

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN
PARCO AGRIVOLTAICO E DELLE RELATIVE
OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN

IMPIANTO GIUMARRA 02

Comune di Ramacca (CT)

Località "Masseria Magazzinazzo"

**A. PROGETTO DEFINITIVO DELL'IMPIANTO, DELLE OPERE CONNESSE E DELLE
INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI**

OGGETTO

Codice: ITS_GMR02	Autorizzazione Unica ai sensi del D.Lgs 387/2003 e D.Lgs 152/2006
N° Elaborato: A15	Relazione valutazione esposizione lavoratori ai campi elettromagnetici

Tipo documento	Data
Progetto definitivo	Luglio 2023

Progettazione



Progettisti

Ing. Vassalli Quirino



Ing. Speranza Carmine Antonio



Proponente



ITS Medora Srl
Via Sebastiano Catania, 317
95123 Catania (CT)
P.IVA 05767670879
pec: itsmedora@pec.it

Rappresentante legale

Emmanuel Macqueron

REVISIONI

Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato
00	Luglio 2023	Emissione PUA	AC	AS / QV/ DR	QI

ITS_GMR02_A15_Relazione valutazione esposizione lavoratori ai campi elettromagnetici.doc	ITS_GMR02_ A15_ Relazione valutazione esposizione lavoratori ai campi elettromagnetici.pdf
--	--

INDICE

1. PREMESSA	2
2. RIFERIMENTI NORMATIVI	3
3. INQUADRAMENTO DELL'AREA E DESCRIZIONE DEL PROGETTO.....	3
4. CAMPO ELETTROMAGNETICO	4
4.1 Campo elettrico	7
4.2 Campo magnetico.....	7
5. DIFFERENZE TRA CAMPI INDOTTI DA LINEE ELETTRICHE AEREE E CAMPI INDOTTI DA CAVI INTERRATI	8
5.1 Campo elettrico	8
5.2 Campo magnetico.....	8
6. VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI CAMPO ELETTROMAGNETICO	11
6.1 Moduli fotovoltaici.....	11
6.2 Inverter.....	11
6.3 Cavi interrati.....	12
6.4 Cabine elettriche di impianto.....	13
6.5 Sottostazione Elettrica	15
7. EFFETTI E STIME DI ESPOSIZIONE AI CEM NEI LUOGHI DI LAVORO	17
7.1 Effetti dell'esposizione ai CEM nei luoghi di lavoro.....	17
7.1.1 Lavoratori particolarmente sensibili al rischio da esposizione ai CEM.....	18
7.1.2 Attivazione della sorveglianza sanitaria.....	20
7.2 Stime dell'esposizione ai CEM nei luoghi di lavoro.....	21
7.2.1 Uso dei valori limite di esposizione e dei livelli di azione.....	21
8. VALUTAZIONE DEL RISCHIO PER I LAVORATORI	31
8.1 Figure e mansioni lavorative coinvolte.....	32
9. MISURE DI PROTEZIONE E PREVENZIONE	33
9.1 Misure tecniche	33
9.2 Misure organizzative	34
10. CONCLUSIONI	34

1. PREMESSA

La presente relazione ha lo scopo di valutare le emissioni elettromagnetiche associate alle infrastrutture elettriche e i rischi da esposizione a campi elettromagnetici ai fini della tutela dei lavoratori che opereranno sull'impianto fotovoltaico, da realizzarsi in agro del comune di Ramacca (CT) alla località "Masseria Magazzinazzo" di potenza nominale complessiva pari a 25 MW, e sulle relative opere di connessione alla RTN.

INTRODUZIONE

Ogni apparecchiatura che produce o che viene attraversata da una corrente elettrica è caratterizzata da un campo elettromagnetico. Il campo elettromagnetico presente in un dato punto dello spazio è definito da due vettori: il campo elettrico e l'induzione magnetica. Il primo, misurato in V/m, dipende dall'intensità e dal voltaggio della corrente mentre, l'induzione magnetica, che si misura in μT , dipende dalla permeabilità magnetica del mezzo.

Il rapporto tra l'induzione magnetica e la permeabilità del mezzo individua il campo magnetico.

Le grandezze caratterizzanti il campo elettrico ed il campo magnetico sono in generale correlate, eccezion fatta per i campi a frequenze molto basse per le quali il campo elettrico ed il campo magnetico possono essere considerati indipendenti.

In generale le correlazioni tra campo elettrico e campo magnetico sono assai complesse, dipendono dalle caratteristiche della sorgente, dal mezzo di propagazione, dalla presenza di ostacoli nella propagazione, dalle caratteristiche del suolo e dalle frequenze in gioco.

La diffusione del campo elettromagnetico nello spazio avviene nello stesso modo in tutte le direzioni; la diffusione può essere comunque alterata dalla presenza di ostacoli che, a seconda della loro natura, inducono sul campo elettromagnetico riflessioni, rifrazioni, diffuzioni, assorbimento, ecc...

La diffusione del campo elettromagnetico può comunque essere alterata anche dalla presenza di un altro campo elettromagnetico.

Nel presente documento si esaminano le apparecchiature e le infrastrutture necessarie alla realizzazione del parco agrivoltaico proposto con particolare riguardo alla generazione di campi elettromagnetici a bassa frequenza. Tutte le componenti del progetto operano, infatti, alla

frequenza di 50 Hz coincidente con la frequenza di esercizio della rete di distribuzione elettrica nazionale.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

Per la valutazione della compatibilità elettromagnetica delle opere, sono stati utilizzati i seguenti riferimenti normativi:

- D.Lgs. 09 aprile 2008 n. 81 - Testo coordinato con il D. Lgs. 3 agosto 2009, n. 106 "TESTO UNICO SULLA SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO";
- D.Lgs. del 1° agosto 2016, n. 159 "Attuazione della direttiva 2013/40/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 2013/40 UE relativa ai campi elettromagnetici - Volume 1: Guida pratica.
- DIRETTIVA 2013/40/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).

3. INQUADRAMENTO DELL'AREA E DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il progetto agrivoltaico proposto dalla ITS MEDORA Srl prevede la realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte solare nel comune di Ramacca (CT) alla località "Masseria Magazzinazzo"; area dislocata a nord del comune di Ramacca da cui dista (in linea d'aria) circa 6 km, a sud del centro abitato di Castel di Judica da cui dista (in linea d'aria) circa 4 km e a sud-est del comune di Raddusa da cui dista (in linea d'aria) circa 11 km.

Il progetto prevede la realizzazione di un Parco agrivoltaico della potenza di 25 MW.

L'impianto in progetto prevede l'installazione a terra di pannelli fotovoltaici (moduli) in silicio monocristallino della potenza unitaria fino a 665 Wp.

L' impianto sarà corredato di:

- N° 5 cabine di campo;
- Una cabina di consegna contenente le apparecchiature MT ed una control room;
- Un cavidotto di collegamento tra la cabina di consegna e la sottostazione di trasformazione elettrica MT/AT;
- Una sottostazione di trasformazione utente MT/AT.

4. CAMPO ELETTROMAGNETICO

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

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

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

E: Campo elettrico

B: Campo di induzione magnetica e, parallelamente;

D: spostamento elettrico o induzione dielettrica

H: Campo magnetico

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

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

Per i fenomeni di natura magnetica si fa riferimento ad una caratterizzazione dell'esposizione ai campi magnetici, non in termini del vettore campo magnetico, ma in termini di induzione magnetica, che tiene conto dell'interazione con ambiente ed i mezzi materiali in cui il campo si propaga. Dal punto di vista macroscopico ogni fenomeno elettromagnetismo è descritto dall'insieme di equazioni note come equazioni di Maxwell.

Lo spettro elettromagnetico

Lo spettro elettromagnetico, illustrato nella Figura 1, copre una vasta gamma di radiazioni con differenti frequenze e lunghezze d'onda. La parte dello spettro disciplinata dalla direttiva EMF va dai campi statici (0 Hz) ai campi elettromagnetici variabili nel tempo con frequenze sino a 300 GHz (0,3 THz). In questa regione rientrano le radiazioni comunemente definite campi statici, campi variabili nel tempo e onde radio (comprese le microonde). Altre sezioni dello spettro elettromagnetico non trattate dalla direttiva EMF comprendono la regione ottica (raggi infrarossi, visibili e ultravioletti) e la regione ionizzante. Queste sezioni sono coperte rispettivamente dalla direttiva 2006/25/CE sulle radiazioni ottiche artificiali e dalla direttiva sulle norme fondamentali di sicurezza (2013/59/Euratom).

