



**REGIONE SARDEGNA  
COMUNE DI SASSARI**  
Provincia di Sassari



Titolo del Progetto

**PROGETTO DEFINITIVO**

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO  
DENOMINATO "GREEN AND BLUE SERRA LONGA"  
DELLA POTENZA DI 61.670,700 kW IN LOCALITÀ "SERRA LONGA" NEL COMUNE DI SASSARI

Identificativo Documento

**REL\_SP\_07\_EMG\_REV1**

ID Progetto	GBSL	Tipologia	R	Formato	A4	Disciplina	AMB
-------------	------	-----------	---	---------	----	------------	-----

Titolo

**RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI E DPA**

SCALA:

FILE: **REL\_SP\_07\_EMG\_REV1.pdf**

IL PROGETTISTA  
Arch. Andrea Casula



GRUPPO DI PROGETTAZIONE  
Arch. Andrea Casula  
Geom. Fernando Porcu  
Dott. in Arch. J. Alessia Manunza  
Geom. Vanessa Porcu  
Dott. Agronomo Giuseppe Vacca  
Archeologo Alberto Mossa  
Geol. Marta Camba  
Ing. Antonio Dedoni  
Ing. Fabio Ledda  
Green Island Energy SaS

COMMITTENTE

**SF MADDALENA SRL**

SF MADDALENA SRL  
Via Pietro Triboldi 4 - 26015 Soresina  
P.Iva 02349460564  
pec: sfmaddalena@pec.it

Rev.	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
Rev.1	Integrazione Settembre2022	Seconda Emissione	Green Island Energy	Green Island Energy	SF Maddalena srl
Rev.	Settembre 2021	Prima Emissione	Green Island Energy	Green Island Energy	SF Maddalena srl

PROCEDURA

Valutazione di Impatto Ambientale ai sensi dell'art.23 del D.Lgs.152/2006

GREEN ISLAND ENERGY SAS  
Via S.Mele, N 12 - 09170 Oristano  
tel&fax(+39) 0783 211692-3932619836  
email: greenislandenergysas@gmail.com

NOTA LEGALE: Il presente documento non può  
tassativamente essere diffuso o copiato  
su qualsiasi formato e tramite qualsiasi  
mezzo senza preventiva autorizzazione  
formale da parte di Green Island Energy SaS



**Provincia di Sassari**

**COMUNE DI  
SASSARI**

*PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO  
AGRO-FOTOVOLTAICO*

*DENOMINATO "GREEN AND BLUE SERRA LONGA"*

*DELLA POTENZA DELLA **61.670,700 kW***

*IN LOCALITÀ "SERRA LONGA" NEL COMUNE DI SASSARI"*

**RELAZIONE CAMPI  
ELETTROMAGNETICI E D.P.A.**

## INDICE

1.	OGGETTO E SCOPO. ....	3
2.	RIFERIMENTI NORMATIVI E DEFINIZIONI. ....	3
2.1.	Norme tecniche di riferimento	3
2.2.	Norme legislative e guide.	4
2.3.	Definizioni	5
2.4.	Valori Limite di Esposizione e Valori di Azione	6
2.5.	Effetti non termici	7
2.6.	Limiti di riferimento DPCM 8 luglio 2003	7
3.	CARATTERISTICHE DELLE LINEE MT .....	8
3.1.	Linee in media tensione	8
4.	CALCOLO DELLE FASCE DI RISPETTO.....	9
4.1.	Fascia di Rispetto	9
4.2.	Distanza di prima approssimazione (DPA)	9
5.	CARATTERISTICHE CAVIDOTTI MT E BT .....	10
5.1.	Caratteristiche dei conduttori.	10
6.	CALCOLO DELLE FASCE DI RISPETTO.....	11
6.1.	Linee con cavi unipolari posati a trifoglio.	12
6.2.	Linea con cavi unipolari posati in piano.	13
6.3.	Linea in cavo interrato con più terne.	13
7.	CONFIGURAZIONE GEOMETRICA E FASCE DI RISPETTO IN PROGETTO. ....	14
7.1.	Dati utilizzati per la valutazione	14
7.2.	Fascia di rispetto.	14
8.	VALUTAZIONE CEM MEDIANTE SW PER LE LINEE DI I E II CATEGORIA .....	15
8.1.	Induzione magnetica cavi MT con tre terne a trifoglio	15
8.2.	Campo elettrico per cavi MT	15
8.1.	Induzione magnetica cavi BT multipolari in fascio	16
9.	CALCOLO DELLE FASCE DI RISPETTO PER LE CABINE DI CAMPO .....	17
9.1.	Calcolo distanza di prima approssimazione per le cabine MT/BT di campo	17
9.1.	Cabine MT/BT da 2 x 2500 kVA	17
10.	VALUTAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI STAZIONE PRODUTTORE .....	19
10.1.	DPA per la Stazione Produttore MT/AT	19
10.2.	LINEE AEREE E CAVI DI III CATEGORIA	20
10.3.	Valutazioni Previsionali tramite SW	20
10.1.	Sbarre AT in aria	21
10.2.	Caratteristiche del collegamento	22
10.3.	Caratteristiche dei conduttori AT	22
	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE DELLO STUDIO PREVISIONALE .....	25
10.4.	Campi elettrici	25
10.5.	Campi magnetici	25

# 1. Oggetto e scopo.

Oggetto della seguente relazione è la **Valutazione Previsionale dei Campi Elettromagnetici** nelle aree dell'*impianto Fotovoltaico e delle opere di rete per la connessione*, proposto dalla Società SF MADDALENA SRL con sede legale in via Pietro Triboldi, 4, 01021 Soresina (CR), con riferimento al Codice Pratica STMG Terna 202001948.

Oltre le linee inerenti il sistema di produzione di Energia Rinnovabile della Società in oggetto, ci sono già altre linee elettriche in categoria II e III, afferenti alla zona, per le quali verranno fatte le valutazioni e definite le zone di rispetto dai rispettivi proprietari, in particolare per la stazione AT del Gestore della Rete Nazionale, in questo documento si valuteranno i campi elettrico e magnetico determinati dalle nuove opere oggetto dei lavori.

Lo scopo è quello di effettuare la valutazione, tramite riferimenti di letteratura tecnica e modelli di calcolo, dei livelli del campo elettrico e dell'induzione magnetica, indagando eventualmente in maniera più dettagliata ove si ritiene elevata la permanenza di personale.

Verranno utilizzati i dati tecnici di progetto per la verifica previsionale con le distanze di prima approssimazione e di rispetto dei limiti normativi ai fini della protezione del personale di manutenzione, per effetto dell'esposizione ai campi elettromagnetici. In generale occorre riferirsi alla Direttiva 2013/35/UE, Direttiva EMF, che esamina l'esposizione ai Campi Elettromagnetici in tutto lo spettro delle frequenze, mentre per le basse frequenze (ELF) è sufficiente riferirsi alla Direttiva quadro 89/391/CEE.

Lo studio è stato espressamente richiesto dalla Committenza per una valutazione previsionale di verifica dei livelli di riferimento legislativi, i risultati saranno poi confrontati con le misure strumentali effettuate in situ, individuando ove ci fossero dei superamenti, gli opportuni provvedimenti per riportare i livelli a valori normativamente accettabili.

## 2. Riferimenti normativi e definizioni.

### 2.1. Norme tecniche di riferimento

- CEI 211- 6. "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana".
- CEI 211- 4. "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche".
- CEI 106-10. Esposizione ai campi elettrico e magnetico nell'intervallo delle frequenze basse e intermedie - Metodi di calcolo della densità di corrente e del campo elettrico interno indotti nel corpo umano Parte 1: Aspetti generali
- 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
- CEI 106-20 - CEI EN 50413 - Norma di base sulle procedure di misura e di calcolo per l'esposizione umana ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (0 Hz-300 GHz).
- CEI 106-23 - CEI EN 50499 - Procedura di valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici
- CEI 106-27 - CEI EN 62110 - Livelli di campo elettrico e magnetico generati da sistemi di potenza in c.a. - Procedure di misura con riferimento all'esposizione umana
- CEI 106-30 - CEI EN 50527-2-1. Procedura per la valutazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici dei lavoratori con dispositivi medici impiantabili attivi Parte 2-1: Valutazione specifica per lavoratori con stimolatore cardiaco (pacemaker)

## **2.2. Norme legislative e guide.**

- Linee guida ICNIRP 2010 (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection): GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS (1Hz TO 100 kHz);
- Direttiva 2013/35/UE - Disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (ventesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE) e che abroga la direttiva 2004/40/CE.
- Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici - Volume 1: Guida pratica
- Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici - Volume 2: Studi di casi
- Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici - Guida per le PMI
- DLgs 159/2016 pubblicato nella GU 192 del 18/08/2016 entrato in vigore il 02/09/2016: recepisce la Direttiva UE 2013/35/UE
- D.Lgs. 81/08 (modifiche) Recepimento del DLgs 159/2019: con la sostituzione all'Allegato XXXVI degli articoli: 206, 207, 209, 210, 211, 212, 219, inserimento dell'art. 210 bis.
- Legge n. 36, del 22 febbraio 2001: "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici". G. U. n. 55 del 7 marzo 2001.
- DPCM 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"- G. U. n. 200 del 29 agosto 2003.

