



Regione Puglia



Comune di Deliceto



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 Risega - Comune di Deliceto (FG)**

PROGETTO DEFINITIVO

DEL_CEM.01

Relazione di verifica esposizione ai campi
elettromagnetici

Proponente



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

Formato

A4

Scala

-

Progettista

- Ing. Gaetano Cirone
- Ing. Domenico Bisaccia
- Ing. Adele Oliveto
- Geol. Emanuele Bonanno



Revisione	Descrizione	Data	Preparato	Controllato	Approvato
00	Prima emissione	07/07/2021	Ing. Gaetano Cirone	Ing. D. Bisaccia	Ing. Gaetano Cirone

INDICE

1. PREMESSA	3
2. LO STUDIO DI IMPATTO ELETTROMAGNETICO.....	5
3. RIFERIMENTI NORMATIVI.....	5
3.1. VALORI LIMITE ESPOSIZIONE UMANA.....	6
4. GENERALITÀ SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI.....	7
4.1. CAMPO MAGNETICO	8
4.2. CAMPO ELETTRICO	10
5. METODOLOGIA DI CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI.....	10
6. FONTI DI EMISSIONE ANALIZZATE	12
7. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DAGLI ELETTRODOTTI	12
7.1. CAVIDOTTO ESTERNO.....	14
7.2. CAVIDOTTI INTERNI.....	15
8. CABINA DI TRASFORMAZIONE MT/BT	16
9. SOTTOSTAZIONE ELETTRICA UTENTE	17
9.1. VALUTAZIONE DELLE FASCE DI RISPETTO	17
10. CONCLUSIONI	20



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 Risega del Comune di Deliceto, 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 60,048 MW. Le caratteristiche principali dell'impianto sono:

Estensione (ha)	Potenza (MW)	Rapporto ha / MW	Ubicazione NCT
84	60,048	1,40	Fogli 3 e 4 (Deliceto)

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

Una stringa è formata da 15 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.

L'energia prodotta dai moduli fotovoltaici, raggruppati in stringhe (ovvero gruppi di 15 moduli collegati in serie tra loro, con tensione massima di stringa pari a circa 663.30 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 5 sottocampi; Si riportano di seguito le caratteristiche di ciascuno di essi; Si precisa inoltre che in fase di progettazione esecutiva si potrà adottare una configurazione differente fermo restando la potenza complessiva dell'impianto.

Sottocampi	P (MW)	N° Moduli	N° di Stringhe	N° di inverter
Sottocampo A	18,250	30416,00	2027	152
Sottocampo B	18,250	30416,00	2027	152
Sottocampo C	5,231	8718	582	44
Sottocampo D	9,1590	15265,00	1018	76
Sottocampo E	9,1590	15265,00	1018	76

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

In estrema sintesi l'Impianto sarà composto da:

- a. 100080 moduli fotovoltaici** in silicio monocristallino (collettori solari) di potenza massima unitaria pari a 600 Wp, installati su inseguitori monoassiali da 30/15 moduli.
- b. 6255 stringhe**, ciascuna costituita da 15 moduli da 600 Wp ciascuno, collegati in serie. Tensione di stringa 663.30 V e corrente di stringa 13,23 A;
- c. 24 cabine prefabbricate** contenenti il gruppo conversione (inverter);
- d. 24 cabine prefabbricate** contenenti il gruppo trasformazione;
- e. Una Cabina di Raccolta (CdR)**, in cui viene raccolta tutta l'energia prodotta dall'impianto;
- f. 1 locale guardiania**;
- g. Cavidotti media tensione interni** per il trasporto dell'energia elettrica dalle cabine di trasformazione dai vari sottocampi alla Cabina di raccolta;
- h. Cavidotto media tensione esterno**, per il trasporto dell'energia dalla *Cabina di Raccolta* sino alla Sottostazione Elettrica Utente (SE utente) 30/150 kV, che sarà realizzata nei pressi del futuro ampliamento della stazione TERNA 380/150 kV di Deliceto;
- i. Impianti ausiliari** (illuminazione, monitoraggio e controllo, sistema di allarme anti-intrusione e videosorveglianza, sistemi di allarme antincendio).
- j. Una 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). In essa sarà installato il trasformatore elevatore di Tensione 30/150 Kv.
- k. Impianto di accumulo elettrochimico** delle Potenza di **15 MW** e capacità **45 MWh**. L'impianto verrà realizzato nelle immediate vicinanze della SE utente; si rimanda al capitolo specifico per una descrizione dettagliata delle opere;
- l. Cavidotto AT** di collegamento allo stallo del futuro ampliamento della SE Terna di Deliceto;
- m. Ampliamento della SE terna**;

