



PROVINCIA DI
CALTANISSETTA



COMUNE DI
GELA



REGIONE
SICILIANA

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO

NEL COMUNE DI GELA (CL)

Potenza massima di picco: 49.011 kWp
Potenza massima di immissione: 48.000 kW

ELABORATI PROGETTUALI

CODICE ELABORATO

TITOLO ELABORATO

AF.R19

RELAZIONE CEM D.LGS N.159/2016

COMMITTENTE



INE Contessa Fiorentina Srl
A Company of ILOS New Energy Italy

INE Contessa Fiorentina S.r.l.
Piazza di Sant'Anastasia 7
00186 Roma
P.IVA 16801341005

INE CONTESSA FLORENTINA SRL
Piazza di Sant'Anastasia 7, Roma
P.IVA: 16801341005

documento firmato digitalmente

PROGETTAZIONE

2ASINERGY

#innovativeengineering

2A SINERGY S.r.l. S.B.

Piazza Giuseppe Verdi 8
00198 Roma
Tel. 0968 201203
P.IVA 03384670794

Progettista: Ing. Enrico Gadaleta



ENTI

DATA: FEBBRAIO 2023

SCALA:

FORMATO CARTA: A4

Sommario

1	PREMESSA.....	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	4
4	DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO	6
4.1	Configurazione elettrica dell’Impianto Agrivoltaico	6
5	IL QUADRO NORMATIVO	8
5.1	Normativa relativa alla protezione della popolazione.....	8
5.2	Normativa relativa alla protezione dei lavoratori.....	9
6	GENERALITÀ SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI.....	14
6.1	Metodi di calcolo.....	15
7	APPLICAZIONE DELLA NORMATIVA SULLA TUTELA DEI LAVORATORI	16
8	CONCLUSIONI.....	20

1 PREMESSA

Il progetto di cui la presente relazione è parte integrante, ha come scopo la realizzazione di un impianto per la produzione di Energia Elettrica da fonte Solare Fotovoltaica e delle relative opere di connessione alla Rete Nazionale, costituite da un cavidotto AT a 36 kV. Come da STMG, l'impianto sarà collegato in antenna a 36 kV con una nuova stazione elettrica (SE) di trasformazione a 220/36 kV della RTN.

L'impianto sarà denominato "**Gela**" ed avrà una potenza di picco di 49,0113 MWp e in immissione di 48,00 MWac. L'impianto sarà ubicato nel Comune di Gela (CL), Sicilia.

I moduli fotovoltaici saranno montati su strutture metalliche ed fisse. L'impianto sarà connesso alla *Rete Nazionale* e prevede la totale cessione dell'energia prodotta alla Società Terna S.p.A.

In particolare la presente relazione fa riferimento alla valutazione delle emissioni di campi elettromagnetici come definito dal Decreto Legislativo n. 159 dell'1 agosto 2016 "*Attuazione della direttiva 2013/35/UE sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) e che abroga la direttiva 2004/40/CE*".