- Decreto 29 maggio 2008. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti. (Supplemento ordinario n.160 alla G.U. 5 luglio 2008 n. 156).

### 2.3. Definizioni

Per specificare i valori limite di esposizione relativi ai campi elettromagnetici, a seconda della frequenza, sono utilizzate le seguenti grandezze fisiche:

- **Campi elettromagnetici:** campi elettrici statici e campi magnetici statici e campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici variabili nel tempo con frequenze sino a 300 GHz;
- **Effetti biofisici diretti**, effetti provocati direttamente nel corpo umano a causa della sua presenza all'interno di un campo elettromagnetico, che comprendono:
  - **effetti termici**, quali il riscaldamento dei tessuti a causa dell'assorbimento di energia dai campi elettromagnetici nei tessuti medesimi;
  - **effetti non termici**, quali la stimolazione di muscoli, nervi ed organi sensoriali.

Questi effetti possono essere di detrimento per la salute mentale e fisica dei lavoratori esposti. La stimolazione degli organi sensoriali può inoltre comportare sintomi transitori quali vertigini e fosfeni. Inoltre, tali effetti possono generare disturbi temporanei o influenzare le capacità cognitive o altre funzioni cerebrali o muscolari e possono, pertanto, influire negativamente sulla capacità di un lavoratore di operare in modo sicuro;

- **Correnti negli arti.**

**effetti indiretti**, effetti provocati dalla presenza di un oggetto in un campo elettromagnetico, che potrebbe essere causa di un pericolo per la salute e sicurezza, quali:

- **interferenza** con attrezzature e dispositivi medici elettronici, compresi stimolatori cardiaci e altri impianti o dispositivi medici portati sul corpo;
- **rischio propulsivo** di oggetti ferromagnetici all'interno di campi magnetici statici;
- **innesco di dispositivi elettro-esplosivi** (detonatori);
- **incendi ed esplosioni** dovuti all'accensione di materiali infiammabili a causa di scintille prodotte da campi indotti, correnti di contatto o scariche elettriche;
- **correnti di contatto.**

**Valori limite di esposizione (VLE)**, valori stabiliti sulla base di considerazioni biofisiche e biologiche, in particolare gli effetti diretti acuti e a breve termine scientificamente accertati, ossia gli effetti termici e la stimolazione elettrica dei tessuti;

**VLE relativi agli effetti sanitari**, VLE 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;

**VLE relativi agli effetti sensoriali**, VLE al di sopra dei quali i lavoratori potrebbero essere soggetti a disturbi transitori delle percezioni sensoriali e a modifiche minori delle funzioni cerebrali;

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.

Con riferimento al Dlgs 81/08 aggiornato, nell'allegato XXXVI, parte II:

- **per i campi elettrici, per VA inferiori e VA superiori** s'intendono i livelli connessi alle misure specifiche misure di protezione o prevenzione stabilite nel presente capo;
- **per i campi magnetici, per VA inferiori** s'intendono i valori connessi ai VLE relativi agli effetti sensoriali e per **VA superiori** i valori connessi ai VLE relativi agli effetti sanitari.

## **2.4. Valori Limite di Esposizione e Valori di Azione**

Le seguenti grandezze fisiche sono utilizzate per descrivere l'esposizione ai campi elettromagnetici:

- **Intensità di campo elettrico E** è una quantità vettoriale che corrisponde alla forza esercitata su una particella carica indipendentemente dal suo movimento nello spazio. È espressa in Volt a metro (V/m).
- **Corrente di contatto I<sub>c</sub>** è 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.
- **La corrente attraverso gli arti I<sub>L</sub>** è la corrente che attraversa gli arti di una persona esposta a campi elettromagnetici nella gamma di frequenza compresa tra 10MHz e 110 MHz a seguito del contatto con un oggetto in un campo elettromagnetico o del flusso di correnti capacitive indotte nel corpo esposto. È espressa in ampere (A).
- **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 a 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  $1 \text{ A/m} = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T}$ .
- **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 è [W/m<sup>2</sup>].
- **Assorbimento specifico di energia SA**. È l'energia assorbita per unità di massa di tessuto biologico e si esprime in Joule per chilogrammo (J/kg). Nel presente decreto esso si impiega per limitare gli effetti non termici derivanti da esposizioni a microonde pulsate.
- **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 a 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.

Tra le grandezze sopra citate, possono essere misurate direttamente l'induzione magnetica B, la corrente di contatto I<sub>c</sub>, la corrente attraverso gli arti I<sub>L</sub>, le intensità di campo elettrico E e magnetico H e la densità di potenza S.

## **2.5. Effetti non termici**

### **Valori Limite di Esposizione VLE**

Il VLE relativo agli effetti sensoriali è il VLE applicabile in condizioni di lavoro normali (tabella A1) ed è correlato alla prevenzione di nausea e vertigini dovute a disturbi sull'organo dell'equilibrio, e di altri effetti fisiologici, conseguenti principalmente al movimento del soggetto esposto all'interno di un campo magnetico statico.

Il VLE relativo agli effetti sanitari in condizioni di lavoro controllate (tabella A1) è applicabile su base temporanea durante il turno di lavoro, ove giustificato dalla prassi o dal processo, purché siano state adottate misure di prevenzione di cui all'art.208 c.4 del decreto. I VLE per frequenze inferiori a 1Hz (tabella A1) sono limiti per il campo magnetico statico, la cui misurazione non è influenzata dalla presenza del soggetto esposto.

## **2.6. Limiti di riferimento DPCM 8 luglio 2003**

Ove i VLE non vengano superati, non è necessario verificare l'assorbimento tramite il controllo tasso di assorbimento specifico SAR, in tali casi vale ancora la direttiva quadro 89/391/CEE, in questo caso rimangono validi i riferimenti legislativi facenti capo alla direttiva quadro.

Il DPCM dell'8 luglio 2003 stabilisce diversi criteri di valutazione dei campi elettromagnetici in prossimità di linee elettriche ad alta tensione e fissa i limiti di esposizione nei confronti dei campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti eserciti alla frequenza di 50 Hz. In particolare, viene fissato il valore di attenzione di 10 µT (microtesla), ovvero il valore di induzione magnetica che non deve essere superato nei luoghi definiti "a permanenza prolungata di persone". Questo valore è da intendersi con riferimento alla mediana nelle 24 ore.

Per una migliore composizione di quanto sintetizzato è importante distinguere il significato dei seguenti termini:

- La determinazione dei livelli di campo, elettrico e magnetico (CEM), in un luogo è elemento chiave per stabilire se il rischio esiste o no. Per dimostrazione le misure strumentali possono dare conferma di questo.
- L'intensità del CEM dipende dalla distanza dalla sorgente e di norma diminuisce rapidamente allontanandosi da quest'ultima. Per questo spesso, per assicurare la sicurezza delle persone, si utilizzano recinzioni, barriere o altre misure protettive che impediscano l'accesso non autorizzato ad aree dove i limiti di esposizione possono essere superati.

- In genere i limiti di esposizione sono diversi per il personale generico, in transito o presente occasionalmente e per i lavoratori specifici del settore elettrico.

Nella tabella e nei paragrafi seguenti sono indicate alcune definizioni fondamentali che tengono in conto queste considerazioni:

<b>Limiti di esposizione</b>	<i>Valori di CEM che non devono essere superati in alcuna condizione di esposizione, ai fini della tutela dagli effetti acuti.</i>
<b>Valori di attenzione</b>	<i>Valori di CEM che non devono essere superati negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate. Essi costituiscono la misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine.</i>
<b>Obiettivi di qualità</b>	<i>Valori di CEM causati da singoli impianti o apparecchiature da conseguire nel breve, medio e lungo periodo, attraverso l'uso di tecnologie e metodi di risanamento disponibili. Sono finalizzati a consentire la minimizzazione dell'esposizione della popolazione e dei lavoratori ai CEM anche per la protezione da possibili effetti a lungo termine.</i>

Tabella 1

I limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità non si applicano ai lavoratori esposti per ragioni professionali. L'impatto magnetico dovuto alle linee elettriche aeree percorse da corrente è determinato dai seguenti fattori:

- La corrente circolante nei conduttori;
- La disposizione delle fasi;

Le distanze per il rispetto dei limiti sono determinate singolarmente. Il DPCM 8 Luglio 2003 e gli altri riferimenti legislativi, fissano i limiti seguenti di esposizione nei confronti dei campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti eserciti alla frequenza di 50 Hz.

