

Impianto agrivoltaico  
G R \_ M A N D A S  
della potenza di 26,576 MWp DC  
(26,025 MW AC in immissione)

REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA  
COMUNI DI GESICO E MANDAS

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

Elaborato:

novembre 2023

137PRG004R 00

Valutazione Previsionale Campi Elettromagnetici

PROPONENTE:



GREENERGY RINNOVABILI 10 S.R.L.

Via Borgonuovo, 9 - 20121 Milano

P.IVA 11892590966

REDATTORE SIA - CAPOGRUPPO:



**EGERIA**

ingegneria per l'ambiente

Corso V.Emanuele II, 90 Cagliari  
P.Iva 03528400926  
Tel. +39 328 82 88 328  
info.egeria@gmail.com - www.egeriagroup.net

GRUPPO  
DI  
LAVORO

Dott. Ing. Barbara Dessì (EGERIA)  
Dott.ssa Arch. Elisabetta Erika Zucca (EGERIA)  
Dott.ssa Ing. Elisa Mura (EGERIA)  
Dott. Ing. Marco A. L. Murru (Ingegnere elettrico)  
Dott. Archeol. Marco Cabras (Archeologo)  
Dott. Geol. Nicola Demurtas (Geologo)  
Dott. Nat. Francesco Mascia (Botanico e Agrotecnico)  
Dott. Nat. Maurizio Medda (Faunista)  
Dott. Agr. Pasqualino Tammaro (Agronomo)  
Dott. Piero Angelo Salvatore Rubiu (Tecnico compet. in Acustica Ambientale)

## SOMMARIO

1.	<i>Premessa</i>	3
2.	<i>Oggetto e scopo.</i>	4
3.	<i>Riferimenti normativi e definizioni.</i>	4
3.1.	<i>Norme tecniche di riferimento</i>	4
3.2.	<i>Norme legislative e guide.</i>	5
3.3.	<i>Definizioni</i>	5
	<b>Campi elettrici.</b>	8
	<b>Campi magnetici.</b>	8
4.	<i>Fasce di rispetto per le linee aeree</i>	9
5.	<i>Linee aeree esistenti o di nuova installazione</i>	9
6.	<i>Fasce di rispetto per le linee interrato</i>	9
7.	<i>Linee Interrate</i>	10
7.1.	<i>Linee con cavi unipolari posati a trifoglio.</i>	10
7.2.	<i>Linea con cavi unipolari posati in piano.</i>	11
8.	<i>Cavidotti interrati tipologia di posa</i>	11
9.	<i>Valutazione CEM e DPA per i cavidotti 36 kV</i>	12
9.1.	<i>Campo magnetico dei cavi interrati</i>	12
9.2.	<i>Campo Elettrico cavi interrati</i>	14
10.	<i>Fasce di rispetto per le cabine</i>	14
10.1.	<i>Calcolo distanza di prima approssimazione per le cabine</i>	14
	10.1.1. Cabina di raccolta e trasmissione 36 kV	14
	10.1.2. Cabina di campo con inverter e trasformatore BT/AT	15
11.	<i>Risultati dello studio previsionale campi elettromagnetici</i>	16
11.1.	<i>Considerazioni sui calcoli</i>	16
	11.1.1. Campi magnetici	16
	11.1.2. Campi elettrici	16

## 1. Premessa

La società Grenergy Rinnovabili 10 S.r.l., (sinteticamente GRR10) parte del gruppo Grenergy Renovables SA, attivo nel campo delle energie rinnovabili, per lo sviluppo, la costruzione e la gestione degli impianti, ha incaricato la società Egeria S.r.l. per la progettazione dell'impianto agrivoltaico "GR Mandas", da **26,576 MW DC** e **26,025 MW AC**, integrato con un Sistema di Accumulo BESS di **44,032 MWh**, nel quale la potenza complessiva del convertitore PCS è di **10 MW**.

Essendo i convertitori PCS e Inverter del BESS bidirezionali, l'accumulo è in grado di prelevare o immettere dalla rete, pertanto in funzione della richiesta del Gestore di Rete, il totale immesso sulla rete può arrivare alla potenza in immissione totale di **FV + BESS fino a 28 MW** (prevista nella STMG), o anche a valori di punta più elevati se espressamente richiesto dal Gestore per esigenze della rete.

La connessione dell'impianto prevede la posa di un cavidotto interrato posato parallelamente alla SS 128, della lunghezza di circa 2 km ed il collegamento ad una nuova Stazione Elettrica (SE) di trasformazione della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) a 150/36 kV nel comune di Mandas.

