

TAV.

0.16

REVISIONI	N.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO
	00	4/06/2021	PRIMA EMISSIONE		SCM Ingegneria	SCM Ingegneria

NOME FILE		CODIFICA DELL'ELABORATO	
FV252627-PD_A_0.16_CEM		PROGETTO DEFINITIVO	
DOCUMENTO N°		TITOLO	
FV252627-PD_A_0.16_REL_r00		COMUNE DI MISILISCEMI (TP) - c.de Ballottella - Portelli Impianto Agrovoltaiico di 17.97 MWp denominato PORTELLI	
SCALA CAD	FORMATO	CAMPI ELETTROMAGNETICI RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA	
1 unità =	A4		
SCALA	FOGLIO		
	/		

COMMITTENTE



PORTELLI SRL

Questo documento contiene informazioni di proprietà Portelli s.r.l. e deve essere utilizzato esclusivamente dal destinatario in relazione alle finalità per le quali è stato ricevuto. E' vietata qualsiasi forma di riproduzione o di divulgazione senza l'esplicito consenso di Portelli s.r.l.

This document contains information proprietary to Portelli s.r.l. and it will have to be used exclusively for the purposes for which it has been furnished. Whichever shape of spreading or reproduction without the written permission of Portelli s.r.l is prohibit.

PROJECT EXECUTION

I TECNICI



Via C. del Croix, 55

72022 Latiano BR

Mail: info@scmingegneria.it

Tel : +39 0831 728955

1	Premessa	3
2	Normativa di riferimento.....	4
2.1	I Decreti.....	5
3	Descrizione dell'impianto	8
4	Valori di elettromagnetismo attesi	10
4.1	Cenni teorici sul modello utilizzato	10
4.1.2	Calcolo dell'induzione magnetica.....	13
4.2	Risultati dei calcoli	14
4.2.1	Rete in cavo MT.	14
5	Calcolo dell'induzione magnetica per le cabine di trasformazione	19
6	Sicurezza dei lavoratori	24
7	Conclusioni	25

1 Premessa

Nel contesto della progettazione, per la realizzazione di un campo fotovoltaico da 17,9727 MW denominato “PORTELLI” nelle contrade “Ballottella” e “Portelli” nel territorio del Comune di Misiliscemi (TP), con la presente relazione si procede alla valutazione dei rischi per i lavoratori per l'esposizione a campi elettromagnetici indotti:

- dalle connessioni in MT delle Power Station [Inverter + trasformatore BT/MT] dei sottocampi fotovoltaici;
- dalla connessione in MT dell'impianto alla nuova Stazione Elettrica di smistamento in c.da .

Secondo quanto ampiamente documentato nella letteratura sull'argomento, la presenza di campi elettromagnetici che possono indurre effetti nocivi sull'uomo può risultare significativa nel caso di linee elettriche aeree, soprattutto in alta e altissima tensione.

Le caratteristiche costruttive delle centrali fotovoltaiche fanno sì che i livelli di elettromagnetismo risultanti si posizionino ben al di sotto di quelli che sono i limiti di legge.

Per quanto riguarda la centrale fotovoltaica in oggetto, come si vedrà nel seguito, le soluzioni tecnologiche adottate consentono di guardare con **assoluta tranquillità** agli effetti sulla salute derivanti dalla loro realizzazione.

2 Normativa di riferimento

La “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici” (Legge n.36 del 22 febbraio 2001 pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 55, del 7 marzo 2001) è indirizzata alla:

- tutela della popolazione ed i lavoratori dagli effetti dell’esposizione ai campi elettromagnetici;
- promozione di azioni di risanamento per minimizzare l’intensità e gli effetti di tali campi;
- promozione della ricerca scientifica per valutare eventuali effetti sanitari a lungo termine dovuti all’esposizione ai campi elettromagnetici.

Questa legge riguarda gli impianti e le apparecchiature che funzionano a frequenze fino a 300 GHz. In teoria si applica a tutte le sorgenti di campi elettromagnetici, dagli elettrodotti agli elettrodomestici, dagli impianti di telefonia mobile ai radar, agli impianti per radiodiffusione, etc.

Tale legge, inoltre, allarga gli obiettivi di tutela non limitandosi alla tutela della salute, ma anche dell’ambiente e del paesaggio. Nello specifico la tutela della salute viene conseguita attraverso la definizione di tre differenti limiti:

- i *limiti di esposizione*: valori massimi di campo che non devono essere superati in qualunque condizione di esposizione;
- i *valori di attenzione*: valori di campo che non devono essere superati negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi in cui è prevista la presenza prolungata di persone;
- gli *obiettivi di qualità*: valori di campo, più restrittivi dei limiti di esposizione e dei valori di attenzione.

Lo Stato ha il compito di determinare i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici per la popolazione e per i lavoratori.

I primi decreti applicativi della LQ 36/2001 sono stati pubblicati nel 2003; in particolare, il DPCM. dell’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” che all’art.6 “Parametri per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti” prescrive:

1. Per la determinazione delle fasce di rispetto si dovrà fare riferimento all’obiettivo di qualità di cui all’art. 4 ed alla portata in corrente in servizio normale dell’elettrodotto, come definita dalla norma CEI 11-60, che deve essere dichiarata dal gestore al Ministero dell’ambiente e della tutela del territorio, per gli elettrodotti con tensione superiore a 150 kV e alle regioni, per gli elettrodotti con tensione non superiore a 150

kV. I gestori provvedono a comunicare i dati per il calcolo e l'ampiezza delle fasce di rispetto ai fini delle verifiche delle autorità competenti.

2. L'APAT, sentite le ARPA, definirà la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto con l'approvazione del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio.

La metodologia di cui sopra è stata definita dal DM 29 maggio 2008 "Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti" che, ai sensi dell'art. 6 comma 2 del DPCM 08/07/03, ha lo scopo di fornire la procedura da adottarsi per la determinazione delle fasce di rispetto pertinenti alle linee elettriche aeree e interrate e delle cabine, esistenti e in progetto.

Riguardo la tutela dei lavoratori si fa riferimento :

- al D.Lgs. 81/08 il cui Capo IV (Titolo VIII) è dedicato alla "*Protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione a campi elettromagnetici*"
- alla direttiva europea 2013/35/UE "sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici)" recepita con il D.Lgs. n. 159 del 1° agosto 2016.
- alla CEI EN 50499: "Procedura per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici".
- Alla "Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della Direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici", pubblicata dalla Commissione Europea.