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 μ 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 :



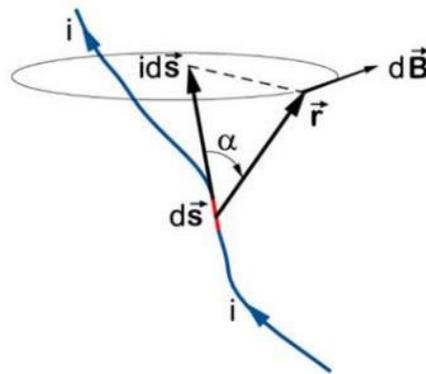


Figura 1 - Schema di campo magnetico

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

Dove:

- i è il modulo della corrente che circola nel conduttore;
- $d\mathbf{s}$ 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 :

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

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:

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

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 futuro ampliamento della stazione TERNA 380/150 kV di Deliceto;
- **La cabine di trasformazione BT/MT presenti nell'area di generazione;**
- **La Sottostazione Elettrica Utente:**
 - Trasformatore di tensione (30/150 kV)
 - Sistema a Sbarre AT a 150 kV per la condivisione dello stallo Terna.

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.

I cavi utilizzati saranno del tipo ARP1H(AR)E unipolare 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:

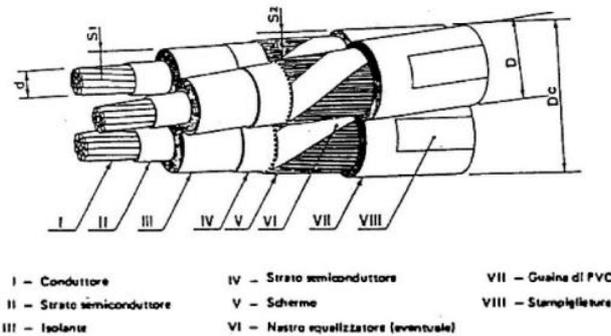


Figura 2 – cavo unipolare e sue caratteristiche

L'isolamento sarà costituito da mescola in elastomero termoplastico con una temperatura di sovraccarico massima pari a 140° C. All'interno del Parco fotovoltaico e lungo la dorsale sono individuabili più tipologie di posa per gli elettrodotti. Si riporta di seguito il tipologico per posa su terreno di due terne di cavi;

TIPOLOGICO DI POSA DOPPIO CAVIDOTTO SU TERRENO

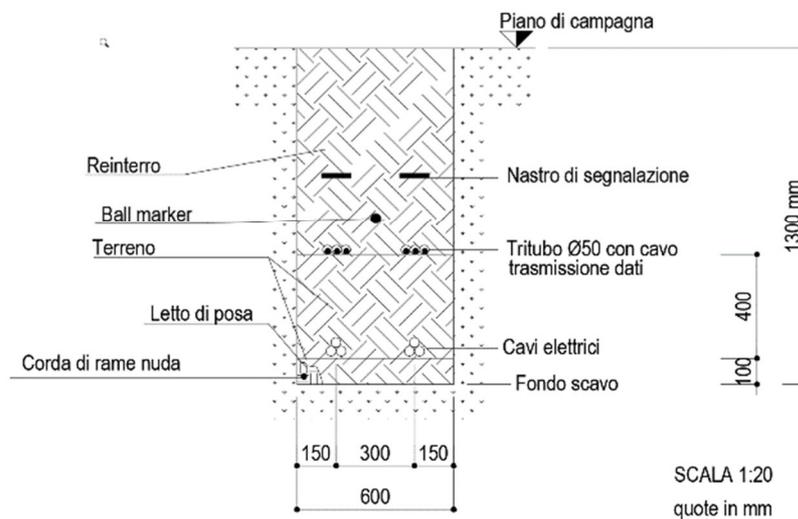


Figura 3 – tipologico con due terne di cavi

7.1. CAVIDOTTO ESTERNO

Come detto, il cavidotto costituisce l'elemento di collegamento tra la **Cabina di Raccolta (CdR)**, situata sul perimetro dell'impianto la cui funzione è quella di raccogliere tutta l'energia prodotta dall'impianto) e la SSE.

