizzazione di linee in cavo.

I valori di campo magnetico risultano notevolmente abbattuti mediante **interramento** degli elettrodotti. Questi saranno posti a circa 1,20 m di profondità e generano, a parità di corrente trasportata, un campo magnetico al livello del suolo più intenso degli elettrodotti aerei (circa il doppio), però l'intensità del campo magnetico si riduce molto più rapidamente con la distanza. Tra gli svantaggi sono da considerare i problemi di perdita dell'energia legati alla potenza reattiva vista



anche la lunghezza del cavidotto MT di collegamento tra il parco fotovoltaico e la Sottostazione Utente.

Confrontando il campo magnetico generato da linee aeree con quello generato da cavi interrati, si rileva che per i cavi interrati l'intensità massima del campo magnetico è più elevata, ma presenta un'attenuazione più pronunciata.

4.2. Campo Elettrico

Il campo elettrico è legato in maniera direttamente proporzionale alla tensione della sorgente; esso si attenua allontanandosi da un elettrodotto seguendo l'inverso della distanza dai conduttori.

I valori efficaci delle tensioni di linea variano debolmente con le correnti che le attraversano; l'intensità del campo elettrico può considerarsi quindi, in prima approssimazione, costante.

La presenza di alberi, oggetti conduttori o edifici in prossimità delle linee riduce l'intensità del campo elettrico e, in particolare all'interno degli edifici, si possono misurare intensità di campo fino a 10 (anche 100) volte inferiori a quelle rilevabili all'esterno.

Per le linee elettriche aeree, l'intensità maggiore del campo elettrico si misura generalmente al centro della campata, ossia nel punto in cui i cavi si trovano alla minore distanza dal suolo. L'andamento e il valore massimo delle intensità dei campi dipendono anche dalla disposizione e dalle distanze tra i conduttori della linea.

Tutti i cavi interrati sono schermati nei riguardi del campo elettrico, che pertanto risulta pressoché nullo in ogni punto circostante all'impianto; pertanto, non verranno effettuate specifiche valutazioni.



5. METODOLOGIA DI CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Per il calcolo del campo di induzione magnetica si applica la *prima formula di Laplace*, riferita ad un circuito generico filiforme percorso da una corrente i :

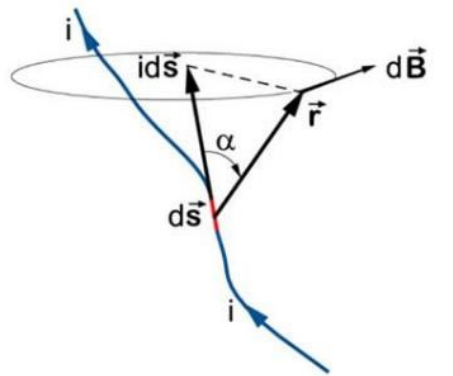


Figura 1 - Schema di campo magnetico

$$d\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{r^3} i \, d\mathbf{s} \times \mathbf{r} \quad (1)$$

Dove:

- i è il modulo della corrente che circola nel conduttore;
- ds è il vettore infinitesimo tangente al conduttore;
- \mathbf{r} è il vettore posizione del punto in cui si vuole determinare il campo.

Applicando il principio di sovrapposizione degli effetti, valido anche per i fenomeni magnetici, si ottiene il valore del vettore \mathbf{B} integrando lungo l'intero circuito percorso dalla corrente i :

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{r^3} i \oint_e d\mathbf{s} \times \mathbf{r} \quad (2)$$

Nel caso particolare di filo rettilineo indefinito, percorso da una corrente stazionaria i , vale la *Legge di Biot e Savart*, che è un caso particolare della (1), sebbene dal punto di vista storico sia stato

ricavato sperimentalmente prima della formulazione di Laplace:

$$B(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0 s \mathbf{x} \mathbf{r}}{4\pi r^3} \mathbf{i} \quad (3)$$

Per il calcolo operativo è stato utilizzato il programma di calcolo *MAGIC (Magnetic Induction Calculation) Ver. 1.02.* della NOFIELD s.r.l..

La necessità della valutazione della *DPA (Distanza di Prima Approssimazione)*, secondo quanto richiesto dal decreto 29/05/2008, in cui è stata approvata la metodologia di calcolo per la procedura di misura e valutazione dell'induzione magnetica generata da elettrodotti nel rispetto dei principi della Legge Quadro 36/01 e del D.P.C.M. 8 Luglio 2003, richiede spesso di tener conto della complessità delle sorgenti di campo magnetico in esame, della loro tridimensionalità e dell'effetto prodotto dalla combinazione delle stesse.

MAGIC è un software per la valutazione dei livelli di induzione magnetica generati dalle più ricorrenti sorgenti di campo magnetico ai fini della valutazione di impatto ambientale e della determinazione delle fasce di rispetto.



6. FONTI DI EMISSIONE ANALIZZATE

Facendo riferimento a quanto descritto nei paragrafi precedenti, si è proceduto ad individuare le sezioni maggiormente critiche, ovvero quelle in cui le correnti complessive di esercizio possono ritenersi massime, per condurvi un'analisi previsionale del campo magnetico indotto.

Le apparecchiature elettriche previste nella realizzazione dell'impianto fotovoltaico in oggetto generano normalmente, durante il loro funzionamento, campi elettromagnetici con radiazioni non ionizzanti.

L'analisi è stata compiuta sugli elettrodotti interrati che costituiscono *la linea interna al Parco* e la *linea dorsale*, che, per la loro posizione lungo strade esistenti e al di sotto di terreni agricoli potenzialmente frequentati dalla popolazione, costituiscono fattore di potenziale rischio.

