

Elements Green Demetra S.r.l.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DENOMINATO "SASSARI 4" CON PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE NEL COMUNE DI SASSARI (SS)



Via Degli Arredatori, 8
70026 Modugno (BA) - Italy
www.bfpgroup.net - info@bfpgroup.net
tel. (+39) 0805046361

Azienda con Sistema di Gestione Certificato
UNI EN ISO 9001:2015
UNI EN ISO 14001:2015
UNI ISO 45001:2018

Tecnico

ing. Danilo POMPONIO

Collaborazioni

ing. Milena MIGLIONICO
ing. Giulia CARELLA
ing. Valentina SAMMARTINO
ing. Alessia NASCENTE
ing. Roberta ALBANESE
ing. Alessia DECARO
ing. Tommaso MANCINI
ing. Fabio MASTROSERIO
ing. Martino LAPENNA
Per. Ind. Lamberto FANELLI
pianif. terr. Antonio SANTANDREA

Responsabile Commessa

ing. Danilo POMPONIO

ELABORATO		TITOLO	COMMESSA	TIPOLOGIA		
E02		VALUTAZIONE PRELIMINARE CAMPI ELETTROMAGNETICI	22166	D		
			CODICE ELABORATO			
			DC22166D-E02			
REVISIONE		Tutte le informazioni tecniche contenute nel presente documento sono di proprietà esclusiva della Studio Tecnico BFP S.r.l e non possono essere riprodotte, divulgate o comunque utilizzate senza la sua preventiva autorizzazione scritta. All technical information contained in this document is the exclusive property of Studio Tecnico BFP S.r.l. and may neither be used nor disclosed without its prior written consent. (art. 2575 c.c.)	SOSTITUISCE	SOSTITUITO DA		
00			-	-		
			NOME FILE		PAGINE	
			DC22166D-E02.doc		22+copertina	
REV	DATA	MODIFICA	Elaborato	Controllato	Approvato	
00	22/05/23	Emissione	Lapenna	Mancini	Pomponio	
01						
02						
03						
04						
05						
06						

INDICE

1. PREMESSA	2
2. GENERALITA' SULLE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE	2
3. NORME E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	3
3.1. DEFINIZIONI	4
4. INQUADRAMENTO NORMATIVO	5
5. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO	8
5.1. CARATTERISTICHE GENERALI DEL PARCO FOTOVOLTAICO	8
5.2. CABINE DI CONVERSIONE E TRASFORMAZIONE	9
5.3. LINEE DI DISTRIBUZIONE IN AT	9
6. METODO DI CALCOLO DEL CAMPO MAGNETICO	10
6.1. CENNI TEORICI	10
6.2. METODO DI CALCOLO	11
7. VALUTAZIONE PREVENTIVA DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI GENERATI DALLE COMPONENTI DELL'IMPIANTO	12
7.1. APPLICAZIONE DELLA NORMATIVA SULLA TUTELA DELLA POPOLAZIONE	12
7.2. APPLICAZIONE DELLA NORMATIVA SULLA TUTELA DEI LAVORATORI	12
8. LINEE DI DISTRIBUZIONE IN AT	13
8.1. DETERMINAZIONE DEI CAMPI MAGNETICI	13
8.1.1. DETERMINAZIONE DEI CAMPI MAGNETICI PER I CAVIDOTTI INTERNI ALL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO	13
8.1.2. DETERMINAZIONE DEI CAMPI MAGNETICI PER I CAVIDOTTI ESTERNI ALL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO	17
8.2. DISTANZE DI PRIMA APPROSSIMAZIONE LINEE AT	21
9. CONCLUSIONI	21

1. PREMESSA

Il presente studio è finalizzato al calcolo preventivo delle emissioni elettromagnetiche non ionizzanti determinate dalle installazioni elettriche previste nel progetto di un impianto agrivoltaico della potenza di 41,552 MWp in agro di Sassari (SS) e delle relative opere connesse da realizzarsi nello stesso comune.

Il progetto prevede la realizzazione di:

- Linee elettriche, cabine di conversione e trasformazione e cabina di raccolta dell'impianto agrivoltaico;
- Cavidotti AT 36 kV di collegamento fra le cabine di conversione e trasformazione dell'impianto fotovoltaico e fra queste e la cabina di raccolta;
- Quadri AT all'interno delle cabine;
- Cavidotto AT 36 kV di collegamento fra la cabina di raccolta e la futura Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione 380/150/36 kV della RTN da inserire in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Fiumesanto Carbo – Ittiri".

2. GENERALITA' SULLE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE

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

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

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

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

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

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

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

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

3. NORME E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

- Legge 22 febbraio 2001, n. 36 "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici".
- DPCM 8 luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, valori di attenzione ed obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti".
- DM 29 maggio 2008, GU n. 156 del 5 luglio 2008, "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti".
- CEI 11-17 "Impianti di produzione, trasmissione, distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo".
- CEI 11-60, "Portata al limite termico delle linee elettriche aeree esterne con tensione maggiore a 100 kV",
- CEI 20-21 "Calcolo della portata di corrente" (IEC 60287).
- CEI 106-11 "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6). Parte I: linee elettriche aeree e in cavo".
- D.Lgs. 09.04.2008 n.81 ss.mm.ii. "Testo unico per la sicurezza";
- D.Lgs. 19.11.2007 n.257 "Attuazione della direttiva 2004/40/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettro-magnetici)".



3.1. Definizioni

Si introducono le seguenti definizioni anche in riferimento a quanto indicato nell'allegato del D.M. del 29 Maggio 2008 "Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto":

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 e sue successive modifiche e integrazioni.

La corrente di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto è la "portata di corrente in servizio normale relativa al periodo stagionale in cui essa è più elevata":

- Per le linee con tensione >100 kV, è definita dalla norma CEI 11-60;
- Per gli elettrodotti aerei con tensione < 100 kV, i proprietari/gestori fissano la portata in corrente in regime permanente in relazione ai carichi attesi con riferimento alle condizioni progettuali assunte per il dimensionamento dei conduttori;
- Per le linee in cavo è definita dalla norma CEI 11-17 come portata in regime permanente;

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.

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

È la distanza in pianta dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto, la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più della DPA, si trovi all'esterno della fascia di rispetto. Per le cabine è la distanza da tutte le facce del parallelepipedo della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra.

Limite di esposizione

È il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, definito ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori.

Esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici

È ogni tipo di esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici che, per la loro specifica attività lavorativa, sono esposti a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici.



Esposizione della popolazione

È ogni tipo di esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici ad eccezione dell'esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici e di quella intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici.

4. 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.

È importante dunque distinguere il significato dei termini utilizzati nelle leggi (riportiamo nella tabella 1 le definizioni inserite nella 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.

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

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);
- Parametri per la determinazione delle 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.

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

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.

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 Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, 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).

