



Regione Campania  
 Provincia di Caserta  
 Provincia di Benevento  
 Comuni di Caiazzo, Ruviano e Amorosi



## Impianto FV "CAIAZZO"

Potenza DC di impianto 21,089 MWp - potenza AC di immissione in RTN 16,865 MWp  
 Integrato con l'Agricoltura

Titolo:

RELAZIONE SULL'ELETTROMAGNETISMO (D.P.C.M. 08/07/03 e D.M. 29/05/08)

Numero documento:

Commissa						Fase	Tipo doc.	Prog. doc.	Rev.
2	2	3	6	0	2	D	R	0 2 5 4	0 0

Committente:



**SINERGIA GP17**

SINERGIA GP17 S.R.L.  
 CENTRO DIREZIONALE, IS. G1, SCC, INT 58  
 80143 NAPOLI  
 PEC: [sinergia.gp17@pec.it](mailto:sinergia.gp17@pec.it)  
 Rappresentante, Sviluppatore e Coordinatore: ing. Filippo Mercorio



PROGETTO DEFINITIVO

Progettazione:



**PROGETTO ENERGIA S.R.L.**

Via Serra 6 83031 Ariano Irpino (AV)  
 Tel. +39 0825 891313  
 www.progettoenergia.biz - info@progettoenergia.biz



SERVIZI DI INGEGNERIA INTEGRATI  
 INTEGRATED ENGINEERING SERVICES

Progettista:

Ing. Massimo Lo Russo



Sul presente documento sussiste il DIRITTO di PROPRIETA'. Qualsiasi utilizzo non preventivamente autorizzato sarà perseguito ai sensi della normativa vigente

REVISIONI	N.	Data	Descrizione revisione	Redatto	Controllato	Approvato
	00	12.07.2022	EMISSIONE PER AUTORIZZAZIONE	E. FICETOLA	D. LO RUSSO	M. LO RUSSO

## INDICE

1.	PREMESSA.....	3
2.	INTRODUZIONE .....	3
2.1.	I CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI.....	4
2.2.	EFFETTI BIOLOGICI E LIMITI DI ESPOSIZIONE.....	5
3.	INQUADRAMENTO NORMATIVO .....	6
4.	CAMPI ELETTROMAGNETICI GENERATI DALLE COMPONENTI DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO .....	8
4.1.	IDENTIFICAZIONE DELLE COMPONENTI.....	8
4.1.1.	MODULI E CABINE DI TRASFORMAZIONE, IMPIANTO E DI CONSEGNA.....	8
4.1.2.	CAVIDOTTO MT .....	9
4.1.3.	STAZIONE ELETTRICA DI UTENZA.....	10
4.1.4.	IMPIANTO DI UTENZA PER LA CONNESSIONE (CAVIDOTTO AT).....	12
5.	CONCLUSIONI.....	13

 <b>SINERGIA GP17</b>	<p>RELAZIONE SULL'ELETTROMAGNETISMO (D.P.C.M. 08/07/03 e D.M. 29/05/08)</p> <p>Impianto FV "CAIAZZO" Potenza DC di impianto 21,089 MWp - potenza AC di immissione in RTN 16,865 MWp Integrato con l'Agricoltura</p>	
Codifica Elaborato: <b>223602_D_R_0254 Rev. 00</b>		

## 1. PREMESSA

Scopo del presente documento è la redazione della relazione sull'elettromagnetismo finalizzato all'ottenimento dei permessi necessari alla costruzione ed esercizio dell'Impianto Fotovoltaico integrato con l'Agricoltura, con potenza di picco 21,089 MWp, in località "Pagliarone" nel comune di Caiazzo (CE), collegato alla Rete Elettrica Nazionale mediante connessione in antenna a 150 kV sulla sezione a 150 kV di una nuova Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione della RTN a 380/150 kV, da realizzare in soluzione GIS, da inserire in entra-esce alla linea a 380 Kv "Benevento 2 – Presenzano" ubicata nel comune di Amorosi (BN).

La società proponente del progetto, SINERGIA GP17 s.r.l., con sede legale in Napoli, Centro Direzionale, Isola G1, Scala C, Interno 58.

Il presente documento rappresenta lo studio di impatto elettromagnetico delle seguenti opere relative all'impianto Impianto FV "Caiazzo".

con annesso Sistema di accumulo di energia a batterie:

- Moduli, cabine di trasformazione, impianto e di consegna
- Cavidotto MT
- Stazione elettrica di utenza
- Impianto di utenza per la connessione (cavidotto AT)

Si rimanda alla relazione "223602\_D\_R\_0100\_Relazione Tecnica" per una descrizione dettagliata delle caratteristiche tecniche e alla relazione "223602\_D\_R\_0106\_Studio di impatto ambientale" per una descrizione dettagliata dell'inserimento ambientale dell'impianto in oggetto. Nella presente relazione si calcolano i campi elettromagnetici generati dall'impianto fotovoltaico e dalle relative opere di connessione, con particolare riferimento al campo di induzione magnetica.

## 2. INTRODUZIONE

Lo sviluppo economico di un paese è strettamente collegato ai consumi e alla disponibilità di energia, la cui fonte primaria oggi è il petrolio.

I combustibili fossili però, oltre al fatto che vengono consumati con una velocità milioni di volte superiore a quella con la quale si sono accumulati naturalmente, essendo quindi destinati ad una progressiva rarefazione, sono anche i principali responsabili del degrado dell'ambiente, con gravi conseguenze sulla salute dell'uomo, sulla flora, sulla fauna e sul patrimonio artistico.

Il 23 gennaio 2008 la Commissione europea ha presentato il "Pacchetto cambiamenti climatici ed energia", già definito 20-20-20, che prevede il raggiungimento di una quota del 20% di energie rinnovabili nel totale dei consumi energetici entro il 2020.

