



**PROGETTO DI COSTRUZIONE  
ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO  
AGROVOLTAICO PER UNA  
POTENZA DI 15,72 MWP NEL  
COMUNE DI SAN SEVERO (FG)**



**STATO DEL PROGETTO:**  
Definitivo

**TITOLO ELABORATO**  
Relazione dei campi elettromagnetici

**PROPONENTE**



**INGEGNERIA**



**TIMBRO E FIRMA DEL PROGETTISTA**

**DATA**

08/01/2024

**GRUPPO DI LAVORO**

Ing. Antonio Ilardi  
Dr. Gianmarco Durante  
Arch. Chiara Ciardella  
Dr. agr. Lorenzo Fusco

**VERIFICATO**

Ing. Antonio Ilardi

**APPROVATO**

Ing. Antonio Ilardi



## Sommarario

<b>1. CONCETTI GENERALI .....</b>	<b>2</b>
1.1 Premessa .....	2
1.2 Definizioni.....	3
1.2.1 Legge n.36 del 22/02/2001.....	8
1.2.2 DPCM n.199 del 08/07/2003.....	8
1.2.3 DPCM n.200 del 08/07/2003 .....	9
1.2.4 DM 29 maggio 2008 .....	9
1.2.5 D.Lgs. 81 del 09/04/2008 .....	10
1.2.6 D.Lgs. 159 del 01/07/2016.....	12
1.2.7 I.C.N.I.R.P. Limiti di esposizione e valori di azione per popolazione e soggetti sensibili.....	13
1.2.8 Norme CEI, Linee guida e direttive Europee .....	14
<b>2. ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE PREVISIONALE.....</b>	<b>15</b>
2.1 Scopo della valutazione previsionale .....	15
2.2 Tipologia di sorgenti da individuare/te .....	16
2.3 Breve descrizione dell'impianto e Individuazione delle sorgenti .....	17
2.3.1 Moduli Fotovoltaici.....	19
2.3.2 Inverter di stringa.....	19
2.3.3 Campo elettrico .....	20
<b>3. CALCOLO FASCIA DI RISPETTO (DPA) SOTTOSTAZIONE BT/MT IMPIANTO AGROVOLTAICO.....</b>	<b>20</b>
3.1 Calcolo fasce di rispetto (DPA) linee elettriche MT interrate.....	21
3.1.1 Linee MT (ad anello) da cabina di consegna MT a sottostazioni BT/MT.....	23
3.1.2 Linee BT da inverter a sottostazione di trasformazione BT/MT.....	24
3.1.3 Calcolo fasce di rispetto (DPA) cabina di consegna MT .....	25
<b>4. CONCLUSIONI.....</b>	<b>26</b>
4.1 Estensione ed identificazione delle fasce di rispetto.....	27

## 1. CONCETTI GENERALI

### 1.1 Premessa

Il campo elettromagnetico è una entità fisica che rende conto delle interazioni tra cariche elettriche. Un campo elettromagnetico si caratterizza attraverso la definizione di un campo elettrico “E” e di un campo magnetico “H”. I campi elettrico e magnetico sono definiti in ogni punto dello spazio. La scienza studia i campi elettromagnetici da più di 200 anni. Nel 1865 Maxwell ha formulato le sue famose equazioni attraverso le quali si caratterizza qualsiasi campo elettromagnetico.

Ogni corpo con temperatura diversa dallo zero assoluto (-273 °C), e quindi anche il corpo umano e la terra, contribuisce a creare campi elettromagnetici nell’ambiente. Esiste dunque un fondo elettromagnetico naturale che, anche senza intervento dell’uomo, ha permesso nel corso della evoluzione lo sviluppo degli organismi viventi.

Al naturale livello di fondo elettromagnetico presente sulla terra, (le cui sorgenti principali sono la terra stessa, l’atmosfera ed il sole, che emette radiazione infrarossa, luce visibile e radiazione ultravioletta) si è poi aggiunto, al passo con il progresso tecnologico, un contributo sostanziale dovuto alle sorgenti legate alle attività umane.

L’uso crescente delle nuove tecnologie nel campo della produzione di energia elettrica in aree pubbliche, come anche nuovi processi produttivi in ambiente industriale, ha infatti portato, negli ultimi decenni, ad un continuo aumento della presenza di sorgenti di campi elettromagnetici (CEM), rendendo la problematica dell’esposizione della popolazione e dei lavoratori a tali agenti di sempre maggiore attualità.

Il metodo principale per classificare i campi elettromagnetici si basa sulla frequenza. L’insieme di tutte le frequenze dei campi elettromagnetici è chiamato spettro elettromagnetico. Lo spettro elettromagnetico è suddiviso in due principali categorie:

- 1) radiazioni ionizzanti;
- 2) radiazioni non ionizzanti.

Le radiazioni ionizzanti, che hanno frequenza molto superiore a quella della radiazione visibile (frequenze superiori al milione di miliardi di Hertz), trasportano energia sufficiente ad estrarre un elettrone dall’orbita più esterna dell’atomo, tale fenomeno è detto di ionizzazione (ad esempio i raggi x usati nelle radiografie). Viceversa le radiazioni non ionizzanti, che appartengono alle bande di frequenza più bassa (luce compresa), trasportano una quantità di energia che non è in grado di indurre ionizzazione. L’energia elettrica, le radiocomunicazioni, e tra queste la telefonia radiomobile, interessano lo spettro di frequenze comprese nell’intervallo da 0Hz a 300GHz, appartengono, quindi, al gruppo delle radiazioni non ionizzanti.

I campi elettromagnetici (radiazioni ionizzanti e non ionizzanti) detti anche “ELETTRISMOG” in termine legale possono essere generati deliberatamente o meno, da qualunque dispositivo elettrico o elettronico e sono assai diffusi in ogni ambiente di lavoro e di vita. Pertanto, le autorità pubbliche hanno, nel tempo, emanato

norme legislative a carattere tecnico e protezionistico, mentre enti di protezione, di vigilanza e di controllo, hanno avuto il compito di verificare l'applicazione delle leggi e dei relativi regolamenti di attuazione.

I diversi paesi stabiliscono le proprie norme nazionali per l'esposizione ai campi elettromagnetici. Comunque, la maggior parte di queste normative nazionali sono basate sulle linee guida elaborate dalla Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti (ICNIRP, International Commission on Non Ionizing Radiation Protection). Questa organizzazione non governativa, formalmente riconosciuta dall'OMS, valuta i risultati scientifici che provengono da tutto il mondo.

Con il presente documento intendiamo fare una valutazione previsionale dell'inquinamento elettromagnetico prodotto dal funzionamento dell'impianto agrovoltaiico da 15,72 MWp per la produzione e cessione di energia elettrica, e la conseguente verifica del rispetto dei limiti di esposizione dei lavoratori e delle persone esterne dal rischio da campi elettromagnetici, come previsto dall'art. 209 del D.Lgs. 81 del 09/04/2008, che recepisce la direttiva 2004/40/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e salute relative all'esposizione dei lavoratori in merito ai rischi derivanti da campi elettromagnetici (agenti fisici) e con quanto previsto dalla legge n° 36 del 22/02/2001, "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici".

A questo scopo richiamiamo i concetti **di rischio generico, rischio generico aggravato e rischio specifico** come li definisce la medicina legale (cfr. "Medicina legale e delle assicurazioni", di Giorgio Canuto, Sergio Tovo, 1996, PICCIN).

**Il rischio generico** si riferisce a quelle eventualità che incombono in eguale grado su tutti i cittadini.

**Il rischio generico aggravato** quando, pur potendo investire tutti i cittadini, è quantitativamente più elevato nell'espletamento di una determinata attività.

**Il rischio specifico** è strettamente legato ad una specifica attività e solo i soggetti che svolgono tale attività ne sono esposti.

**Il rischio professionale** per essere tale deve essere un rischio specifico o un rischio generico aggravato, non essendo sufficiente la semplice esposizione ad un rischio generico per configurare il rischio professionale.

## **1.2 Definizioni**

Come già anticipato in premessa, si intende per radiazione elettromagnetica la propagazione in un dato mezzo di campi elettrici e magnetici, variabili o costanti nel tempo, eventualmente correlati tra loro, generati da cariche elettriche. I campi elettromagnetici e le radiazioni ad essi associate, sono ovunque e sono necessari alla vita sulla Terra. Esistono molte sorgenti, naturali o frutto dell'intervento dell'uomo, che irradiano energia sotto forma di onde elettromagnetiche.

Tali campi possono essere costanti nel tempo (ed allora si parlerà di campi elettrici e magnetici statici) oppure variabili nel tempo (campi elettrici, magnetici, elettromagnetici variabili). In determinate condizioni il campo elettrico ed il campo magnetico (quando variabili nel tempo) risultano fra di loro legati da una relazione univoca e ben determinata ed allora si parla generalmente di campo elettromagnetico (le condizioni dipendono dalla frequenza, dalla lontananza dalla sorgente, dalle dimensioni della sorgente).