Si precisa, inoltre, che secondo quanto previsto dal Decreto 29 maggio 2008 sopra citato, la tutela in merito alle fasce di rispetto di cui all'art. 6 del DPCM 8 luglio 2003 si applica alle linee elettriche aeree ed interrate, esistenti ed in progetto ad esclusione di:

- *linee esercite a frequenza diversa da quella di rete di 50 Hz (ad esempio linee di alimentazione dei mezzi di trasporto);*
- *linee di classe zero ai sensi del DM 21 marzo 1988, n. 449 (come le linee di telecomunicazione);*
- *linee di prima classe ai sensi del DM 21 marzo 1988, n. 449 (quali le linee di bassa tensione);*
- *linee di Media Tensione in cavo cordato ad elica (interrate o aeree);*

in quanto le relative fasce di rispetto hanno un'ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal DM 21 marzo 1988, n. 449 e s.m.i..

Per quanto riguarda l'esposizione dei lavoratori vanno seguite le disposizioni del D.lgs. 81/08 (D.Lgs. 19.11.2007 n.257) che devono essere applicate a qualunque tipo di esposizione dei lavoratori a campi elettromagnetici durante il lavoro, senza alcun riferimento al carattere professionale o meno delle esposizioni.

A seguito della valutazione dei livelli dei campi elettromagnetici effettuata in conformità alla normativa, qualora risulti che siano superati i valori di azione di cui al D.lgs. 81/08 (D.Lgs. 19.11.2007 n.257), il datore di lavoro valuta e, quando necessario, calcola se i valori limite di esposizione sono stati superati.

I luoghi di lavoro dove i lavoratori, in base alla valutazione del rischio di cui al D.lgs. 81/08 (D.Lgs. 19.11.2007 n.257) possono essere esposti a campi elettromagnetici che superano i valori di azione devono essere indicati con un'apposita segnaletica. Tale obbligo non sussiste nel caso che dalla valutazione effettuata a norma, il datore di lavoro dimostri che i valori limite di esposizione non sono superati e che possono essere esclusi rischi relativi alla sicurezza. Dette aree sono inoltre identificate e l'accesso alle stesse è limitato, laddove ciò sia tecnicamente possibile e sussista il rischio di un superamento dei valori limite di esposizione.

In nessun caso i lavoratori devono essere esposti a valori superiori ai valori limite di esposizione. Allorché, nonostante i provvedimenti presi dal datore di lavoro in applicazione del presente titolo i valori limite di esposizione risultino superati, il datore di lavoro adotta misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto dei valori limite di esposizione, individua le cause del superamento dei valori limite di esposizione e adegua di conseguenza le misure di protezione e prevenzione per evitare un nuovo superamento.

Il datore di lavoro adatta le misure alle esigenze dei lavoratori esposti particolarmente sensibili al rischio.

Intervallo di frequenza	Densità di corrente per corpo e tronco J (mA/m ²) (rms)	SAR mediato sul corpo intero (W/kg)	SAR localizzato (corpo e tronco) (W/kg)	SAR localizzato (arti) (W/kg)	Densità di potenza (W/m ²)
Fino a 1 Hz	40	/	/	/	/
1 - 4 Hz	40/f	/	/	/	/
4 - 1000 Hz	10	/	/	/	/
1000 Hz - 100 kHz	f/100	/	/	/	/
100 kHz - 10 MHz	f/100	0,4	10	20	/
10 MHz- 10 GHz	/	0,4	10	20	/
10 - 300 GHz	/	/	/	/	50

Tabella 3: Valori limite di esposizione, secondo il D.Lgs 19.11.2007 n.257 e D.Lgs 09.04.2008 n. 81 ss.mm.ii

Intervallo di frequenza	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Induzione magnetica B (μ T)	Densità di potenza di onda piana S _{eq} (W/m ²)	Corrente di contatto I _c (mA)	Corrente indotta attraverso gli arti I _L (mA)
0 - 1 Hz	/	1,63 x 10 ⁵	2 x 10 ⁵	/	1,0	/
1 - 8 Hz	20000	1,63 x 10 ⁵ /f ²	2 x 10 ⁵ /f ²	/	1,0	/
8 - 25 Hz	20000	2 x 10 ⁴ /f	2,5 x 10 ⁴ /f	/	1,0	/
0,025 - 0,82 kHz	500/f	20/f	25/f	/	1,0	/
0,82 - 2,5 kHz	610	24,4	30,7	/	1,0	/
2,5 - 65 kHz	610	24,4	30,7	/	0,4f	/
65 -100 kHz	610	1600/f	2000/f	/	0,4/f	/
0,1 - 1 MHz	610	1,6/f	2/f	/	40	/
1 - 10 MHz	610/f	1,6/f	2/f	/	40	/
10-110 MHz	61	0,16	0,2	10	40	100
110 - 400 MHz	61	0,16	0,2	10	/	/
400 - 2000 MHz	3f ^{1/2}	0,008f ^{1/2}	0,01f ^{1/2}	f/40	/	/
2 - 300 GHz	137	0,36	0,45	50	/	/

Tabella 4: Valori limite di azione, secondo il D.Lgs 19.11.2007 n.257 e D.Lgs 09.04.2008 n. 81 ss.mm.ii

5. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

5.1. Caratteristiche generali del parco fotovoltaico

L'impianto agrivoltaico è composto da n. 5 aree.

L'ottimizzazione del numero di moduli e quindi delle stringhe installabili ha previsto l'installazione di 13 inverter centralizzati (opportunamente limitati in modo tale da non superare la potenza autorizzata) di diversa potenza nominale in c.a. pari a 1169 kW, 3326 kW e 3492kW (a cosφ 1) e installati ciascuno all'interno di una cabina di trasformazione. Ciascun inverter sarà poi collegato ad un trasformatore AT/BT. Per maggiori dettagli di installazione si rimanda allo schema elettrico unifilare dell'impianto.

L'impianto avrà una potenza installata pari a circa 41.552,00 kWp e una potenza in uscita lato AC ai fini della connessione pari a circa 40.201,80 kW (a cosφ 1).

Si prevede di installare n. 59.360 moduli fotovoltaici della potenza di 700 Wp le cui stringhe saranno formate da 28 moduli.

Tali numeri potranno variare a seconda delle caratteristiche tecniche dei convertitori scelti in fase esecutiva.

5.2. Cabine di conversione e trasformazione

Il passaggio da corrente continua a corrente alternata avverrà per mezzo di convertitori statici trifase centralizzati, collocati in apposite cabine nelle quali avverrà anche l'elevazione della tensione mediante opportuni trasformatori AT/BT.

Gli inverter centralizzati, che raccoglieranno la potenza del campo agrivoltaico, mediante opportuni string box distribuiti per tutto il campo, saranno dotati di idonei dispositivi atti a sezionare e proteggere sia il lato in corrente continua che il lato in corrente alternata.