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

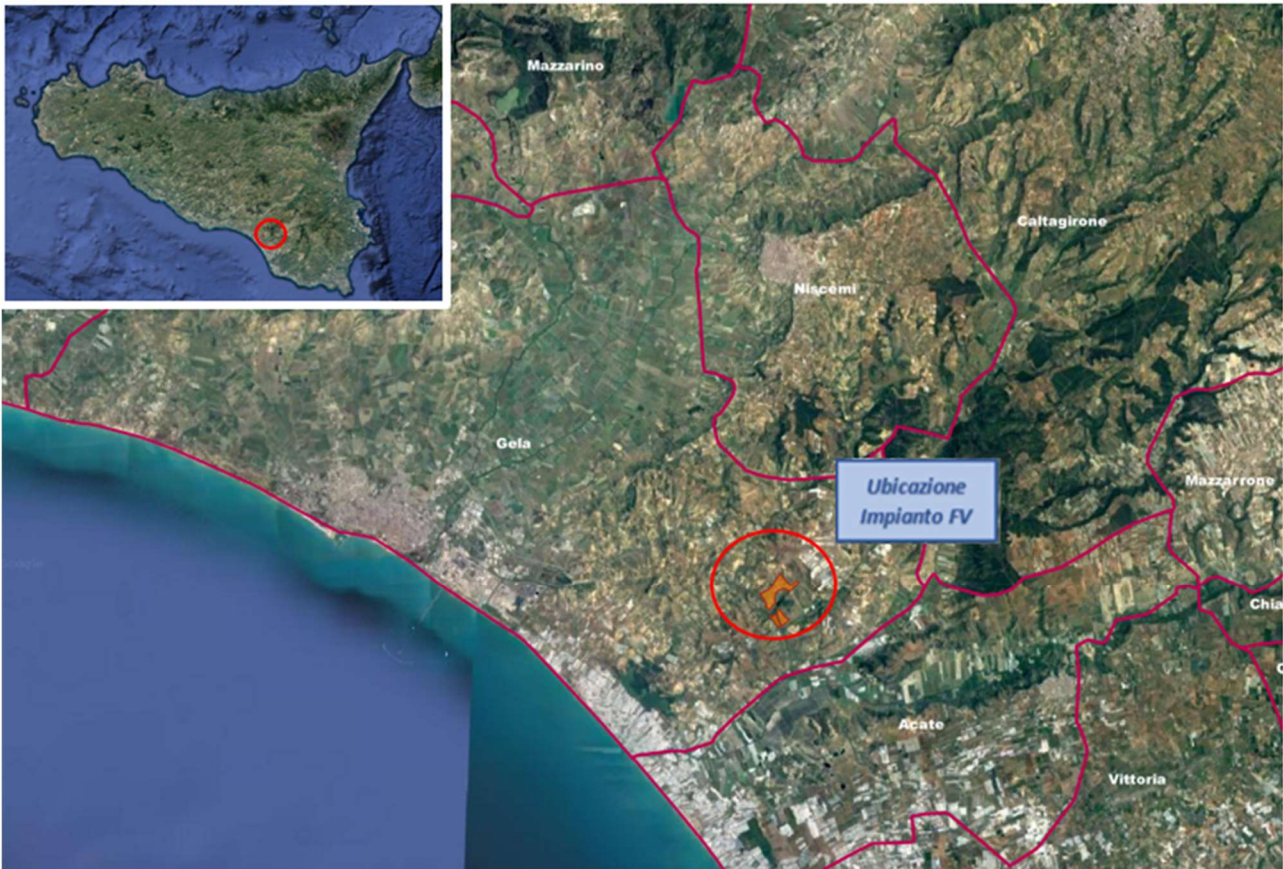
Di seguito è riportato l'elenco, non esaustivo, dei principali riferimenti normativi utilizzati ai fini del presente elaborato:

- *Legge 22 febbraio 2001, n. 36 "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici"*.
 - *DPCM 8 luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, valori di attenzione ed obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti"*.
 - *DM 29 maggio 2008, GU n. 156 del 5 luglio 2008, "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti"*.
 - *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 I: linee elettriche aeree e in cavo"*;
 - *D.Lgs. 09.04.2008 n.81 ss.mm.ii. "Testo unico per la sicurezza"*;
 - *D.Lgs. 01.08.2016 n.159 "Attuazione della direttiva 2013/35/UE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) e che abroga la direttiva 2004/40/CE"*;
-

- CEI EN 50499 “Procedura per la valutazione dell’esposizione dei lavoratori a campi elettromagnetici”.

3 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L’impianto in progetto si sviluppa su un unico lotto, ed è ubicato come detto nel Comune di Gela nella *Provincia di Caltanissetta*. Avrà complessivamente una estensione totale contrattualizzata di 109 ha circa.





Inquadramento impianto FV su Orto Foto



Inquadramento impianto FV e opere connesse su Orto Foto

4 DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

L’Impianto Agrivoltaico sarà costituito da strutture metalliche fisse sui quali saranno montati i moduli fotovoltaici. Gruppi di strutture e quindi di moduli, andranno a costituire dei “*sottocampi elettrici*”. L’energia prodotta dai moduli di ciascuno dei sottocampi, in **c.c.** (corrente continua) e in **BT** (**B**assa **T**ensione), afferrirà ad un convertitore (Inverter) nel quale avverrà la conversione in **c.a.** (corrente alternata). Dagli Inverter la corrente, ancora in BT, arriverà ad un Trasformatore BT/AT dove subirà un innalzamento di tensione sino a 36 kV. Ciascun “sottocampo” farà capo quindi ad una Cabina Elettrica. Tutte le Cabine saranno collegate tra loro in serie (in configurazione ad anello). L’ultima Cabina della serie, raccoglierà tutta l’energia prodotta dall’Impianto Agrivoltaico. Tramite un cavidotto AT a 36 kV, questa sarà trasportata alla Cabina Utente e da questa ad una Stazione Elettrica, per l’ulteriore innalzamento di tensione da 36 a 220 kV, necessario per l’immissione nella **RTN** (**Rete di Trasmissione Nazionale**) di Terna S.p.A.

4.1 Configurazione elettrica dell’Impianto Agrivoltaico

Come detto l’impianto agrivoltaico, denominato “**Gela**”, avrà una potenza di picco di 49,011 MWp e in immissione di 48,00 MWac e sarà connesso alla RTN per mezzo di una Stazione Elettrica 220/36 di nuova realizzazione di proprietà di Terna SPA.

