

Impianto Fotovoltaico
"NOVI BRETELLA AUTOSTRADALE"
di potenza nominale pari a
15,621 MWp nel comune
di Novi Ligure (AL)

Verifica di assoggettabilità
(art. 19 D.lgs. 152/2006)

RELAZIONE CEM E VALUTAZIONE DEI RISCHI

09_NOV_CIV_00

GRUPPO DI LAVORO



E-PRIMA

E-PRIMA S.R.L.

Via Manganelli 20/g

95030 Nicolosi (ct)

tel: 095914116 - cell: 3339533392

PROPONENTE

A2A SOLAR 1 S.R.L.

Corso Di Porta Vittoria

4 - 20122 Milano P.IVA

IT14204820964

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROL	APPROV.
02					
01					
00	07/07/25	Prima Emissione	ING. S. SOTTILE	ING. S. SOTTILE	ING. S. SOTTILE

1 INTRODUZIONE.....	2
1.1 IL PROPONENTE.....	2
1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	2
1.2 DETTAGLIO OPERE DA REALIZZARE	4
2 VALUTAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI.....	5
2.1 CARATTERISTICHE TECNICHE IMPIANTO	5
2.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
2.3 LIMITI DI ESPOSIZIONE E VALORI DI ATTENZIONE	5
2.4 OBIETTIVI DI QUALITÀ	5
2.5 CONSIDERAZIONI PRELIMINARI ALLA VALUTAZIONE.....	5
1.1. VALUTAZIONI DI PROGETTO.....	7
2.6 VALUTAZIONI DI PROGETTO – ELETTRODOTTO 15KV	8
3 VALUTAZIONE DEI RISCHI PER I LAVORATORI PER L’ESPOSIZIONE A CAMPI ELETTROMAGNETICI	10
3.1 BASI TEORICHE	10
3.2 CONDIZIONI DI UTILIZZO	10
3.3 LEGENDA DEGLI ACRONIMI.....	10
3.4 LEGGI E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO.....	10
3.5 EFFETTI E STIME DI ESPOSIZIONE AI CEM NEI LUOGHI DI LAVORO	11
3.6 LAVORATORI PARTICOLARMENTE SENSIBILI AL RISCHIO DA ESPOSIZIONE CEM	12
3.7 ATTIVAZIONE DELLA SORVEGLIANZA SANITARIA	13
3.8 STIMA DELL’ESPOSIZIONE AI CEM NEI LUOGHI DI LAVORO	14
3.9 USO DEI VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE E DEI LIVELLI DI AZIONE	14
3.10 VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI AZIONE PREVISTI PER GLI EFFETTI DIRETTI	15
3.11 VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI AZIONE PREVISTI PER GLI EFFETTI INDIRETTI.....	19
3.12 VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE	20
3.13 VALUTAZIONE DEI RISCHI PER I LAVORATORI.....	23
4 CONCLUSIONI CIRCA LA POSSIBILITÀ DI ESPOSIZIONE AI CAPI ELETTROMAGNETICI	25
4.1 CABINE DI TRASFORMAZIONE	25
4.2 ELETRODOTTO MT	25



E-PRIMA

1 INTRODUZIONE

L'impianto La società **A2A SOLAR 1 S.R.L.**, con sede legale in Corso di Porta Vittoria 4, Milano, società controllata da A2A RINNOVABILI S.P.A. e attiva a livello nazionale nel settore dello sviluppo, della costruzione e della gestione di impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili, intende avviare il procedimento autorizzativo per la costruzione dell'impianto fotovoltaico denominato **NOVI BRETELLA AUTOSTRADALE**.

Il progetto prevede l'installazione di **24.600** moduli fotovoltaici da **635 Wp** ciascuno, montati su strutture a rotazione monoassiale, per una potenza nominale di picco pari a **15,621 MWp**, situato nel territorio del Comune di **Novi Ligure**, in provincia di **Alessandria**.

L'impianto sarà connesso alla rete elettrica nazionale attraverso la posa di un cavidotto interrato lungo strade esistenti e la realizzazione di una nuova cabina utente, progettata per garantire un'integrazione efficiente e affidabile nel sistema elettrico nazionale.

Le scelte progettuali e le soluzioni tecniche adottate derivano da uno studio approfondito che considera con attenzione i fattori ambientali e i vincoli paesaggistici, analizzando l'orografia del territorio, l'accessibilità al sito, la vegetazione e tutte le interferenze lungo il tracciato del cavidotto di connessione.

Questo progetto rappresenta un ulteriore passo avanti nella diffusione di energia rinnovabile, contribuendo alla decarbonizzazione e alla costruzione di un futuro più sostenibile.

La presente analisi è stata sviluppata al fine di raccogliere ed elaborare gli elementi necessari per documentare la compatibilità ambientale del progetto.