In generale le onde elettromagnetiche sono caratterizzate dal loro andamento nel tempo e dall'energia che risulta ad esse associata. I parametri relativi a tali caratteristiche influenzano il tipo di interazione che esse hanno con i sistemi biologici.

La **frequenza** di un'onda elettromagnetica è data dal numero di oscillazioni nell'unità di tempo valutate in un punto fisso. Essa si misura in cicli al secondo, o Hertz (Hz). Per descrivere i campi a radiofrequenza (RF) sono usati sovente i multipli dell'Hertz: il kilo Hertz (kHz), pari a mille cicli al secondo; il Mega Hertz (MHz), pari a un milione di cicli al secondo; il Giga Hertz (GHz), pari a un miliardo di cicli al secondo.

La **lunghezza d'onda** è la distanza tra due punti successivi di massimo lungo la direzione di propagazione dell'onda elettromagnetica. Il prodotto della frequenza per la lunghezza d'onda è costante e vale la velocità della luce nel mezzo sede della propagazione. Perciò quanto più corta è la lunghezza d'onda, tanto più alta è la frequenza dell'onda stessa e viceversa.

Una prima suddivisione relativamente alle onde elettromagnetiche può essere eseguita in base alle loro capacità di modificare direttamente lo stato atomico delle molecole (**ionizzanti**) o non essere in grado di modificarlo (**non ionizzanti**).

Nel presente documento non vengono trattate le radiazioni ionizzanti

Le radiazioni **non ionizzanti** (NIR) si trovano nella parte dello spettro elettromagnetico più bassa che può essere ulteriormente suddivisa in radiazioni ultraviolette (UV), luce visibile, raggi infrarossi (IR o calore), e nella parte che risulterà oggetto delle trattazioni a seguire, **campi di radiofrequenza (RF) e microonde, campi di frequenza estremamente bassa (ELF), e campi statici elettrici e magnetici.**

*Tabella 1 - Associazione tra tipo di campo, frequenza e sorgente*

Tipo di campo	Frequenza	Sorgente
Campo statico	0 Hz	Corrente continua
Correnti alternate	50÷400 Hz	Corrente alternata
Onde radio lunghe	30 kHz ÷ 300 kHz	Antenne radio
Onde radio medie	300 kHz ÷ 3 MHz	Antenne radio
Onde radio corte	3 MHz ÷ 30 MHz	Antenne radio
Onde radio VHF	30 MHz ÷ 300 MHz	Antenne radio Mf e Tv
Onde radio UHF	300 MHz ÷ 3 GHz	Telefonia mobile e Tv
Microonde	3 GHz ÷ 300 GHz	Satelliti, Radar

**Legenda:**

VHF Very High Frequency UHF Ultra High Frequency kHz mille (Kilo) di Hertz MHz  
 milione (Mega) di Hertz GHz miliardo (Giga) di Hertz  
 THz mille miliardi (Tera) di Hertz

PHz milione di miliardi (Peta) di Hertz

In un determinato punto dello spazio si parla di **campo elettrico** e di **campo magnetico** quando la distanza dalla sorgente risulta inferiore a  $\lambda$  o alla dimensione della sorgente. In definitiva nei luoghi in cui campo elettrico e campo magnetico sono separati il campo elettrico è generato da cariche elettriche statiche e quindi è riconducibile alla tensione generata dalle cariche elettriche, mentre il campo magnetico è generato dal movimento delle cariche elettriche e quindi dalla corrente generata dal movimento stesso.

In un determinato punto dello spazio si parla di campo **elettromagnetico** quando ci si trova ad una distanza maggiore di  $\lambda$  o alla dimensione della sorgente. In tali luoghi campo elettrico e campo magnetico risultano variamente correlati fra di loro.

Per avere una correlazione fissa ed esattamente definita fra campo elettrico e campo magnetico risulta necessario essere a distanze maggiori di 3 o 3 volte la dimensione della sorgente. In tali luoghi risulta valida la relazione (simboli con stesso significato delle tabelle precedenti):  $\mathbf{E} = \mathbf{Z} \cdot \mathbf{H}$

Le grandezze fisiche qui di seguito definite sono utilizzate per descrivere gli effetti dell'esposizione ai campi elettromagnetici. Tali grandezze risultano direttamente correlate agli effetti di tipo acuto prodotti sull'uomo.

**Densità di corrente (J) (attraverso parti del corpo):** È definita come la corrente che passa attraverso una sezione unitaria perpendicolare alla sua direzione in un volume conduttore quale il corpo umano o una sua parte. È espressa in Ampere per metro quadro ( $A/m^2$ ).

**Tasso di assorbimento specifico di energia (SAR).** Si tratta del valore mediato su tutto il corpo o su alcune parti di esso, del tasso di assorbimento di energia per unità di massa di tessuto corporeo ed è espresso in Watt per chilogrammo ( $W/kg$ ). Il SAR a corpo intero è una misura ampiamente accettata per porre in rapporto gli effetti termici nocivi dell'esposizione a radiofrequenze (RF). Oltre al valore del SAR mediato su tutto il corpo, sono necessari anche valori locali del SAR per valutare e limitare la deposizione eccessiva di energia in parti piccole del corpo conseguenti a particolari condizioni di esposizione, quali ad esempio il caso di un individuo in contatto con la terra, esposto a RF dell'ordine di pochi MHz e di individui esposti nel campo vicino di un'antenna.

Densità di corrente (J) e tasso di assorbimento specifico (SAR) non possono essere misurate direttamente, quindi risulta necessario individuare grandezze misurabili che permettano di risalire, tramite appositi modelli, ai valori delle stesse e che risultano:

**Corrente di contatto (Ic):** La corrente di contatto tra una persona e un oggetto è espressa in Ampere (A). Un conduttore che si trovi in un campo elettrico può essere caricato dal campo.

**Intensità di campo elettrico (E):** È una grandezza vettoriale che corrisponde alla forza esercitata su una particella carica indipendentemente dal suo movimento nello spazio. È espressa in Volt per metro ( $V/m$ ).

**Intensità di campo magnetico (H):** È una grandezza vettoriale che, assieme all'induzione magnetica, specifica un campo magnetico in qualunque punto dello spazio. È espressa in Ampere per metro ( $A/m$ ).

**Induzione magnetica (B):** È una grandezza vettoriale che determina una forza agente sulle cariche in movimento. È espressa in Tesla (T).

Nello spazio libero e nei materiali biologici l'induzione magnetica e l'intensità del campo magnetico sono legate

dall'equazione:

$$B = \mu_0 H$$

dove:

con  $\mu_0$  pari a  $4\pi \times 10^{-7}$  H/m.

**Densità di potenza (S).** Questa grandezza si impiega nel caso delle frequenze molto alte per le quali la profondità di penetrazione nel corpo è modesta. Si tratta della potenza radiante incidente perpendicolarmente a una superficie, divisa per l'area della superficie in questione ed è espressa in Watt per metro quadro ( $W/m^2$ ). Essa è una grandezza più direttamente collegata agli effetti prodotti dai CEM.

**Assorbimento specifico di energia (SA).** Si definisce come l'energia assorbita per unità di massa di tessuto biologico e si esprime in Joule per chilogrammo (J/kg). Nella direttiva CEM esso si impiega per limitare gli effetti non termici derivanti da esposizioni a microonde pulsate.

Ai fini dell'applicazione della vigente normativa, si assumono le seguenti definizioni tratte dalla Legge 22 febbraio 2001 n. 36:

**Esposizione.** È la condizione di una persona soggetta a campi elettrici, magnetici, elettromagnetici, o a correnti di contatto, di origine artificiale.

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

**Valore di attenzione.** È il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, che non deve essere superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate.

**Elettrodotto.** È l'insieme delle linee elettriche propriamente dette, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione.

**Portata in corrente in servizio normale (Isn).** È la 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.

**Portata di corrente in regime permanente.** Massimo valore della corrente che, in regime permanente e in condizioni specificate, il conduttore può trasmettere senza che la sua temperatura superi un valore specificato (secondo CEI 11-17).

**Fascia di rispetto.** È lo spazio circostante un elettrodotto, che comprende tutti i punti al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità.

**Distanza di prima Approssimazione (DPA).** Per le linee è la distanza, in pianta sul livello del suolo, della 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 delle fasce di rispetto. Per le cabine secondarie è la distanza, in

pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra.

**Esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici.** È ogni tipo di esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici che, per la loro specifica attività lavorativa, sono esposti a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici.

**Esposizione della popolazione.** È ogni tipo di esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, di tutte quelle persone che permangono nell'area senza esserne stati informati dell'esistenza.

**Stazioni e sistemi o impianti radioelettrici.** Sono uno o più trasmettitori, nonché ricevitori, o un insieme di trasmettitori e ricevitori, ivi comprese le apparecchiature accessorie, necessari in una data postazione ad assicurare un servizio di radiodiffusione, radiocomunicazione o radioastronomia.

