



REGIONE SICILIANA
 PROVINCIA DI CATANIA
 COMUNE DI RAMACCA



PROGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO DA REALIZZARE NEL COMUNE DI RAMACCA (CT) IN CONTRADA GIUMENTA AL FOGLIO N.36 P.LLA 13, AL FOGLIO N.75 P.LLE 7, 87 E 88, AL FOGLIO N.76 P.LLE 3, 5, 7, 8, 9, 76, 105 E 106, AL FOGLIO N.81 P.LLE 17, 18, 19, 31, 32, 39, 43, 44, 89, 90, 91 E 92, E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE NEL COMUNE DI RAMACCA (CT) IN CONTRADA ALBOSPINO AL FOGLIO N.76, AVENTE UNA POTENZA PARI A **50.652,00 kWp**, DENOMINATO "**RAMACCA**"

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE TECNICA - VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE DEI LAVORATORI AI CEM AI SENSI DEL D.LGS 159/2016



LIV. PROG.	RIF. COD. PRATICA TERNA	CODICE ELABORATO	TAVOLA	DATA	SCALA
PD	202001120	RS10REL0071A0	Re.2e	23.12.2021	-

REVISIONI

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO

RICHIEDENTE E PRODUTTORE

ENTE



HF SOLAR 4 S.r.l. - Viale Francesco Scaduto n°2/D - 90144 Palermo (PA)

FIRMA RESPONSABILE

PROGETTAZIONE



Ing. D. Siracusa
 Ing. A. Costantino
 Ing. C. Chiaruzzi
 Ing. G. Schillaci
 Ing. G. Buffa
 Arch. M. Gullo
 Arch. Y. Kokalah
 Arch. S. Martorana
 Arch. F. G. Mazzola
 Arch. A. Calandrino
 Arch. G. Vella

HORIZONFIRM S.r.l. - Viale Francesco Scaduto n°2/D - 90144 Palermo (PA)

FIRMA DIGITALE PROGETTISTA



FIRMA OLOGRAFA E TIMBRO PROGETTISTA

**Valutazione dell'esposizione ai campi elettrici,
magnetici ed elettromagnetici (CEM), per la tutela della
popolazione in applicazione del D.P.C.M. 08/07/2003 e
dell'esposizione dei lavoratori che opereranno
sull'impianto agrivoltaico in applicazione del D. Lgs.
159/2016**

Sommario

Premessa.....	1
Riferimenti Normativi	3
1. Definizioni.....	5
2. Generalità sui CEM e classificazione dei potenziali effetti sul corpo umano	7
3. Esposizione di carattere professionale e non professionale ai CEM	9
3.1 Limiti per l'esposizione di carattere professionale – Effetti non termici.....	10
3.2 Limiti per l'esposizione di carattere professionale – Effetti termici.....	12
3.3 Limiti per l'esposizione di carattere non professionale.....	14
4. Valutazione del rischio CEM	17
4.1 Identificazione delle sorgenti di emissione.....	18
4.2 Stringhe fotovoltaiche	19
4.3 Cavi elettrici di bassa tensione in corrente continua	24
4.4 Cabine elettriche di conversione e trasformazione dell'energia elettrica prodotta	25
4.4.1 Classificazione delle zone.....	32
4.4.2 Misure di protezione da adottare.....	33
4.5 Linee elettriche di media tensione.....	33
4.5.1 Classificazione delle zone.....	42
4.5.2 Misure di protezione da adottare.....	43
4.6 Sottostazione Elettrica di Utente MT/AT.....	44
4.6.1 Classificazione delle zone.....	51
4.6.2 Misure di protezione da adottare.....	52
4.7 Elettrodotto AT 150 kV	53
4.7.1 Campo elettrico	54
4.7.2 Campo induzione magnetica.....	55
4.7.3 Protezione dei lavoratori dalle esposizioni ai CEM.....	56
4.7.4 Classificazione delle zone.....	62
4.7.5 Misure di protezione da adottare.....	62
4.8 Conclusioni.....	63
5. Ulteriori misure di protezione e prevenzione.....	66
5.1 Segnaletica.....	66
5.2 Informazione e formazione dei lavoratori e dei rappresentanti dei lavoratori per la sicurezza	69
5.3 Sorveglianza sanitaria	70
5.4 Schermatura del campo magnetico	70
5.4.1 Schermi ferromagnetici.....	71
5.4.2 Schermi conduttori	71

5.5	Interventi di riduzione del campo magnetico generato da cabine elettriche MT/BT	72
5.6	Azione sulla configurazione e scelta ottimale dei componenti della cabina	72
5.7	Utilizzazione degli schermi.....	72
5.7.1	Interventi di riduzione del campo magnetico generato dalle linee elettriche in cavo interrato	73
5.7.2	Interventi di riduzione del campo magnetico generato dalla Sottostazione Elettrica di Utenza	74
5.7.3	Interventi di riduzione del campo magnetico generato dalla linea elettrica in alta tensione a 150 kV	74

Premessa

La Società “**HF SOLAR 4 S.r.l.**” ha intrapreso l’iniziativa per la realizzazione di un impianto agrivoltaico per la produzione di energia elettrica da fonte energetica rinnovabile attraverso tecnologia fotovoltaica, nel territorio comunale di Ramacca (CT) in contrada Giumenta al foglio n.36 p.lla 13, al foglio n.75 p.lle 7, 87 e 88, al foglio n.76 p.lle 3, 5, 7, 8, 9, 76, 105 e 106, al foglio n.81 p.lle 17, 18, 19, 31, 32, 39, 43, 44, 89, 90, 91 e 92, e delle relative opere di connessione.

L’impianto oggetto di progettazione, ha una potenza di picco¹ pari a **50.652,00 kWp** e sarà connesso alla Rete Elettrica di Trasmissione Nazionale RTN a 150 kV. Lo schema di connessione alla Rete, prescritto dal Gestore della Rete Elettrica di Trasmissione con preventivo di connessione ricevuto in data 08/10/2020 e identificato con Codice Pratica 202001120 Prot. Terna P20200064150, prevede che l’impianto venga collegato in antenna a 150 kV con la sezione a 150 kV di una nuova stazione elettrica (SE) RTN 380/150 kV da inserire in entra-esce sulla futura linea RTN a 380 kV, “Chiaromonte Gulfi -Ciminna” di cui al Piano di Sviluppo Terna.