Le cabine di conversione e trasformazione saranno prefabbricate realizzate in cemento armato vibrato (c.a.v.), complete di vasca di fondazione del medesimo materiale, assemblate con inverter centralizzati, trasformatori AT/BT, quadri di alta tensione e quadri di bassa tensione posate su un magrone di sottofondazione in cemento. Le cabine saranno internamente suddivise nei seguenti vani:

- Il vano di conversione dove verrà alloggiato l'inverter centralizzato;
- il vano di trasformazione all'interno del quale sarà posizionato il trasformatore AT/BT che provvederà ad elevare la tensione a 36.000 V;
- il vano quadri di alta tensione, in cui sono alloggiati i quadri elettrici di alta tensione; all'interno di questo vano troveranno posto anche i quadri BT, il trasformatore per i servizi ausiliari della cabina e i quadri per i servizi ausiliari

All'interno dell'area 4, inoltre, sarà presente una cabina di raccolta. All'interno di quest'ultima cabina sono presenti gli arrivi delle celle di alta tensione del campo fotovoltaico e la cella di alta di partenza per il collegamento dell'impianto agrivoltaico alla futura Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione 380/150/36 kV della RTN da inserire in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Fiumesanto Carbo – Ittiri". Nella cabina di raccolta (MTR) saranno presenti anche il trasformatore dei servizi ausiliari, i dispositivi di monitoraggio di ogni area del campo fotovoltaico per lo scambio dati con Terna e i quadri dei servizi ausiliari.

5.3. Linee di distribuzione in AT

La potenza elettrica raccolta dalle aree di produzione, attraverso le 13 cabine di conversione e trasformazione, convergerà nella cabina di raccolta per poi poter essere trasferita in elettrodotto AT interrato fino alla futura stazione elettrica di trasformazione della RTN 380/150/36 kV.

L'elettrodotto si comporrà delle seguenti sezioni fondamentali, tutte costituite da linee in cavo interrate a 36 kV:

- collegamenti tra le cabine di conversione e trasformazione (in entra esci a gruppi di due, tre o quattro cabine) e fra queste e la cabina di raccolta;
- collegamento tra la cabina di raccolta e la futura elettrica RTN.

I cavi impiegati saranno del tipo unipolari HV XLPE 26/45 KV con posa in cavidotto a "trifoglio". Essi sono costituiti con conduttori di alluminio rivestito da un primo strato di semiconduttore, da un isolante primario in elastomero termoplastico, da un successivo strato di semiconduttore, da uno schermo a fili di rame, nastro di alluminio e guaina esterna in polietilene. Sia il semiconduttore (che ha la funzione di uniformare il campo elettrico) che l'isolante primario sono di tipo estruso. Il cavo suddetto è definito a campo radiale in quanto, essendo ciascuna anima rivestita da uno schermo metallico, le linee di forza elettriche risultano perpendicolari agli strati dell'isolante. Ai fini della valutazione dei campi magnetici, di seguito descritta, sono state considerate come portate in servizio normale le correnti massime generate dall'impianto fotovoltaico. Tali valori di corrente risultano sovradimensionati e quindi di tipo conservativo in quanto i valori massimi reali, comunque inferiori ai valori indicati, si otterranno solo in determinate condizioni di funzionamento, funzione di diversi parametri quali per esempio le condizioni atmosferiche, rendimento delle apparecchiature ecc.

6. METODO DI CALCOLO DEL CAMPO MAGNETICO

6.1. Cenni teorici

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, i la corrente, C_k il conduttore generico, $d\vec{l}$ un suo tratto elementare, r la distanza tra questo tratto elementare ed il punto dove si vuole calcolare il campo.

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

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

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

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

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

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

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

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

Dove: λ = densità lineare di carica sul conduttore;
 ϵ_0 = permittività del vuoto;
 d = distanza del conduttore rettilineo dal punto di calcolo;
 u_r = versore unitario con direzione radiale al conduttore.

6.2. 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 basata 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.

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).

Come già accennato il campo Elettrico, a differenza del campo Magnetico, subisce una attenuazione per effetto della presenza di elementi posti fra la sorgente e il punto irradiato risultando nella totalità dei casi inferiore ai limiti imposti dalla norma.

Ai fini del presente studio si valuteranno i soli campi magnetici per tutte le apparecchiature elettriche costituenti l'impianto.

7. VALUTAZIONE PREVENTIVA DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI GENERATI DALLE COMPONENTI DELL'IMPIANTO

7.1. Applicazione della normativa sulla tutela della popolazione

Per tutto ciò che attiene la valutazione dei campi magnetici ed elettrici all'interno dell'impianto, essendo l'accesso ammesso esclusivamente a personale lavoratore autorizzato, non trova applicazione il DPCM 8 luglio 2003.

Essendo le zone direttamente confinanti con l'impianto non adibite né ad una permanenza giornaliera non inferiore alle 4 ore né a zone gioco per l'infanzia ad abitazioni o scuole, vanno verificati esclusivamente i limiti di esposizione. Non trovano applicazione, per le stesse motivazioni, gli obiettivi di qualità del DPCM 8 luglio 2003.

7.2. Applicazione della normativa sulla tutela dei lavoratori

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

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

1. Cavidotti AT;
2. Cavidotti BT in corrente alternata e in corrente continua;
3. Le cabine elettriche (aree esterne ed interne);
4. Inverter;
5. I moduli fotovoltaici;
6. I motori di azionamento dei tracker (se presenti);

Considerato che la frequenza dell'impianto è 50 Hz ($f = 0,050$ kHz), con riferimento alla tabella 4, risultano i seguenti valori di riferimento per l'esposizione dei lavoratori:

- Intensità del campo elettrico: 10 kV/m
- Intensità del campo di induzione magnetica: 500 μ T

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

8. LINEE DI DISTRIBUZIONE IN AT

8.1. Determinazione dei campi magnetici

Ai fini della valutazione dei campi magnetici, di seguito descritta, sono state considerate come portate in servizio normale le correnti massime generate dall'impianto fotovoltaico. Tali valori di corrente risultano sovradimensionati e quindi di tipo conservativo in quanto i valori massimi reali, comunque inferiori ai valori indicati, si otterranno solo in determinate condizioni di funzionamento, funzione di diversi parametri quali per esempio le condizioni atmosferiche, rendimento delle apparecchiature ecc.

Per la realizzazione dei cavidotti di collegamento 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; inoltre la limitata distanza tra i cavi (ulteriormente ridotta grazie all'impiego di terne posate "a trifoglio") fa sì che l'induzione magnetica risulti significativa solo in prossimità dei cavi.

I valori del campo magnetico sono stati misurati all'altezza dei conduttori (-1,20 m dal livello del suolo), al suolo e ad altezza dal suolo di 1,50 m. Più precisamente, i risultati di seguito riportati illustrano 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.

8.1.1. Determinazione dei campi magnetici per i cavidotti interni all'impianto fotovoltaico

Per i cavidotti interni all'area del campo agrivoltaico, saranno utilizzati cavi del tipo unipolari HV XLPE 26/45 KV con posa in cavidotto a "trifoglio".

In dettaglio saranno simulati i seguenti tratti di cavidotto alla tensione nominale di 36 kV:

- Caso S1: una terna di sezione 240 mm² interrata ad una profondità di 1,20 m con una portata in servizio nominale pari a 196,60 A (per il percorso dalla cabina di conversione e trasformazione PCU 2.1 alla cabina di raccolta MTR).