**Impianto per telefonia mobile.** È la stazione radio di terra del servizio di telefonia mobile, destinata al collegamento radio dei terminali mobili con la rete del servizio di telefonia mobile.

**Impianto fisso per radiodiffusione.** È la stazione di terra per il servizio di radiodiffusione televisiva o radiofonica.

**Campi elettromagnetici.** Campi magnetici statici e campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici variabili nel tempo di frequenza inferiore o pari a 300 GHz.

**Densità di corrente (J).** È definita come la corrente che passa attraverso una sezione unitaria perpendicolare alla sua direzione in un volume conduttore quale il corpo umano o una sua parte. È espressa in Ampere per metro quadro ( $A/m^2$ ).

**Tasso di assorbimento specifico di energia (SAR).** Si tratta del valore mediato su tutto il corpo o su alcune parti di esso, del tasso di assorbimento di energia per unità di massa di tessuto corporeo ed È espresso in Watt per chilogrammo ( $W/kg$ ).

**SAR a corpo intero.** È una misura ampiamente accettata per porre in rapporto gli effetti termici nocivi dell'esposizione a radiofrequenze (RF). Oltre al valore del SAR mediato su tutto il corpo, sono necessari anche valori locali del SAR per valutare e limitare la deposizione eccessiva di energia in parti piccole del corpo conseguenti a particolari condizioni di esposizione, quali ad esempio il caso di un individuo in contatto con la terra, esposto a RF dell'ordine di pochi MHz e di individui esposti nel campo vicino di un'antenna.

Tra le grandezze sopra citate, possono essere misurate direttamente l'induzione magnetica, la corrente di contatto, il campo elettrico e magnetico e la densità di potenza.

### **Riferimenti legislativi e normativi**

L'insieme di leggi e norme alle quali si fa riferimento nella valutazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici è piuttosto articolata.

La normativa, prende in considerazione ambiti applicativi diversi, sia per la tipologia degli esposti, che per i parametri caratteristici del campo elettromagnetico.

Una prima distinzione deve essere fatta sugli esposti: come già chiarito nelle definizioni al paragrafo precedente,

si parla di esposizione professionale quando un soggetto per la specifica attività lavorativa è esposto a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, mentre, invece, si definisce genericamente esposizione della popolazione<sup>(1)</sup>, ogni tipo di esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, di tutte quelle persone che permangono in un'area, senza esserne stati informati dell'esistenza.

Una ulteriore differenziazione viene operata considerando le diverse lunghezze d'onda e quindi le frequenze che caratterizzano i campi elettromagnetici, poiché diverse sono le sorgenti che generano le radiazioni non ionizzanti alle quali ci si riferisce parlando di inquinamento elettromagnetico.

Di seguito si analizzano le principali leggi che interessano i campi elettromagnetici.

### **1.2.1 Legge n.36 del 22/02/2001**

Tale legge, denominata “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici”, ha lo scopo di dettare i principi fondamentali diretti ad assicurare la tutela della salute dei lavoratori, delle lavoratrici e della popolazione dagli effetti dell'esposizione a determinati livelli di campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, promuovere la ricerca scientifica per la valutazione degli effetti a lungo termine, l'attivazione di misure di cautela da adottare, assicurare la tutela dell'ambiente e del paesaggio, promuovendo l'innovazione tecnologica e le azioni di risanamento volte a minimizzare l'intensità e gli effetti dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, secondo le migliori tecnologie disponibili.

Essa ha per oggetto gli impianti, i sistemi e le apparecchiature per usi civili, militari e delle forze di polizia, che possano comportare l'esposizione dei lavoratori, delle lavoratrici e della popolazione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici con frequenze comprese tra 0 Hz e 300 GHz. In particolare, si applica agli elettrodotti ed agli impianti radioelettrici, compresi gli impianti per telefonia mobile, i radar e gli impianti per radiodiffusione.

Le disposizioni di tale legge non si applicano nei casi di esposizione intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici.

### **1.2.2 DPCM n.199 del 08/07/2003**

Per quanto riguarda le alte frequenze per applicazioni di sistemi fissi delle telecomunicazioni e radiotelevisivi, si considerano i limiti più restrittivi del Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2003 “Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz”

Nei casi non riconducibili a sistemi fissi delle telecomunicazioni e radiotelevisivi si applica la Raccomandazione del Consiglio dell'Unione europea del 12 luglio 1999. In tale decreto i limiti sono i seguenti:

Frequenza F (Mhz)	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)
<b>LIMITI DI ESPOSIZIONE</b>		

0,1<f<3	60	0,2
3<f<3.000	20	0,05
3.000<f<300.000	40	0,01
VALORI DI ATTENZIONE		
0,1<f<300.000	6	0,016
OBBIETTIVI DI QUALITÀ		
0,1<f<300.000	6	0,016

### 1.2.3 DPCM n.200 del 08/07/2003

Per quanto riguarda le frequenze di rete generati dagli elettrodotti, si considerano i limiti indicati agli artt. 3 e 4 del succitato Decreto:

Frequenza F (Hz)	Intensità di campo elettrico E (kV/m)	Induzione magnetica B ( $\square$ T)
LIMITI DI ESPOSIZIONE <sup>(1)</sup>		
50	5	100
VALORI DI ATTENZIONE		
50	-	10 <sup>(2)</sup>
OBBIETTIVI DI QUALITÀ <sup>(3)</sup>		
50	-	3

Valore assunto a titolo di

- (1) cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente
- (2) 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.
- (3) da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

### 1.2.4 DM 29 maggio 2008

- a) Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti (GU

n. 156 del 5/7/2008 – Suppl. Ordinario n. 160);

b) Approvazione delle procedure di misura e valutazione dell'induzione magnetica (GU n. 153 del 2/7/2008);

### **1.2.5 D.Lgs. 81 del 09/04/2008**

Recepimento della direttiva europea in data 19 novembre 2007, all'interno del D.Lgs. 257 "Attuazione della direttiva europea 2004/40/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici)".

Successivamente tale problema è stato ripreso all'interno del Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n° 81, attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro e precisamente al Titolo VIII "AGENTI FISICI", Capo IV. Il decreto impone che la valutazione, la misurazione e il calcolo dell'esposizione ai campi elettromagnetici, essendo parte integrante della valutazione dei rischi ad agenti fisici sia programmata ed effettuata con cadenza almeno quadriennale; ovviamente, la necessità di provvedervi prima nel caso di importanti modificazioni del parco macchine, del loro layout e delle procedure di lavoro, tali da far supporre che i livelli di esposizione dei lavoratori abbiano potuto subire rilevanti modificazioni. Il Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n° 81, prescrive che il datore di lavoro deve valutare e, quando necessario, calcolare i livelli dei campi elettromagnetici ai quali sono esposti i lavoratori, in particolare devono essere monitorati i campi secondo due parametri:

- Valori di azione (che farà scattare gli obblighi previsti dalla normativa);
- Valori limite di esposizione (che rappresenta il valore massimo di esposizione per il lavoratore)

I livelli di soglia di esposizione sono individuati a mezzo delle due grandezze "valori limite di esposizione" e "valori di azione". Il titolo VIII Capo IV del Decreto Legislativo n. 81/2008 e s.m.i. introduce i concetti di "Valori limite di esposizione" (valore di riferimento da non superare) e di "Valori di azione" (il cui superamento comporta l'obbligo di pianificare interventi di mitigazione del rischio).

**"valori limite di esposizione VLE"**: valori stabiliti sulla base di considerazioni biofisiche e biologiche, in particolare sulla base degli effetti diretti acuti e a breve termine scientificamente accertati, ossia gli effetti termici e la stimolazione elettrica dei tessuti. Sono grandezze non misurabili direttamente ovvero sono grandezze dosimetriche che caratterizzano gli effetti indotti dai campi elettromagnetici all'interno di tessuti biologici.

**"valori di azione VA"**: livelli operativi stabiliti per semplificare il processo di dimostrazione della conformità ai pertinenti VLE e, ove appropriato, per prendere le opportune misure di protezione o prevenzione specificate nel presente capo. Questi sono grandezze direttamente misurabili espressi in grandezze fisiche esterne al corpo umano come, per esempio, il campo elettrico (E) e l'induzione magnetica (B)). Il rispetto di questi valori assicura il rispetto dei valori di azione.

**VA inferiori** (valori di azione inferiori) per i campi magnetici s'intendono i livelli connessi ai VLE (valori limite di esposizione) relativi agli effetti **sensoriali** ovvero al di sopra dei quali i lavoratori potrebbero essere soggetti a disturbi temporanei di percezioni sensoriali e a modifiche minori di funzioni cerebrali.