Ai sensi dell’art. 21 dell’allegato A alla deliberazione Arg/elt/99/08 e s.m.i. dell’Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente, il nuovo elettrodotto in antenna a 150 kV per il collegamento della centrale alla stazione elettrica della RTN, costituisce **Impianto di Utenza per la Connessione**, mentre lo stallo arrivo produttore a 150 kV nella suddetta stazione costituisce **Impianto di Rete per la Connessione**. La restante parte di impianto, a valle dell’impianto di utenza per la connessione, si configura, ai sensi della Norma CEI 0-16, come **Impianto di Utenza**.

La presente relazione tecnica è stata predisposta al fine di valutare l’esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (CEM) generati dall’impianto durante l’esercizio e il rischio derivante dall’esposizione nei luoghi di lavoro, ai sensi del Titolo VIII, Capo IV del D. Lgs. 81/2008 e s.m.i. **“Testo Unico in materia di salute e sicurezza sul lavoro”**, **come modificato ed integrato dal D. Lgs. 159/2016, che attua la Direttiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 26 giugno 2013, sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all’esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) e che abroga la direttiva 2004/40/CE.**

Considerando che l’art. 209 del Testo Unico sulla Sicurezza individua le Norme tecniche del Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) come riferimento per l’identificazione dell’esposizione ai CEM nel campo di frequenza tra 0 Hz e 300 GHz e nella valutazione dei rischi derivanti

¹ Per potenza di picco del Campo Fotovoltaico si intende, ai sensi della Norma CEI 0-16, la somma delle potenze nominali dei moduli fotovoltaici installati valutate in condizioni STC

dall'esposizione ai CEM nei luoghi di lavoro, il suddetto comitato ha pubblicato in data 01/2021 la ***“Guida alla valutazione dei rischi per la salute e la sicurezza derivante dall'esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (CEM) fra 0 Hz e 300 GHz nei luoghi di lavoro”***, la quale integra i contenuti della Norma CEI EN 50499 “Procedura per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici” e la disciplina sulla protezione dalle esposizioni ai CEM ai sensi della legislazione nazionale vigente, proponendo un approccio operativo semplificato per la valutazione dei rischi derivanti dall'esposizione ai CEM da parte di tutti i soggetti, interni ed esterni, coinvolti nell'organizzazione e gestione della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro, a cui si è fatto riferimento per la redazione del presente elaborato.

Riferimenti Normativi

I principali riferimenti Normativi e Legislativi a cui si è fatto riferimento per la redazione del presente elaborato sono quelli di seguito riportati:

- Raccomandazione del Consiglio del 12 luglio 1999 relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz (1999/519/CE).
- Direttiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 26 giugno 2013 sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (ventesima direttiva particolare ai sensi dell'Art. 16, par. 1, della direttiva 89/391/CEE) e che abroga la direttiva 2004/40/CE.
- Testo coordinato con il D.Lgs. 3 agosto 2009, n. 106 – Attuazione dell'Art.1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.
- 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.
- Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici.
- D.Lgs. 159/2016: 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.
- D.P.C.M. 8 luglio 2003: Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz.
- D.P.C.M. 8 luglio 2003: Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti.
- Norma CEI 211-6: Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz – 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana.
- Norma CEI 211-7: Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz – 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana.
- Norma CEI EN 50499: Procedura per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici.

- CEI EN 62226-1: Esposizione ai campi elettrici e magnetici nell'intervallo delle frequenze basse e intermedie – Metodi di calcolo della densità di corrente e del campo elettrico interno indotti nel corpo umano -Parte 1: Aspetti generali.
- CEI EN 62226-2-1: Esposizione ai campi elettrici e magnetici nell'intervallo delle frequenze basse e intermedie – Metodi di calcolo della densità di corrente e del campo elettrico interno indotti nel corpo umano -Parte 2-1: Esposizione ai campi magnetici- Modelli 2D.
- CEI EN 62226-3-1: Esposizione ai campi elettrici e magnetici nell'intervallo delle frequenze basse e intermedie – Metodi di calcolo della densità di corrente e del campo elettrico interno indotti nel corpo umano -Parte 3-1: Esposizione ai campi elettrici – Modelli analitici e numerici 2D;
- CEI EN IEC 62311: Valutazione degli apparecchi elettronici ed elettrici in relazione alle restrizioni per l'esposizione umana ai campi elettromagnetici (0 Hz – 300 GHz).
- Linea Guida ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz).
- Linea Guida ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to electric fields induced by movement of the human body in a static magnetic field and by time varying magnetic fields below 1 Hz.
- Linea Guida ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz).
- Linea Guida ICNIRP: Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields.
- Linea Guida ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz).

1. Definizioni

Per quanto riguarda le definizioni che vengono di seguito riportate si fa riferimento, ove possibile, al documento CEI 111-2 (CENELEC ENV 50166-1).

Campo Elettrico

Il campo elettrico E creato in vicinanza di un conduttore in tensione è un vettore la cui intensità rappresenta la forza esercitata dal campo stesso su una carica unitaria e si misura in volt al metro [V/m].

Nel caso di campi alternati sinusoidali, il vettore oscilla lungo un asse fisso (sorgente monofase) oppure ruota su un piano descrivendo un'ellisse (sorgenti polifase o sorgenti multiple sincronizzate). Il campo elettrico in ciascun punto dello spazio è dunque un vettore dipendente dal tempo e descritto mediante le sue componenti spaziali lungo tre assi ortogonali:

$$\vec{E}(t) = E_x(t) \cdot \vec{u}_x + E_y(t) \cdot \vec{u}_y + E_z(t) \cdot \vec{u}_z$$

Nel caso particolare di campi alternati sinusoidali le singole componenti spaziali possono essere rappresentate ciascuna mediante un numero complesso o fasore.

Tenendo conto che il campo elettrico in vicinanza di oggetti conduttori (persone incluse) viene generalmente perturbato dagli oggetti stessi, per caratterizzare le condizioni di esposizione si usa il valore del “campo elettrico imperturbato” (cioè il valore del campo che esisterebbe in assenza di oggetti e persone).

Campo Magnetico

Il campo magnetico è una grandezza vettoriale. Come nel caso del campo elettrico, in presenza di grandezze sinusoidali, questo vettore oscilla lungo un asse fisso (sorgente monofase) oppure ruota su un piano descrivendo un'ellisse (sorgenti polifase o multiple sincronizzate). L'intensità del campo magnetico, H , si esprime in ampere al metro [A/m].

Spesso il campo magnetico viene espresso in termini di densità di flusso magnetico, B , grandezza anche nota come induzione magnetica. La densità di flusso magnetico è definita in termini di forza esercitata su una carica in movimento nel campo e ha come unità di misura il Tesla [T].

