

COMUNE di SAN MARCO IN LAMIS
Provincia di Foggia

PROGETTO
per l'installazione di
un impianto fotovoltaico
con potenza nominale di 10,0188 MWp
con relativa connessione alla RTN

COMMITTENTE

SISTEMI ENERGETICI S.p.A.

**PROGETTO
DEFINITIVO**

COMUNE: **SAN MARCO IN LAMIS**
LOCALITA': " **Posta D'Innanzi**"

Relazione Impatto Elettromagnetico

Scala:

/

Data:

12-11-2021

Rev:

01

Codifica:

FTV/SMIL/PTO/RIE

ELABORATO

RIE

Progettazione:

SISTEMI ENERGETICI
Sp.A.

Via Mario Forcella, 14 - 71121 FOGGIA

Tecnico incaricato:



Ing. Marcello Salvatori

INDICE

PREMESSA	pag. 2
INQUADRAMENTO NORMATIVO	pag. 2
DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO	pag. 4
<i>Cabina di trasformazione MT/BT di sottocampo</i>	pag. 5
<i>Linee di distribuzione in M</i>	pag. 5
<i>Stazione elettrica 20/150 kV</i>	pag. 5
<i>Cavidotto in Alta Tensione</i>	pag. 5
METODOLOGIA DI CALCOLO	pag. 6
<i>Definizioni</i>	pag. 6
<i>Cenni teorici sul modello utilizzato</i>	pag. 6
<i>Metodo di calcolo</i>	pag. 7
CAMPI ELETTROMAGNETICI CAVIDOTTI IN MT	pag. 8
CAMPI ELETTROMAGNETICI CABINE DI TRASFORMAZIONE MT/BT DI SOTTOCAMPO	pag. 9
CAMPI ELETTROMAGNETICI STAZIONE ELETTRICA 150/20 kV	pag. 13
CAMPI ELETTROMAGNETICI CAVIDOTTI IN AT	pag. 17
CONCLUSIONI	pag. 19

PREMESSA

Obiettivo dell'iniziativa imprenditoriale a cui è legato il progetto è la realizzazione di una centrale agrovoltaiica nel comune di San Marco in Lamis in provincia di Foggia.

La centrale agrovoltaiica si svilupperà su un'area complessiva di circa 104.150 m² e ha una potenza di 10,0188 MWp. L'impianto agrovoltaiico in esame è dunque destinato a produrre energia elettrica in collegamento alla Rete di Trasmissione Nazionale di Terna in corrente alternata.

La società SISTEMI ENERGETICI SPA è titolare di un preventivo di connessione rilasciato da Terna SpA, cod. id 202000196, relativo allo schema di collegamento alla Rete di Trasmissione Nazionale (di seguito RTN) che prevede la connessione in antenna a 150 kV sulla esistente Stazione Elettrica (SE) di Smistamento a 150 kV della RTN denominata "Innanzi", previo ampliamento della stessa e realizzazione dei raccordi di entra-esce alla linea RTN 150 kV "Foggia – San Giovanni Rotondo".

La relazione è stata redatta al fine di determinare i valori di elettromagnetismo attesi (calcolo previsionale) e la valutazione degli effetti ambientali conseguenti ai sensi della legge 36/01 e DPCM 08/07/2003.

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 ed altissima tensione.

Per tali linee, infatti, sono spesso prese in considerazione soluzioni alternative di tipo interrato, proprio al fine di ridurre gli effetti elettromagnetici.

Le caratteristiche costruttive delle centrali eoliche fanno sì che i livelli di elettromagnetismo risultanti si posizionino ben al di sotto di quelli che sono i limiti di legge; infatti, tali centrali utilizzano in maggior parte la media tensione per il collegamento alla rete elettrica esistente e i cavidotti di collegamento, spesso, sono realizzati attraverso linee interrate.

In tutti i casi, le soluzioni tecnologiche adottate consentono di guardare con assoluta tranquillità agli effetti sulla salute dovuti ai campi elettromagnetici riconducibili alla realizzazione.

INQUADRAMENTO NORMATIVO

La normativa nazionale per la tutela della popolazione dagli effetti dei campi elettromagnetici disciplina separatamente le basse frequenze (es. elettrodotti) e le alte frequenze (es. impianti radiotelevisivi, stazioni radiobase, ponti radio).

Il 14 febbraio 2001 è stata approvata dalla Camera dei deputati la legge quadro sull'inquinamento elettromagnetico (L.36/01). In generale il sistema di protezione dagli effetti delle esposizioni agli inquinanti ambientali distingue tra:

- Effetti acuti (o di breve periodo), basati su una soglia, per cui si fissano limiti di esposizione che garantiscono - con margini cautelativi - la non insorgenza di tali effetti;
- Effetti cronici (o di lungo periodo), privi di soglia e di natura probabilistica (all'aumentare dell'esposizione aumenta non l'entità ma la probabilità del danno), per cui si fissano livelli operativi di riferimento per prevenire o limitare il possibile danno complessivo.

E' importante dunque distinguere il significato dei termini utilizzati nelle leggi (riportiamo nella tabella 1 le definizioni inserite nella legge quadro).

Tabella 1: Definizioni di limiti di esposizione, di valori di attenzione e di obiettivi di qualità secondo la legge quadro.

Limiti di esposizione	Valori di CEM che non devono essere superati in alcuna condizione di esposizione, ai fini della tutela dagli effetti acuti.
Valori di attenzione	Valori di CEM che non devono essere superati negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate. Essi costituiscono la misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti di lungo periodo.
Obiettivi di qualità	Valori di CEM causati da singoli impianti o apparecchiature da conseguire nel breve, medio e lungo periodo, attraverso l'uso di tecnologie e metodi di risanamento disponibili. Sono finalizzati a consentire la minimizzazione dell'esposizione della popolazione e dei lavoratori ai CEM anche per la protezione da possibili effetti di lungo periodo.

La normativa di riferimento in Italia per le linee elettriche è il DPCM del 08/07/2003 (G.U. n. 200 del 29.08.2003) "Fissazione dei limiti massimi di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti"; tale decreto, per effetto di quanto fissato dalla legge quadro sull'inquinamento elettromagnetico, stabilisce:

- I limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la tutela della salute della popolazione nei confronti dei campi elettromagnetici generati a frequenze non contemplate dal D.M. 381/98, ovvero i campi a bassa frequenza (ELF) e a frequenza industriale (50 Hz);
- I limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la tutela della salute dei lavoratori professionalmente esposti nei confronti dei campi elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 0 Hz e 300 GHz (esposizione professionale ai campi elettromagnetici);
- Le fasce di rispetto per gli elettrodotti.

