

# IMPIANTO FOTOVOLTAICO EG DANTE SRL E OPERE CONNESSE

POTENZA IMPIANTO 19,01 MWp - COMUNE DI PORTOMAGGIORE (FE)

## Proponente

**EG DANTE S.R.L.**

VIA DEI PELLEGRINI 22 · 20122 MILANO (MI) · P.IVA: 11769750966 PEC: [egdante@pec.it](mailto:egdante@pec.it)



## Progettazione

**Ing. Matteo Bono**

Via per Rovato, 29/C - 25030 Erbusco (BS )

tel.: 030/5281283 · e-mail: [m.bono@solareng.it](mailto:m.bono@solareng.it) · PEC: [solareng@pec.solareng.it](mailto:solareng@pec.solareng.it)



## Collaboratori

**Ing. Marco Passeri**

Via per Rovato, 29/C - 25030 Erbusco (BS )

tel.: 030/5281283 · e-mail: [m.passeri@solareng.it](mailto:m.passeri@solareng.it) · PEC: [solareng@pec.solareng.it](mailto:solareng@pec.solareng.it)

## Coordinamento progettuale

**SOLAR ENGINEERING S.R.L.**

VIA ILARIA ALPI, 4 · 46100 MANTOVA (MN) · P.IVA: 02645550209 · email: [solareng@pec.solareng.it](mailto:solareng@pec.solareng.it)

## Titolo Elaborato

### RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI

LIVELLO PROGETTAZIONE	CODICE ELABORATO	FILENAME	RIFERIMENTO	DATA	SCALA
DEFINITIVO	REL24_00	-	-	15/12/2021	-

## Revisioni

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
	15/12/2021	RT	LP	MB/MP	EG



Comune di Portomaggiore (FE)

Regione EMILIA ROMAGNA



# RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI

---

# Sommario

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>2</b>
<b>3. GRANDEZZE FISICHE CARATTERIZZANTI IL FENOMENO .....</b>	<b>3</b>
3.1. IL CAMPO ELETTROMAGNETICO .....	3
3.2. CAMPO ELETTRICO.....	4
3.3. CAMPO MAGNETICO .....	4
<b>4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>5. COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA.....</b>	<b>5</b>
<b>6. DESCRIZIONE SOMMARIA DELL’IMPIANTO .....</b>	<b>5</b>
<b>7. CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI .....</b>	<b>7</b>
7.1. CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIANTO FOTOVOLTAICO .....	7
7.1.1. I MODULI FOTOVOLTAICI .....	7
7.1.2. INVERTER.....	7
7.1.3. STAZIONI DI TRASFORMAZIONE.....	8
7.1.4. LINEE ELETTRICHE IN CAVO INTERNE AL CAMPO - MEDIA TENSIONE .....	11
7.1.5. LINEE ELETTRICHE IN CAVO ESTERNE AL CAMPO – CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA .....	13
<b>8. CONCLUSIONI.....</b>	<b>13</b>

## 1. PREMESSA

Scopo del presente documento è quello di descrivere le emissioni elettromagnetiche associate alle infrastrutture elettriche presenti nell'impianto fotovoltaico in oggetto e connesse ad esso, ai fini della verifica del rispetto dei limiti della legge n.36/2001 e dei relativi Decreti attuativi.

Il progetto prevede la costruzione e l'esercizio di un impianto fotovoltaico su strutture costituite da inseguitori solari di tipo monoassiale avente orientamento Nord - Sud e angolo di tilt pari a 0° della potenza di potenza complessiva pari a 19.012,00 kW.

Tale impianto sorgerà in un'area che si estende su una superficie recintata, di tipo agricola complessiva pari a 233.550 mq e ubicata in zona periferica a Nord del territorio comunale di Portomaggiore (FE), ad una distanza in linea retta dall'abitato cittadino che va dal punto più vicino a circa 6 km a quello più lontano circa 6,5 km.

Per l'impianto fotovoltaico suddetto saranno analizzate le emissioni elettromagnetiche dovute all'esercizio di cavidotti, stazioni di trasformazione, cabina di consegna e in generale del generatore fotovoltaico. A tale scopo, saranno individuate, per ciascuna delle suddette componenti, le Distanze di Prima Approssimazione (DPA) secondo le prescrizioni di cui al Decreto Ministeriale del 29.05.2008.

Nel presente studio è stata presa in considerazione la condizione maggiormente significativa al fine di valutare la rispondenza ai requisiti di legge dei nuovi elettrodotti. Verrà riportata l'intensità del campo elettromagnetico sulla verticale dei cavidotti e nelle immediate vicinanze, fino ad una distanza massima di 15 m dall'asse del cavidotto; la rilevazione del campo magnetico è stata fatta alle quote di 0m, +1,5m, +2m, +2,5m e +3m dal livello del suolo. Si fa presente che la quota di +1,5m dal livello del suolo è la quota nominale cui si fa riferimento nelle misure di campo elettromagnetico.

## 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Di seguito si riporta l'elenco dei principali riferimenti normativi e documenti che intervengono nella definizione e nella valutazione dei fattori di rischio associati alla presenza di campi elettromagnetici in ambiente.

- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2003: "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti".
- Decreto Legislativo 9 aprile 2008 n° 81: "Testo unico sulla sicurezza sul lavoro".
- Norma CEI 0-2 "Guida per la definizione della documentazione di progetto degli impianti elettrici".
- Norma CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche".
- Norma 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."
- Decreto Ministeriale del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (M.A.T.T.M.) del 29 Maggio 2008 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti".