Il progetto ricerca la coesistenza tra gli interventi necessari alla produzione di energia da fonti rinnovabili, la salvaguardia dei servizi ecosistemici e la valorizzazione del territorio e delle sue risorse in ottica agropastorale locale; con questo intento e assumendo come riferimento le Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici (pubblicate il 27 giugno 2022 dal MITE), prevede che la superficie interessata dall'installazione dei pannelli fotovoltaici, sia destinata alla semina di un prato-pascolo polifita stabile per il pascolamento libero degli ovini (prato-pascolo) ed erbai di graminacee per fienagione alternati a sulla. I pannelli fotovoltaici sono inseriti in tale contesto attraverso tracker a inseguimento monoassiale orientati nord-sud distanziati su file parallele in loc. Cuccuru Venugu, adeguata a questioni morfologiche ad accogliere questo tipo di strutture dinamiche.

La restante parte di impianto è prevista su strutture fisse orientate in direzione est-ovest; il layout d'insieme e la distanza tra le file di pannelli è funzionale alla semina e conduzione del prato polifita stabile e al pascolo e pertanto alla prosecuzione delle attività agro-pastorali già in essere, oggetto di miglioramento attraverso le soluzioni argomentate nella relazione agronomica.

Lo specchio successivo riepiloga le caratteristiche essenziali dell'impianto.

	<b>PROGETTO PRESENTATO</b>
Potenza pannello e tipologia (ipotesi)	<b>610 Wp - Canadian Solar BiHiKu7</b>
Potenza di picco dell'impianto (DC): fissi + inseguitori	<b>26'576 kWp: 16'755 kWp + 9'821 kWp</b>
N. pannelli totali su strutture: fisse + inseguitori	<b>43'568: 27'468 + 16'100</b>
Potenza in immissione (AC) Totale FV	<b>26'025 kW</b>
Potenza massima (AC) dei Convertitori PCS del BESS	<b>10'000 kW</b>
Energia Accumulabile dal Sistema BESS	<b>44'032 kWh</b>
n. cabine di campo (Skid)	<b>9</b>
Cabina di Raccolta e Trasmissione (CRT)	<b>1</b>
Cabine container accumulo BESS e convertitori PCS	<b>16 + 2</b>
Altre cabine / container funzionali (SCADA E TLC)	<b>1</b>
Altre cabine (CS) di Sezionamento presso Stazione Terna)	<b>1</b>

Tabella 1 - Dati sintetici impianto

## 2. Oggetto e scopo.

Oggetto della presente relazione è la valutazione previsionale dei campi elettromagnetici per l'impianto di produzione di energia fotovoltaica con potenza DC 26,576 MWp (26,025 MW AC in immissione), denominato "GR Mandas", da realizzarsi nei Comuni di Mandas e Gesico.

La connessione, secondo quanto previsto nel preventivo codice di rintracciabilità: 202203146 è prevista con connessione in antenna a 36 kV su una nuova SE RTN a 150/36 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN a 150 kV "Selegas–Nurri" previa realizzazione:

- dei raccordi della linea RTN 150 kV "S. Miali - Selegas" con la sezione 150 kV di una nuova SE di trasformazione RTN a 380/150 kV da inserire in entra - esce alla linea RTN 380 kV "Ittiri - Selargius";
- rimozione delle limitazioni sull'attuale direttrice a 150 kV "Santu Miali - Goni" prevista dal Piano di Sviluppo Terna.

In questo documento si valuteranno i campi elettrico e magnetico più significativi, compresi quelli determinati dalle opere di rete per la connessione in oggetto, includendo in particolare il cavidotto 36 kV dalla cabina di raccolta e trasmissione fino alla sezione a 36 kV della nuova SE Terna nella quale è prevista la connessione indicata nella STMG.

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

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 delle persone, 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), di fatto, è sufficiente riferirsi alla Direttiva quadro 89/391/CEE.

Lo studio viene effettuato per una valutazione previsionale di verifica dei livelli di riferimento legislativi, i risultati potranno essere eventualmente confrontati con misure strumentali effettuate in situ.

## 3. Riferimenti normativi e definizioni.

### 3.1. 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)

### **3.2. 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).
- Documento Enel - Linee Guida per l'applicazione del par. 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.2008

### **3.3. 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;
- **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.