L'elettrodotto dovrà assicurare una portata nominale di 60,048 MW, pari cioè alla potenza totale dell'impianto in oggetto.

L'elettrodotto consisterà in una terna di cavi interrati in alluminio. Per i calcoli si è considerata la potenza totale erogata dai moduli fotovoltaici. La corrente massima che interessa la dorsale esterna è la seguente:

$$I = \frac{P_{max}}{\sqrt{3} \times V_n \times \cos\varphi} = \frac{60,048 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 30000 \times 0,98} = 1179,20 \text{ A}$$

I cavi utilizzati saranno del tipo ARP1H(AR)E 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 10m, 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 terne e situata ad una quota di 1,3m al di sopra del piano di campagna. Si riporta di seguito il grafico che rappresenta l'andamento dell'induzione magnetica sulla linea di esplorazione.

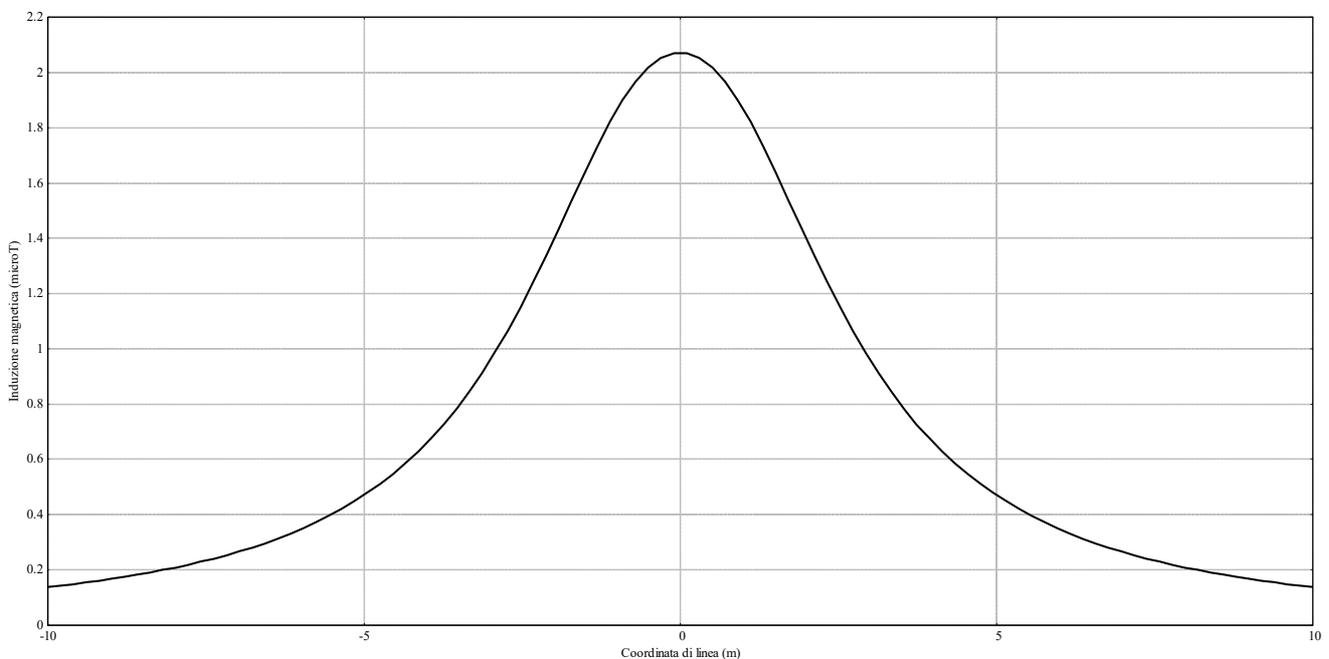


Figura 4 – Induzione magnetica cavidotto esterno MT (2 terne)

7.2. CAVIDOTTI INTERNI

La tabella sotto riportata, indica le principali caratteristiche delle linee dette, e le lunghezze stimate per ognuna di esse. Le lunghezze si riferiscono al tratto terminale che raccogli tutte le cabine di ciascun sottocampo.