## 3. GRANDEZZE FISICHE CARATTERIZZANTI IL FENOMENO

### 3.1. IL CAMPO ELETTROMAGNETICO

I campi elettromagnetici sono un insieme di grandezze fisiche misurabili, introdotte per caratterizzare un insieme di fenomeni osservabili indotti, senza contatto diretto, tra sorgente ed oggetto del fenomeno, vale a dire fenomeni in cui è presente un'azione a distanza attraverso lo spazio.

Esso è composto in generale da tre campi vettoriali, il campo elettrico, il campo magnetico e un terzo campo che spesso per semplicità viene escluso che è il "termine di sorgente". Questo significa che i vettori che caratterizzano il campo elettromagnetico hanno ciascuno un valore definito in ciascun punto del tempo e dello spazio.

I vettori che modellizzano le grandezze introdotte nella definizione del modello fisico dei campi elettromagnetici sono quindi:

**E:** Campo elettrico

**B:** Campo di induzione magnetica e, parallelamente:

**D:** Spostamento elettrico o induzione dielettrica

**H:** Campo magnetico

L'esposizione umana ai campi elettromagnetici è una problematica relativamente recente che assume notevole interesse con l'introduzione massiccia dei sistemi di telecomunicazione e dei sistemi di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica. In realtà anche in assenza di tali sistemi siamo costantemente immersi nei campi elettromagnetici per tutti quei fenomeni naturali riconducibili alla natura elettromagnetica, primo su tutti l'irraggiamento solare.

Per quanto concerne i fenomeni elettrici si fa riferimento al campo elettrico, il quale può essere definito come una perturbazione di una certa regione spaziale determinata dalla presenza nell'intorno di una distribuzione di carica elettrica.

Per i fenomeni di natura magnetica si fa riferimento ad una caratterizzazione dell'esposizione ai campi magnetici, non in termini del vettore campo magnetico, ma in termini di induzione magnetica, che tiene conto dell'interazione con ambiente ed i mezzi materiali in cui il campo si propaga. Dal punto di vista macroscopico ogni fenomeno elettromagnetismo è descritto da un gruppo di equazioni note come equazioni di Maxwell. La normativa attualmente in vigore disciplina in modo differente i valori ammissibili di campo elettromagnetico in funzione della loro frequenza, distinguendo così i "campi elettromagnetici quasi stazionari" ed i "campi elettromagnetici a radio frequenza".

Il modello quasi stazionario è applicato per il caso concreto della distribuzione di energia, in relazione alla frequenza di distribuzione dell'energia della rete che è pari a 50Hz. In generale gli elettrodotti dedicati alla trasmissione e distribuzione di energia elettrica sono percorsi da correnti elettriche di intensità diversa, ma tutte alla frequenza di 50Hz, e quindi tutti i fenomeni elettromagnetici che li vedono come sorgenti possono essere studiati correttamente con il modello per campi quasi statici. Gli impianti per la produzione e la distribuzione dell'energia elettrica alla frequenza di 50 Hz, costituiscono una sorgente di campi elettromagnetici nell'intervallo delle bassissime frequenze 30-300 Hz.

Nell'ambito dei campi quasi stazionari, ha senso ragionare separatamente sui fenomeni elettrici e magnetici e ha quindi anche senso imporre separatamente dei limiti normativi alle intensità del campo elettrico e dell'induzione magnetica.

## 3.2. CAMPO ELETTRICO

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. 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'elettrodotto (sia aereo che in cavo) durante il suo normale funzionamento genera un campo elettrico ed un campo magnetico. Il primo è proporzionale alla tensione della linea stessa, mentre il secondo è proporzionale alla corrente. Entrambi decrescono molto rapidamente con la distanza dalla sorgente (conduttore).

## 3.3. CAMPO MAGNETICO

L'intensità del campo magnetico generato in corrispondenza di un elettrodotto dipende invece dall'intensità della corrente circolante nel conduttore; tale flusso risulta estremamente variabile sia nell'arco di una giornata sia su scala temporale maggiore quale quella stagionale o annuale. Per le linee elettriche aeree, il campo magnetico assume il valore massimo in corrispondenza della minima distanza dei conduttori dal suolo, ossia al centro della campata, e decade molto rapidamente allontanandosi dalle linee.

Non c'è alcun effetto schermante nei confronti dei campi magnetici da parte di edifici, alberi o altri oggetti vicini alla linea: quindi all'interno di eventuali edifici circostanti si può misurare un campo magnetico di intensità comparabile a quello riscontrabile all'esterno.

Quindi, sia campo elettrico che campo magnetico decadono all'aumentare della distanza dalla linea elettrica, ma mentre il campo elettrico, è facilmente schermabile da oggetti quali legno, metallo, ma anche alberi e edifici, il campo magnetico non è schermabile dalla maggior parte dei materiali di uso comune.

# 4.      **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Nel panorama normativo Nazionale, i capisaldi in termini di protezione contro l'esposizione ai campi elettromagnetici sono rappresentati dalla legge 36/01 e dal D.P.C.M. dell'8.7.2003.

La legge 36/01 "Legge quadro sulla protezione dai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici" ha previsto tre grandezze per limitare l'esposizione ai campi elettromagnetici:

- Limiti di esposizione: valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non devono essere superati in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori;
- Valori di attenzione: valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico che non devono essere superati negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate;
- Obiettivi di qualità: valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico ai fini della progressiva riduzione dell'esposizione ai campi medesimi, che non devono essere superati negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate.