- Caso S2: due terne di sezione pari a 95 e 240 mm² interrata ad una profondità di 1,20 m, distanti 25 cm, con una portata in servizio nominale, pari rispettivamente a 78,70, A e 176,90 A (per il percorso dalle cabine di conversione e trasformazione PCU 4.3 e PCU 2.3 alla cabina di raccolta MTR).
- Caso S3: un circuito di sezione 3x(2x1x630) mm² (due terne relative allo stesso circuito) interrata ad una profondità di 1,20 m, distanti 25 cm, con una portata in servizio nominale, per ciascuna terna, pari a 341,20 A (per il percorso dalla cabina di raccolta MTR alla stazione Terna).

Maggiori dettagli sono riportati nella di seguito:

Tratto	N. di terne	Portata in servizio normale massima	Sezione conduttore	Diametro conduttore	Diametro sull'isolante	Diametro cavo	Portata al limite termico del cavo ⁽¹⁾
	N.	[A]	[mm ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[A]
Caso S1	1	196,60	240	17,90	37,10	47	425
Caso S2	2	78,7	95	11,30	30,50	41	255
		176,90	240	17,90	37,10	47	425
Caso S3	2	341,20	630	29,30	49,10	60	715
		341,20	630	29,30	49,10	60	715

Tabella 5: Caratteristiche dimensionali dei cavi in AT

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

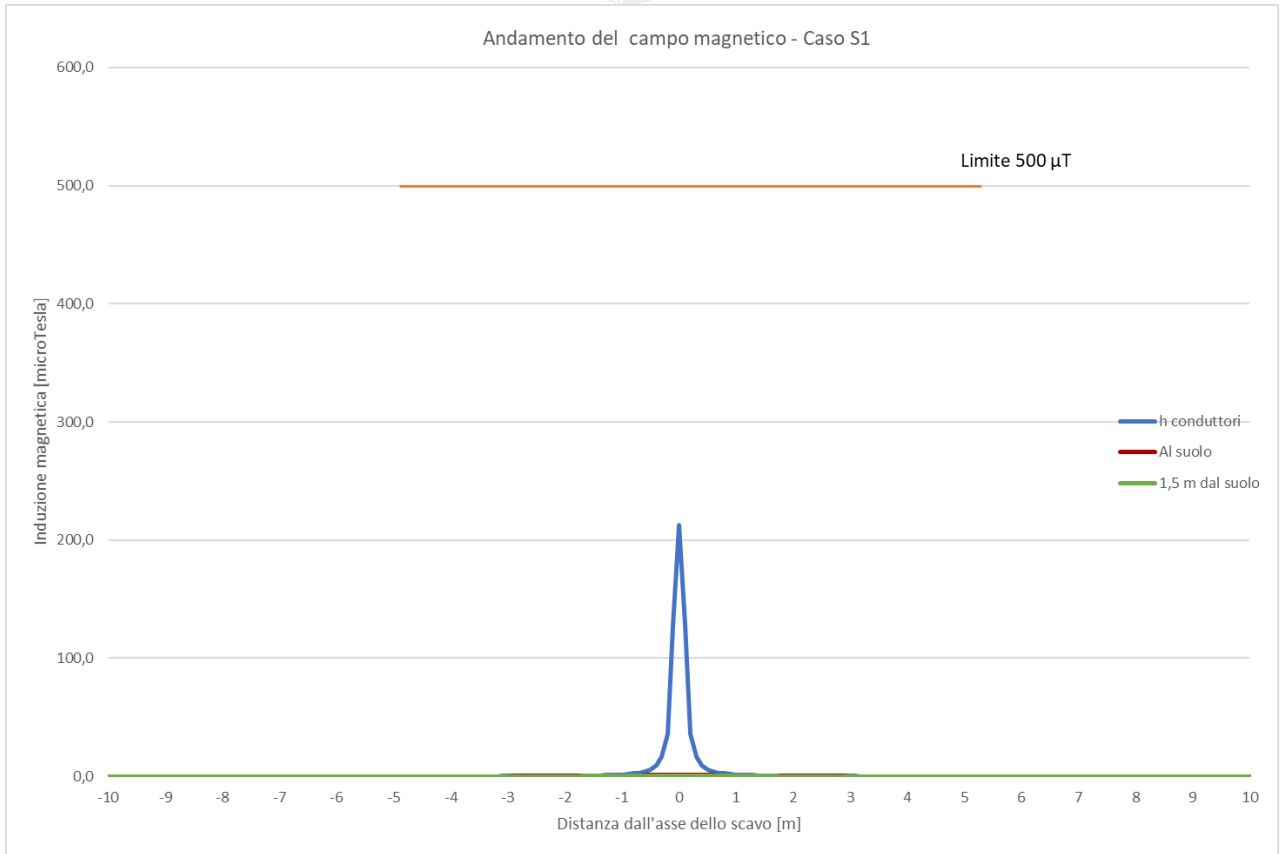


Figura 1: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa al CASO S1.