### 2.6.1. Campi elettrici.

- Limiti di esposizione per i campi elettrici di 5 kV/m da non superare mai in alcuna condizione di presenza della popolazione civile.

### 2.6.2. Campi magnetici.

- 100  $\mu$ T sono i limiti di esposizione per i campi magnetici da non superare mai in alcuna condizione di contiguità con la popolazione;
- 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 (Rif. D. p. c. m. 3 Luglio 2003).
- 3  $\mu$ T sono i limiti di esposizione per i campi magnetici nelle aree con permanenze di persone di almeno 4 ore giornaliere (valore di attenzione) per i nuovi elettrodotti (obiettivo di qualità).
- 

## 3. Caratteristiche delle linee MT

I conduttori aerei o in strutture fuori terra (ad es. nel castello cavi dal montante trafo al quadro MT) per i quali sono stati calcolati i campi magnetici ed elettrici hanno le seguenti caratteristiche essenziali ai fini del calcolo.

### 3.1. Linee in media tensione

I valori delle DPA derivanti dalle tabelle tipiche e modalità di posa tipici di Enel Produzione, E-Distribuzione e Terna, forniscono dei valori cautelativi, in quanto riferiti alle caratteristiche di porta-

ta nominale delle condutture, mentre la corrente effettiva è inferiore, in condizioni di funzionamento reale, pertanto i valori effettivi di campo magnetico sono anch'essi inferiori.

In particolare con il valore di potenza massima di 50 MW, anche sul montante trafo MT, nel quale si utilizzeranno più terne per fase, la corrente massima sulla singola terna è inferiore alla portata del conduttore.

Si è provveduto comunque, con riferimento ai tre valori limite normativi di 100  $\mu\text{T}$ , 10  $\mu\text{T}$  e 3  $\mu\text{T}$ , a calcolare le isolinee, per le situazioni più significative, cioè 3 terne a trifoglio interrate, con il software dedicato, i risultati sono evidenziati di seguito.

Per la parte interna alle cabine è stato eseguito un calcolo dedicato (rif. Capitolo 9), anche se tali installazioni, inerenti la gestione e la manutenzione dell'impianto fotovoltaico, sono relative ad aree circoscritte e accessibili al solo personale specializzato, la cui esposizione è gestita dal rispettivo documento di valutazione dei rischi DVR professionali.

## **4. Calcolo delle fasce di rispetto**

### **4.1. Fascia di Rispetto**

È lo spazio circostante un generico elettrodotto, che comprende tutti i punti al di sopra e al di sotto del suolo, caratterizzati da un valore di induzione magnetica maggiore o uguale all'obiettivo di qualità (3 $\mu\text{T}$ ).

### **4.2. Distanza di prima approssimazione (DPA)**

È la distanza in pianta, al livello del suolo, della proiezione, a partire dal centro della linea, della regione in cui l'induzione magnetica raggiunge il valore di 3  $\mu\text{T}$ ; tale zona può essere vista in sezione come una ellisse o un cerchio a seconda della disposizione geometrica dei conduttori.

Per il calcolo delle fasce di rispetto, sono utilizzati i seguenti dati:

- Portata di corrente in servizio normale;
- Numero e tipologia dei conduttori (diametro e materiali), geometria della disposizione;
- Condizioni di fase relative alle correnti nei conduttori;
- Profondità/altezza dei conduttori rispetto al suolo.

Il modello di calcolo regolato dalla norma CEI 106-11 è quello previsto dalla legge di Biot-Savart, la quale calcola il valore dell'induzione magnetica su un piano trasversale alla linea (aerea o interrata), quindi su due sole dimensioni. Questo considera la stima dell'induzione magnetica di ciascun conduttore percorso da corrente e l'applicazione successiva della sovrapposizione degli effetti per determinare l'induzione magnetica totale. Le ipotesi di calcolo, prevedono che i conduttori siano considerati rettilinei, orizzontali, indefinitamente<sup>1</sup> lunghi e paralleli fra loro; che le correnti siano considerate concentrate negli assi centrali dei conduttori.

Non sono prese in considerazione le correnti indotte negli schermi (linee in cavo interrato), e viene assunto che il suolo sia perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico. Per le varie tipo-

logie di elettrodotto possono essere utilizzate le formule approssimate indicate nella Norma CEI 106-11, assieme alle formule da utilizzare per la valutazione del CEM.

Nello specifico, riferendoci alla conoscenza della induzione magnetica, una volta ottenute le componenti sul piano  $B_x$  e  $B_y$  (il modello è bidimensionale, componente  $B_z$  nulla), si applica la seguente formula per determinare l'induzione  $B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$$

Per i calcoli si è utilizzato un software specialistico in grado di applicare rapidamente le formule e di visualizzarne graficamente il risultato.

## 5. Caratteristiche cavidotti MT e BT

Considerato che l'energia elettrica prodotta dai pannelli fotovoltaici è prodotta in corrente continua, avendo scelto inverter di stringa, i conduttori sono distribuiti e fissati alle strutture di supporto pannelli del campo, pertanto i cavi di collegamento DC (Direct Current), sono in gran parte entro canaline metalliche sulle strutture stesse, salvo alcuni brevi attraversamenti trasversali interrati. Dati i raggruppamenti contenuti ed il tipo di corrente, il campo magnetico è ridotto inoltre è statico, pertanto non essendo significativo agli effetti della salute, non è stato calcolato.

I cavi in alternata a 800 V in uscita dagli inverter, devono invece essere interrati e si concentrano prima di arrivare nelle rispettive cabine, sono comunque tutti all'interno del campo fotovoltaico, in zone non accessibili a persone comuni.

I collegamenti in media tensione necessari a raccogliere l'energia dalle cabine di trasformazione BT/MT prevedono una configurazione radiale, l'intera rete MT è stata prevista con cavo di sezione pari a 240 mm<sup>2</sup>, nel collegamento in media tensione verso la stazione MT/AT del produttore è previsto il massimo numero di terne in uno scavo che è pari a tre, i cavi di sezioni inferiori sono relativi solo a trasformatori 30kV/400 V per gli ausiliari, sono di potenza ridotta ed interni all'area delle cabine per le quali la DPA di 5 m è sempre cautelativamente valida.

### 5.1. Caratteristiche dei conduttori.

Di seguito si riportano le caratteristiche dei conduttori MT e BT significativi ai fini dei campi elettromagnetici.

I conduttori utilizzati sono in rame (eventualmente in alluminio, da decidere in fase esecutiva dopo ulteriori verifiche e conferma su posa e distanze), isolamento in polimeri estrusi, con elevate prestazioni elettriche, meccaniche e termiche; di seguito nella tabella sono riportate le caratteristiche.

#### 5.1.1. Caratteristiche dei conduttori MT

Cavo tripolare ad elica visibile tipo ARG7H1RX- 18/30 kV – per posa interrata a trifoglio  
(elica visibile)

---

<sup>1</sup> Nel senso che la dimensione trasversale del conduttore è trascurabile rispetto a quella longitudinale.

Formazione e sezione [mm <sup>2</sup> ]	Diametro indicativo [mm]	Indicativo anima [mm]	Diametro circoscritto [mm]	Peso Indicativo [kg/m]	Portata in aria [A]	Portata interrato [A]
3x240	18,3	45,7	96,8	6,910	483	418

Tabella 2

Cavo unipolare tipo ARG7H1RX– 18/30 kV – ( posa solo interno cabine per trafo aux)

Formazione e sezione [mm <sup>2</sup> ]	Diametro conduttore [mm]	Spessore isolante [mm]	Diametro esterno [mm]	Peso Indicativo [kg/m]	Portata in aria in piano [A]	Portata interrata trifoglio [A]
3x1x50	8,1	8,0	34,10	3 x 1,155	174	168

Tabella 3

### 5.1.2. Caratteristiche dei conduttori BT - FG16R16 ed FG16OR16 - 0,6/1kV

Formazione e sezione [mm <sup>2</sup> ]	Diametro conduttore [mm]	Spessore isolante [mm]	Diametro esterno [mm]	Peso Indicativo [kg/m]	Portata in aria [A]	Portata in tubo interrato [A]
3x1x240	19,2	1,7	30,40	3 x 2,400	634	379
1x3x70	10,5	1,1	35,6	1x 2,700	246	174

Tabella 4

### 5.1.3. Caratteristiche dei condotti sbarre prefabbricati BT - 1 kV

Tipo KTC tensione nominale di isolamento 1000 V, tensione nominale di esercizio 1000 V

Formazione e sezione [mm <sup>2</sup> ]	Altezza sezione condotto [mm]	Larghezza sezione condotto [mm]	Isolante interno Tipo	Peso Indicativo [kg/m]	Portata IP 55 [A]
2x120x6	204	140	Poliestere	44	2'500

Tabella 5

## 6. Calcolo delle fasce di rispetto

**Fascia di Rispetto:** lo spazio circostante un elettrodotto, che comprende tutti i punti al di sopra e al di sotto del suolo, caratterizzati da un valore di induzione magnetica maggiore o uguale all'obiettivo di qualità ( $3\mu\text{T}$ ).