In particolare, sono da considerarsi come sorgenti di campo elettromagnetico le seguenti componenti del parco fotovoltaico:

- **Gli Elettrodotti:**
 - **La rete di cavidotti interni in MT di collegamento dei sotto-campi alla Cabina di Raccolta:** collegamento in MT a 30 kV tra gli Shelter e la Cabina di Raccolta (in configurazione a stella);
 - **La linea MT in cavo interrato**, per il trasporto dell'energia dalla **Cabina di Raccolta** sino ad una Sottostazione Elettrica Utente (SSE) 30/150 kV (dorsale esterna di collegamento) che sarà realizzata nei pressi della futura stazione TERNA 380/150 kV "Foggia – Palo del Colle".
- **La cabine di trasformazione BT/MT presenti nell'area di generazione;**
- **La Sottostazione Elettrica Utente:**
 - Trasformatore di tensione (30/150 kV)
 - Stazione con Sbarre AT di raccolta.
- **L'impianto di accumulo elettrochimico** all'interno dell'area di generazione;



7. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DAGLI ELETTRODOTTI

Per la valutazione del campo magnetico generato dall'elettrodotto occorre innanzitutto distinguere gli elettrodotti in funzione della tipologia dei cavi utilizzati e della tipologia di posa degli stessi.

La posa dei cavidotti in MT di collegamento tra le cabine Inverter e di trasformazione interne alle stringhe dei sottocampi fotovoltaici fino alla cabina di raccolta e poi da queste verso la SE di Utenza verranno posati effettuando degli scavi in trincea.

Gli scavi per le trincee per la posa dei cavi MT saranno effettuati con uno scavo a sezione obbligata, fino alla profondità di 1,3 metri; successivamente sarà depositato il terreno stesso proveniente dallo scavo. Dopo la posa del cavo, lo scavo verrà riempito con lo stesso terreno di risulta; ad una profondità dello scavo di circa 1 metro verrà posto un nastro segnalatore. A distanza opportuna, lungo il percorso del cavidotto, verranno posti dei pozzetti di ispezione, al fine di poter ispezionare il cavidotto ed effettuare le manutenzioni eventualmente necessarie durante la vita utile dell'impianto fotovoltaico. Il percorso del cavidotto potrà essere segnalato con dei cartelli appositi piantati lungo il tracciato. Il residuo del rinterro del cavidotto verrà riutilizzato o smaltito in discarica secondo quanto previsto dalla relazione "terre e rocce da scavo".

Per la connessione alla SE utente, sarà realizzato un cavidotto esterno nel quale verranno alloggiare 3 terne di cavi. Tale cavidotto sarà realizzato in TOC in caso di interferenze con la viabilità esistente e con il reticolo idrografico. Si riporta di seguito il tipologico per la posa di due terne di cavi su terreno.

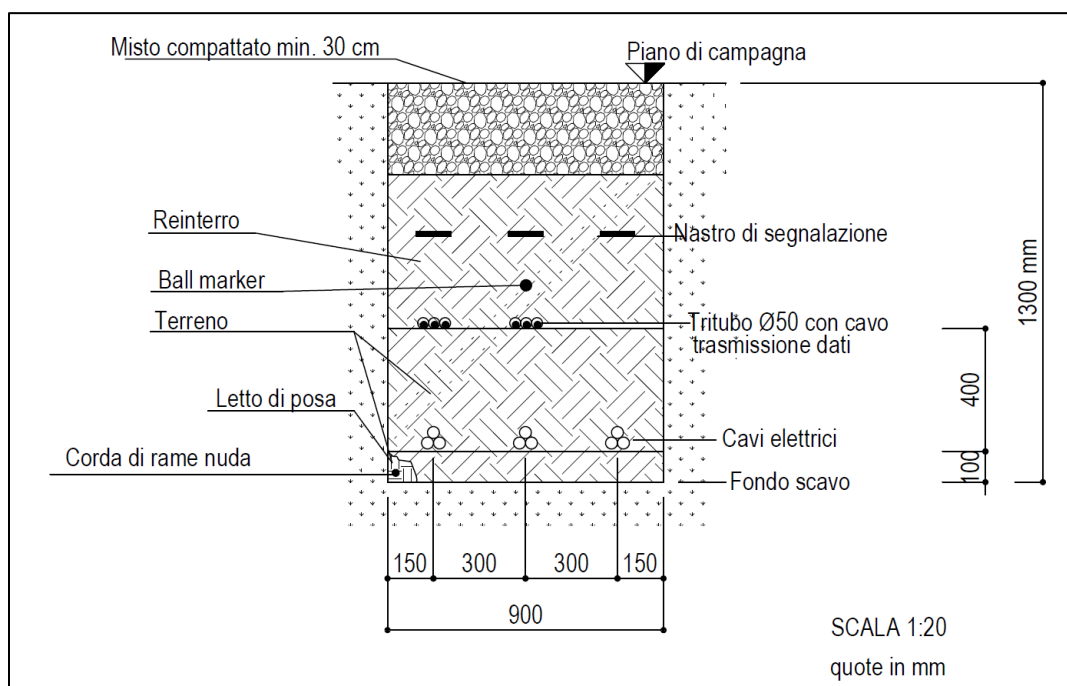


Figura 2 - Tipico posa cavidotto

La posa dei cavidotti BT avverrà con le stesse modalità descritte sopra. Tali cavidotti collegheranno i quadri di parallelo delle stringhe alle cabine di conversione (Inverter).