L'induzione magnetica è legata all'intensità del campo magnetico a mezzo della relazione costitutiva del campo magnetico:

$$B = \mu \cdot H$$

dove:

- $\mu = \mu_0 \mu_r$ è la permeabilità del mezzo (μ_0 è il valore della permeabilità assoluta del vuoto e μ_r è il valore della permeabilità relativa);
- H è l'intensità del campo magnetico, in A/m.

Analogamente al campo elettrico, anche il campo induzione magnetica può essere descritto mediante le sue componenti spaziali lungo tre assi simultaneamente ortogonali:

$$\vec{B}(t) = B_x(t) \cdot \vec{u}_x + B_y(t) \cdot \vec{u}_y + B_z(t) \cdot \vec{u}_z$$

e, nel caso di campi alternati sinusoidali, ciascuna componente spaziale può essere rappresentata mediante un fasore.

2. Generalità sui CEM e classificazione dei potenziali effetti sul corpo umano

I Campi Elettromagnetici nei luoghi di lavoro possono essere di origine naturale o antropica.

Le caratteristiche dei CEM e le relative interazioni con i soggetti esposti variano in base alla frequenza.

Nella gamma di frequenze comprese tra 0 Hz e 300 GHz, l'energia associata al campo magnetico non è in grado di causare ionizzazione, ovvero l'alterazione dei legami chimici e delle strutture atomiche, di atomi e molecole nei sistemi biologici, pertanto i CEM rientrano tra gli agenti fisici identificati come "*radiazioni non ionizzanti*".

Secondo la classificazione in funzione della frequenza adottata dalla International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) si possono definire:

- Campi statici e campi variabili nel tempo fino a 1 Hz (campi quasi statici);
- Campi a bassa frequenza (1 Hz -100 kHz);
- Campi a frequenze intermedie (100 kHz -10 MHz);
- Campi ad alta frequenza (10 MHz – 300 GHz).

Tale classificazione è strettamente connessa ai meccanismi di interazione dei CEM con il corpo umano e ai relativi effetti, anch'essi dipendenti dall'intervallo di frequenze di esposizione.

Gli effetti scientificamente accertati associati all'esposizione ai CEM sono gli *effetti acuti* per i quali è ben definito il meccanismo d'interazione e in relazione a cui è possibile individuare soglie di insorgenza. Pertanto, l'ICNIRP definisce i limiti solo per gli effetti accertati.

Gli *effetti acuti* si distinguono in *effetti di tipo diretto*, derivanti dall'interazione diretta del campo con i tessuti biologici, ed *effetti di tipo indiretto*, provocati dalla presenza di un oggetto in un campo elettromagnetico, che potrebbe essere causa di un pericolo per la salute e sicurezza (quali l'interferenza con attrezzature e dispositivi medici elettronici, compresi stimolatori cardiaci e altri impianti o dispositivi medici portati sul corpo; il rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici all'interno di campi magnetici statici; l'innescò di dispositivi elettro-esplosivi; gli incendi e le esplosioni dovuti all'accensione di materiali infiammabili a causa di scintille prodotte da campi indotti, correnti di contatto o scariche elettriche; le correnti di contatto IC).

Pertanto, i soggetti portatori di dispositivi medici o inclusi metallici, insieme ad altre tipologie di lavoratori (ad esempio donne in gravidanza e minori), rientrano nella categoria dei *lavoratori particolarmente sensibili al rischio CEM*, per la quale deve essere *condotta una valutazione specifica*

del rischio e devono essere attuate specifiche misure di prevenzione e protezione nonché di sorveglianza sanitaria.

Gli effetti di tipo diretto che i Campi Elettromagnetici, a livello biologico, possono indurre in un soggetto a causa dell'esposizione, dipendono dalle modalità di esposizione, dalla frequenza e dall'intensità del campo, e possono essere classificati in due differenti categorie:

- **effetti sanitari**, ovvero effetti che possono comportare un rischio per la salute;
- **effetti sensoriali**, che di per sé non comportano un rischio per la salute ma possono generare disturbi temporanei e influenzare le capacità cognitive o altre funzioni cerebrali o muscolari.

Nel campo delle basse frequenze ($f < 100$ kHz), gli effetti diretti associati all'esposizione ai CEM sono relativi alla possibile stimolazione degli organi sensoriali, nervi e muscoli (**effetti non termici**). Nel campo delle alte frequenze ($f > 10$ MHz) gli effetti diretti sono relativi alla possibile generazione di fenomeni di riscaldamento dei tessuti (**effetti termici**). Alle frequenze intermedie (100 kHz – 10 MHz) si associano sia effetti di stimolazione sia effetti di tipo termico.

In relazione all'esposizione ai campi elettrici statici, gli unici effetti accertati sono riconducibili a fenomeni di microscariche, mentre l'esposizione ai campi magnetici statici, per campi di induzione magnetica di intensità superiore a 2 Tesla, può determinare stimolazioni degli organi sensoriali e del sistema nervoso centrale (SNC) e periferico (SNP) simili a quelli generati dai campi a bassa frequenza nel caso in cui l'individuo si muova all'interno del campo. Campi statici con induzione magnetica superiore a 7-8 Tesla, possono esercitare forze sulle cariche elettriche ioniche in movimento del sangue.

La **Direttiva 2013/35/UE** recepita nel Testo Unico sulla Sicurezza attraverso il D.Lgs.159/2016, fa riferimento esclusivamente agli **effetti acuti** associati all'esposizione ai CEM *poiché attualmente non si dispone di prove scientifiche accertate dell'esistenza di un nesso causale fra l'esposizione ai CEM ed i possibili effetti a lungo termine, compresi i possibili effetti cancerogeni.*

È tuttavia da rilevare che, in ambito nazionale, la Legge 36/2001 (LQ) e i relativi decreti attuativi (DPCM 8/7/2003), modificati dalla Legge 221/2012, recepiscono l'insieme completo delle restrizioni stabilite dalla Raccomandazione Europea 1999/519/CE. Gli stessi fissano misure di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine e della progressiva minimizzazione dell'esposizione che, in ambito lavorativo, si applicano alle esposizioni di tipo non professionale.