Il successivo Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 8.7.2003 "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", ha stabilito i valori numerici dei tre limiti suindicati relativi al campo elettrico e magnetico prodotti dagli elettrodotti, tabella seguente:

LIMITI DI ESPOSIZIONE		VALORI DI ATTENZIONE		OBIETTIVI DI QUALITA'	
E	B	E	B	E	B
5 kV/m	100 $\mu$ T	-	10 $\mu$ T	-	3 $\mu$ T

## 5. COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA

Come specificato nel precedente paragrafo il D.P.C.M. 8 luglio 2003 fissa i limiti di esposizione e valori di attenzione, per 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:

– 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  $\mu$ T per l'induzione magnetica** e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.

– Art.3 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  $\mu$ 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  $\mu$ T per il valore dell'induzione magnetica**, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

Lo stesso Decreto, all'art. 6, introduce la metodologia di calcolo delle fasce di rispetto dagli elettrodotti,

detta fascia, definita nell'allegato al Decreto 29 Maggio 2008 "Metodologie di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti", comprende tutti i punti nei quali, in normali condizioni di esercizio, il valore di induzione magnetica può essere maggiore o uguale al valore indicato dall'obiettivo di qualità.

Ai fini del calcolo della fascia di rispetto si omettono verifiche del campo elettrico, in quanto nella pratica questo determinerebbe una fascia (basata sul limite di esposizione, nonché valore di attenzione pari a 5kV/m) che è sempre inferiore a quella fornita dal calcolo dell'induzione magnetica.

**Pertanto, obiettivo dei paragrafi successivi sarà quello di calcolare le fasce di rispetto dagli elettrodotti del progetto in esame, facendo riferimento al limite di qualità di 3 $\mu$ T.**

## 6. DESCRIZIONE SOMMARIA DELL'IMPIANTO

L'impianto fotovoltaico sorgerà sul territorio del comune di Portomaggiore (FE) occupando un'area complessiva di circa 24 ha, sarà impiegato per la produzione di energia da fonte rinnovabile (solare) e verrà allacciato alla Rete di Trasmissione Nazionale tramite apposito collegamento dedicato.



L'impianto avrà una potenza complessiva di 19.012,00 kW ottenuta dall'installazione di 32.224 moduli fotovoltaici del tipo bifacciale in silicio monocristallino di tipo P di potenza nominale (@STC) pari a 590 W. I moduli saranno composti da 120 celle (2x60), avranno dimensioni 2172x1303x40 mm e saranno installati "a terra" su strutture tipo tracker (inseguitore solare) mono-assiale Nord/Sud. I moduli saranno collegati tra di loro in serie a formare stringhe ciascuna delle quali composta da 16 moduli, la lunghezza di stringa è stabilita in funzione delle caratteristiche del sistema fotovoltaico in termini di tensione massima ammissibile e della potenza complessiva. Preventivamente al collegamento sul convertitore statico le stringhe saranno opportunamente collegate in parallelo tra di loro in corrispondenza dei quadri di campo (combiner box), ogni parallelo costituirà un blocco operativo e il numero di stringhe ad esso collegato è stato valutato in funzione delle correnti in gioco.

Per la conversione della corrente continua prodotta dai moduli fotovoltaici in corrente alternata fruibile dal sistema di distribuzione e trasmissione nazionale, saranno utilizzate delle stazioni di trasformazione composte dalla combinazione di inverter, trasformatore BT/MT 0,6/30kV, quadri elettrici oltre agli apparati di gestione, controllo e protezione necessari al corretto funzionamento ordinario dei suddetti apparati. Ciascuna stazione di trasformazione sarà composta da un box tipo container di dimensioni pari a 6.058 L x 2.896 H x 2.438 P mm.

Il design di impianto prevede due scenari per l'utilizzo di inverter.

Il primo scenario prevede l'utilizzo di inverter tipo string, ovvero unità statiche di conversione della corrente DC/AC caratterizzate da potenze nominali molto elevate e dotate di un singolo MPPT, nello specifico caso in esame gli MPPT per ciascuna unità inverter saranno 9 (vedere paragrafo inverter). Come evidenziato, ogni inverter è collocato in campo separati dalle stazioni per l'elevazione della tensione di esercizio fino a 30 kV. Pertanto, ciascun inverter è poi collegato al trasformatore MT/BT delle corrispondente stazione di trasformazione, al quadro di media tensione e a tutti gli apparati dedicati alla gestione, controllo e protezione necessari al corretto funzionamento ordinario dei suddetti apparati.

Il secondo scenario prevede l'utilizzo di inverter tipo centrali, ovvero unità statiche di conversione della corrente DC/AC caratterizzate da potenze nominali molto elevate e dotate di un singolo MPPT, nello specifico caso in esame gli MPPT per ciascuna unità inverter saranno 2 (vedere paragrafo inverter). Come evidenziato, ogni inverter è collocato in campo all'interno di box container insieme agli altri apparati necessari per l'elevazione della tensione di esercizio fino a 30 kV. Pertanto, ciascun inverter è poi collegato, all'interno dell'alloggiamento di ciascuna stazione di trasformazione al trasformatore MT/BT, al quadro di media tensione e a tutti gli apparati dedicati alla gestione, controllo e protezione necessari al corretto funzionamento ordinario dei suddetti apparati.