La presente relazione è tesa a definire gli aspetti tecnici relativi ad un impianto fotovoltaico "NOVI BRETELLA AUTOSTRADALE" con potenza di immissione totale di 15,34584 MW, sito nel comune di Novi Ligure (AL).

1.1 IL PROPONENTE

La società **A2A SOLAR 1 S.R.L.** attiva nel settore delle energie rinnovabili dalla fase di sviluppo alla costruzione e gestione degli impianti, integrando finanza agevolata e lo sviluppo di soluzioni basate sull'intelligenza artificiale, con l'obiettivo di massimizzare il ritorno degli investimenti, ha affidato a **E-PRIMA** la progettazione dell'impianto fotovoltaico NOVI BRETELLA AUTOSTRADALE, destinato alla produzione di energia elettrica da fonte solare.

1.2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area di intervento ricade nel comune di Novi Ligure in provincia di Alessandria. Il sito è circondato da terreni agricoli a uso seminativo e dista circa 1 km dalla zona industriale di Novi Ligure. L'area di progetto è raggiungibile dall'Autostrada A26/A7 verso Milano ed è individuabile alle seguenti coordinate geografiche:

Longitudine: 8°45'8.29"E;

Quota altimetrica media: 156 m s.l.m.



Figura 1: Individuazione dell'area oggetto di studio (fonte Google Earth)

L'area di progetto, la cui superficie complessiva è pari a circa 21 ha, è censita all'interno del Nuovo Catasto Terreni (N.C.T.) del comune di Novi Ligure (AL) con i seguenti identificativi:

- Foglio n 4 part.IIa: 1,3.
- Foglio n 1 part.IIa: 12,13,16;
- Foglio n 3 part.IIa: 7, 8, 12, 13, 14, 15, 16, 23, 24, 39, 40;

Invece la Cabina di sezionamento si trova del comune di Novi Ligure (AL) con i seguenti identificativi:

- Foglio n 8 part.IIa: 148.

Per la parte inerente al cavidotto si rimanda ai seguenti elaborati: 01_NOV_EL_00_PIANO PARTICELLARE e 13_NOV_AMB_00_CATASTALE.



E-PRIMA

1.3 DETTAGLIO OPERE DA REALIZZARE

Impianto fotovoltaico da 15.364,8 Kw da STMG, consta di n.2 lotti, rispettivamente:

- LOTTO 1 di 7,239 MW di generazione e 7.192 kW in c.a. nominale a $\cos\phi$ 0.9
- LOTTO 2 di 8,382 MW di generazione e 8.164,80 kW in c.a. nominale a $\cos\phi$ 0.9

L'impianto è costituito, complessivamente da:

- **Numero campi fotovoltaici:** 50
- **Moduli FV da 635 Wp:** 24.600
- **Numero Inverter Sungrow SG350HX:** 50
- **Numero di stringhe:** 1.025 da 24 moduli FV
- **Numero strutture 1P da 12 MF:** 88
- **Numero strutture 1P da 24 MF:** 149
- **Numero strutture 1P da 48 MF:** 416
- **Numero totale di trasformatori:** 11
- **Potenza in immissione:** 15,345 MW, appena inferiore ai 15,364 MW dell'STMG.



2 VALUTAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI

2.1 CARATTERISTICHE TECNICHE IMPIANTO

Riguardo i campi FV, si prevede l'installazione di undici cabine di trasformazione, di due cabine utente con apparati MT e di due cabine di consegna POD per la connessione alla rete.

2.2 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".

2.3 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 μ 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 μ T, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle condizioni di esercizio nominali.

2.4 OBIETTIVI DI QUALITÀ

Nelle aree di cui sopra (aree gioco per l'infanzia, abitazioni ecc.), per quanto distanti dall'impianto, i limiti di qualità da imporre scende a 3 μ T per l'induzione magnetica.

2.5 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 esame, è prevista la realizzazione delle linee in MT interrate. 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 interrimento, distanza tra i cavi e dal punto di osservazione, presenza di elementi schermanti quali materiali conduttori.