3. Esposizione di carattere professionale e non professionale ai CEM

La Legge Quadro n° 36 del 2001 sulla protezione dei lavoratori e della popolazione dall'esposizione ai CEM, definisce come:

- a) esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici: ogni tipo di esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici che, per la loro specifica attività lavorativa, sono esposti a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (n.d.r. esposizioni di carattere professionale);
- b) esposizione della popolazione: ogni tipo di esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, ad eccezione dell'esposizione intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici;

A tutte le categorie di lavoratori si applicano le disposizioni generali del Testo Unico, mentre i limiti di esposizione da adottare dipendono dalla tipologia di esposizione.

Come stabilito dalla Legge Quadro sopra menzionata, si deve intendere come esposizione di carattere professionale al rischio CEM quella relativa alla specifica attività lavorativa che preveda, per esigenze correlate e necessarie alle finalità del processo produttivo, la possibilità di esposizione a livelli di CEM superiori ai limiti per la popolazione fissati dalla Normativa Nazionale vigente.

In relazione alle tipologie di esposizione individuate dalla LQ, si distinguono i seguenti due casi a cui si applicano limiti di esposizione differenti:

- 1) **esposizioni di carattere professionale**, quelle cui sono soggetti i lavoratori durante le attività per le quali il rischio CEM rappresenta un rischio specifico, a cui si applicano le disposizioni specifiche ed i limiti di esposizione stabiliti dal TUS;
- 2) **esposizioni di carattere non professionale**, quelle cui sono soggetti i lavoratori durante le attività per le quali il rischio CEM non rappresenta un rischio specifico. A queste si applicano oltre alle disposizioni generali del Testo Unico, anche i limiti fissati dalla legislazione nazionale vigente (DPCM 8/7/2003 per l'esposizione della popolazione, ulteriormente modificati dalla Legge 221/2012 che recepisce l'insieme completo delle restrizioni stabilite dalla Raccomandazione Europea 1999/519/CE e fissa specifici *limiti di esposizione* nonché ulteriori restrizioni (*valori di attenzione* e *obiettivi di qualità*) in relazione al tempo di permanenza e/o a luoghi specifici per due specifiche categorie di sorgenti CEM riconducibili agli elettrodotti operanti alla frequenza di rete (50 Hz) e ai sistemi fissi delle telecomunicazioni e radiotelevisivi (100 kHz – 300 GHz) (Cfr. 8.2).

La tipologia di esposizione è, pertanto, determinata dalla specifica attività svolta dal lavoratore in relazione alla finalità del processo produttivo. Ne consegue che, in funzione dell'attività svolta, a uno stesso lavoratore potranno applicarsi i limiti di esposizione stabiliti dal Testo Unico oppure i limiti per la popolazione.

3.1 Limiti per l'esposizione di carattere professionale – Effetti non termici

I limiti per l'esposizione dei lavoratori ai CEM stabiliti dal TUS nel Titolo VIII (Agenti Fisici), Capo IV (Campi elettromagnetici) e nell'Allegato XXXVI si articolano in due categorie:

- valori limite di esposizione (VLE), i quali garantiscono la tutela del lavoratore da possibili rischi per la salute e la sicurezza derivante dall'esposizione ai CEM;
- valori di azione (VA), il cui rispetto garantisce il rispetto dei pertinenti VLE. Il superamento dei VA non implica necessariamente il superamento dei VLE, tuttavia implica l'obbligo di adottare le pertinenti misure tecniche ed organizzative di prevenzione e protezione.

Nell'allegato XXXVI parte II del Testo Unico sulla Sicurezza, vengono definiti i valori limite di esposizione e i valori di azione relativi agli effetti non termici di tipo sanitario e sensoriale, di seguito riportati per comodità:

Tabella 3 – VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE (VLE) – EFFETTI NON TERMICI

TABELLE ALLEGATO XXXVI PARTE II	INTERVALLO DI FREQUENZA	GRANDEZZA FISICA		TIPO DI EFFETTO		CONDIZIONE DI ESPOSIZIONE	SIGNIFICATO PROTEZIONISTICO/NOTE
				SENSORIALE	SANITARIO		
A1	0 – 1 Hz	Induzione magnetica esterna B_e [T]	I VLE per le frequenze inferiori a 1 Hz sono limiti per il campo magnetico statico la cui misurazione non è influenzata dalla presenza del soggetto esposto.	2		Condizioni di lavoro normali	I VLE relativi agli effetti sensoriali sono connessi a disturbi dell'organo di equilibrio umano (vertigini e altri effetti fisiologici) risultanti principalmente da movimenti in un campo magnetico statico.
				8		Esposizione localizzata degli arti	
					8	Condizioni di lavoro controllate	Il VLE relativo agli effetti sanitari è applicabile su base temporanea durante il turno di lavoro, ove giustificato dalla prassi o dal processo. Le condizioni di lavoro controllate prevedono l'adozione di misure di protezione specifiche quali il controllo dei movimenti al fine di prevenire possibili effetti sensoriali e l'informazione dei lavoratori.
A2	1 Hz ≤ f < 3 kHz	Campo elettrico interno (<i>in situ</i>)			1,1		I VLE relativi agli effetti sanitari sono correlati alla stimolazione elettrica di tutti i tessuti del sistema nervoso centrale e periferico all'interno del corpo, compresa la testa. I VLE relativi agli effetti sensoriali sono correlati agli effetti del campo elettrico sul sistema nervoso centrale nella testa, cioè fosfene retinici e modifiche minori e transitorie di talune funzioni cerebrali. f è la frequenza espressa in Hertz [Hz].
	3 kHz ≤ f ≤ 10 MHz	E_{int} [V/m]			$3,8 \times 10^{-4} f$		
A3	1 Hz ≤ f < 10 Hz	Campo elettrico interno (<i>in situ</i>) E_{int} [V/m]		0,7 / f			I VLE sono valori di picco in termini temporali che sono pari ai valori efficaci moltiplicati per $\sqrt{2}$ per i campi sinusoidali. Nel caso di campi non sinusoidali, la valutazione dell'esposizione si basa di norma sul metodo del picco ponderato. Possono essere applicate procedure di valutazione alternative scientificamente provate e convalidate purché conducano a risultati comparabili.