#### **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.

### **Effetti non termici**

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

Il VLE relativo agli effetti sensoriali è il quello 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.

#### **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 2 - Limiti di riferimento DPCM 8 luglio 2003*

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.

### ***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.

### **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;
- **10  $\mu$ T** è il valore di attenzione, che si assume per l'induzione magnetica 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, 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).

### **Fascia di Rispetto**

E' 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 $\mu$ T).

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

E' 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  $\mu$ T; tale zona può essere vista in sezione come una ellisse o un cerchio a seconda della disposizione geometrica dei conduttori.



## 4. Fasce di rispetto per le linee aeree

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

- Portata di corrente in servizio normale;
- Numero e tipologia dei conduttori, geometria della disposizione degli ammassi nei tralicci;
- Condizioni di fase relative alle correnti nei conduttori;
- 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 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 di guardia), e viene assunto che il suolo sia perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico. Per le varie tipologie di elettrodotto possono essere utilizzate le formule approssimate indicate nella Norma CEI 103-11, 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 magnetica complessiva:

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

Per i calcoli della parte Produttore, non riconducibili in generale a soluzioni standard (come quelle del gestore) si è utilizzato un software specialistico, in grado di applicare rapidamente le formule e visualizzarne graficamente il risultato.

## 5. Linee aeree esistenti o di nuova installazione

Nello studio dei campi elettromagnetici, occorre, in generale, tenere in considerazione anche la presenza di linee aeree. Si evidenzia che nell'area di progetto dell'impianto agrivoltaico è presente una linea aerea del gestore della rete AT (Terna), per la quale, come da indicazioni legislative, è stato già eseguito il calcolo del campo elettromagnetico.

In ogni caso, per tale linea, è stato lasciato un buffer di rispetto 18m + 18m anche per la servitù.

L'impianto agrivoltaico oggetto del presente documento non prevede linee aeree, di conseguenza, non ci sono calcoli di campi elettromagnetici dovuti a nuove linee aeree.

## 6. Fasce di rispetto per le linee interrate

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

- Valore di corrente in servizio normale (oppure cautelativamente le portate dei cavi);
- Numero e tipologia dei conduttori (diametro e materiali), geometria della disposizione;
- Condizioni di fase relative alle correnti nei conduttori;
- Profondità 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 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:

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

## 7. Linee Interrate

I nuovi elettrodotti interrati, in progetto, sono invece da verificare sia per la parte interna all'impianto agrivoltaico, sia per la parte opere di rete inerenti la connessione, per queste parti il presente documento si occupa di valutare gli effetti dei campi elettromagnetici.

A i fini della valutazione previsionale, vanno individuate le sezioni più significative, possibilmente cautelative, per procedere alla rappresentazione dei valori, in particolare della induzione magnetica.

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

La formula da applicare è la seguente:

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

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  $3 \mu\text{T}$ :

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

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  $3 \mu\text{T}$ :

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

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

## 7.2. Linea con cavi unipolari posati in piano.

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

$$B = \frac{PI}{R^2} \cdot 0,2 \cdot \sqrt{3} \quad [\mu T]; \quad (5)$$

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  $\mu T$ :

$$R' = 0,286\sqrt{P \cdot I} \quad [m]; \quad (6)$$

Ro 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):

$$R_0 = \sqrt{0,082 \cdot P \cdot I - d^2} \quad [m]; \quad (7)$$

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

## 8. Cavidotti interrati tipologia di posa

In generale i cavi sia MT che AT possono essere interrati ad una quota che può variare (in funzione di eventuali necessità di attraversamento) da 0,80 m a 1,40 m.

Tale soluzione elimina l'impatto visivo e riduce gli effetti dei campi elettromagnetici all'interno delle soglie richieste dalla normativa vigente. Sottostanti le sezioni tipiche di posa interrata previste.