Il principale ostacolo alla diffusione di queste nuove energie è la loro non-competitività sul piano economico, imputabile anche al fatto che l'attuale mercato dell'energia non tiene conto dei costi sociali ed ambientali legati all'impiego dei combustibili fossili, non traducendoli in costi monetari.

L'unica tecnologia a tutt'oggi matura e quindi competitiva in questo senso è la produzione di energia elettrica da fonte eolica, con costi di produzione confrontabili con quelli degli impianti turbogas.

Alla produzione e al trasporto di energia elettrica, siano essi basati su fonti tradizionali fossili sia su fonti rinnovabili, si associano delle emissioni elettromagnetiche, dovute in massima parte alla corrente elettrica che scorre nei cavidotti aerei e/o interrati.

Nella progettazione di nuovi impianti di produzione di energia elettrica risulta dunque necessario assicurarsi che da tali opere non scaturiscano situazioni possibilmente dannose per la popolazione legate all'esposizione a campi elettromagnetici.

L'interazione tra campi elettromagnetici e sistemi biologici è governata in generale dalle equazioni di Maxwell, che descrivono la propagazione, riflessione e assorbimento dei campi elettromagnetici in tutti i mezzi, tra cui anche i tessuti biologici. In particolare, lo studio di possibili effetti legati all'esposizione a campi elettromagnetici è affrontato da una disciplina scientifica che prende il

 <b>SINERGIA GP17</b>	RELAZIONE SULL'ELETTROMAGNETISMO (D.P.C.M. 08/07/03 e D.M. 29/05/08) Impianto FV "CAIAZZO" Potenza DC di impianto 21,089 MWp - potenza AC di immissione in RTN 16,865 MWp Integrato con l'Agricoltura	 <b>PROGETTO ENERGIA</b>
Codifica Elaborato: <b>223602_D_R_0254 Rev. 00</b>		

nome di bioelettromagnetismo, che in sintesi è basata sull'analisi di due aspetti:

**Dosimetria:** valutazione quantitativa del campo elettromagnetico a cui è esposto un soggetto in presenza di una data sorgente elettromagnetica;

**Effetti biologici:** valutazione di possibili effetti biologici legati all'esposizione a una certa dose di campo.

Tali effetti biologici possono essere sia dannosi che positivi (nel caso di applicazioni biomedicali), e sono strettamente legati alle caratteristiche dei campi elettromagnetici cui si è esposti: frequenza, intensità, polarizzazione, forma d'onda.

Il primo parametro di interesse è la frequenza, in quanto campi a bassa frequenza agiscono su un sistema biologico secondo meccanismi sostanzialmente diversi da quelli ad alta frequenza.

Nel caso della bassa frequenza, come quello di elettrodotti a 50 Hz qui in esame, è possibile dimostrare che campi elettrici e magnetici sono sostanzialmente indipendenti (o disaccoppiati), per cui possono essere trattati separatamente.

## 2.1. I CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI

Il **campo elettrico** è legato in maniera direttamente proporzionale alla tensione della sorgente; esso si attenua, allontanandosi da un elettrodotto, come l'inverso della distanza dai conduttori. Dal momento che i valori efficaci delle tensioni di linea variano debolmente con le correnti che le attraversano, l'intensità del campo elettrico può considerarsi, in prima approssimazione, costante.

La presenza di alberi, oggetti conduttori o edifici in prossimità delle linee riduce l'intensità del campo elettrico, e in particolare all'interno degli edifici, si possono misurare intensità di campo fino a 10 (anche 100) volte inferiori a quelle rilevabili all'esterno.

L'intensità maggiore del campo elettrico in elettrodotti aerei si misura generalmente al centro della campata, ossia nel punto in cui i cavi si trovano alla minore distanza dal suolo. L'andamento e il valore massimo delle intensità dei campi dipenderanno anche dalla disposizione e dalle distanze tra i conduttori della linea. Per il caso di **elettrodotti interrati**, il campo elettrico è ridotto dai rivestimenti dei cavi e soprattutto dall'interramento, tanto che già a brevissima distanza dal cavo il campo è sostanzialmente trascurabile. Si pensi infatti che date le caratteristiche dielettriche del terreno, il piano di terra costituisce un riferimento elettrico equipotenziale, a potenziale nullo. Per tale motivo, il campo elettrico non è generalmente di interesse per la valutazione di effetti biologici legati alla presenza di elettrodotti in bassa frequenza, e le normative che fissano i limiti di esposizione a bassa frequenza sono incentrate sul campo magnetico, come si vedrà di seguito al paragrafo 3.

Il **campo magnetico** generato dalla corrente che scorre in un elettrodotto è invece la grandezza di maggiore interesse per la valutazione di possibili effetti biologici. Infatti, si presenta come un'onda di bassa impedenza, quindi in grado di penetrare facilmente all'interno della quasi totalità dei materiali (solo quelli ferromagnetici possono ostacolarla).

L'interazione con i tessuti organici si esplica prevalentemente con la generazione di correnti indotte dalle variazioni del campo magnetico nel tessuto stesso. Quando tali correnti sono superiori a determinate soglie, possono indurre degli effetti acuti dannosi.

Le grandezze che determinano l'intensità del campo magnetico indotto da un elettrodotto sono principalmente: 1) intensità delle sorgenti (correnti di linea); 2) distanza dalle sorgenti (conduttori); 3) disposizione e distanza tra sorgenti (distanza mutua tra i conduttori di fase); 4) presenza di sorgenti compensatrici e 5) suddivisione delle sorgenti (terne multiple). I metodi di controllo del campo magnetico si basano principalmente sulla riduzione della distanza tra le fasi, sull'installazione di circuiti addizionali (spire) nei quali circolano correnti di schermo, sull'utilizzazione di circuiti in doppia terna a fasi incrociate e sull'utilizzazione di linee interrate.