Tabella 1: Valori limite di esposizione (VLE) -Effetti non termici

Tabella 4 – VALORI DI AZIONE (VA) – EFFETTI NON TERMICI

Per i lavoratori particolarmente sensibili al rischio si applicano ulteriori restrizioni (Cfr. Art. 7 e Allegato A)						
TABELLE ALLEGATO XXXVI PARTE II	INTERVALLO DI FREQUENZA	GRANDEZZA FISICA (CAMPI AMBIENTALI)	VA _{INF} (VALORI EFFICACI)	VA _{SUP} (VALORI EFFICACI)	VA ESPOSIZIONE LOCALIZZATA DEGLI ARTI (VALORI EFFICACI)	SIGNIFICATO PROTEZIONISTICO / NOTE
B1	1 Hz ≤ f < 25 Hz	Intensità di campo elettrico E [V/m]	2,0 × 10 ⁴	2,0 × 10 ⁴		<p>Il rispetto dei VA_{inf}(E) garantisce il rispetto dei VLE sanitari e sensoriali e permette di prevenire le scariche elettriche nel luogo di lavoro;</p> <p>Il rispetto dei VA_{sup}(E) garantisce il rispetto dei VLE sanitari e sensoriali ma non assicura la prevenzione delle scariche elettriche nel luogo di lavoro.</p> <p>f è la frequenza espressa in Hertz [Hz].</p> <p>I VA sono valori efficaci (RMS) che sono pari ai valori di picco divisi per √2 per i campi sinusoidali. Nel caso di campi non sinusoidali, la valutazione dell'esposizione si basa di norma sul metodo del picco ponderato. Possono essere applicate procedure di valutazione alternative scientificamente provate e convalidate, purché conducano a risultati comparabili.</p>
	25 Hz ≤ f < 50 Hz		5,0 × 10 ⁵ /f	2,0 × 10 ⁴		
	50 Hz ≤ f < 1,64 kHz		5,0 × 10 ⁵ /f	1,0 × 10 ⁵ /f		
	1,64 kHz ≤ f < 3 kHz		5,0 × 10 ⁵ /f	6,1 × 10 ²		
	3 kHz ≤ f ≤ 10 MHz		1,7 × 10 ²	6,1 × 10 ²		
B2	1 Hz ≤ f < 8 Hz	Induzione magnetica B [μT]	2,0 × 10 ⁵ /f ²	3,0 × 10 ⁵ /f	9,0 × 10 ⁵ /f	<p>Il rispetto dei VA_{inf}(B) nell'intervallo di frequenza 1 Hz – 400 Hz garantisce il rispetto dei pertinenti VLE_{sen}; al di sopra dei 400 Hz, coincidendo con i VA_{sup}(B), garantisce il rispetto dei pertinenti VLE_{sen}.</p> <p>Il rispetto dei VA_{sup}(B) garantisce il rispetto dei VLE sanitari, ma non di quelli sensoriali;</p> <p>I VA_{art}(B) garantiscono il rispetto dei VLE sanitari relativi alla stimolazione elettrica dei tessuti limitatamente agli arti, tenuto conto del fatto che il campo magnetico presenta un accoppiamento più debole negli arti che nel corpo. Questi valori possono essere utilizzati in caso di esposizione strettamente confinata agli arti, restando ferma la necessità di valutare il rispetto dei VA su tutto il corpo del lavoratore.</p>

VA – CORRENTI DI CONTATTO I _c (valori efficaci)				
B3	fino a 2,5 kHz	Corrente di contatto stazionaria I _c [mA]	1,0	Tali correnti derivano dal contatto con un oggetto conduttore (per es. una struttura metallica) che, pur non essendo direttamente in tensione, in presenza di un campo elettrico si trova a una tensione diversa dal corpo del lavoratore.
	2,5 kHz ≤ f < 100 kHz		0,4 × f [kHz]	
	100 kHz ≤ f ≤ 10 000 kHz		40	
VA - INDUZIONE MAGNETICA DI CAMPI MAGNETICI STATICI				
B4	0 Hz – 1 Hz	Induzione magnetica esterna B ₀ [mT]	0,5	Valore di azione per prevenire il rischio di interferenza con dispositivi medici impiantati attivi, ad esempio stimolatori cardiaci.
			3	<p>Valore di azione per prevenire il rischio di attrazione e propulsivo nel campo periferico di sorgenti di campo magnetico statico ad alta intensità (> 100 mT).</p> <p>Si applica a dispositivi medici impiantati passivi o inclusi metallici se contenenti materiali ferromagnetici o conduttivi (per es. piercing, schegge, ecc.) al fine di prevenire il rischio di torsioni o spostamenti.</p>

Tabella 2: Valori limite di azione (VA) - Effetti non termici

3.2 Limiti per l'esposizione di carattere professionale – Effetti termici

Nell'allegato XXXVI, parte III del Testo Unico sono definiti i valori limite di esposizione e i valori di azione relativi agli effetti termici:

Tabella 6 – VALORI DI AZIONE (VA) – EFFETTI TERMICI

Per i lavoratori particolarmente sensibili al rischio si applicano ulteriori restrizioni (Cfr. Art. 7 e Allegato A)

TABELLE ALL. XXXVI PARTE III	INTERVALLO DI FREQUENZA	GRANDEZZA FISICA				VA (I _c) per la corrente indotta in qualsiasi arto [mA] (valore efficace)	VA (I _c) per la corrente indotta in qualsiasi arto [mA] (valore efficace)	SIGNIFICATO PROTEZIONISTICO / NOTE
		CAMPI AMBIENTALI			VA (I _c) per la corrente di contatto stazionaria [mA] (valore efficace)			
		VA (E) per l'intensità del campo elettrico [V/m] (valore efficace)	VA (B) per l'induzione magnetica [μT] (valore efficace)	VA (S) per la densità di potenza [W/m ²]				
B2	100 kHz ≤ f < 1 MHz	810	2,0 × 10 ⁹ /f	50	40	100	I VA(E) e VA(B) derivano dai VLE relativi al SAR e dalla densità di potenza. Il VA(S) viene a coincidere con il corrispondente VLE. I [VA(E)] ² , [VA(B)] ² e [VA(I _c)] ² devono essere mediati per ogni periodo di 8 minuti. I VA(S) sono relativi a valori mediati su intervalli temporali diversi in funzione della frequenza: tra 8 GHz e 10 GHz sono mediati per ogni periodo di 8 minuti, al di sopra di 10 GHz sono mediati su periodi di 88 / f ^{0,69} minuti (dove f è la frequenza in GHz) per tenere conto della graduale diminuzione della profondità di penetrazione con l'aumento della frequenza. I VA(E) e VA(B) corrispondono ai valori del campo imperturbati e sono intesi come valori massimi calcolati o misurati sul posto di lavoro nello spazio occupato dal corpo o da parti del corpo del lavoratore. In specifiche condizioni di esposizione non uniforme possono essere utilizzati criteri relativi alla media spaziale dei campi misurati. Il rispetto del VA(S) deve essere garantito in termini di valore medio per ogni superficie corporea esposta di 20 cm ² , con la condizione aggiuntiva che la densità di potenza mediata su ogni superficie di 1 cm ² non superi il valore di 1000 W/m ² . Nel caso di segnali impulsivi a radiofrequenza, la densità di potenza di picco mediata sull'ampiezza dell'impulso non deve superare di 1000 volte il rispettivo VA(S). Per campi a frequenze multiple (campi non sinusoidali) l'analisi è basata sulla sommatoria dei contributi, descritta nelle norme tecniche di riferimento (Guida CEM, Allegato C). In caso di esposizione a una sorgente molto localizzata, distante pochi cm dal corpo, il campo elettrico interno (in situ) e la conformità ai VLE possono essere determinati caso per caso mediante dosimetria (Cfr. Art. 9).	
	1 MHz ≤ f < 10 MHz	8,1 × 10 ⁹ / f						
	10 MHz ≤ f ≤ 100 MHz	81	0,2					
	100 MHz ≤ f ≤ 110 MHz							
	110 MHz ≤ f < 400 MHz							
	400 MHz ≤ f < 2 GHz	3 × 10 ⁻³ f ^{1/2}	1,0 × 10 ⁻⁶ f ^{1/2}					
2 GHz ≤ f < 6 GHz	140	0,45						
8 GHz ≤ f ≤ 300 GHz								
B1								