Le sue componenti principali saranno:

- 1) Il Generatore Fotovoltaico;
- 2) Le strutture di supporto dei moduli;
- 3) Le Cabine Elettriche di Campo;
- 4) I quadri di campo;
- 5) I depositi;
- 6) Il Gruppo Conversione / Trasformazione;
- 7) I cavidotti BT e AT;
- 8) La linea di connessione (cavo interrato a doppia terna) a 36 kV, sino alla nuova SE Terna 36/220.

In sintesi l’impianto agrivoltaico in oggetto avrà le seguenti caratteristiche:

- potenza installata lato DC: 49,011 MWp;
 - potenza dei singoli moduli: 710 Wp;
 - n. 15 cabine di conversione e trasformazione dell’energia elettrica;
 - n. 1 Cabina di Raccolta e Controllo AT
-

- n. 2 Magazzino

sarà costituito inoltre da:

- rete elettrica interna a bassa tensione e corrente continua;
 - rete elettrica interna a 36 kV per il collegamento in entra-esce e anello tra le cabine di trasformazione fino alla cabina di smistamento;
 - rete telematica interna di monitoraggio per il controllo dell'impianto agrivoltaico.
-

5 IL QUADRO NORMATIVO

5.1 Normativa relativa alla protezione della popolazione

Il panorama normativo italiano in fatto di protezione contro l'esposizione dei campi elettromagnetici si riferisce alla **legge 22/2/01 n°36** che è la Legge Quadro sulla protezione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici completata a regime con l'emanazione del **D.P.C.M. 8 luglio 2003**

Nel D.P.C.M. vengono fissati i limiti di esposizione e i valori di attenzione da rispettare per garantire la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento ed all'esercizio degli elettrodotti.

In particolare negli articoli 3 e 4 vengono indicate le soglie di rispetto per l'induzione magnetica:

➤ **Art.3**

- **comma 1**: nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il **limite di esposizione di 100 μ T** per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci;
- **comma 2**: 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 μ T**, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio;

➤ **Art.4**

- **comma 1**. Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato **l'obiettivo di qualità di 3 μ T** per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio

➤ All'art 6,

vengono fissati i parametri per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, per le quali si dovrà fare riferimento ***all'obiettivo di qualità (B=3 μ T)*** di cui all'art. 4 sopra richiamato ed

alla portata della corrente in servizio normale. L'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (Metodologie di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti) definisce quale *fascia di rispetto* lo spazio circostante l'elettrodotto, che comprende tutti i punti al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità.

5.2 Normativa relativa alla protezione dei lavoratori

Per quanto riguarda l'esposizione dei lavoratori vanno seguite le disposizioni del D.lgs. 81/08 (D.Lgs. 01.08.2016 n. 159).

In un ambiente di lavoro ove vi siano sorgenti di campi elettromagnetici, è in prima battuta da verificare nell'ambito della valutazione di quest'ultimi, quali siano i lavoratori professionalmente esposti a CEM, per i quali saranno validi i livelli di azione contenuti nel D.Lgs 81/08, e quali lavoratori siano da considerarsi "popolazione generale", e per questi saranno da rispettare i limiti descritti nel paragrafo precedente (limiti di esposizione).

Per il caso in oggetto all'interno dell'impianto agrivoltaico si vedranno impegnati due tipologie di lavoratori relativi alla gestione e manutenzione dell'impianto fotovoltaico e dei lavoratori interessati alla gestione della parte agronomica. Per quest'ultimi trovano applicazione i limiti di esposizione per la popolazione (campo magnetico 100 μ T e campo elettrico 5.000 V/m).

Per tutti gli altri lavoratori si dovrà fare riferimento ai Valori di Azione (VA) e ai Valori Limite di Esposizione (VLE) del D.Lgs 81/08 e s.m.i. (che recepisce le modifiche dettate dal D.Lgs. 01.08.2016 n.159).

Per Valori di Azione (VA) si intendono i valori massimi calcolati o misurati nello spazio occupato dal corpo del lavoratore. La verifica di tali limiti comporta una valutazione dell'esposizione conservativa e, alla conformità rispetto a detti valori massimi, consegue la conformità ai VLE.