2.1 I Decreti

Il DPCM 8/7/03 fissa in 100 μ T per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico intesi come valori efficaci, i limiti di esposizione per la protezione della popolazione dai campi elettromagnetici a 50 Hz generati dagli elettrodotti. Esso stabilisce inoltre il valore di attenzione e l'obiettivo di qualità per la sola induzione magnetica.

Il valore di attenzione di 10 μ T, introdotto come misura di cautela, si applica nelle aree di gioco per l'infanzia, negli ambienti abitativi e scolastici e in tutti i luoghi in cui possono essere presenti persone per almeno 4 h al giorno.

L'obiettivo di qualità di 3 μ T si applica ai nuovi elettrodotti nelle vicinanze dei sopraccitati ambienti, nonché ai nuovi insediamenti e edifici in prossimità di linee ed installazioni elettriche esistenti.

Il D.M. Ambiente del 29 maggio 2008, indica la metodologia da adottarsi per la determinazione delle fasce di rispetto pertinenti alle linee elettriche aeree e interrate, esistenti e in progetto. Esso, tra le altre, introduce le seguenti definizioni:

fascia di rispetto: è lo spazio circostante ad un elettrodotto, che comprende tutti i punti al di sotto e al di sopra del livello del suolo caratterizzati da un'induzione magnetica superiore o uguale all'obiettivo di qualità specificato dal DPCM 08/07/2003. All'interno delle fasce di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario ovvero ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore.

distanza di prima approssimazione (DPA): per le linee è la distanza, in pianta sul livello del suolo, dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più di DPA si trovi all'esterno delle fasce di rispetto. Per le cabine è la distanza, in pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra.

Il parametro di corrente da considerare per la determinazione della fascia di rispetto è la corrente massima di esercizio in servizio normale dell'elettrodotto (ai sensi della norma CEI11-60).

Lo stesso D.M. 29/05/2008, al punto 3.2 dell'allegato, indica che la metodologia si applica a tutti gli elettrodotti esistenti o in progetto, con linee interrate o aeree, ad esclusione delle seguenti:

- linee esercite a frequenze diverse da 50 Hz (esempio linee ferroviaria a 3 KV)
- linee di classe zero secondo il Decreto interministeriale 21/03/88 (quali linee telefoniche, segnalazione e comando a distanza...)
- linee di prima classe secondo il Decreto interministeriale 21/03/88 (ovvero linee con tensione nominale inferiore a 1 KV e linee in cavo per illuminazione pubblica con tensione inferiore a 5 KV)
- linee MT in cavo cordato ad elica (interrate o aeree).

In questi casi le fasce hanno infatti ampiezza ridotta inferiore alle distanze previste dal decreto 449/88 stesso e dal successivo DM 16/01/91.

Il D.lgs 159/2016 recepisce la Direttiva 2013/35/UE in materia di tutela della salute e sicurezza dei lavoratori dai rischi dovuti all'esposizione ai campi elettromagnetici,

Mira a trattare tutti gli **effetti biofisici diretti** e gli **effetti indiretti noti** provocati dai campi elettromagnetici.

Le disposizioni contenute nella Direttiva, e quindi nel D.Lgs 159/2016, consistono nelle prescrizioni **minime** per promuovere miglioramenti negli ambienti di lavoro, al fine di

garantire un adeguato livello di protezione della salute e della sicurezza dei lavoratori, nel caso di attività comportanti esposizioni ai campi elettromagnetici.

Allo scopo vengono:

- definite le grandezze fisiche concernenti l'esposizione ai campi elettromagnetici;
- definiti, in specifiche tabelle, i valori limite di esposizione (VLE) per gli effetti sensoriali e sanitari relativi ai campi elettrici interni ed i valori di azione (VA) per consentire la conformità ai pertinenti VLE.
- Definite procedure per aiutare i datori di lavoro, in particolare le piccole e medie imprese, a ottemperare agli obblighi previsti dalla direttiva stessa.

3 Descrizione dell'impianto

L'impianto si compone di 6 generatori fotovoltaici della potenza complessiva di 17,9727 MW, così costituito:

- 3 campi di potenza installata di 2.773,05 kW cadauno , costituiti 133 stringhe da 30 moduli (695 Wp cadauno) caricati su struttura ad "inseguitore monoassiale" aventi inclinazione variabile da -60° a +60° .
- 1 campo da 3.648,75 kW, costituito da 175 stringhe da 30 moduli (695 Wp cadauno) caricati su struttura ad "inseguitore monoassiale" aventi inclinazione variabile da -60° a +60°.
- 1 campo da 3169,2 kW , costituito da 152 stringhe da 30 moduli (695 Wp cadauno) caricati su struttura ad "inseguitore monoassiale" aventi inclinazione variabile da -60° a +60°.
- 1 campo da 2835,6 kW , costituito da 136 stringhe da 30 moduli (695 Wp cadauno) caricati su struttura ad "inseguitore monoassiale" aventi inclinazione variabile da -60° a +60°.

Potenza totale installata 17.972,7 kW

I pannelli sono organizzati in stringhe, ognuna composta da 30 elementi, collegate ai quadri di sottocampo e quindi agli inverter, 1 per ogni generatore

Gli inverter collegati a trasformatori, di adeguata potenza nominale, che innalzano la tensione a 30kV.

I collegamenti in MT sono eseguiti con terne di cavi in alluminio del tipo ARG7H1R 18/30 kV di adeguata sezione, come dal seguente prospetto.

Tratte da	Tratte a	lunghezza (m)	Potenza kW	Sez cavo in Al (mmq)	num cavi
inv 1	inv 2	280	2.773,05	35	3x(1x35)
inv 2	inv 3	420	5.546,10	50	3x(1x50)
inv 3	Cab. Ausiliari 1	945	8.139,15	95	3x(1x95)
inv 4	Cab. Ausiliari 1	180	3.648,75	35	3x(1x35)
inv 5	inv 6	150	3.169,20	35	3x(1x35)
inv 6	Cab. Ausiliari 2	260	6.004,80	50	3x(1x50)
Cab. Ausiliari 1	Cab. Ausiliari 2	1030	11.967,90	150	3x(1x150)
Cab. Ausiliari 2	Sottostazione	2950	17.972,70	240	3x(1x240)

Premesso che:

- In generale, i contributi maggiori al campo elettromagnetico intorno ad una sottostazione derivano dalle linee di potenza entranti ed uscenti dalla sottostazione stessa. L'entità del campo elettromagnetico dovuto ai trasformatori diminuisce rapidamente con la distanza; oltre la recinzione della sottostazione.
- L'ARPA di Rimini ha effettuato nel 1994 delle misure in alcune cabine primarie (v. Inquinamento Elettromagnetico, P. Bevitori et al. - Maggioli Editore, 1997 - pagg. 188-190). Il campo elettrico misurato lungo il perimetro di recinzione di cabine primarie è risultato sempre inferiore a 5 kV/m; il livello di induzione magnetica è sempre risultato minore di 0.2 μ T, quindi sotto la cosiddetta Soglia di Attenzione Epidemiologia (SAE) per l'induzione magnetica, pari a 0.2 μ T (microtesla): un valore limite, cautelativo, al di sotto del quale è dimostrata la non insorgenza di patologie

Considerati:

- il punto 5.2.2 del D.M. 29 maggio 2008, secondo il quale per le stazioni primarie le fasce di rispetto rientrano, generalmente nei confini dell'area di pertinenza dello stesso impianto;
- che il campo magnetico generato dalle linee in bassa tensione bifilari è inferiore a quello delle linee unifilari, dato l'effetto di riduzione del campo dovuto alla presenza di conduttori vicini percorsi da correnti con fasi diverse.
- che secondo la norma CEI EN 50499 riguardo alla esposizione al campo elettrico sono conformi qualsiasi circuito in cavo sotterraneo o isolato indipendentemente dal voltaggio

le componenti per le quali in questa sede sono stati determinati i valori di elettromagnetismo attesi sono: la linea in MT interna all'impianto, nella sezione con la presenza del maggior numero di conduttori e con carico maggiore, la linea di collegamento tra l'impianto e la Cabina di Consegna; le sbarre di collegamento e i trasformatori.

4 Valori di elettromagnetismo attesi

Come già detto è l'art.3 del DPCM dell'8/07/2003, che fissa i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici a frequenza 50Hz a $100\mu\text{T}$ per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.

Tale decreto fissa anche i limiti per l'induzione magnetica in ambienti abitativi o con permanenza non inferiore a quattro ore giornaliere a $10\mu\text{T}$; ma per l'impianto in oggetto tali condizioni di lavoro, e tali contesti, sono esclusi.

Il D.M. del 29 maggio 2008, indica le modalità per la determinazione delle fasce di rispetto pertinenti alle linee elettriche aeree e interrate.

4.1 Cenni teorici sul modello utilizzato

Il metodo di calcolo qui descritto è quello delle cariche equivalenti semplificato: si rinuncia infatti a studiare l'esatta distribuzione delle cariche sulle superficie dei conduttori e si suppone che esse siano concentrate al centro degli stessi, con una densità lineare di carica costante. Per la determinazione delle cariche presenti sui diversi conduttori della linea ci si avvale del principio delle immagini, in base al quale un piano equipotenziale a potenziale nullo (quale si suppone essere il terreno) può essere simulato con una configurazione di cariche immagini, cioè di cariche di segno opposto a quelle che generano il campo e disposte specularmente rispetto al piano stesso. In questo modo ci si riduce ad un sistema di conduttori tra loro paralleli di cui sono noti i potenziali $V(t)$. È così possibile calcolare le cariche lineari indotte presenti su di essi attraverso la relazione:

$$[\lambda(t)] = [C] \cdot [V(t)]$$

dove $[V(t)]$ è il vettore colonna delle tensioni, $[\lambda(t)]$ il vettore colonna delle cariche lineari presenti sui conduttori e $[C]$ la matrice quadrata dei coefficienti delle mutue capacità per unità di lunghezza. L'espressione può essere anche scritta in termini di fasori:

$$[\lambda] = [C] \cdot [V]$$

La matrice $[C]$ è costante, simmetrica e dipende solo dalla configurazione geometrica dei conduttori: essa si ricava invertendo la matrice $[P]$ dei coefficienti di potenziale (coefficienti di Maxwell) che esprimono ciascun potenziale in funzione di tutte le densità lineari di carica; gli elementi di $[P]$ sono così definiti:

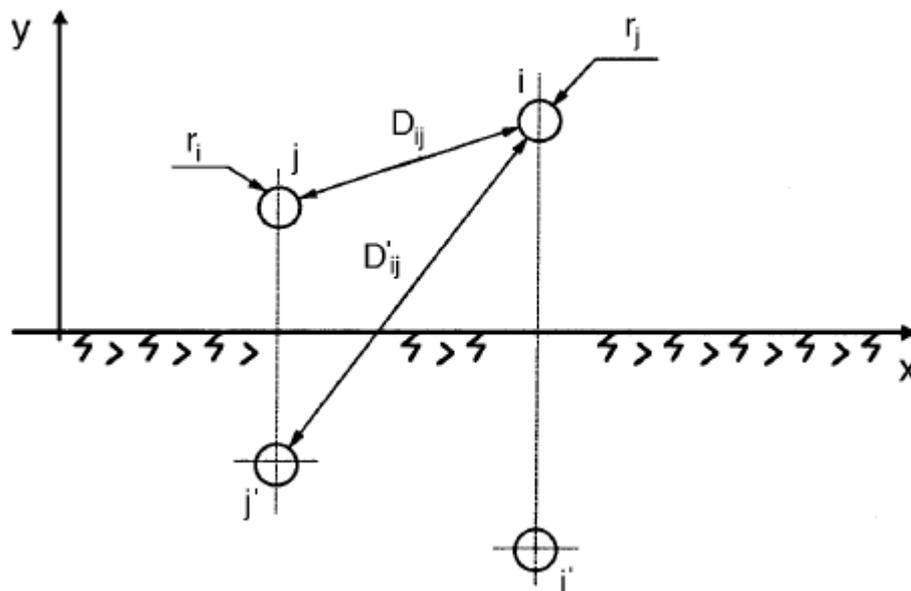
La matrice $[C]$ è costante, simmetrica e dipende solo dalla configurazione geometrica dei conduttori: essa si ricava invertendo la matrice $[P]$ dei coefficienti di potenziale (coefficienti di Maxwell) che esprimono ciascun potenziale in funzione di tutte le densità lineari di carica; gli elementi di $[P]$ sono così definiti:

$$P_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2y_i}{r_i} \quad P_{ij} = P_{ji} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{D_{ij}'}{D_{ij}}$$

dove, come illustrato in Fig. 1, r_i è il raggio del conduttore i -esimo, y_i la sua altezza dal suolo, D_{ij} la distanza tra i conduttori i -esimo e j -esimo e D_{ij}' la distanza tra il conduttore i -esimo e l'immagine del conduttore j -esimo. In particolare:

$$D_{ij} = D_{ji} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

$$D_{ij}' = D_{ji}' = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i + y_j)^2}$$



4.1.1

Fig. 1 Convenzioni seguite nel calcolo dei coefficienti di potenziale

Nel caso di conduttori a fascio è possibile definire un raggio equivalente r_{eq} , da sostituire nelle formule dei coefficienti di potenziale, secondo la formula seguente:

$$r_{eq} = R \cdot n \sqrt{\frac{n \cdot r}{R}}$$

dove:

n è il numero di subconduttori che costituiscono il fascio, r è il loro raggio mentre R è il raggio del fascio di conduttori (Fig. 2).