L'impianto fotovoltaico sarà completato dall'installazione di una cabina di interfaccia e da una control room, entrambe ubicate quanto più possibile in corrispondenza del punto di accesso al campo o in zona facilmente accessibile sia per motivi funzionali che di sicurezza. Sia la control room che la cabina di interfaccia saranno realizzate in un unico manufatto in cemento armato vibrato (c.a.v.) di dimensioni 16.450 L x 3.000 H x 4.000 P. Lo spazio all'interno del manufatto sarà organizzato in modo tale da avere un locale per il sezionamento e protezione dei circuiti di media tensione (collocamento del quadro generale di media tensione), un locale dedicato all'installazione del trasformatore di spillamento MT/BT da 100 kVA dedicato all'alimentazione di tutti i servizi a corredo dell'impianto fotovoltaico e necessari alla gestione del sistema, una control room dove tra l'altro saranno posizionati i quadri generale di bassa tensione e l'armadio rack e, infine, un locale ufficio/deposito.

Il quadro di media tensione collocato all'interno della cabina di interfaccia è l'apparato dove saranno attestate tutte le linee MT provenienti dalle stazioni di trasformazione in campo e rappresenta, almeno quello collocato nella zona A, il punto di interfaccia dell'impianto con la RTN, su di esso sarà infatti attestata anche la linea di collegamento in uscita dal campo verso la sottostazione elettrica e saranno collocate tutte le protezioni indicate dalle vigenti normative tecniche per la connessione come il Sistema di Protezione Generale (SPG) e il Sistema di Protezione di Interfaccia (SPI).



La control room, invece, è il locale all'interno del quale saranno collocati i principali apparati ausiliari che consentono la corretta gestione ed esercizio dell'impianto come quelli per la trasmissione dati, per il sistema antintrusione e la videosorveglianza.

L'impianto fotovoltaico oggetto della presente prevede la predisposizione per un sistema di accumulo dell'energia elettrica prodotta. Si prevede l'installazione di box batterie in corrispondenza di ogni stazione di trasformazione e collegate all'impianto in modalità di accoppiamento DC coupling, ovvero in corrispondenza del lato in corrente continua.

## 7. CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Al fine di individuare i punti al suolo che garantiscano il rispetto degli obiettivi di qualità in termini di esposizione alle radiazioni di campi elettromagnetici per l'impianto fotovoltaico in oggetto, si procederà alla valutazione degli effetti prodotti da tutte le sezioni che lo compongono.

Saranno, pertanto, di seguito esaminati gli effetti dovuti all'azione di:

- Moduli fotovoltaici;
- Inverter;
- Stazioni di trasformazione MT/BT dislocate in campo e a servizio del sistema di accumulo;
- Cabina di consegna MT;
- Linee elettriche in cavo interne al campo fotovoltaico in media tensione;
- Linee elettriche in cavo interne al campo fotovoltaico in bassa tensione;
- Linee elettriche in cavo esterne al campo fotovoltaico fino al punto di connessione alla rete;

### 7.1. CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIANTO FOTOVOLTAICO

#### 7.1.1. I MODULI FOTOVOLTAICI

Come noto, dal punto di vista elettrico un modulo fotovoltaico si comporta (e di fatto può essere anche rappresentato e modellato) come un generatore di corrente continua a tensione costante, questo significa che durante il funzionamento a regime non possono svilupparsi campi elettromagnetici legati alla variazione di una grandezza elettrica (nella fattispecie la corrente). L'eventuale generazione di campi variabili è limitata ai soli transitori dovuti all'accensione/spengimento dell'impianto o durante la ricerca del punto di massima potenza da parte dell'inverter, in ogni caso tali fenomeni risultano del tutto irrilevanti in quanto di brevissima durata.

Inoltre, la norma CEI 82-8, recepimento nazionale della Norma Europea del Cenelec 61215, la quale fornisce i requisiti per la qualifica del progetto e l'omologazione dei moduli fotovoltaici per applicazioni terrestri, non menziona prove di compatibilità elettromagnetica dei prodotti in quanto assolutamente irrilevanti.

#### 7.1.2. INVERTER

L'inverter rappresenta il cuore dell'impianto in quanto, tra le innumerevoli funzioni, ha lo scopo di convertire la corrente continua prodotta dal generatore fotovoltaico in corrente alternata fruibile dalla rete pubblica di distribuzione e quindi dagli utenti finali. Nella configurazione di impianto sono previste 2 scenari per quanto riguarda i sistemi di condizionamento della potenza (inverter) in modo da adattarsi alle migliori condizioni di mercato e ai requisiti della rete di immissione. Il primo scenario contempla l'utilizzo di string-inverter ed il secondo scenario contempla l'utilizzo di inverter centrali.

L'inverter rappresenta l'elemento che più di ogni altro apparato più di ogni altro contribuisce alla generazione di radiazioni elettromagnetiche

Tale circostanza è l'effetto del funzionamento dei ponti di conversione della corrente il cui switching è in grado di generare un campo elettromagnetico a frequenza molto più elevata di quella di rete (alcune decine di kHz).