Relativamente alla definizione di limiti di esposizione, valori di attenzione e obiettivi di qualità per l'esposizione della popolazione ai campi di frequenza industriale (50 Hz) relativi agli elettrodotti, il DPCM 08/07/03 propone i valori descritti in tabella 2, confrontati con la normativa europea.

Tabella 2: Limiti di esposizione, limiti di attenzione e obiettivi di qualità del DPCM 08/07/03, confrontati con i livelli di riferimento della Raccomandazione 1999/512CE.

Normativa	Limiti previsti	Induzione magnetica B (μT)	Intensità del campo elettrico E (V/m)
DPCM	Limite d'esposizione	100	5.000
	Limite d'attenzione	10	
	Obiettivo di qualità	3	
Racc. 1999/512/CE	Livelli di riferimento (ICNIRP1998, OMS)	100	5.000

Il valore di attenzione di 10 μT si applica nelle aree di gioco per l'infanzia, negli ambienti abitativi, negli ambienti scolastici e in tutti i luoghi in cui possono essere presenti persone per almeno 4 ore al giorno. Tale valore è da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

L'obiettivo di qualità di 3 μT si applica ai nuovi elettrodotti nelle vicinanze dei sopraccitati ambienti e luoghi, nonché ai nuovi insediamenti ed edifici in fase di realizzazione in prossimità di linee e di installazioni elettriche già esistenti (valore inteso come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio). Da notare che questo valore corrisponde approssimativamente al livello di induzione prevedibile, per linee a pieno carico, alle distanze di rispetto stabilite dal vecchio DPCM 23/04/92.

Si ricorda che i limiti di esposizione fissati dalla legge sono di 100 μT per lunghe esposizioni e di 1000 μT per brevi esposizioni.

Per quanto riguarda la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, il direttore generale per la salvaguardia ambientale vista la legge 22 febbraio 2001, n. 36 e, in particolare, l'art. 4, comma 1, lettera h) che prevede, tra le funzioni dello Stato, la determinazione dei parametri per la previsione di fasce di rispetto per gli elettrodotti; visto il D.P.C.M. 8 luglio 2003, in base al quale il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare deve approvare la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto, definita dall'APAT, sentite le ARPA; ha approvato, con Decreto 29 Maggio 2008, *"La metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti"*.

Tale metodologia, ai sensi dell'art. 6 comma 2 del D.P.C.M. 8 luglio 2003, ha lo scopo di fornire la procedura da adottarsi per la determinazione delle fasce di rispetto pertinenti alle linee elettriche aeree e interrate, esistenti e in progetto. I riferimenti contenuti in tale articolo implicano che le fasce di rispetto debbano attribuirsi ove sia applicabile l'obiettivo di qualità:

"Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree di gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione di nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio". (Art. 4)

Al fine di semplificare la gestione territoriale e il calcolo delle fasce di rispetto è stato introdotto nella metodologia di calcolo un procedimento semplificato che trasforma la fascia di rispetto (volume) in una distanza di prima approssimazione (distanza).

DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

I campi a frequenze estremamente basse (ELF), quali quelli che si manifestano nell'esercizio degli impianti agrovoltai, sono quelli con frequenze fino a 300 Hz. A frequenze così basse corrispondono lunghezze d'onda in aria molto grandi (6000 km a 50 Hz e 5000 km a 60 Hz) e, in situazioni pratiche, il campo elettrico e quello magnetico agiscono in modo indipendente l'uno dall'altro e sono calcolati e misurati separatamente.

I campi elettrici sono prodotti dalle cariche elettriche e la loro intensità viene misurata in volt al metro (V/m) o in chilovolt al metro (kV/m). L'intensità dei campi elettrici è massima vicino al dispositivo e diminuisce con la distanza. Essi vengono schermati dalla maggior parte dei materiali di uso comune.

I campi magnetici sono prodotti dal moto delle cariche elettriche, cioè dalla corrente. La loro intensità si misura in ampere al metro (A/m), ma è spesso espressa in termini di una grandezza corrispondente, l'induzione magnetica, che si misura in Tesla (T), milliTesla (mT) o microTesla (μT). I campi magnetici sono massimi vicino alla sorgente e diminuiscono con la distanza. Essi non vengono schermati dalla maggior parte dei materiali di uso comune che ne vengono facilmente attraversati.

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

Il generatore e le linee elettriche costituiscono fonti di campi elettromagnetici a bassa frequenza (50 Hz); a queste fonti sono associate correnti elettriche a bassa e media tensione.

Il generatore, infatti, produce energia a bassa tensione in DC che viene trasformata in media tensione in AC (20 kV) nella cabina di trasformazione e conversione di sottocampo. Da ciascuna cabina di sottocampo, attraverso un collegamento in entra-esce, questa energia elettrica viene inviata, tramite cavidotti interrati,

dapprima alle cabine utente della Sottostazione elettrica 20/150 kV. Da quest'ultima tramite un cavidotto interrato in AT l'energia viene consegnata presso la stazione 150kV "INNANZI" della RTN.

Le componenti dell'impianto sulle quali rivolgere l'attenzione al fine della valutazione dell'impatto elettromagnetico sono:

- le cabine di trasformazione MT/BT di sottocampo;
- le linee di distribuzione in MT (interne al parco agrovoltico), che realizzano il collegamento in entra-esce delle varie Cabine di sottocampo;
- la Sottostazione elettrica di utenza 20/150 kV;
- il cavidotto in AT per il collegamento della Sottostazione elettrica di utenza 20/150 kV con quella 150kV della RTN.

Cabina di trasformazione MT/BT di sottocampo

Le cabine di trasformazione sono ubicate all'interno del parco agrovoltico ed hanno il compito di trasformare l'energia elettrica in DC prodotta dal generatore fotovoltaico, alla tensione di 20 kV in AC, ossia in media tensione.