Tabella 3: valori limite di azione (VA) -Effetti termici

Tabella 5 – VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE (VLE) – EFFETTI TERMICI

TABELLE ALLEGATO XXXVI PARTE III	INTERVALLO DI FREQUENZA	GRANDEZZA FISICA	TIPO DI EFFETTO		CONDIZIONE DI ESPOSIZIONE	SIGNIFICATO PROTEZIONISTICO / NOTE
			SENSORIALE	SANITARIO		
A1	$100 \text{ kHz} \leq f < 6 \text{ GHz}$	Tasso di assorbimento specifico SAR [W/kg]		0,4	Esposizione a corpo intero	I VLE _{lim} proteggono dal riscaldamento termico dei tessuti od organi derivante dall'esposizione a campi elettromagnetici.
				10	Esposizione localizzata di testa e tronco	I VLE _{lim} riferiti al SAR (potenza assorbita per unità di massa di tessuto corporeo) sono relativi a valori mediati per ogni periodo di sei minuti.
				20	Esposizione localizzata degli arti	Il rispetto dei VLE _{lim} sul SAR per l'esposizione localizzata deve essere assicurato in termini di valore medio su ogni elemento di massa pari a 10 g di tessuto contiguo con proprietà elettriche approssimativamente omogenee; il massimo valore di SAR così ricavato deve essere impiegato per la verifica di conformità con il pertinente VLE.
ω A2	$0,3 \text{ GHz} \leq f \leq 6 \text{ GHz}$	Assorbimento specifico locale di energia SA [mJ/kg]	10		Esposizione della testa a campi elettromagnetici pulsati	Il VLE _{lim} è finalizzato alla prevenzione degli effetti uditivi provocati dall'esposizione della testa a microonde pulsate. Esso è riferito all'energia assorbita per ogni massa di 10 g di tessuto all'interno della testa.
A3	$6 \text{ GHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$	Densità di potenza incidente sulla superficie corporea S [W/m ²]		50		I VLE _{lim} proteggono dal riscaldamento termico dei tessuti od organi derivante dall'esposizione a campi elettromagnetici. I VLE _{lim} riferiti alla densità di potenza S sono relativi a valori mediati su intervalli temporali diversi in funzione della frequenza: tra 6 GHz e 10 sono mediati per ogni periodo di sei minuti, al di sopra di 10 GHz sono mediati su periodi di $60/f^{0,5}$ minuti (dove f è la frequenza in GHz) per tenere conto della graduale diminuzione della profondità di penetrazione con l'aumento della frequenza. Il rispetto del VLE su S deve essere garantito in termini di valore medio per ogni superficie corporea esposta di 20 cm ² con la condizione aggiuntiva che la densità di potenza mediata su ogni superficie di 1 cm ² non superi il valore di 1000 W/m ² .

Tabella 4: Valori limite di esposizione (VLE) - Effetti termici

Con riferimento agli effetti termici, i VLE relativi agli effetti sanitari per esposizione a campi elettromagnetici a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz proteggono dal riscaldamento termico dei tessuti o organi.

Per lo stesso intervallo di frequenza, è definito un valore di azione relativo alla densità di potenza ambientale. Questo valore di soglia, viene a coincidere con il corrispondente valore limite di esposizione essendo espresso nella medesima unità di misura, sebbene quest'ultimo, in quanto grandezza dosimetrica, sia relativo alla densità di potenza incidente sulla superficie corporea.

I VA(E) e VA(B) consentono una valutazione semplificata della conformità ai pertinenti VLE. A seguito della valutazione dell'esposizione, qualora risulti che i VA sono superati, il DL, a meno che la valutazione dimostri che i pertinenti VLE non sono superati e che possono essere esclusi rischi relativi alla sicurezza, elabora ed applica un programma d'azione che comprenda misure tecniche e organizzative intese a prevenire esposizioni superiori ai VLE relativi agli effetti sensoriali e ai VLE relativi agli effetti sanitari. In caso di esposizione a una sorgente molto localizzata, distante pochi cm dal corpo, il campo elettrico interno (*in situ*) e la conformità ai VLE possono essere determinati, caso per caso, mediante dosimetria.

3.3 Limiti per l'esposizione di carattere non professionale

Alle esposizioni non professionali si applicano le disposizioni generali del TUS e i limiti per la popolazione fissati dalla legislazione nazionale vigente.

Nel caso di esposizioni a campi multisorgente o esposizioni a campi multifrequenza (campi non sinusoidali, ovvero campi caratterizzati da molteplici armoniche in frequenza), la valutazione dell'esposizione si basa di norma sul **metodo della somma spettrale**, come indicato nell'Allegato IV alla Raccomandazione Europea 1999/519/CE [21]. Il metodo conduce alla determinazione di un indice adimensionale, il cui valore deve essere inferiore ad 1 o a 100 se espresso in percentuale, al fine di garantire il rispetto delle prescrizioni normative.

Il metodo della somma spettrale non considera le relazioni di fase delle diverse componenti spettrali che tuttavia assumono rilevanza nel caso del regime degli effetti non termici. In questi casi la valutazione basata sul metodo della somma spettrale fornisce risultati estremamente conservativi. Ai fini di una valutazione più realistica si potrebbe considerare la possibilità di adottare il metodo del picco ponderato anche per le esposizioni di carattere non professionale alle basse frequenze.