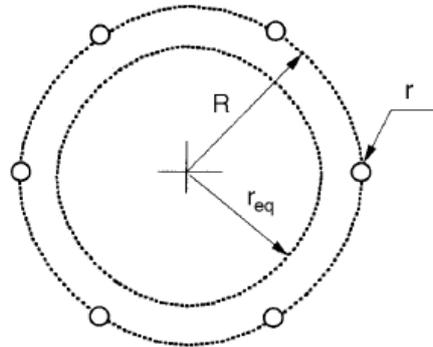


Fig. 2

Nota la matrice [P] si ricavano le densità lineari di carica sui conduttori:

$$[\lambda] = [P]^{-1} \cdot [V] \quad (1)$$

Una volta note le densità lineari di carica presenti sui conduttori, è possibile procedere al calcolo del campo elettrico da esse generato sovrapponendo gli effetti dei conduttori e delle loro immagini.

Applicando infatti la legge di Gauss in forma integrale nel caso di un conduttore di lunghezza infinita con densità lineare di carica costante si ottiene:

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

dove d è la distanza dal conduttore rettilineo e è il versore unitario con direzione radiale dal conduttore stesso. Considerando il sistema di riferimento di Fig. 1, in cui (x_i, y_i) sono le coordinate del conduttore i-esimo, e sommando gli effetti dei vari conduttori – raccogliendo tra loro le espressioni relative a ciascun conduttore ed alla sua immagine - si ottengono le espressioni delle singole componenti (fasoriali) del vettore del campo elettrico:

$$E_x = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \sum_i \lambda_i \left[\frac{x - x_i}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} - \frac{x - x_i}{(x - x_i)^2 + (y + y_i)^2} \right]$$

$$E_y = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \sum_i \lambda_i \left[\frac{y - y_i}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} - \frac{y + y_i}{(x - x_i)^2 + (y + y_i)^2} \right]$$

È bene notare che se nella (1) si introducono i fasori delle tensioni in termini di valore efficace, si ottengono i fasori delle densità lineari di carica e delle due componenti di campo elettrico anch'essi in termini di valori efficaci. Analogamente se in (1) si introducono i valori massimi delle tensioni, si ottengono le due componenti di campo elettrico in termini di valore massimo.

In ogni caso è bene tener presente che il già citato documento CEI 111-2 (CENELEC ENV 50166-1) fissa i limiti per l'esposizione umana ai campi elettrici e magnetici in termini di valori efficaci.

4.1.2 Calcolo dell'induzione magnetica

Il calcolo dell'induzione magnetica risulta più semplice rispetto a quello del campo elettrico per i seguenti motivi:

- non è necessario calcolare il valore delle cariche lineari indotte sui conduttori in quanto i valori di induzione dipendono direttamente dalle correnti note;
- il terreno viene considerato come un piano avente permeabilità relativa pari a 1, e quindi nei calcoli si trascura il contributo delle correnti immagini.

Per il calcolo dell'induzione magnetica si ricorre alla legge di Biot - Savart che esprime in un generico punto dello spazio il valore dell'induzione magnetica B generata da un conduttore rettilineo percorso da una corrente I attraverso la formula:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{d} \vec{u}_I \times \vec{u}_r$$

dove d è la distanza tra il conduttore ed il punto di calcolo; i versori e indicano, rispettivamente, il verso della corrente e della relativa normale; \times indica il prodotto vettoriale.

Ricorrendo al medesimo sistema di riferimento utilizzato per il calcolo del campo elettrico (Fig.1), ed essendo il versore del campo dovuto al conduttore i -esimo pari a:

$$\vec{u}_{B,i} = \vec{u}_{I,i} \times \vec{u}_{r,i} = - \frac{y - y_i}{d_i} \vec{u}_x + \frac{x - x_i}{d_i} \vec{u}_y$$

si ottengono le seguenti formule per il calcolo delle componenti spaziali (fasoriali) dell'induzione magnetica, quale contributo delle correnti nei diversi conduttori:

$$B_x = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[\frac{y_i - y}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right]$$

$$B_y = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[\frac{x - x_i}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right]$$

4.2 Risultati dei calcoli

4.2.1 Rete in cavo MT.

Le cabine dei sottocampi fotovoltaici sono collegate tra loro ed alla Cabina di Consegna, mediante le linee interrato in MT, come sotto riepilogate:

Denominazione	Potenza	Tensione	Corrente	Linea	n° terne	Lunghezza [m]	Altezza scavo [m]	Larghezza scavo [m]
	[kW]	[kV]	[A]					
Tratta INV1-INV2	2.773,05	30	53,37	1	1	280	1,3	0,6
Tratta INV2- INV3	5.546,10	30	106,74	1	1	420	1,3	0,6
Tratta INV3-cab. Aux1	8.139,15	30	156,64	1	1	945	1,3	0,6
Tratta INV4-cab. Aux1	3.648,75	30	70,22	1	1	180	1,3	0,6
Tratta INV5- INV6	3.169,20	30	61	1	1	150	1,3	0,6
Tratta INV6 -cab. Aux2	6.004,80	30	115,57	1	1	260	1,3	0,6
Tratta cab. Aux1-cab. Aux2	11.967,90	30	230,33	1	1	1030	1,3	0,6
Tratta cab. Aux2-Sottost	17.972,70	30	345,9	1	1	2960	1,3	0,6

I cavi saranno del tipo ARG7H1R 18/30 kV, le cui caratteristiche tecniche sono:

- Conduttore a corda rigida di ALLUMINIO, classe 2.
- Semiconduttore interno elastomerico estruso.
- Isolamento in G7 di qualità DIH2.
- Semiconduttore esterno elastomerico estruso pelabile a freddo
- Schermo costituito a fili di rame rosso.
- Guaina in PVC qualità RZ/ST 2.
- tensione nominale U0 /U :18/30kV.
- tensione max Umax 36 kV.
- Temperatura massima di esercizio +90°C
- Temperatura massima di corto circuito +250°C
- Temperatura minima di esercizio (senza shock meccanico) -15°C
- Temperatura minima di installazione e maneggio 0°C

Le sezioni dei cavi adottati sono le seguenti:

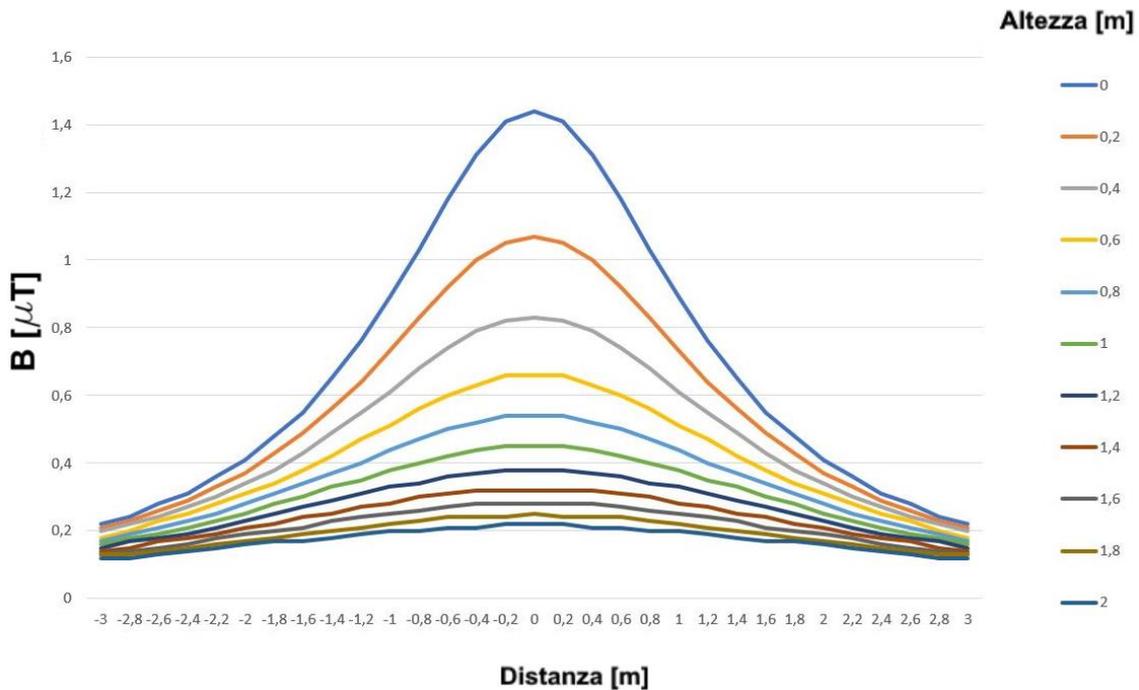
Tratte	Sezione Nominal e	Diametro Conduttore	Diametro sull'isolante	Diametro esterno nominale	Portata di corrente I _z per posa interrata a trifoglio
	[mm ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[A]
Tratta INV1 - INV2	35	7	8	33,5	142
Tratta INV2 - INV3	50	8,1	8	34,1	168
Tratta INV3 - -cab. Aux1	95	11,4	8	38,2	247
Tratta INV4 - -cab. Aux1	35	7	8	33,5	142
Tratta INV5 - INV6	35	7	8	33,5	142
Tratta cab. Aux1- cab. Aux2	150	14,3	8	41	318
Tratta cab. Aux2 - Sottostaz	240	18,3	8	45	418

Il campo elettrico prodotto da una linea elettrica a 50 Hz dipende dal valore efficace della tensione della linea stessa, che varia nel tempo in maniera molto modesta. Per questa ragione l'intensità del campo elettrico può essere considerata una grandezza praticamente costante nel tempo, che decresce spazialmente all'aumentare della distanza dai conduttori. Il campo elettrico risulta inoltre schermabile abbastanza facilmente; ad esempio in un cavidotto interrato l'uso delle guaine protettive con cui sono rivestiti i cavi e la presenza del terreno sovrastante, che ha una conducibilità elevata, riducono l'intensità del campo associato all'elettrodotto in misura significativa. Si può concludere pertanto, anche in considerazione della "Lista di riscontro per la valutazione della conformità ai campi elettrici" della norma CEI EN 50499 secondo la quale sono considerati conformi al valore di azione dei campi elettrici non perturbati qualsiasi cablaggio con guaine conduttrici a qualsiasi tensione (le guaine conduttrici sono normali sui cavi isolati per l'uso a 1 kV o più), che anche in prossimità delle sorgenti di campo elettromagnetico a 50 Hz presenti nell'impianto i valori di campo elettrico risultano inferiori rispetto al limite di esposizione previsto dalla normativa che è di 5kV/m per la popolazione generale (DPCM dell'8/07/2003) e di 10kV/m per i lavoratori (D.lgs 159/2016) cui è consentito l'accesso nell'area dell'impianto.

Per quanto riguarda il campo magnetico l'andamento del valore efficace risultante, tra la quota del suolo e + 1,8m dal piano di calpestio, considerata significativa ai fini della caratterizzazione dell'esposizione umana, in funzione della distanza ed alla massima portata di corrente nelle condizioni più severe, nella tratta (Inv 11- Qsmist B) con maggiore carico [35,54925MW], è riportato nella seguente tabella ottenuta applicando il modello di calcolo sopra richiamato, in un intorno di 3 m rispetto al cavidotto posato alla profondità di 1,3m.