Linee di distribuzione in MT

Dai quadri in MT all'interno delle cabine di sottocampo, l'intera energia prodotta viene trasferita da un elettrodotto interrato realizzato in cavo di tipo unipolare con disposizione ad elica visibile a corda rigida compatta di alluminio con isolante in mescola elastomerica reticolata. La sezione dei singoli cavi componenti le terne, presenta le seguenti caratteristiche dimensionali:

Sezione conduttore	Diametro conduttore	Spessore Isolante	Diametro cavo	Portata
[mm²]	[mm]	[mm]	[mm]	[A]
3x1x185	15,9	5,5	40	368

Anche in questo caso si fa presente che essendo cavi di tipo cordato ad elica visibile, non è prevista la determinazione della distanza di prima approssimazione come indicato nel D.M. del 29 Maggio 2008.

Stazione elettrica 20/150 kV

All'interno dell'area della stazione AT sarà realizzata un'area di trasformazione MT/AT (20/150 kV) composta da un edificio di controllo con una sezione di arrivo MT dal parco; una sezione di trasformazione ed una sezione di partenza in cavo in AT per la consegna dell'energia prodotta.

Cavidotto in Alta Tensione

Dalla stazione di trasformazione MT/AT l'energia prodotta viene trasferita alla stazione di consegna 150kV di San Marco in Lamis attraverso un cavidotto interrato in alta tensione. La sezione dei singoli cavi componenti la terna, presenta le seguenti caratteristiche dimensionali:

Sezione conduttore	Diametro conduttore	Spessore Isolante	Diametro cavo	Portata
[mm ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[A]
3x1x400	23,3	20,7	87,3	455

METODOLOGIA DI CALCOLO

Definizioni

In riferimento all'allegato del D.M. del 29 Maggio 2008 "Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto" si introducono le seguenti definizioni:

Corrente

Valore efficace dell'intensità di corrente elettrica.

Portata in corrente in servizio normale

Corrente che può essere sopportata da un conduttore per il 100% del tempo con limiti accettabili del rischio di scarica sugli oggetti mobili e sulle opere attraversate e dell'invecchiamento. Essa è definita nella norma CEI 11-60 par. 2.6 e sue successive modifiche e integrazioni.

Portata in regime permanente

Massimo valore della corrente che, in regime permanente e in condizioni specificate, il conduttore può trasmettere senza che la sua temperatura superi un valore specificato (secondo CEI 11-17 par. 1.2.05).

Fascia di rispetto

Spazio circostante un elettrodotto, che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità.

Distanza di prima approssimazione (Dpa)

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.

Cenni teorici sul modello utilizzato

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

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

dove μ_0 è la permeabilità magnetica del vuoto, NR è il numero dei conduttori (nel nostro caso pari a 3), i la corrente, Ck il conduttore generico, dl un suo tratto elementare, r la distanza tra questo tratto elementare ed il punto dove si vuole calcolare il campo.

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

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

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

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

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

Metodo di calcolo

Lo studio dell'impatto elettromagnetico nel caso di linee elettriche aeree e non, si traduce nella determinazione di una fascia di rispetto. Per l'individuazione di tale fascia si deve effettuare il calcolo dell'induzione magnetica basato sulle caratteristiche, geometriche, meccaniche ed elettriche della linea presa in esame. Esso deve essere eseguito secondo modelli tridimensionali o bidimensionali con l'applicazione delle condizioni espresse al paragrafo 6.1 della norma CEI 106-11, che considera lo sviluppo della catenaria in condizioni di freccia massima, l'altezza dei conduttori sul livello del suolo e l'andamento del terreno.

Al fine di semplificare la gestione territoriale e il calcolo delle fasce di rispetto, in prima approssimazione è possibile:

- Calcolare la fascia di rispetto combinando la configurazione dei conduttori, geometrica e di fase, e la portata in corrente in servizio normale che forniscono il risultato più cautelativo sull'intero tronco;
- Proiettare al suolo verticalmente tale fascia;
- Individuare l'estensione rispetto alla proiezione del centro linea (Dpa).

Nel caso di stazioni primarie (punto 5.2.2 dell'allegato del D.M. 29/05/2008), la Dpa e, quindi, la fascia di rispetto rientrano, generalmente, nei confini dell'area di pertinenza dell'impianto stesso il cui accesso è consentito dal solo personale autorizzato.

CAMPI ELETTROMAGNETICI CAVIDOTTI IN MT

Per la realizzazione dei cavidotti di collegamento, sia interni che esterni al parco eolico, sono stati considerati tutti gli accorgimenti che consentono la minimizzazione degli effetti elettromagnetici sull'ambiente e sulle persone. In particolare, la scelta di operare con linee in MT interrate permette di eliminare la componente elettrica del campo, grazie all'effetto schermante del terreno; inoltre la limitata distanza tra i cavi (ulteriormente ridotta grazie all'impiego di terne cosiddette "a trifoglio") fa sì che l'induzione magnetica risulti significativa solo in prossimità dei cavi.

Sebbene il D.M. 29 Maggio 2008 non prevede il calcolo della distanza di prima approssimazione per linee interrate in MT con cavi cordati ad elica, si procederà ugualmente alla sua determinazione a favore di una maggiore sicurezza.

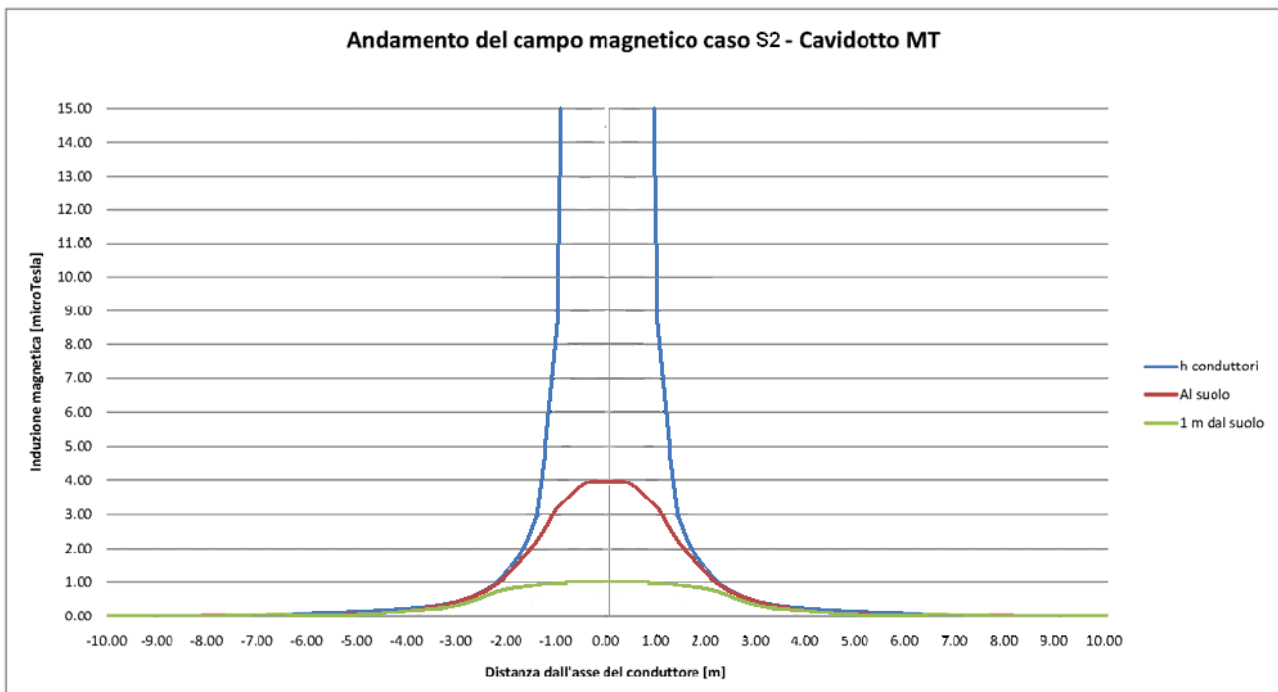
Simulazione di calcolo di linee di collegamento interne al parco