Campi a bassa frequenza sono emessi anche da alcuni strumenti elettromedicali e dalle apparecchiature domestiche o industriali alimentate da energia elettrica.

Ogni apparecchiatura che produce o che viene attraversata da una corrente elettrica (dinamo, cavi elettrici, elettrodomestici, etc.) è caratterizzata da un campo elettromagnetico. Il campo elettromagnetico presente in un dato punto dello spazio è definito da due vettori: il campo elettrico e l'induzione magnetica. Il primo, misurato in V/m, dipende dall'intensità e voltaggio della corrente, mentre l'induzione magnetica, che si misura in  $\mu\text{T}$ , dipende dalla permeabilità magnetica del mezzo. Il rapporto tra l'induzione

 <b>SINERGIA GP17</b>	RELAZIONE SULL'ELETTROMAGNETISMO (D.P.C.M. 08/07/03 e D.M. 29/05/08) Impianto FV "CAIAZZO" Potenza DC di impianto 21,089 MWp - potenza AC di immissione in RTN 16,865 MWp Integrato con l'Agricoltura	 <b>PROGETTO ENERGIA</b>
Codifica Elaborato: <b>223602_D_R_0254 Rev. 00</b>		

magnetica e la permeabilità del mezzo individua il campo magnetico. Le grandezze caratterizzanti il campo elettrico ed il campo magnetico sono in generale intercorrelate, fatta eccezione per i campi a frequenze molto basse, per le quali il campo elettrico ed il campo magnetico possono essere considerati indipendenti. In generale le correlazioni tra campo elettrico e campo magnetico sono assai complesse, dipendono dalle caratteristiche della sorgente, dal mezzo di propagazione, dalla presenza di ostacoli nella propagazione, dalle caratteristiche del suolo e dalle frequenze in gioco. La diffusione del campo elettromagnetico nello spazio avviene nello stesso modo in tutte le direzioni; la diffusione può essere comunque alterata dalla presenza di ostacoli che, a seconda della loro natura, inducono sul campo elettromagnetico riflessioni, rifrazioni, diffusi, assorbimento, ecc. La diffusione del campo elettromagnetico può comunque essere alterata anche dalla presenza di un altro campo elettromagnetico. Nel presente documento si esaminano le apparecchiature e le infrastrutture necessarie alla realizzazione del progetto proposto, con particolare riguardo alla generazione di campi elettromagnetici a bassa frequenza.

Tutte le componenti del progetto operano, infatti, alla frequenza di 50 Hz, coincidente con la frequenza di esercizio della rete di distribuzione elettrica nazionale.

## 2.2. EFFETTI BIOLOGICI E LIMITI DI ESPOSIZIONE

Si è precedentemente anticipato che gli effetti biologici indotti dall'esposizione a campi elettromagnetici sono legati a meccanismi di accoppiamento sostanzialmente diversi a seconda che i campi siano ad alta o bassa frequenza.

Ad **alta frequenza** (telefonia cellulare, emissioni radiotelevisive, etc.), il meccanismo di interazione di base è quello dell'orientamento dei dipoli che costituiscono un tessuto secondo le polarità del campo, che oscillano ad alta frequenza: ciò induce una dissipazione di energia che viene assorbita dal tessuto, riscaldandolo. Tale riscaldamento, oltre una certa soglia, comporta degli effetti dannosi sul tessuto stesso fino anche alla morte cellulare per esposizioni acute. La grandezza di interesse con cui caratterizzare l'esposizione ad alta frequenza è la seguente:

- **Specific Absorption Rate (SAR) [W/Kg]:** energia per unità di tempo e di massa assorbita dal tessuto.

Numerosi studi sperimentali condotti nell'ultimo ventennio hanno permesso l'individuazione dei livelli di SAR responsabili di effetti dannosi. Sulla base di tali livelli si sono quindi definiti dei limiti di esposizione, cui fanno riferimento le normative nazionali ed internazionali. Non si approfondiranno ulteriormente tali aspetti, concentrando l'attenzione sulla bassa frequenza, che include il caso degli elettrodotti.

A **bassa frequenza**, l'interazione con i tessuti organici si esplica prevalentemente con la generazione di **correnti indotte** dalle variazioni nel tempo del campo magnetico.

Tali correnti sono la principale conseguenza dell'esposizione e la loro intensità  $J$  è definita nel modo seguente:

$$J \approx \pi \frac{L}{2} \sigma f B$$

in cui  $L$  e  $\sigma$  sono rispettivamente la dimensione caratteristica e la conducibilità del tessuto,  $f$  e  $B$  sono la frequenza e l'intensità dell'induzione magnetica indotta dall'esposizione nel tessuto biologico.

Studi sperimentali hanno messo in evidenza l'esistenza di livelli di correnti indotte alle quali si manifestano degli effetti biologici dannosi. Questi ultimi partono dalla stimolazione nervosa, alla contrazione neuro-muscolare, fino alla fibrillazione ventricolare e la folgorazione per esposizioni acute.

Sulla base dei livelli sperimentalmente individuati si definiscono quindi dei limiti di base di esposizione e, con opportuni coefficienti di sicurezza, 10 o 50, si definiscono i livelli di riferimento per la normativa di protezione dai campi elettromagnetici.

Allo stato dell'arte l'istituzione più autorevole per la revisione degli studi di ricerca e la definizione dei limiti è costituito dalla International Commission on Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), che gode del riconoscimento ufficiale dell'OMS e della IARC (International Agency for Research on Cancer).

La definizione dei limiti di base secondo la guida ICNIRP (1998) si basa solo sugli effetti biologici della cui pericolosità per la salute

si abbia una accertata evidenza scientifica.