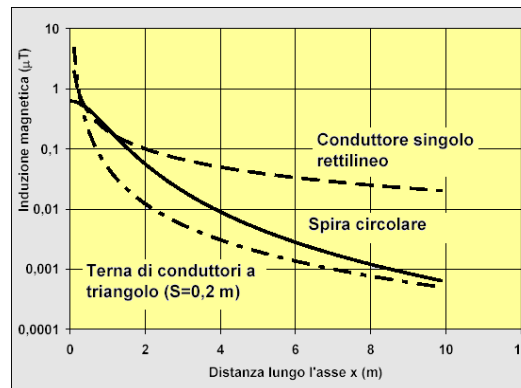


Figura 2: induzione magnetica in funzione della distanza

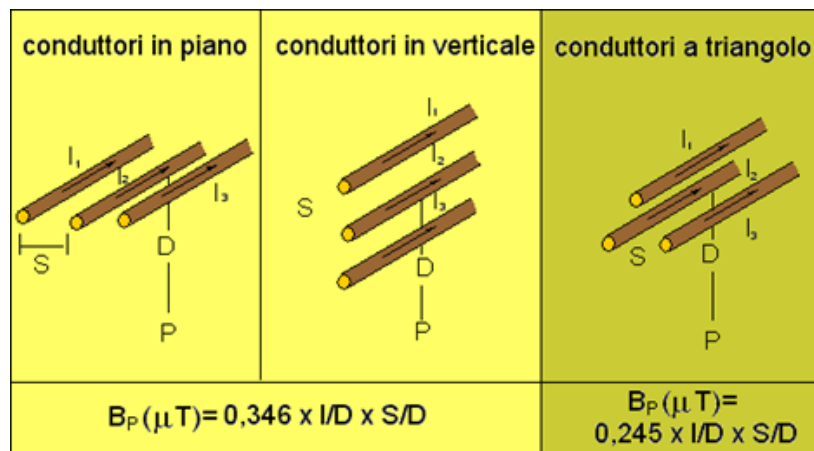


Figura 3: Induzione magnetica in funzione della configurazione

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, fa sì che l'obiettivo di qualità di 3 μT venga raggiunto a distanze brevissime (0,5 – 0,8 m) dall'asse del cavo.

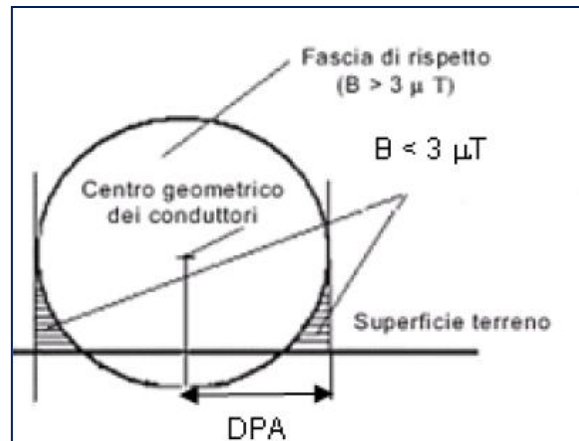


Figura 4: fascia di rispetto del conduttore

2.6. VALUTAZIONI DI PROGETTO

Le fonti principali di emissione risultano in corrispondenza delle stazioni di trasformazione e presso le cabine di campo BT.

Per la valutazione verrà utilizzato il modello della CEI R014 per l'analisi del campo magnetico generato dai conduttori dal secondario BT dei trasformatori; su cui afferiscono i circuiti in uscita dai quadri BT.

L'individuazione della fascia di rispetto dai conduttori attraversati da forti correnti, con il calcolo della distanza al valore limite di $B=3\mu T$, 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 i trasformatori in questione si utilizza il grafico seguente che 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 $3 \mu T$:

La fascia di rispetto teorica ha pertanto un raggio pari a 8,9 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 dei trasformatori 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.

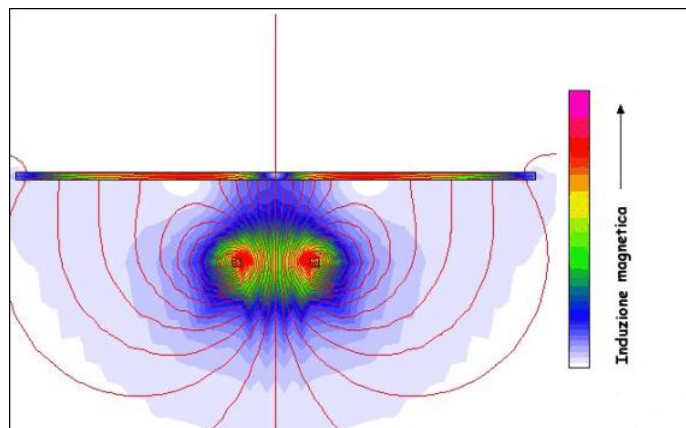


Figura 5: Sezione stradale con linee di campo

2.7. VALUTAZIONI DI PROGETTO – ELETTRODOTTO 15KV

Per la realizzazione del cavidotto di collegamento in AT di collegamento alla rete, saranno considerati tutti gli accorgimenti che consentono la minimizzazione degli effetti elettrici e magnetici sull’ambiente e sulle persone. In particolare, la scelta di operare con linee in AT interrate a circa 140 cm, permette di eliminare la componente elettrica del campo, grazie all’effetto schermante del terreno. Nel caso in questione, lo studio del campo magnetico è stato effettuato, alla tensione nominale di 15 kV e corrente pari a 360 A; i valori del campo magnetico sono stati misurati ad altezza del suolo. Più precisamente, i risultati di seguito riportati illustrano l’andamento del campo magnetico in funzione della distanza dall’asse dei conduttori e l’andamento del campo magnetico su di un asse ortogonale all’asse dei conduttori. Si terrà conto nel seguito per il modello del sistema di cavi unipolari posati in piano e non elicordati.