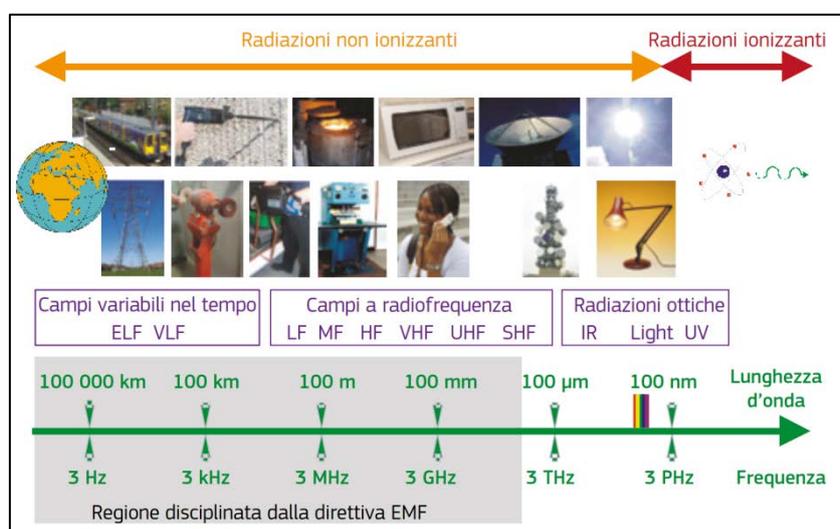


Figura 1:- Rappresentazione schematica dello spettro elettromagnetico in cui figurano alcune sorgenti tipiche

La radiazione elettromagnetica nella gamma di frequenza coperta dalla direttiva EMF non dispone dell'energia sufficiente per rimuovere gli elettroni dagli atomi di un materiale ed è pertanto classificata come non ionizzante. I raggi X e i raggi gamma sono radiazioni elettromagnetiche ad alta energia capaci di rimuovere questi elettroni orbitali e sono pertanto classificati come radiazioni ionizzanti.

L'intensità di un campo elettromagnetico diminuisce rapidamente con la distanza dalla sorgente (Figura 2). L'esposizione dei lavoratori può essere ridotta limitando l'accesso alle aree vicine alle apparecchiature quando queste sono in funzione. Va notato inoltre che i campi

elettromagnetici, a meno che non siano generati da un magnete permanente o da un magnete superconduttore, scompaiono di norma quando l'apparecchiatura non è più in funzione.

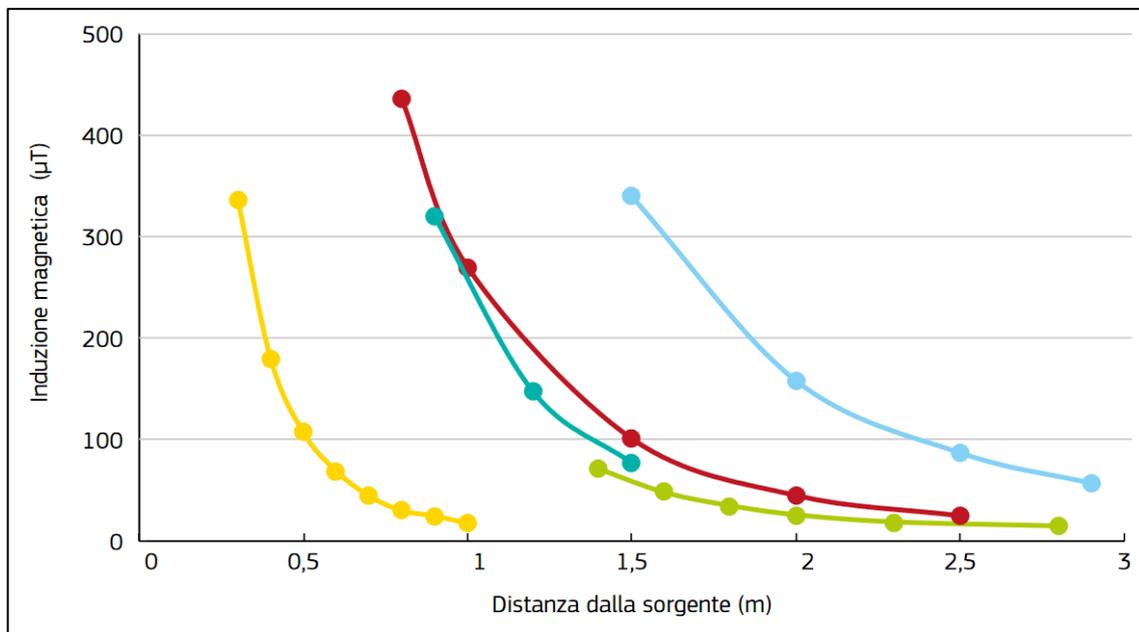


Figura 2: Riduzione dell'induzione magnetica in funzione della distanza per varie sorgenti di frequenza elettrica: saldatrice a punti (—); bobina di smagnetizzazione 0,5 m (—); forno a induzione 180 kW (—); macchina per saldatura continua 100 kVA (—); bobina di smagnetizzazione 1 m (—)

La normativa attualmente in vigore disciplina in modo differente i valori ammissibili di campo elettromagnetico, distinguendo così i "campi elettromagnetici quasi statici" ed i "campi elettromagnetici a radio frequenza".

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

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

dell'energia elettrica alla frequenza di 50 Hz, costituiscono una sorgente di campi elettromagnetici nell'intervallo 30-300 Hz.

4.1 Campo elettrico

Il campo elettrico è legato in maniera direttamente proporzionale alla tensione della sorgente; esso si attenua, allontanandosi da un elettrodotto, come l'inverso della distanza dai conduttori.

I valori efficaci delle tensioni di linea variano debolmente con le correnti che le attraversano; l'intensità del campo elettrico può considerarsi, in prima approssimazione, costante.

La presenza di alberi, oggetti conduttori o edifici in prossimità delle linee riduce l'intensità del campo elettrico, e in particolare all'interno degli edifici, si possono misurare intensità di campo fino a 10 (anche 100) volte inferiori a quelle rilevabili all'esterno.

Per le linee elettriche aeree, l'intensità maggiore del campo elettrico si misura generalmente al centro della campata, ossia nel punto in cui i cavi si trovano alla minore distanza dal suolo. L'andamento e il valore massimo delle intensità dei campi dipenderanno anche dalla disposizione e dalle distanze tra i conduttori della linea.

4.2 Campo magnetico

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

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

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

5. DIFFERENZE TRA CAMPI INDOTTI DA LINEE ELETTRICHE AEREE E CAMPI INDOTTI DA CAVI INTERRATI

5.1 Campo elettrico

Il campo elettrico risulta ridotto in maniera significativa per l'effetto combinato dovuto alla speciale guaina metallica schermante del cavo ed alla presenza del terreno che presenta una conducibilità elevata. La riduzione così operata del campo elettrico consente agli individui di avvicinarsi maggiormente ai conduttori stessi, i quali, come già detto, sono di solito interrati a pochi metri di profondità.

Per le linee elettriche di MT a 50 Hz, i campi elettrici misurati attraverso prove sperimentali sono risultati praticamente nulli, per l'effetto schermante delle guaine metalliche e del terreno sovrastante i cavi interrati.

5.2 Campo magnetico

Le grandezze che determinano l'intensità del campo magnetico circostante un elettrodotto sono principalmente:

- distanza dalle sorgenti (conduttori);
- intensità delle sorgenti (correnti di linea);
- disposizione e distanza tra sorgenti (distanza mutua tra i conduttori di fase);
- presenza di sorgenti compensatrici;
- suddivisione delle sorgenti (terne multiple).

I metodi di controllo del campo magnetico si basano principalmente sulla riduzione della distanza tra le fasi, sull'installazione di circuiti addizionali (spire) nei quali circolano correnti di schermo, sull'utilizzazione di circuiti in doppia terna a fasi incrociate e sull'utilizzazione di linee in cavo.

Nel caso di elettrodotti in alta tensione, i valori di campo magnetico, pur al di sotto dei valori di legge imposti, sono notevolmente al di sopra della soglia di attenzione epidemiologica (SAE) che è di 0,2 μ T. Infatti, solo distanze superiori a circa 80 m dal conduttore permettono di rilevare un valore così basso del campo magnetico. È necessario notare inoltre che aumentare l'altezza dei conduttori da terra permette di ridurre il livello massimo generato di campo magnetico ma non la distanza dall'asse alla quale si raggiunge la SAE.

È possibile ridurre questi valori di campo interrando gli elettrodotti. Questi vengono posti a circa 1,5-1,85 metri di profondità e sono composti da un conduttore cilindrico, una guaina isolante,

una guaina conduttrice (la quale funge da schermante per i disturbi esterni, i quali sono più acuti nel sottosuolo in quanto il terreno è molto più conduttore dell'aria) e un rivestimento protettivo. I fili vengono posti a circa 20 cm l'uno dall'altro e possono assumere disposizione lineare (ternapiana) o triangolare (trifoglio).