**VA superiori** (valori di azione superiori) per i campi magnetici i livelli connessi ai VLE (valori limite di

esposizione) relativi agli effetti **sanitari** ovvero al di sopra dei quali i lavoratori potrebbero essere soggetti a effetti nocivi per la salute, quali il riscaldamento termico o la stimolazione del tessuto nervoso o muscolare.

L'esposizione può superare:

i VA inferiori per i campi elettrici di cui all'allegato XXXVI parte II, tabella B1, seconda colonna, ove giustificato dalla pratica o dal processo produttivo, purché siano verificate le seguenti condizioni:

- 2 non siano superati i VLE relativi agli effetti sanitari di cui all'allegato XXXVI, parte II, tabella A2;
- 3 siano evitate eccessive scariche elettriche e correnti di contatto di cui all'allegato XXXVI, parte II, tabella B3) attraverso le misure specifiche di protezione di cui all'articolo 210, comma 5;
- 4 siano state fornite ai lavoratori e ai rappresentanti dei lavoratori per la sicurezza informazioni sulle situazioni di rischio di cui all'articolo 210-bis, comma 1, lettera b).

I VA inferiori per i campi magnetici di cui all'allegato XXXVI, parte II, tabella B2, seconda colonna, ove giustificato dalla pratica o dal processo produttivo, anche a livello della testa e del tronco, durante il turno di lavoro, purché siano verificate le seguenti condizioni:

- il superamento dei VA inferiori per i campi magnetici di cui all'allegato XXXVI, parte II, tabella B2, e l'eventuale superamento dei VLE per gli effetti sensoriali di cui all'allegato XXXVI, parte II, tabella A3, sia solamente temporaneo in relazione al processo produttivo;
- non siano superati i VLE relativi agli effetti sanitari di cui all'allegato XXXVI, parte II, tabella A2;
- siano adottate misure in conformità all'articolo 210, comma 8, in caso di sintomi transitori di cui alla lettera a) del medesimo comma;
- siano state fornite ai lavoratori e ai rappresentanti dei lavoratori per la sicurezza informazioni sulle situazioni di rischio di cui all'articolo 210-bis, comma 1, lettera b).

L'esposizione può superare i VLE relativi agli effetti sensoriali di cui all'allegato XXXVI, parte II, tabelle A1 e A3, e parte III, tabella A2, durante il turno di lavoro, ove giustificato dalla pratica o dal processo produttivo, purché siano verificate le seguenti condizioni:

- il loro superamento sia solamente temporaneo in relazione al processo produttivo;
- non siano superati i corrispondenti VLE relativi agli effetti sanitari di cui all'allegato XXXVI, parte II, tabelle A1 e A2 e parte III, tabelle A1 e A3;
- nel caso di superamento dei VLE relativi agli effetti sensoriali di cui all'allegato XXXVI, parte II, tabella A1, siano state prese misure specifiche di protezione in conformità all'articolo 210, comma 6;
- siano adottate misure in conformità all'articolo 210, comma 8, in caso di sintomi transitori, di cui alla lettera b) del medesimo comma;
- siano state fornite ai lavoratori informazioni sulle situazioni di rischio di cui all'articolo 210-bis, comma 1,

lettera b).

Nei casi di cui ai commi 4 e 5, il datore di lavoro comunica all'organo di vigilanza territorialmente competente il superamento dei valori ivi indicati, mediante una relazione tecnico-protezionistica contenente:

le motivazioni per cui ai fini della pratica o del processo produttivo è necessario il superamento temporaneo dei VA inferiori o degli VLE relativi agli effetti sensoriali;

- il livello di esposizione dei lavoratori e l'entità del superamento;
- il numero di lavoratori interessati;
- le tecniche di valutazione utilizzate;
- le specifiche misure di protezione adottate in conformità all'articolo 210;
- le azioni adottate in caso di sintomi transitori;
- le informazioni fornite ai lavoratori e ai rappresentanti dei lavoratori per la sicurezza sulle situazioni di rischio di cui all'articolo 210-bis, comma 1, lettera b).

#### **1.2.6 D.Lgs. 159 del 01/07/2016**

Il D.Lgs. 159 “Attuazione della direttiva 2013/35/UE sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all’esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici)”, abroga la direttiva 2004/40/CE”, e modifica il D.Lgs. 81/2008 in funzione della direttiva appena recepita a partire dall’entrata in vigore dal 02/09/2016

Tabella 1 - Valori limite di azione per lavoratori ai sensi dell'Allegato XXXVI, D.lgs. 81/2008

*VA per i campi elettrici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz*

Intervallo di frequenza	VA (E) inferiori per l'intensità del campo elettrico [ $Vm^{-1}$ ] (valori RMS)	VA (E) superiori per l'intensità del campo elettrico [ $Vm^{-1}$ ] (valori RMS)
$1 \leq f < 25$ Hz	$2,0 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$
$25 \leq f < 50$ Hz	$5,0 \times 10^3 / f$	$2,0 \times 10^4$
$50 \text{ Hz} \leq f < 1,64$ kHz	$5,0 \times 10^3 / f$	$1,0 \times 10^5 / f$
$1,64 \leq f < 3$ kHz	$5,0 \times 10^3 / f$	$6,1 \times 10^2$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10$ MHz	$1,7 \times 10^2$	$6,1 \times 10^2$

*VA per i campi magnetici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz*

Intervallo di frequenza	VA (B) inferiori per l'induzione magnetica [ $\mu T$ ] (valori RMS)	VA (B) superiori per l'induzione magnetica [ $\mu T$ ] (valori RMS)	VA (B) per l'induzione magnetica per esposizione localizzata degli arti [ $\mu T$ ] (valori RMS)
$1 \leq f < 8$ Hz	$2,0 \times 10^5 / f^2$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$8 \leq f < 25$ Hz	$2,5 \times 10^4 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$25 \leq f < 300$ Hz	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3$ kHz	$3,0 \times 10^5 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10$ MHz	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

*VA per i campi magnetici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz*

Intervallo di frequenza	VA (B) inferiori per l'induzione magnetica [ $\mu T$ ] (valori RMS)	VA (B) superiori per l'induzione magnetica [ $\mu T$ ] (valori RMS)	VA (B) per l'induzione magnetica per esposizione localizzata degli arti [ $\mu T$ ] (valori RMS)
$1 \leq f < 8$ Hz	$2,0 \times 10^5 / f^2$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$8 \leq f < 25$ Hz	$2,5 \times 10^4 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$25 \leq f < 300$ Hz	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3$ kHz	$3,0 \times 10^5 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10$ MHz	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

**1.2.7 I.C.N.I.R.P. Limiti di esposizione e valori di azione per popolazione e soggetti sensibili**

Per sorgenti non riconducibili ad elettrodotti, relativamente alla **esposizione della popolazione** e quindi anche per i **lavoratori sensibili ai campi elettromagnetici** vengono fissati dei valori di riferimento da non superare. Anche in questo caso i livelli di riferimento relativi all'esposizione sono indicati al fine di poterli confrontare con i valori delle grandezze misurate.

Tabella 2 – valori di riferimento popolazione ICNIRP 1998

Intervallo di Frequenza (f)	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Induzione magnetica B ( $\mu T$ )	Densità di potenza ( $W/m^2$ )

0,025 - 0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	-
0,8 - 3,0 kHz	$250/f$	5	6,25	-
3 - 150 kHz	87	5	6,25	-
0,15 - 1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	-
1 - 10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	-
10 - 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 - 2000 MHz	$1,375/f^{1/2}$	$0,037/f^{1/2}$	$0,0046/f^{1/2}$	$f/200$
2 - 300 GHz	61	0,16	0,20	10

Tabella 2 Bis – Valori di riferimento popolazione ICNIRP 2010

Intervallo di frequenza	Intensità del campo elettrico E (kV/m)	Intensità del campo magnetico H (A/m)	Induzione magnetica B (T)
1 Hz – 8 Hz	5	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^{-2} / f^2$
8 Hz – 25 Hz	5	$4 \times 10^3 / f$	$5 \times 10^{-3} / f$
25 Hz – 50 Hz	5	$1.6 \times 10^2$	$2 \times 10^{-4}$
50 Hz – 400 Hz	$2.5 \times 10^2 / f$	$1.6 \times 10^2$	$2 \times 10^{-4}$
400 Hz – 3 kHz	$2.5 \times 10^2 / f$	$6.4 \times 10^4 / f$	$8 \times 10^{-2} / f$
3 Hz – 10 MHz	$8.3 \times 10^{-2}$	21	$2.7 \times 10^{-5}$

Note:

- f in Hz
- Si vedano più avanti le sezioni a parte per una guida sulle esposizioni a campi non sinusoidali e a frequenze multiple
- Nell'intervallo di frequenze oltre i 100 kHz, si devono anche considerare i livelli di riferimento specifici per i campi a radiofrequenza.