Linee MT interne all'impianto								
Sottocampo	Potenza (kWp)	Tensione (kV)	Corrente (A)	Sezione (mm ²)	Portata	Lunghezza CAD (m)	Ingr. In Cabina (m)	Stima finale (m)
1	18,250	30	358,39	240	428 A	818	10	828
2	18,250	30	358,39	240	428 A	848	10	858
3	5,230	30	102,71	50	173 A	120	10	130
4	9,159	30	179,86	95	254 A	395	10	405
5	9,159	30	179,86	95	254 A	578	10	588
Totale	60,048							

Si rileva facilmente, confrontando la I_b con la I_z , relativa a ciascuna sezione, che le sezioni scelte sono bene in grado di trasportare le potenze generate dai vari sotto-campi. La perdita di tensione risulta inferiore al 2%.

Si fa 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 1,3m al di sopra del piano di campagna. Si riporta di seguito il grafico che rappresenta l'andamento dell'induzione magnetica sulla linea di esplorazione.

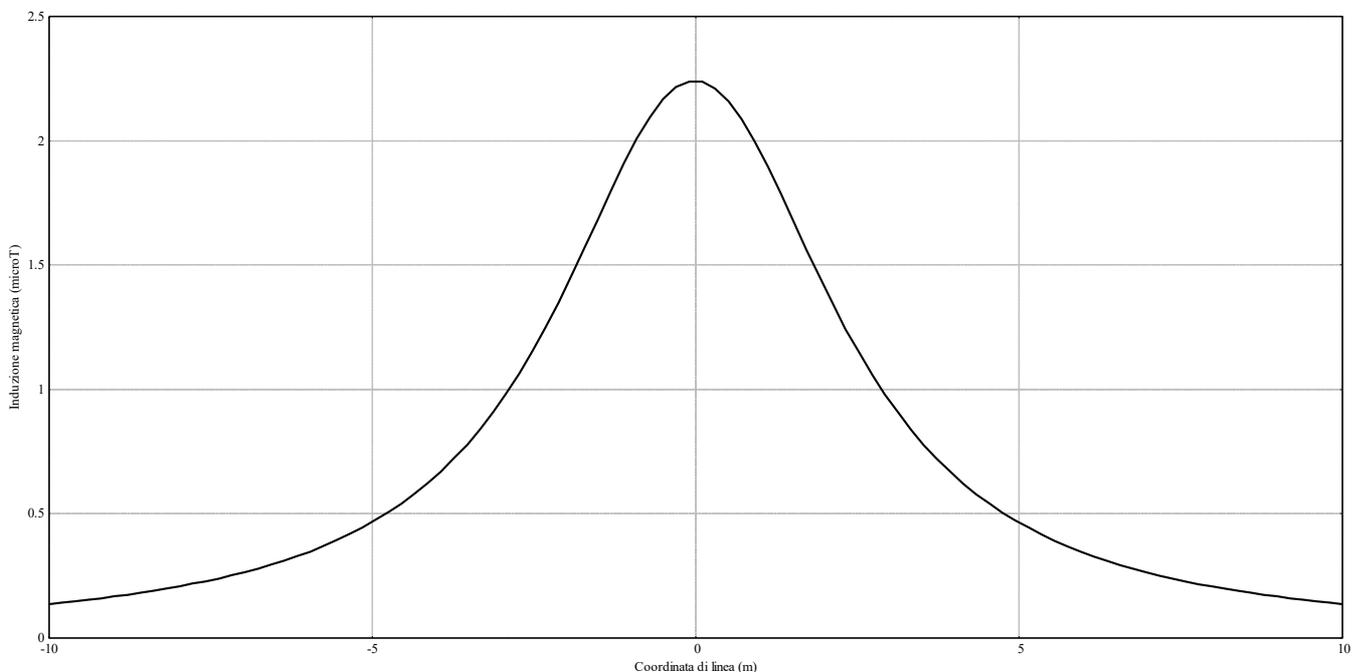


Figura 5 – Induzione magnetica cavidotto con 5 terne

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:

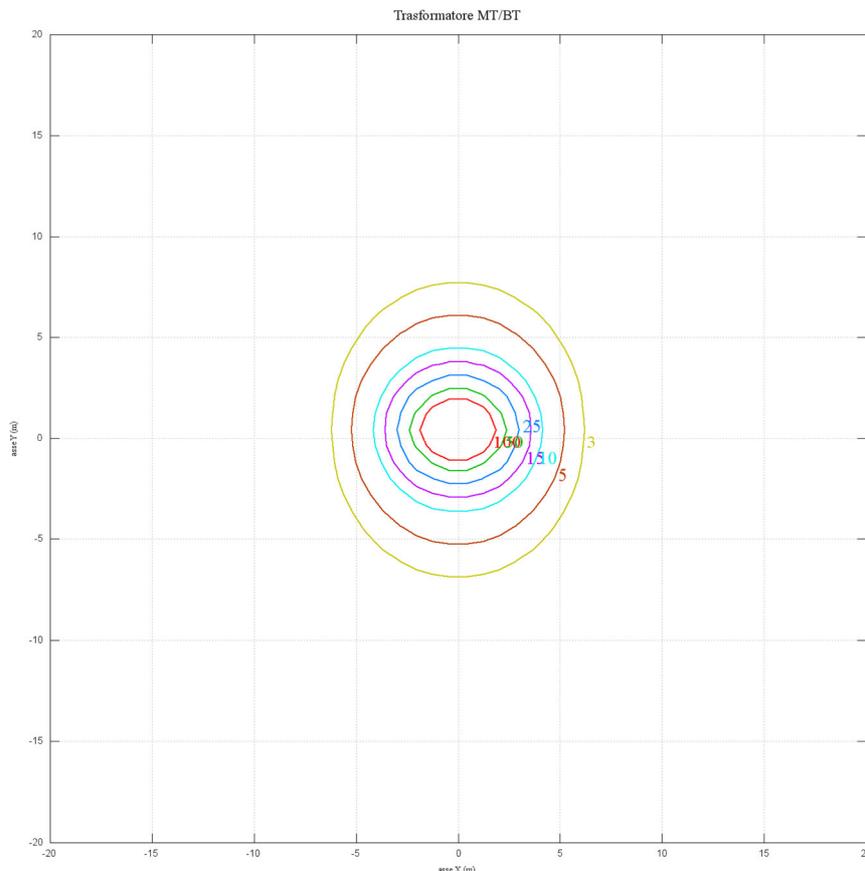
$$B = 5 \frac{u_{cc}}{6} \sqrt{\frac{S_r}{630}} \left(\frac{3}{a}\right)^{2,8}$$

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.



9. SOTTOSTAZIONE ELETTRICA UTENTE

L'energia proveniente dall'Impianto Fotovoltaico, raggiungerà la 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). In essa sarà installato il trasformatore elevatore di Tensione 30/150 kV, con potenza pari a 60 MVA.

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 al futuro ampliamento della stazione Terna 380/150 kV di Deliceto.

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 6 – 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”,