È possibile differenziare due tipi di rischi:

- il rischio da esposizione (anche istantanea) a livelli elevati, per i quali sono noti gli effetti avversi da un punto di vista medico (effetti acuti);
- il rischio da esposizione prolungata a livelli inferiori, per i quali non ancora è possibile trarre conclusioni definitive.

Per quanto riguarda effetti cancerogeni, allo stato dell'arte non c'è evidenza sperimentale della loro esistenza, anche se alcuni studi epidemiologici evidenziano una correlazione statistica tra i casi di leucemia infantile e la vicinanza agli elettrodotti che trasportano elevate correnti, e valori di induzione magnetica superiori a 0.2  $\mu\text{T}$ .

La IARC ha invece deciso di classificare la esposizione ambientale a campi magnetici ELF come possibilmente cancerogena con riferimento alla leucemia infantile.

In figura 1 si riassumono i valori di induzione magnetica individuati come limiti di riferimento per le normative secondo l'ICNIRP e il CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization). Si riporta anche la soglia di attenzione epidemiologica (SAE), relativa a possibili correlazioni epidemiologiche con casi di leucemia infantile.

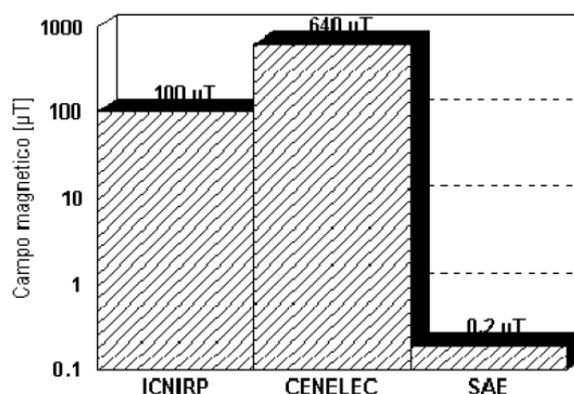


Figura 1 – Limiti di riferimento di esposizione ai campi magnetici di bassa frequenza secondo ICNIRP e CENELEC e indicazione della SAE.

Riassumendo dunque, l'ICNIRP prescrive come limite di riferimento per l'esposizione a campi elettromagnetici di bassa frequenza il valore di induzione magnetica B pari a 100  $\mu\text{T}$ , mentre il CENELEC considera un valore più elevato, pari a 640  $\mu\text{T}$ .

### 3. INQUADRAMENTO NORMATIVO

Numerosi paesi come ad esempio la Germania adottano come limiti di legge relativi all'esposizione ai campi elettromagnetici i livelli di riferimento individuati dalla commissione ICNIRP.

L'Italia anche in seguito a pressioni mediatiche ha provveduto a emanare norme via via più restrittive in materia di protezione dai campi elettromagnetici, anche in assenza di studi sperimentali che suggeriscano tale direzione.

Attualmente, l'esposizione ai campi elettromagnetici è regolamentata dalla legge n.36 del 22 febbraio 2001, che stabilisce il quadro normativo per gli impianti esistenti e per quelli costruendi. Tale legge quadro ha fissato i criteri e il contesto di riferimento per l'esposizione ai campi elettromagnetici ed è stata seguita nel 2003 da decreti attuativi che indicano i valori di legge da rispettare.

Dall'articolo 3 della "Legge quadro 22/02/2001, n. 36", "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici", "G.U. 7 marzo 2001, n.55", si riportano le definizioni delle grandezze di interesse per la caratterizzazione dell'esposizione a campi elettromagnetici:

a) **esposizione**: è la condizione di una persona soggetta a campi elettrici, magnetici, elettromagnetici, o a correnti di contatto, di origine artificiale;

 <b>SINERGIA GP17</b>	RELAZIONE SULL'ELETTROMAGNETISMO (D.P.C.M. 08/07/03 e D.M. 29/05/08) Impianto FV "CAIAZZO" Potenza DC di impianto 21,089 MWp - potenza AC di immissione in RTN 16,865 MWp Integrato con l'Agricoltura	 <b>PROGETTO ENERGIA</b>
Codifica Elaborato: <b>223602_D_R_0254 Rev. 00</b>		

b) **limite di esposizione:** è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, definito ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori per le finalità di cui all'articolo 1, comma 1, lettera a);

c) **valore di attenzione:** è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, che non deve essere, superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate per le finalità di cui all'articolo 1, comma 1, lettere b) e c). Esso costituisce misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine e deve essere raggiunto nei tempi e nei modi previsti dalla legge;

d) **obiettivi di qualità** sono:

1) i criteri localizzativi, gli standard urbanistici, le prescrizioni e le incentivazioni per l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili, indicati dalle leggi regionali secondo le competenze definite dall'articolo 8;

2) i valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, definiti dallo Stato secondo le previsioni di cui all'articolo 4, comma 1, lettera a), ai fini della progressiva mitigazione dell'esposizione ai campi medesimi;

e) **elettrodotti:** è l'insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione;

f) **esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici:** è ogni tipo di esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici che, per la loro specifica attività lavorativa, sono esposti a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici;

g) **esposizione della popolazione:** è ogni tipo di esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici. ad eccezione dell'esposizione di cui alla lettera f) e di quella intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici;(…)

Successivamente due decreti del Presidente del Consiglio 8 luglio 2003 hanno fissato i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione. I due decreti disciplinano separatamente le basse (elettrodotti) e le alte frequenze (impianti radiotelevisivi, stazioni radio base, ponti radio).

### Obiettivi di qualità

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 µT** per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

Riassumendo dunque i limiti di legge in vigore in Italia relativi all'esposizione a campi elettromagnetici alla frequenza di 50 Hz sono quelli riportati in tabella 1.