I Valori di Azione si distinguono in VA relativi ai campi elettrici, ai campi magnetici, in VA inferiori e VA superiori:

- Valori di Azione inferiori per esposizione ai campi elettrici ambientali sono stabiliti al fine di prevenire scariche elettriche nell'ambiente di lavoro, e garantiscono il rispetto del VLE;
- Valori di Azione superiori per esposizione ai campi elettrici ambientali garantiscono il rispetto dei VLE ma non assicurano l'assenza di scariche elettriche a meno che non siano intraprese le misure di protezione di cui al D.Lgs n.159/2016 (art. 208);

- Valori di Azione inferiori per esposizioni ai campi magnetici garantiscono per le frequenze al di sotto di 400 Hz il rispetto dei VLE relativi agli effetti sensoriali, mentre per le frequenze al di sopra di 400 Hz coincidono con i VA superiori assicurando il rispetto dei VLE relativi agli effetti sanitari;
- Valori di Azione superiori per esposizioni ai campi magnetici garantiscono il rispetto dei VLE relativi agli effetti sanitari correlati alla stimolazione elettrica dei tessuti nervosi periferici e centrali. L'osservanza dei VA superiori assicura che non siano superati i VLE relativi agli effetti sanitari ma, se l'esposizione della testa supera i VA inferiori per esposizioni a frequenze fino a 400 Hz, sono possibili effetti sensoriali.

Di seguito si riportano le tabelle, estratte dalla norma, relativi ai Valori di Azione e ai Valori Limite di Esposizione.

Tabella B1

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

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

Tabella 1 – Tabella B1 del D.Lgs n.159/2016 relativa ai Valori di Azione per i campi elettrici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

Tabella B2

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

Intervallo di frequenza	VA (B) inferiori per l'induzione magnetica [μT] (valori RMS)	VA (B) superiori per l'induzione magnetica [μT] (valori RMS)	VA (B) per l'induzione magnetica per esposizione localizzata degli arti [μT] (valori RMS)
$1 \leq f < 8 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^5 / f^2$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$8 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,5 \times 10^4 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$25 \leq f < 300 \text{ Hz}$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^5 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

Tabella 2 – Tabella B2 del D.Lgs n.159/2016 relativa ai Valori di Azione per i campi magnetici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

Tabella A2

VLE relativi agli effetti sanitari per l'intensità di campo elettrico interno a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

Intervallo di frequenza	VLE relativi agli effetti sanitari [Vm^{-1}] (valore di picco)
$1 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	1,1
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$3,8 \times 10^{-4} f$

Tabella 3 – Tabella A2 del D.Lgs n.159/2016 dei Valori Limite di Esposizione relativi agli effetti sanitari per l'intensità di campo elettrico interno a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

Tabella A3

VLE relativi agli effetti sensoriali per il campo elettrico interno a frequenze comprese tra 1 Hz e 400 Hz

Intervallo di frequenza	VLE relativi agli effetti sensoriali [Vm ⁻¹] (valore di picco)
1 Hz ≤ f < 10 Hz	0,7/f
10 Hz ≤ f < 25 Hz	0,07
25 Hz ≤ f ≤ 400 Hz	0,0028 f

Tabella 4 – Tabella A3 del D.Lgs n.159/2016 dei Valori Limite di Esposizione relativi agli effetti sensoriali per l'intensità di campo elettrico interno a frequenze comprese tra 1 Hz e 400 Hz

Uno dei principali riferimenti utilizzabili ai fini della valutazione per i lavoratori esposti a campi elettromagnetici è la norma CEI EN 50499 "Procedura per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori a campi elettromagnetici". Essa prevede una prima valutazione iniziale, che consiste sostanzialmente in un censimento dei luoghi e delle attrezzature di lavoro. Queste devono essere classificate in base a criteri che riguardano la possibilità che possano essere superati i livelli di riferimento per la popolazione. In particolare sono considerati "conformi a priori" alla norma:

- tutte le apparecchiature che non sono in grado di emettere campi di intensità superiore ai livelli di riferimento per la popolazione (e talvolta sono denominate come sorgenti giustificabili);
- tutti i luoghi di lavoro in cui sono rispettati i livelli di riferimento per la popolazione sono considerati anch'essi conformi a priori.

Secondo la norma, nei luoghi di lavoro in cui siano presenti solo attrezzature conformi a priori, la valutazione si conclude sostanzialmente con il censimento iniziale. Nei luoghi di lavoro in cui siano presenti apparati capaci di emettere campi di intensità superiore ai livelli di riferimento per la popolazione, la norma indica invece come necessaria una procedura di valutazione ulteriore.

Per facilitare il compito del valutatore, la norma CEI EN 50499 contiene due tabelle, delle quali la prima comprende tutti i luoghi e le attrezzature di lavoro conformi a priori, mentre la seconda un elenco non esaustivo delle attrezzature per le quali è necessario procedere alla valutazione ulteriore. Il datore di lavoro dovrà assicurare che l'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici non superi i VLE relativi agli effetti sanitari e i VLE relativi agli effetti sensoriali.