Area Impianto

Distanza [m]	Altezza [m]										
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
-3	0,22	0,21	0,2	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12
-2,8	0,24	0,23	0,22	0,2	0,19	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12
-2,6	0,28	0,26	0,24	0,23	0,21	0,19	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13
-2,4	0,31	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14
-2,2	0,36	0,33	0,3	0,28	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15
-2	0,41	0,37	0,34	0,31	0,28	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16
-1,8	0,48	0,43	0,38	0,34	0,31	0,28	0,25	0,22	0,2	0,18	0,17
-1,6	0,55	0,49	0,43	0,38	0,34	0,3	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17
-1,4	0,65	0,56	0,49	0,42	0,37	0,33	0,29	0,25	0,23	0,2	0,18
-1,2	0,76	0,64	0,55	0,47	0,4	0,35	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19
-1	0,89	0,73	0,61	0,51	0,44	0,38	0,33	0,28	0,25	0,22	0,2
-0,8	1,03	0,83	0,68	0,56	0,47	0,4	0,34	0,3	0,26	0,23	0,2
-0,6	1,18	0,92	0,74	0,6	0,5	0,42	0,36	0,31	0,27	0,24	0,21
-0,4	1,31	1	0,79	0,63	0,52	0,44	0,37	0,32	0,28	0,24	0,21
-0,2	1,41	1,05	0,82	0,66	0,54	0,45	0,38	0,32	0,28	0,24	0,22
0	1,44	1,07	0,83	0,66	0,54	0,45	0,38	0,32	0,28	0,25	0,22
0,2	1,41	1,05	0,82	0,66	0,54	0,45	0,38	0,32	0,28	0,24	0,22
0,4	1,31	1	0,79	0,63	0,52	0,44	0,37	0,32	0,28	0,24	0,21
0,6	1,18	0,92	0,74	0,6	0,5	0,42	0,36	0,31	0,27	0,24	0,21
0,8	1,03	0,83	0,68	0,56	0,47	0,4	0,34	0,3	0,26	0,23	0,2
1	0,89	0,73	0,61	0,51	0,44	0,38	0,33	0,28	0,25	0,22	0,2
1,2	0,76	0,64	0,55	0,47	0,4	0,35	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19
1,4	0,65	0,56	0,49	0,42	0,37	0,33	0,29	0,25	0,23	0,2	0,18
1,6	0,55	0,49	0,43	0,38	0,34	0,3	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17
1,8	0,48	0,43	0,38	0,34	0,31	0,28	0,25	0,22	0,2	0,18	0,17
2	0,41	0,37	0,34	0,31	0,28	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16
2,2	0,36	0,33	0,3	0,28	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15
2,4	0,31	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14
2,6	0,28	0,26	0,24	0,23	0,21	0,19	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13
2,8	0,24	0,23	0,22	0,2	0,19	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12
3	0,22	0,21	0,2	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12

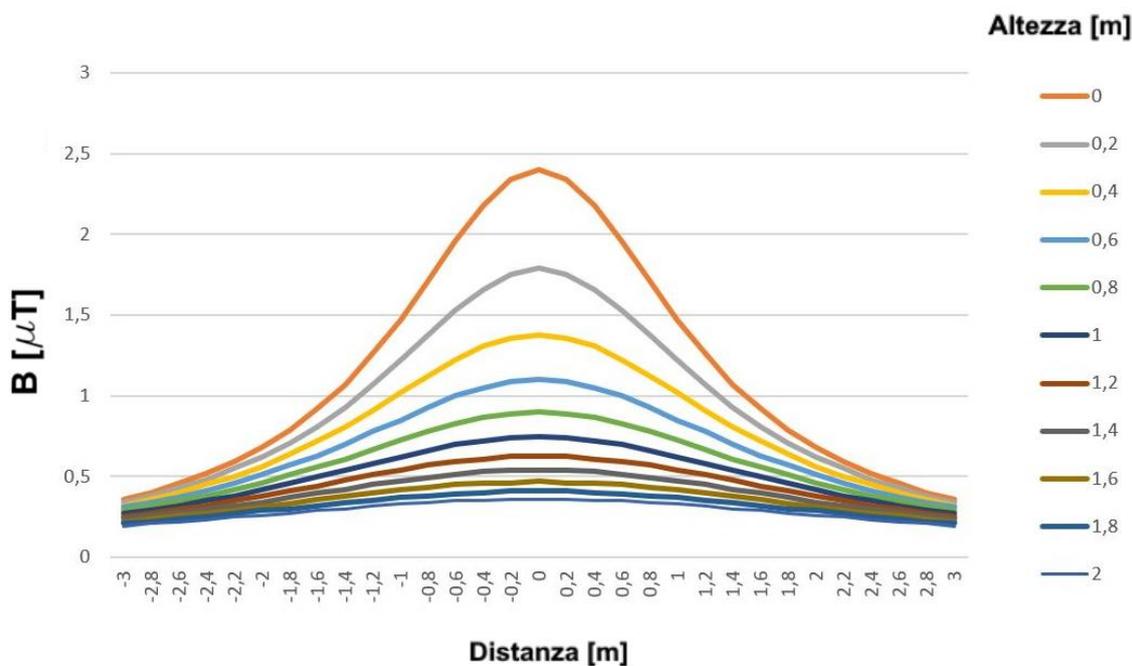


Per la Linea di connessione Tratta Qsmist.B-Sottostazione si è considerata la potenza di 17972,7 MW trasmessa attraverso una terna di cavi 3x(1x240) ed una corrente max circolante di 345.90 A