Frequenza 50 Hz	Intensità di campo elettrico E (kV/m)	Induzione Magnetica B (µT)
<b>Limite di esposizione *</b> (da non superare mai)	<b>5</b>	<b>100</b>
<b>Valore di attenzione **</b> (da non superare in ambienti abitativi già esistenti e comunque nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore)	-	<b>10</b>
<b>Obiettivo di qualità **</b> (da non superare per i nuovi elettrodotti o le nuove abitazioni in prossimità di elettrodotti esistenti)	-	<b>3</b>

Tabella 1 – Limiti della normativa italiana sull'esposizione a campi elettromagnetici a 50 Hz, indicati nel DPCM dell'8 luglio 2003.

 <b>SINERGIA GP17</b>	RELAZIONE SULL'ELETTROMAGNETISMO (D.P.C.M. 08/07/03 e D.M. 29/05/08) Impianto FV "CAIAZZO" Potenza DC di impianto 21,089 MWp - potenza AC di immissione in RTN 16,865 MWp Integrato con l'Agricoltura	 <b>PROGETTO ENERGIA</b>
Codifica Elaborato: <b>223602_D_R_0254 Rev. 00</b>		

A titolo esemplificativo si riportano in tabella 2 i livelli di induzione magnetica generati da comuni elettrodomestici alimentati dalla rete elettrica a 50 Hz.

Si noti che in prossimità degli stessi si raggiungono valori ben superiori ai limiti di legge, anche se l'uso di tali strumenti non comporta tipicamente esposizione di tipo prolungato.

Fonte	Induzione magnetica $\mu\text{T}$	
	vicino	30 cm
Apriscatole	2000	16
Asciugacapelli	2500	7
Aspirapolvere	800	20
Coperta elettrica	30	-
Ferro da stiro	30	0.4
Forno elettrico	1000	20
Frullatore	700	10
HiFi	5	5
Lampada 325 W	2500	-
Lampada alogena	12	12
Lampada a incandescenza	400	4
Caffettiera elettrica	2.5	0.15
Monitor computer	0.25	0.25
Radio sveglia	5	5
Rasoio elettrico	1500	9
Saldatore	800	20
Sega elettrica	1000	25
Trapano	800	16
TV color	500	4
Ventilatore	180	40

Tabella 2 – Induzione magnetica  $B$  generata da comuni elettrodomestici a 50 Hz.

## 4. CAMPI ELETTROMAGNETICI GENERATI DALLE COMPONENTI DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO

### 4.1. IDENTIFICAZIONE DELLE COMPONENTI

Il progetto proposto consta nella realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica tramite lo sfruttamento del sole; l'impianto è costituito dai seguenti elementi principali che, avendo parti in tensione, possono dar luogo all'emissione di onde elettromagnetiche:

- Moduli, cabine di trasformazione, impianto e di consegna;
- Cavidotto MT;
- Stazione elettrica di utenza;
- Impianto di utenza per la connessione (cavidotto AT).

Gli impianti fotovoltaici, essendo costituiti fondamentalmente da elementi per la produzione ed il trasporto di energia elettrica, sono interessati dalla presenza di campi elettromagnetici.

#### 4.1.1. MODULI E CABINE DI TRASFORMAZIONE, IMPIANTO E DI CONSEGNA

Per quanto riguarda i moduli e le cabine di trasformazione, impianto e di consegna, i livelli di induzione magnetica decadono a pochi metri di distanza dalla sorgente. Considerato che altre motivazioni di tipo tecnico-ambientale fanno sì che tali strutture siano poste a decine o centinaia di metri da eventuali ricettori, questi ultimi non saranno oggetto di esposizione elettromagnetica rilevante dovuta alle correnti dei moduli o delle cabine elettriche.

I valori del campo magnetico sono inferiori al valore obiettivo ad una distanza massima dell'ordine di 1,5 m dalla parete esterna.

In considerazione del livello di tensione di esercizio del sistema a 20 kV, il valore del campo elettrico diventa inferiore al valore limite di 5 kV/m già a pochi centimetri dalle parti in tensione.

Per avere un'idea delle distanze di decadimento del campo si consideri quanto di seguito riportato a proposito dei cavidotti e rappresentato in figura 3.

Spesso nelle cabine MT/BT i conduttori non sono rettilinei, ma sono costretti a formare delle curve che alterano il valore del campo magnetico circostante. Rispetto alla situazione di un conduttore rettilineo, ad ogni curvatura del conduttore (o di un fascio di conduttori) corrisponde un aumento del campo magnetico nell'area concava (parte interna alla curvatura, e quindi alla cabina) delimitata dal conduttore stesso, ed una diminuzione del campo magnetico nell'area convessa (parte esterna alla curvatura).

Pertanto, all'esterno delle cabine (parte convessa della curvatura) il campo è ulteriormente ridotto rispetto al caso di conduttori rettilinei, cui si riferisce la figura 3.

**È possibile concludere, quindi, che nelle immediate vicinanze dei moduli e delle cabine di trasformazione e di consegna l'esposizione dovuta all'induzione di campi elettromagnetici sia da considerarsi trascurabile.**

#### 4.1.2. CAVIDOTTO MT

Di maggiore interesse è invece l'esposizione legata al passaggio di **corrente nei cavidotti** interni all'impianto e di collegamento alla Stazione elettrica di utenza, in quanto esiste la possibilità che il percorso di tali cavidotti sia prossimo ad unità abitative. Sarà dunque necessario verificare che l'esposizione associata sia conforme ai limiti di legge.

Tipicamente, i cavidotti per il trasporto dell'energia prodotta da impianti fotovoltaici sono costituiti da sistemi trifase, per ragioni di efficienza elettrica. Dal punto di vista elettromagnetico ciò costituisce un vantaggio, in quanto, mentre il campo magnetico generato da un sistema unifilare decade linearmente con la distanza, quello relativo a sistemi trifase decade con il quadrato della distanza, per via dello sfasamento tra le correnti della terna.