Come infatti suggerito dalla norma CEI 106-11, per i cavi unipolari disposti in piano è possibile ricorrere ad una espressione approssimata del campo magnetico, come di seguito riportato.

$$B = \frac{P \cdot I}{R^2} \cdot 0,2 \cdot \sqrt{3} \quad [\mu T]$$

dove B [μT] è l’induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal conduttore centrale, P [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di intensità pari a I [A].

La tabella che segue mostra i valori della distribuzione, con un intervallo di campionamento dei valori in ascissa (ossia della distanza dall’asse centrale) pari a 0,5 m.

DIST TRA CONDUTTORI	DISTANZA DAI COND (R)	INDUZIONE MAGNETICA B
[m]	[m]	[μT]
0,1	1,00	12,47076581
0,1	2,00	3,117691454
0,1	3,00	1,385640646
0,1	4,00	0,779422863
0,1	5,00	0,498830633

0,1	6,50	0,295166055
0,1	7,00	0,254505425
0,1	8,00	0,194855716

Si ricava che alla distanza di 2 metri dai conduttori l'induzione magnetica è di $3,11 \mu\text{T}$ e, ovviamente, aumentando la distanza decresce con andamento parabolico.

Il grafico che segue mostra la distribuzione di tali valori in funzione della distanza dall'asse centrale, considerando dei valori di campo di induzione magnetica calcolati rispetto al suolo.

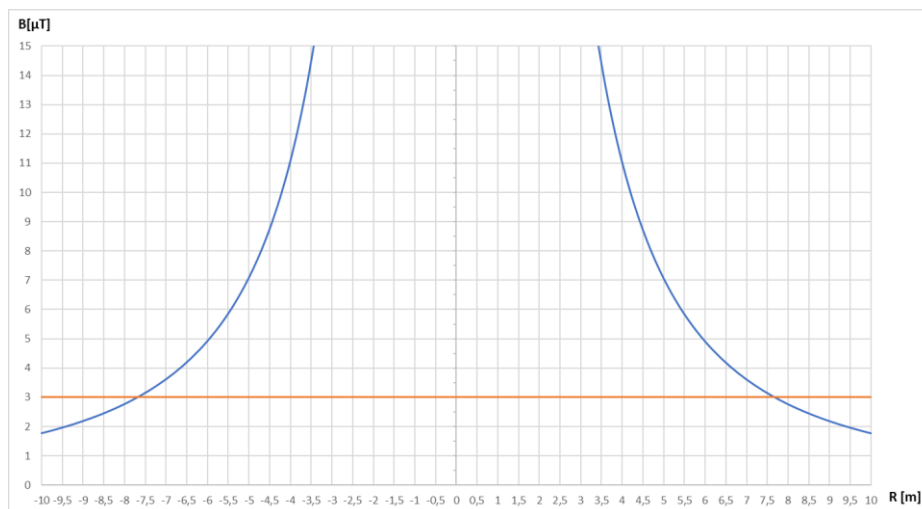


Figura 6: Andamento induzione magnetica

Pertanto, relativamente all'elettrodotto in MT viene individuata una fascia di rispetto complessiva di 3,5 m centrata sull'asse del cavidotto al di fuori della quale è garantito il rispetto dell'obiettivo di qualità richiesto.



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

3.6. BASI TEORICHE

L'impianto di produzione, 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.

3.7. CONDIZIONI DI UTILIZZO

L'impianto 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;

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

- elettricista / manutentore elettro-meccanico specializzato.

3.8. 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 attenzione 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.

3.9. LEGGI E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

- 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 2013/35/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
 - o 26 giugno 2013 sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici).

3.10. 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.

3.11. LAVORATORI PARTICOLARMENTE SENSIBILI AL RISCHIO DA ESPOSIZIONE 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 dispositivi 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 $0,5 \mu\text{T}$ 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 $3 \mu\text{T}$ (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 ($> 100 \mu\text{T}$).

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 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 impiantati attivi.
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.

3.12. 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.

3.13. STIMA 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.

3.14. 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.7 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 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.



3.15. 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 3. 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 4.