**Distanza di prima approssimazione (DPA):** è la distanza in pianta al livello del suolo, della proiezione, a partire dal centro della linea, della regione in cui l'induzione magnetica raggiunge il valore di  $3\mu\text{T}$ ; tale zona può essere vista in sezione come una ellisse o un cerchio a seconda della disposizione geometrica dei conduttori.

Per il calcolo accurato delle fasce di rispetto, sono utilizzati i seguenti dati:

- Portata di corrente in servizio normale;

- Numero e tipologia dei conduttori (diametro e materiali), geometria della disposizione;
- Condizioni di fase relative alle correnti nei conduttori;
- Profondità/altezza dei conduttori rispetto al suolo.

Il modello di calcolo regolato dalla norma CEI 106-11 è quello previsto dalla legge di Biot-Savart, la quale calcola il valore dell'induzione magnetica su un piano trasversale alla linea (aerea o interrata), quindi su due sole dimensioni. Questo considera la stima dell'induzione magnetica di ciascun conduttore percorso da corrente e l'applicazione successiva della sovrapposizione degli effetti per determinare l'induzione magnetica totale. Le ipotesi di calcolo, prevedono che i conduttori siano considerati rettilinei, orizzontali, indefinitamente<sup>2</sup> lunghi e paralleli fra loro; che le correnti siano considerate concentrate negli assi centrali dei conduttori.

Non sono prese in considerazione le correnti indotte negli schermi (linee in cavo interrato), e viene assunto che il suolo sia perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico.

Le varie tipologie di elettrodotto sono riportate nel seguito, assieme alle formule da utilizzare per la valutazione del CEM. Nello specifico, riferendoci alla conoscenza della induzione magnetica, una volta ottenute le componenti sul piano  $B_x$  e  $B_y$  (il modello è bidimensionale, componente  $B_z$  nulla), si applica la seguente formula per determinare l'induzione magnetica complessiva:

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} [\mu T]; (1)$$

Per i calcoli si è utilizzato un software specialistico in grado di applicare rapidamente le formule e di visualizzarne graficamente il risultato.

### 6.1. Linee con cavi unipolari posati a trifoglio.

La formula da applicare è la seguente:

$$B = \frac{PI}{R^2} \cdot 0,1 \cdot \sqrt{6} [\mu T]; (2)$$

dove  $P$  [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti (in caso di distanze differenti,  $P$  diventa la media delle distanze fra i conduttori esterni e quello centrale),  $I$  [A] è la corrente, simmetrica ed equilibrata, che attraversa i conduttori,  $R$  [m] è la distanza dal baricentro dei conduttori alla quale calcolare l'induzione magnetica  $B$  (la formula è valida per  $R \gg P$ ). E' anche possibile calcolare la distanza  $R'$  dal baricentro dei conduttori, alla quale l'induzione magnetica si riduce all'interno del valore obiettivo di qualità di  $3 \mu T$ :

$$R' = 0,34 \cdot \sqrt{PI} [m]; (3)$$

Invece della distanza dal baricentro può essere significativo conoscere la spazio dall'asse della linea a livello del suolo ( $h=0$ )  $R_0$ , oltre il quale l'induzione magnetica si riduce all'interno del valore obiettivo di qualità di  $3 \mu T$ :

$$R_0 = \sqrt{0,115 \cdot P \cdot I - d^2} [m]; (4)$$

---

<sup>2</sup> Nel senso che la dimensione trasversale del conduttore è trascurabile rispetto a quella longitudinale.

(la formula è generale e con d si è indicata la profondità di posa).

## **6.2. Linea con cavi unipolari posati in piano.**

La formula da applicare può essere la stessa utilizzata per le linee è la seguente:

$B = \frac{PI}{R^2} \cdot 0,2 \cdot \sqrt{3}$  dove P [m] è la distanza fra i conduttori (in caso di distanze differenti, P diventa la media delle distanze fra i tre conduttori), I [A] è la corrente, simmetrica ed equilibrata, che attraversa i conduttori, R [m] è la distanza dal baricentro dei conduttori alla quale calcolare l'induzione magnetica B (la formula è valida per  $R \gg P$ ). Rovesciando la logica, è anche possibile calcolare la distanza R' dal baricentro dei conduttori, alla quale l'induzione magnetica si riduce al valore dell'obiettivo di qualità di 3  $\mu$ T:

$$R' = 0,286\sqrt{P \cdot I}$$

R<sub>0</sub> la distanza dall'asse della linea a livello del suolo h = 0, oltre la quale l'induzione magnetica si mantiene entro il valore dei 3  $\mu$ T, previsto come obiettivo di qualità (d è la profondità di posa):

$$R_0 = \sqrt{0,082 \cdot P \cdot I - d^2} \quad (5)$$

calcoli confermano la validità delle formule approssimate, che causano un errore minimo rispetto al metodo accurato dettato dalla norma CEI 106-11.

## **6.3. Linea in cavo interrato con più terne.**

Per questa tipologia di posa, non sono fornite formule approssimate, ritenendole non sufficientemente affidabili o comunque troppo complicate essendo molte le variabili geometriche ed elettriche che entrano in gioco. Si consiglia di ricorrere esclusivamente al modello standardizzato previsto dalla CEI 211-4 o ad un software di calcolo. E' comunque interessante il confronto grafico (figura 2) che illustra, tra le soluzioni delle due terne posate in piano (accostate o ad una certa distanza fra loro) oppure a trifoglio (sempre con le due modalità; accostate o ad una certa distanza fra loro); la soluzione migliore è quella delle due terne in piano a contatto.

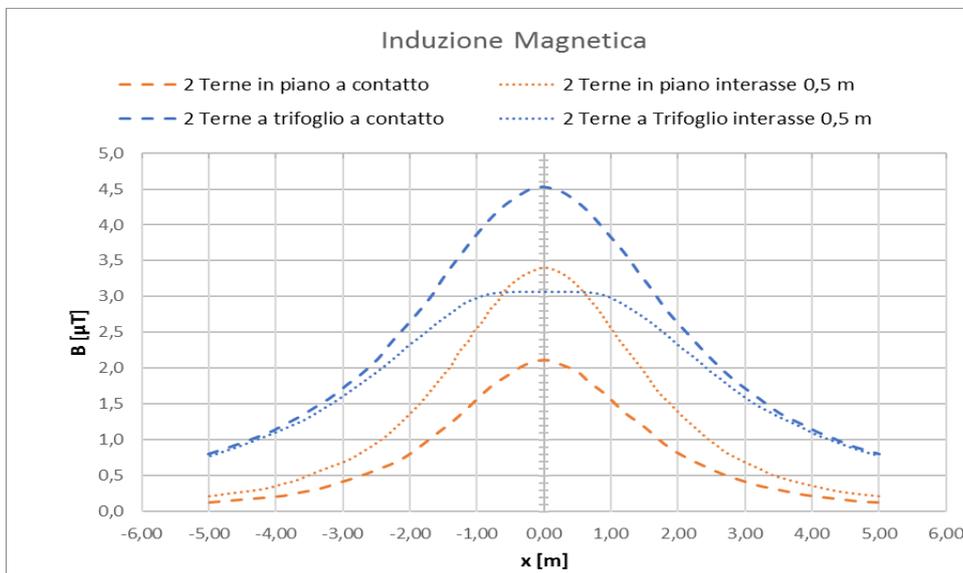


Figura 1 - Confronto induzione magnetica a 1 metro da terra di due terne (RST-TRS) posate: a trifoglio e in piano,  $I = 1000$  A, diametro cavi 100 millimetri (rif. norma CEI 106-11).

## 7. Configurazione geometrica e fasce di rispetto in progetto.

### 7.1. Dati utilizzati per la valutazione

Nel progetto considerato, la condizione più significativa per l'esposizione delle persone è quella del cavidotto esterno di connessione MT dalla cabina di concentrazione del campo fotovoltaico fino alla stazione MT/AT del Produttore, entro l'area del condominio AT.

Sarà pertanto di particolare importanza verificare l'intensità dell'induzione magnetica e del campo elettrico con tre terne interrate in MT.