Più in particolare, le grandezze che determinano l'intensità del campo magnetico indotto da un elettrodotto sono principalmente: 1) intensità delle sorgenti (correnti di linea); 2) distanza dalle sorgenti (conduttori); 3) disposizione e distanza tra sorgenti (distanza mutua tra i conduttori di fase); 4) presenza di sorgenti compensatrici e 5) suddivisione delle sorgenti (terne multiple).

Con riferimento ad un tratto rettilineo di linea di un cavidotto trifase, si riportano in figura 2 le equazioni che descrivono l'andamento dell'induzione magnetica B con la distanza dal cavidotto, nel caso di tre possibili configurazioni geometriche della terna.

(ref. norma CEI 106-11)

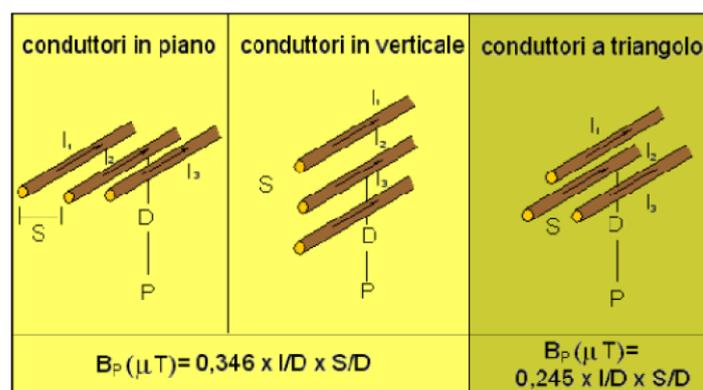


Figura 2 – Andamento dell'induzione magnetica B generata da un tratto rettilineo di terna trifase, per diverse configurazioni geometriche della terna stessa.

Si osserva dalle relazioni di figura 2 che il campo B aumenta linearmente con la corrente di linea I e decade con il quadrato della distanza D dalla linea. Inoltre, il campo B aumenta linearmente con la distanza tra i conduttori S, ciò che è anche il motivo per cui cavidotti aerei, che presentano conduttori generalmente più distanti tra loro, generano campi che decadono più lentamente con la

distanza rispetto a cavidotti interrati, a parità di corrente. Infine, si noti che la configurazione a triangolo è quella cui si associa minore generazione di campo B, per via dell'opposizione tra le fasi.

Si osservi anche che è attualmente diffusa un'altra configurazione geometrica della terna, in cui si prevede una struttura elicoidale (cordata) dei conduttori. In tale configurazione la ridotta distanza tra i conduttori e la continua trasposizione delle fasi fornita dalla cordatura (ricordiamo che linee con le fasi trasposte, cioè ottimizzate, abbattano il campo magnetico), fa sì che l'obiettivo di qualità di  $3 \mu\text{T}$  venga raggiunto a distanze brevissime (0.5 – 0.8 m) dall'asse del cavo. Pertanto, per cavidotti con tale configurazione l'impatto elettromagnetico è da considerarsi sempre trascurabile.

Da un punto di vista quantitativo, per avere un'idea del campo generato dai cavidotti interni ad un generico impianto, si considerino tre tipologie di cablaggi con portate in corrente di tre classi: 300 A, 600 A, 900 A.

Nell'ipotesi di terna piana, si riportano in figura 3 l'andamento del campo B generato al livello del suolo dal passaggio di corrente di 300, 600 e 900 A, supponendo una distanza tra i conduttori pari a 5 cm (tipica di un cavidotto MT) ed un interrimento di 1 m.

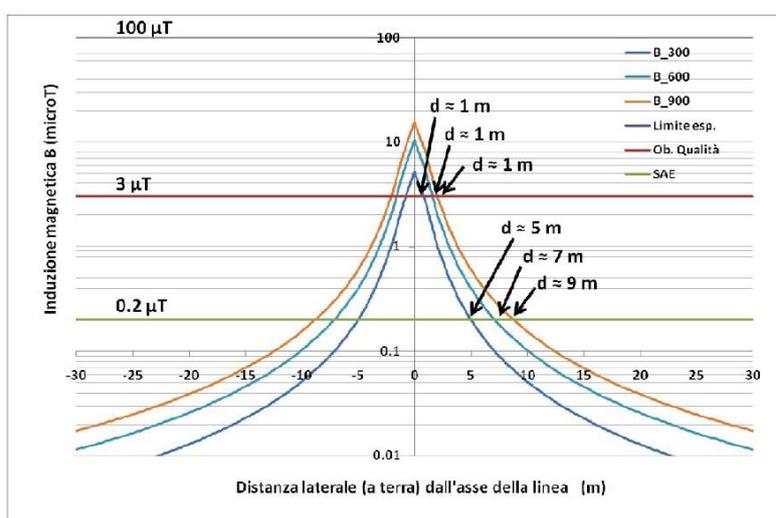


Figura 3 – Andamento del campo B generato da una terna piana trifase percorsa da corrente di 300 A (blu), 600 A (ciano) e 900 A (arancio) e indicazione delle distanze dalla linea necessarie per rientrare nei limiti di legge e nella SAE.

Si osservi in figura 3 come il campo magnetico assuma il valore massimo in corrispondenza della minima distanza dei conduttori dal suolo, ossia in corrispondenza (sopra) l'asse della linea, e decada molto rapidamente con la distanza laterale.

In figura 3 sono indicati i valori di riferimento indicati dalla normativa: limite di esposizione (100  $\mu\text{T}$ ) e Obiettivo di Qualità per la progettazione di nuovi elettrodotti (3  $\mu\text{T}$ ). È anche indicata la Soglia di Attenzione Epidemiologica (SAE) di 0.2  $\mu\text{T}$ , seppure essa non sia un limite di legge.