Qualora l'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici superi uno qualsiasi dei VLE, il datore di lavoro adotta misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto dei VLE. Il datore di lavoro individua e registra le cause del superamento dei VLE relativi agli effetti sanitari e dei VLE relativi agli effetti sensoriali e modifica di conseguenza le misure di protezione e prevenzione per evitare un nuovo superamento.

Si considera che i VLE siano rispettati qualora il datore di lavoro dimostri che i pertinenti VA non siano stati superati. Nel caso in cui l'esposizione superi i VA, il datore di lavoro adotta tutte le misure dettate dalla norma, salvo che la valutazione effettuata dimostri che non sono superati i pertinenti VLE e che possono essere esclusi rischi per la sicurezza.

Il datore di lavoro valuta tutti i rischi per i lavoratori derivanti da campi elettromagnetici sul luogo di lavoro e, quando necessario, misura o calcola i livelli dei campi elettromagnetici ai quali sono esposti i lavoratori. La valutazione, la misurazione e il calcolo devono essere effettuati tenendo anche conto delle guide pratiche della Commissione europea, delle pertinenti norme tecniche europee e del Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI), delle specifiche buone prassi individuate o emanate dalla Commissione consultiva e delle informazioni reperibili presso banche dati dell'INAIL o delle regioni. La valutazione, la misurazione e il calcolo devono essere effettuati, inoltre, tenendo anche conto delle informazioni sull'uso e sulla sicurezza rilasciate dai fabbricanti o dai distributori delle attrezzature, ovvero dei livelli di emissione indicati in conformità alla legislazione europea, ove applicabili alle condizioni di esposizione sul luogo di lavoro o sul luogo di installazione.

Il datore di lavoro garantisce, inoltre, che i lavoratori che potrebbero essere esposti ai rischi derivanti dai campi elettromagnetici sul luogo di lavoro e i loro rappresentanti ricevano le informazioni e la formazione necessarie in relazione al risultato della valutazione.

6 GENERALITÀ SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI

I campi elettromagnetici consistono in onde elettriche (E) e magnetiche (H) che viaggiano insieme. Esse si propagano alla velocità della luce e sono caratterizzate da una frequenza ed una lunghezza d'onda.

I campi ELF si identificano nei campi a frequenza fino a 300 Hz. A frequenze così basse corrispondono lunghezze d'onda in aria molto grandi e, in situazioni pratiche, il campo elettrico e quello magnetico agiscono in modo indipendente l'uno dall'altro e vengono misurati e valutati separatamente.

I campi elettrici sono prodotti dalle cariche elettriche. Essi governano il moto di altre cariche elettriche che vi siano immerse. La loro intensità viene misurata in volt al metro (V/m) o in chilovolt al metro (kV/m). Quando delle cariche si accumulano su di un oggetto, fanno sì che cariche di segno uguale od opposto vengano, rispettivamente, respinte o attratte. L'intensità di questo effetto viene caratterizzata attraverso la tensione, misurata in volt (V).

L'intensità dei campi elettrici è massima vicino alla sorgente e diminuisce con la distanza (proporzionale alla tensione della sorgente). Molti materiali comuni, come il legno ed il metallo, costituiscono uno schermo per questi campi.

I campi magnetici sono prodotti dal moto delle cariche elettriche, cioè dalla corrente. Essi governano il moto delle cariche elettriche. La loro intensità si misura in ampere al metro (A/m), ma è spesso espressa in termini di una grandezza corrispondente, l'induzione magnetica, che si misura in tesla (T), millitesla (mT) o microtesla (μ T).

I campi magnetici sono massimi vicino alla sorgente e diminuiscono con la distanza (proporzionale alla corrente della sorgente). Essi non vengono schermati dalla maggior parte dei materiali di uso comune, e li attraversano facilmente.

Ai fini dell'esposizione umana alle radiazioni non ionizzanti, considerando le caratteristiche fisiche delle grandezze elettriche in gioco in un impianto agrivoltaico (tensioni fino a 150.000 V e frequenze di 50 Hz) i campi elettrici e magnetici sono da valutarsi separatamente perché disaccoppiati.

Come già accennato il campo elettrico, a differenza del campo magnetico, subisce una attenuazione per effetto della presenza di elementi posti fra la sorgente e il punto irradiato. Pertanto le situazioni più critiche sono rappresentate dagli impianti installati in ambiente esterno, rappresentando le schermature dei cavi, la presenza di opere civili e la blindatura degli scomparti validi elementi di schermatura. Inoltre la distanza tra le apparecchiature e le recinzioni sono tali da contenere i valori di campo elettrico entro i valori limite da eventuali ricettori sensibili.