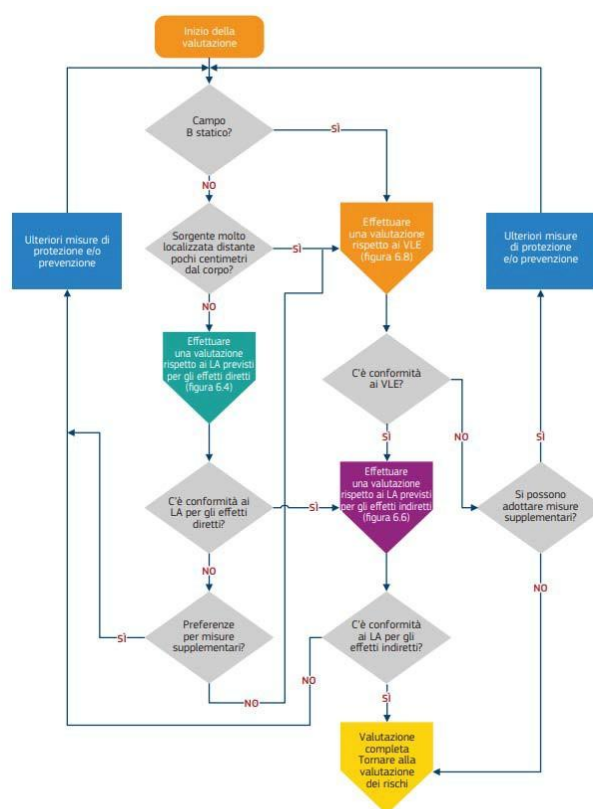


Figura 7: Processo per stabilire se occorre valutare la conformità ai LA oppure ai VLE

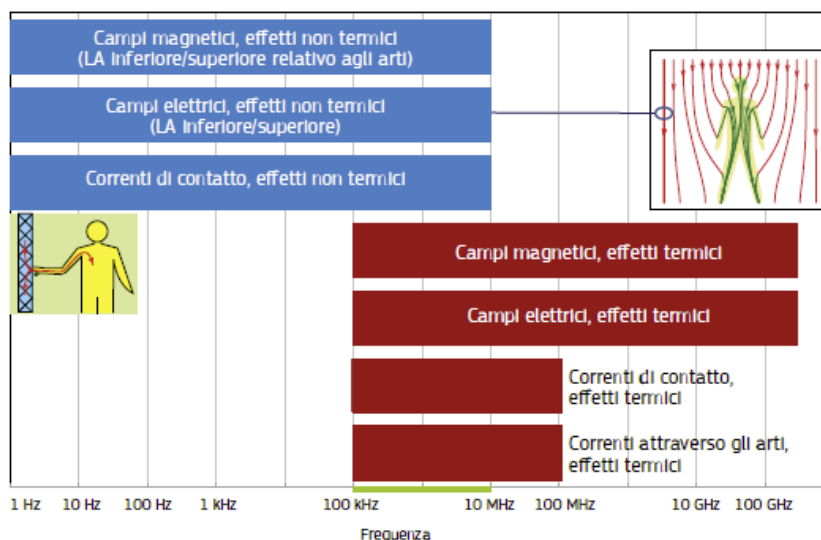


Figura 8: Gamma di frequenze in cui sono applicabili diversi LA.