#### 7.1.1. Cavi interrati MT.

- Corrente nominale: 418 A (condizione di portata massima al limite termico);
- Numero di conduttori per fase 1;
- Numero di anime 3;
- Numero massimo di cavi (terne) 3;
- Profondità di posa prevista: da 1 a 1,40 m;
- Tensione nominale: 30 kV.
- Configurazione geometrica: quadrupla terna a trifoglio in piano.

### 7.2. Fascia di rispetto.

Di seguito viene riportata la descrizione e la geometria dei conduttori, in sezione verticale.

Dal calcolo successivo, si può dedurre la regione in cui l'induzione magnetica è inferiore ai 3  $\mu$ T, individuata su un "tubo" ipotetico, e, proiettando sul piano suolo, la sua larghezza dell'asse maggiore, è possibile ricavare la distanza di prima approssimazione (D.P.A.).

## 8. Valutazione CEM mediante SW per le linee di I e II categoria

Per la verifica previsionale dell'induzione magnetica e del campo elettrico, viene affrontata la condizione più significativa, in termini di intensità, in cui saranno presenti tre terne di cavi MT che trasportano tutta la potenza prodotta dall'impianto agro-fotovoltaico.

Calcolando l'induzione magnetica ad una profondità di interramento dei cavi MT, dalla figura 2 si evince che, a livello del suolo, viene rispettato il limite dei  $3 \mu\text{T}$ , oltre una fascia di larghezza superiore ai 2,25 m dall'asse linea. Si può affermare con riferimento al nostro caso, che l'obiettivo di qualità è rispettato al di fuori di questa fascia. Nella pagina successiva, viene rappresentata la distribuzione del campo elettrico generato dalla linea con quattro terne a MT; anche nella valutazione di questo campo, è possibile notare che non ci sono problemi, la profondità di interramento, stabilita, determina che la curva ad isolivello di  $5 \text{ kV/m}$ , sia interamente al di sotto del piano di camminamento.

### 8.1. Induzione magnetica cavi MT con tre terne a trifoglio

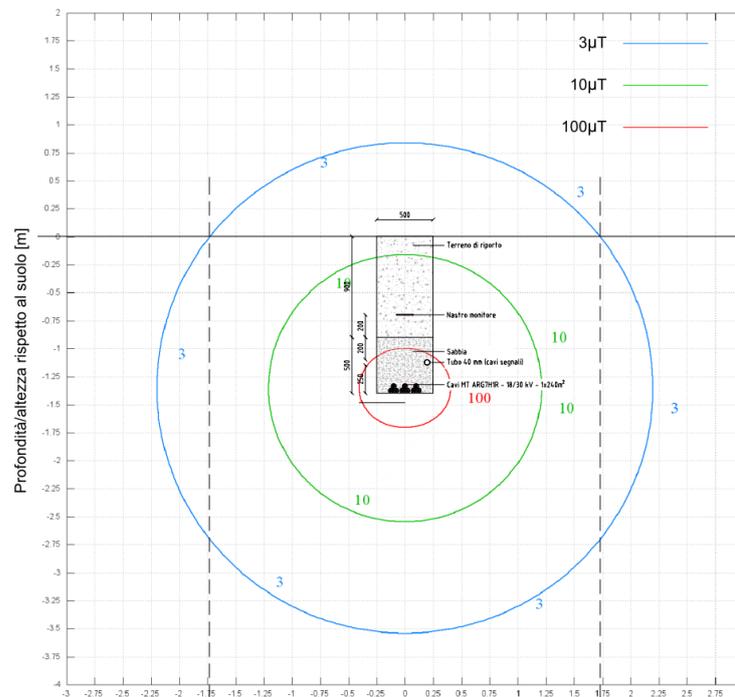


Figura 2 - Curve isolivello dell'induzione magnetica (rispettivamente 3, 10 e  $100 \mu\text{T}$ )

### 8.2. Campo elettrico per cavi MT

Il campo elettrico, per la profondità di posa adottata e per la schermatura dei cavi, in nessuna delle configurazioni, pone problemi per il rispetto dei limiti normativi, pertanto non è stato calcolato né rappresentato.

### 8.1. Induzione magnetica cavi BT multipolari in fascio

Di seguito viene mostrata la simulazione dell'induzione magnetica B relativa a 20 cavi BTac, provenienti dagli inverter che arrivano in una tipica cabina BT/MT.

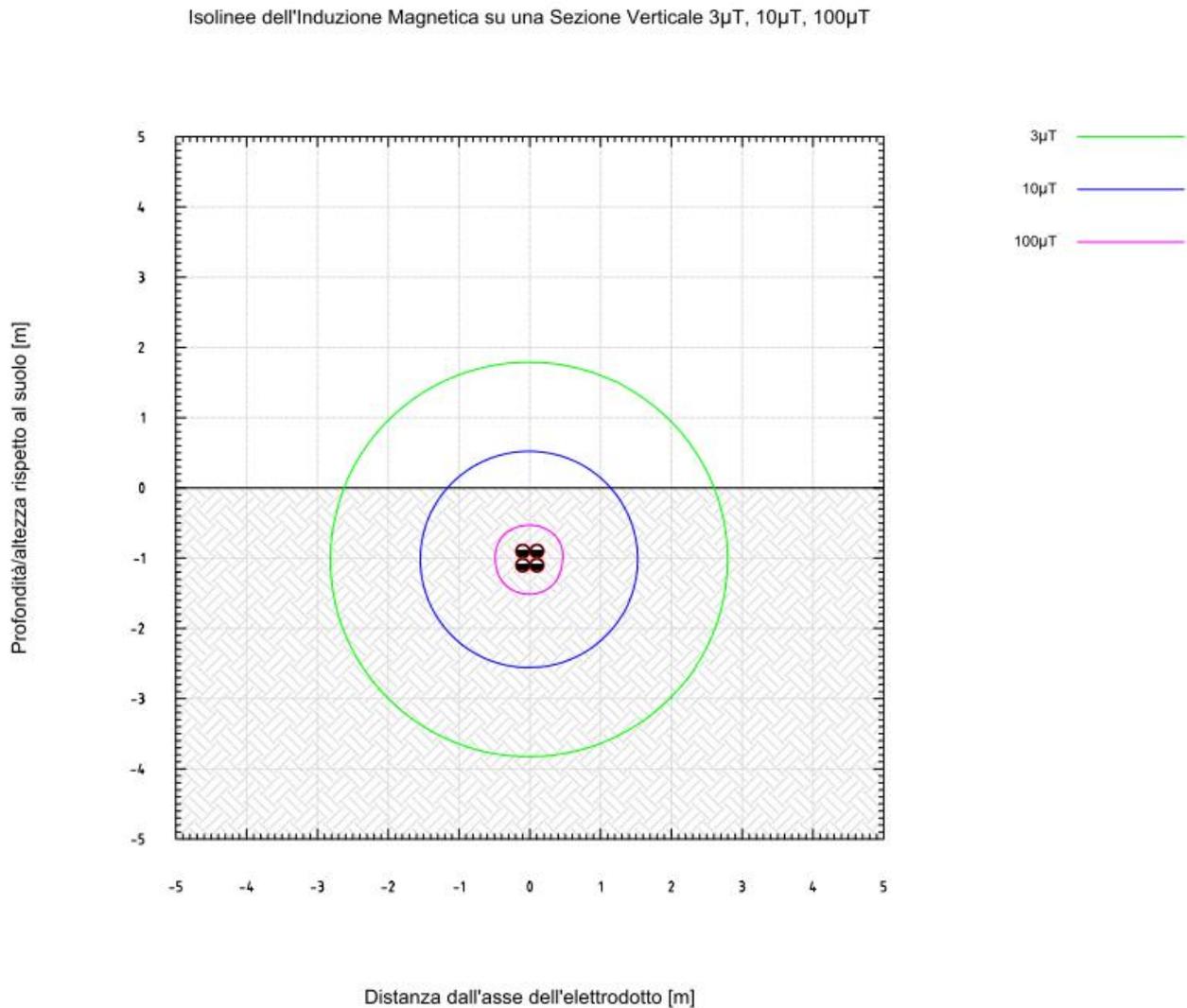


Figura 3 – Tipico Cavidotto BT - Curve isolivello dell'induzione magnetica (3, 10 e 100  $\mu$ T)

Come si può dedurre, con le profondità di interrimento rappresentate, la DPA è minore di 3m, inoltre il calcolo è cautelativo perché per la corrente è stata considerata la corrente nominale del cavo (portata I<sub>z</sub>), mentre la corrente di impiego è nettamente inferiore.

