

00	09/02/2024	ELABORATO GRAFICO	ING. F.RAPICAVOLI	ING. F.RAPICAVOLI	ING. F.RAPICAVOLI
REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	PREPARATO	CONTROLLATO	VALIDATO



CODICE IDENTIFICATIVO ELABORATO

18-PD.00

**SOCIETÀ PROPONENTE**

**TIMBRO E FIRMA**



CERO ITALY PROJECTS 1 S.R.L.  
 Via MELCHIORRE GIOIA 8, 20124 (MI)  
 P.IVA 12517980962  
 PEC: ceroitalyprojects1@legalmail.it

**TITOLO INIZIATIVA**

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DENOMINATO " SAN GIULIANO ",  
 DI POTENZA NOMINALE PARI A 80MW INTEGRATO DA UN SISTEMA DI ACCUMULO DA 100MW,  
 SITO NEL COMUNE DI BUTERA (CL)

**SOCIETÀ PROGETTAZIONE**

**TIMBRO E FIRMA TECNICO ABILITATO**

ETERNA S.R.L.  
 Via Manganelli 20/g  
 95030 Nicolosi (ct)  
 tel: 095914116 - cell: 3339533392  
 P.IVA 05944070878  
 PEC: eterna@arubapec.it

FORMATO

A4

SCALA

FOGLIO

**TITOLO DOCUMENTO**

RELAZIONE CEM E VALUTAZIONE DEI RISCHI

LIVELLO DI PROGETTAZIONE

PROGETTO DEFINITIVO

## Sommario

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. COMMITTENTE .....</b>	<b>2</b>
<b>3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....</b>	<b>2</b>
<b>4. VALUTAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI .....</b>	<b>3</b>
4.1 CARATTERISTICHE TECNICHE IMPIANTO .....	3
4.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
4.3 LIMITI DI ESPOSIZIONE E VALORI DI ATTENZIONE .....	5
4.4 OBIETTIVI DI QUALITÀ.....	5
4.5 CONSIDERAZIONI PRELIMINARI ALLA VALUTAZIONE.....	5
4.6 VALUTAZIONI DI PROGETTO .....	7
4.7 CAMPO FV .....	7
4.8 AREA STORAGE .....	9
<b>5. VALUTAZIONE DEI RISCHI PER I LAVORATORI PER L'ESPOSIZIONE A CAMPI ELETTROMAGNETICI.....</b>	<b>10</b>
5.1 BASI TEORICHE .....	10
5.2 CONDIZIONI DI UTILIZZO .....	10
5.3 LEGENDA DEGLI ACRONIMI .....	10
5.4 LEGGI E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....	11
5.5 EFFETTI E STIME DI ESPOSIZIONE AI CEM NEI LUOGHI DI LAVORO .....	11
5.6 LAVORATORI PARTICOLARMENTE SENSIBILI AL RISCHIO DA ESPOSIZIONE AI CEM.....	12
5.7 ATTIVAZIONE DELLA SORVEGLIANZA SANITARIA .....	14
5.8 STIME DELL'ESPOSIZIONE AI CEM NEI LUOGHI DI LAVORO .....	14
5.9 USO DEI VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE E DEI LIVELLI DI AZIONE .....	14
5.10 VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI AZIONE PREVISTI PER GLI EFFETTI DIRETTI.....	15
5.11 VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI AZIONE PREVISTI PER GLI EFFETTI INDIRETTI .....	19
5.12 VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE .....	20
5.13 VALUTAZIONE DEL RISCHIO PER I LAVORATORI.....	23
<b>6. CONCLUSIONI CIRCA LA POSSIBILITÀ DI ESPOSIZIONE A CAMPI MAGNETICI NELL'AREA .....</b>	<b>25</b>

## **1. PREMESSA**

La presente relazione è tesa a definire gli aspetti tecnici relativi ad un impianto agrivoltaico denominato "San Giuliano" di potenza nominale pari a 80 MW integrato ad un sistema di accumulo pari da 100 MW da installare nel Comune di Butera (CL).

## **2. COMMITTENTE**

CERO ITALY PROJECTS 1 S.R.L.

Via Melchiorre Gioia 8, 20124 Milano (MI)

P.IVA 12517980962

PEC: ceroitalyprojects1@legalmail.it

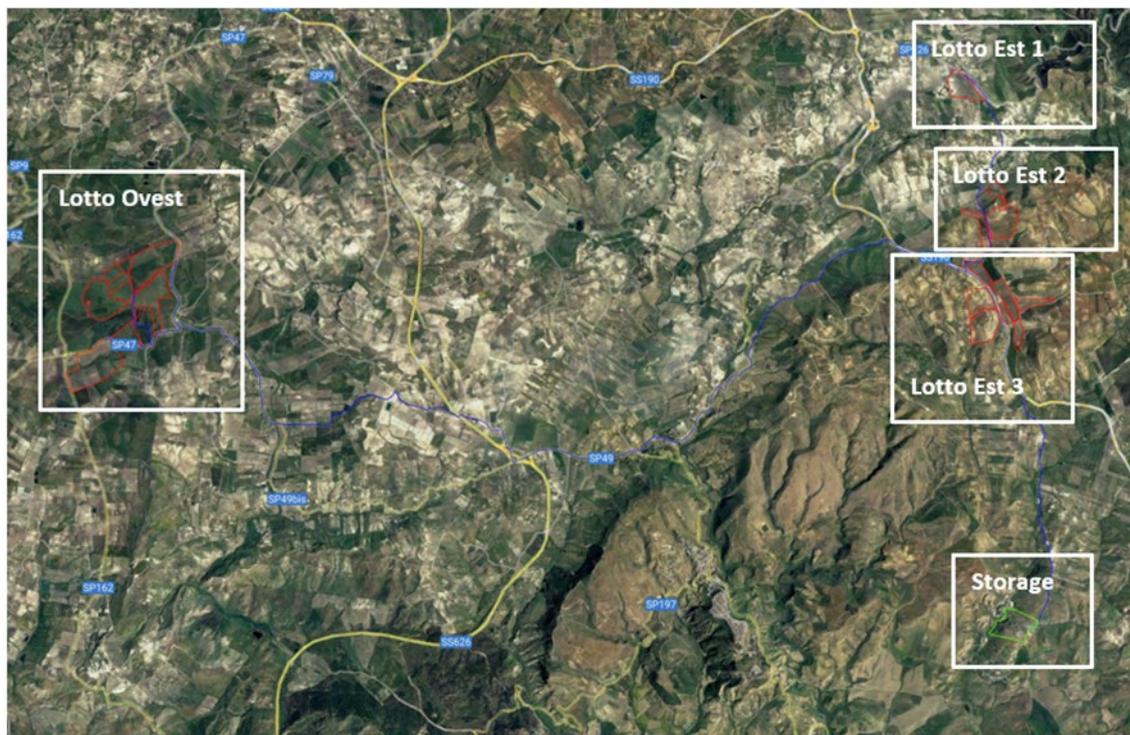
## **3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE**

L'impianto agrivoltaico è inserito all'interno di un'area di progetto estesa complessivamente 224,74 ha. La superficie coperta dalle strutture è pari a circa 43,67 ha inserite all'interno di un'area recintata di impianto di circa 138,20 ha.

Ai fini del presente Studio, per "area di impianto" si intende lo spazio recintato sul quale verranno installate le strutture, per "area di progetto" l'intera area oggetto d'intervento.

Il progetto si compone di quattro macro aree più l'area dello storage individuabili alle seguenti coordinate geografiche:

- Lotto Ovest\_Latitudine 37°13'17.26"N, Longitudine 14° 05'12.38"E - Quota altimetrica media - 290 m s.l.m;
- Lotto Est 1\_Latitudine 37°15'27.53"N, Longitudine 14°13'23.58"E - Quota altimetrica media - 380 m s.l.m;
- Lotto Est 2\_Latitudine 37°14'17.85"N, Longitudine 14°13'38.29"E - Quota altimetrica media - 370 m s.l.m;
- Lotto Est 3\_Latitudine 37°13'33.56N, Longitudine 14°13'44.14"E - Quota altimetrica media - 358 m s.l.m;
- Storage\_Latitudine 37°11'8.77"N, Longitudine 14°13'49.93"E - Quota altimetrica media - 260 m s.l.m.



*Figura 1 - Inquadramento area di impianto su ortofoto*

## **4. VALUTAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI**

### **4.1 Caratteristiche tecniche impianto**

Lo stesso sarà costituito da generatori fotovoltaici modello Canadian Solar BiHiKu da 675 Wp, montati su strutture ad inseguimento solare singola vela con asse nord-sud. La corrente DC confluirà in 27 power station di differente taglia in cui è prevista la trasformazione e l'innalzamento di tensione a 36 kV.

Lo schema di allacciamento alla RTN prevede che la centrale venga collegata in antenna a 36 kV con una nuova stazione di trasformazione 220/150/36 kV della RTN da inserire in entra - esce su entrambe le terne della linea RTN a 220 kV "Favara - Chiaramonte Gulfi".