Essendo la tipologia di esposizione determinata dalla specifica attività svolta dal lavoratore, ne consegue che a uno stesso lavoratore, in funzione dell'attività svolta, potranno applicarsi i limiti di esposizione stabiliti dal TUS piuttosto che i limiti per la popolazione.

Per i *lavoratori particolarmente sensibili al rischio CEM* si applicano ulteriori restrizioni e si richiede una valutazione specifica del rischio.

I limiti per l'esposizione della popolazione e per le esposizioni non professionali sono definiti dalla **Legge 22 febbraio 2001 n. 36** "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici" [3] e dai relativi decreti attuativi:

- **DPCM 8 luglio 2003** "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti" (di seguito richiamato come DPCM BF);
- **DPCM 8 luglio 2003** "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz" (di seguito richiamato come DPCM AF).

I due DPCM *recepiscono* (rispettivamente negli artt. 3 e 4) l'insieme delle restrizioni per la popolazione definite dalla **Raccomandazione 1999/519/CE**, che si articolano in limiti di base (LB) e livelli di riferimento (LR), *fatta eccezione per le categorie di sorgenti* riconducibili agli

elettrodotti operanti alla frequenza di rete (50 Hz) e ai sistemi fissi delle telecomunicazioni e radiotelevisivi (100 kHz – 300 GHz). Per le suddette categorie di sorgenti, i medesimi DPCM fissano specifiche restrizioni in termini di:

- **limite di esposizione**, valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, definito ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione;
- **valore di attenzione**, valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, che non deve essere superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere; esso costituisce misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine.
- **obiettivi di qualità**, sono criteri localizzativi, standard urbanistici, prescrizioni e incentivazioni per l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili, indicati dalle leggi regionali, nonché valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico definiti ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai CEM.

Tabella 7 – Articolazione dei limiti per l'esposizione della popolazione e per le esposizioni di carattere non professionali applicabili ai sensi della legislazione nazionale vigente

Per i lavoratori particolarmente sensibili al rischio si applicano ulteriori restrizioni (Cfr. Art. 7 e Allegato A)

SORGENTI	INTERVALLO DI FREQUENZA	CAMPO ELETTRICO (valore efficace)	CAMPO MAGNETICO (valore efficace)	DENSITÀ DI POTENZA (valore efficace)	SIGNIFICATO PROTEZIONISTICO / NOTE
SORGENTI NON RICONDUCEBILI ALLE CATEGORIE DI CUI SOTTO (Rif. RACC.1999/519/CE)	0 Hz – 300 GHz	TABELLA 8 – Limiti di Base (LB) TABELLA 9 – Livelli di Riferimento (LR)			
ELETTRODOTTI (Rif. DPCM BF e s.m.i.)	50 Hz	5 [kV/m]	100 [μT] valore di induzione magnetica		Limite di esposizione Valore di campo elettrico e campo magnetico, considerato come valore di immissione definito ai fini della tutela della salute da effetti acuti. Il limite non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione.
			10 [μT] valore di induzione magnetica mediana su 24 h per permanenze ≥ 4 h		Valore di attenzione Valore di immissione, definito 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 (50 Hz). Si applica nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore giornaliere. Il valore è da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.
			3 [μT] valore di induzione magnetica mediana su 24 h per permanenze ≥ 4 h		Obiettivo di qualità Valore definito ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di rete (50 Hz). Si applica nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere e nella progettazione di nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio. Il valore è da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

Tabella 5: Articolazione dei limiti per l'esposizione della popolazione e per le esposizioni di carattere non professionali applicabili ai sensi della legislazione nazionale vigente (D.P.C.M. 8 luglio 2003 B.F.)

SORGENTI	INTERVALLO DI FREQUENZA	Campo ELETTRICO (valore efficace)	CAMPO MAGNETICO (valore efficace)	DENSITÀ DI POTENZA (valore efficace)	SIGNIFICATO PROTEZIONISTICO / NOTE
SISTEMI FISSI DELLE TELECOMUNICAZIONI E RADIOTELEVISIVI (Rif. DPCM AF e s.m.i.)	$0,1 < f \leq 3$ MHz	60 [V/m]	0,2 [A/m]		Limiti di esposizione Valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerati come valore di immissione, definiti ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non devono essere superati in alcuna condizione di esposizione. Sono da intendersi come valori rilevati ad un'altezza di 1,5 m sul piano di calpestio e mediati su qualsiasi intervallo di sei minuti.
	$3 < f \leq 3000$ MHz	20 [V/m]	0,05 [A/m]	1 [W/m ²]	
	$3 < f \leq 300$ GHz	40 [V/m]	0,01 [A/m]	4 [W/m ²]	
	100 kHz < f ≤ 300 GHz	6 [V/m]	0,016 [A/m]	0,10 [W/m ²] (3 MHz – 300 GHz)	Valori di attenzione Si assumono a titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine per le esposizioni ai campi elettromagnetici generati da sorgenti fisse con frequenza compresa tra 100 kHz e 300 GHz all'interno di edifici adibiti a permanenze non inferiori alle 4 ore giornaliere e nelle pertinenze esterne utilizzate come luoghi abitabili quali balconi, terrazzi e cortili, esclusi i lastrici solari. Sono da intendersi come valori rilevati a un'altezza di 1,5 m dal piano di calpestio come media dei valori nell'arco delle 24 ore.
6 [V/m]		0,016 [A/m]	0,10 [W/m ²] (3 MHz – 300 GHz)	Obiettivi di qualità Definiti come valori di immissione, calcolati o misurati all'aperto nelle aree intensamente frequentate, ai fini della progressiva minimizzazione delle esposizioni ai campi elettromagnetici generati da sorgenti fisse con frequenza compresa tra 100 kHz e 300 GHz. Sono da intendersi come valori rilevati a un'altezza di 1,5 m dal piano di calpestio come media dei valori nell'arco delle 24 ore.	

Tabella 6: Articolazione dei limiti per l'esposizione della popolazione e per le esposizioni di carattere non professionali applicabili ai sensi della legislazione nazionale vigente (D.P.C.M. 8 luglio 2003 A.F.)