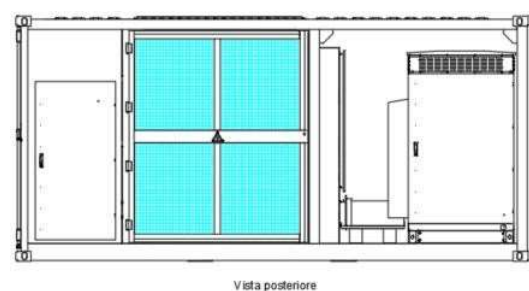
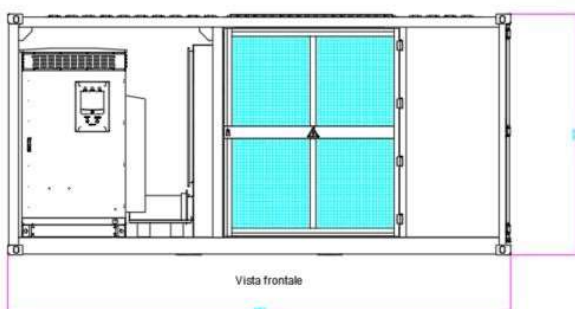
Al fine di limitare le emissioni elettromagnetiche delle apparecchiature elettroniche il legislatore ha previsto che tali macchine, prima di essere immesse sul mercato, acquisiscano tutte le certificazioni atte a garantire sia l'immunità da disturbi elettromagnetici esterni che le ridotte emissioni per contenere al minimo le interferenze con altre apparecchiature poste nelle immediate vicinanze o con la rete stessa. A tale scopo gli inverter utilizzati nella presente installazione saranno dotati di apposita rispondenza alla normativa di compatibilità elettromagnetica (EMC) certificata da ente terzo, le normative di rispondenza sono le IEC 61000.

Tra i vari aspetti queste norme trattano:

- I livelli armonici: le direttive del gestore di rete prevedono un THD globale (non riferito al massimo della singola armonica) inferiore al 5% (inferiore all'8% citato nella norma CEI 110-10). Gli inverter presentano un THD globale contenuto entro il 3%;
- Disturbi alle trasmissioni di segnale operate dal gestore di rete in imposizione alla trasmissione di energia sulle sue linee;
- Variazioni di tensione e frequenza. La propagazione in rete di queste ultime è limitata dai relè di controllo della protezione di interfaccia asservita al dispositivo di interfaccia. Le fluttuazioni di tensione e frequenze sono però causate per lo più dalla rete stessa. Si rendono quindi necessarie finestre abbastanza ampie, per evitare una continua inserzione e disinserzione dell'impianto fotovoltaico.

### 7.1.3. STAZIONI DI TRASFORMAZIONE

Le stazioni elettriche di trasformazione rappresentano uno dei componenti principali dell'impianto fotovoltaico in quanto, almeno per le configurazioni di impianto ad inverter centralizzati e comprendono il quadro BT di parallelo, il gruppo di trasformazione MT/BT e il quadro MT. Per il progetto in esame le stazioni di trasformazione saranno realizzate in strutture prefabbricate da 20 piedi, dimensioni 6.058 L x 2.896 H x 2.438 P mm. Per il design in oggetto si prevede l'utilizzo di dodici unità di trasformazione che saranno dislocate, nel modo più uniforme possibile, all'interno del campo fotovoltaico. I trasformatori scelti sono di taglia 3.000 kVA per le stazioni di trasformazione di campo. Di seguito si riporta un elaborato esplicativo della composizione e delle caratteristiche geometriche delle stazioni di trasformazione.



In termini di emissioni elettromagnetiche la sorgente di emissione del campo elettromagnetico presente all'interno della stazione è il trasformatore MT/BT. Per quanto attiene le cabine secondarie in box, ai sensi dell'art.5.2 dell'allegato al Decreto 29 Maggio 2008, la Distanza di Prima Approssimazione (DPA), intesa come distanza da ciascuna delle pareti (tetto, pavimento e pareti laterali) del box cabina, va calcolata simulando una linea trifase, con cavi paralleli, percorsa dalla corrente nominale BT in uscita dal trasformatore (I) e con distanza tra le fasi pari al diametro reale (conduttore + isolante) del cavo (x) applicando la seguente relazione:

$$DPA = 0,40942 * x^{0.5241} * \sqrt{I}$$

dove:

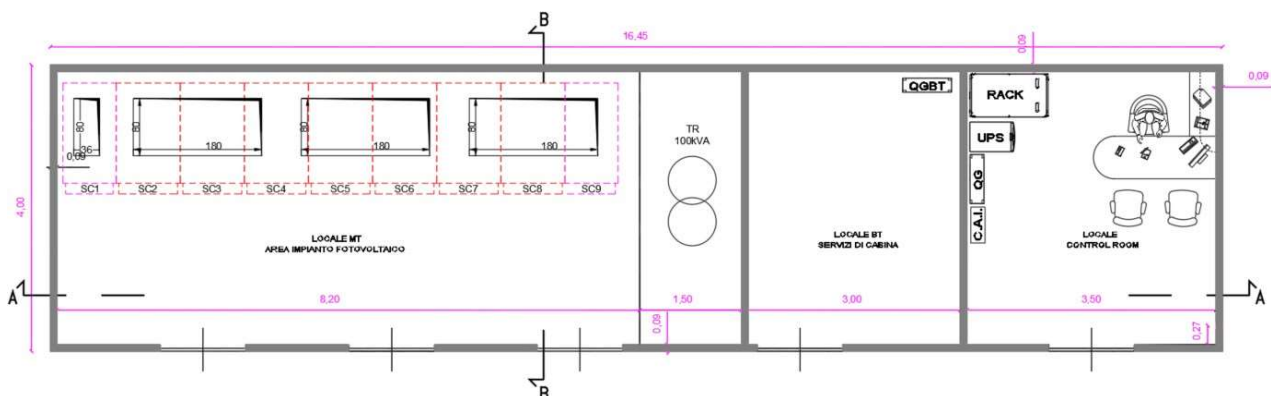
DPA= distanza di prima approssimazione (m) I= corrente nominale (A)

x= diametro dei cavi (m)

Considerando che la potenza sull'anello (quello più carico nell'area di impianto) è di 13.388 kVA e la corrente assume un valore massimo pari a circa 286 A (tensione nominale di esercizio 30 kV) e che il cavo scelto sul lato BT del trasformatore è 3x(1x630) mm<sup>2</sup>, con diametro esterno pari a circa 56 mm, si ottiene una DPA, arrotondata per eccesso all'intero superiore, pari a circa 1 m. D'altra parte, nel caso in questione la cabina è posizionata all'aperto e normalmente non è permanentemente presidiata.