Tabella delle potenze e configurazione elettrica																								
PV area	N. Stringhe Area	N. MF	P. MF [Wp]	P. gen. Area [kWp]	P. DC input Inv. [kWp]	Power Station	P. Power Station	N. Stringhe Sottocampo	Sting Box da 18	Sting Box da 17	Sting Box da 16	Controllo Stringhe	PWR DC/AC	Sezione	P. sezione [kWp]									
1	81	2430	675	1640,25	7371,0	1	6600	364	4,50	14,00		81	1,12	1	12615,8									
2	246	7380	675	4981,5					247															
3	37	1110	675	749,25					36															
4	144	4320	675	2916	2612,25	2	2200	129		1	7	129	1,19	2	13851									
5	115	3450	675	2328,75	2632,5	3	2200	130		2	6	130	1,20											
6	114	3420	675	2308,5	2308,5	4	2200	114		2	5	114	1,05											
7	113	3390	675	2288,25	2511	5	2200	124	5	2		124	1,14											
8	136	4080	675	2754	2531,25	6	2200	125	6	1		125	1,15											
9	50	1500	675	1012,5	3888	7	3300	192	5	6		192	1,18	3	13810,5									
10	125	3750	675	2531,25																				
11	146	4380	675	2956,5												2612,25	8	2200	129		1	7	129	1,19
12	77	2310	675	1559,25	6480	10	5500	320	14	4		320	1,18											
13	95	2850	675	1923,75												3483	9	3300	172	2	8		172	1,06
14	115	3450	675	2328,75										3847,5	11	3300	190	3	8		190	1,17		
15	91	2730	675	1842,75	3827,25	12	3300	189	2	9		189	1,16	4	13810,5									
16	114	3420	675	2308,5												3827,25	13	3300	189	2	9		189	1,16
17	88	2640	675	1782												3827,25	14	3300	189	2	9		189	1,16
18	102	3060	675	2065,5	2328,75	15	2200	115		3	4	115	1,06			5	12534,75							
19	143	4290	675	2895,75														7290	16	6600	360	20		
20	137	4110	675	2774,25										1296	17			1100	64			4	64	1,18
21	151	4530	675	3057,75	3948,75	18	3300	195	8	3		195	1,20	6	6378,75									
22	136	4080	675	2754														3948,75	19	2200	125	6	1	
23	22	660	675	445,5												3847,5	20	3300	190	3	8		190	1,17
24	79	2370	675	1599,75	4009,5	21	3300	198	11			198	1,17			7	13446							
25	14	420	675	283,5														4009,5	22	4400	265	10	5	
26	181	5430	675	3665,25										4009,5	23			1100	67		3	1	67	1,23
27	179	5370	675	3624,75	1356,75	24	1100	67		3	1	67	1,23	8	6885									
28	31	930	675	627,75														1356,75	25	1100	67		3	1
29	33	990	675	668,25												1356,75	26	3300	171	1	9		171	1,05
30	28	840	675	567	3422,25	27	3300	169		9	1	169	1,04			8	6885							
31	81	2430	675	1640,25														3422,25	27	3300	169		9	1
32	22	660	675	445,5										3422,25	28			3300	169		9	1	169	1,04
33	35	1050	675	708,75	1194,75	28	3300	169		9	1	169	1,04	8	6885									
34	29	870	675	587,25														1194,75	29	3300	169		9	1
35	20	600	675	405												1194,75	29	3300	169		9	1	169	1,04
36	125	3750	675	2531,25	2531,25	19	2200	125	6	1		125	1,15			6	6378,75							
37	54	1620	675	1093,5	3847,5	20	3300	190	3	8		190	1,17											
38	116	3480	675	2349	3847,5	21	3300	198	11			198	1,17											
39	181	5430	675	3665,25	4009,5	22	4400	265	10	5		265	1,22											
40	289	8670	675	5852,25	5366,25	22	4400	265	10	5		265	1,22	7	13446									
41	55	1650	675	1113,75	1356,75	23	1100	67		3	1	67	1,23											
42	87	2610	675	1761,75	1356,75	24	1100	67		3	1	67	1,23											
43	52	1560	675	1053	1356,75	25	1100	67		3	1	67	1,23											
44	85	2550	675	1721,25	3462,75	26	3300	171	1	9		171	1,05											
45	86	2580	675	1741,5	3422,25	27	3300	169		9	1	169	1,04	8	6885									
46	42	1260	675	850,5												3422,25	27	3300	169		9	1	169	1,04
47	68	2040	675	1377												3422,25	27	3300	169		9	1	169	1,04
48	59	1770	675	1194,75	1194,75	28	3300	169		9	1	169	1,04											
TOTAL	4609	138270		93332,25	93332,3		81400	4609	107	123	37	4609	1,15				93332,3							

Il sistema fotovoltaico è integrato ad un sistema di accumulo composto da nr.320 storage – SUNGROW ST2752UX-US e 20 Power station da 5000 kW.

#### 4.2 Normativa di riferimento

- DPCM 8/07/2003: Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi magnetici ed elettrici alla frequenza di rete, generati dagli elettrodotti.

- Norma CEI 211-4 Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche.
- Guida CEI R014 "Guida per la valutazione dei campi elettromagnetici attorno ai trasformatori di potenza".

### **4.3 Limiti di esposizione e valori di attenzione**

Nel caso di esposizione a campi magnetici alla frequenza di rete di 50 Hz generati da elettrodotti o altri dispositivi elettrici presenti sul territorio, non deve essere superato il limite di esposizione di 100  $\mu$ T per l'induzione magnetica e di 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.

A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete di 50 Hz, nelle aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10 $\mu$ T, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle condizioni di esercizio nominali.

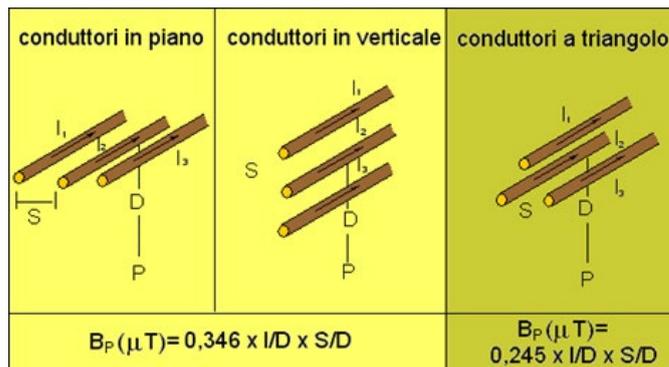
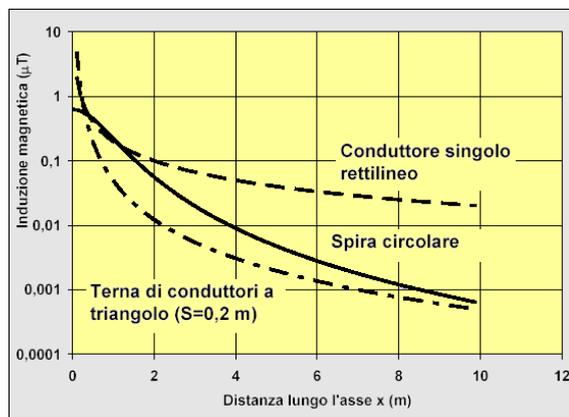
### **4.4 Obiettivi di qualità**

Nelle aree di cui sopra ( aree gioco per l'infanzia, abitazioni ecc..) i limiti di qualità da imporre scende a 3  $\mu$ T per l'induzione magnetica.

### **4.5 Considerazioni preliminari alla valutazione**

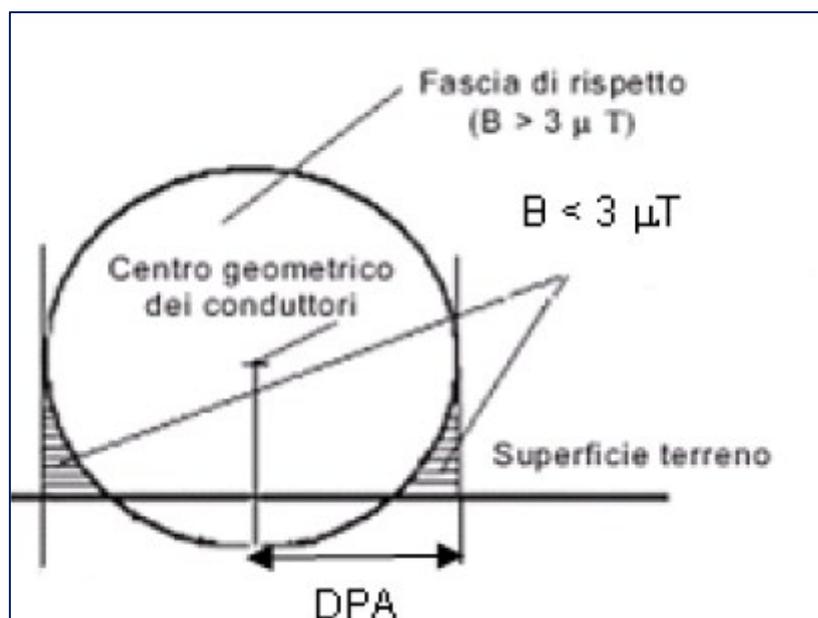
Per quanto attiene ai campi elettrici, sono generati dalle tensioni rispetto all'ambiente circostante, assunto a potenziale zero e pertanto riguardano solo gli elettrodotti a media e alta tensione. Nel progetto in oggetto, è prevista la realizzazione delle linee in AT interrato. Quest'ultimo, essendo schermato da materiale conduttore (schermo in rame o alluminio), porta a rilevare valori molto bassi del campo elettrico che decrescono sensibilmente con la distanza dal conduttore. I livelli misurabili nelle vicinanze sono sempre inferiori ai limiti della norma.