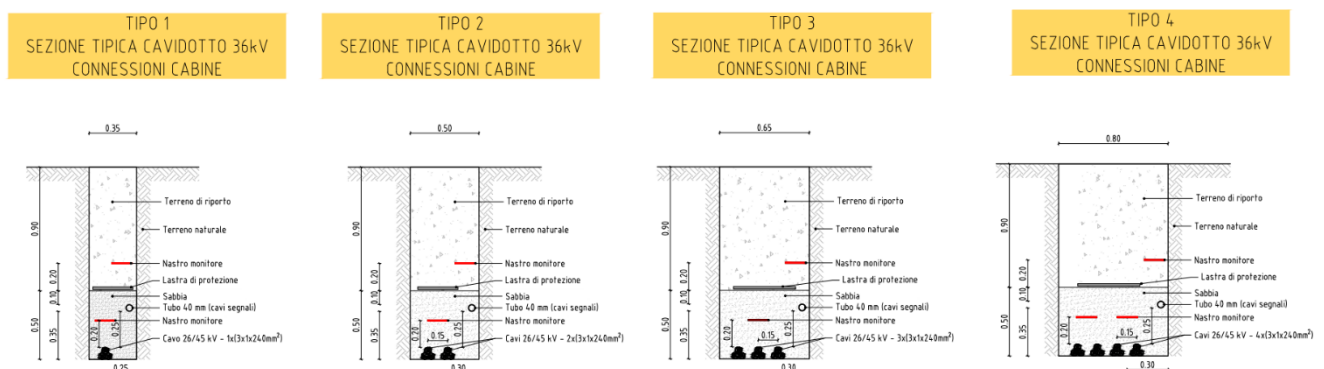


Figura 1 - Vista in sezione dei tipici di cavi interrati (da 1 a 4 terne).

Maggiori dettagli sono leggibili nel documento: 137PRG607D 00 - Planimetria su CTR percorso cavi 36kV

## 9. Valutazione CEM e DPA per i cavidotti 36 kV

### 9.1. Campo magnetico dei cavi interrati

La rete 36 kV prevista per la raccolta dell'energia elettrica proveniente dalle cabine del campo Agrivoltaico, sarà realizzata con tipologia di cavo in categoria III, U<sub>0</sub>/U 20.8/36 kV da 240 mm<sup>2</sup> in alluminio, e U<sub>0</sub>/U 26/45 kV da 240 mm<sup>2</sup> in rame, a seconda di quello che sarà disponibile sul mercato.

Le caratteristiche di portata sono indicate in tabella.

DESCRIZIONE	UM	ARE4H5EX in alluminio	RG7H1R in rame
Sezione	mm <sup>2</sup>	240	240
Portata di corrente a 293 K (20°C) cavi interrati a trifoglio posa interrata	A	372	510
Tensione nominale U <sub>0</sub> /U	kV	20.8/36	26/45

Tabella 3 – Sezioni e portate dei conduttori in cavo

Nella connessione di rete considerata, sono previste più terne inserite in una unica trincea di scavo, si è eseguito il calcolo, per tutte le configurazioni rappresentate con un software specialistico dedicato MAGIC (**MAG**netic **I**nduction **C**alculation), ciò permette di valutare l'effetto cumulativo.