### 1.2.8 Norme CEI, Linee guida e direttive Europee

Oltre alle norme di carattere europeo ed internazionale quali:

- Linee guida I.C.N.I.R.P. (International Commission of Non Ionizing Radiation Protection);
- Raccomandazione del Consiglio del 12 luglio 1999 n. 519 relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici.
- PrEN 50499: "Procedure for the assessment of the exposure of the workers to electromagnetic fields" che definisce il metodo per la valutazione.
- Norma CEI 211-6 del 2001-01 per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenze tra 0 Hz a 10 kHz.

- Norma CEI 211-7 del 2001-01 per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenze tra 10 kHz a 300GHz.
- Norma CEI 11-60 del 2002-06 "Portata al limite termico delle linee elettriche esterne con tensione maggiore di 100kV".
- Norma CEI 11-17 del 2006-07 "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo".
- Norma CEI 11-17;V1 del 2011-10 variante V della norma CEI 11-18:2006-07 "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo".

Inoltre, all'interno della presente relazione tecnica si fa riferimento anche al documento redatto da Enel Distribuzione Spa denominato "Linea Guida per l'applicazione del par. 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.5.2008 – Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche".

## **2. ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE PREVISIONALE**

### **2.1 Scopo della valutazione previsionale**

La presente relazione tecnica ha lo scopo di valutare in via previsionale i livelli dei campi elettrici e magnetici generati dai dispositivi elettrici e dai conduttori che saranno presenti nell'impianto agrovoltaico da 15,72 MWp che sarà installato nel Comune di San Severo (FG), Italia. Le apparecchiature (pannelli fotovoltaici, inverter, ecc...) e le condutture (interrate) oggetto di valutazione saranno poste all'esterno, le macchine elettriche (trasformatori, interruttori, sezionatori, ecc...) in locali tecnici, normalmente senza permanenza di personale (se non occasionalmente ai fini di manutenzione ordinaria, letture, sorveglianza, e/o situazioni emergenziali).

Considerato quanto indicato nel DM del 29/05/2008 che ha definito il valore di corrente da utilizzare nel calcolo, come la portata in corrente in servizio normale relativa al periodo stagionale in cui essa è più elevata ed in dettaglio:

- a) per linee aeree con tensione superiore a 100kV, la portata di corrente in servizio normale viene calcolata ai sensi della norma CEI 11-60;
- b) per le linee in cavo, la corrente da utilizzare nel calcolo è la portata in regime permanente così come definita nella norma CEI 11-17.

Ed inoltre, con l'introduzione del DM del 29/5/2008 si fa riferimento alla DPA e, pertanto, ad un procedimento semplificato al fine di semplificare la gestione territoriale ed il calcolo delle fasce di rispetto. Ai fini della protezione della popolazione dall'esposizione ai campi elettromagnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati da linee e cabine elettriche, il DPCM 8 Luglio 2003 (art. 3 e 4) fissa, in conformità alla Legge 36/2001 (art. 4, c.2):

- a) I limiti di esposizione del campo elettrico (5kV/m) e del campo magnetico (100μT) come valori efficaci,

per la protezione da possibili effetti a breve termine;

b) Il valore di attenzione ( $10\mu\text{T}$ ) e l'obiettivo qualità ( $3\mu\text{T}$ ) del campo magnetico da intendersi come mediana nella 24 ore in normali condizioni di esercizio, per la protezione da possibili effetti a lungo termine connessi all'esposizione nelle aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenza non inferiore a 4 ore giornaliere (ambienti tutelati). Il valore di attenzione si riferisce ai luoghi tutelati esistenti nei pressi di elettrodotti esistenti; l'obiettivo di qualità si riferisce, invece, alla progettazione di nuovi elettrodotti in prossimità di luoghi tutelati esistenti o alla progettazione di nuovi luoghi tutelati nei pressi di elettrodotti esistenti.

A tal proposito il DPCM 8 Luglio 2003 all'art. 6 in attuazione della Legge 36/01 (art. 4 c.1 lettera h), introduce la metodologia di calcolo delle fasce di rispetto, definita nell'allegato al Decreto 29 Maggio 2008. Detta fascia comprende tutti i punti dei quali, in normali condizioni di esercizio, il valore di induzione magnetica può essere maggiore o uguale all'obiettivo di qualità.

Una volta individuate le sorgenti presenti nell'impianto e le condizioni di lavoro ordinarie, lo scopo è di confrontare il livello di esposizione (valutato e calcolato) con i limiti di attenzione e qualità del D.P.C.M. 8/07/2003 n.200: pertanto con il calcolo della DPA si verifica che all'interno di tale distanza non vi siano luoghi, esistenti o in progetto, destinati a permanenza maggiore di 4 ore. Se ciò si verifica il procedimento si ritiene concluso altrimenti sono necessarie ulteriori verifiche con calcoli basati su modelli analitici più dettagliati ed approfonditi delle fasce di rispetto.

## **2.2 Tipologia di sorgenti da individuare/te**

Il campo elettromagnetico cui può risultare esposta una persona risulta comunemente composto da differenti contributi, distinti in frequenza di intensità differente. Con riferimento all'esposizione umana sono individuate due principali categorie, distinte sulla base della frequenza. In particolare si hanno le basse frequenze comprese tra 0 e 100kHz e le alte frequenze tra 100kHz e 300GHz.

Sono sorgenti di campo magnetico a basse frequenze (0 e 100kHz) tutti i circuiti percorsi da corrente come:

- Elettrodotti di alta, media e bassa tensione.
- Gruppi di continuità per la presenza di trasformatori e filtri con bobine.
- Impianti elettrici non correttamente configurati.

ed il loro effetto è tanto maggiore quanto più alta è la corrente che circola e quanto maggiore è l'area cui il circuito sottende.

Esempi di sorgenti ad alte frequenze (100kHz e 300GHz) sono:

- Rete di telefonia cellulare.
- Reti LAN Wireless.
- Radiocomandi.

- Rilevatori antifurto e/o antintrusione.

La valutazione dell'esposizione a campi elettromagnetici deve quindi prevedere inizialmente, l'individuazione delle sorgenti potenzialmente in grado di produrre contributi al campo elettromagnetico di intensità non trascurabile per l'esposizione umana.

Le sorgenti di campo elettromagnetico sono usualmente identificate in due tipi a seconda che l'irradiazione del campo elettromagnetico sia funzionale all'attività che l'apparato deve svolgere (intenzionali) o sorgenti che emettono campo elettromagnetico come effetto secondario del proprio funzionamento (non intenzionale).

Fra le prime si citano innanzitutto i sistemi per le trasmissioni via aria; fra quelle di tipo non intenzionale troviamo in primo luogo la totalità degli apparati che impiegano l'energia elettrica e che sono caratterizzati da assorbimenti importanti di potenza.

Per quanto riguarda la presente valutazione prenderemo in considerazione solamente sorgenti di tipo NON intenzionale, in quanto si valuterà l'effetto delle apparecchiature che producono campi elettromagnetici, in funzionamento ordinario, come effetti secondari e non voluti.

In particolare valuteremo l'effetto delle apparecchiature di trasformazione MT/BT, dei quadri di distribuzione e delle condutture.

Tutte le apparecchiature funzionano a frequenza di rete, quindi i relativi campi generati hanno la frequenza fondamentale a 50Hz, inoltre le apparecchiature sono attraversate da una elevata corrente in grado, quindi, di generare una induzione Magnetica che può superare, in alcune zone, i limiti imposti dalle Normative vigenti.

In particolare si valuta le linee (interrate) che attraversano l'area dove si trova l'impianto di generazione, il locale di trasformazione e il locale consegna MT.

Tutte le zone prese in esame NON hanno presenza di personale fisso.

I conduttori delle linee interrate si considerano disposti a trifoglio in modo da minimizzare gli effetti prodotti. Per maggiori informazioni sul percorso della linee e sulla posizione delle varie apparecchiature si veda la planimetria di progetto che costituisce parte integrante della presente relazione.

### **2.3 Breve descrizione dell'impianto e Individuazione delle sorgenti**

Nel seguente capitolo viene riportata l'analisi del campo magnetico generato dai principali componenti d'impianto e, ove previsto, il calcolo della relativa "fascia di rispetto". L'impianto agrovoltaiico sarà realizzato su terreni ricadenti nel Comune di San Severo (FG).

Il progetto dell'impianto agrovoltaiico prevede la realizzazione di tre lotti, una rete di elettrodotti interrati in media tensione, con configurazione ad anello, che confluiscono in un unico punto costituito dalla cabina di consegna MT principale.