I campi magnetici, invece, sono generati da correnti; saranno, dunque, significativi quelli prodotti dai conduttori attraversati dalle correnti BT che afferiscono al trasformatore. Questi campi, che sono puntualmente dovuti alla somma degli effetti di tutti i cavi percorsi da correnti in quello spazio, dipendono da vari fattori: composizione dei cavi (terna o conduttore isolato), profondità di interramento, distanza tra i cavi e dal punto di osservazione, presenza di elementi schermanti quali materiali conduttori.



Per quanto attiene al campo magnetico prodotto dalle correnti circolanti negli avvolgimenti BT del trasformatore si è riscontrato che il campo misurabile all'esterno della macchina è trascurabile. Non altrettanto si può dire per il campo generato dai conduttori che collegano il quadro di bassa al trasformatore stesso e che sono interessati da correnti forti.

Il calcolo delle fasce di rispetto per linee AT e BT per cavi cordati (aerei e sotterranei) viene ritenuto superfluo; la ridotta distanza tra i conduttori e la continua trasposizione delle fasi fornita dalla cordatura, fa sì che l'obiettivo di qualità di  $3 \mu\text{T}$  venga raggiunto a distanze brevissime (0,5 - 0,8 m) dall'asse del cavo.



## 4.6 Valutazioni di progetto

Si ritiene utile, ai fini del presente elaborato, effettuare la valutazione per zone omogenee. Si effettuerà pertanto la valutazione stessa per la condizione più gravosa all'interno del campo FV e separatamente per la zona di storage. Le due aree sono infatti fisicamente dislocate all'interno di perimetri separati ed anche la possibile esposizione potrebbe essere differente.

## 4.7 Campo FV

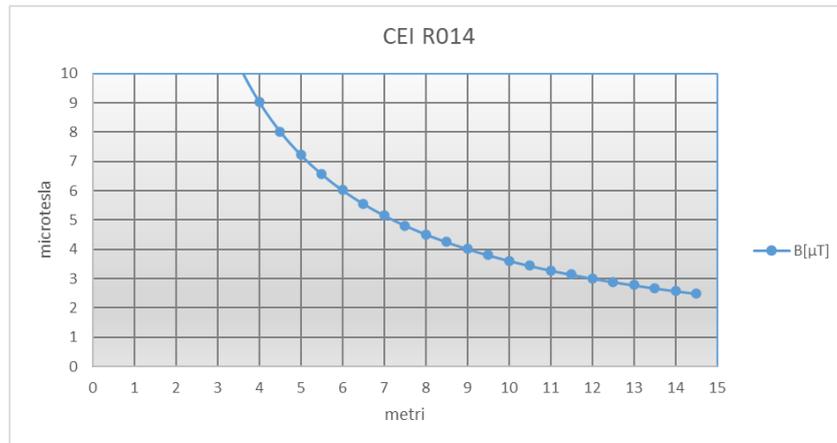
Le fonti principali di emissione risultano in corrispondenza delle stazioni di conversione - trasformazione e distribuzione. Per la valutazione verrà utilizzato il modello della CEI R014 per l'analisi del campo magnetico generato dai conduttori in uscita dal secondario BT dei trasformatori; ivi afferiscono i circuiti in uscita dai quadri BT. Viene individuata come condizione più gravosa il sottocampo 1 dove si prevede l'installazione di n.6 inverter modello SG1100UD in parallelo. LA corrente di impiego, viene desunta come somma della massima uscente dagli inverter ed è pari a 6960 A

L'individuazione della fascia di rispetto per tale configurazione con il calcolo della distanza al valore limite di  $B=3\mu\text{T}$  risulta essere cautelativa rispetto agli altri assetti, e pertanto da ritenersi valida per ogni cabina di trasformazione. La corrente afferente risulta infatti calcolata in condizioni limite che solo raramente verranno raggiunte dall'impianto; il caso preso in esame rappresenta la configurazione con la massima corrente di impiego afferente al trafo.

Secondo il modello CEI R014, per il trasformatore in questione si hanno i seguenti valori tabellari:

X[m]	B[ $\mu\text{T}$ ]
0,5	72,24
1	36,12
1,5	24,08
2	18,06
2,5	14,45
3	12,04
3,5	10,32
4	9,03
4,5	8,03
5	7,22
5,5	6,57
6	6,02
6,5	5,56
7	5,16
7,5	4,82
8	4,52
8,5	4,25
9	4,01
9,5	3,80
10	3,61
10,5	3,44
11	3,28
11,5	3,14
12	3,01
12,5	2,89
13	2,78
13,5	2,68
14	2,58
14,5	2,49
15	2,41

Il Grafico riportato illustra l'andamento dell'induzione magnetica in funzione della distanza dalla sorgente ed è stata ottenuta sperimentalmente utilizzando il modello CEI R014.



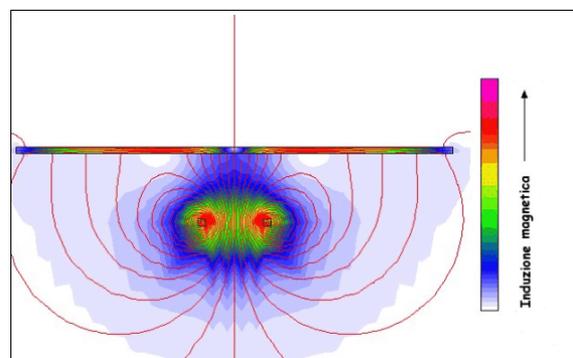
In calce l'interpolazione al valore di soglia di 3  $\mu$ T:

INDUZIONE MAGNETICA B	CORRENTE CAVO	PERMEABILITA ARIA	DISTANZA	DISTANZA TRA CONDUTTORI
			Distanza dai conduttori	distanza tra conduttori
$\mu$ Tesla	ampere	Henry/metro	metri	metri
<b>2,936780488</b>	6960	0,000001256	<b>12,3</b>	0,015

La fascia di rispetto teorica ha pertanto un raggio pari a 12,3 m dal centro geometrico dei conduttori; tale valore risulta nella pratica riducibile adottando una serie di accorgimenti.

Seguendo la strategia di riunire i cavi in terne riducendo al minimo le distanze tra i conduttori si ha una sensibile diminuzione del campo magnetico nell'area interessata.

Le massime correnti si troveranno nei cavi di collegamento quadro/primario del trasformatore e saranno ubicati all'interno di canali ricavati a pavimento e chiusi con botole metalliche da 3 mm di spessore. Il valore di attenzione di 3  $\mu$ T si trova a pochi decimetri di distanza dalla terna.



## 4.8 Area storage

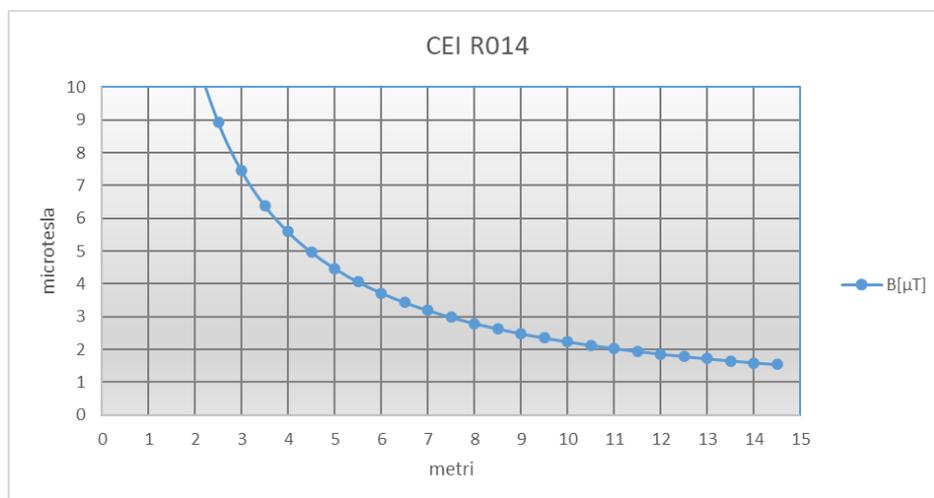
La stessa metodologia verrà utilizzata per la valutazione nell'area di storage; anche in questo caso, la fonte principale di emissione si ritiene essere ubicata dai conduttori in uscita dal secondario BT dei trasformatori afferenti al Quadro BT e verrà utilizzato il modello della CEI R014.

La corrente di impiego viene calcolata come la somma della corrente massima entrante nella singola Powerstation System SC5000UD-MV pari a 4308 A.