Con riferimento a tali valori, si sono indicate in figura 3 le distanze oltre le quale il campo B è al di sotto di tali limiti. In particolare, il limite di esposizione di 100  $\mu\text{T}$  non viene mai raggiunto. L'obiettivo di qualità di 3  $\mu\text{T}$ , che è il principale riferimento normativo per i cavidotti del presente progetto, è superato solo nelle immediate vicinanze del cavidotto, ma già **entro 1 m di distanza il campo B è inferiore a 3  $\mu\text{T}$** .

Infine, la SAE di 0.2  $\mu\text{T}$  è raggiunta a distanza di 5, 7 e 9 m. In generale, si può osservare come tali distanze siano molto ridotte, per via della bassa distanza tra i conduttori e delle correnti non molto elevate. **Già in questa fase appare quindi evidente come l'esposizione legata ai cavidotti di impianto non comporti situazioni critiche dal punto di vista elettromagnetico.**

#### 4.1.3. STAZIONE ELETTRICA DI UTENZA

La stazione elettrica di utenza avrà una superficie di circa 1.100 mq. Al suo interno sarà presente un edificio adibito a locali tecnici, in cui saranno allocati gli scomparti MT, i quadri BT, il locale comando controllo ed il gruppo elettrogeno.

È prevista altresì la realizzazione di uno stallo di trasformazione.

 <b>SINERGIA GP17</b>	RELAZIONE SULL'ELETTROMAGNETISMO (D.P.C.M. 08/07/03 e D.M. 29/05/08) Impianto FV "CAIAZZO" Potenza DC di impianto 21,089 MWp - potenza AC di immissione in RTN 16,865 MWp Integrato con l'Agricoltura	 <b>PROGETTO ENERGIA</b>
Codifica Elaborato: <b>223602_D_R_0254 Rev. 00</b>		

Il trasformatore 20/150 kV avrà potenza nominale di 25 MVA raffreddamento in olio ONAN/ONAF, con vasca di raccolta sottostante, in caso di perdite accidentali.

Oltre al trasformatore MT/AT saranno installate apparecchiature AT per protezione, sezionamento e misura.

L'area della sottostazione sarà delimitata da una recinzione con elementi prefabbricati "a pettine", che saranno installati su apposito cordolo in calcestruzzo (interrato). La finitura del piazzale interno sarà in asfalto. In corrispondenza delle apparecchiature AT sarà realizzata una finitura in ghiaietto.

Per quanto concerne la determinazione della fascia di rispetto, la S.E. di utenza è del tutto assimilabile ad una Cabina Primaria, per la quale la fascia di rispetto rientra, come verificheremo nel paragrafo successivo per il caso in esame, nei confini dell'area di pertinenza dell'impianto (area recintata). Ciò in conformità a quanto riportato al paragrafo 5.2.2 dell'Allegato al Decreto 29 maggio 2008 che afferma che: *per questa tipologia di impianti la Dpa e, quindi, la fascia di rispetto, rientrano generalmente nei confini dell'area di pertinenza dell'impianto stesso.*

L'impatto elettromagnetico nella S.E. di utenza è essenzialmente prodotto:

- all'utilizzo dei trasformatori BT/MT;
- alla realizzazione delle linee/sbarre aeree di connessione tra il trafo e le apparecchiature elettromeccaniche.

L'impatto generato dalle sbarre AT è di gran lunga quello più significativo e pertanto si propone il calcolo della fascia di rispetto dalle sbarre AT.

#### *Determinazione della fascia di rispetto*

Le sbarre AT sono assimilabili ad una linea aerea trifase 150 kV, con conduttori posti in piano ad una distanza reciproca di 2,2 m, ad un'altezza di circa 4,5 m dal suolo, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate.

Nel caso in esame abbiamo:

- S (distanza tra i conduttori) = 2,2 m
- Pn = Potenza massima dell'impianto (16,865 MW)
- Vn = Tensione nominale delle sbarre AT (150 kV)

Pertanto, si avrà

$$I = \frac{P_n}{(V_n \times 1,73 \times \cos\phi)} = 65,00 \text{ A}$$

ed utilizzando la formula di approssimazione proposta al paragrafo 6.2.1 della norma CEI 106-11, si avrà:

$$R' = 0,34 \times \sqrt{(2,2 \times 65,00)} = 4,00 \text{ m}$$

In conclusione:

- in conformità a quanto previsto dal Decreto 29 maggio 2008 *la Distanza di Prima Approssimazione (Dpa) e, quindi, la fascia di rispetto rientra nei confini dell'area di pertinenza della Stazione elettrica di utenza;*
- *la Stazione elettrica di utenza è comunque realizzata in un'area agricola, con totale assenza di edifici abitati per un raggio di almeno 180m;*
- *all'interno dell'area della Stazione elettrica di utenza non è prevista la permanenza di persone per periodi continuativi superiori a 4 ore con l'impianto in tensione.*

**Pertanto, si può quindi affermare che l'impatto elettromagnetico su persone prodotto dalla Stazione elettrica di utenza è trascurabile.**