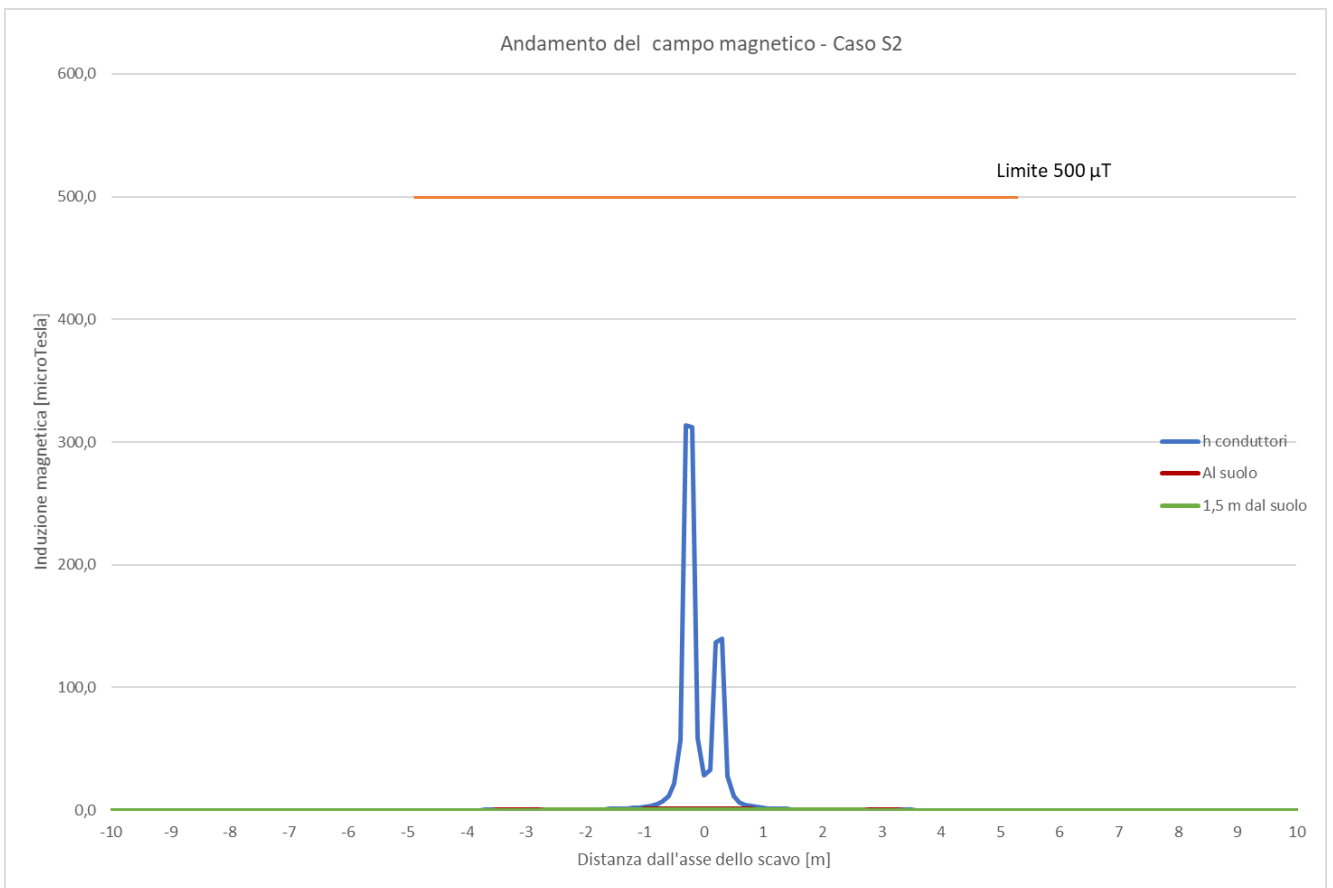


Figura 2: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa al CASO S2.

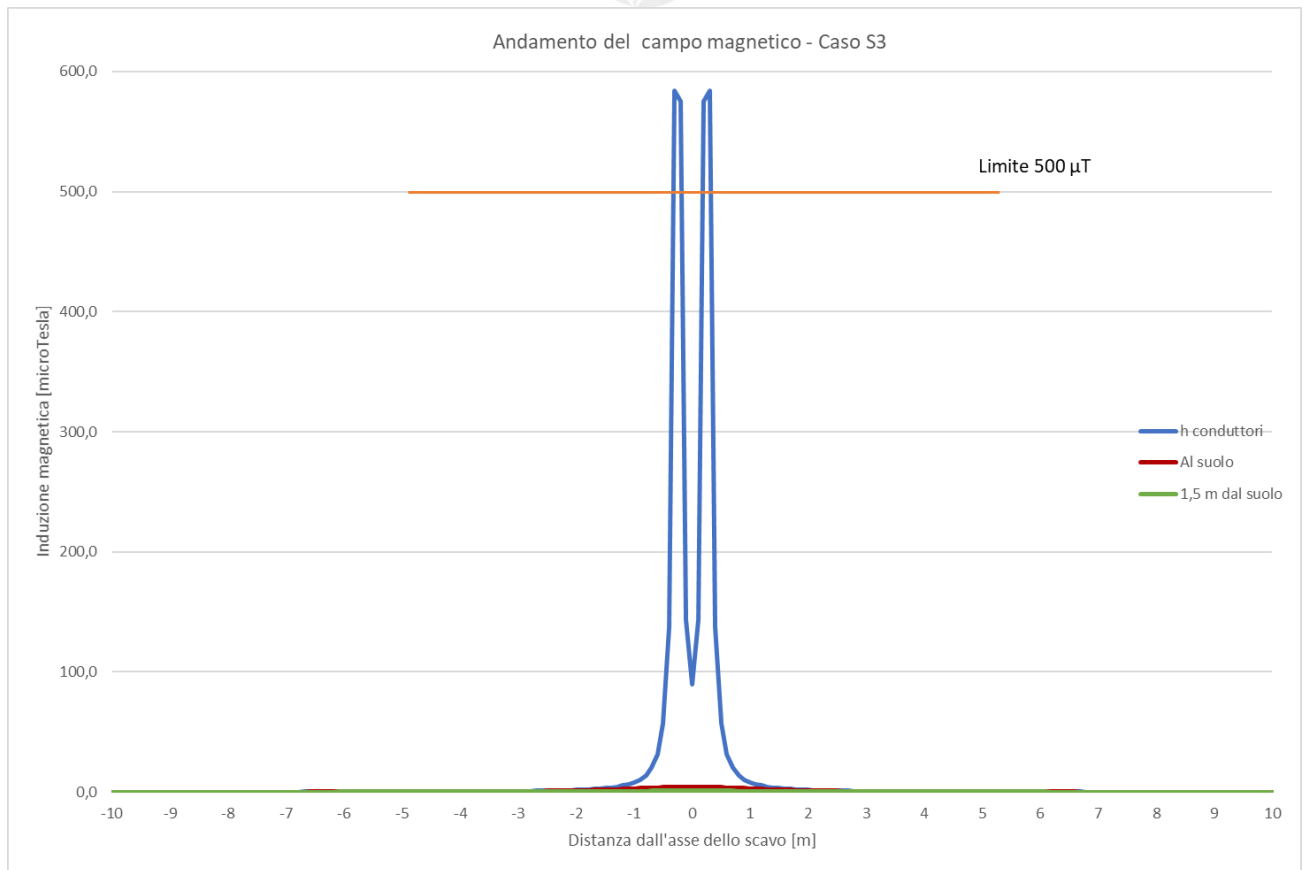


Figura 3: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa al CASO S3.

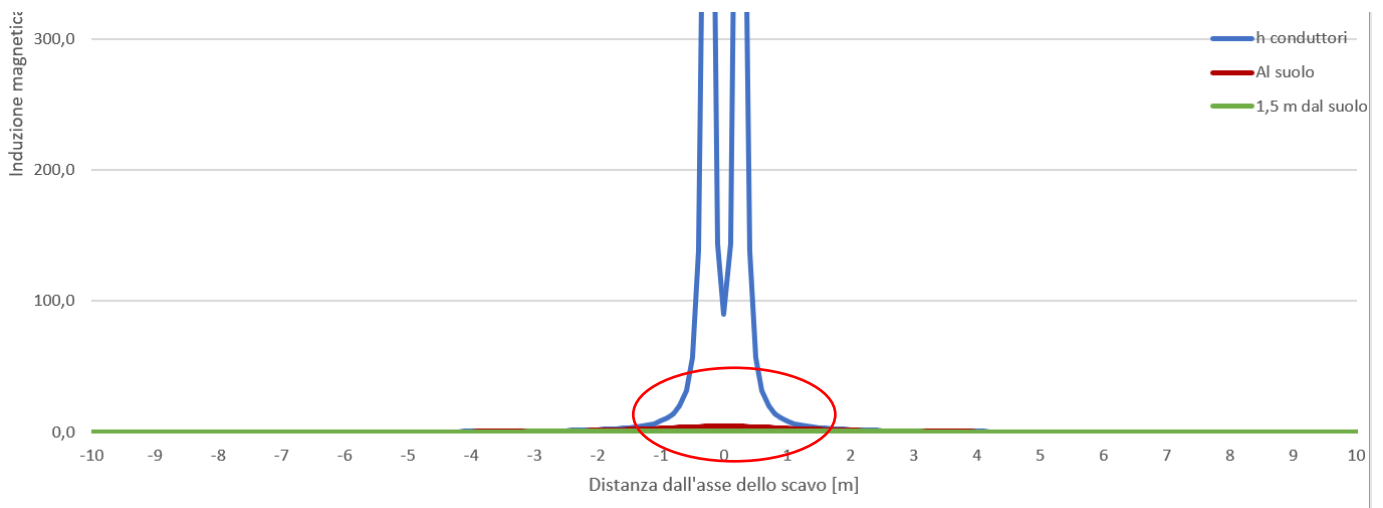


Figura 4: Particolare del grafico di figura 3: la curva in marrone, andamento del campo magnetico all'altezza del suolo, è abbondantemente al di sotto del limite mostrato nella Figura 3 di 500 μT