## 9. Calcolo delle fasce di rispetto per le cabine di campo

### 9.1. Calcolo distanza di prima approssimazione per le cabine MT/BT di campo

La valutazione deve essere eseguita nel rispetto delle norme legislative e tecniche nello specifico il DM 29/05/08, mentre ci sono metodologie di calcolo semplificato, già validate per le cabine standard di distribuzione assimilabili a quelle dei produttori per potenze fino a 630 kVA, per potenze superiori non ci sono valori tabulati, occorrono pertanto dei calcoli dedicati, come meglio specificato di seguito.

#### 9.1.1. Cabine MT/BT trafo per i servizi ausiliari.

Per le cabine della distribuzione secondaria MT/BT il Gestore e-distribuzione ha utilizzato la metodologia ai sensi del DPCM 08 luglio 2003, si tratta di un metodo approssimato di calcolo attraverso la determinazione della distanza di prima approssimazione  $D_{PA}$  secondo la seguente formula:

$$D_{PA} = 0,40942 \cdot \sqrt{I} \cdot x^{0,5241} \text{ [m]; (8)}$$

Dove:

- $I$  è la corrente nominale secondaria del trasformatore;
- $x$  è il diametro dei cavi in uscita dal trasformatore.

La formula è stata ricavata considerando un sistema trifase, percorso da una corrente pari a quella nominale del trasformatore, e con distanza tra le fasi pari al diametro dei cavi in uscita dal trasformatore stesso. Tale procedimento può essere applicato a cabine box con trasformatori con potenza apparente di 250 - 400 - 630 kVA.

Nella tabella seguente sono riportate le distanze di prima approssimazione per le taglie, sopra elencate, dei trasformatori MT/BT, nel caso si abbia un diametro del conduttore di circa 0,04 m.

Potenza trasformatore [kVA]	Corrente al secondario [A]	D.P.A. [m]	
		Esatta	Approssimata
250	361	1,43	1,50
400	723	2,03	2,00
630	909	2,28	2,50

Tabella 6 - Distanze di Prima Approssimazione per Trasformatori con tensione secondaria 400 V

Il procedimento su esposto, richiamato dal DM 29/05/08, è stato applicato e validato solo a cabine box con trasformatori con potenza apparente di 250 - 400 - 630 kVA, di fatto alle cabine di distribuzione dei gestori di rete (es. e-distribuzione), esso è utilizzabile per i trasformatori ausiliari previsti da 100 kVA e quelli al servizio delle singole cabine da 5 kVA, ma non è adattabile alle cabine di potenza del produttore, che hanno configurazioni variegata e nel nostro caso potenze molto superiori, pertanto si procederà con calcoli dedicati relativi alle cabine di campo con potenza 5 MVA.

### 9.1. Cabine MT/BT da 2 x 2500 kVA

E' necessario eseguire un calcolo con metodi noti in letteratura tecnica e riconosciuti normativamente, che permettano di valutare le distanze oltre le quali l'induzione magnetica  $B$  sia inferiore a  $3 \mu T$ .

La norma CEI che più si occupa dell'argomento (oltre quelle generali sui campi magnetici) è la CEI 106-12.

Mentre per le spire di raggio R, inerenti gli avvolgimenti del trasformatore, il campo magnetico decresce in maniera inversamente proporzionale al cubo della distanza D (ove  $D \gg R$ ) e si riduce ad  $10^{-3}$  del valore iniziale (di fatto annullandosi), per  $D=10 R$ , ciò non può dirsi per i cavi o i condotti sbarre prefabbricati.

Le formule a cui fare riferimento sono quelle del paragrafo 4.2 della CEI 106-12, sintetizzate nella figura sottostante.

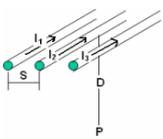
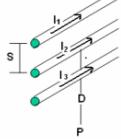
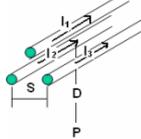
a) Terna trifase di conduttori in piano	b) Terna trifase di conduttori in verticale	c) Terna trifase di conduttori a triangolo
		
$B(\mu T) = 0,2 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{I \cdot S}{D \cdot D}$		$B(\mu T) = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{I \cdot S}{D \cdot D}$

Figura 4 - Calcolo approssimato dell'induzione B in terne equilibrate e simmetriche (CEI 106-12)

Attenzione, come si vede dalla figura la norma utilizza (scelta poco appropriata), S come distanza fra i conduttori e D come distanza alla quale valutare l'induzione.

Sia per le linee bifasi che trifasi, il campo magnetico è inversamente proporzionale al quadrato della distanza dalla sorgente ed è direttamente proporzionale alla distanza S tra i singoli conduttori di fase; a parità di distanza dalla sorgente il campo cresce in modo proporzionale con il rapporto S/D.

La taglia del trasformatore prevista nelle cabine dell'impianto agro-fotovoltaico è quella da 5'000 kVA (costituita da 2 trasformatori da 2500 kVA ciascuno, con potenza effettiva in ingresso al trasformatore è pari a 2'273 kVA), con una tensione secondaria nominale di 800V, ciascun trasformatore ha una corrente nominale (valore conservativo rispetto alla corrente effettiva) BT a 800 V al secondario trafo di 1'804 A.

Il collegamento lato 800 V dal trasformatore al quadro è il punto in cui la corrente è più elevata, invece di 4 terne cavi da 240 in parallelo, si può utilizzare un condotto sbarre prefabbricato che, oltre alle caratteristiche elettromeccaniche superiori (tenuta al corto circuito e diminuzione delle sollecitazioni elettrodinamiche sugli attacchi al trasformatore ed al quadro BT), con l'involucro metallico delle sbarre conduttrici e le dimensioni compatte riducono in maniera sostanziale i campi elettrico e magnetico rispettando di fatto l'obiettivo qualità del DPCM.

Il condotto sbarre prefabbricato considerato nel calcolo è il Canalis KTC 2'500<sup>3</sup>, che ha le sbarre (2x120x6 per fase), in rame isolate con dei setti in poliestere, confinate entro involucro in acciaio, con altezza 244 mm e larghezza complessiva di soli 140 mm.

Per completezza calcoliamo il valore dell'induzione considerando anche l'opzione di 4 cavi in parallelo per ciascuna fase, utilizzeremo le caratteristiche geometriche del cavo individuato, per il calcolo della DPA, che risulta ricavando D dalla formula **a** (o anche **b**) della precedente Fig. 7.

$$D = \sqrt{\frac{0,2 \cdot I \cdot S}{\sqrt{3}}}$$

Il risultato, con i dati suddetti è il seguente:

D = 4,73 m che possiamo approssimare cautelativamente a 5 m.

La Distanza di Prima Approssimazione per la cabina da **5'000 kVA** (2 x 2500 kVA), compartimentata come da descrizione precedente va pertanto considerata: **DPA = 5 m** (valore cautelativo).

La zona intorno alle cabine BT/MT va intesa di transito e non di permanenza di persone comuni, essa potrà essere invece occasionalmente occupata da personale tecnico elettrico nei momenti di controllo, manutenzione ed attività specialistiche, eseguite comunque nel rispetto dei programmi di sicurezza, valutata nella globalità dei rischi professionali delle aziende di manutenzione.

Lo spazio ove i valori sono notoriamente più elevati di 3 μT (es. immediate vicinanze dei cavi BT in risalita verso il quadro BT di parallelo inverter), è riservato esclusivamente al personale specializzato elettrico, per i quali i tempi di esposizione devono sempre essere definiti nei rispettivi documenti di valutazione dei rischi aziendali (DVR).

## 10. Valutazione campi elettromagnetici stazione Produttore

### 10.1. DPA per la Stazione Produttore MT/AT

Per la parte AT della stazione Produttore le DPA, si possono considerare in maniera generale, in funzione delle configurazioni tipiche, valutate per le cabine Primarie, come indicato nel documento ENEL, "**Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche**", Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08, le cui considerazioni possono essere di riferimento per la stazione Produttore.

Per le DPA delle linee AT, di riferimento in particolare per le linee di proprietà del Produttore, si possono utilizzare i riferimenti del documento suddetto congiuntamente a quelli contenuti nei documenti del Codice di Rete emessi da Terna.

Tutti i documenti citati, tengono conto delle indicazioni Normative (documenti CEI e IEC) e delle Legislative nazionali e comunitarie.