In calce i risultati del calcolo in forma tabellare:

X[m]	B[ $\mu$ T]
0,5	44,72
1	22,36
1,5	14,91
2	11,18
2,5	8,94
3	7,45
3,5	6,39
4	5,59
4,5	4,97
5	4,47
5,5	4,07
6	3,73
6,5	3,44
7	3,19
7,5	2,98
8	2,79
8,5	2,63
9	2,48
9,5	2,35
10	2,24
10,5	2,13
11	2,03
11,5	1,94
12	1,86
12,5	1,79
13	1,72
13,5	1,66
14	1,60
14,5	1,54
15	1,49

Il Grafico riportato illustra l'andamento dell'induzione magnetica in funzione della distanza:



In calce l'interpolazione al valore di soglia di 3  $\mu$ T:

INDUZIONE MAGNETICA B	CORRENTE CAVO	PERMEABILITA ARIA	DISTANZA	DISTANZA TRA CONDUTTORI
			Distanza dai conduttori	distanza tra conduttori
μTesla	ampere	Henry/metro	metri	metri
<b>2,981136</b>	4308	0,000001256	<b>7,5</b>	0,015

La fascia di rispetto teorica ha pertanto un raggio pari a 7,5 m dal centro geometrico dei conduttori; Sono anche in questo caso applicabili le misure e le valutazioni espone per caso del campo FV.

## 5. VALUTAZIONE DEI RISCHI PER I LAVORATORI PER L'ESPOSIZIONE A CAMPI ELETTROMAGNETICI.

### 5.1 Basi teoriche

L'impianto agrivoltaico oggetto del presente elaborato è di futura realizzazione, pertanto non è possibile effettuare alcuna misurazione sui luoghi di lavoro. Le valutazioni (stime di esposizione CEM) che seguiranno verranno messe a confronto, dunque, con i risultati ottenuti da metodi di calcolo e simulazione matematica, come trattato nell'elaborato prima citato.

### 5.2 Condizioni di utilizzo

L'impianto agrovoltaico in esame può normalmente considerarsi installato in un sito non presidiato dal personale, in quanto per il suo funzionamento non necessita della presenza di alcun operatore in campo. I processi di lavoro che possono quindi considerarsi ai fini della presente trattazione sono quelli ascrivibili a:

- manutenzione ordinaria/straordinaria delle parti d'impianto;
- pulizia periodica dei moduli fotovoltaici, con particolare riguardo a tutte le fasi che comportano esposizione ai CEM.

L'elenco dei lavoratori che si prevede possano essere professionalmente esposti nei luoghi di lavoro interessati dall'impianto fotovoltaico sono:

- elettricista / manutentore elettro-meccanico specializzato;
- operatore addetto alla pulizia dei moduli fotovoltaici.

### 5.3 Legenda degli acronimi

**CEM** = Campi elettromagnetici

**DL** = Datore di Lavoro

**DMIA** = Dispositivi Medici Impiantabili Attivi

**LB** = Limiti di base per la popolazione ai sensi della Raccomandazione 1999/519/CE

**LR** = Livelli di Riferimento per la popolazione ai sensi della Raccomandazione 1999/519/CE **VA** =

Valori di Azione per i lavoratori professionalmente esposti ai sensi della Direttiva 2013/35/UE

come recepita dal D.lgs.159/2016

**VLE** = Valori Limite di Esposizione per i lavoratori professionalmente esposti ai sensi della Direttiva 2013/35/UE come recepita dal D.lgs.159/2016.

#### **5.4 Leggi e documentazione di riferimento**

- D.Lgs. 09 aprile 2008 n. 81 - Testo coordinato con il D. Lgs. 3 agosto 2009, n. 106 "TESTO UNICOSULLASALUTE E SICUREZZA SULLAVORO"
- D.Lgs. del 1 agosto 2016, n. 159 "Attuazione della direttiva 2013/35/UE sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) e che abroga la direttiva 2004/40/CE. (16G00172) (GU n.192 del 18-8-2016)"
- Guida non vincolante di buone prassi per attuazione direttiva 2013/35 UE relativa ai campi elettromagnetici - Volume 1: Guida pratica.
- DIRETTIVA 2013/35/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 26 giugno 2013 sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici).

#### **5.5 Effetti e stime di esposizione ai cem nei luoghi di lavoro**

I campi elettromagnetici possono causare due diversi tipi di effetti noti potenzialmente dannosi per la salute e la sicurezza: effetti biofisici diretti ed effetti indiretti.

Gli effetti biofisici diretti sono suddivisi in effetti non termici, come la stimolazione di nervi, muscoli ed organi sensoriali, ed effetti termici, come il riscaldamento dei tessuti a causa dell'assorbimento di energia dai CEM. Si tratta di effetti a soglia in quanto si verificano solo al di sopra di determinati livelli di esposizione e sono prevenuti rispettando i Valori Limite di Esposizione (VLE) fissati dal D.lgs. 81/08 Titolo VIII Capo IV e s.m.i. Le prescrizioni del D.lgs 81/08 e s.m.i. non si applicano alla protezione da eventuali effetti a lungo termine dei campi elettromagnetici.

Gli effetti indiretti sono provocati dalla presenza di un oggetto in un CEM che può generare pericoli per salute e sicurezza. Gli effetti che la normativa intende prevenire, ed ai quali ci si interessa ai fini del presente elaborato, sono i seguenti:

- interferenze con attrezzature e altri dispositivi medici elettronici;
- interferenze con dispositivi impiantati passivi, ad esempio protesi articolari, chiodi, fili o piastre di metallo;
- interferenze con attrezzature o dispositivi medici impiantabili attivi, ad esempio stimolatori cardiaci e defibrillatori;

- interferenze con dispositivi medici portati sul corpo, ad esempio pompe per l'infusione di farmaci;
- effetti su schegge metalliche, tatuaggi, body piercing e body art;
- rischio di proiezione di oggetti ferromagnetici non fissi in un campo magnetico statico;
- innesco involontario di detonatori;
- innesco di incendi o esplosioni a causa di materiali infiammabili o esplosivi;
- scosse elettriche o ustioni dovute a correnti di contatto che si verificano quando;
- in presenza di un campo elettromagnetico, il corpo umano entra in contatto con un oggetto a diverso potenziale elettrico.

## **5.6 Lavoratori particolarmente sensibili al rischio da esposizione ai CEM**

Alcuni gruppi di lavoratori sono da considerarsi particolarmente sensibili al rischio da esposizione ai campi elettromagnetici. Tali lavoratori potrebbero non essere protetti adeguatamente mediante il solo rispetto dei Valori Limite di Esposizione e dei Valori di Azione stabiliti dal D.lgs. 81/08 e s.m.i.

I lavoratori particolarmente sensibili al rischio sono in genere tutelati adeguatamente mediante il rispetto dei requisiti di protezione specificati per la popolazione nella raccomandazione 1999/519/CE, salvo alcune eccezioni, quali le lavoratrici donne in gravidanza, o altri soggetti particolarmente suscettibili agli effetti dei CM. Per questa categoria di soggetti, il rispetto dei VLE previsti dal D.lgs. 81/08 può non essere sufficiente a prevenire i rischi per la salute connessi alle esposizioni ai campi elettromagnetici.

Di conseguenza la tutela di tali soggetti può essere attuata tenendo conto dei limiti di esposizione per la popolazione fissati dalla Raccomandazione Europea 1999/519/CE o, in alternativa, dei valori limite di esposizione fissati da ICNIRP 2009 (ICNIRP è acronimo di International Commission on Non-ionizing Radiation Protection) per il campo magnetico statico e da ICNIRP 2010 per gli effetti non termici dei campi elettrici e magnetici variabili nel tempo, che rappresentano il riferimento scientifico più aggiornato. Eventuali specifiche misure di protezione, dovrebbero essere valutate su base individuale (art. 210, comma 3) caso per caso dal medico competente e dall'RSPP.

I lavoratori portatori di protesi o altri dispositivi medici impiantati passivi, inclusi metallici (es. schegge, piercing etc.) devono essere considerati lavoratori particolarmente sensibili al rischio. Numerosi impianti medici possono essere metallici o contenere parti metalliche. Tra questi si annoverano protesi articolari, protesi endoauricolari passive, chiodi, piastre, viti, clip chirurgiche, clip per aneurisma, stent, protesi valvolari cardiache, anelli per annuloplastica, impianti contraccettivi, otturazioni dentali etc. Se questi dispositivi contengono materiali ferromagnetici, questi possono subire torsioni e/o spostamenti in presenza di campo magnetico statico. L'ICNIRP ha indicato nelle sue linee guida sui campi magnetici statici del 2009, per la prevenzione di tali rischi, lo stesso livello di sicurezza di 0,5 mT adottato per la protezione dei portatori di dispositivi medici impiantabili attivi (ICNIRP, 2009), mentre nelle precedenti linee guida del 1994 venivano chiaramente distinte le due tipologie di effetti, e per i rischi connessi alle

forze di attrazione e rotazione di impianti contenenti materiali ferromagnetici raccomandava di segnalare le aree caratterizzate da livelli di campo magnetico statico maggiori di 3 mT (ICNIRP, 1994). Quest'ultimo valore è indicato nel D.lgs. 81/08 come VA per il rischio di attrazione e propulsivo nel campo periferico di sorgenti di campo magnetico statico ad alta intensità (> 100 mT).