Nel caso in questione, lo studio del campo elettromagnetico è stato effettuato, alla tensione nominale di 20 kV, sui seguenti tratti di cavidotto così costituiti (come individuato nell'allegato grafico):

– **S1**: una terna di conduttori di sezione 185 mm² percorsa da corrente massima pari a 378 A.

I valori del campo magnetico sono stati misurati ad altezza conduttori, al suolo e ad 1 m dal suolo. Più precisamente, i risultati di seguito riportati illustrano, per ognuna delle situazioni richiamate, l'andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori e l'andamento del campo magnetico su di un asse ortogonale all'asse dei conduttori.

S1 - Cavidotto interno MT ad una terna di sezione 185 mm² interrata a 1,5 m dal piano di campagna



SIMULAZIONE S1 - VALORI TABELLATI DI CAMPO MAGNETICO			
<i>Distanza dai cavi [m]</i>	<i>Altezza conduttori [μT]</i>	<i>Al suolo [μT]</i>	<i>Ad 1 m dal suolo [μT]</i>
-10.00	0.05	0.05	0.05
-9.00	0.06	0.06	0.06
-8.00	0.08	0.08	0.07
-7.00	0.10	0.10	0.10
-6.00	0.14	0.13	0.13
-5.00	0.20	0.20	0.18
-4.00	0.31	0.30	0.27
-3.00	0.55	0.50	0.43
-2.00	1.23	1.05	0.83
-1.00	4.88	3.21	0.9
0.00	316.77	3.905	1.095
1.00	4.88	3.21	0.9
2.00	1.23	1.05	0.83
3.00	0.55	0.50	0.43
4.00	0.31	0.30	0.27
5.00	0.20	0.20	0.18
6.00	0.14	0.13	0.13
7.00	0.10	0.10	0.10
8.00	0.08	0.08	0.07
9.00	0.06	0.06	0.06
10.00	0.05	0.05	0.05

CAMPI ELETTROMAGNETICI CABINE DI TRASFORMAZIONE MT/BT DI SOTTOCAMPO

Riguardo le cabine di trasformazione MT/BT di sottocampo poste all'interno del parco agrovoltaiico, i valori del campo elettromagnetico sono ovviamente inferiori a quelli registrati nelle sottostazioni AT/MT.

Il calcolo del campo elettromagnetico, per le cabine di Sottocampo è stato effettuato sulle sbarre a 20 kV dei quadri di raccolta. I parametri geometrici utilizzati per il calcolo risultano i seguenti:

- altezza delle sbarre: 1.1 m;
- distanza tra le sbarre: 0.3 m;

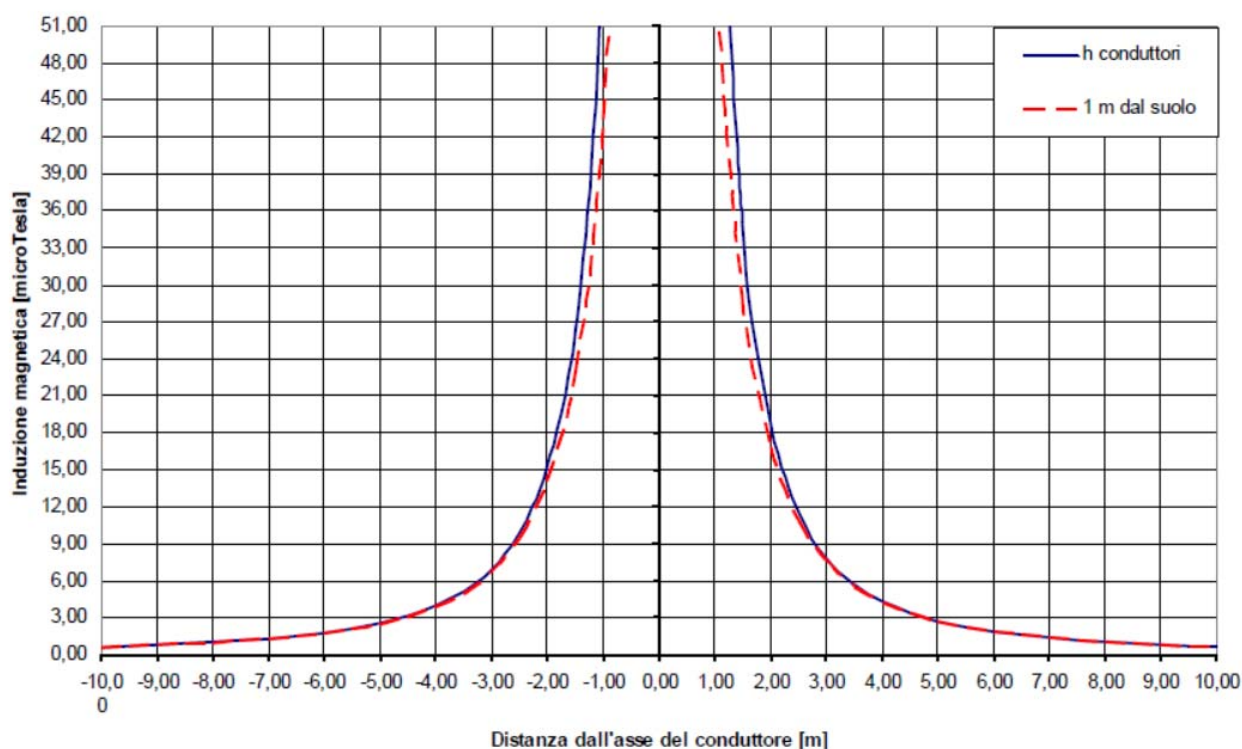
I parametri elettrici riportati nel software risultano, invece, i seguenti:

- valore efficace della corrente delle sbarre: 630 A;
- valore efficace della tensione fra conduttore e terra: 11560 V;

A favore della sicurezza, i valori di corrente utilizzati nella simulazione di calcolo sono quelli relativi alle correnti termiche nominali delle sbarre a 20 kV.