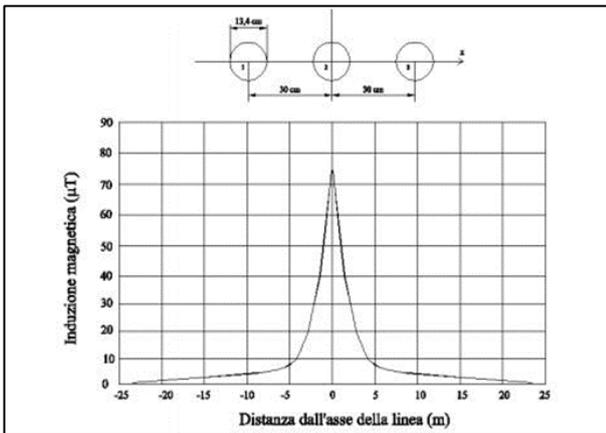


Figura 3: Induzione magnetica al suolo generata da tre cavi disposti a terna piana

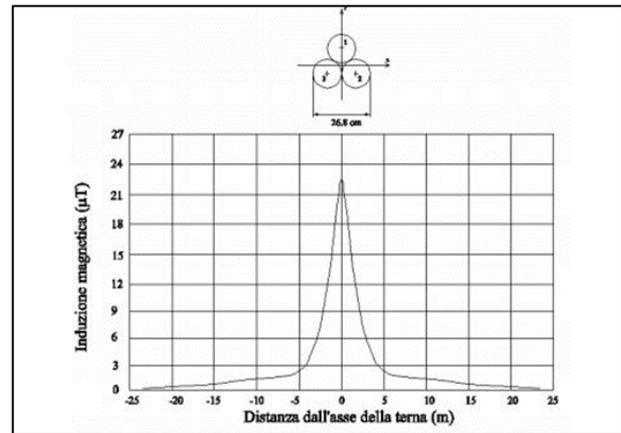


Figura 4: Induzione magnetica al suolo generata da tre cavi disposti a trifoglio

I cavi interrati generano, a parità di corrente trasportata, un campo magnetico al livello del suolo più intenso degli elettrodotti aerei (circa il doppio), però l'intensità di campo magnetico si riduce molto più rapidamente con la distanza (i circa 80 m diventano in questo caso circa 24). Tra i vantaggi sono valori di intensità di campo magnetico che decrescono molto più rapidamente con la distanza, ma tra gli svantaggi i problemi di perdita di energia legati alla potenza reattiva (produzione, oltre ad una certa lunghezza del cavo, di una corrente capacitiva, dovuta all'interazione tra il cavo ed il terreno stesso, che si contrappone a quella di trasmissione).

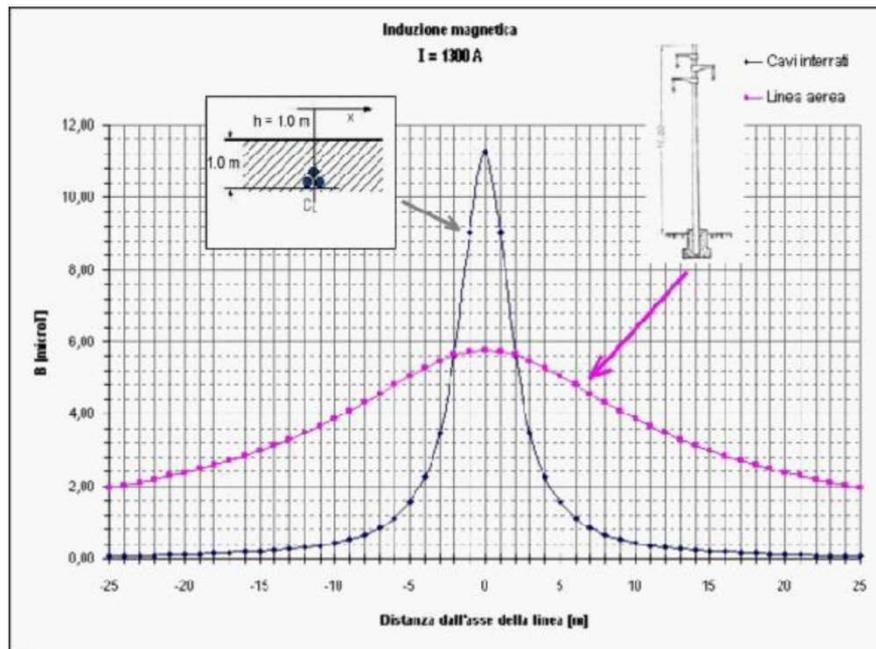


Figura 5: Attenuazione dell'induzione magnetica dovuta all'interramento dei cavi

Altri metodi con i quali ridurre i valori di intensità di campo elettrico e magnetico possono essere quelli di usare "linee compatte", ovvero avvicinare i cavi isolati con delle membrane isolanti che portano ad una riduzione del campo magnetico.

I cavi interrati sono quindi un'alternativa all'uso delle linee aeree; essi sono disposti alla profondità di almeno 1,5 metri dal suolo, linearmente sullo stesso piano oppure a triangolo (disposizione a trifoglio).

Confrontando quindi il campo magnetico generato da linee aeree con quello generato da cavi interrati, si può notare che per i cavi interrati l'intensità massima del campo magnetico è più elevata, ma presenta un'attenuazione più pronunciata. In generale si può affermare che l'intensità a livello del suolo immediatamente al di sopra dei cavi di una linea interrata è inferiore a quella immediatamente al di sotto di una linea aerea ad alta tensione. Ciò è dovuto soprattutto ad una maggiore compensazione delle componenti vettoriali associate alle diverse fasi, per effetto della reciproca vicinanza dei cavi, che essendo isolati, possono essere accostati l'uno all'altro, come non può farsi per una linea aerea.

6. VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI CAMPO ELETTROMAGNETICO

Gli impianti solari fotovoltaici, essendo costituiti fondamentalmente da elementi per la produzione ed il trasporto di energia elettrica, sono interessati dalla presenza di campi elettromagnetici. Le unità di produzione e le linee elettriche costituiscono fonti di bassa frequenza (50 Hz), e a queste fonti sono associate correnti elettriche a bassa, media e alta tensione.

L'impatto elettromagnetico indotto dall'impianto fotovoltaico oggetto di studio può essere determinato da:

- Moduli fotovoltaici
- Inverter
- Cavi interrati
- Cabine elettriche di impianto
- Sottostazione Elettrica

6.1 Moduli fotovoltaici

I moduli fotovoltaici lavorano in corrente e tensione continue e non in corrente alternata, per cui la generazione di campi variabili è limitata ai soli transitori di corrente (durante la ricerca del MPP da parte dell'inverter, e durante l'accensione o lo spegnimento) e sono comunque di brevissima durata. Nella certificazione dei moduli fotovoltaici alla norma CEI 82-8 (IEC 61215) non sono comunque menzionate prove di compatibilità elettromagnetica, poiché assolutamente irrilevanti.

6.2 Inverter

Gli inverter sono apparecchiature che al loro interno utilizzano un trasformatore ad alta frequenza per ridurre le perdite di conversione. Essi, pertanto, sono costituiti per loro natura da componenti elettronici operanti ad alte frequenze. D'altro canto, il legislatore ha previsto che tali macchine, prima di essere immesse sul mercato, possiedano le necessarie certificazioni a garantirne sia l'immunità dai disturbi elettromagnetici esterni, sia le ridotte emissioni per minimizzarne l'interferenza elettromagnetica con altre apparecchiature elettroniche posizionate nelle vicinanze o con la rete elettrica stessa (via cavo).

A questo scopo gli inverter prescelti possiedono la certificazione di rispondenza alle normative di compatibilità elettromagnetica (EMC) (CEI EN 50273 (CEI 95-9), CEI EN 61000-6-3 (CEI 210-65),

CEI EN 61000-2-2 (CEI 110-10), CEI EN 61000-3-2 (CEI 110-31), CEI EN 61000-3-3 (CEI 110-28), CEI EN 55022 (CEI 110-5), CEI EN 55011 (CEI 110-6)), quindi gli inverter di progetto avranno emissioni certificate e conformi alla normativa vigente. Quindi anche per gli inverter le emissioni saranno poco significative ai fini della presente valutazione, come tra l'altro si riscontra facilmente dalla normativa di settore.

6.3 Cavi interrati

L'impianto presenta un cavidotto con tensione pari a 30 kV, che collega l'impianto fotovoltaico sito in località "Masseria Magazzinazzo", in agro del comune di Ramacca (CT), alla futura sottostazione elettrica di trasformazione e consegna, ed uno a 150 kV, che collega la stazione di trasformazione e consegna al punto di connessione.

In entrambi i casi la DPA è stata determinata facendo riferimento alla citata guida prodotta da Enel. Nel caso dei cavi in media tensione, presentano le seguenti caratteristiche:

Tipo di linea	Interrata
Numero conduttori attivi	3
Tipo di cavo	cavo cordato ad elica
Tensione nominale	40 kV
Profondità interrimento	1,2 m

Tabella 1: Alcune caratteristiche dei cavi interrati in media tensione

Le linee in cavo interrato disposto a trifoglio come quella in esame hanno ampiezza molto ridotta e pari a circa 0,7 m; quindi, inferiore alla profondità di interrimento del cavo che è di 1,2 m, e pertanto questa tipologia di elettrodotto rispetta i limiti di inquinamento previsti dalla normativa.

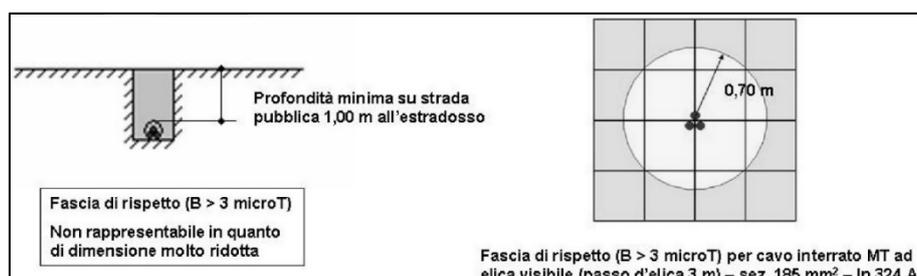


Figura 6: Estratto della guida di Enel sul calcolo della DPA: cavi in media tensione interrati

Nel caso invece dei cavi in alta tensione, la guida di Enel stima una DPA di 19 metri (vedasi estratto di seguito); questo cavo transita nella fascia di rispetto della stazione RTN, e non vi sono luoghi tutelati al suo interno.