Nel caso di esposizione a campi variabili nel tempo, gli impianti metallici possono perturbare il campo elettrico indotto nel corpo generando zone di forti campi localizzati. Gli impianti metallici potrebbero anche essere riscaldati induttivamente, le conseguenze sarebbero riscaldamento e lesioni termiche dei tessuti circostanti. Questa condizione potrebbe anche causare il guasto dell'impianto.

Ci sono pochi dati su cui basare una valutazione dei rischi cui sono esposti coloro che indossano impianti passivi. Un fattore da considerare è la frequenza dei campi elettromagnetici poiché la penetrazione del campo nel corpo diminuisce all'aumentare della frequenza, tanto che può esserci poca o nessuna interazione tra campi ad alta frequenza e la maggior parte degli impianti, che sono collocati entro una massa di tessuto circostante. Il riscaldamento induttivo in grado di provocare lesioni termiche ai tessuti circostanti dipenderà pertanto dalla frequenza e intensità del campo nonché dalle dimensioni e dalla massa dell'impianto. Tuttavia, secondo la Guida Non Vincolante della Commissione Europea, la conformità alla Raccomandazione 1999/519/CE dovrebbe fornire un'adeguata protezione; esposizione a campi più intensi potrebbero essere consentiti in alcune circostanze, previa specifica valutazione. Le stesse considerazioni si possono estendere anche al caso di portatori di inclusi metallici o contenenti parti metalliche, quali ad esempio schegge metalliche e piercing.

<b>Lavoratori esposti a particolari rischi</b>	<b>Esempi</b>
Lavoratori che portano dispositivi medici impiantati attivi (active implanted medical devices, AIMD)	Stimolatori cardiaci, defibrillatori cardiaci, impianti cocleari, impianti al tronco encefalico, protesi dell'orecchio, neurostimolatori, retinal encoder, pompe impiantate per infusione di farmaci.
Lavoratori che portano dispositivi medici impiantati passivi contenenti metallo	Protezioni articolari, chiodi, piastre, clip chirurgiche per aneurisma, stent, protesi valvolari cardiache, anelli per annuloplastica, impianti contraccettivi metallici e casi di dispositivi medici
Lavoratori portatori di dispositivi medici indossati sul corpo	Pompe esterne per infusione di ormoni
Lavoratrici in gravidanza	

In aggiunta andrebbero considerati come particolarmente sensibili al rischio, da valutarsi anche in relazione all'esistenza e alla messa in atto di trattamenti terapeutici specifici per la patologia coinvolta, i seguenti soggetti:

- soggetti affetti da patologie che possono alterare l'eccitabilità del sistema nervoso centrale;
- soggetti affetti da aritmie o da patologie del cuore, dell'emodinamica e di altri

organi/apparati che possono favorire l'insorgenza di aritmie.

### **5.7 Attivazione della sorveglianza sanitaria**

La sorveglianza sanitaria è "l'insieme degli atti medici, finalizzati alla tutela dello stato di salute e sicurezza dei lavoratori, in relazione all'ambiente di lavoro, ai fattori di rischio professionali e alle modalità di svolgimento dell'attività lavorativa". Essa deve essere attuata quando il lavoratore riferisce effetti indesiderati o inattesi sulla salute, compresi effetti di natura sensoriale, e quando risultino superati i VLE per effetti sensoriali o per effetti sanitari. Considerata l'esistenza di lavoratori particolarmente sensibili al rischio e, nell'ambito di questi ultimi, la presenza di lavoratori portatori di dispositivi medici impiantabili attivi, che possono essere oggetto di interferenza elettromagnetica potenzialmente pericolosa per i risvolti sul piano clinico in corrispondenza di livelli di esposizione superiori ai limiti previsti per la popolazione e a volte anche per esposizioni inferiori a tali limiti (si pensi al caso dei campi magnetici statici), è tuttavia opportuno, al superamento dei livelli di riferimento per la popolazione generale così come stabiliti dalla Raccomandazione 1999/519/CE, individuare eventuali lavoratori da sorvegliare, in quanto potenzialmente più sensibili al rischio.

In ambienti di lavoro con presenza di sorgenti il cui utilizzo possa comportare un rischio di interferenza con il funzionamento dei DMIA (tipologie di sorgenti evincibili ad esempio dalla lista delle sorgenti/situazioni espositive riportate nella tabella 3.2 della guida non vincolante della Commissione Europea) è in ogni caso consigliabile effettuare, a prescindere da considerazioni sui livelli espositivi, una ricognizione finalizzata ad accertare la presenza di lavoratori portatori di DMIA, che saranno destinatari di un'attività di informazione e formazione specifica. Tale ricognizione può essere condotta ad esempio attraverso somministrazione di questionario ad hoc gestito dal Medico Competente.

### **5.8 Stime dell'esposizione ai CEM nei luoghi di lavoro**

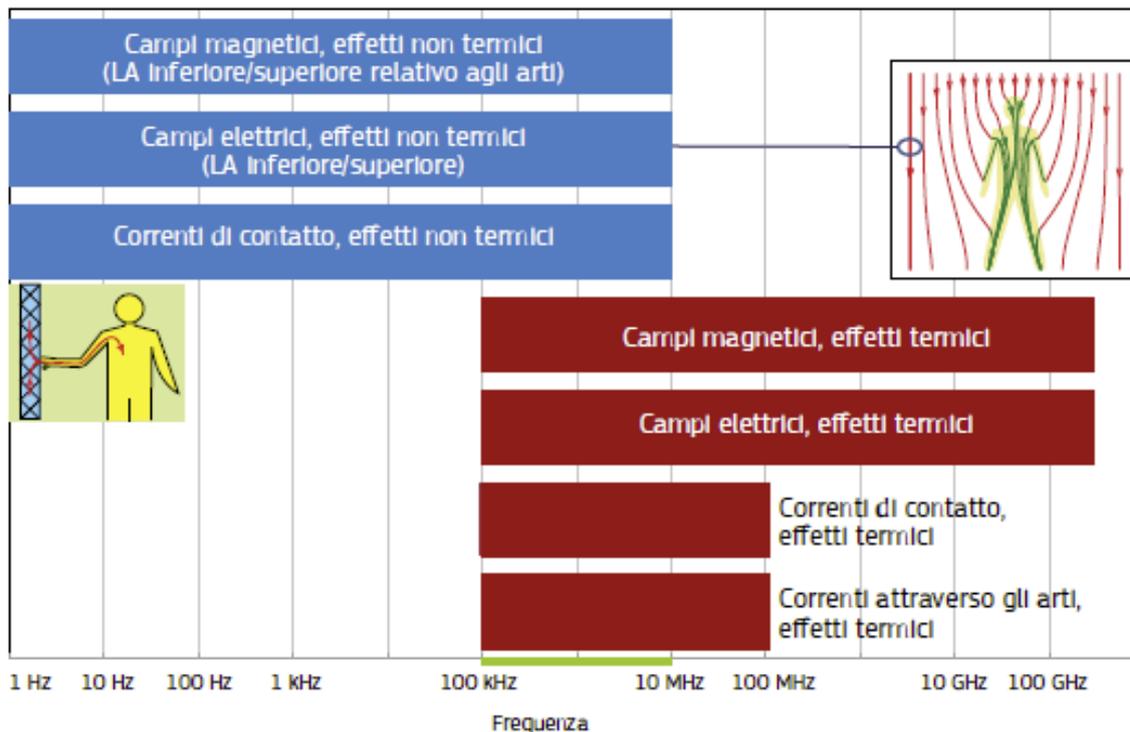
Come già accennato, l'impianto agrovoltaiico oggetto del presente elaborato è di futura realizzazione, pertanto non è possibile effettuare alcuna misurazione sui luoghi di lavoro. Le stime di esposizione CEM sono condotte sulla base di calcoli matematici.

### **5.9 Uso dei valori limite di esposizione e dei livelli di azione**

La direttiva CEM prevede valori limite di esposizione (VLE) per i cosiddetti "effetti non termici" (0-10 MHz), che sono quelli che prenderemo in considerazione all'interno del presente elaborato, dato il range di frequenza di interesse (50 Hz) - vedasi fig.2 di seguito riportata.