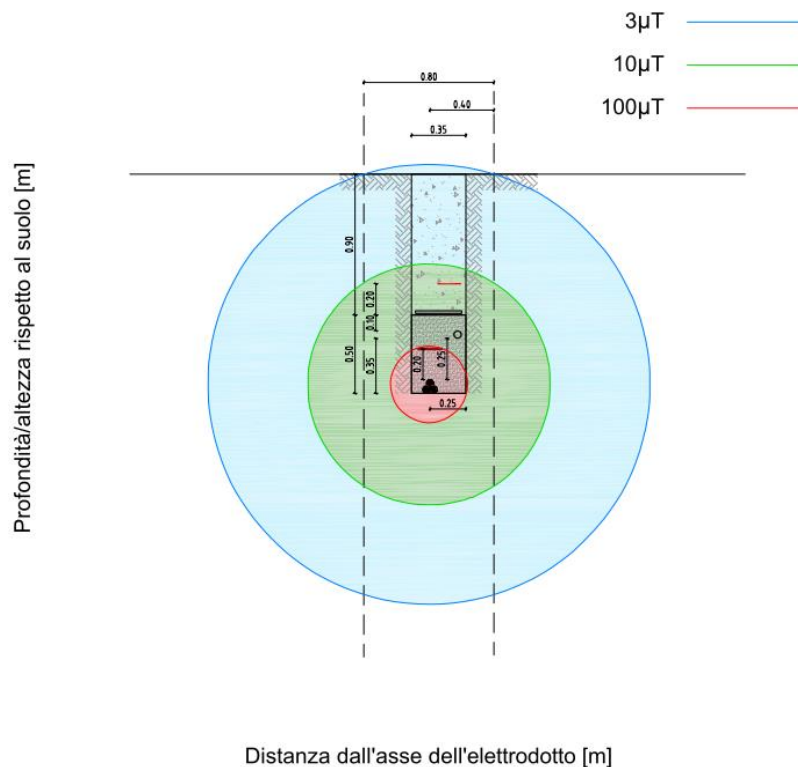


Figura 2 - Isolinee 3, 10 e 100 μT – Sezione con una terna interrata - Tipo 1

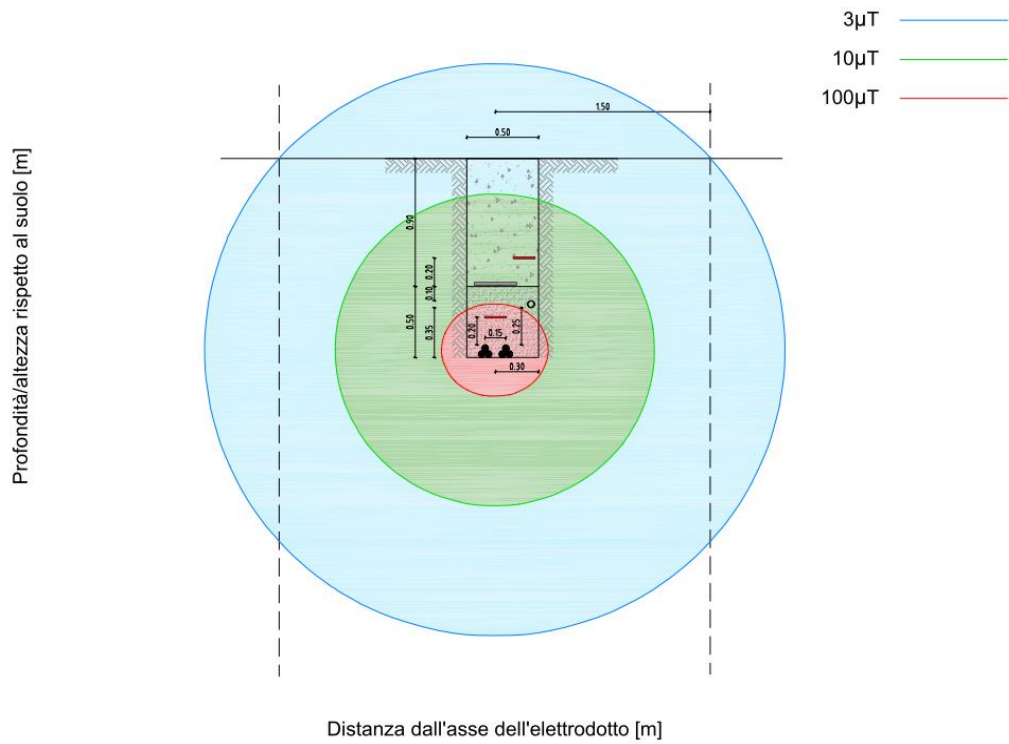


Figura 3 - Isolinee 3, 10 e 100  $\mu T$  – Sezione con due terne interrate - Tipo 2