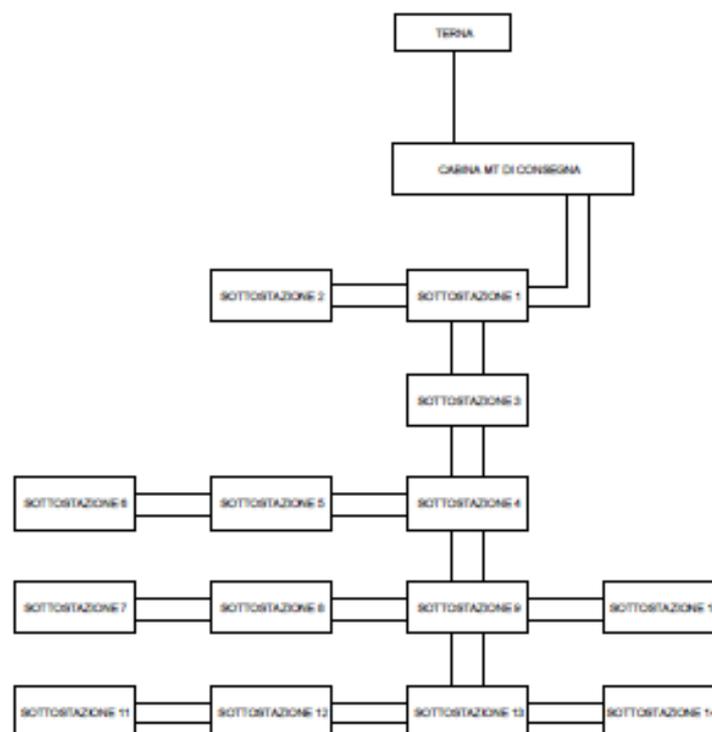
La potenza nominale complessiva dell'impianto agrovoltaiico, determinata dalla somma delle potenze nominali dei moduli FV, è pari a 15,72 MWp, mentre la potenza in immissione nella RTN è determinata dalla potenza

indicata sulla STMG, ed è pari a 13,82 MW. Presso il confine dell'impianto FV sarà ubicata una cabina di consegna in media tensione, dotata di opportune protezioni elettriche, alla quale saranno collegate le sottostazioni (cabine di trasformazione BT/MT), per massimo 2 MVA per ciascuna linea.

All'interno dei confini dell'impianto FV è prevista l'installazione di 14 sottostazioni (cabine di trasformazione BT/MT) manufatti contenenti un locale comune per gli scomparti (quadri) in media tensione che riceve l'energia da un trasformatore di potenza BT/MT 0,8/30KV, un quadro BT (QGBT) ospitante le protezioni delle linee degli inverter ed inoltre un piccolo trasformatore BT/BT 0,8/0,4kV per i servizi di cabina. Per l'impianto FV in oggetto si prevede l'utilizzo di inverter di stringa, installati in campo in posizione adiacente alle strutture che supportano i moduli ad esso collegati, a ciascuno dei quali saranno collegate fino ad un massimo di 24 stringhe di 14 moduli FV.

I moduli fotovoltaici, realizzati con tecnologia bifacciale ed in silicio mono-cristallino ad elevata efficienza, saranno collegati elettricamente in serie a formare stringhe da 14 moduli, e posizionati su strutture senza inseguimento solare mono-assiale, in configurazione a singola fila con modulo disposto verticalmente.

Considerando l'impianto che si intende realizzare, come da schema a blocchi se



Ciò premesso, si individuano le seguenti sorgenti di campi elettromagnetici:

- n. 1 Cabina di Consegna MT in cui confluiscono le condutture interrate provenienti dell'anello che collega le 14 sottostazioni e da cui parte la linea interrata di connessione al GDR.

- n. 14 sottostazioni di trasformazione BT/MT impianto agrovoltaiico all'interno della quale saranno installati:
  - Trasformatore BT/MT da 1.400KVA max
  - Scomparti con protezioni per le linee MT in uscita dalla cabina
  - Un quadro QGBT con le protezioni degli inverter dalla quale arrivano le linee interrato
  - Un trasformatore BT/BT da 10KVA e relativo quadro BT per i servizi di cabina.
  
- n. 1 conduttura interrata MT: dalle sottostazioni di trasformazione arrivano nella Cabina di Consegna costituita ognuna da due linee MT con cavo:
  - cavo ARG7H1M1 18/30kV 1x1x185mm<sup>2</sup> in configurazione a trifoglio in polifora interrata
  
- n.3 condutture interrate MT: di collegamento tra i tre lotti dell'impianto agrovoltaiico, costituita ognuna da due linee MT, realizzata con il seguente cavo:
  - cavo ARG7H1M1 18/30kV 1x1x185mm<sup>2</sup> in configurazione a trifoglio in polifora interrata
  
- n. 1 conduttura interrata BT che dagli inverter in campo arriva alla sottostazioni di trasformazione costituite ognuna da massimo 8 linee BT con cavo:
  - cavo ARE4E(X) 0,6/1,0kV 1(3x95)mm<sup>2</sup> in configurazione a trifoglio direttamente interrate

### **2.3.1 Moduli Fotovoltaici**

I moduli fotovoltaici generano energia elettrica in corrente e tensione continue; per cui la generazione di campi magnetici variabili è limitata ai soli transistori di corrente (durante la ricerca del punto di massima potenza da parte dell'inverter, e durante l'accensione o lo spegnimento) i quali risultano di ridotta entità e di breve durata.

Nelle procedure di certificazioni dei moduli fotovoltaici secondo le serie di norme IEC 61215 e IEC 61730 non sono infatti previste prove di compatibilità elettromagnetica, in quanto irrilevanti per questi componenti.

### **2.3.2 Inverter di stringa**

Gli inverter sono apparecchiature il cui scopo principale è di convertire l'energia generata dai moduli FV da corrente continua a corrente alternata. Gli inverter selezionati per il presente progetto impiegano componentistica elettronica operante ad alte frequenze al fine di minimizzare le perdite di conversione.

È comunque opportuno considerare che tali apparecchiature elettroniche, per poter essere commercializzabili, siano corredate delle necessarie certificazioni di compatibilità elettromagnetica a garantirne sia l'immunità dai disturbi elettromagnetici esterni, sia le ridotte emissioni per minimizzarne l'interferenza elettromagnetica con altre apparecchiature elettroniche posizionate nelle vicinanze o con la rete elettrica stessa. Per quanto riguarda il progetto relativo alla presente analisi, si prevede l'utilizzo inverter di stringa conformi alla normativa CEM, ed in particolare alle norme EN 62109-1 / -2, IEC 62109-1 / -2 e IEC 62920.

### **2.3.3 Campo elettrico**

Ai fini del calcolo della fascia di rispetto si omettono verifiche del campo elettrico, in quanto sarebbero determinate fasce di rispetto (calcolate in funzione del limite di esposizione, nonché valore di attenzione (pari a 5kV/m) che sono sempre inferiori a quella fornita dal calcolo dell'induzione magnetica.

Tutti i cavi interrati considerando la profondità d'interramento e l'effetto schermante del terreno, il campo elettrico è da considerarsi trascurabile in ogni punto circostante l'impianto.

Pertanto, l'obiettivo dei paragrafi successivi sarà quello di calcolare le fasce di rispetto dagli elettrodotti del progetto in esame, facendo riferimento al limite di qualità di  $3\mu\text{T}$ .

## **3. CALCOLO FASCIA DI RISPETTO (DPA) SOTTOSTAZIONE BT/MT IMPIANTO AGROVOLTAICO**

La valutazione di campo magnetico è stata effettuata recependo alcune indicazioni alla guida CEI R014 "Guida per la valutazione dei campi elettromagnetici attorno ai trasformatori di potenza" e la Guida CEI 211-4, ed infine utilizzando le indicazioni del D.M. 29 maggio 2008 "Metodi numerici per il calcolo delle fasce di rispetto". La guida CEI R014 permette di poter effettuare le seguenti considerazioni :

- I valori più significativi del campo magnetico a frequenza di rete sono dovuti alla corrente che circola nei terminali a bassa tensione.
- Il campo magnetico del trasformatore, prodotto dalle correnti che circolano negli avvolgimenti, può essere trascurato.

In base a quanto descritto precedentemente si è provveduto quindi ad effettuare una stima dei valori di campo magnetico generato dalle linee BT entranti nei trasformatori trascurando il campo magnetico dovuto agli avvolgimenti primari e secondari. In tutta la procedura si è cercato di massimizzare il più possibile i parametri di calcolo. A tal fine si precisa che:

- le linee trifase in corrente alternata a 800Vac provenienti dagli inverter in campo vengono condotti all'interno del locale cabina BT/MT, nel vano tecnico e collegate al quadro BT.
- La linea trifase complessiva in uscita dal quadro BT sarà collegata ai poli BT del trasformatore elevatore BT/MT.
- Le linee trifase complessive MT in uscita dal trasformatore elevatore BT/MT collegate all'anello MT di connessione della cabina di consegna alle sottostazioni
- Le linee trifase MT in arrivo dall'anello di connessione cabina di consegna con sottostazioni.