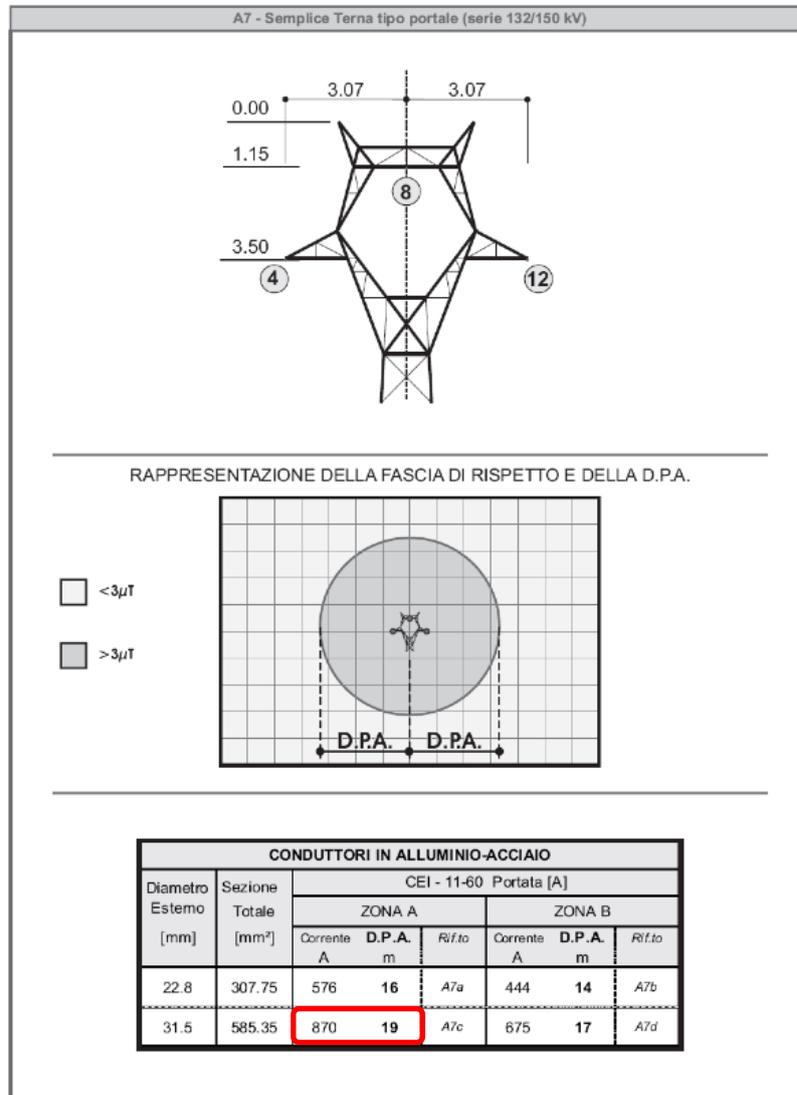


Figura 7: Estratto della guida di Enel sul calcolo della DPA: cavi in alta tensione aerei

6.4 Cabine elettriche di impianto

Per quanto riguarda i componenti dell'impianto sono da considerare le cabine elettriche di campo, all'interno delle quali, la principale sorgente di emissione è il trasformatore BT/MT.

In questo caso si valutano le emissioni dovute ai trasformatori di potenza 2500 kVA collocati nelle cabine di trasformazione. La presenza del trasformatore BT/MT viene usualmente presa in

considerazione limitatamente alla generazione di un campo magnetico nei locali vicini a quelli di cabina.

In base al *DM del MATTM del 29.05.2008, cap.5.2.1*, l'ampiezza delle Distanza di Prima Approssimazione (DPA) si determina come di seguito descritto.

Tale determinazione si basa sulla corrente di bassa tensione del trasformatore e considerando una distanza dalle fasi pari al diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore. Per determinare le DPA si applica quanto esposto nel cap. 5.2.1 del DM, e cioè:

$$\text{Equazione della curva: } \frac{Dpa}{\sqrt{I}} = 0.40942 \cdot x^{0.5241}$$

dove:

Dpa= Distanza di prima approssimazione [m];

I = Corrente nominale [A];

x = Diametro dei cavi [m].

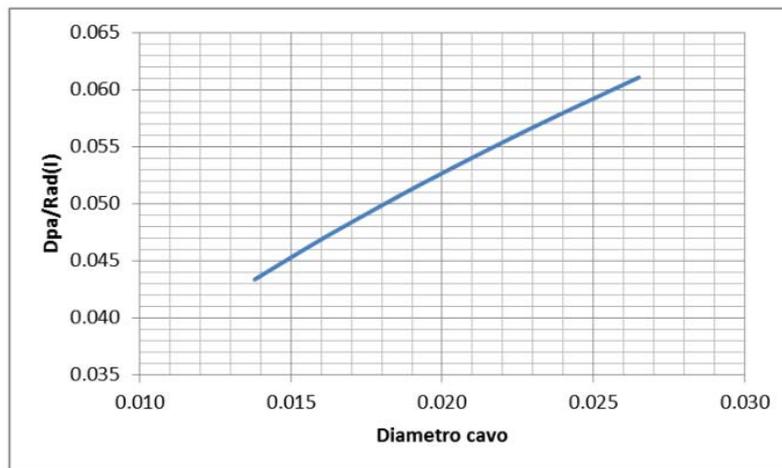


Figura 8: Rappresentazione dell'andamento del rapporto tra Dpa e radice della corrente nominale al variare del diametro dei cavi

Considerando che $I = 2'890$ A e che il cavo scelto sul lato BT del trasformatore è $3(6 \times 240)$ mm², con diametro esterno pari a circa 29,2 mm, si ottiene una DPA, arrotondata per eccesso all'intero superiore, pari a 4 m.

D'altra parte, nel caso in questione le cabine di campo sono posizionate all'aperto, all'interno dell'area recintata e normalmente non è permanentemente presidiata.

La stessa DPA si applica anche per le cabine di campo contenenti due trasformatori da 2500 kVA.

6.5 Sottostazione Elettrica

Nella futura sottostazione elettrica di trasformazione in consegna, denominata "Raddusa 380" ubicata nel comune di Ramacca (CT) la tensione verrà innalzata da 30 a 150 kV per l'immissione sulla RTN in alta tensione. La principale fonte di inquinamento elettromagnetico è il trasformatore da 25 MVA, a cui si aggiungono attrezzaggi in media ed alta tensione. Per la determinazione della DPA si può fare riferimento alla citata guida prodotta da Enel, la quale fornisce un valore precalcolato per una stazione con trasformatore da 63 MVA (essendo la potenza più del doppio di quella del trasformatore in esame, questa scelta risulta essere molto cautelativa). Come si vede dall'estratto sotto riportato, la DPA risulta essere di 14 metri dagli impianti in alta tensione e di 7 metri da quelli in media tensione. Poiché la recinzione al servizio della stazione ha dimensioni circa 65 x 100, e gli impianti in alta tensione sono collocati circa al centro, risulta che la DPA risulta quasi completamente interna al perimetro della stazione, e comunque molto distante dai primi fabbricati abitati posti a diverse centinaia di metri.