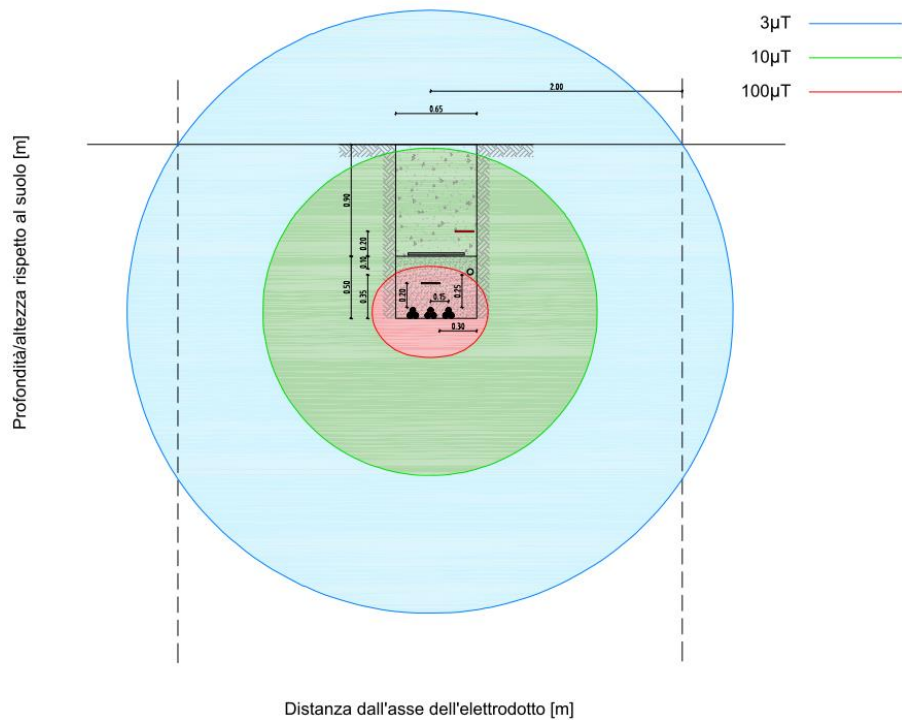


Figura 4 - Isolinee 3, 10 e 100  $\mu T$  – Sezione con tre terne interrate - Tipo 3

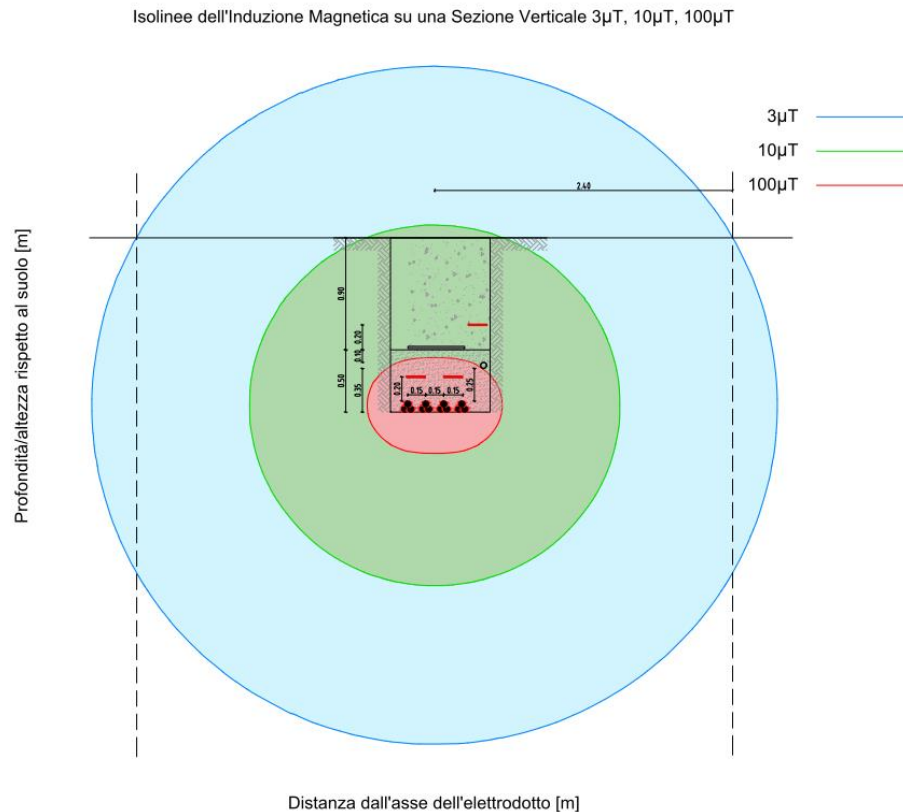


Figura 5 - Isolinee 3, 10 e 100  $\mu$ T – Sezione con quattro terne interrate - Tipo 4

Tutte le configurazioni di verifica sono cautelative, poiché considerano la portata più elevata, di cavi in rame, di fatto superiore a quella reale con anche la possibilità di trasferire in rete, in contemporanea, anche la potenza scaricata dal sistema di accumulo.

## 9.2. Campo Elettrico cavi interrati

Per quanto riguarda il campo elettrico, per la presenza dello schermo metallico, come noto, sono sempre ampiamente rispettati i limiti normativi richiesti dei 5 kV/m, pertanto nessuno calcolo è stato eseguito.

## 10. Fasce di rispetto per le cabine

### 10.1. Calcolo distanza di prima approssimazione per le cabine

#### 10.1.1. Cabina di raccolta e trasmissione 36 kV

In questa cabina nella quale si concentra tutta la potenza dell'impianto, è presente un quadro 36 kV, con gli scomparti per le linee provenienti dalle cabine di campo (SKID) ed uno scomparto per i cavi uscenti verso la connessione alla stazione RTN di Terna. Nello stesso quadro è previsto anche uno scomparto per il trasformatore da 100 kVA con rapporto tensioni 36/0,4 kV, che servirà per i servizi ausiliari della stessa cabina, che avrà un sistema di protezione e di monitoraggio controllo.