Per effettuare la stima della Distanza di prima Approssimazione (DPA) per fasce da  $3\mu\text{T}$  e, quindi, delle distanze di rispetto, si sono effettuate le seguenti simulazioni numeriche ritenute cautelative per lo studio oggetto del presente lavoro, in conformità al decreto 28/05/2008 considerando i parametri più gravosi potenzialmente applicabili per la tipologia di cabina, ovvero:

- corrente MT a 30kVac con massimo 335,26Amp (15,72 MWp)

- corrente BT a 0,8KVaccon massimo 1154,7Amp (trafo da 1.600kVA)
- diametro conduttore MT (cavo da 185mm per fase) con diametro conduttore 16,0mm
- diametro conduttore BT (3 cavi da 95mm per fase) con diametro totale conduttori di 36,0mm

La struttura semplificata sulla base della quale viene calcolata la Dpa è un sistema trifase, percorso da una corrente pari alla corrente nominale di bassa tensione in ingresso al trasformatore. Inoltre si calcolerà anche la DPA delle linee dell'anello MT in essa transitanti. Per il calcolo della Dpa[m] si utilizza, quindi, la formula indicata nel Decreto 28/05/2008, e precisamente:

$$Dpa = 0,40942 \times dm^{0,5241} \times \sqrt{I} \text{ [m]}$$

Dove:

Lato MT

I = Corrente nominale in Amp = 335,26  
 diametro reale dei cavi in m = 0,016

Lato BT (Trafo)

I = Corrente nominale in Amp = 1.154,70  
 Dm = diametro reale dei cavi in m = 0,0328

Sostituendo i valori nella formula si ottiene (arrotondato al mezzo metro superiore): ed

$$\boxed{Dpa_{MT} = 1,00m}$$

$$\boxed{Dpa_{BT} = 2,50m}$$

Pertanto la distanza di prima approssimazione nei pressi della sottostazione tipo ovvero la distanza minima al di sopra della quale si ottiene l'obiettivo di qualità di  $3\mu T$ , risulta pari al maggiore dei due valori, ovvero Dpa = 2,5m ricavato dall'involuppo dei muri delle cabine rispetto a questa distanza.

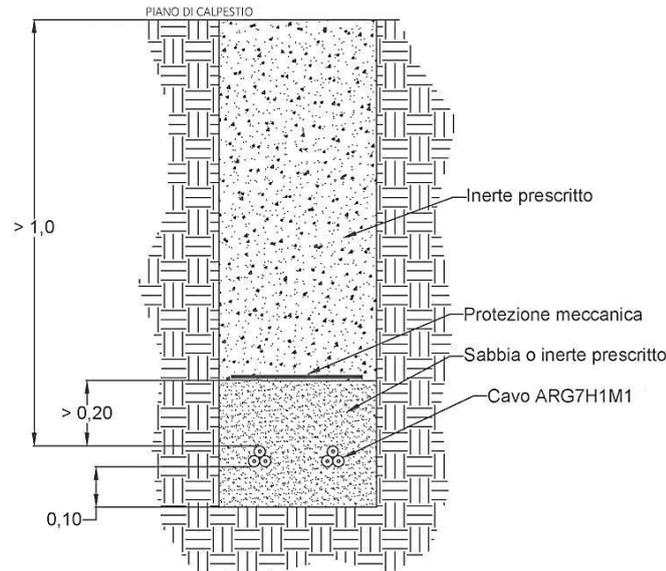
È lecito quindi supporre che da una distanza di 2,5 metri, dalle pareti perimetrali del locale di trasformazione, l'induzione complessiva sia inferiore a  $3\mu T$ , considerando tale risultato dovuto alla somma delle componenti efficaci dei campi elettromagnetici del trasformatore previsto nella cabina BT/MT e dei cavi in ingresso alla suddetta cabina.

È opportuno evidenziare che le cabine di trasformazione sono posizionate all'interno dell'impianto agrolvoltaico, quindi non accessibili a personale non autorizzato, ed in condizioni di normale esercizio non sono presidiate. Si può quindi escludere qualsiasi rischio per la salute pubblica.

### **3.1 Calcolo fasce di rispetto (DPA) linee elettriche MT interrate**

Come anticipato, la scelta di prevedere esclusivamente linee interrate permette di eliminare la componente elettrica del campo, grazie all'effetto schermante del terreno; inoltre la limitata distanza tra i cavi fa sì che l'induzione magnetica risulti significativa solo nelle immediate prossimità dei cavi.

Da ogni cabina BT/MT uscirà una linea elettrica MT 30kV in cavo ARG7H1M1/18-30kV 3(1x1x185)mm<sup>2</sup>, in configurazione a trifoglio, posta direttamente interrata realizzato come segue:



Il conduttore utilizzato è del tipo in alluminio, a corda flessibile rotonda, ARG7H1M1 1x1x185mm<sup>2</sup> con elevate prestazioni elettriche, meccaniche e termiche.

Secondo quanto previsto dal Decreto 29 maggio 2008, la tutela in merito alle fasce di rispetto di cui all'art. 6 del DPCM 8 luglio 2003 si applica alle linee elettriche aeree ed interrate, esistenti ed in progetto ad esclusione di:

- linee esercite a frequenza diversa da quella di rete di 50Hz (ad esempio linee di alimentazione dei mezzi di trasporto);
- linee di classe zero ai sensi del DM 21 marzo 1988, n. 449 (come le linee di telecomunicazione);
- linee di prima classe ai sensi del DM 21 marzo 1988, n. 449 (quali le linee di bassa tensione);
- linee di Media Tensione in cavo cordato ad elica (interrate o aeree);

in quanto le relative fasce di rispetto hanno un'ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal DM 21 marzo 1988, n. 449 e s.m.i. Il campo elettrico al suolo in prossimità di elettrodotti a tensione uguale o inferiore a 150kV, come da misure e valutazioni, non supera mai il limite di esposizione per la popolazione di 5kV/m. In base a quanto finora esposto, poiché la linea interrata MT è realizzata con cavi unipolari posati in piano e/o a trifoglio, non rientrando nelle esclusioni previste nel Decreto 29 maggio 2008, occorre procedere con il calcolo della relativa fascia di rispetto utilizzando le indicazioni della guida CEI 106-11.

La guida CEI 106-11 propone una serie di formule analitiche approssimate, applicabili senza l'uso di software, che permettono il calcolo immediato dell'induzione magnetica ad una data distanza dal baricentro dei conduttori della linea elettrica. Risultano formule molto utili per effettuare analisi approssimate (ma piuttosto precise) e soprattutto immediate delle fasce di rispetto. Tali formule, a causa della loro origine, hanno una validità tanto maggiore quanto più è elevata la distanza dai conduttori.

Per le linee in cavo interrato a progetto, occorre considerare che:

- i cavi non formano una catenaria, ma si mantengono sempre paralleli alla superficie del terreno;

- le distanze fra i conduttori sono molto piccole e ciò implica distanze di rispetto molto più contenute rispetto alle situazioni delle linee aeree.
- La situazione di posa è di cavi unipolari a trifoglio ad una profondità da minimo 1,0 m a 1,5 m dal piano di campagna, con distanza fra i cavi S

si nota innanzitutto che le fasce di rispetto nel caso delle linee interrate risulteranno più contenute rispetto a quelle che si ottengono con le linee aeree a parità di corrente: questo a causa della minore distanza fra i conduttori.

Ciò premesso, la formula da applicare secondo la CEI 106-11 con conduttori a trifoglio è la seguente:

$$B = \frac{S \times I}{R^2} \times 0,1 \times \sqrt{6} \text{ } [\mu\text{T}]$$

Dove:

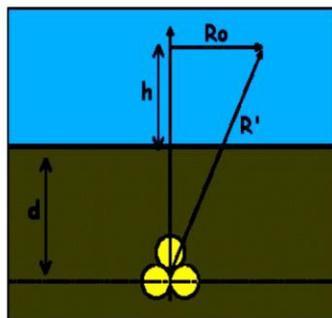
S[m] = distanza fra i conduttori disposti a trifoglio

I[A] = corrente, simmetrica ed equilibrata, che attraversa i conduttori

R[m] = distanza dal baricentro dei conduttori alla quale calcolare l'induzione magnetica B

Applicando la formula inversa, si calcola la distanza R' dal baricentro dei conduttori, alla quale l'induzione magnetica si riduce al valore dell'obiettivo di qualità di  $3\mu\text{T}$ , pertanto:

$$R' = 0,286 \times \sqrt{S \times I} \text{ [m]}$$



Schema e distanze di cavi interrati posati a trifoglio (CEI 106-11)

### 3.1.1 Linee MT (ad anello) da cabina di consegna MT a sottostazioni BT/MT

In base a quanto specificato sopra, considerando la configurazione ad anello:

S = 0,041m;

I = 335,26Amp (carico complessivo dell'anello con due linee).