---

<sup>3</sup> Caratteristiche costruttore Schneider Electric. Dati ufficiali di catalogo del costruttore indicano, intorno al condotto

## 10.2. LINEE AEREE E CAVI DI III CATEGORIA

### 10.2.1. Riferimenti delle DPA per la stazione Produttore.

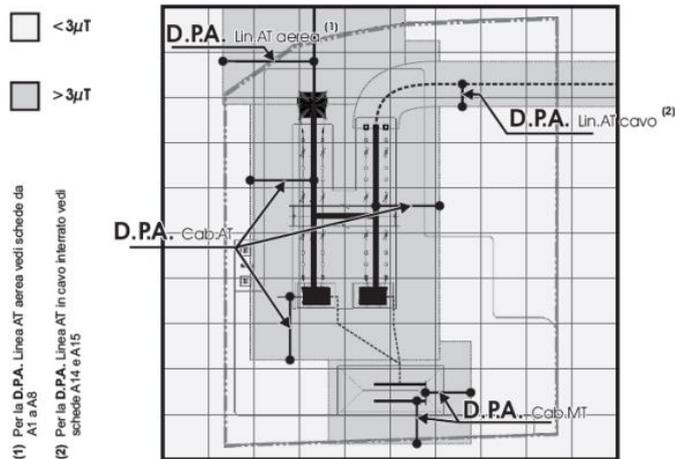


Figura 5 - Rappresentazione grafica DPA in CP AT/MT (da Guida ENEL)

Tipologia trasformatore [MVA]	CABINA PRIMARIA						Riferimento
	D.P.A. Cab. da centro sbarre AT	Distanza tra le fasi AT	Corrente	D.P.A. Cab. da centro sbarre MT	Distanza tra le fasi MT	Corrente	
	m	m	A	m	m	A	
63	14	2.20	870	7	0.38	2332	A16

Figura 6 - Valori DPA CP AT/MT (da Guida ENEL)

Ad integrazione di questa tabella, ci sono da fare le seguenti osservazioni:

- la corrente effettiva in AT, con il Trafo previsto da 50 MVA (ONAF), è di 192 A;
- la corrente nominale in MT (30 kV), per lo stesso montante Trafo, è di 962 A;

pertanto in generale i valori di DPA indicati in tabella per le Cabine Primarie sono cautelativamente validi anche per la Stazione MT/AT Produttore.

## 10.3. Valutazioni Previsionali tramite SW

Tramite il SW dedicato, inserendo la corrente di progetto, si può verificare in maniera più precisa, in termini previsionali, la regione in cui l'induzione magnetica sarà inferiore ai 3  $\mu T$ ,

---

sbarre prefabbricate da 2'500 A, valori dell'induzione magnetica B pari a 1,5  $\mu T$  a distanza di 1 m

individuata dall'involuppo della superficie dell'isolinea corrispondente, proiettata sul piano suolo per la sezione aerea (stazione Produttore).

### 10.1. Sbarre AT in aria

Di seguito vengono rappresentati calcoli per la parte in aria, in particolare per questa parte oltre le curve a induzione costante, sono stati calcolati i livelli del campo elettrico, infatti in tale zona anche il campo elettrico è significativo, per quanto, come verrà meglio riepilogato nelle conclusioni, tali aree sono accessibili solo a personale specialistico, per il quale, con riferimento ai tempi, valgono le valutazioni dei rischi dedicate.

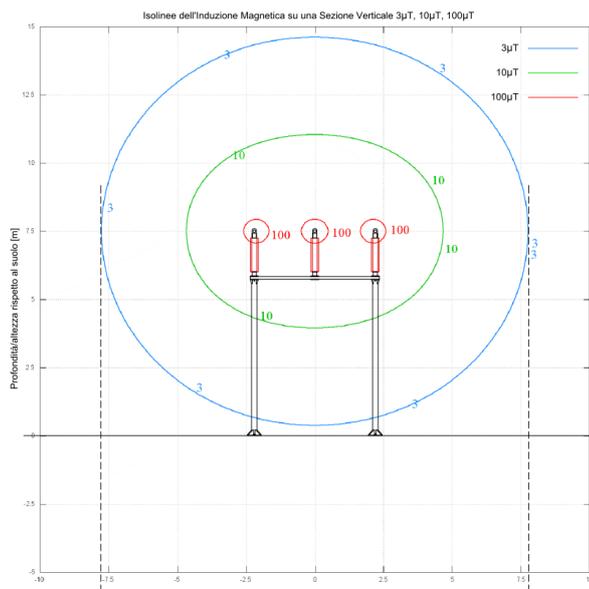


Figura 7 - Sbarre AT in aria - Isolinee induzione magnetica 3, 10 e 100 μT

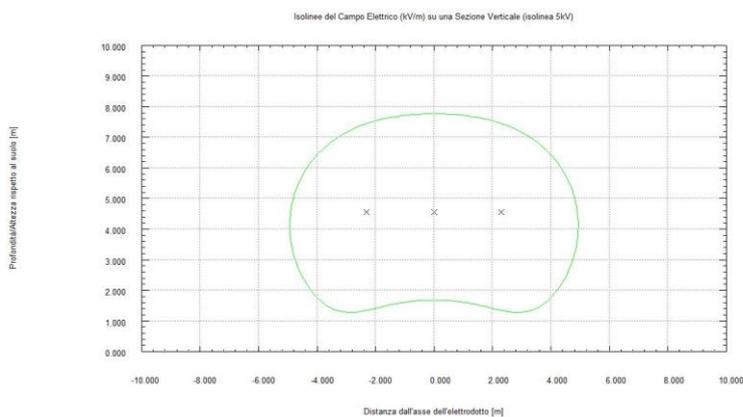


Figura 8 - Sbarre AT in aria - Isolinea campo elettrico 5 kV/m

## 10.2. Caratteristiche del collegamento

Il collegamento alla stazione Terna per l'impianto agro-fotovoltaico avrà uno sviluppo in lunghezza del cavo interrato, dallo stallo AT sbarre comuni del Condominio Produttori <sup>4</sup> fino alla stazione Terna attigua, che è stato valutato di circa 15 m.

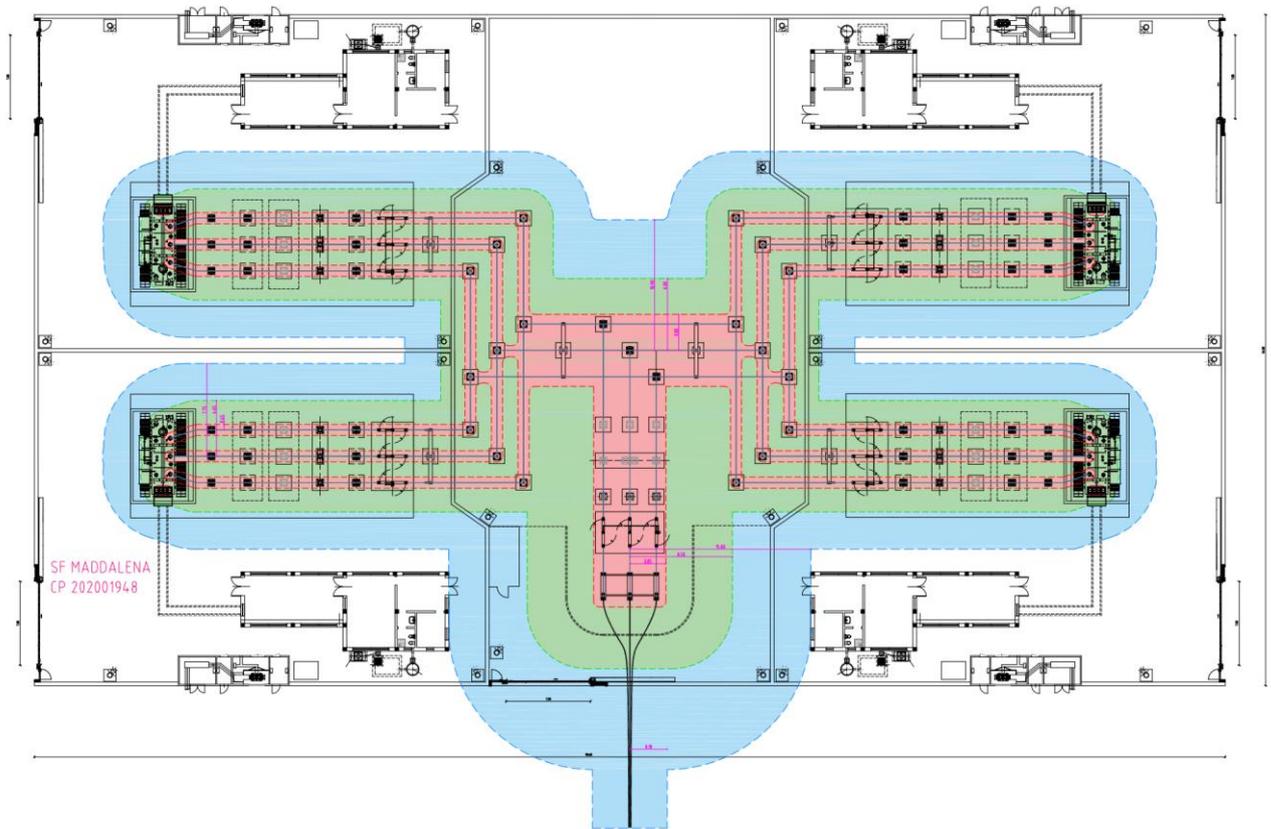


Figura 9 - Sbarre AT in aria - Zone induzione magnetica 3, 10 e 100  $\mu$ T

## 10.3. Caratteristiche dei conduttori AT

Le caratteristiche del cavo AT che connette dallo stallo AT sbarre comuni del Condominio Produttori fino alla Stazione AT di proprietà Terna S.p.A sarà poi dettagliato meglio dal Produttore che effettivamente per primo completerà la connessione a Terna.