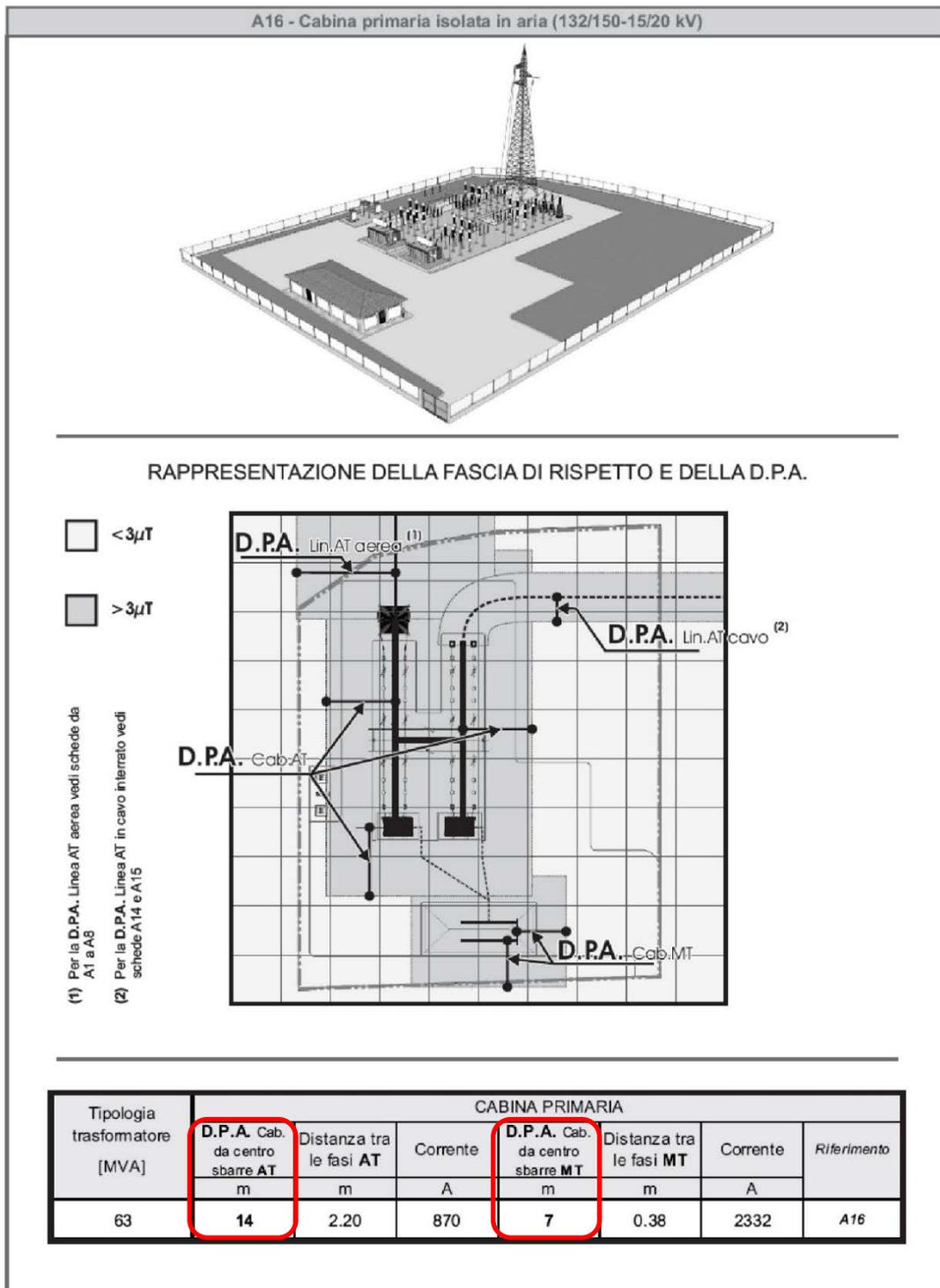


Figura 9: Estratto della guida di Enel sul calcolo della DPA: sottostazioni di trasformazione in AT

7. EFFETTI E STIME DI ESPOSIZIONE AI CEM NEI LUOGHI DI LAVORO

7.1 Effetti dell'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.

Al variare della soglia relativa al livello di esposizione, si possono avere nello specifico i seguenti effetti:

- vertigini e nausea provocati da campi magnetici statici (associati di norma al movimento, ma possibili anche in assenza di movimento);
- effetti su organi sensoriali, nervi e muscoli provocati da campi a bassa frequenza (fino a 100 kHz);
- riscaldamento di tutto il corpo o di parti del corpo causato da campi ad alta frequenza (pari o superiore a 10 MHz); in presenza di valori superiori a qualche GHz il riscaldamento si limita in misura sempre maggiore alla superficie del corpo;
- effetti su nervi e muscoli e riscaldamento causato da frequenze intermedie (100 kHz-10 MHz).



Figura 10: Effetti dei campi elettromagnetici con diverse gamme di frequenza (gli intervalli di frequenza non sono in scala)

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.

7.1.1 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 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.

Lavoratori esposti a particolari rischi	Esempi
Lavoratori portatori di dispositivi medici impiantabili attivi (Active Implanted Medical Devices, AIMD)	Stimolatori cardiaci, defibrillatori cardiaci, impianti cocleari, impianti nel tronco encefalico, protesi dell'orecchio interno, neurostimolatori, codificatori della retina, pompe impiantate per l'infusione di farmaci
Lavoratori portatori di dispositivi medici impiantabili passivi contenenti metallo	Protesi articolari, chiodi, piastre, viti, clip chirurgiche, clip per aneurisma, stent, protesi valvolari cardiache, anelli per annuloplastica, impianti contraccettivi metallici e tipi di dispositivi medici impiantabili attivi
Lavoratori portatori di dispositivi medici indossati sul corpo	Pompe esterne per infusione di ormoni
Lavoratrici in gravidanza	

Tabella 2: Lavoratori esposti a particolari rischi secondo la direttiva relativa ai campi elettromagnetici

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.

7.1.2 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. Si evidenzia che la possibilità offerta dal D.lgs. 81/08 di superare sistematicamente (e non solo

accidentalmente, caso in cui è previsto solo un controllo medico) i VA/VLE per gli effetti sensoriali ("flessibilità") e i VLE per gli effetti sanitari ("deroghe"), implica la necessità in questi casi di attivare un opportuno programma di sorveglianza sanitaria.

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.

7.2 Stime dell'esposizione ai CEM nei luoghi di lavoro

Come già accennato, l'impianto 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.

7.2.1 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).

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 sempre la conformità al VLE corrispondente.

La direttiva definisce una serie di LA differenti, alcuni dei quali applicabili simultaneamente. I livelli di azione riguardano gli effetti diretti o indiretti. Alle basse frequenze, i campi elettrici e magnetici possono essere considerati indipendenti (la cosiddetta «approssimazione quasi-statica») ed entrambi inducono campi elettrici nel corpo. Pertanto, alle basse frequenze esistono LA per i campi elettrici e magnetici. Ci sono anche LA per la corrente di contatto.

7.2.1.1 Valutazione dei livelli di azione previsti per gli effetti diretti

La conformità ai LA garantisce sempre la conformità ai corrispondenti VLE. Tuttavia, in molte situazioni sarà possibile superare il LA e mantenere comunque la conformità al VLE corrispondente. La relazione tra LA e VLE è illustrata nella Figura 11. Per quasi tutti i datori di lavoro, in quasi tutte le situazioni, i LA previsti per gli effetti diretti offrono un metodo relativamente semplice per dimostrare la conformità ai VLE corrispondenti. Tutti i LA sono definiti per campi non alterati dalla presenza del corpo del lavoratore.

Se non è possibile dimostrare la conformità ai LA, i datori di lavoro possono scegliere se attuare misure di protezione e prevenzione, oppure valutare direttamente la conformità ai VLE. Nel prendere tale decisione, i datori di lavoro non dovranno dimenticare che la valutazione effettuata in base ai VLE potrebbe comunque sfociare nell'obbligo di attuare misure di protezione e prevenzione. Il processo per la selezione dei livelli di azione previsti per gli effetti diretti è illustrato dal diagramma di flusso di cui alla Figura 14.

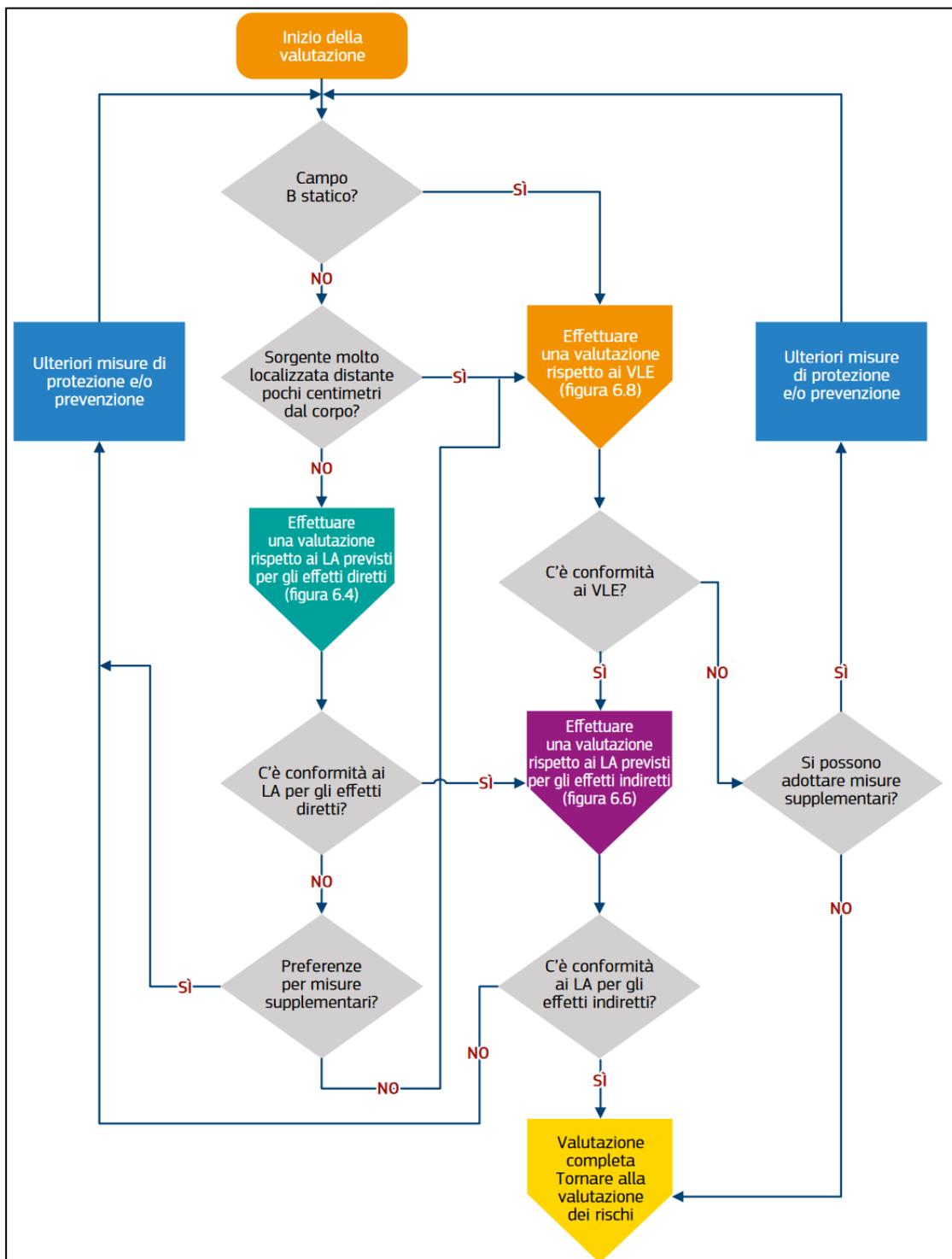


Figura 11: Processo per stabilire se occorre valutare la conformità ai LA oppure ai VLE