Distanza [m]	Altezza [m]										
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
-3	0,36	0,34	0,32	0,31	0,29	0,27	0,25	0,24	0,22	0,21	0,19
-2,8	0,4	0,38	0,36	0,34	0,32	0,29	0,27	0,26	0,24	0,22	0,21
-2,6	0,46	0,43	0,4	0,37	0,35	0,32	0,3	0,28	0,26	0,24	0,22
-2,4	0,52	0,48	0,45	0,41	0,38	0,35	0,32	0,3	0,27	0,25	0,23
-2,2	0,59	0,55	0,5	0,46	0,42	0,38	0,35	0,32	0,29	0,27	0,25
-2	0,68	0,62	0,56	0,51	0,46	0,42	0,38	0,34	0,31	0,29	0,26
-1,8	0,79	0,71	0,64	0,57	0,51	0,46	0,41	0,37	0,33	0,3	0,27
-1,6	0,92	0,81	0,72	0,63	0,56	0,5	0,44	0,4	0,36	0,32	0,29
-1,4	1,07	0,93	0,81	0,7	0,61	0,54	0,48	0,42	0,38	0,34	0,3
-1,2	1,26	1,07	0,91	0,78	0,67	0,58	0,51	0,45	0,4	0,35	0,32
-1	1,47	1,22	1,02	0,85	0,73	0,62	0,54	0,47	0,42	0,37	0,33
-0,8	1,71	1,38	1,12	0,93	0,78	0,66	0,57	0,49	0,43	0,38	0,34
-0,6	1,96	1,53	1,22	1	0,83	0,7	0,59	0,51	0,45	0,39	0,35
-0,4	2,18	1,66	1,31	1,05	0,87	0,72	0,61	0,53	0,46	0,4	0,35
-0,2	2,34	1,75	1,36	1,09	0,89	0,74	0,63	0,54	0,46	0,41	0,36
0	2,4	1,79	1,38	1,1	0,9	0,75	0,63	0,54	0,47	0,41	0,36
0,2	2,34	1,75	1,36	1,09	0,89	0,74	0,63	0,54	0,46	0,41	0,36
0,4	2,18	1,66	1,31	1,05	0,87	0,72	0,61	0,53	0,46	0,4	0,35
0,6	1,96	1,53	1,22	1	0,83	0,7	0,59	0,51	0,45	0,39	0,35
0,8	1,71	1,38	1,12	0,93	0,78	0,66	0,57	0,49	0,43	0,38	0,34
1	1,47	1,22	1,02	0,85	0,73	0,62	0,54	0,47	0,42	0,37	0,33
1,2	1,26	1,07	0,91	0,78	0,67	0,58	0,51	0,45	0,4	0,35	0,32
1,4	1,07	0,93	0,81	0,7	0,61	0,54	0,48	0,42	0,38	0,34	0,3
1,6	0,92	0,81	0,72	0,63	0,56	0,5	0,44	0,4	0,36	0,32	0,29
1,8	0,79	0,71	0,64	0,57	0,51	0,46	0,41	0,37	0,33	0,3	0,27
2	0,68	0,62	0,56	0,51	0,46	0,42	0,38	0,34	0,31	0,29	0,26
2,2	0,59	0,55	0,5	0,46	0,42	0,38	0,35	0,32	0,29	0,27	0,25
2,4	0,52	0,48	0,45	0,41	0,38	0,35	0,32	0,3	0,27	0,25	0,23
2,6	0,46	0,43	0,4	0,37	0,35	0,32	0,3	0,28	0,26	0,24	0,22
2,8	0,4	0,38	0,36	0,34	0,32	0,29	0,27	0,26	0,24	0,22	0,21
3	0,36	0,34	0,32	0,31	0,29	0,27	0,25	0,24	0,22	0,21	0,19

Valori calcolati dell'Induzione Magnetica [μT] per la di connessione alla sottostazione elettrica in MT/AT

La cui rappresentazione grafica è la seguente:



Dai dati sopra riportati si evince che il valore del campo magnetico, al di sopra del piano di campagna, è sempre inferiore al valore di attenzione di 10 μT , introdotto dal D.P.C.M. 8 luglio 2003 come misura di cautela per le aree di gioco per l'infanzia, gli ambienti abitativi e scolastici e in tutti i luoghi in cui possono essere presenti persone per almeno 4 h al giorno; a 60 cm dal suolo, inoltre, è sempre raggiunto l'obiettivo di qualità di 3 μT di cui allo stesso D.P.C.M.

5 Calcolo dell'induzione magnetica per le cabine di trasformazione Trasformatore

Il valore dell'induzione magnetica (B) decresce rapidamente al crescere della distanza dal trasformatore.

Per distanze comprese tra 1 m e 10 m da un trasformatore in resina si può calcolare il valore di B (μT) con la formula:

dove:

$$B = 5 \frac{u_{cc}}{6} \sqrt{\frac{S_r}{630}} \left(\frac{3}{a}\right)^{2,8}$$

- U_{cc} = tensione percentuale di cortocircuito;
- S_r = potenza nominale del trasformatore (kVA);
- a = distanza dal trasformatore (m).

considerando i due tipi di trasformatori che si utilizzeranno:

- Trafo $S_r = 3500$ kVA $U_{cc} = 7\%$
- Trafo $S_r = 4000$ kVA $U_{cc} = 7\%$

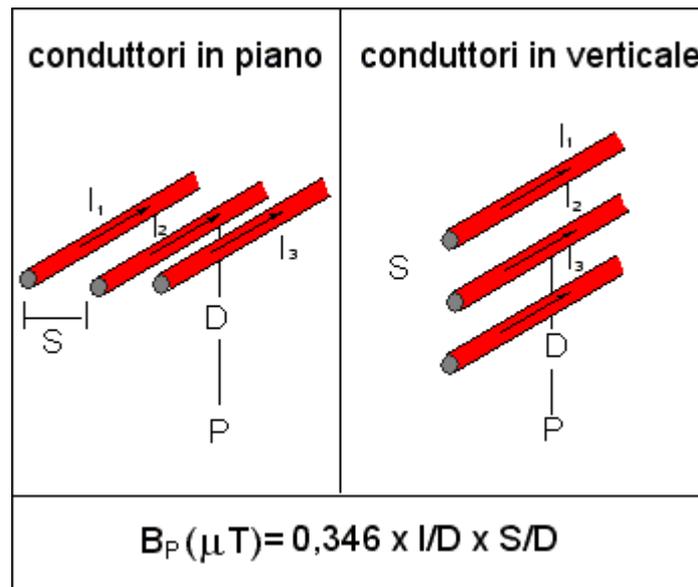
si avranno i seguenti valori dell'Induzione magnetica (μT):

Potenza Nominale Trafo (S_r) kVA	Distanza dal Trasformatore									
	1m	2 m	3m	4m	5 m	6m	7m	8m	9m	10m
3500	298	42,79	13,75	6,14	3,29	1,97	1,28	0,88	0,63	0,47

Potenza Nominale Trafo (S_r) kVA	Distanza dal Trasformatore									
	1m	2 m	3m	4m	5 m	6m	7m	8m	9m	10m
4000	318,58	45,74	14,7	6,57	3,52	2,11	1,37	0,94	0,68	0,5

Sbarre BT

Considerando tre sbarre di bassa tensione poste in piano, parallele tra di loro, supposto per semplicità che le sbarre abbiano sezione circolare e raggio trascurabile rispetto alla loro lunghezza, l'induzione nello spazio circostante può, in maniera approssimata, essere calcolata con la seguente formula



Induzione magnetica secondo la CEI 106-12

Tale formula è valida per $D \gg S$, dove D è la distanza del punto P , dove si vuole calcolare il valore dell'induzione magnetica, dal centro del sistema trifase ed S è la distanza fra i conduttori.

Nelle sbarre circolano le correnti di valore efficace I di un sistema elettrico trifase equilibrato.