Sostituendo i valori nella formula si ottiene

$$\mathbf{R'=1,06m}$$

In caso in cui la profondità di posa fosse inferiore ad  $R'$ , per conoscere la distanza  $R_0$  dall'asse della linea a livello del piano di campagna (con  $h=0$ ), oltre la quale l'induzione magnetica scende al di sotto dell'obiettivo di qualità di  $3 \mu T$ , applicando il teorema di Pitagora si ha:

$$R_0 = \sqrt{0,082 \cdot P \cdot I - d^2} \quad [m]$$

Dove:

$P[m]$  = distanza fra i conduttori disposti ai vertici di un triangolo (in caso di distanze differenti,  $P$  diventa la media delle distanze fra i tre conduttori),

$I[A]$  = corrente, simmetrica ed equilibrata, che attraversa i conduttori;  $d[m]$  = profondità di posa

Dato che la profondità di posa prevista a progetto è di circa 1,2m, il campo magnetico al suolo è inferiore all'obiettivo di qualità di  $3 \mu T$  richiesto dalla vigente normativa.

### 3.1.2 Linee BT da inverter a sottostazione di trasformazione BT/MT

Considerando per ognuno degli 8 inverter una linea con cavo ARE4E(X) 1(3x95)mm con corrente di funzionamento massima prevista 135Amp per ogni inverter, si configura la situazione di conduttori in piano, si applica la seguente formula:

$$B = \frac{P \cdot I}{R^2} \cdot 0,2 \cdot \sqrt{3} \quad [\mu T]$$

Dove:

$P[m]$  = distanza fra i conduttori adiacenti (in caso di distanze differenti,  $P$  diventa la media delle distanze fra i tre conduttori),

$I[A]$  = corrente, simmetrica ed equilibrata, che attraversa i conduttori;

$R[m]$  = distanza dal baricentro dei conduttori alla quale calcolare l'induzione magnetica  $B$

Applicando la formula inversa, si calcola la distanza  $R'$  dal baricentro dei conduttori, alla quale l'induzione magnetica si riduce al valore dell'obiettivo di qualità di  $3 \mu T$ , pertanto:

$$\mathbf{R' = 0,34 \cdot \sqrt{P \cdot I} \quad [m]}$$

Si assume:

$P = 0,0125m$  (distanza tra i conduttori determinati dagli scomparti MT)  $I = 135Amp$  (linea da inverter a QGBT).

Sostituendo i valori nella formula si ottiene

$$\mathbf{Dpa = 0,46m}$$

Dato che la profondità di posa prevista a progetto è di circa 0,5m, il campo magnetico al suolo è inferiore

all'obiettivo di qualità di  $3\mu\text{T}$  richiesto dalla vigente normativa.

### **3.1.3 Calcolo fasce di rispetto (DPA) cabina di consegna MT**

Analogamente a quanto previsto per le cabine utente di trasformazione BT/MT per il calcolo della Dpa per le cabine dell'impianto agrovoltaiico, per effettuare la stima della Distanza di prima Approssimazione (DPA) per fasce da  $3\mu\text{T}$  per la cabina di consegna e, quindi, delle distanze di rispetto, considerando parametri più gravosi potenzialmente applicabili per la tipologia di cabina, si assume:

- 2 linee MT 30kV per complessivi 335,26Amp in arrivo dai cunicoli interrati
- 1 linea MT 30KV da 335,26Amp interrata in partenza.

Premesso che le linee dell'anello MT in arrivo dalle sottostazioni BT/MT e la linea in uscita dalla cabina di consegna non transitano nella stessa condotta e quindi che i rispettivi campi elettromagnetici non si sovrappongono, Ciò premesso, la formula da applicare secondo la CEI 106-11 con conduttori a trifoglio è la seguente:

—

Dove:

$$B = \frac{S \times I}{R^2} \times 0,1 \times \sqrt{6} [\mu\text{T}]$$

S[m] = distanza fra i conduttori disposti a trifoglio

I[A] = corrente, simmetrica ed equilibrata, che attraversa i conduttori

R[m] = distanza dal baricentro dei conduttori alla quale calcolare l'induzione magnetica B

Applicando la formula inversa, si calcola la distanza R' dal baricentro dei conduttori, alla quale l'induzione magnetica si riduce al valore dell'obiettivo di qualità di  $3\mu\text{T}$ , pertanto:

**Dpa= 1,0m**

**Dpa= 2,0m**

Si assume:

$$R' = 0,286 \times \sqrt{S} \times I \text{ [m]}$$

$P = 0,25\text{m}$  (distanza tra i conduttori determinati dagli scomparti MT)  $I = 335,26\text{Amp}$  (potenza massima MT dell'impianto).

Sostituendo i valori nella formula si ottiene arrotondato al mezzo metro superiore.

Inoltre, poiché all'interno della cabina di consegna potrebbe essere installato un trasformatore MT/BT con potenza massima di 630KVA, secondo le indicazioni della guida CEI R014, Guida CEI 211-4, e D.M. 29/05/2008, si provvede quindi ad effettuare una stima della Distanza di prima Approssimazione (DPA) per fasce da 3□ T dal trasformatore, utilizzando la formula indicata nel Decreto 28/05/2008:

$$Dpa = 0,40942 \times dm^{0,5241} \times \sqrt{I} \text{ [m]}$$

considerando i parametri più gravosi potenzialmente applicabili per la tipologia di trasformatore:

- I (Potenza trasformatore MT/BT trifase da 630KVA) =909Amp a 400Vac
- Dm (Diametro conduttore) = 0,027m posati in cunicolo.

Sostituendo i valori nella formula si ottiene arrotondato al mezzo metro superiore.

Considerando la condizione peggiore, è lecito supporre che **ad una distanza superiore a 2,0 metri** dalle pareti perimetrali della cabina **l'induzione magnetica complessiva sia inferiore a 3□ T**, considerando tale risultato come la somma delle componenti efficaci dei campi elettromagnetici dei cavi in ingresso ed in uscita dalla suddetta cabina e **comprensivo delle emissioni dovute ad un trasformatore MT/BT da 630KVA**.

#### **4. CONCLUSIONI**

In relazione alle caratteristiche tecniche dei componenti dell'impianto che si andrà a realizzare, alla modalità di installazione e posa, visti i risultati dei calcoli e delle valutazioni eseguite, facendo riferimento alle leggi seguenti:

- Legge 36/2001.

- D.Lgs. 81/08, Titolo VIII, Capo IV.
- Bassa Frequenza: DPCM 08/07/2003, pubblicato sulla G.U. n. 200 del 29/08/2003.
- Direttiva 2013/35/EU (recepita con D.Lgs. 159/2016)
- Raccomandazione 1999/519/CE;

#### **DATO CHE**

- a) In tutte le zone esterne delimitate dalla recinzione i limiti previsti dalle Leggi nazionali e dalle raccomandazioni europee in qualsiasi condizione operativa sono rispettati.

Si può quindi affermare che l'area esterna alla zona recintata, presenta un valore di campo elettrico inferiore a 5 kV/m ed un valore di induzione magnetica inferiore a  $3\mu\text{T}$ , quindi le zone esterne rispettano quanto previsto nella Tabella A del D.P.C.M. 08/07/03 n° 200, decreto attuativo del D.Lgs. 36/01, in particolare il valore dell'induzione magnetica è inferiore al valore indicato come obiettivo di qualità nel testo legislativo, pari a  $3\mu\text{T}$  per l'esposizione della popolazione, nelle aree adibite a permanenze superiori alle quattro ore giornaliere (D.P.C.M. 08 luglio 2003).<sup>1</sup>

Si è valutato, inoltre, che nelle varie zone dell'impianto sono state individuate strutture con fasce di rispetto al di fuori delle quali sono rispettati i valori di esposizione prescritti.

All'interno dell'impianto, in prossimità delle cabine elettriche di trasformazione BT/MT e MT/BT, in relazione all'esposizione ad elettrosmog a bassa frequenza per i lavoratori non professionalmente esposti, sono presenti aree definite "zone di rispetto" in cui occorre limitare la permanenza di persone per periodi di tempo non superiori alle quattro ore giornaliere. L'accesso all'interno dei locali tecnici con presenza di sorgenti di campi elettromagnetici (per. es. cabine MT/BT) è da considerarsi un luogo di lavoro per persone professionalmente esposte ed avvisate del rischio elettrosmog, trattandosi di locali il cui accesso deve essere riservato a personale autorizzato e formato in tal senso.

#### **4.1 Estensione ed identificazione delle fasce di rispetto**

Le fasce di rispetto individuate sono:

- Sottostazioni BT/MT impianto agrovoltico  $D_{pa}=2,5\text{m}$  dai muri perimetrali.
- Cabina MT di consegna<sup>1</sup>  $D_{pa}=2,0\text{m}$  dai muri perimetrali.

L'estensione delle zone di rispetto dovranno essere identificabili mediante segnaletica posta perimetralmente alla sorgente di emissione con cartelli affissi in modo ben visibile da distanza superiore alla relativa  $D_{pa}$ , quali ad esempio:



Sulle porte d'ingresso dei locali tecnici dovranno essere affissi i seguente cartelli monitori:



<sup>1</sup> Con trasformatore MT/BT da 630KVA compreso.