I valori di campo magnetico sono stati calcolati ad altezza conduttori, più precisamente, i risultati di seguito riportati illustrano l'andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse delle sbarre e su di un asse ortogonale alle stesse.

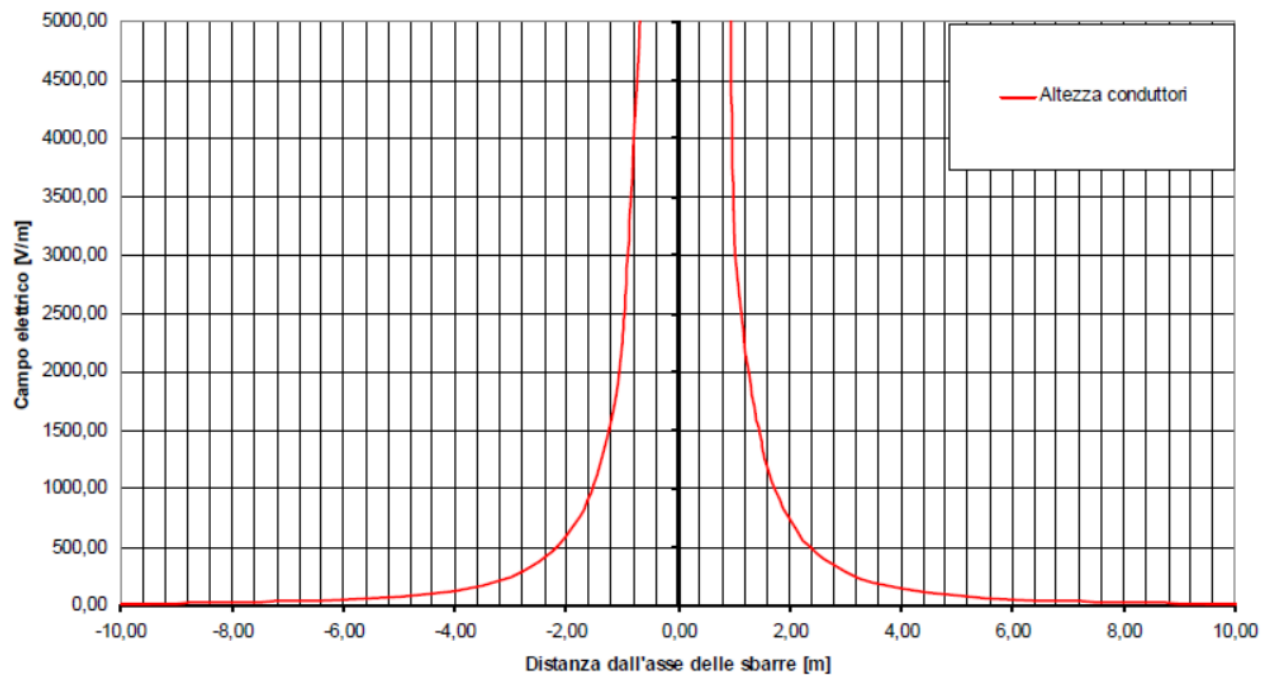
Andamento del campo magnetico - Sbarre MT quadri di raccolta



<i>Distanza dai cavi [m]</i>	Valutazione Fascia di rispetto	Valutazione obiettivo di qualità
	<i>Altezza conduttori [μT]</i>	<i>Ad 1 m dal suolo [μT]</i>
-10,00	0,64	0,64
-9,00	0,79	0,79
-8,00	1,00	0,99
-7,00	1,30	1,29
-6,00	1,76	1,75
-5,00	2,53	2,49
-4,00	3,92	3,84
-3,00	6,88	6,63
-2,00	15,17	13,99
-1,00	58,56	43,39
0,00	1122,83	149,26
1,00	91,01	58,24
2,00	18,62	16,87
3,00	7,87	7,55
4,00	4,33	4,23
5,00	2,74	2,70
6,00	1,89	1,87
7,00	1,38	1,37
8,00	1,05	1,04
9,00	0,83	0,82
10,00	0,67	0,67

Figura 1: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica e tabellare - Sbarre MT dei quadri di raccolta

Andamento del campo elettrico - CABINA DI SOTTOCAMPO



Distanza dall'asse [m]	Valori di campo elettrico
	<i>Altezza conduttori</i>
0,00	43342,30
0,50	24863,10
1,00	3381,50
1,50	1376,50
2,00	734,50
2,50	442,10
3,00	286,70
3,50	196,40
4,00	140,50
4,50	104,20
5,00	79,60
5,50	62,30
6,00	49,90
6,50	40,70
7,00	33,70
7,50	28,40
8,00	24,10
8,50	20,80
9,00	18,00
9,50	15,80
10,00	14,00

Figura 2: Andamento del campo elettrico - Sbarre MT dei quadri di raccolta

Come si evince dalla simulazione del calcolo (fig. 1) i valori di campo magnetico ad altezza conduttori restano al di sotto dei 3 μT ad una distanza di circa 5 m dal muro perimetrale della cabina. Tale valore di induzione magnetica è indicato nel DPCM 08/07/2003 come obiettivo di qualità previsto per le aree di gioco per l'infanzia, negli ambienti abitativi, negli ambienti scolastici e in tutti i luoghi in cui possono essere presenti persone per almeno 4 ore al giorno.

Per quanto riguarda il campo elettrico (fig. 2), l'intensità risulta massima vicino al dispositivo e diminuisce con la distanza. Considerando il campo elettrico calcolato ad altezza conduttori si ottengono valori di campo elettrico inferiore ai limiti di 5000 V/m imposti dalla normativa ad 1 solo metro dai conduttori stessi.