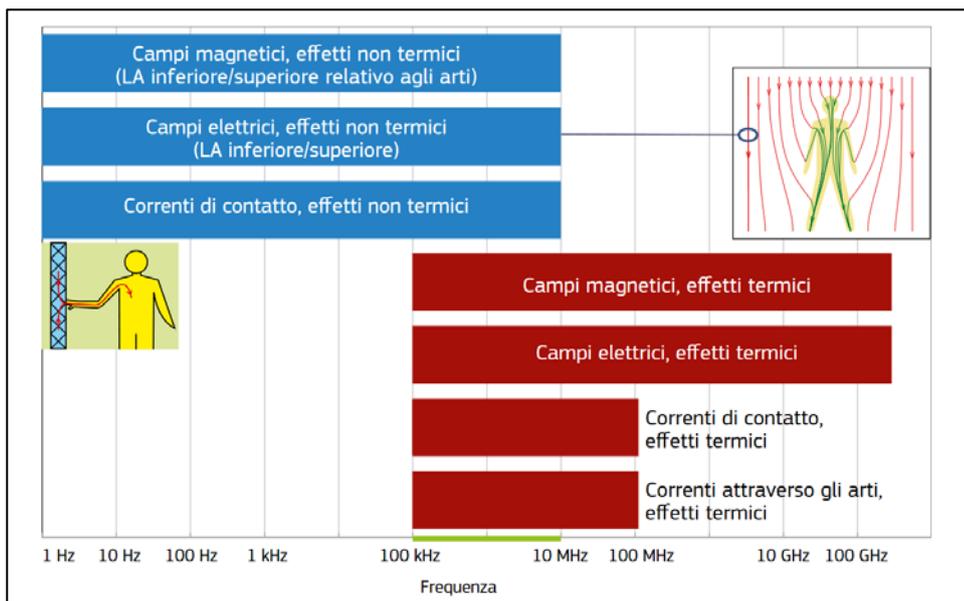


Figura 12: Gamma di frequenze in cui sono applicabili diversi LA

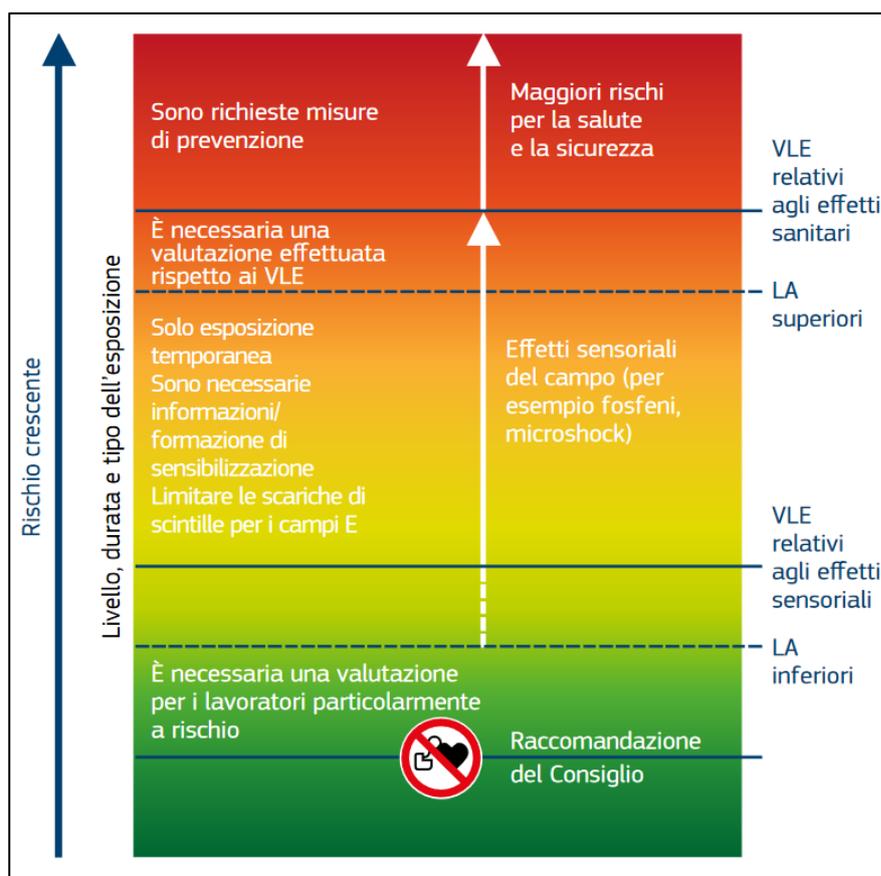


Figura 13: Rappresentazione schematica che illustra la relazione tra i valori limite di esposizione e i livelli di azione

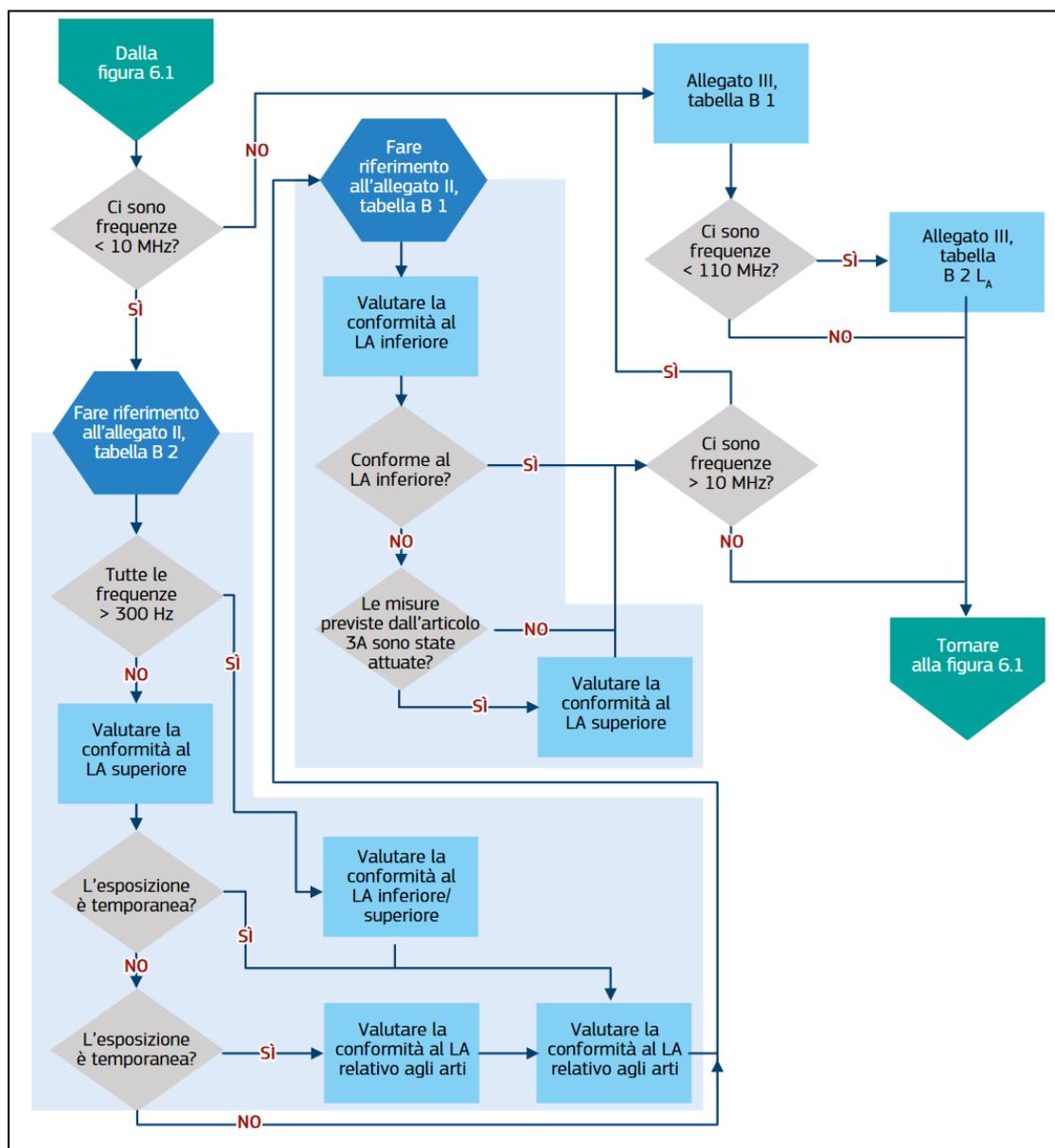


Figura 14: Diagramma di flusso per la selezione dei livelli di azione del campo elettrico (1 Hz-10 MHz) previsti per gli effetti diretti

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.