La cabina elettrica di interconnessione è costituita da un manufatto in calcestruzzo c.a.v. delle dimensioni di 16.450 L x 3.000 H x 4.000 P mm situato in corrispondenza del punto di accesso al campo fotovoltaico. La cabina in questione rappresenta, dal punto di vista di architettura di impianto, il punto di interfaccia verso la rete pubblica del distributore, pertanto, all'interno di essa sarà attestato il cavo elettrico proveniente dal punto di connessione dalla rete (dalla sottostazione di utente).

Di seguito vengono riportate piante e i prospetti della cabina di interconnessione.





La cabina di interconnessione non è un luogo presidiato ed al suo interno ospita un quadro di media tensione dove vengono attestati dal lato campo fotovoltaico i cavi provenienti dalle cabine elettriche di trasformazione e dal lato rete cavo proveniente dal punto di connessione. L'allestimento del suddetto quadro di media tensione sarà completato da tutti gli organi di misura, protezione e comando propedeutici al corretto esercizio dell'impianto. La dotazione impiantistica della cabina di consegna prevede altresì la presenza di un trasformatore di "spillamento" MT/BT, di potenza pari a 100 kVA, necessario all'alimentazione dei servizi ausiliari e delle opere connesse all'impianto fotovoltaico come, per esempio, l'illuminazione perimetrale, la supervisione, etc.

Come si evince dalla descrizione effettuata le possibili sorgenti di emissione di un campo elettromagnetico sono rappresentati dalle correnti circolanti nei cavi MT entranti/uscenti dalla cabina, e nel quadro di interfaccia, e dal trasformatore di "spillamento". La massima corrente BT, considerando un trasformatore da 100 kVA, è di circa 145 A. Mentre la corrente MT associata alla massima produzione è di circa 1095 A.

Il dimensionamento preliminare di impianto prevede, in riferimento al suddetto caso peggiore corrispondente alla corrente massima circolante nei cavi, l'utilizzo di una linea in cavo di formazione 3x1x630 posato direttamente in trincea ad una profondità di circa 1,7 metri rispetto al piano campagna, avente diametro di

circa 48 mm. In tale circostanza si ottiene una DPA, arrotondata per eccesso all'intero superiore, pari a 1,5 metri.

D'altra parte, anche nel caso in questione la cabina di consegna non è presidiata durante il normale esercizio dell'impianto.

#### 7.1.4. LINEE ELETTRICHE IN CAVO INTERNE AL CAMPO - MEDIA TENSIONE

Le linee elettriche in questione sono quelle che collegano tutte le stazioni di trasformazione tra loro e con la cabina di consegna di campo, i cavi saranno posati direttamente in trincea senza l'ausilio di cavidotti di protezione meccanica ad una profondità di circa 80 cm rispetto al piano campagna. I cavi avranno una sezione che sarà compresa nel range 150-630 mmq.

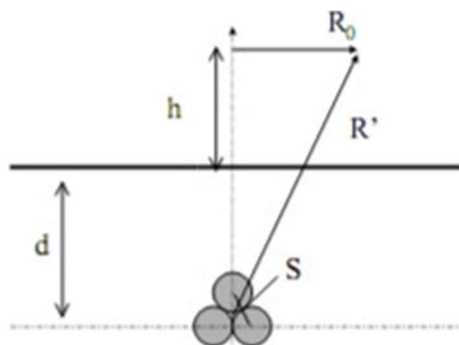
Il campo magnetico è calcolato in funzione della corrente circolante nei cavidotti in esame e della disposizione geometrica dei conduttori. Per quanto riguarda il valore del campo elettrico, trattandosi di linee interrate, esso è da ritenersi insignificante grazie anche all'effetto schermante del rivestimento del cavo e del terreno. Nel seguito verranno pertanto esposti i risultati del solo calcolo del campo magnetico.

Poiché l'intensità del campo elettromagnetico, generato da una linea elettrica percorsa da corrente alternata dipende dall'intensità della corrente stessa, essendo previste sette unità di trasformazione all'interno del campo i due anelli saranno costituiti rispettivamente da quattro e tre stazioni. Il caso peggiore, quello cioè dove transita l'intensità di corrente maggiore, è senza dubbio l'anello con quattro stazioni di trasformazione da gestire. Per tale tratta di collegamento la corrente massima ha un valore di circa 286 A.