CAMPI ELETTROMAGNETICI STAZIONE ELETTRICA 150/20 kV

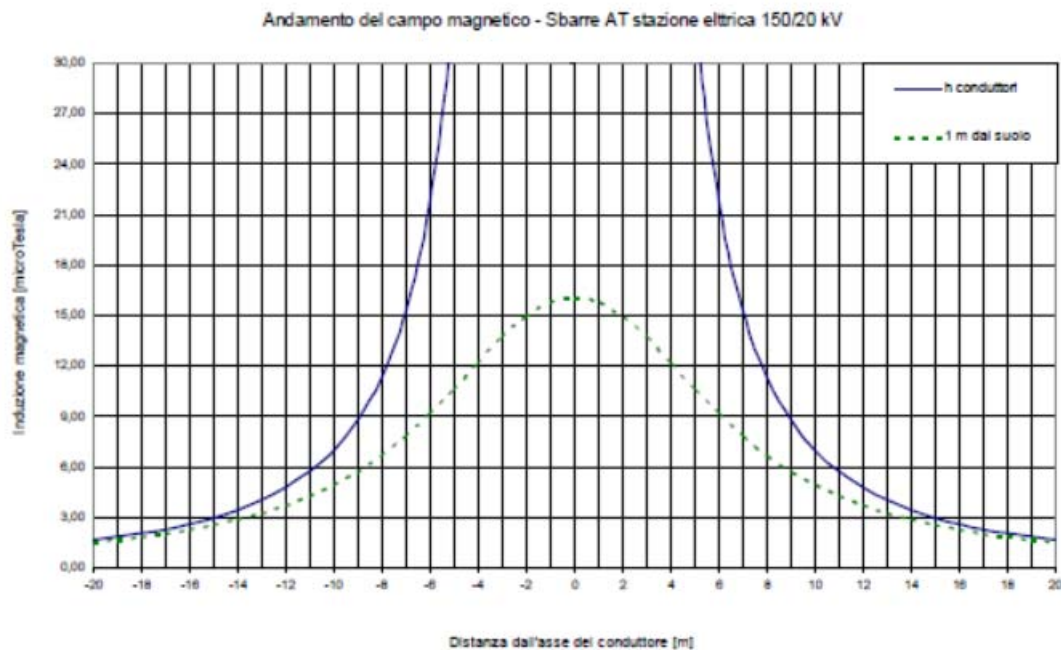
Il calcolo del campo elettromagnetico per una stazione elettrica 150/20 kV è stato effettuato sulle sbarre a 150 kV all'interno dell'area di stazione e sulle sbarre a 20 kV dei quadri in MT localizzati anch'essi all'interno della recinzione della stazione.

I parametri geometrici ed elettrici utilizzati per il calcolo sulle sbarre a 150 kV risultano i seguenti:

- altezza delle sbarre: 7 m;
- distanza tra le sbarre: 2.2 m;
- valore efficace della corrente delle sbarre: 870 A;
- valore efficace della tensione fra conduttore e terra: 86705 V;

I parametri geometrici ed elettrici utilizzati per il calcolo sulle sbarre a 20 kV risultano, invece, i seguenti:

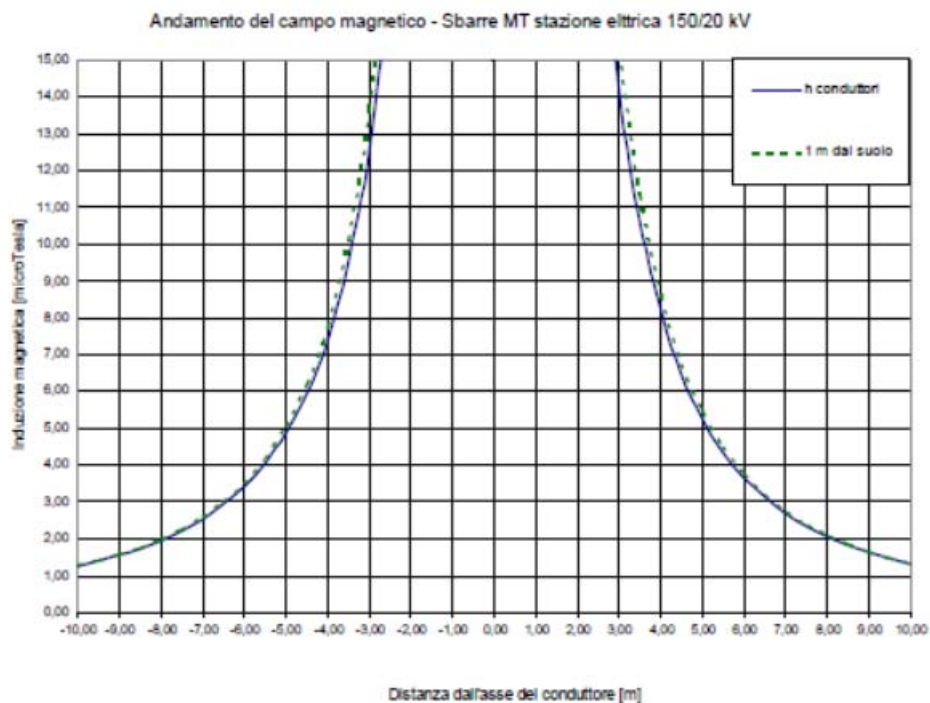
- altezza delle sbarre: 1.1 m;
- distanza tra le sbarre: 0.3 m;
- valore efficace della corrente delle sbarre: 1250 A;
- valore efficace della tensione fra conduttore e terra: 11560 V;



Valutazione Distanza di prima approssimazione			
Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [μT]	Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [μT]
-20	1,68	1	277,17
-19	1,87	2	835,80
-18	2,08	3	171,70
-17	2,34	4	62,23
-16	2,65	5	33,91
-15	2,96	6	21,74
-14	3,48	7	15,26
-13	4,06	8	11,35
-12	4,79	9	8,79
-11	5,75	10	7,02
-10	7,02	11	5,75
-9	8,79	12	4,79
-8	11,35	13	4,06
-7	15,26	14	3,48
-6	21,74	15	2,96
-5	33,91	16	2,65
-4	62,23	17	2,34
-3	171,70	18	2,08
-2	835,80	19	1,87
-1	277,17	20	1,68
0	1741,79		