6.1 Metodi di calcolo

L'induzione magnetica B generata da NR conduttori filiformi, numerati da 0 a $(NR-1)$, può essere calcolata con l'espressione riportata di seguito. Si fa notare che solo i conduttori reali contribuiscono al campo magnetico, perché si assume il suolo perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico e non si considerano quindi i conduttori immagine.

$$\vec{B} = -\frac{\mu_0}{4\pi} \sum_{k=0}^{NR-1} \int_{C_k} \frac{i}{r^3} \vec{r} \times d\vec{l}$$

Dove μ_0 è la permeabilità magnetica del vuoto, NR è il numero dei conduttori, i la corrente, C_k il conduttore generico, $d\vec{l}$ un suo tratto elementare, r la distanza tra questo tratto elementare ed il punto dove si vuole calcolare il campo.

Il modello adottato (conduttori cilindrici rettilinei orizzontali indefiniti paralleli tra di loro) consente di eseguire facilmente l'integrazione e semplificare i calcoli.

Indicato con Q il punto dove si vuole determinare il campo, definiamo sezione normale il piano verticale passante per Q e ortogonale ai conduttori; indichiamo quindi con P_k il punto dove il generico conduttore C_k interseca la sezione normale, e con i_k la corrente nel singolo conduttore (si è preso l'asse z nella direzione dei conduttori).

Con queste posizioni, per l'induzione magnetica in Q si ottiene l'espressione

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_{k=0}^{NR-1} \frac{i_k \vec{z} \times (Q - P_k)}{|Q - P_k|^2}$$

La formula indica che l'induzione magnetica è inversamente proporzionale al quadrato della distanza del punto di interesse dai conduttori; esiste inoltre una proporzionalità diretta tra l'induzione e la distanza tra i singoli conduttori di ogni terna.

Per il calcolo del campo elettrico, invece, si ricorre al principio delle immagini in base al quale il terreno, considerato come piano equipotenziale a potenziale nullo, può essere simulato con una configurazione di cariche immagine. In altre parole per ogni conduttore reale, sia attivo che di guardia, andrà considerato un analogo conduttore immagine la cui posizione è speculare, rispetto al piano di terra, a quella del conduttore reale e la cui carica è opposta rispetto a quella del medesimo conduttore reale.

In particolare il campo elettrico di un conduttore rettilineo di lunghezza infinita con densità lineare di carica costante può essere espresso come:

$$\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 d} \vec{u}_r$$

Dove:

λ = densità lineare di carica sul conduttore;

ϵ_0 = permittività del vuoto;

d = distanza del conduttore rettilineo dal punto di calcolo;

u_r = versore unitario con direzione radiale al conduttore.

7 APPLICAZIONE DELLA NORMATIVA SULLA TUTELA DEI LAVORATORI

Nella fase di esercizio dell'impianto non si esclude la presenza di lavoratori sugli elementi dell'impianto agrivoltaico, sia per la manutenzione dell'impianto fotovoltaico che per la gestione agronomica. Il suddetto personale sarà addestrato ad utilizzare tutti gli accorgimenti di legge per assicurare la massima sicurezza in fase di lavoro comprendendo quindi anche la sosta limitata davanti alle sorgenti di campi elettromagnetici. Particolare attenzione dovrà essere posta nella formazione ed informazione dei lavoratori sensibili che hanno accesso all'impianto apponendo adeguata segnaletica di avviso in prossimità delle sorgenti di campi elettromagnetici potenzialmente interferenti.

Al fine di valutare l'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici, di seguito, riportiamo le sorgenti individuabili all'interno dell'impianto fotovoltaico:

1. Cavidotti AT;
2. Cavidotti BT in corrente alternata e in corrente continua;
3. Le cabine elettriche (aree esterne ed interne);
4. Inverter centralizzati;
5. Trasformatori di potenza;
6. I moduli fotovoltaici;
7. I quadri di campo;

Considerato che la frequenza dell'impianto è 50 Hz ($f= 0,050$ kHz), con riferimento alle tabelle 1 e 2 (B1 e B2 del D.Lgs 81/08), risultano i seguenti Valori di Azione per l'esposizione dei lavoratori:

- VA inferiori per i campi elettrici a frequenza compresa tra 1 Hz e 10 MHz: 10.000 V/m;
 - VA superiori per i campi elettrici a frequenza compresa tra 1 Hz e 10 MHz: 20.000 V/m;
 - VA inferiori per i campi magnetici a frequenza compresa tra 1 Hz e 10 MHz: 1.000 μ T;
 - VA superiori per i campi magnetici a frequenza compresa tra 1 Hz e 10 MHz: 6.000 μ T;
-