Il DM 29.05.08 individua un metodo approssimato di calcolo per la determinazione della distanza di prima approssimazione DPA, per cabine MT/BT standardizzate come quelle del gestore della rete MT, tuttavia alla configurazione della cabina in oggetto non è applicabile un calcolo di questo tipo.

Per valutare il campo magnetico generato dalla cabina di raccolta, pertanto, anche qui, si è adottato il calcolo mediante software MAGIC, che a partire dai modelli di quadri e trasformatori, contenuti all'interno della cabina è in grado di simulare

il campo magnetico risultante, anche in configurazioni di elevata complessità.

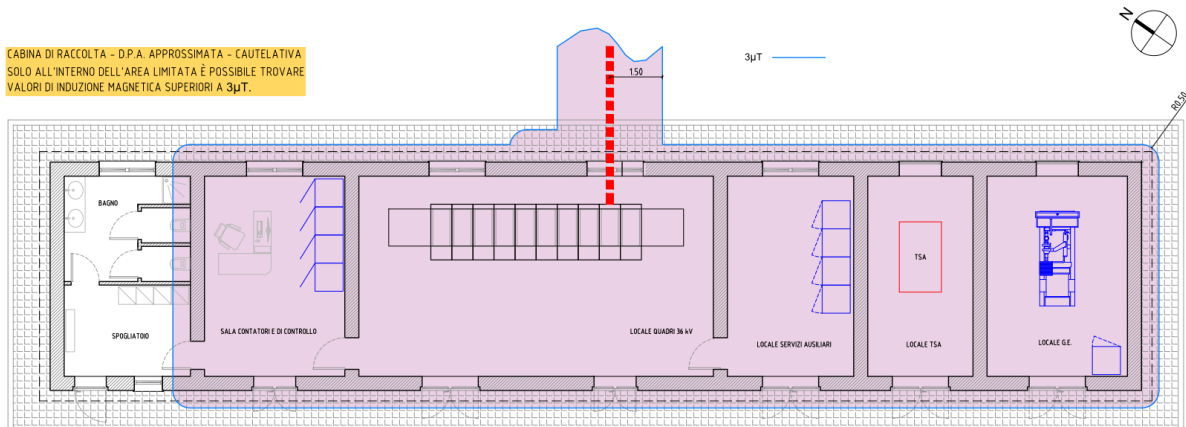


Figura 6 - Cabina di Raccolta e Trasmissione valutazione approssimazione cautelativa del campo magnetico

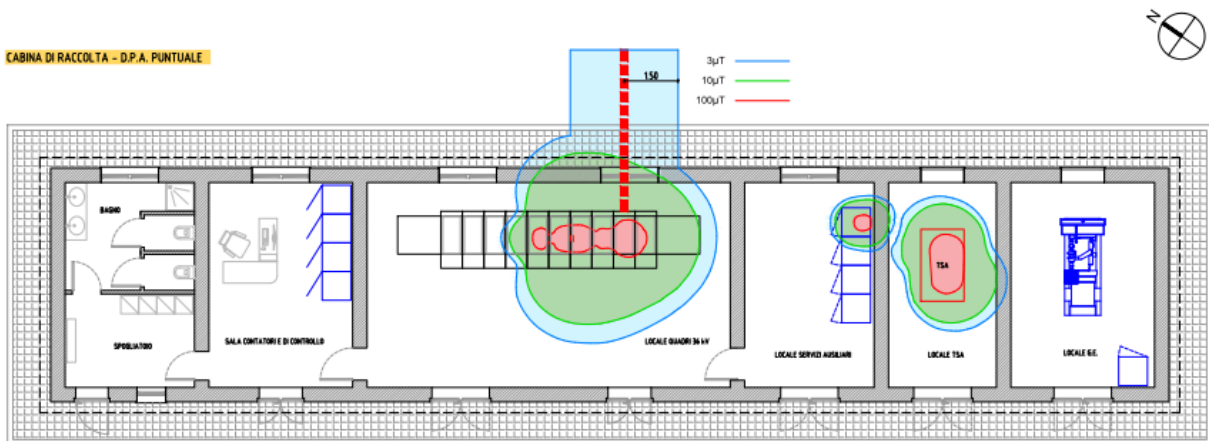


Figura 7 - Cabina di Raccolta e Trasmissione calcolo puntuale del campo magnetico

Le due figure rappresentano:

fig. 6 - l'inviluppo di tutte le distanze a rappresentare la DPA approssimata (cautelativa);

fig. 7 - il calcolo puntuale con il SW specialistico, che evidenzia le isolinee significative: 3 µT, 10 µT e 100 µT, quella approssimata, ma cautelativa, è di utilizzazione più immediata per stabilire le distanze di rispetto.