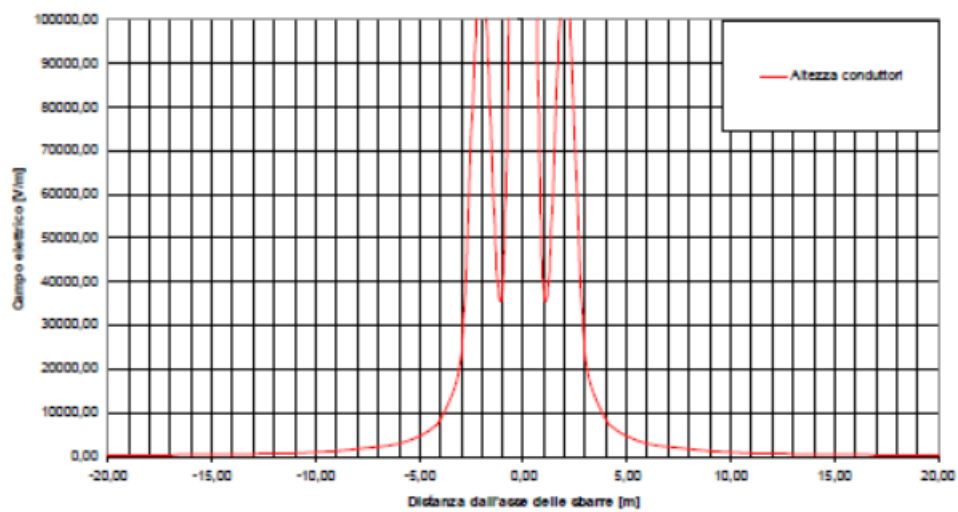
Figura 3: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica e tabellare - Sbarre AT stazione elettrica 150/20 kV

- Valutazione della Distanza di prima Approssimazione



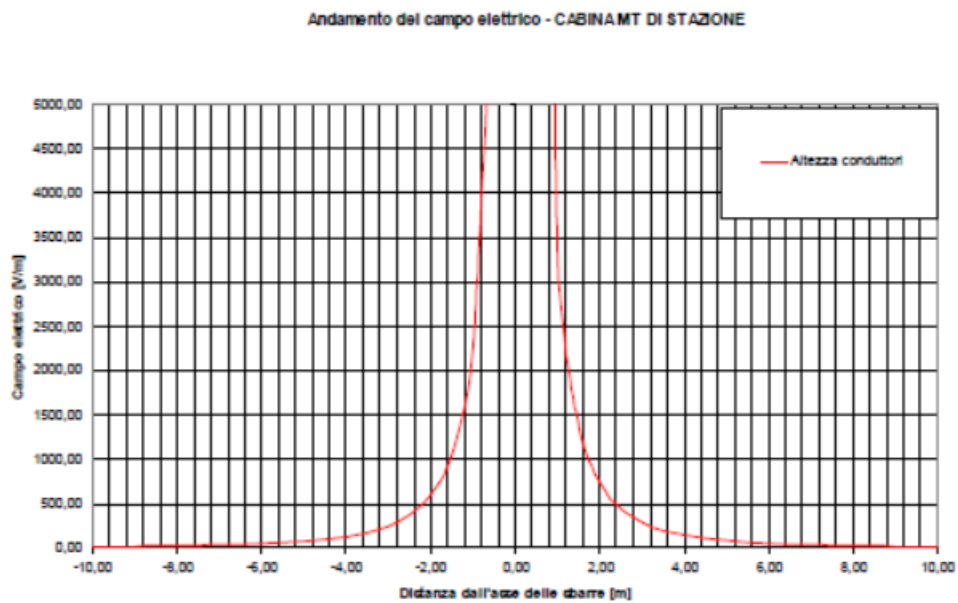
<i>Distanza dai cavi</i>	<i>Altezza conduttori</i>	<i>1 m dal suolo</i>
-10,00	1,26	1,27
-9,00	1,56	1,57
-8,00	1,96	1,98
-7,00	2,54	2,58
-6,00	3,43	3,50
-5,00	4,86	5,01
-4,00	7,41	7,77
-3,00	12,58	13,65
-2,00	25,26	30,10
-1,00	65,30	116,20
0,00	145,66	2227,83
1,00	80,80	180,57
2,00	29,87	36,95
3,00	14,23	15,62
4,00	8,16	8,59
5,00	5,25	5,43
6,00	3,66	3,74
7,00	2,69	2,73
8,00	2,06	2,08
9,00	1,63	1,64
10,00	1,32	1,33

Andamento del campo elettrico -SBARRE AT STAZIONE ELETTRICA



Distanza dall'asse [m]	Valori di campo elettrico
	<i>Altezza conduttori</i>
0,00	263480,50
0,50	39261,50
1,00	112013,90
1,50	22797,40
2,00	8360,50
2,50	4645,20
3,00	3040,60
3,50	2173,40
4,00	1640,30
4,50	1283,90
5,00	1031,40
5,50	844,70
6,00	702,40
6,50	591,20
7,00	502,60
7,50	431,10
8,00	372,50
8,50	324,00
9,00	283,60
9,50	249,50
10,00	220,70

Figura 4: Andamento del campo elettrico - Sbarre AT stazione elettrica 150/20 kV



Distanza dall'asse [m]	Valori di campo elettrico
	Altezza conduttori
0,00	43342,30
0,50	24863,10
1,00	3381,50
1,50	1376,50
2,00	734,50
2,50	442,10
3,00	286,70
3,50	196,40
4,00	140,50
4,50	104,20
5,00	79,60
5,50	62,30
6,00	49,90
6,50	40,70
7,00	33,70
7,50	28,40
8,00	24,10
8,50	20,80
9,00	18,00
9,50	15,80
10,00	14,00

Figura 5: Andamento del campo elettrico - Cabina MT in stazione elettrica 150/20 kV

Come si evince dalla simulazione del calcolo sia i valori di campo magnetico ad altezza conduttori sia quelli ad 1 m dal suolo restano al di sotto dei 3 μ T ad una distanza di circa 15 m dall'asse delle sbarre in AT e 7 m circa dal confine della cabina MT della stazione 150/20 kV.

Riguardo al campo elettrico, dai risultati delle simulazioni (Fig. 4 e 5), si ottengono valori di intensità inferiore ai limiti di 5000 V/m imposti dalla normativa a soli 2.5 m dalle sbarre in AT ed 1 m da quelle in MT.