I cavi utilizzati saranno ad isolamento con elastomero termoplastico con conduttori di alluminio, aventi una sezione nominale idonea al trasporto dell'energia ed a contenere le perdite di tensione. I conduttori saranno posati a trifoglio. Le caratteristiche dei suddetti cavi sono riportate nella figura di seguito:

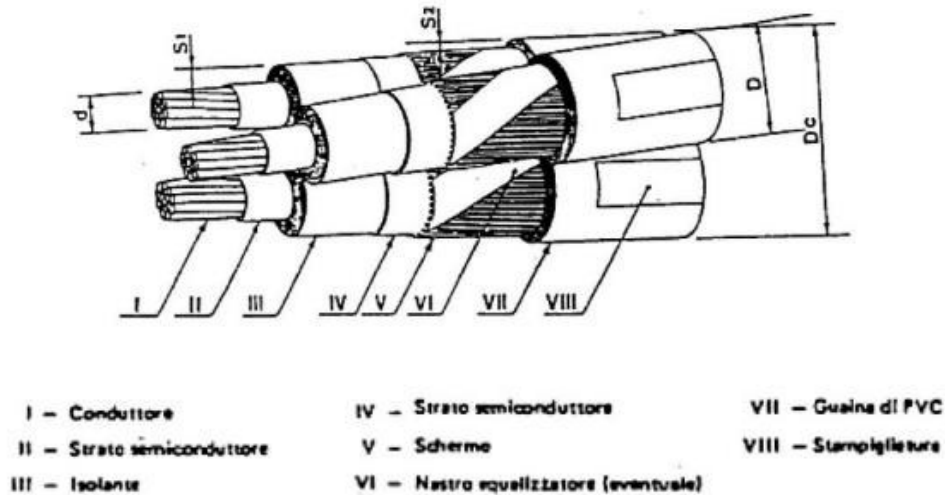


Figura 3 – cavo unipolare e sue caratteristiche

L'isolamento sarà costituito da mescola in elastomero termoplastico con una temperatura di sovraccarico massima pari a 140° C.

Per il cavo AT si riporta la seguente figura a mero titolo esemplificativo:

Schema costitutivo (a titolo indicativo)

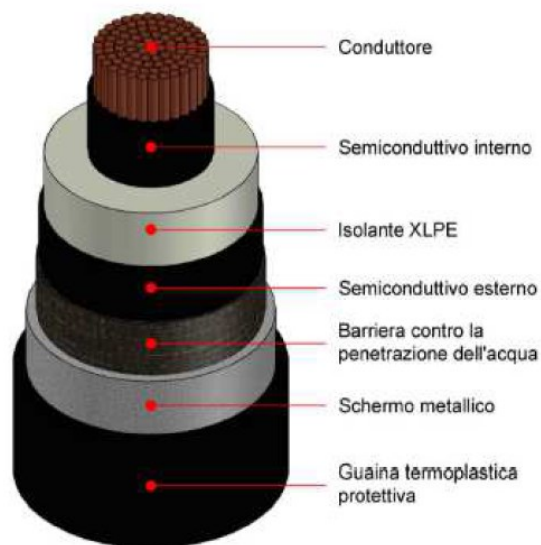


Figura 4 - Schema cavo AT con isolamento in XLPE

7.1. Cavidotto esterno

Come detto, il cavidotto di media tensione esterno collegherà la cabina di raccolta posta all'interno dell'area dell'impianto di generazione alla SE utente.

Il cavidotto è lungo circa 12,2 km. I cavi utilizzati saranno 2 terne del tipo RG7H1R unipolare ad isolamento con elastomero termoplastico con conduttori di alluminio, aventi una sezione nominale di 630 mm². In aggiunta è presente 1 terna da 630 mm² appratente ad altro impianto la cui corrente di linea è stimata in 491 A. I conduttori saranno posati a trifoglio. Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione specialistica sul calcolo degli impianti. La corrente massima che interessa la dorsale esterna è la seguente:

$$I = \frac{P_{max}}{\sqrt{3} \times V_n \times \cos\varphi} = \frac{44 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 30000 \times 0,98} = 864 \text{ A}$$

$$I = \frac{P_{max}}{\sqrt{3} \times V_n \times \cos\varphi} = \frac{25 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 30000 \times 0,98} = 491 \text{ A}$$

I cavi utilizzati saranno del tipo RG7H1R unipolare ad isolamento con elastomero termoplastico con conduttori di alluminio, aventi una sezione nominale di 630 mm². I conduttori saranno posati a trifoglio.

La valutazione previsionale del campo magnetico generato dalle configurazioni impiantistiche tipo descritte ai paragrafi precedenti è stata effettuata lungo una linea di esplorazione rettilinea, della lunghezza di 10 m, trasversale rispetto alle terne e situata ad una quota di 1,5 m al di sopra del piano di campagna.

L'esplorazione previsionale del campo magnetico generato dalle configurazioni impiantistiche tipo descritte è stata effettuata lungo una linea di esplorazione rettilinea, della lunghezza di 10m, trasversale rispetto alla terna e situata ad una quota di 1,5 m al di sopra del piano di campagna, a quota piano campagna ed all'altezza dei conduttori. Si riporta di seguito il grafico che rappresenta l'andamento dell'induzione magnetica sulla linea di esplorazione.