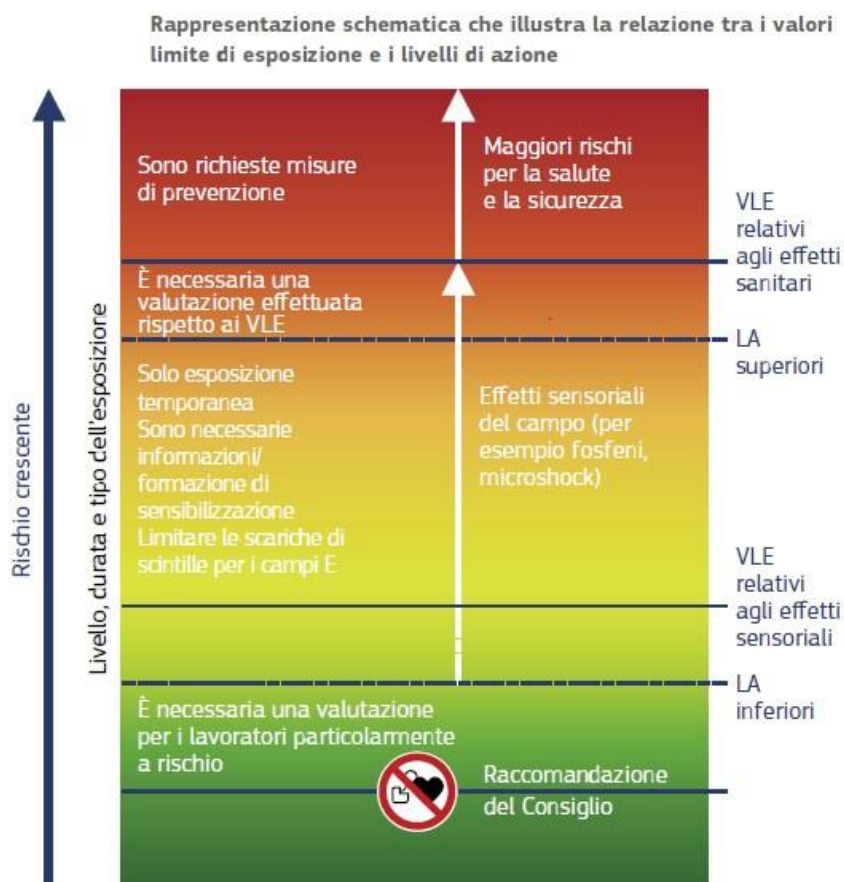
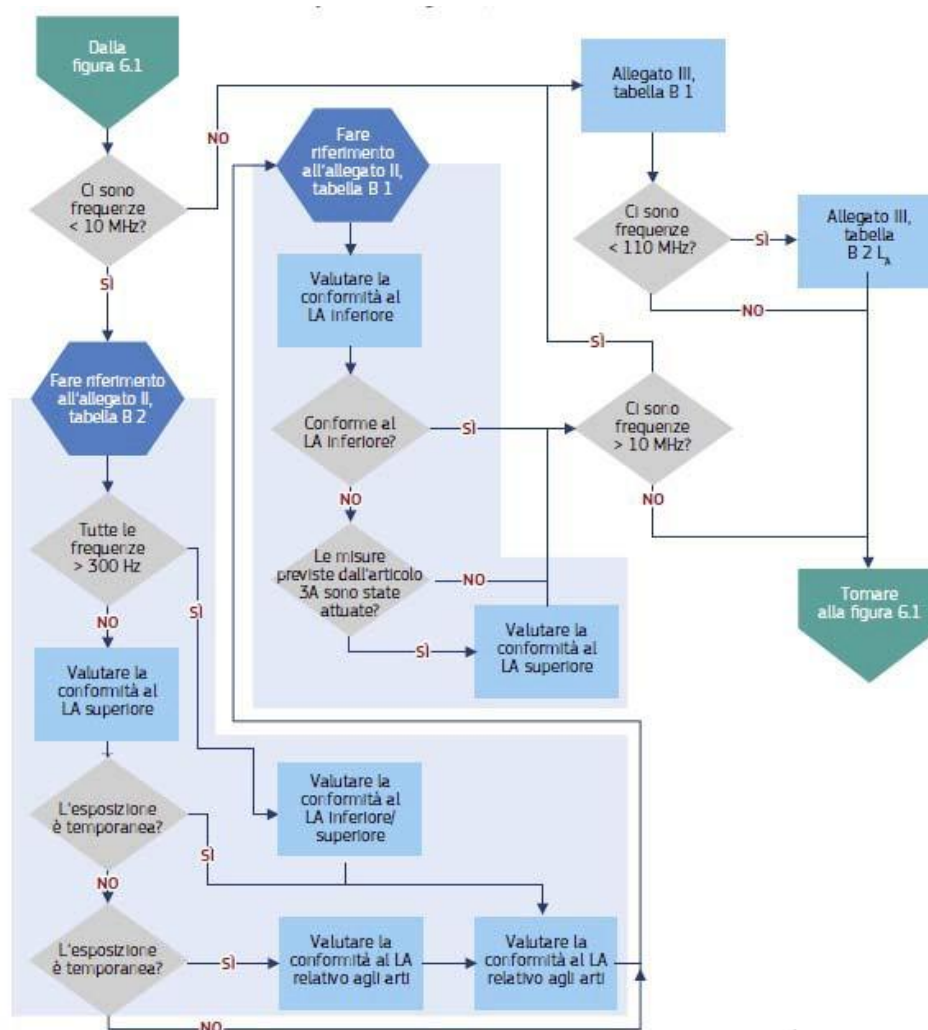


Figura 9: Rappresentazione schematica che illustra la relazione tra i valori limite di esposizione e i livelli di azione.



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.

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

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 μT ;
- LA mag sup = 6.000 μT ;
- LA mag arti = 18.000 μT .

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)
$1 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$
$25 \leq f < 50 \text{ Hz}$	$5,0 \times 10^5/f$	$2,0 \times 10^4$
$50 \text{ Hz} \leq f < 1,64 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^5/f$	$1,0 \times 10^6/f$

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.

3.16. 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. 11).

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 11.