Il valore massimo della tensione di esercizio presente nell'impianto, pari a 36 kV per le linee AT di allaccio e distribuzione interna tra le cabine di conversione e trasformazione, è tale che i corrispondenti limiti al campo elettrico (10kV/m e 5 kV/m) sono raggiunti a distanze dai conduttori già reclusi all'accesso in quanto interrate o entro cabine (quadri AT). Allo stesso modo i valori di riferimento dell'induzione magnetica non sono mai superati sia per le linee elettriche (vedasi lo studio del caso peggiore di seguito riportato) che per le apparecchiature (si fa riferimento alle certificazioni CEM delle apparecchiature, alle banche dati e indicazioni della norma CEI EN 50499).

Nel dettaglio risultano conformi a priori le apparecchiature e impianti che soddisfano almeno una delle seguenti condizioni:

- Per reti di distribuzione dell'energia elettrica a 50 Hz nei luoghi di lavoro:
 - Per esposizioni al campo magnetico sono conformi:
 1. Ogni installazione elettrica con una intensità di corrente di fase ≤ 100 A;
 2. Ogni singolo circuito all'interno di una installazione con una intensità di corrente di fase ≤ 100 A;
 3. Tutti i componenti delle reti che soddisfano i criteri di cui sopra sono conformi (incluso i conduttori, interruttori, trasformatori ecc.);
 4. Qualsiasi conduttore nudo aereo di qualsiasi voltaggio.
 - Per esposizioni al campo elettrico sono conformi:
 1. Qualsiasi circuito in cavo sotterraneo o isolato indipendentemente dal voltaggio
 2. Qualsiasi circuito nudo aereo tarato ad un voltaggio fino a 100 kV, o line aerea fino a 125 kV, sovrastante il luogo di lavoro, o a qualsiasi voltaggio nel caso di luogo di lavoro interni.
- Utilizzo di apparecchiature Marcate CE, valutate secondo gli standard armonizzati per la protezione dai CEM.

Per quanto su elencato tutta la componentistica dell'impianto agrivoltaico risulta conforme a priori ai CEM ad esclusione dei cavidotti BT e AT che necessitano di un approfondimento valutativo relativamente ai campi magnetici.

Si procederà alla valutazione dei campi magnetici generati dal cavidotto nelle condizioni più gravose (maggiori corrente e più circuiti nello stesso scavo) ovvero quello relativo alle linee in ingresso alla cabina di raccolta AT. La verifica con esito di positivo di tale casistica comporta automaticamente il rispetto di tutte le altre tipologie di cavidotti previsti all'interno dell'impianto agrivoltaico.

Nella tabella seguente sono riportati i dati principali del cavidotto preso in esame (posa dei conduttori considerata alla profondità di 1,2m).

Tratto	N. di	Portata in	Sezione	Diametro	Diametro	Diametro	Portata al
	terne	servizio	condutt	conduttore	sull'isolante	cavo	limite
	N.	normale	ore				termico
		massima ⁽²⁾					del cavo ⁽¹⁾
		[A]	[mm ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[A]
Ingresso cabina di raccolta	6	143	240	18,5	9,0	49,3	511
		143	240	18,5	9,0	49,3	511
		143	240	18,5	9,0	49,3	511
		143	240	18,5	9,0	49,3	511
		143	240	18,5	9,0	49,3	511
		143	240	18,5	9,0	49,3	511

(1) posa interrata a trifoglio e resistività del terreno $\rho=1 \text{ }^\circ\text{Cm/W}$ (valore ricavato dalla scheda tecnica del cavo)

(2) considerata corrente massima in uscita dagli inverter con $\cos\phi=0,9$ a vantaggio di sicurezza