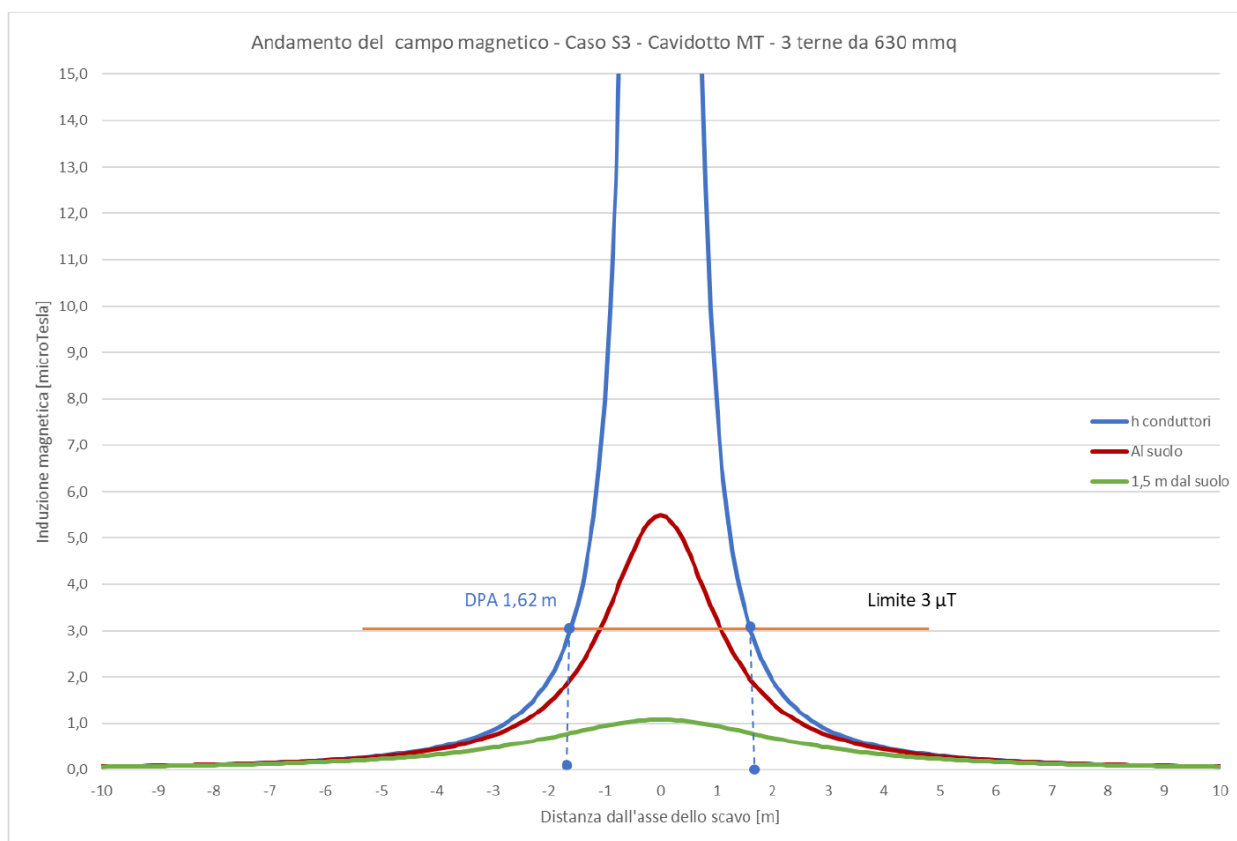


Figura 5 – Induzione magnetica cavidotto esterno MT (3 terne)

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. La distanza di prima approssimazione per i tratti di cavidotto presi in esame è pari a 1,62 m all'altezza dei conduttori.

7.2. Cavidotti interni

Gli elettrodotti MT interni realizzano il collegamento dei sottocampi alla Cabina di Raccolta: gli shelter raccolgono l'energia prodotta dai moduli per convertirla da c.c. a c.a. e poi trasformarla da BT in MT. Saranno collegati con la Cabina di Raccolta in configurazione a "stella", cioè ognuno di essi avrà una linea dedicata. Un tale tipo di circuito ha il vantaggio, nel caso di guasto su parte dell'impianto, di perdere solo l'energia prodotta dalla parte di impianto in questione. Si formeranno così **6 sottocampi elettrici con 3 cabine di raccolta e 1 cabina principale**. Questa rete di collegamenti costituisce quello che in precedenza abbiamo definito **rete di cavidotti interni**. I cavi utilizzati saranno del tipo RG7H1R unipolare ad isolamento con elastomero termoplastico con conduttori di alluminio, aventi una sezione nominale adatta al trasporto dell'energia prodotta. Di seguito è riportato il dimensionamento dei tratti finali di ciascun sottocampo.

Linee MT interne all'impianto

<i>Cabina raccolta</i>	<i>Potenza (kWp)</i>	<i>Tensione (kV)</i>	<i>Corrente (A)</i>	<i>Sezione (mm²)</i>	<i>Portata (A)</i>	<i>Lunghezza CAD (m)</i>	<i>Ingr. In Cabina (m)</i>	<i>Stima finale (m)</i>
R2	11	30	223	240	283.52	824	10	834
R3	12	30	243	240	283.52	860	10	870
R4	7	30	142	240	283.52	1500	10	1510
Storage	14	30	284	300	319.14	100	10	110

Tabella 3 - Caratteristiche linea MT interna

Le sezioni scelte sono ben in grado di trasportare le potenze generate dai vari sotto-campi. La perdita di tensione risulta inferiore al 2%.

Si fa di seguito riferimento alla sezione di scavo con 5 terne.

L'esplorazione previsionale del campo magnetico generato dalle configurazioni impiantistiche tipo descritte è stata effettuata lungo una linea di esplorazione rettilinea, della lunghezza di 10m, trasversale rispetto alla terne e situata ad una quota di 1,3 m al di sopra del piano di campagna. Si riporta di seguito il grafico che rappresenta l'andamento dell'induzione magnetica sulla linea di esplorazione.