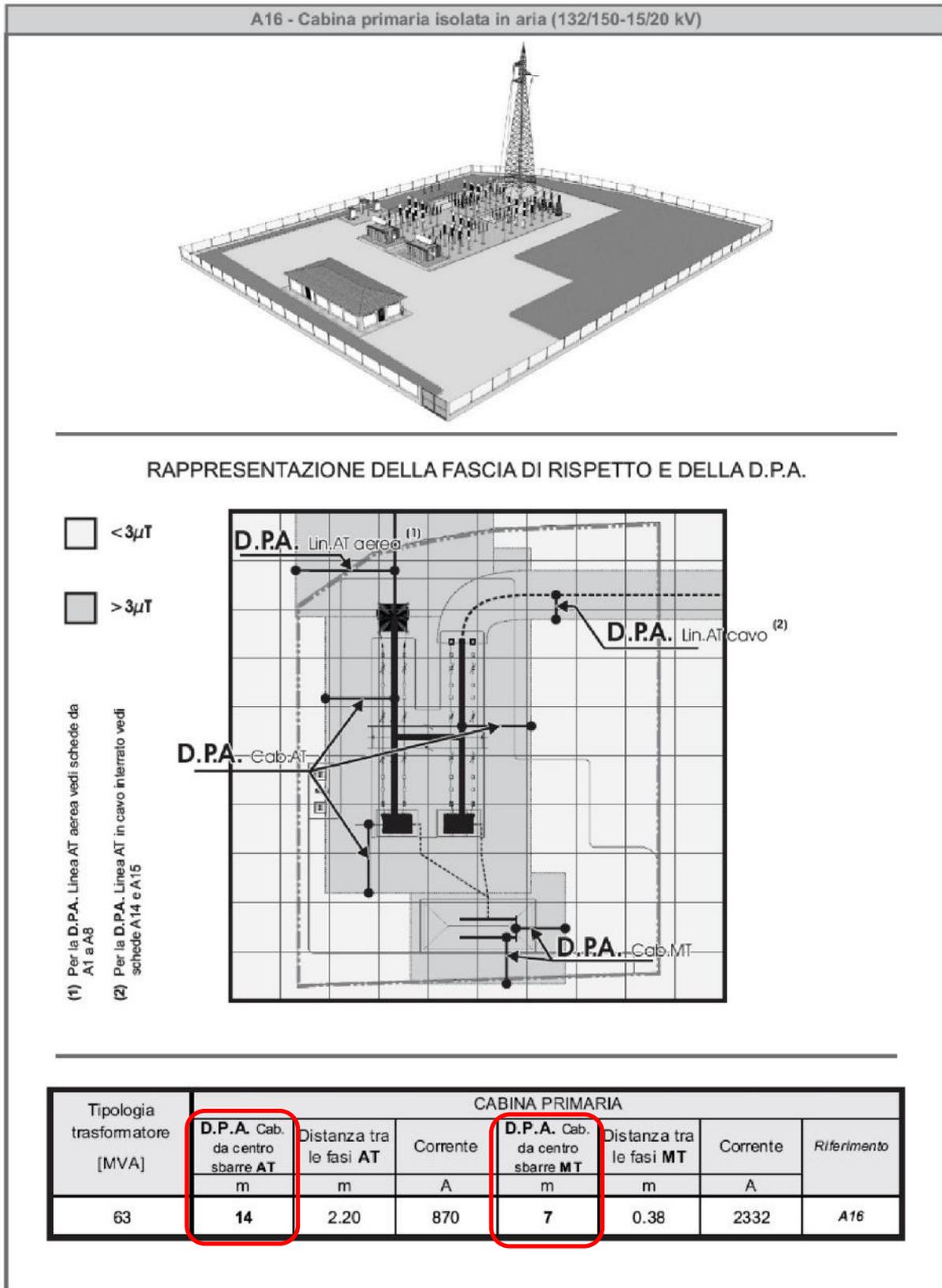


Figura 7 – Stralcio linee guida di Enel sul calcolo della DPA: sottostazioni di trasformazione in alta tensione



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;
- 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. CONCLUSIONI

Da quanto sinora esposto, si può concludere che non si riscontrano problematiche particolari relative all'impatto elettromagnetico dei componenti dell'Impianto Agrovoltaiico di progetto, ed è garantita la piena compatibilità con i limiti imposti dalla legge e che pertanto risulta essere trascurabile o nullo l'impatto del campo elettromagnetico generato dalla realizzazione delle opere elettriche connesse al parco eolico in progetto.

Nello specifico, si è verificato che in tutti i casi indagati il campo di induzione magnetica si mantiene ben al di sotto del limite dei $3\mu T$ dell'obiettivo di qualità descritto prescritto; inoltre, sono rispettate tutte le fasce di rispetto previste dai riferimenti normativi.

Infine, si sottolinea che tutte le opere elettriche in progetto non interessano aree gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici o luoghi adibiti a permanenze di persone superiori a quattro ore, rispondendo pienamente agli obiettivi di qualità dettati dall'art.4 del D.P.C.M 8 luglio 2003. Inoltre, sono rispettate ampiamente le distanze da fabbricati adibiti ad abitazione o ad altra attività che comporti tempi di permanenza prolungati, previste dal D.P.C.M. 23 aprile 1992 "*Limiti massimi di esposizione al campo elettrico e magnetico generati alla frequenza industriale nominale di 50 Hz negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno*"