Dall'esame della figura, 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 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	$0,4 f$
$100 \text{ kHz} \leq f \leq 10\,000$ kHz	40

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

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

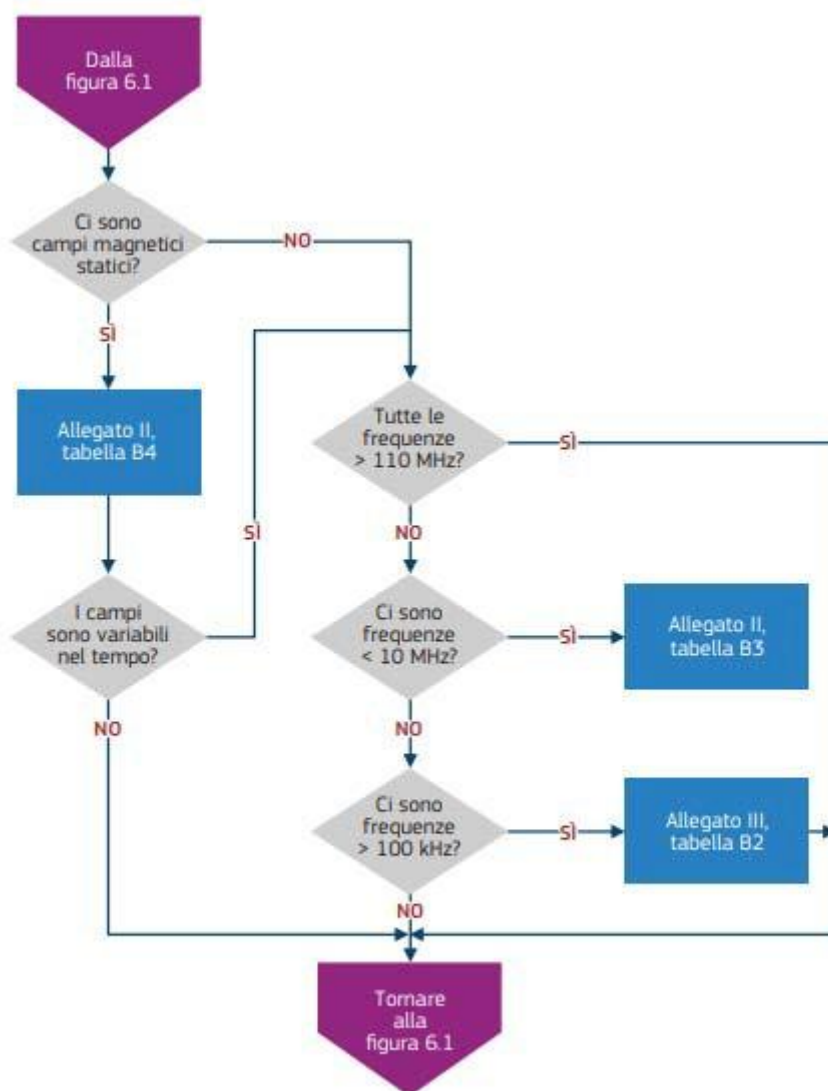


Figura 11: Diagramma di flusso per la selezione dei livelli di azione previsti per gli effetti indiretti ("Allegato" si riferisce agli allegati della direttiva sui campi elettromagnetici).

3.17. VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE

La direttiva relativa ai campi elettromagnetici definisce VLE separati per gli effetti sensoriali e sanitari (figura 13). 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)

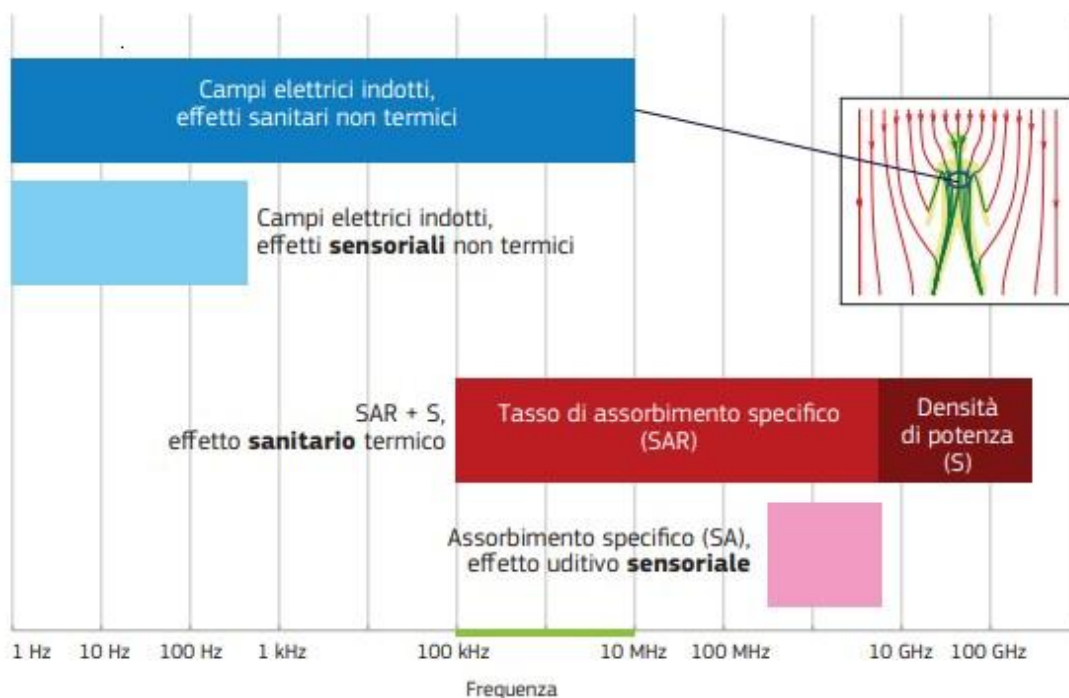
Nota A2-1: f è la frequenza espressa in Hertz (Hz).