L'allegato II della direttiva 2013/40/UE del 26/06/2013 di riferimento è ALLEGATO II. Nello specifico ci interessano le tabelle B1 (Tabella 3) e B2 (Tabella 4), dove vengono riportati rispettivamente i valori di LA per esposizione a campi elettrici ed a campi magnetici.

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 [V m^{-1}] (RMS)	Intensità di campo elettrico LA(E) superiori [V m^{-1}] (RMS)
$1 \leq f < 25$ Hz	$2,0 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$
$25 \leq f < 50$ Hz	$5,0 \times 10^5/f$	$2,0 \times 10^4$
$50 \text{ Hz} \leq f < 1,64$ kHz	$5,0 \times 10^5/f$	$1,0 \times 10^6/f$
$1,64 \leq f < 3$ kHz	$5,0 \times 10^5/f$	$6,1 \times 10^2$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10$ MHz	$1,7 \times 10^2$	$6,1 \times 10^2$

Tabella 3: Tabella B1-LA per esposizione a campi elettrici compresi tra 1 Hz e 10 MHz

Dalla direttiva 2013/40/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

Tabella B2

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

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

Tabella 4: Tabella B2-LA per esposizione a campi magnetici compresi tra 1 Hz e 10 MHz

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

Nota B2-2: *i* LA inferiori e superiori sono i valori efficaci (RMS) uguali ai valori di picco divisi per $\sqrt{2}$ per i campi sinusoidali. Nel caso di campi non sinusoidali, la valutazione dell'esposizione effettuata in conformità dell'articolo 4 si basa sul metodo del picco ponderato (filtraggio nel dominio del tempo), spiegato nelle guide pratiche di cui all'articolo 14, ma possono essere applicate altre procedure di valutazione scientificamente provate e validate purché conducano a risultati approssimativamente equivalenti e comparabili.

Nota B2-3: *i* LA per esposizione a campi magnetici rappresentano i valori massimi nello spazio occupato dal corpo del lavoratore. Ciò

comporta una valutazione dell'esposizione prudente e una conformità automatica ai VLE in tutte le condizioni di esposizione non uniformi. Al fine di semplificare la valutazione della conformità ai VLE, effettuata ai sensi dell'articolo 4, in specifiche condizioni non uniformi, nella guida pratica di cui all'articolo 14 saranno stabiliti criteri relativi alla media spaziale dei campi misurati, sulla base di una dosimetria consolidata. Qualora si tratti di una sorgente molto localizzata, distante pochi centimetri dal corpo, il campo elettrico indotto è determinato caso per caso mediante dosimetria.

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

- LA mag inf = 1.000 μ T
- LA mag sup = 6.000 μ T
- LA mag arti = 18.000 μ T

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

7.2.1.2 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.

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 15.

Dall'esame della tabella B3 (Tabella 5), direttiva 2013/40/UE ALLEGATO II, si evince che il valore di LA per la corrente di contatto I_c alla frequenza di 50 Hz è pari a:

- LA corrcont = 1 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
$2,5 \leq f < 100$ kHz	0,4 f
100 kHz $\leq f \leq 10\ 000$ kHz	40

Tabella 5: Tabella B3-LA per corrente di contatto I_c

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

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

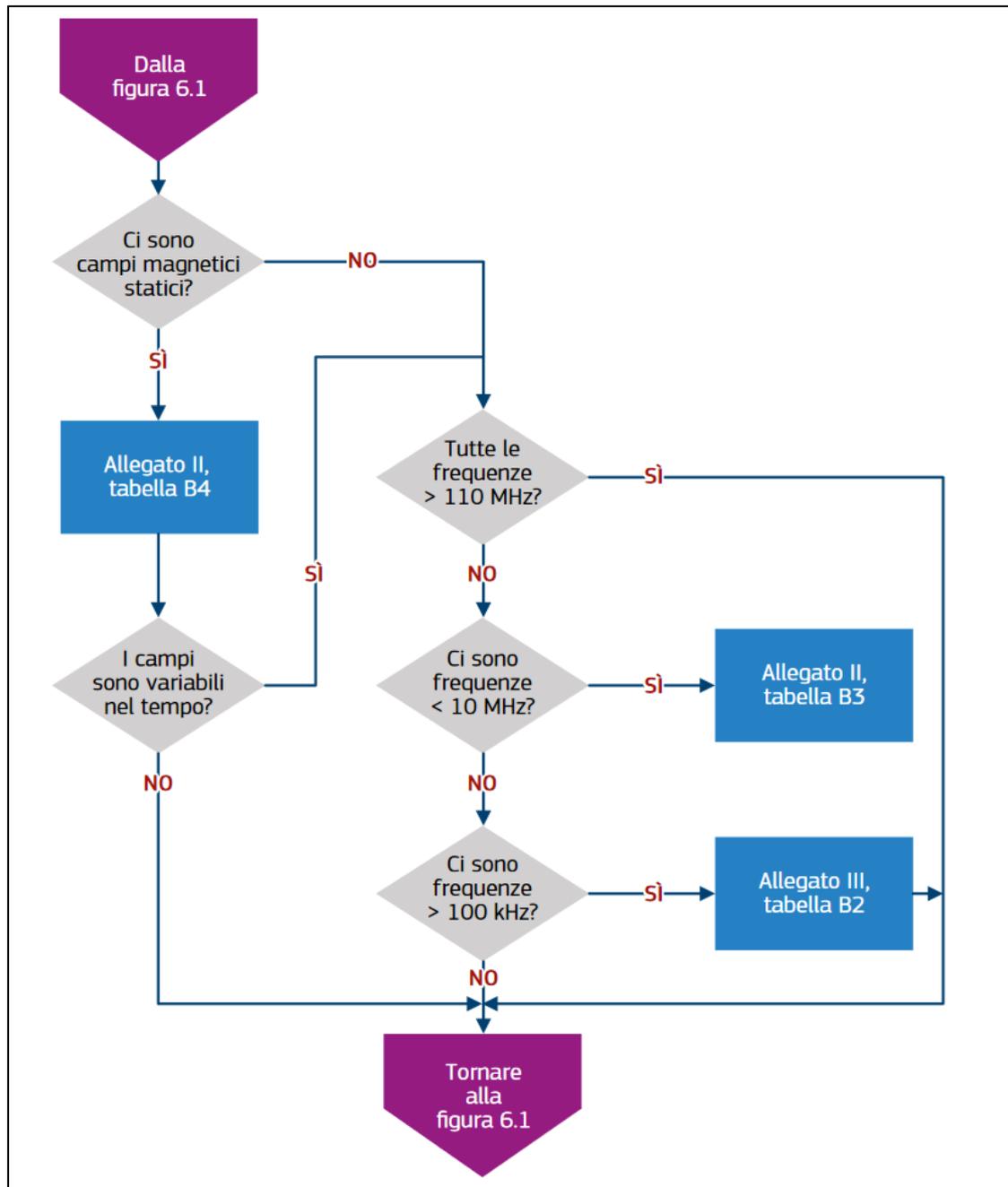


Figura 15: Diagramma di flusso per la selezione dei livelli di azione previsti per gli effetti indiretti

7.2.1.3 Valori limite di esposizione

La direttiva relativa ai campi elettromagnetici definisce VLE separati per gli effetti sensoriali e sanitari. 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 6 e Tabella 7.