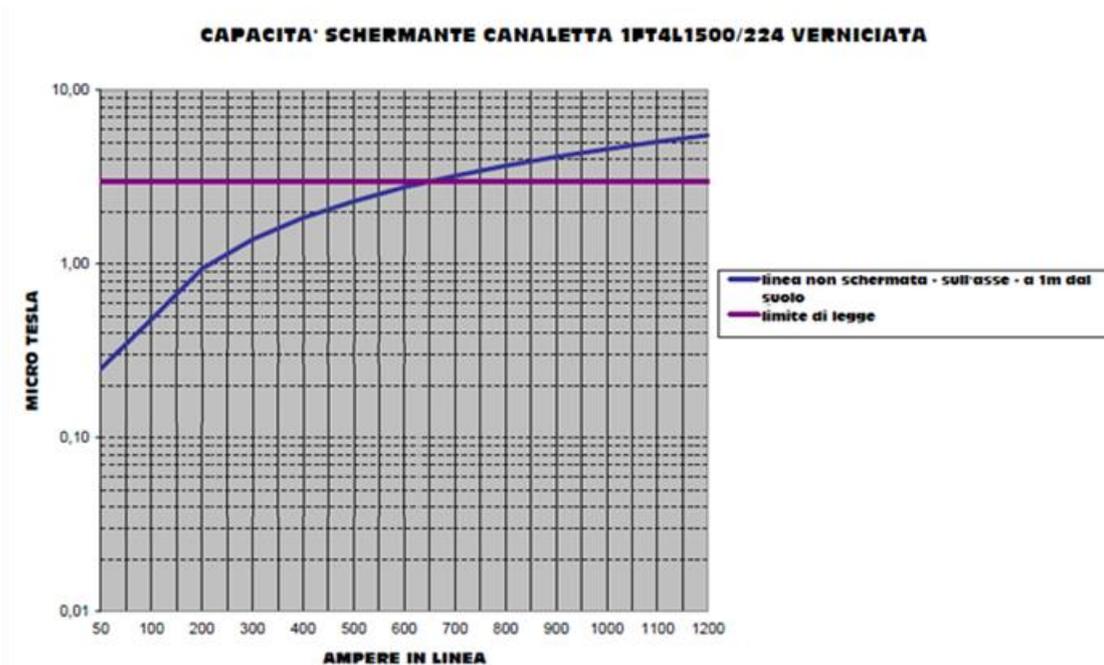
#### 4.1.4. IMPIANTO DI UTENZA PER LA CONNESSIONE (CAVIDOTTO AT)

Il **cavidotto AT** che collegherà la stazione elettrica di utenza all'impianto di rete per la connessione all'interno di una nuova Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione della RTN a 380/150 kV, da realizzare in soluzione GIS, da inserire in entra-esce alla linea a 380 Kv "Benevento 2 – Presenzano" ubicata nel comune di Amorosi (BN), sarà costituito da una terna composta da tre cavi unipolari realizzati con conduttore in alluminio o rame, isolante in XLPE, schermatura in alluminio e guaina esterna in polietilene.

Dal punto di vista elettromagnetico le caratteristiche del campo B generato dal cavidotto AT e il suo decadimento con la distanza sono analoghi a quanto già descritto per i cavidotti MT interni al parco; occorre tuttavia precisare che linee AT presentano una maggiore distanza tra i conduttori, ciò che determina un decadimento del campo magnetico con la distanza inferiore a quanto visto per i cavidotti MT, a parità di corrente. Ciò è vero per terne interrate (distanza tipica tra conduttori di 9-20 cm), ma soprattutto per linee aeree, ove la distanza tra conduttori può anche essere dell'ordine dei m.

D'altra parte, un eventuale tratto AT, data l'elevazione della tensione, sarà percorso da una corrente notevolmente inferiore ad un corrispondente cavidotto MT, con conseguente diminuzione del campo magnetico generato. Ciò è vero nell'ipotesi che il cavidotto AT sia percorso dalla sola corrente dell'impianto considerato.

A titolo di esempio si riporta di seguito il grafico relativo agli andamenti sperimentali del campo magnetico ad un metro dal suolo prodotto da una linea ad AT in cavo interrato, nella posa a trifoglio, alla profondità di 1,5m.



Visto che l'intensità di corrente della linea AT è pari a 65,00 A, entrando nel grafico con tale valore si vede che il **campo di induzione magnetica prodotto da tale linea presenta un valore compreso tra 0,30  $\mu$ T e 0,40  $\mu$ T, comunque inferiore al limite di legge pari a 3  $\mu$ T.**

È opportuno comunque sottolineare che, nel presente studio, si considereranno ipotesi opportunamente cautelative, ovvero che il cavidotto AT in esame sia nelle condizioni di portata in servizio normale come definita dalla norma CEI 11-60.

 <p>SINERGIA GP17</p>	<p>RELAZIONE SULL'ELETTROMAGNETISMO (D.P.C.M. 08/07/03 e D.M. 29/05/08)</p> <p>Impianto FV "CAIAZZO" Potenza DC di impianto 21,089 MWp - potenza AC di immissione in RTN 16,865 MWp Integrato con l'Agricoltura</p>	 <p>PROGETTO ENERGIA</p>
<p>Codifica Elaborato: <b>223602_D_R_0254</b> Rev. 00</p>		

## 5. CONCLUSIONI

Dallo studio del campo elettromagnetico prodotto dalle opere dell'Impianto Fotovoltaico di Caiazzo con annesso sistema di accumulo di energia a batterie è emerso che:

- nelle immediate vicinanze dei moduli e delle cabine di trasformazione, impianto e di consegna, l'esposizione dovuta all'induzione di campi elettromagnetici è da considerarsi trascurabile;
- l'obiettivo di qualità di  $3 \mu\text{T}$  del campo di induzione magnetica è soddisfatto già a 1 m di distanza dal cavidotto MT;
- l'impatto elettromagnetico su persone, prodotto dalla cabina di trasformazione della Stazione elettrica di utenza, è trascurabile;
- il campo di induzione magnetica prodotto dall'Impianto di utenza per la connessione (cavidotto AT) presenta, a 1 m di distanza, un valore compreso tra  $0,30 \mu\text{T}$  e  $0,40 \mu\text{T}$ , inferiore al limite di legge pari a  $3 \mu\text{T}$ .

Pertanto, le opere elettriche relative all'Impianto Fotovoltaico di Caiazzo con annesso sistema di accumulo di energia a batterie sono conformi a tutti i parametri normativi di impatto elettromagnetico.