Utilizzando la formula inversa avremo che la distanza D per cui $B=3 \mu T$ sarà

$$D = \sqrt{[(0,2 * 1,73 * I * S) / 3]}$$

posto che, in analogia a quanto previsto dal DM 29/05/08, la distanza fra le fasi "S" può essere considerata pari al diametro reale dei cavi (conduttore + isolante); in caso di cavi in parallelo per ciascuna fase si può cautelativamente considerare "S" pari alla somma di tutti i diametri dei cavi costituenti la formazione di una singola fase.

La corrente circolante sul lato BT del trafo è:

$$I_n = P / (\sqrt{3} \times V)$$

Dove

$P_1 = \text{potenza max in arrivo dal campo FV} = 3.648,75 \text{ kW}$ (sottocampo 4)

considerando una perdita di potenza del 15% si avrà una potenza immessa al primario del Trafo BT/MT di 3.101,4375 kW

$$I_n = P / (\sqrt{3} \times V) = 31014375 / (1,732 \times 600) = 2984,45 \text{ A}$$

Considerato che:

- per i cavi unipolari in Rame 1x240 mmq il diametro è di 19,5 mm
- I_z del cavo è 471A
- il numero dei cavi costituenti ogni fase è $n_c = I_n / I_z = 2984,45 / 471 = 6,33$ quindi si dovrebbero utilizzare sette conduttori (1x240 mmq).

Essendo più di 3 conduttori consideriamo l'area equivalente del cavo da 240 mmq che corrisponde a: $A = (D^2) \times 3,14 / 4 = 298,5 \text{ mmq}$

$A_{tot.} = 298,5 \times 6,33 = 1889,5 \text{ mmq}$ che corrisponde a una sbarra di 20x100 = 2000 mmq

La distanza S delle sbarre in via cautelativa si può considerare $3 \times 20 = 60 \text{ mm} = 0,06 \text{ m}$.

Di conseguenza

$$D = \sqrt{[(0,2 \times 1,732 \times I \times S) / 3]} = \sqrt{(0,2 \times 1,732 \times 2984,45 \times 0,06 / 3)} = 4,54 \text{ mt.}$$

L'obiettivo qualità quindi è già raggiunto a 4,54 m circa sia dalle sbarre che dal trasformatore

Mentre valori maggiori di 1000 μT si avranno solo nell'intorno immediato delle sbarre, sino alla distanza di 0,664 cm.

Al fine di ridurre ulteriormente il valore di induzione magnetica è possibile attuare i seguenti accorgimenti:

- utilizzare canalizzazioni metalliche chiuse con coperchio
- transitare con le canalizzazioni il più possibile verso il centro della cabina di trasformazione
- non addossare i trasformatori ed i quadri elettrici alle pareti esterne della cabina ove è presumibile possano identificarsi situazioni critiche (presenza di persone per più di quattro ore, ecc.)

- ove possibile avvolgere i cavi ad elica

Oggi sono disponibili specifiche soluzioni con prestazioni schermanti in grado di ridurre drasticamente i valori dei campi magnetici già in prossimità dei conduttori, come, per esempio, per i canali schermanti G-Iron



VALORI IN µT MISURATI A 500 MM DALLO SCHERMO			
CORRENTE DI TEST (A)	CAMPO LIBERO	CAMPO SCHERMATO	
		G-IRON EXAD	G-IRON EXAD 2
100	7,82	0,330	0,180
250	19,43	0,770	0,410
400	31,02	1,380	0,630
550	38,67	2,230	0,870
700	53,88	CAMBIO CONFIGURAZIONE	1,180
850	65,22		1,560
1000	76,17		1,970

*** valori indicativi medi, fonte G-iron Lab

. Vista l'ubicazione della cabina all'interno di terreno privato recintato accessibile solo a personale autorizzato, si ritiene di non dover dotare gli apparati tecnologici di ulteriori protezioni esterne non verificandosi probabilità di assembramento di persone nell'area; ciò anche in considerazione della tabella riportata nella EN 50499, costruita con la formula della linea unifilare, che riporta la distanza minima dal centro di un singolo conduttore attraversato da una corrente necessaria a dimostrare la conformità al valore di azione di 500 µT.

Distanza minima di avvicinamento dal centro di conduttori singoli che garantisce il rispetto del valore di azione	
Corrente nel conduttore	Distanza minima
100 A	4 cm
200 A	8 cm
500 A	20 cm
1000 A	40 cm
1500 A	60 cm
2000 A	80 cm
2500 A	1 m

Tutte distanze prossime alle sorgenti ed ampiamente all'interno dell'area di impianto.

6 Sicurezza dei lavoratori

Per il funzionamento dell'impianto non è necessaria la presenza di personale stabile in sito.

Le attività necessarie, che possono così essere riepilogate:

O&M (gestione e manutenzione;

Servizi di sorveglianza;

Manutenzione delle aree verdi

Saranno, all'occorrenza, svolte da ditte appaltatrici che opereranno conformemente al "Documento unico di valutazione dei rischi" che il Committente redigerà ai sensi dell'art. 26 comma 3 del D.lgs 81/08

Considerati i servizi loro demandati il personale delle ditte appaltatrici avranno accesso a tutte le aree dell'impianto ad eccezione di quello addetto alla manutenzione delle aree verdi cui è precluso l'accesso alle cabine impianti.

7 Conclusioni

Considerato che all'interno dell'impianto fotovoltaico, salvo il buffer di 6 metri intorno alle cabine di trasformazione, il valore dell'induzione magnetica è sempre inferiore a 3 microtesla, si può affermare che al confine dell'impianto, e quindi all'esterno di esso, è sempre rispettato il *limite di qualità* per le nuove installazioni finalizzato alla tutela della popolazione fissato dal D.P.C.M. 8 luglio 2003

Per i lavoratori professionalmente esposti ai campi elettromagnetici si deve invece fare riferimento ai limiti fissati dal D. Lgs n. 159/2016: in attuazione della direttiva europea 2013/35/UE, secondo il quale il Valore di Azione da non superare, in presenza di impianti elettrici nell'intervallo di frequenza

$25 \text{ Hz} \leq f \leq 300 \text{ Hz}$, è fissato pari a:

- 1000 μT , per B (induzione magnetica)
- 10 kV/m per E (campo elettrico)

Premesso che le cabine elettriche non sono sede permanente di lavoro e che ad esse avrà accesso solo personale tecnico adeguatamente formato e dotato di specifiche dotazioni di protezione, si può affermare che i limiti sopra riportati sono ampiamente rispettati nell'impianto in progetto.

Palermo

.....

Il tecnico