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)

Tabella 6: Tabella A2-VLE relativi agli effetti sanitari per un'intensità di campo elettrico interno compresa tra 1 Hz e 10 MHz

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

Nota A2-2: *i VLE relativi agli effetti sanitari per il campo elettrico interno sono valori di picco spaziali per l'intero corpo del soggetto esposto.*

Nota A2-3: *i VLE sono valori di picco in termini temporali che sono pari ai valori efficaci (RMS) moltiplicati per $\sqrt{2}$ per i campi sinusoidali. Nel caso dei campi non sinusoidali, la valutazione dell'esposizione effettuata in conformità dell'articolo 4 si basa sul metodo del picco ponderato (filtraggio nel dominio del tempo), spiegato nella guida pratica di cui all'articolo 14, ma possono essere applicate altre procedure di valutazione scientificamente provate e validate, purché conducano a risultati approssimativamente equivalenti e comparabili.*

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)

Tabella 7: Tabella A3-VLE relativi agli effetti sensoriali per un'intensità di campo elettrico interno compresa tra 1 Hz e 400 Hz

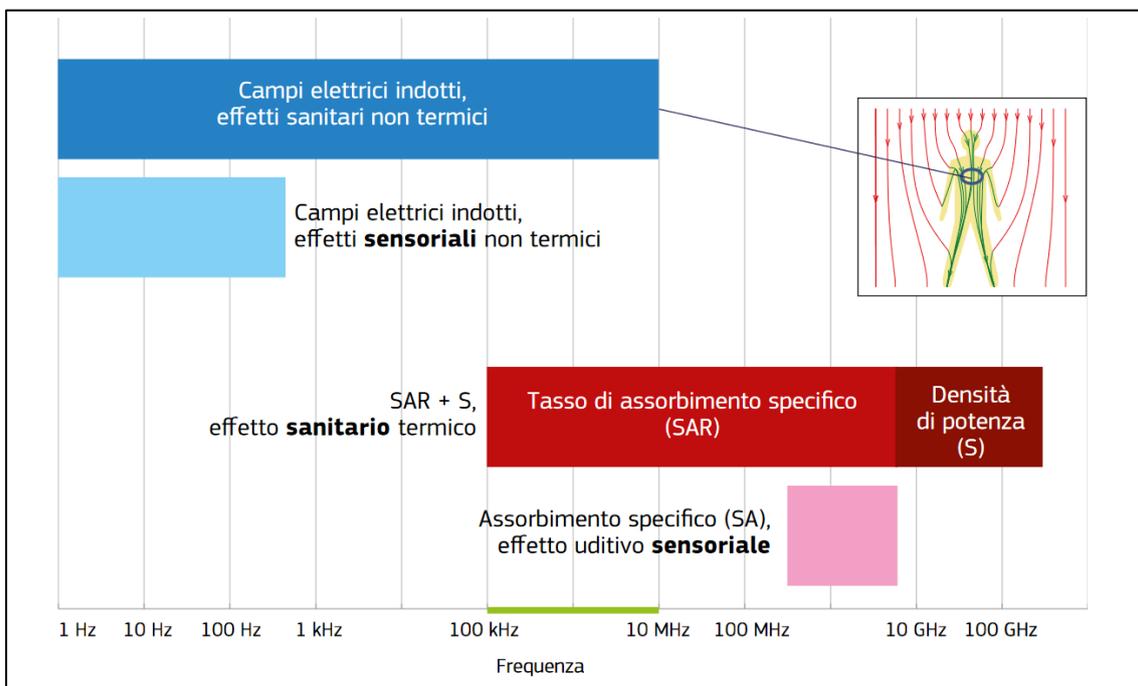


Figura 16: Gamma di frequenze nell'ambito della quale vengono utilizzati diversi VLE

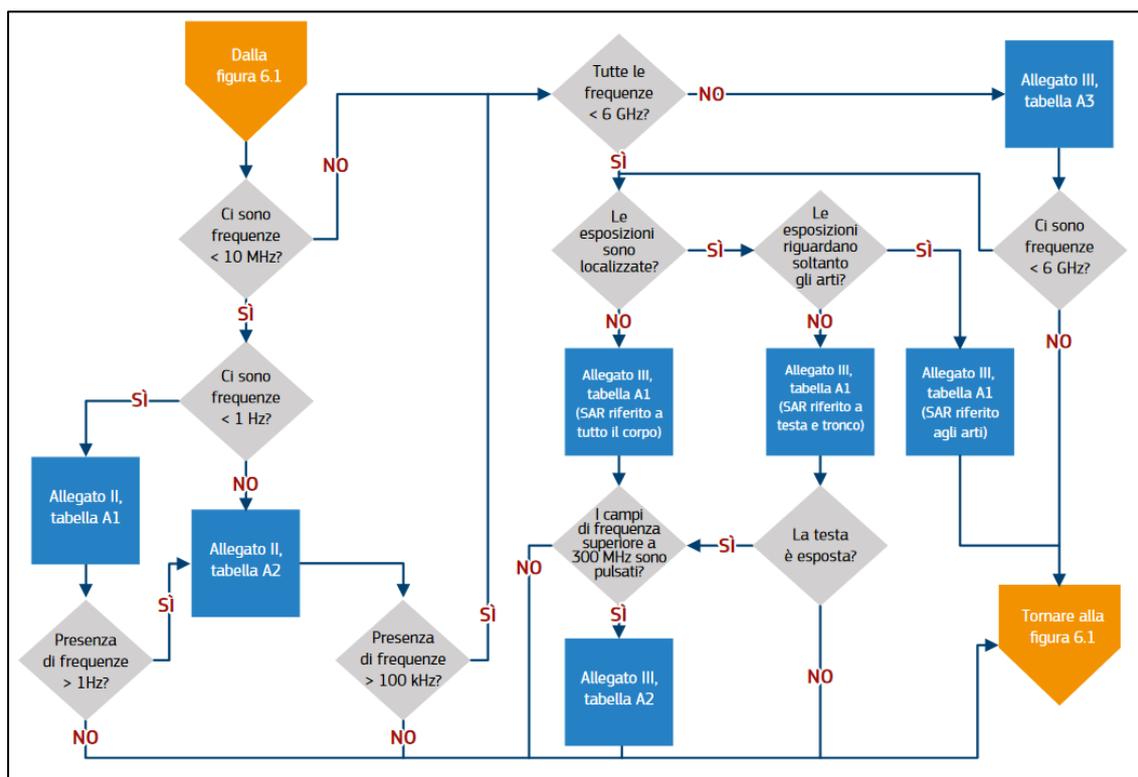


Figura 17: Diagramma di flusso per la selezione dei VLE

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

8. 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 della figura 'RSPP eventuali specifiche misure di protezione, che potrebbero richiedere una valutazione su base individuale a seconda del caso.

Alla luce di quanto sopra esposto, si può sinteticamente concludere quanto segue.

La massima corrente di impiego nei cavi in MT in uscita dall'avvolgimento primario del trasformatore BT/MT è pari a 38 A. Quindi l'induzione magnetica risulta essere inferiore a 3µTesla ad una distanza di 40 cm dal centro geometrico del cavo MT.

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 MT da 30 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 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 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 μ 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.

8.1 Figure e mansioni lavorative coinvolte

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

- 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.

9. MISURE DI PROTEZIONE E PREVENZIONE

La scelta di misure di protezione e prevenzione adeguate deve basarsi sull'esito della valutazione dei rischi e dovrà tener conto anche della natura del lavoro da svolgere. Si avranno così informazioni sul modo in cui possono verificarsi esposizioni pericolose.

Come si è detto nel capitolo 8, se è possibile stabilire che i livelli di azione (LA) o i valori limite di esposizione (VLE) non saranno superati e non ci sono rischi significativi derivanti da effetti diretti o per i lavoratori particolarmente a rischio, non saranno necessarie ulteriori misure. Per le aree in cui vi è il rischio di superare i LA o i VLE o che si producano effetti indiretti, occorrerà verificare se l'area è accessibile quando sono presenti dei campi. Se l'accesso all'area è già adeguatamente limitato per altri motivi (per esempio per la presenza di tensioni elevate) normalmente non saranno necessarie ulteriori misure. Diversamente, si dovranno attuare misure supplementari.

9.1 Misure tecniche

- **Schermatura:** è relativamente facile per campi elettrici a radiofrequenza e a bassa frequenza rinchiodono (es. gabbia di Faraday), mentre la schermatura di campi magnetici statici e a bassa frequenza (inferiori a circa 100 kHz) è più difficile. È possibile schermare questi campi tramite leghe metalliche (mu-metal). Poiché la schermatura passiva dei campi magnetici è un procedimento complesso, spesso viene utilizzata la schermatura attiva, soprattutto per i campi statici, generando un campo magnetico contrario.
- **Ripari:** ovvero limitazioni di accesso. Si possono installare fissi o mobili. Per forti CEM si possono collocare interblocchi.

- **Dispositivi di protezione sensibili:** barriere fotoelettriche, i tappeti sensibili alla pressione ecc., che rilevano l'ingresso o la presenza di una persona nell'area e possono interrompere il funzionamento delle apparecchiature che generano CEM.
- **Misure per evitare scintille e correnti di contatto.**

9.2 Misure organizzative

- Limitazioni di accesso;
- Segnaletica;
- Procedure scritte;
- Informazione e formazione;
- Supervisione e gestione;
- Progettazione e assetto dei luoghi di lavoro;
- Programmi di manutenzione;
- Coordinamento fra DDdL

10. CONCLUSIONI

Scopo del presente documento è stata la verifica del rispetto dei requisiti normativi in merito alla tutela da inquinamento elettromagnetico e la valutazione dei rischi ai fini dell'esposizione ai campi elettromagnetici per la tutela dei lavoratori che opereranno sull'impianto fotovoltaico.

Da quanto sopra esposto, si può dunque concludere che è garantita la piena compatibilità con i limiti imposti dalla legge e che pertanto risulta essere trascurabile o nullo l'impatto del campo elettromagnetico generato dalla realizzazione delle opere elettriche connesse al progetto agrivoltaico e che non esiste alcun pericolo per la salute dei lavoratori dovute ai campi elettrici e magnetici prodotti dall'impianto fotovoltaico da 25 MW da realizzarsi in agro del comune di Ramacca (CT).