Per quanto summenzionato si ritiene che l'impatto generato dai campi elettrici e magnetici all'interno delle aree di impianto sia irrilevante ad un'analisi preliminare (Figure 1,2,3,). Il rispetto dei valori di azione assicura il rispetto dei pertinenti limiti di esposizione. A seguito della valutazione dei livelli dei campi elettromagnetici, qualora risulti in fase esecutiva, che siano superati i valori di azione, il datore di lavoro valuta e, quando necessario, calcola se i valori limite di esposizione sono stati superati, effettua delle procedure di valutazione e riduzione del rischio

realizzando nei luoghi di lavoro una zonizzazione e valutando l'utilizzo di eventuali accorgimenti che comprendano misure tecniche e organizzative con particolare attenzione ai lavoratori sensibili.

8.1.2. Determinazione dei campi magnetici per i cavidotti esterni all'impianto fotovoltaico

Per i seguenti cavidotti, in parte esterni all'area del campo agrivoltaico, saranno utilizzati cavi del tipo unipolari HV XLPE 26/45 KV con posa in cavidotto a "trifoglio".

In dettaglio saranno simulati i seguenti tratti di cavidotto alla tensione nominale di 36 kV che riguardano il collegamento fra le diverse aree dell'impianto e fra queste e la stazione terna:

- Caso S1: una terna di sezione 240 mm² interrata ad una profondità di 1,20 m con una portata in servizio nominale pari a 196,60 A (per il percorso dalla cabina di conversione e trasformazione PCU 2.1 alla cabina di raccolta MTR).
- Caso S2: due terne di sezione pari a 95 e 240 mm² interrate ad una profondità di 1,20 m, distanti 25 cm, con una portata in servizio nominale, pari rispettivamente a 78,70, A e 176,90 A (per il percorso dalle cabine di conversione e trasformazione PCU 4.3 e PCU 2.3 alla cabina di raccolta MTR).
- Caso S3: un circuito di sezione 3x(2x1x630) mm² (due terne relative allo stesso circuito) interrata ad una profondità di 1,20 m, distanti 25 cm, con una portata in servizio nominale, per ciascuna terna, pari a 341,20 A (per il percorso dalla cabina di raccolta MTR alla stazione Terna).

Maggiori dettagli sono riportati nella di seguito:

Tratto	N. di terne	Portata in servizio normale massima	Sezione conduttore	Diametro conduttore	Diametro sull'isolante	Diametro cavo	Portata al limite termico del cavo ⁽¹⁾
	N.	[A]	[mm ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[A]
Caso S1	1	196,60	240	17,90	37,10	47	425
Caso S2	2	78,7	95	11,30	30,50	41	255
		176,90	240	17,90	37,10	47	425
Caso S3	2	341,20	630	29,30	49,10	60	715
		341,20	630	29,30	49,10	60	715

Tabella 6: Caratteristiche dimensionali dei cavi in AT

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

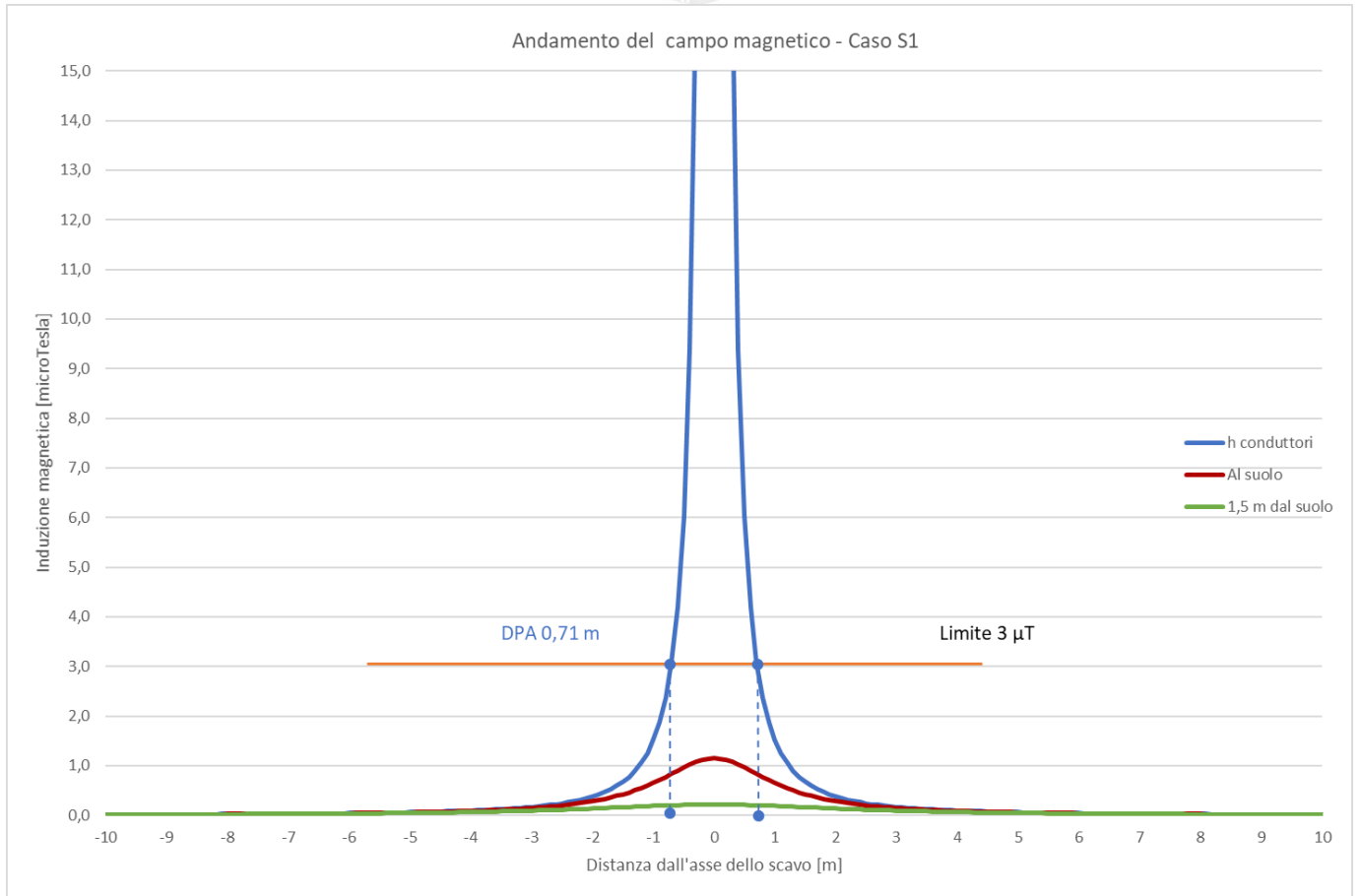


Figura 5: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa CASO S1.

Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [μT]	Al suolo [μT]	A 1,5 m dal suolo [μT]
-10	0,015	0,015	0,014
-9	0,019	0,018	0,017
-8	0,024	0,023	0,021
-7	0,031	0,030	0,027
-6	0,042	0,041	0,035
-5	0,061	0,058	0,047
-4	0,095	0,088	0,066
-3	0,169	0,147	0,095
-2	0,380	0,286	0,138
-1	1,518	0,655	0,190
0	212,991	1,151	0,217
1	1,518	0,655	0,190
2	0,380	0,286	0,138
3	0,169	0,147	0,095
4	0,095	0,088	0,066
5	0,061	0,058	0,047
6	0,042	0,041	0,035
7	0,031	0,030	0,027
8	0,024	0,023	0,021
9	0,019	0,018	0,017
10	0,015	0,015	0,014

Tabella 7: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa al CASO S1.

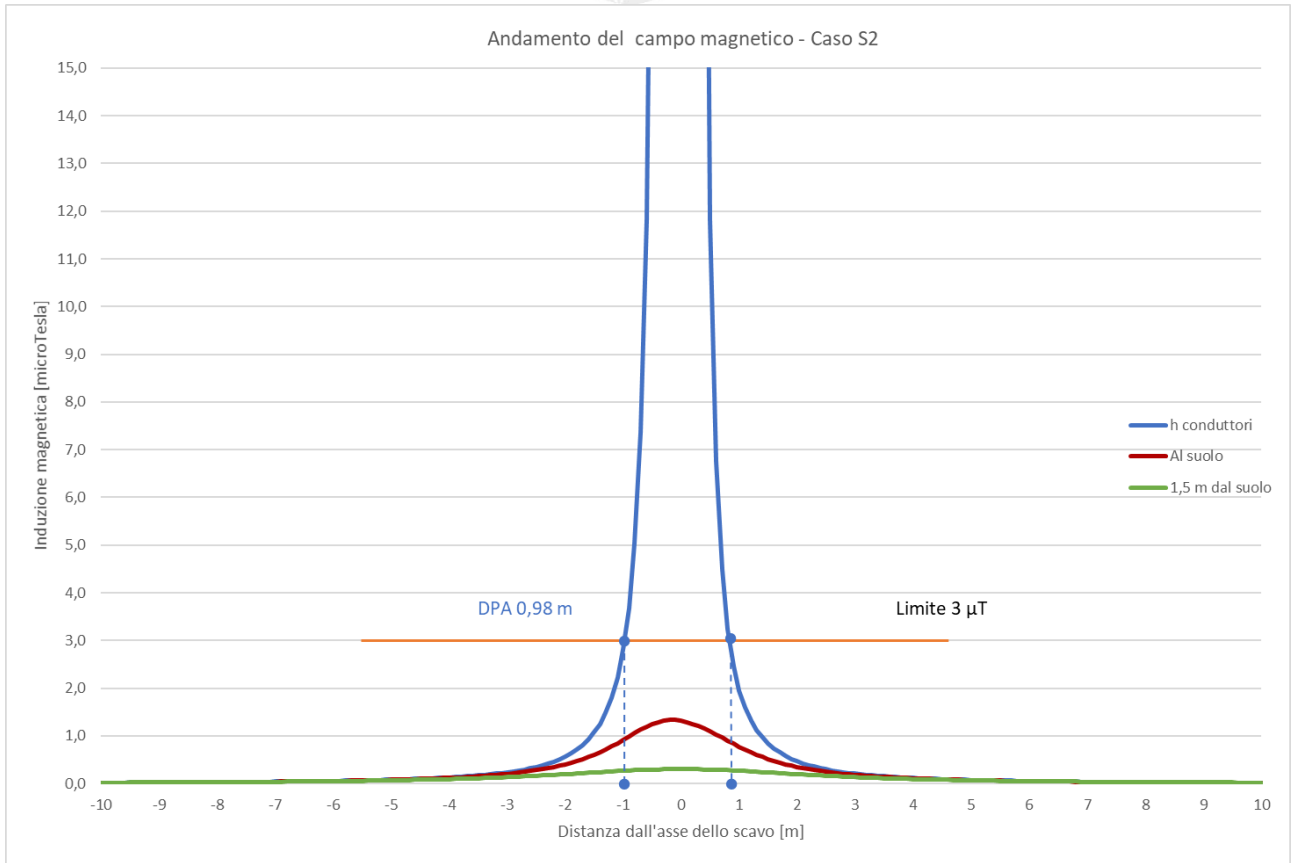


Figura 6: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall’asse dei conduttori in forma grafica relativa CASO S2.

Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [μT]	Al suolo [μT]	A 1,5 m dal suolo [μT]
-10	0,020	0,020	0,020
-9	0,025	0,025	0,025
-8	0,032	0,031	0,031
-7	0,042	0,040	0,039
-6	0,057	0,055	0,051
-5	0,083	0,078	0,068
-4	0,131	0,120	0,095
-3	0,238	0,205	0,136
-2	0,567	0,406	0,197
-1	2,811	0,917	0,269
0	28,592	1,319	0,305
1	1,952	0,774	0,269
2	0,469	0,351	0,197
3	0,210	0,183	0,136
4	0,119	0,110	0,095
5	0,077	0,073	0,068
6	0,053	0,052	0,051
7	0,039	0,038	0,039
8	0,030	0,030	0,031
9	0,024	0,024	0,025
10	0,019	0,019	0,020

Tabella 8: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall’asse dei conduttori in forma tabellare relativa al CASO S2.