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.

Figura 12: Gamma di frequenze nell'ambito della quale vengono utilizzati diversi VLE.

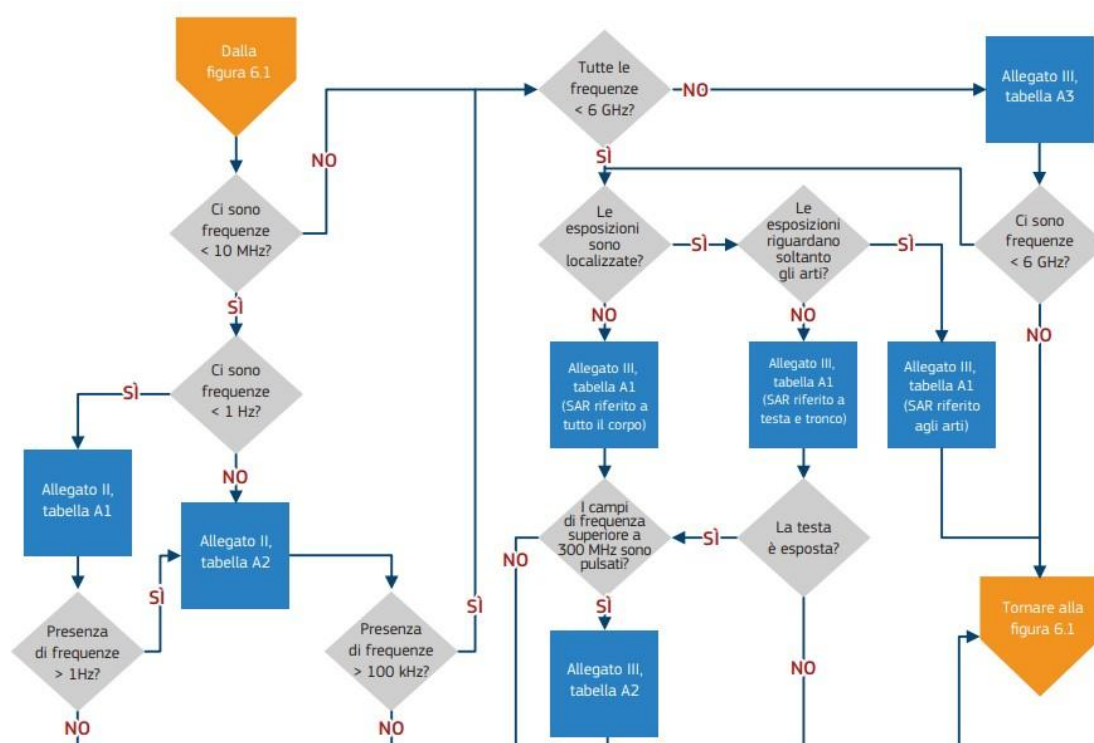


Figura 13: Diagramma di flusso per la selezione dei VLE

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

3.18. VALUTAZIONE DEI RISCHI 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 sopra esposte analisi si deduce che l'induzione magnetica risulta essere inferiore a $3\mu\text{Tesla}$ ad una distanza di 3,5 m circa dal centro geometrico del cavo entrante nei trasformatori e 3,2 m dal centro geometrico del cavidotto 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 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 dei trasformatori, si è assunto il valore massimo di 1.666 A, 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 $3\mu\text{T}$ 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 fotovoltaico:

- 1) elettricista / manutentore elettro-meccanico specializzato,
 - 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 21, 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.



E-PRIMA

4. CONCLUSIONI CIRCA LA POSSIBILITÀ DI ESPOSIZIONE AI CAPI ELETTROMAGNETICI

4.6. CABINE DI TRASFORMAZIONE

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.

4.7. ELETRODOTTO MT

Nel caso di cavi unipolari posati in piano i campi elettromagnetici risultano di modesta entità, di poco superiori agli obiettivi di qualità, ma comunque inferiori ai limiti imposti dalla normativa. Sono state individuate differenti casistiche, e per ciascuna di esse è stata determinata la DPA corrispondente.

In tutti i casi, l'entità delle DPA è tale da ricadere all'interno della carreggiata stradale lungo la quale giacciono i cavidotti, senza interferenze con luoghi da tutelare.

DATA

07/07/2025

Ing. Sergio Sottile