---

<sup>4</sup> In assenza di altre informazioni è stato ipotizzato costituito da 4 Produttori della stessa identica potenza di 61.670,700 kW del campo agro-fotovoltaico

Essendo un tratto molto breve, non si è proceduto al calcolo tramite il SW, tuttavia sono stati indicati i riferimenti delle DPA ricavati dalla Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08, le cui considerazioni possono essere di riferimento per la stazione Produttore.

Corrente nominale (di riferimento): 1100 A;

- Numero di conduttori per fase 1;
- Numero di anime 3;
- Numero di terne 1;
- Profondità di posa prevista: 1,60 m;
- Tensione nominale: 150 kV.
- Configurazione geometrica: terna in piano.

I cavi di AT saranno interrati ad una quota che può variare (in funzione di eventuali necessità di attraversamento) da 1,60 m a 2,00 m dal livello del suolo.

### 10.3.1. Riferimenti delle DPA per la linea in cavo Produttore.

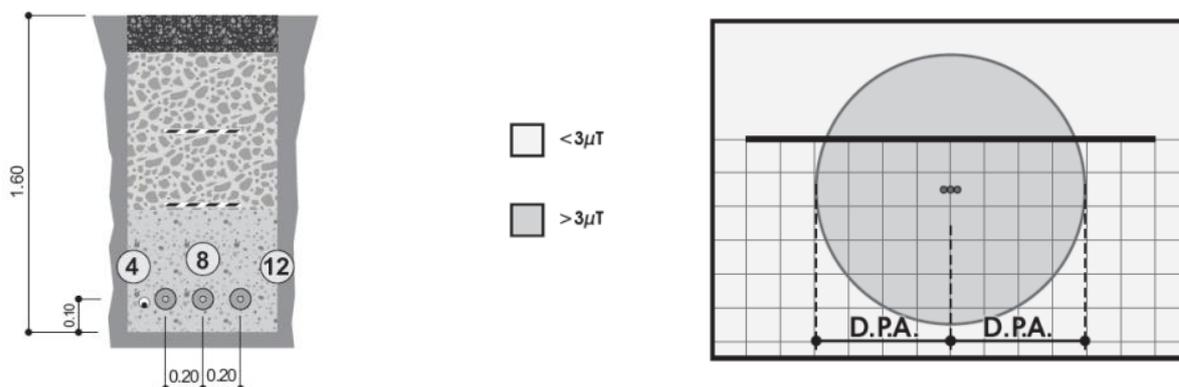


Figura 10 - Linea in cavo interrato in piano e DPA (es. caso attraversamento) - da Guida ENEL

CONDUTTORI IN ALLUMINIO-ACCIAIO				
Diametro Esterno [mm]	Sezione Totale [mm <sup>2</sup> ]	CEI - 11-60 Portata [A]		
		Corrente A	D.P.A. m	Riferimento
108	1600	1110	5.10	A14

Figura 11 - Linea in cavo interrato in piano e DPA (es. caso attraversamento) - da Guida ENEL.

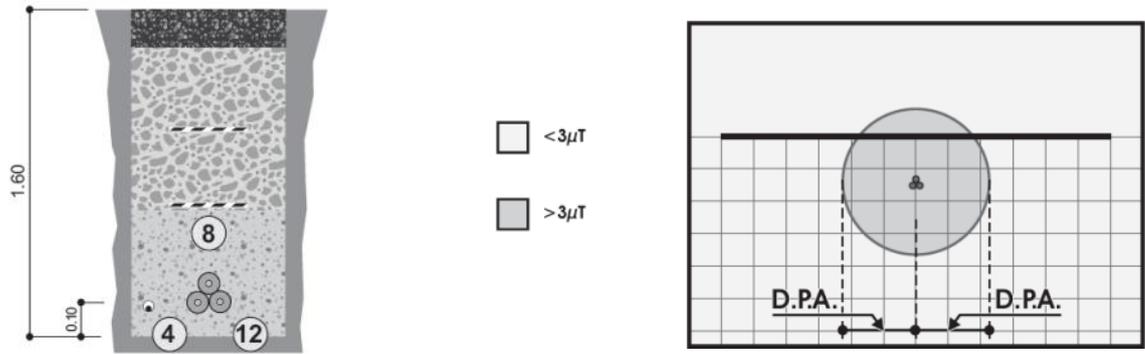


Figura 12 - Linea in cavo interrato a trifoglio e DPA - da Guida ENEL

CONDUTTORI IN ALLUMINIO-ACCIAIO				
Diametro Esterno [mm]	Sezione Totale [mm <sup>2</sup> ]	CEI - 11-60 Portata [A]		
		Corrente A	D.P.A. m	Riferimento
108	1600	1110	<b>3.10</b>	A15

Figura 13 - Linea in cavo interrato a trifoglio e DPA - da Guida ENEL

Anche in questo caso i valori delle DPA si possono considerare validi in modo cautelativo.

## Considerazioni conclusive dello studio previsionale

Considerato che i campi elettromagnetici associati agli impianti di produzione di energia rinnovabile trasferiscono la potenza alla frequenza industriale di 50 Hz, essi determinano campi indotti in aria con un contenuto energetico molto basso che decresce rapidamente all'aumentare della distanza dalle linee aeree e/o dai cavidotti. Per questo motivo, a differenza dei campi ad alta frequenza, non è di fatto applicabile il concetto di SAR<sup>5</sup>, richiamato nel documento solo per completezza normativa. Per quanto evidenziato nei calcoli, i livelli d'induzione magnetica, corrispondenti ai valori di corrente presunte circolanti nei conduttori, confermano che i valori limite, fuori dalle fasce di rispetto convenzionalmente definite, rispettano le soglie dei riferimenti legislativi per tutte le categorie: I, II e III. Le previsioni dei limiti d'esposizione sono state effettuate con riferimento a condizioni cautelative prendendo un valore di corrente corrispondente per i cavi interati alla portata dei conduttori che, invece lavoreranno con valori al di sotto di quello nominale.

### 10.4. Campi elettrici

Per i campi elettrici, considerati i livelli di tensione in gioco, la disposizione dei conduttori e gli schermi delle varie parti presenti nelle zone di impianto, considerando sia i modelli disponibili sulla letteratura tecnica, sia i calcoli effettuati, nelle aree operative generiche non vengono superati i valori limite di 5kV/m, sono stati comunque rappresentati i grafici derivanti dai calcoli per le condizioni più significative.

### 10.5. Campi magnetici

Ai fini delle delimitazioni, occorre evidenziare quali sono le zone normalmente accessibili, in particolare per le parti in quota normalmente non raggiungibili dal personale in normale attività (es. sbarre AT in aria), valori di induzione magnetica al di sopra di 3  $\mu$ T, dovute ad eventuali necessità di interventi in prossimità (secondo CEI 11-27) , saranno transitori.

In casi particolari i responsabili per la sicurezza come il Responsabile del Servizio di Protezione e Prevenzione RSPP, come già dovuto in generale, ancor di più per le aree industriali, valuterà se disalimentare la linea MT o le sbarre di stallo AT, interessante la zona di intervento.

Per le cabine di campo MT/BT, non ci sono zone di esposizione con permanenza oltre le 4 ore giornaliere, considerato poi che la tensione secondaria 800 V, determina correnti in ampere pari alla metà dei trasformatori di pari potenza a 400 V, le intensità dei campi magnetici nell'ambiente circostante sono inoltre ridotte per effetto del confinamento all'interno dei quadri per conduttori e degli involucri lo stesso metallici per i condotti sbarre prefabbricati.

A parte le zone interne a fianco del trasformatore e del quadro BT, nelle quali la presenza del personale è normalmente transitoria (per il solo controllo o riarmo apparecchiature), all'esterno a distanze superiori a quella di riferimento per la zona di rispetto DPA pari a 5 m, i valori dell'induzione magnetica sono inferiori a 3  $\mu$ T.

---

<sup>5</sup> SAR Specific Absorption Rate, Tasso di assorbimento specifico di energia misurato in W/kg, è un parametro definito per frequenze comprese fra 100 kHz e 10 GHz.