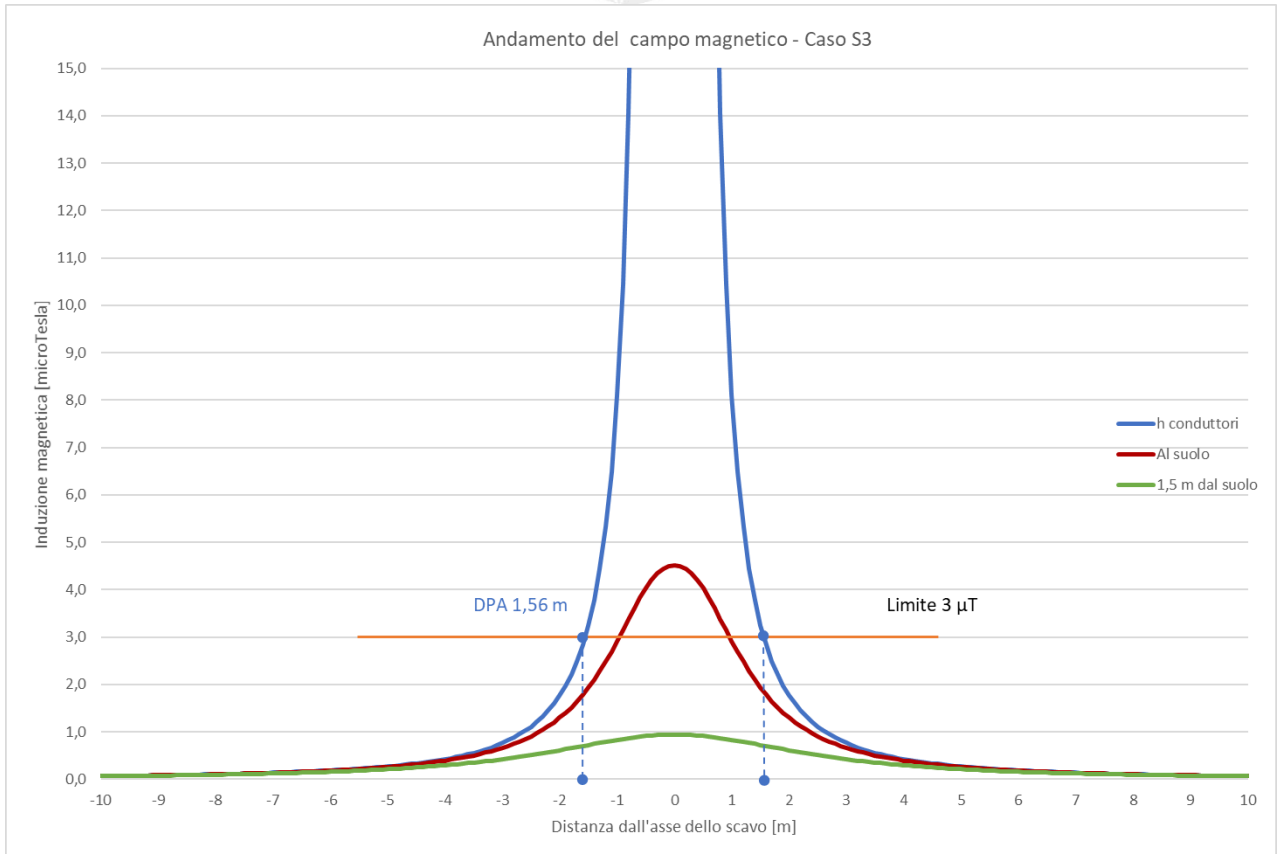


Figura 7: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma grafica relativa CASO S3.

Distanza dai cavi [m]	Altezza conduttori [μT]	Al suolo [μT]	A 1,5 m dal suolo [μT]
-10	0,067	0,067	0,063
-9	0,083	0,082	0,077
-8	0,106	0,103	0,095
-7	0,138	0,134	0,121
-6	0,188	0,182	0,157
-5	0,271	0,258	0,212
-4	0,426	0,393	0,295
-3	0,764	0,664	0,423
-2	1,763	1,297	0,613
-1	8,101	2,911	0,833
0	89,542	4,521	0,944
1	8,101	2,911	0,833
2	1,763	1,297	0,613
3	0,764	0,664	0,423
4	0,426	0,393	0,295
5	0,271	0,258	0,212
6	0,188	0,182	0,157
7	0,138	0,134	0,121
8	0,106	0,103	0,095
9	0,083	0,082	0,077
10	0,067	0,067	0,063

Tabella 9: Andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall'asse dei conduttori in forma tabellare relativa al CASO S3.

8.2. DISTANZE DI PRIMA APPROSSIMAZIONE LINEE AT

Il calcolo della DPA per i cavidotti di collegamento in AT simulati (relativi al paragrafo 8.1.2) si traduce 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 . Si riportano nella seguente tabella le distanze di prima approssimazione per il tratto di cavidotto preso in esame:

CASO DI STUDIO	N° TERNE	SEZIONI [mm ²]	TIPOLOGIA CAVO	TENSIONE [kV]	DPA [m]
S1	1	240	HV XLPE 26/45 kV	36	1
S2	2	95 e 240	HV XLPE 26/45 kV	36	1
S3	2	630 e 630	HV XLPE 26/45 kV	36	2

Tabella 10: Distanza di prima approssimazione per cavidotti AT

In dettaglio si sono ottenuti i seguenti valori:

- **CASO S1** - Valore a 3 μT : 0,71 m - Valore DPA: 1 m;
- **CASO S2** - Valore a 3 μT : 0,98 m - Valore DPA: 1 m;
- **CASO S3** - Valore a 3 μT : 1,56 m - Valore DPA: 2 m;

le cui DPA sono state calcolate con una approssimazione non superiore al metro così come indicato nel paragrafo 5.1.2 della guida allegata al DM del 29/05/2008.

9. CONCLUSIONI

La determinazione delle fasce di rispetto è stata effettuata in accordo al D.M. del 29/05/2008.

Dalle analisi e considerazioni fatte si può desumere quanto segue:

- Per la valutazione dei campi magnetici ed elettrici all'interno dell'impianto, essendo l'accesso consentito esclusivamente a personale lavoratore autorizzato, non trova applicazione il DPCM 8 luglio 2003. Ai sensi del D.lgs. 81/08 (D.Lgs. 19.11.2007 n.257), ad una prima valutazione, non risultano superati i limiti di azione per l'esposizione dei lavoratori (si faccia riferimento al grafico rappresentato in Figura 1,2,3 e 4); l'andamento del campo magnetico all'altezza del suolo è abbondantemente al di sotto del limite di 500 μT .
- Per i cavidotti in alta tensione interni all'impianto di cui al paragrafo 8.1.1 la distanza di prima approssimazione non eccede il range di ± 2 m rispetto all'asse del cavidotto; la stessa DPA ricade interamente all'interno dell'area dell'impianto fotovoltaico.
- Per i cavidotti in alta tensione esterni all'impianto, di cui al paragrafo 8.1.2, la distanza di prima approssimazione non eccede il range di ± 2 m rispetto all'asse del cavidotto.

All'interno delle aree summenzionate delimitate dalle DPA non risultano recettori sensibili ovvero aree di gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici, luoghi adibiti a permanenza di

persone per più di quattro ore giornaliere. Si può quindi concludere che la realizzazione delle opere elettriche relative alla realizzazione di un impianto agrivoltaico, sito nel Comune di Sassari (SS), e delle relative opere connesse da realizzarsi nello stesso comune, rispetta la normativa vigente.

In fase esecutiva si valuterà la possibilità di ridurre ulteriormente le emissioni elettromagnetiche e quindi le DPA valutando soluzioni tecniche e di posa alternative e migliorative.