CAMPI ELETTROMAGNETICI CAVIDOTTI IN AT

Anche per la realizzazione dei cavidotti di collegamento in AT sono stati considerati tutti gli accorgimenti che consentono la minimizzazione degli effetti elettromagnetici sull'ambiente e sulle persone. In particolare, la scelta di operare con linee in AT interrate permette di eliminare la componente elettrica del campo, grazie all'effetto schermante del terreno.

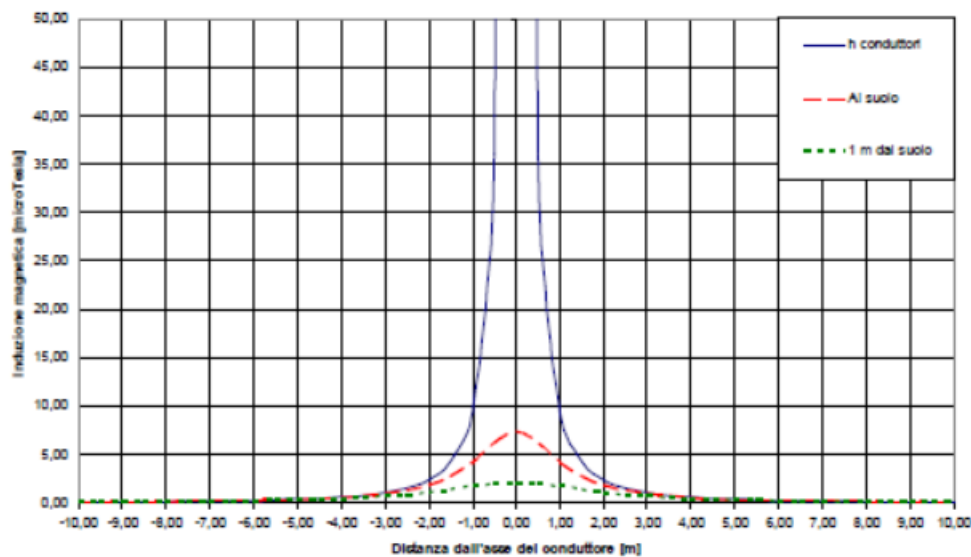
Simulazione di calcolo cavidotto in AT

Nel caso in questione, lo studio del campo elettromagnetico è stato effettuato, alla tensione nominale di 150 kV, sul seguente tratto di cavidotto così costituito:

- **S2:** una terna di conduttori di sezione 400 mm² percorsa da corrente massima pari a 482A;

I valori del campo magnetico sono stati misurati ad altezza conduttori, al suolo e ad 1 m dal suolo. Più precisamente, i risultati di seguito riportati illustrano, per ognuna delle situazioni richiamate, l'andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori e l'andamento del campo magnetico su di un asse ortogonale all'asse dei conduttori.

Andamento del campo magnetico caso S7 - Cavidotto in AT



Distanza dai cavi	Altezza conduttori	Al suolo	Ad 1 m dal suolo
-10,00	0,10	0,10	0,09
-9,00	0,12	0,12	0,11
-8,00	0,15	0,15	0,14
-7,00	0,20	0,19	0,18
-6,00	0,27	0,26	0,24
-5,00	0,39	0,37	0,33
-4,00	0,61	0,57	0,47
-3,00	1,09	0,95	0,72
-2,00	2,44	1,84	1,14
-1,00	9,59	4,22	1,74
0,00	472,91	7,40	2,12
1,00	9,59	4,22	1,74
2,00	2,44	1,84	1,14
3,00	1,09	0,95	0,72
4,00	0,61	0,57	0,47
5,00	0,39	0,37	0,33
6,00	0,27	0,26	0,24
7,00	0,20	0,19	0,18
8,00	0,15	0,15	0,14
9,00	0,12	0,12	0,11
10,00	0,10	0,10	0,09

Figura 6: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall’asse dei conduttori in forma grafica e tabellare - Cavidotto AT

Determinazione della distanza di prima approssimazione (Dpa)

Il calcolo della Dpa per il cavidotto di collegamento in AT simulato si traduce anch'esso graficamente nell'individuazione di una distanza che ha origine dal punto di proiezione dall'asse del cavidotto al suolo e ha termine in un punto individuato sul suolo il cui valore del campo magnetico risulta essere uguale o inferiore ai 3 μT. Per il caso specifico il valore di 3 μT è facilmente riscontrabile nella tabella di figura 6 dalla quale si evince che la distanza di prima approssimazione risulta essere pari a ±2 m rispetto all'asse del cavidotto.

CONCLUSIONI

La determinazione delle DPA è stata effettuata in accordo al D.M. del 29/05/2008 riportando per ogni opera elettrica (cavidotti, cabine elettriche e stazione elettrica) la summenzionata Dpa. Dalle analisi, i cui risultati sono riassunti nei grafici e tabelle riportati nei paragrafi precedenti si può desumere quanto segue:

- per i cavidotti di distribuzione interna al parco la distanza di prima approssimazione non eccede il range di ± 2 m rispetto all'asse del cavidotto; si fa presente che la posa dei cavidotti è prevista in luoghi che non sono adibiti a permanenze prolungate della popolazione e tanto meno negli ambienti particolarmente protetti, quali scuole, aree di gioco per l'infanzia ecc., correndo per la gran parte del loro percorso lungo la rete viaria o ai margini delle strade di impianto;
- per la cabina di sottocampo, la distanza di prima approssimazione è stata valutata in 5 m dal muro perimetrale della cabina.
- per la Sottostazione elettrica 150/20 kV, la distanza di prima approssimazione è stata valutata in ± 15 m per le sbarre in AT e 7 m per la cabina MT. Si fa presente tali DpA ricadono per la maggior parte all'interno della recinzione della Sottostazione.
- per il cavidotto in AT la distanza di prima approssimazione non eccede il range di ± 2 m rispetto all'asse del cavidotto.

I valori di campo elettrico risultano rispettare i valori imposti dalla norma (< 5000 V/m) in quanto le aree con valori superiori ricadono all'interno delle cabine MT ed all'interno della Sottostazione elettrica il cui accesso è consentito al solo personale autorizzato

Si può quindi concludere che la realizzazione delle opere elettriche relative al parco agrovoltico di san Marco in Lamis non costituiscono pericolo per la salute pubblica.

Foggia, 12/11/2021

Ing. Marcello Salvatori