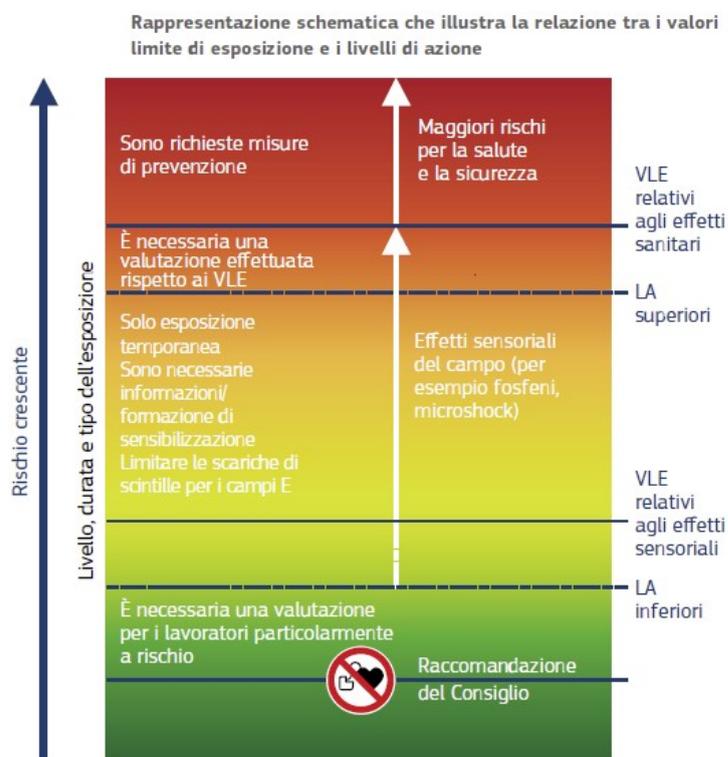
Per le frequenze comprese tra 1 Hz e 6 GHz, i VLE sono definiti in termini di grandezze presenti nel corpo che non possono essere misurate o calcolate facilmente. La direttiva CEM definisce anche livelli di azione (LA) fissati in termini di grandezze di campo esterne, rilevabili con relative facilità tramite misurazioni o calcoli. Questi LA sono ottenuti dai VLE usando tecniche di modellizzazione informatica e ipotizzando le interazioni più pessimistiche, pertanto la conformità ai LA pertinenti garantisce



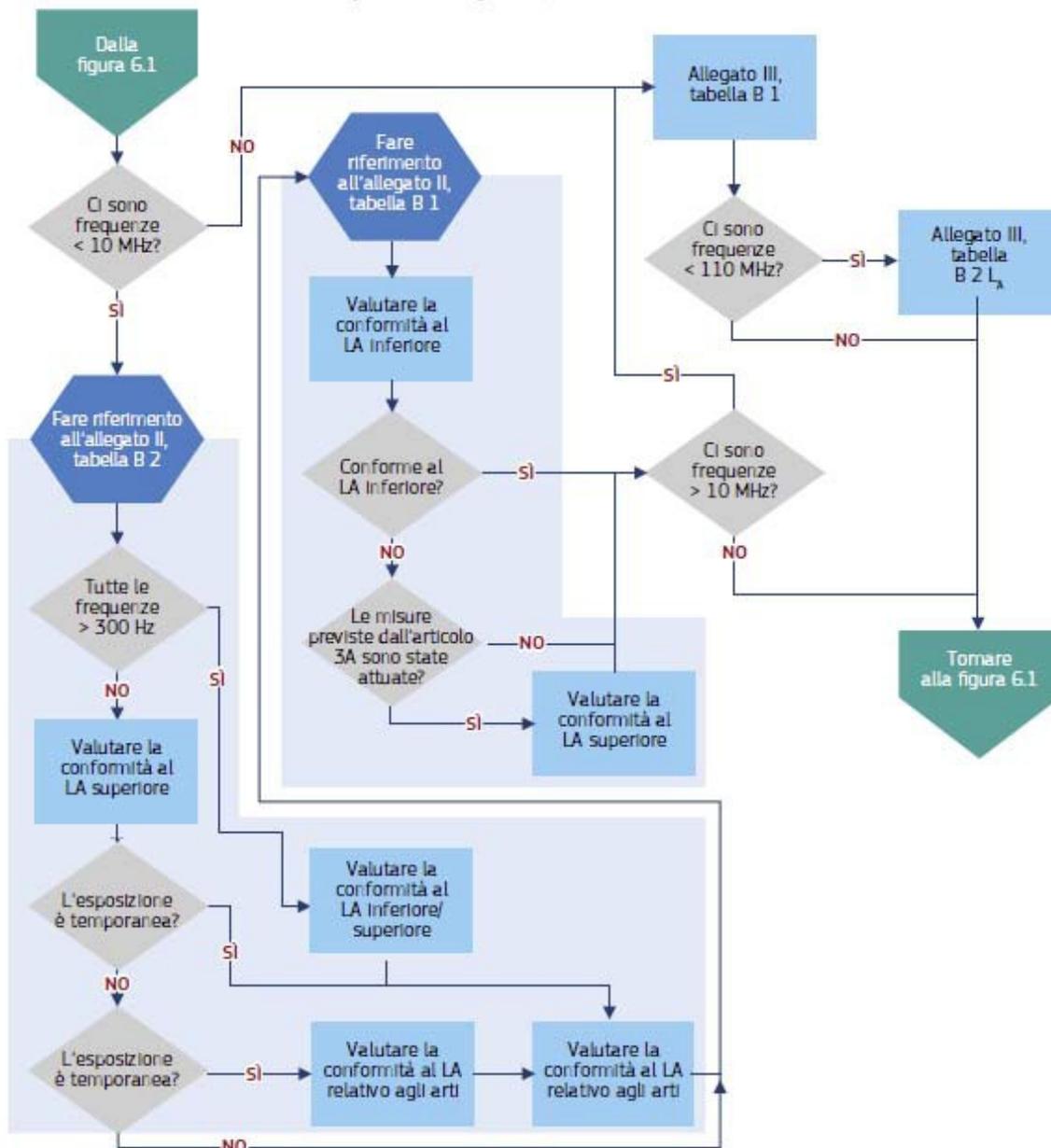


Le barre blu indicano gli effetti non termici e quelle rosse indicano gli effetti termici. Ove la gamma di frequenza è evidenziata in verde, è obbligatoria la conformità ai valori per gli effetti non termici (campo elettrico, campo magnetico e correnti di contatto) e gli effetti termici (campo elettrico e magnetico).

#### Gamma di frequenze in cui sono applicabili diversi LA.



Rappresentazione schematica che illustra la relazione tra i valori limite di esposizione e i livelli di azione.



Se l'intensità dei campi elettrici non supera il LA inferiore, nessuno dei VLE applicabili verrà superato. Tuttavia, se l'intensità di campo elettrico supera il LA inferiore, la conformità al LA superiore non sarà di per sé sufficiente a evitare le fastidiose scariche di scintille. In questa situazione pertanto è necessario adottare ulteriori misure tecniche, organizzative, e se opportuno, di protezione individuale per limitare le scariche di scintille.

**Diagramma di flusso per la selezione dei livelli di azione del campo elettrico (1 Hz-10 MHz) previsti per gli effetti diretti («Allegato» si riferisce agli allegati della direttiva sui campi elettromagnetici).**

Per quanto riguarda la valutazione degli effetti diretti dei conduttori percorsi da corrente alternata (campo non statico), la valutazione viene svolta rispetto ai LA previsti per gli effetti diretti (rif. fig. 1). Dalla fig. 4 constatiamo che l'allegato della direttiva 2013/35/UE di riferimento è ALLEGATO II, nello specifico ci interessa la tabella B2:

Tabella B2

LA per esposizione a campi magnetici compresi tra 1 Hz e 10 MHz

Gamma di frequenza	Induzione magnetica LA (B) inferiori [ $\mu\text{T}$ ] (RMS)	Induzione magnetica LA (B) superiori [ $\mu\text{T}$ ] (RMS)	Induzione magnetica LA per esposizione arti a campo magnetico localizzato [ $\mu\text{T}$ ] (RMS)
$1 \leq f < 8 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^5/f^2$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$8 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,5 \times 10^4/f$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$25 \leq f < 300 \text{ Hz}$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^5/f$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

Nota B2-1: f è la frequenza espressa in Hertz (Hz).

Dalla tab. B2 si evince che i valori di LA per esposizione a campi magnetici alla frequenza di 50 Hz sono i seguenti:

- LA mag inf = 1.000  $\mu\text{T}$
- LA mag sup = 6.000  $\mu\text{T}$
- LA mag arti = 18.000  $\mu\text{T}$

Tabella B1

LA per esposizione a campi elettrici compresi tra 1 Hz e 10 MHz

Gamma di frequenza	Intensità di campo elettrico LA(E) inferiori [ $\text{Vm}^{-1}$ ] (RMS)	Intensità di campo elettrico LA(E) superiori [ $\text{Vm}^{-1}$ ] (RMS)
$1 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$
$25 \leq f < 50 \text{ Hz}$	$5,0 \times 10^5/f$	$2,0 \times 10^4$
$50 \text{ Hz} \leq f < 1,64 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^5/f$	$1,0 \times 10^6/f$

Nota B1-1: f è la frequenza espressa in Hertz (Hz).

Continuando con l'esame della fig. 4, direttiva 2013/35/UE ALLEGATO II, tabella B1, si evince che i valori di LA per esposizione a campi elettrici alla frequenza di 50 Hz sono i seguenti:

- LA elet inf = 10.000 V/m
- LA elet sup = 20.000 V/m

I valori trovati permettono di affermare che per il caso oggetto di studio vi è la conformità ai LA per gli

effetti diretti.

### 5.11 Valutazione dei livelli di azione previsti per gli effetti indiretti

Si procede dunque alla valutazione degli effetti indiretti dei conduttori percorsi da corrente alternata (campo non statico), rispetto ai LA previsti per gli effetti indiretti (rif. fig. 5).