Tabella 5 – Caratteristiche dimensionali del cavidotto oggetto di studio

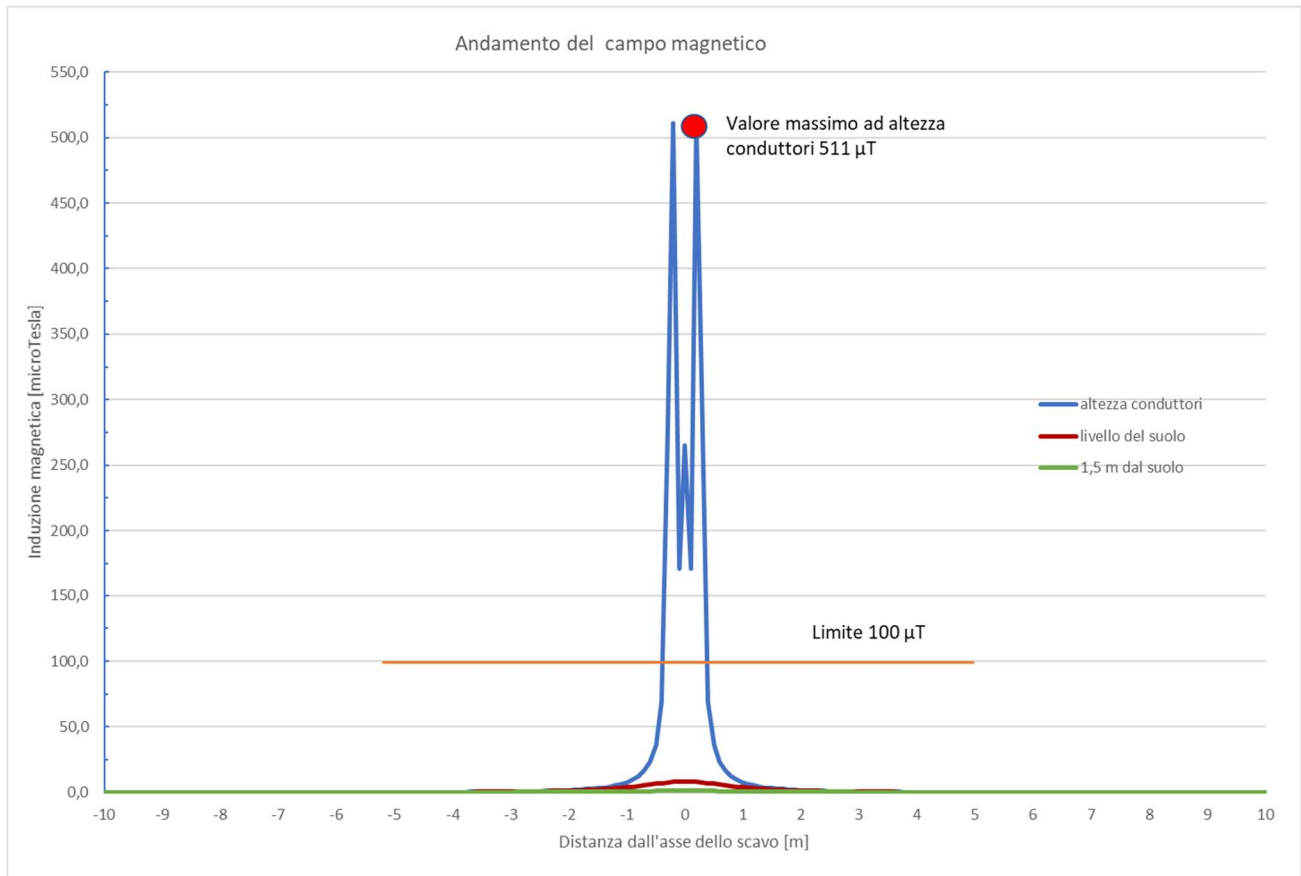


Figura 1 Andamento del campo magnetico del cavidotto in esame (caso peggiore)

Come è possibile visionare dalla figura 3 i valori di campi magnetici, al di sopra del terreno, non superano mai i valori di 100 μ T e 1.000 μ T.

Per quanto summenzionato si ritiene che l'impatto generato dai campi elettrici e magnetici all'interno delle aree di impianto sia irrilevante ad un'analisi preliminare. Il rispetto dei valori di azione assicura il rispetto dei pertinenti limiti di esposizione. A seguito della valutazione dei livelli dei campi elettromagnetici, qualora risulti in fase esecutiva ed operativa, che siano superati i valori di azione, il datore di lavoro valuta e, quando necessario, calcola se i valori limite di esposizione sono stati superati, effettua delle procedure di valutazione e riduzione del rischio realizzando nei luoghi di lavoro una zonizzazione e valutando l'utilizzo di eventuali accorgimenti che comprendano misure tecniche e organizzative con particolare attenzione ai lavoratori sensibili.

8 CONCLUSIONI

Dall'analisi effettuata risulta che i Valori di Azione, ai fini dell'esposizione dei lavoratori professionali, e i valori limiti relativi all'esposizione della popolazione, ai fini della valutazione dell'esposizione dei lavoratori non professionali, non sono superati da nessun elemento dell'impianto agrivoltaico.

Tale valutazione preliminare non esula il datore di lavoro ad effettuare, dopo la realizzazione dell'impianto e durante l'esercizio, una valutazione del rischio da campi elettromagnetici, e intraprendere i giusti accorgimenti (segnaletica, zonizzazione ecc.) dettati dalla normativa ai fini di preservare la sicurezza e la salute dei lavoratori.