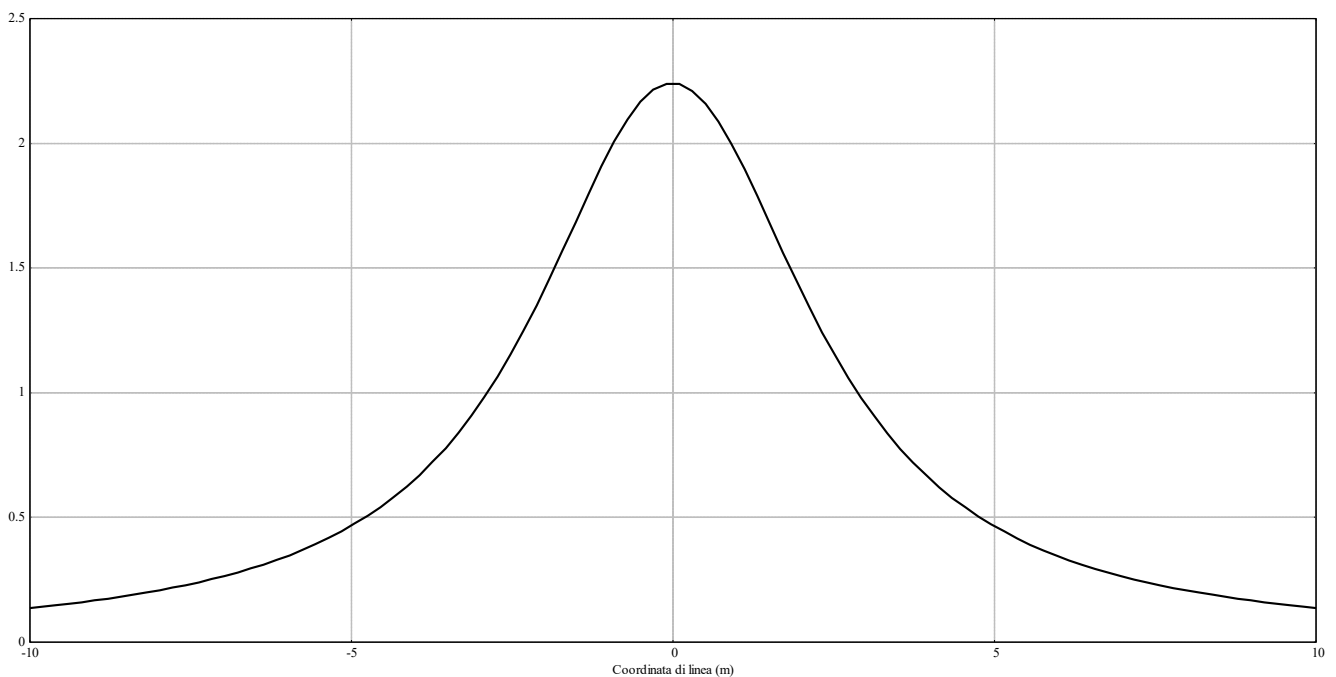


Figura 6 – Induzione magnetica cavidotto con 5 terne

Il valore non supera la soglia 3 μ T d altezza di 1,3 m dal piano campagna.

8. CABINA DI TRASFORMAZIONE MT/BT

Il sistema elettrico degli aerogeneratori è costituito da apparecchiature in bassa tensione collocati sulla navicella e cavi di bassa tensione che da quest'ultima raggiungono il trasformatore MT/BT. Per i cavi in BT non è applicabile la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti (art. 3.2 DM 29/05/2008).

Riguardo i trasformatori MT/BT il valore dell'induzione magnetica decresce rapidamente al crescere della distanza dal trasformatore. Per distanze comprese tra 1 m e 20 m da un trasformatore in resina si può calcolare il valore del campo magnetico con la seguente formula:

$$B = 5 \frac{u_{cc}}{6} \sqrt{\frac{S_r}{630}} \left(\frac{3}{a}\right)^{2,8}$$

Dove

- **U_{cc}** è la tensione percentuale di cortocircuito;
- **S_r** è la potenza nominale del trasformatore (kVA);
- **a** è la distanza dal trasformatore.

La figura seguente mostra i valori dell'induzione magnetica della distanza dal trasformatore di potenza 2500 kVA.

Pertanto, un valore di DPA pari a 7 m attorno al trasformatore garantisce valori di campo magnetico inferiori al limite consentito dalla legge.