La direttiva specifica i LA per offrire protezione da alcuni effetti indiretti associati ai campi elettromagnetici. Il processo per la selezione dei livelli di azione previsti per gli effetti indiretti è illustrato dal diagramma di flusso di cui alla figura 5.

Dall'esame della fig. 5, direttiva 2013/35/UE ALLEGATO II, tabella B3, si evince che il valore di LA per la corrente di contatto  $I_c$  alla frequenza di 50 Hz è pari a:

- $LA_{corr\ cont} = 1\text{ mA}$

Tabella B3

#### I LA per corrente di contatto $I_c$

Frequenza	LA ( $I_c$ ) corrente di contatto stazionaria [mA] (RMS)
fino a 2,5 kHz	1,0
$2,5 \leq f < 100\text{ kHz}$	$0,4 f$
$100\text{ kHz} \leq f \leq 10\ 000\text{ kHz}$	40

Nota B3-1:  $f$  è la frequenza espressa in kilohertz (kHz).

Livelli di azione (LA) per induzione magnetica di campi magnetici statici

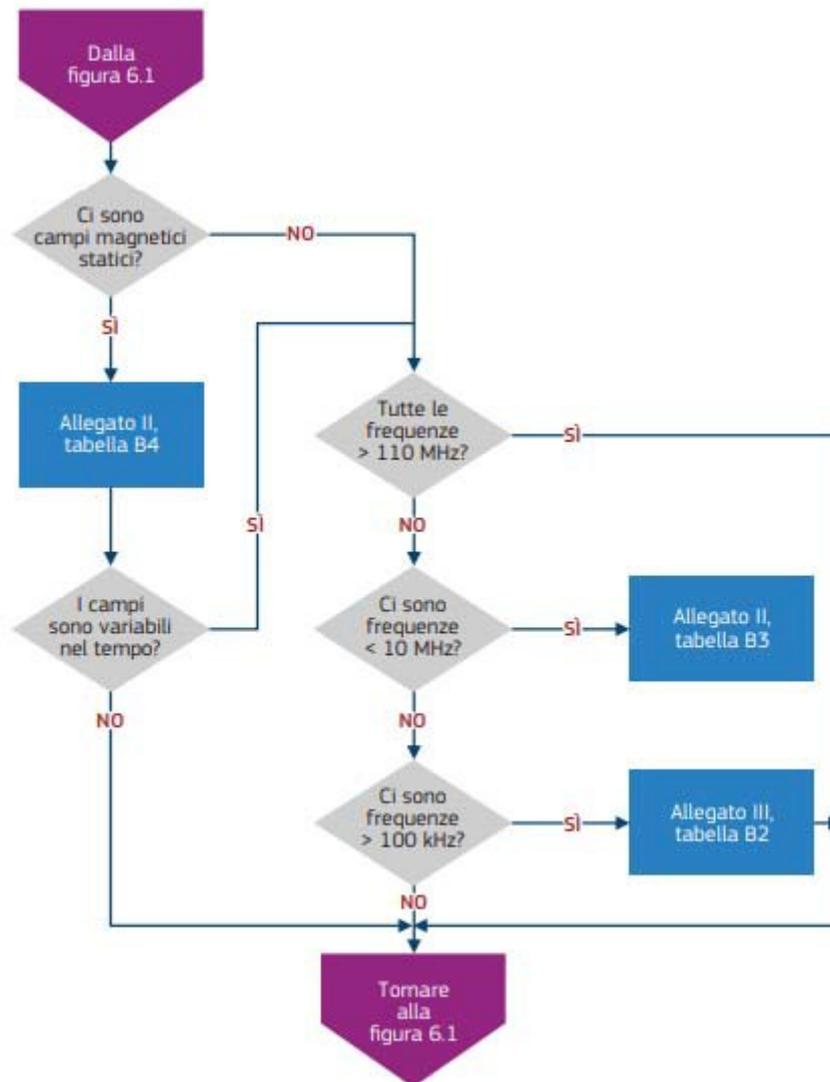


Diagramma di flusso per la selezione dei livelli di azione previsti per gli effetti indiretti ("Allegato" si riferisce agli allegati della direttiva sui campi elettromagnetici).

## 5.12 Valori limite di esposizione

La direttiva relativa ai campi elettromagnetici definisce VLE separati per gli effetti sensoriali e sanitari (figura 6). I VLE relativi agli effetti sensoriali si applicano soltanto a specifiche gamme di frequenza (0-400 Hz e 0,3-6 GHz). Per le basse frequenze, la percezione del campo si verifica a livelli di esposizione inferiori a quelli in cui si registrano effetti per la salute. Il VLE relativo agli effetti sensoriali (per quanto riguarda gli effetti termici) ha lo scopo di evitare i «disturbi uditivi da microonde» che si verificano soltanto in determinate condizioni. Al contrario i VLE relativi agli effetti sanitari si applicano a tutte le frequenze. In generale è ammesso il superamento temporaneo dei VLE relativi agli effetti sensoriali, per brevi periodi, purché vengano soddisfatte alcune condizioni. I VLE nella gamma di frequenza 1 Hz - 10 MHz sono definiti in termini di campi elettrici interni indotti nel corpo (tabella A2 e tabella A3 dell'allegato II della direttiva).

Per le frequenze fino a 400 Hz ci sono sia VLE relativi agli effetti sensoriali, sia VLE relativi agli effetti sanitari. I VLE relativi a effetti sensoriali sono destinati alla prevenzione dei fosfeni retinici e di modifiche minori e transitorie delle funzioni cerebrali. Di conseguenza si applicano soltanto ai tessuti del sistema nervoso centrale nella testa del lavoratore esposto.

I VLE relativi agli effetti sanitari si applicano a tutte le frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz e sono destinati a prevenire la stimolazione dei nervi centrali e periferici. Pertanto questi VLE si applicano a tutti i tessuti del corpo del lavoratore esposto.

Tabella A2

**VLE relativi agli effetti sanitari per un'intensità di campo elettrico interno compresa tra 1 Hz e 10 MHz**

Gamma di frequenza	VLE relativi agli effetti sanitari
$1 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$1,1 \text{ Vm}^{-1}$ (picco)
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$3,8 \times 10^{-4} f \text{ Vm}^{-1}$ (picco)

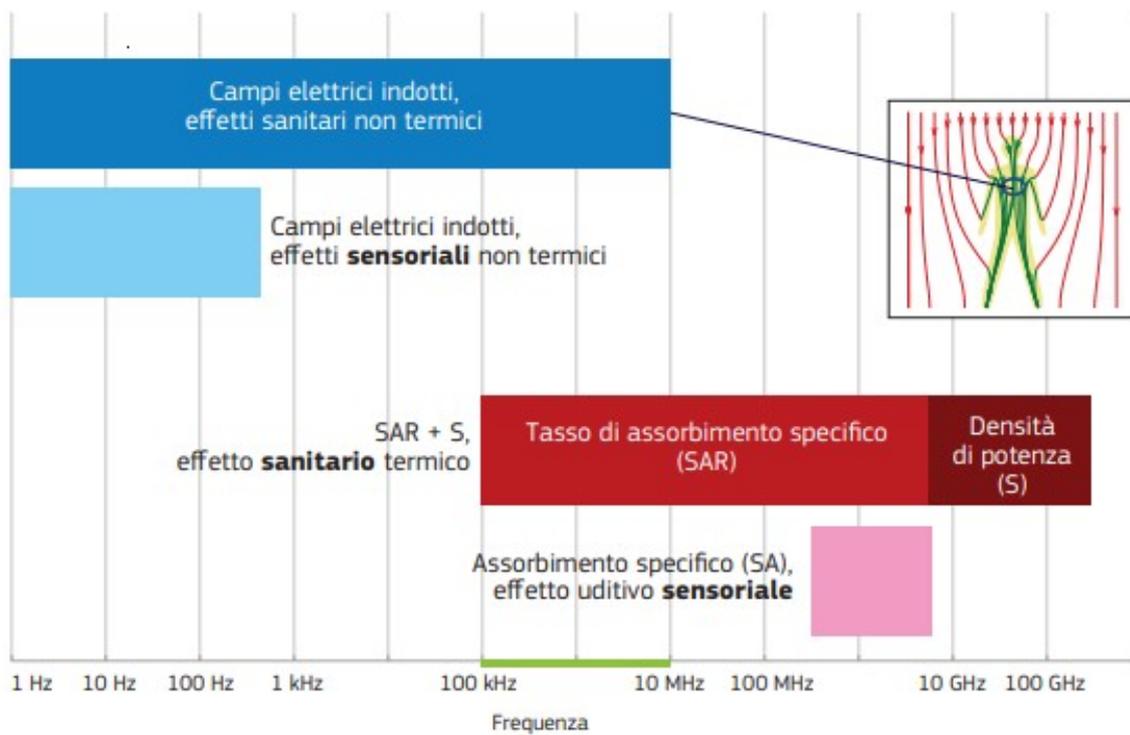
Nota A2-1: f è la frequenza espressa in Hertz (Hz).