Maggiori dettagli sono apprezzabili nell'elaborato:

137PRG612D - DPA Cabina di Raccolta Trasmissione e DPA cavo connessione RTN.

### 10.1.2. Cabina di campo con inverter e trasformatore BT/AT

In generale la valutazione deve essere eseguita nel rispetto delle norme legislative e tecniche.

Nello specifico il DM 29/05/08 individua un metodo approssimato di calcolo attraverso la determinazione della distanza di prima approssimazione DPA secondo la seguente formula:

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

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, richiamato dal DM 29/05/08, può essere applicato 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), ma non è adattabile alle cabine produttore, che hanno configurazioni di potenza elevata, come gli skid contenenti Inverter, trasformatore e quadri MT ed AT dell'impianto agrivoltaico in oggetto.

In questi casi si può procedere al calcolo dell'induzione magnetica B applicando il metodo indicato nel paragrafo 4.2 della CEI 106-12, nel contempo simularlo con il SW specialistico.

In entrambi i casi utilizzando valori cautelativi, la distanza, entro la quale abbiamo i valori oltre i 3  $\mu\text{T}$ , è pari a 6,5 m dall'asse del trasformatore, significa che tale distanza dal bordo dello skid è pari a 5,4 m (cautelativo).

Pertanto il valore cautelativo è:

$$\text{DPA} = 5,5 \text{ m}$$

Salvo provvedimenti aggiuntivi del costruttore per schermare o attenuazione i campi magnetici (sui quali al momento non abbiamo informazioni), questa è la Distanza di Prima Approssimazione da utilizzare per lo skid da 3'550 kVA considerato (cautelativamente anche per quelli di potenza 2'365 kVA).

La zona accessibile intorno alle cabine deve essere intesa di transito e non di permanenza di persone comuni. Essa potrà essere occasionalmente occupata da personale operativo nei momenti di controllo, manutenzione ed attività eseguite comunque nel rispetto dei programmi di sicurezza, valutata nella globalità dei rischi professionali aziendali.

Lo spazio ove i valori sono notoriamente più elevati di 3  $\mu\text{T}$  (es. immediate vicinanze dei trasformatori e dei cavi BT), è riservato al solo personale specializzato elettrico, per i quali i tempi di esposizione sono definiti nei rispettivi documenti di valutazione dei rischi aziendali DVR.

## **11. Risultati dello studio previsionale campi elettromagnetici**

### **11.1. Considerazioni sui calcoli**

#### **11.1.1. Campi magnetici**

Si evidenzia che il D.M. 29/05/2008 è riferito al rispetto dei parametri, per le persone comuni, considerando pertanto le parti esterne all'area dell'impianto, in particolare il cavidotto di connessione alla RTN, per le persone che si occupano di manutenzione elettrica, come già evidenziato, i livelli ed i tempi di esposizione sono definiti nei rispettivi documenti di valutazione dei rischi aziendali DVR.

Per quanto evidenziato nei calcoli, i livelli d'induzione magnetica, corrispondenti ai valori di corrente presunta circolanti nei conduttori, confermano che i limiti al di fuori dalle fasce di rispetto, normativamente accettati, sono al di sotto delle soglie di riferimento dei riferimenti legislativi.

Per quanto riguarda il valore obiettivo di qualità dell'induzione magnetica pari a 3  $\mu\text{T}$ , come limite in luoghi con permanenze di persone di almeno 4 ore giornaliere (valore di attenzione), è sempre verificato, a distanza superiore alla DPA, anche intorno alle cabine di campo e della cabina di raccolta e trasmissione.

#### **11.1.2. Campi elettrici**

Per i campi elettrici, considerati i livelli di tensione, la disposizione dei conduttori e gli schermi delle varie parti presenti nelle zone dell'impianto di rete, considerando i modelli disponibili sulla letteratura tecnica, dai calcoli effettuati per queste situazioni tipiche, nei luoghi accessibili, non vengono mai superati i valori limite di 5 kV/m indicati dai riferimenti legislativi.