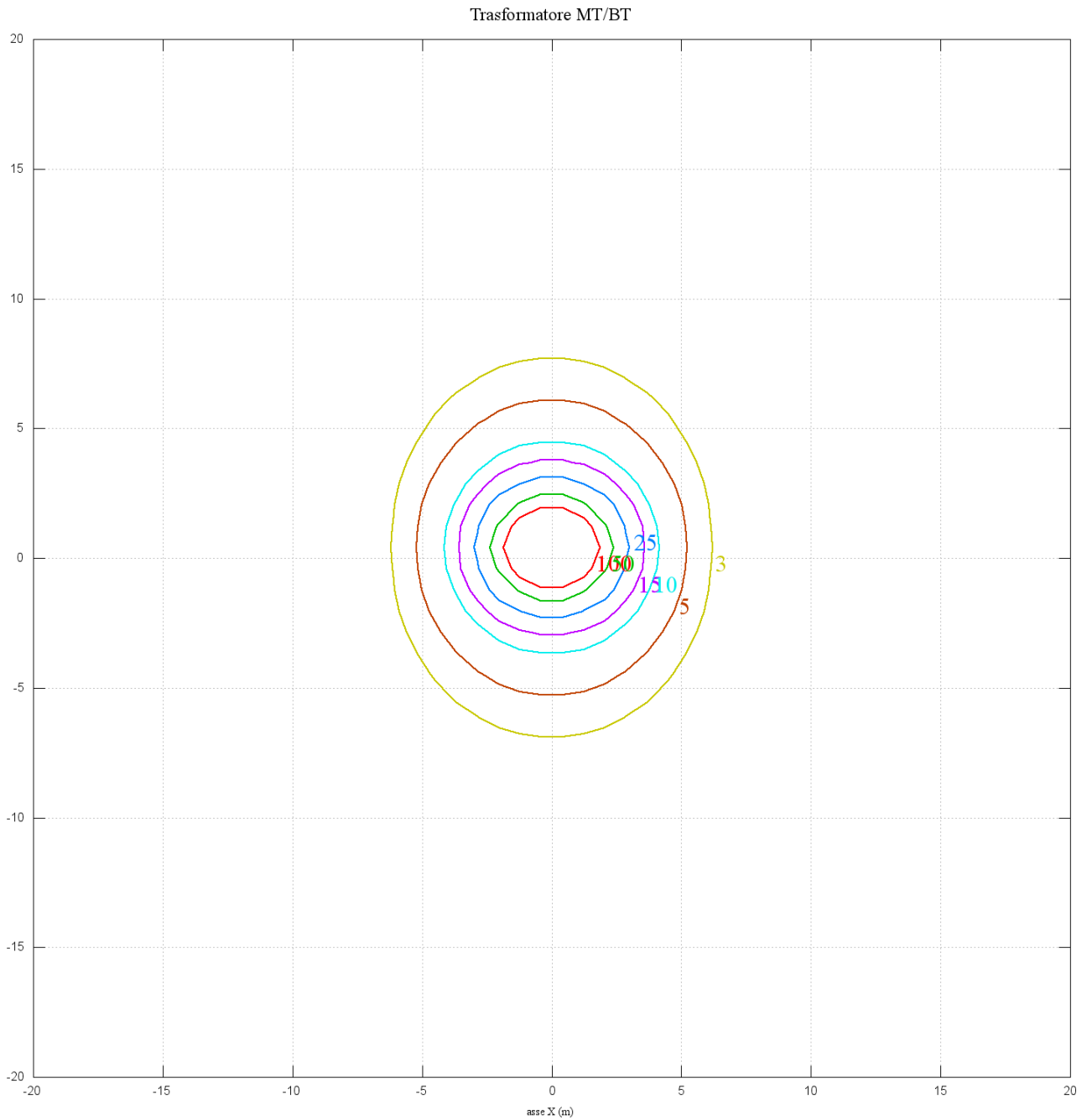


Figura 7 - valori dell'induzione magnetica



9. STAZIONE ELETTRICA UTENTE

L'impianto fotovoltaico di progetto sarà connesso alla RTN per il tramite di una stazione utente di trasformazione (SET), che consentirà di elevare la tensione dell'impianto di produzione dalla Media (MT - 30 kV) all'Alta (AT - 150 kV) Tensione, ed un sistema di sbarre AT, che raccoglierà l'energia prodotta sia dall'impianto in questione che da altri produttori con i quali si prevede di condividere lo stallo AT della SE RTN assegnato da Terna. Il sistema di sbarre sarà connesso alla sezione a 150 kV della futura SE RTN "Cerignola" tramite cavo interrato AT, di lunghezza pari a circa **320 mt**.

Nella fattispecie, l'energia proveniente dall'Impianto Fotovoltaico, raggiungerà la Stazione elettrica utente (SET), in cui avviene la raccolta dell'energia prodotta (in MT a 30 kV), la trasformazione di tensione (30/150 kV) e la consegna (in AT a 150 kV). In essa sarà installato il trasformatore elevatore di Tensione 30/150 kV.

Al suo interno sarà presente un edificio adibito a locali tecnici, in cui saranno allocati gli scomparti MT, i quadri BT, il locale comando controllo. Il gruppo elettrogeno, invece, sarà installato in apposito alloggio esterno, con copertura in lamiera. È inoltre prevista un'area sbarre AT a 150 kV completa di apparecchiature AT per la connessione.

Per quanto concerne la determinazione della fascia di rispetto, la SSE è del tutto assimilabile ad una Cabina Primaria, per la quale la fascia di rispetto rientra nei confini dell'area di pertinenza dell'impianto (area recintata). Ciò in conformità a quanto riportato al paragrafo 5.2.2 dell'Allegato al Decreto 29 maggio 2008 che afferma che *per questa tipologia di impianti, la DPA e, quindi, la fascia di rispetto, rientrano generalmente nei confini dell'area di pertinenza dell'impianto stesso*.

L'impatto elettromagnetico nella SSE è essenzialmente prodotto:

- dall'utilizzo dei trasformatori BT/MT e MT/AT;
- dalla realizzazione delle linee/sbarre di connessione tra i trafo e le apparecchiature elettromeccaniche.

L'impatto generato dalle linee/sbarre AT è di gran lunga quello più significativo e, pertanto, si propone il calcolo della fascia di rispetto dalle linee/sbarre AT.