Tabella A3

**VLE relativi agli effetti sensoriali per un'intensità di campo elettrico interno compresa tra 1 Hz e 400 Hz**

Gamma di frequenza	VLE relativi agli effetti sensoriali
$1 \text{ Hz} \leq f < 10 \text{ Hz}$	$0,7/f \text{ Vm}^{-1}$ (picco)
$10 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$	$0,07/f \text{ Vm}^{-1}$ (picco)
$25 \text{ Hz} \leq f \leq 400 \text{ Hz}$	$0,0028 f \text{ Vm}^{-1}$ (picco)

Nota A3-1: f è la frequenza espressa in Hertz (Hz).



Le barre blu indicano gli effetti non termici e quelle rosse indicano gli effetti termici.

**Gamma di frequenze nell'ambito della quale vengono utilizzati diversi VLE.**

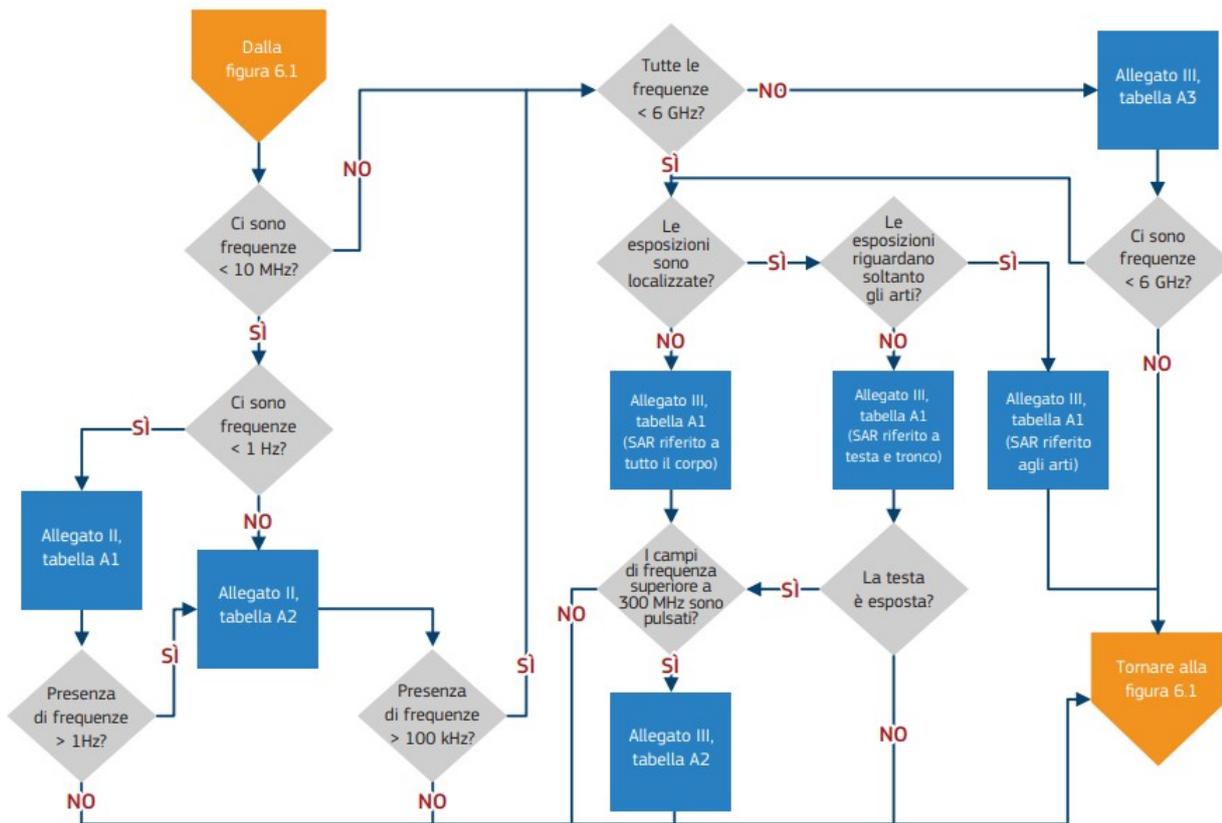


Diagramma di flusso per la selezione dei VLE

La valutazione dei rischi per i lavoratori, condotta in accordo a quanto previsto dalla Direttiva CEM, risulta così completa.

### 5.13 VALUTAZIONE DEL RISCHIO PER I LAVORATORI

In queste considerazioni conclusive prenderemo in considerazione i soli "lavoratori non particolarmente a rischio" e lasciando a cura del medico competente e dall'RSPP eventuali specifiche misure di protezione, che potrebbero richiedere una valutazione su base individuale a seconda del caso. Dalle sopraesposte analisi si deduce che l'induzione magnetica risulta essere inferiore a  $3\mu\text{Tesla}$  ad una distanza di 12,7 m dal centro geometrico del cavo in uscita dai convertitori statici interni al campo FV e 7,5 dal centro geometrico del cavo in ingresso ai trasformatori interni all'impianto di accumulo.

A seguito delle sopraindicate valutazioni si considerano trascurabili gli effetti dei campi magnetici prodotti dall'elettrodotto in questione.

Per quanto attiene ai campi elettrici, sono generati dalle tensioni rispetto all'ambiente circostante, assunto a potenziale zero e pertanto riguardano solo gli elettrodotti a media e alta tensione. Nel nostro progetto esistono collegamenti a 36 kV in cavo interrato. Questo, essendo schermato da materiale conduttore (schermo in rame o alluminio), porta a rilevare valori molto bassi del campo elettrico che decrescono sensibilmente con la distanza dal conduttore. I livelli misurabili nelle vicinanze sono

sempre inferiori ai limiti della norma.

I campi magnetici, invece, sono generati da correnti; saranno, dunque, significativi quelli prodotti dai conduttori attraversati dalle correnti BT che afferiscono al trasformatore. Questi campi, che sono puntualmente dovuti alla somma degli effetti di tutti i cavi percorsi da correnti in quello spazio, dipendono da vari fattori: composizione dei cavi (terna o conduttore isolato), profondità di interrimento, distanza tra i cavi e dal punto di osservazione, presenza di elementi schermanti quali materiali conduttori.

Per quanto attiene al campo magnetico prodotto dalle correnti circolanti negli avvolgimenti BT del trasformatore si è riscontrato che il campo misurabile all'esterno della macchina è trascurabile. Non altrettanto si può dire per il campo generato dai conduttori che collegano il quadro elettrico generale di bassa tensione al trasformatore stesso e che sono interessati da correnti elevate.

Le massime correnti si troveranno nei cavi di collegamento del quadro elettrico di bassa tensione all'avvolgimento secondario del trasformatore e saranno ubicati all'interno di canali ricavati a pavimento e chiusi con botole metalliche da 3 mm di spessore. Il valore di attenzione di 3  $\mu$ T si trova a pochi centimetri di distanza dalla terna di cavi. La botola metallica agisce da schermo ferromagnetico. Dato l'effetto schermante delle strutture in cemento armato e delle botole metalliche è possibile considerare un'attenuazione dell'induzione magnetica pari al 20% del valore stimato. Vista l'ubicazione della cabina all'interno di terreno privato recintato, si ritiene di non dover dotare la costruzione di ulteriore protezione esterna non verificandosi probabilità di assembramento di persone nell'area.

Le figure/mansioni lavorative che saranno coinvolte nei luoghi di installazione dell'impianto agrivoltaico:

- 1) elettricista / manutentore elettro-meccanico specializzato,
- 2) operatore addetto alla pulizia dei moduli fotovoltaici,

- per i lavoratori di cui al punto 1), questi opereranno in condizioni verosimilmente di impianto/porzione di impianto temporaneamente disalimentato (proprio per consentire le operazioni di manutenzione); qualora essi dovessero operare con impianto/porzione di impianto sotto tensione, si può ragionevolmente considerare un tempo di esposizione ai CEM relativamente breve;
- per i lavoratori di cui al punto 2), questi nella conduzione delle proprie mansioni permarranno all'interno della Dpa per periodi relativamente brevi, quindi essendo soggetti a tempi di esposizione ai CEM relativamente brevi.

## **6. CONCLUSIONI CIRCA LA POSSIBILITÀ DI ESPOSIZIONE A CAMPI MAGNETICI NELL'AREA**

Data la distanza entro la quale esistono campi magnetici di entità superiore ai limiti di attenzione, e data l'ubicazione delle cabine all'interno del terreno privato recintato, si ritiene di non dover dotare la costruzione di ulteriore protezione esterna non verificandosi probabilità di assembramento di persone nell'area.

I limiti di legge sono rispettati. Infine si nota che non sono state prese in considerazione circostanze favorevoli come l'effetto schermante delle strutture della cabina e delle botole interne.

Si precisa che, per la costruenda SSE UTENTE e relative opere di connessione presenti nel seguente progetto, trattandosi di opera comune a più iniziative, non è possibile effettuare le valutazioni preliminari. In fase successiva di progettazione esecutiva, saranno studiati e valutati i relativi fenomeni elettromagnetici generati.

**DATA**

*02/2024*