All'interno della trincea in esame si trova una terna di cavo MT, sigla di designazione ARE4H5E 18/30 kV posati a trifoglio. Nel calcolo, essendo il valore della induzione magnetica proporzionale alla corrente transitante nella linea, è stata presa in considerazione la configurazione di carico che prevede, come detto, una posa dei cavi a trifoglio, ad una profondità di 1 m, con un valore di corrente pari a 286 A, pari alla portata massima della linea elettrica in cavo, secondo la Norma CEI 20-21. La configurazione dell'elettrodotto è quella di assenza di schermature e distanza minima dei conduttori dal piano viario. Il calcolo è stato effettuato a differenti altezze. La formula da applicare è la seguente, in quanto si considera la posa dei conduttori a trifoglio:

$$R' = 0.286 \cdot \sqrt{S \cdot I} [m]$$

Con il significato dei simboli di figura seguente:

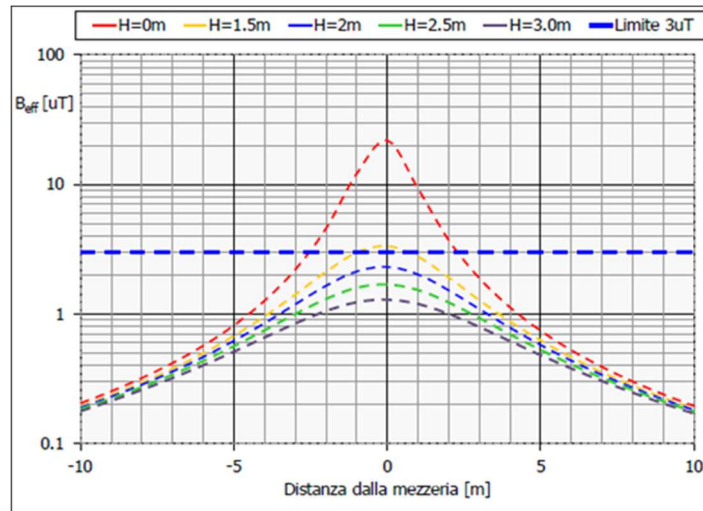


Pertanto, considerando una doppia linea per ogni fase e ponendo:  $S = 0,056 \text{ m}$

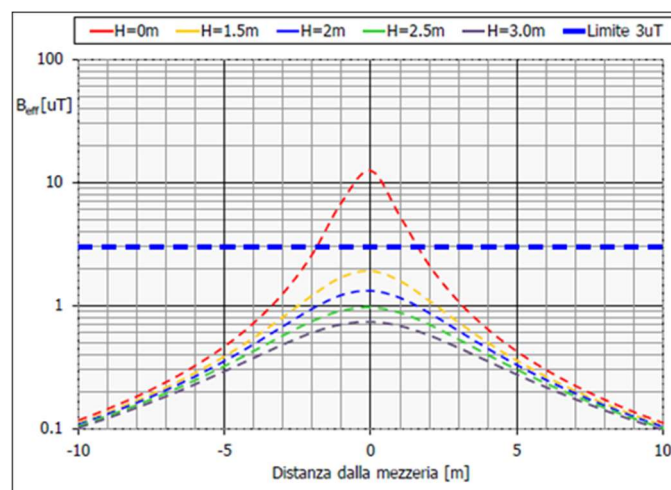
$I = 286 \text{ A}$

Si ottiene:  $R' = 1,15 \text{ m}$

Nella seguente è riportato l'andamento dell'induzione magnetica per una sezione trasversale a quella di posa, considerando che lungo il tracciato del cavidotto saranno posate due terne di cavi, relative a due differenti impianti fotovoltaici, nella medesima trincea. Non è invece rappresentato il calcolo del campo elettrico prodotto dalla linea in cavo, poiché in un cavo schermato il campo elettrico esterno allo schermo è nullo.

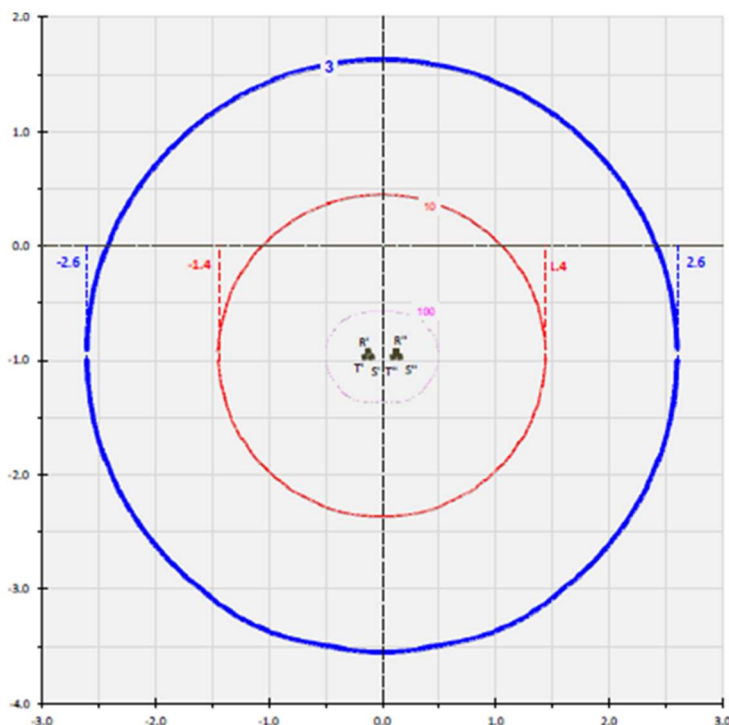


Si può osservare come nel caso peggiore il valore di  $3 \mu\text{T}$  è raggiunto a circa 2,6 metri dall'asse del cavidotto. Si può notare che la condizione di calcolo è ampiamente cautelativa, in quanto la corrente che fluirà nel cavidotto sarà quella prodotta da una porzione dell'impianto fotovoltaico, che, come detto, è pari a 286 A nelle condizioni di massima erogazione. Se si tiene conto della effettiva corrente, ovvero considerando l'anello aperto e caricato di solo due stazioni di trasformazione, il grafico sopra riportato si modifica come in figura seguente, dove per una terna di cavi si è considerato un valore di corrente pari alla corrente di impiego, e cioè 143 A. In tal caso il valore di  $3 \mu\text{T}$  è raggiunto a circa 1,85 m dall'asse del cavidotto.