9.1. Valutazione delle Fasce di Rispetto

Per la valutazione delle *DPA (Distanza di Prima Approssimazione)*, si è fatto riferimento alle "Linee Guida per l'applicazione del § 5.1.3. dell'Allegato al DM 29.05.2008 – Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche", di cui si riporta di seguito lo stralcio per quanto di interesse che pongono la distanza di prima approssimazione dal centro delle sbarre AT pari a 14 m:




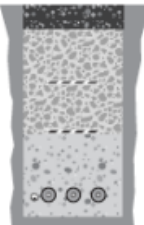
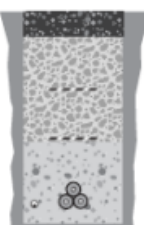
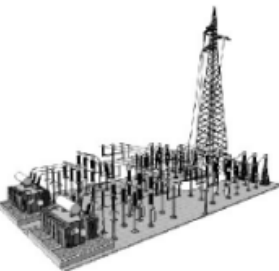
Tipologia sostegno	Formazione	Armamento	Corrente	DPA (m)	Rif.
Tubolare Doppia Terna con mensole isolanti (serie 132/150 kV) Scheda A13	22.8 mm 307.75 mm²		576	22	A13a
			444	19	A13b
	31.5 mm 585.35 mm²		870	27	A13c
			675	23	A13d
CAVI INTERRATI Semplice Terna cavi disposti in piano (serie 132/150 kV) Scheda A14	108 mm 1600 mm²		1110	5.10	A14
CAVI INTERRATI Semplice Terna cavi disposti a trifoglio (serie 132/150 kV) Scheda A15	108 mm 1600 mm²		1110	3.10	A15
CABINA PRIMARIA ISOLATA IN ARIA (132/150kV - 15/20kV) Trasformatori 63MVA Scheda A16	Distanza tra le fasi AT = 2.20 m		870	14	A16
	Distanza tra le fasi MT = 0.37 m		2332	7	

Figura 8 – Stralcio “Linee Guida per l’applicazione del § 5.1.3. dell’Allegato al DM 29.05.2008 – Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche”,

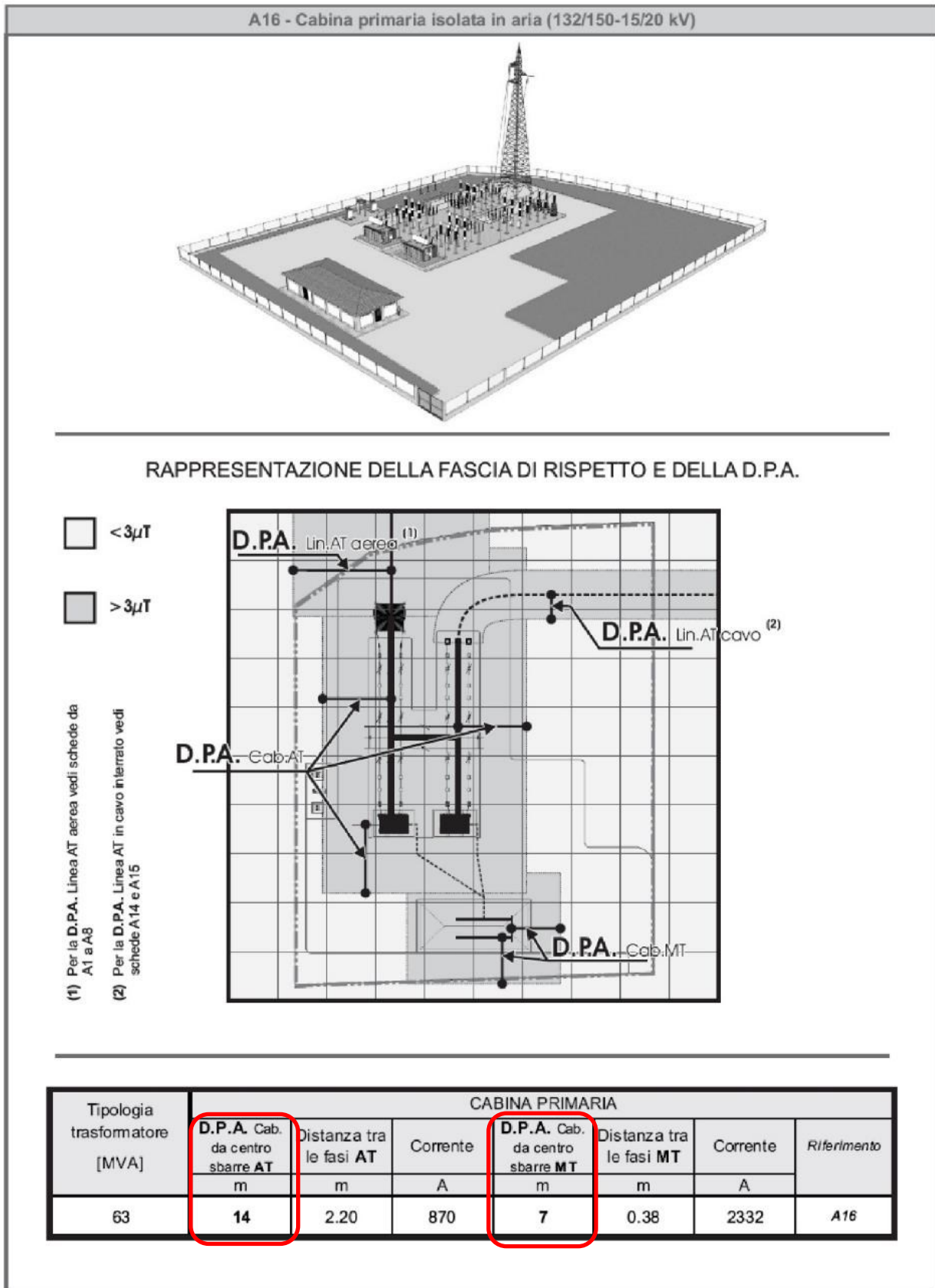


Figura 9 – Stralcio linee guida di Enel sul calcolo della DPA: sottostazioni di trasformazione in alta tensione

Dagli stralci sopra riportati si evince che la distanza di prima approssimazione per sbarre AT a 150 kV (dal centro sbarre) e trasformatori, nel caso di trasformatori da 63 MVA e corrente massima di 870 A, è 14 m, mentre la distanza di prima approssimazione da sbarre MT (con corrente massima di 2.332 A) è di 7 m (dal centro sbarre).

Nella SSE in progetto abbiamo:

- 1 trasformatore di potenza pari a 60 MVA;
- Arrivo sbarre AT attraversate da corrente massima pari a circa 393 A

Possiamo, quindi, considerare sicuramente validi i risultati riportati per le Cabine Primarie, e quindi considerare *una DPA di 14 m*, da tutte le apparecchiature AT e dai trasformatori presenti nella SSE.

Anche nel caso della sottostazione utente, quindi, verifichiamo che la *Distanza di Prima Approssimazione (DPA)* e, quindi, la fascia di rispetto rientrano in gran parte nei confini dell'area di pertinenza della SSE in progetto, in conformità con quanto previsto dal Decreto 29 maggio 2008; inoltre, all'interno dell'area della sottostazione non è prevista la permanenza di persone per periodi continuativi superiori a 4 ore con l'impianto in tensione.

Pertanto, si può quindi affermare che l'impatto elettromagnetico su persone, prodotto dalla realizzazione della SSE, sarà trascurabile.

10. LINEA DI CONNESSIONE 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



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).

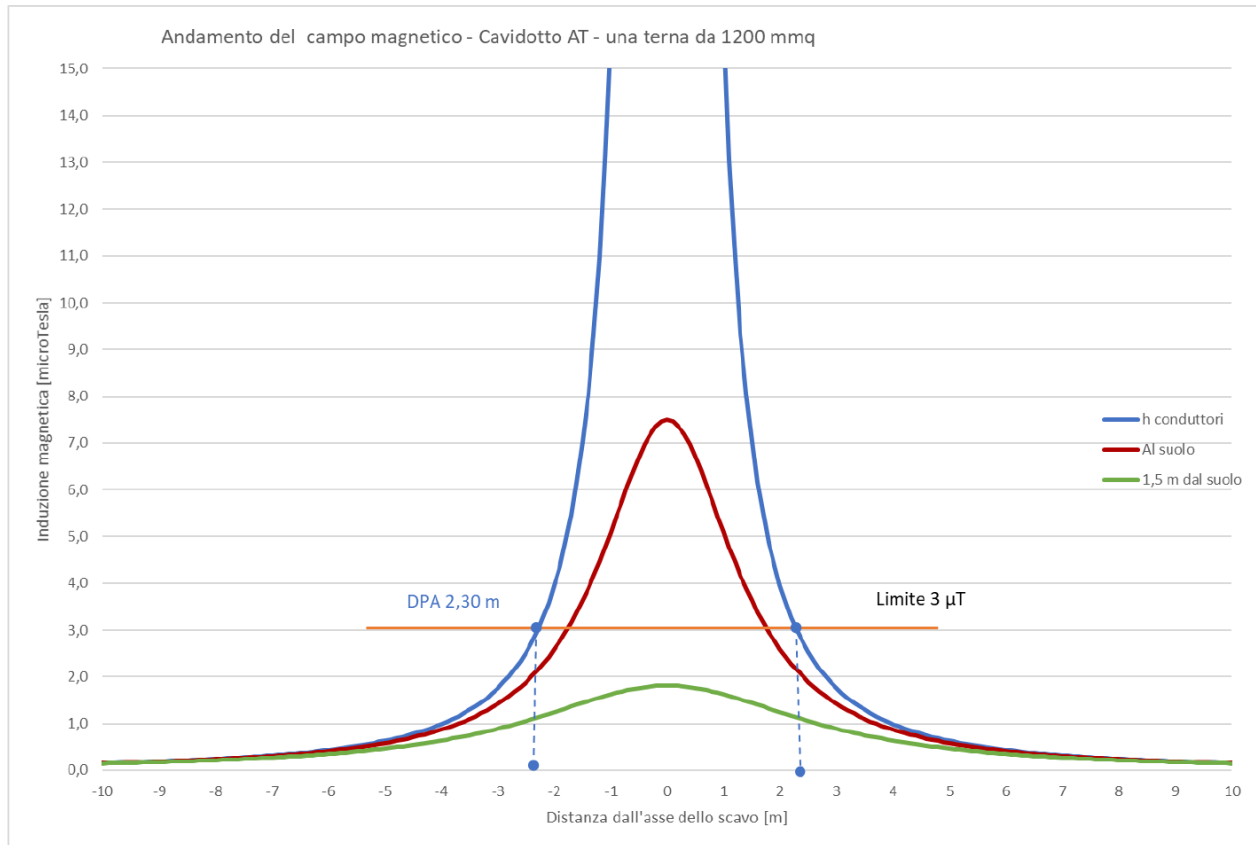
La scelta della sezione è stata effettuata considerando che il cavo deve avere una portata I_z uguale o superiore alla corrente di impiego I_b del circuito.

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	320	225.000	150.000	911,6	1200	3x1cx1200 mm ²	1235	0,96	0,97	1,00	0,84	966	0,02%

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 "Deliceto", 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.

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.





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.

11. CONCLUSIONI

Da quanto sinora esposto, si può concludere che non si riscontrano problematiche particolari. 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 ± 3 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 interrato AT di collegamento tra la sottostazione utente e l'ampliamento della stazione Terna, la distanza di prima approssimazione non eccede il range di ± 3 m rispetto all'asse della linea.

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 eolico con potenza complessiva pari a 36,05 MW, sito nel Comune di Cerignola e delle opere connesse, rispettano la normativa vigente.