Il tracciato di posa dei cavi è stato studiato in modo che il valore di induzione magnetica sia sempre inferiore a  $3 \mu\text{T}$  in corrispondenza dei ricettori sensibili (abitazioni e aree in cui si prevede una permanenza di persone per più di 4 ore nella giornata), pertanto è esclusa la presenza di tali ricettori all'interno della fascia calcolata. Per la determinazione dell'ampiezza della fascia di rispetto è stata effettuata la simulazione di calcolo per il caso di due terne di cavi, posati alla distanza di 250 mm alla profondità di 1 m, secondo quanto riportato nel presente documento e con la corrente massima per ciascuno dei cavi utilizzati e cioè pari a 803 A. Il risultato del calcolo è riportato nella figura seguente.





Si può quindi considerare che l'ampiezza della fascia di rispetto sia pari a 3 m, a cavallo dell'asse del cavidotto. Infine, poiché in un cavo schermato il campo elettrico esterno allo schermo è nullo, non è rappresentato il calcolo del campo elettrico prodotto dalla linea in oggetto.

### 7.1.5. LINEE ELETTRICHE IN CAVO ESTERNE AL CAMPO – CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA

In tal caso ci si riferisce all'elettrodotto di collegamento tra il campo fotovoltaico e la SE dell'utente, come per i cavi di media tensione interni al campo anche questo, per il quale la tratta si svolge esclusivamente all'esterno dell'area di impianto, sarà realizzato in cavo direttamente interrato in trincea. L'analisi svolta in tal caso è del tutto analoga a quella di cui al paragrafo 7.1.5 dove l'intera potenza viene veicolata verso la SE. Anche la tipologia e la formazione dei cavi è identica a quella descritta in precedenza.

Il campo fotovoltaico in questione ha una potenza nominale AC di 16.165 kW e pertanto la corrente massima circolante è di circa 240 A, l'analisi svolta in precedenza, valida per una portata di corrente di 2389 A che è il valore massimo tollerabile dai cavi, risulta ancora valida così come anche le conclusioni.

## 8. CONCLUSIONI

Le uniche radiazioni associabili a questo tipo di impianti sono le radiazioni non ionizzanti costituite dai campi elettrici e magnetici a bassa frequenza (50 Hz), prodotti rispettivamente dalla tensione di esercizio degli elettrodotti e dalla corrente che li percorre. I valori di riferimento, per l'esposizione ai campi elettrici e magnetici, sono stabiliti dalla Legge n. 36 del 22/02/2001 e dal successivo 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 di 50 Hz degli elettrodotti".

In generale, per quanto riguarda il campo elettrico in media tensione esso è notevolmente inferiore a 5kV/m (valore imposto dalla normativa) e per il livello 132 kV esso diventa inferiore a 5 kV/m già a pochi metri dalle parti in tensione.



Mentre per quel che riguarda il campo di induzione magnetica il calcolo nelle varie sezioni di impianto ha dimostrato come non ci siano fattori di rischio per la salute umana a causa delle azioni di progetto, poiché è esclusa la presenza di recettori sensibili entro le fasce per le quali i valori di induzione magnetica attesa non sono inferiori agli obiettivi di qualità fissati per legge; mentre il campo elettrico generato è nullo a causa dello schermo dei cavi o assolutamente trascurabile negli altri casi per distanze superiori a qualche cm dalle parti in tensione.

Infatti, per quanto riguarda il campo magnetico, relativamente ai cavidotti MT, in tutti i tratti interni realizzati mediante l'uso di cavi elicordati, si può considerare che l'ampiezza della semi-fascia di rispetto sia pari a 1 metro, a cavallo dell'asse del cavidotto, pertanto uguale alla fascia di asservimento della linea. Per quanto concerne i tratti esterni, realizzati mediante l'uso di cavi unipolari posati a trifoglio, è stata calcolata un'ampiezza della semi-fascia di rispetto pari a 4 metri e, sulla base della scelta del tracciato, si esclude la presenza di luoghi adibiti alla permanenza di persone per durate non inferiori alle 4 ore al giorno.

Per ciò che riguarda le cabine di trasformazione l'unica sorgente di emissione è rappresentata dal trasformatore MT/BT, quindi in riferimento al DPCM 8 luglio 2003 e al DM del MATTM del 29.05.2008, l'obiettivo di qualità si raggiunge, nel caso peggiore (trasformatore da 3.437 kVA), già a circa 4 metri (DPA) dalla cabina stessa. Per quanto riguarda la cabina di interconnessione, vista la presenza del solo trasformatore per l'alimentazione dei servizi ausiliari in BT e l'entità delle correnti circolanti nei quadri MT l'obiettivo di qualità si raggiunge a circa 3 m (DPA) dalla cabina stessa.

Ad ogni modo, considerando che nelle stazioni di trasformazione e nella cabina di interconnessione non è prevista la presenza di persone per più di quattro ore al giorno e che l'intera area dell'impianto fotovoltaico sarà racchiusa all'interno di una recinzione metallica che impedisce l'ingresso di personale non autorizzato, si può escludere pericolo per la salute umana.

L'impatto elettromagnetico può pertanto essere considerato non significativo.