4. Valutazione del rischio CEM

La procedura applicata ai fini della valutazione del rischio elettromagnetico viene sinteticamente rappresentata nel diagramma di flusso di seguito riportato:

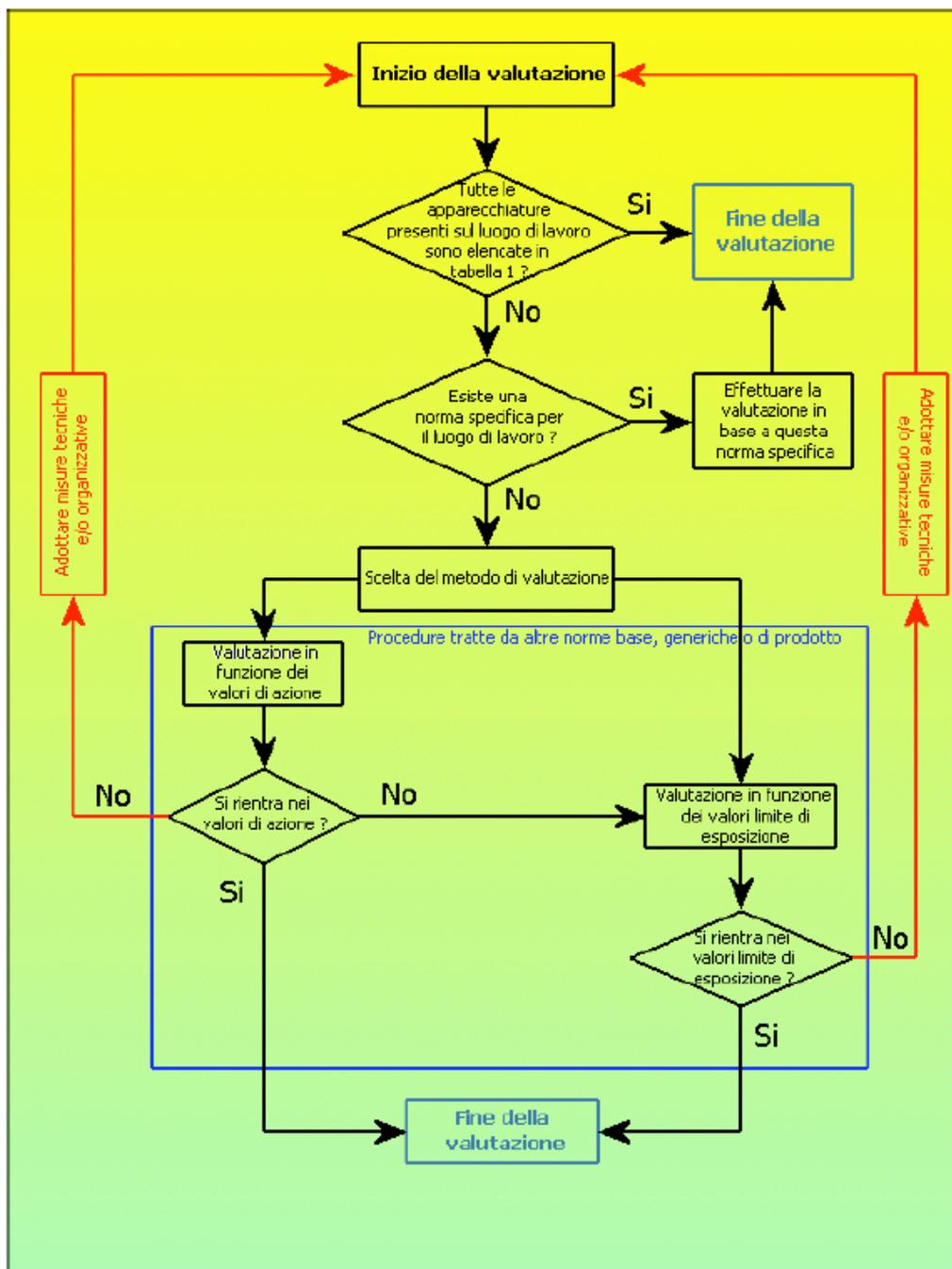


Figura 1: diagramma di flusso del processo di valutazione del rischio elettromagnetico (CEI EN 50499)

dove la tabella 1 è quella riportata nella Norma CEI EN 50499 “Procedura per la valutazione dell’esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici”.

4.1 Identificazione delle sorgenti di emissione

Le apparecchiature elettriche e le infrastrutture facenti parte dell'impianto di utenza che durante l'esercizio generano campi elettrici e magnetici, sono quelle di seguito elencate:

- stringhe fotovoltaiche;
- cavi elettrici di bassa tensione;
- Cabine elettriche di trasformazione BT/MT;
- Linee elettriche di media tensione;
- Sottostazione Elettrica di Utenza MT/AT;
- Linea AT in cavo interrato.

Nei successivi paragrafi, per ciascuna delle apparecchiature/infrastrutture elencate, verranno calcolate le emissioni elettromagnetiche generate e confrontate con i livelli massimi ammissibili stabiliti dalla Normativa Vigente per la protezione della Popolazione e dei Lavoratori dai rischi di esposizione ai campi elettromagnetici.

Verranno altresì indicate le misure di prevenzione e protezione adottabili, al fine di garantire il rispetto dei limiti sopra menzionati.

Tuttavia, considerando che in data 06.08.2021 Terna ha pubblicato per la consultazione dei Soggetti interessati una proposta di revisione dell'Allegato A.2 al Codice di Rete "Guida agli schemi di connessione" con l'obiettivo di introdurre un nuovo standard di connessione al livello di 36 kV per gli impianti di produzione con potenza fino a 100 MW che intendono connettersi alla Rete di Trasmissione Nazionale, la Società Proponente si riserva la possibilità di richiedere al Gestore di Rete l'applicazione di questa nuova soluzione di connessione, nel momento in cui la proposta di modifica verrà ufficializzata e pubblicata sul sito Terna.

L'eventuale adozione del nuovo standard di connessione a 36 kV comporterà una modifica migliorativa in termini di riduzione del campo induzione magnetica generato durante l'esercizio, conseguentemente i risultati di calcolo di seguito riportati sono da considerarsi cautelativi.

4.2 Stringhe fotovoltaiche

Ai sensi della Norma CEI 82-25 “*Guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di Media e Bassa Tensione*” e dell’Allegato 68 del CdR Terna “*Centrali fotovoltaiche- Condizioni generali di connessione alle reti AAT e AT Sistemi di protezione regolazione e controllo*”, si definisce stringa fotovoltaica l’insieme dei moduli fotovoltaici collegati elettricamente in serie:

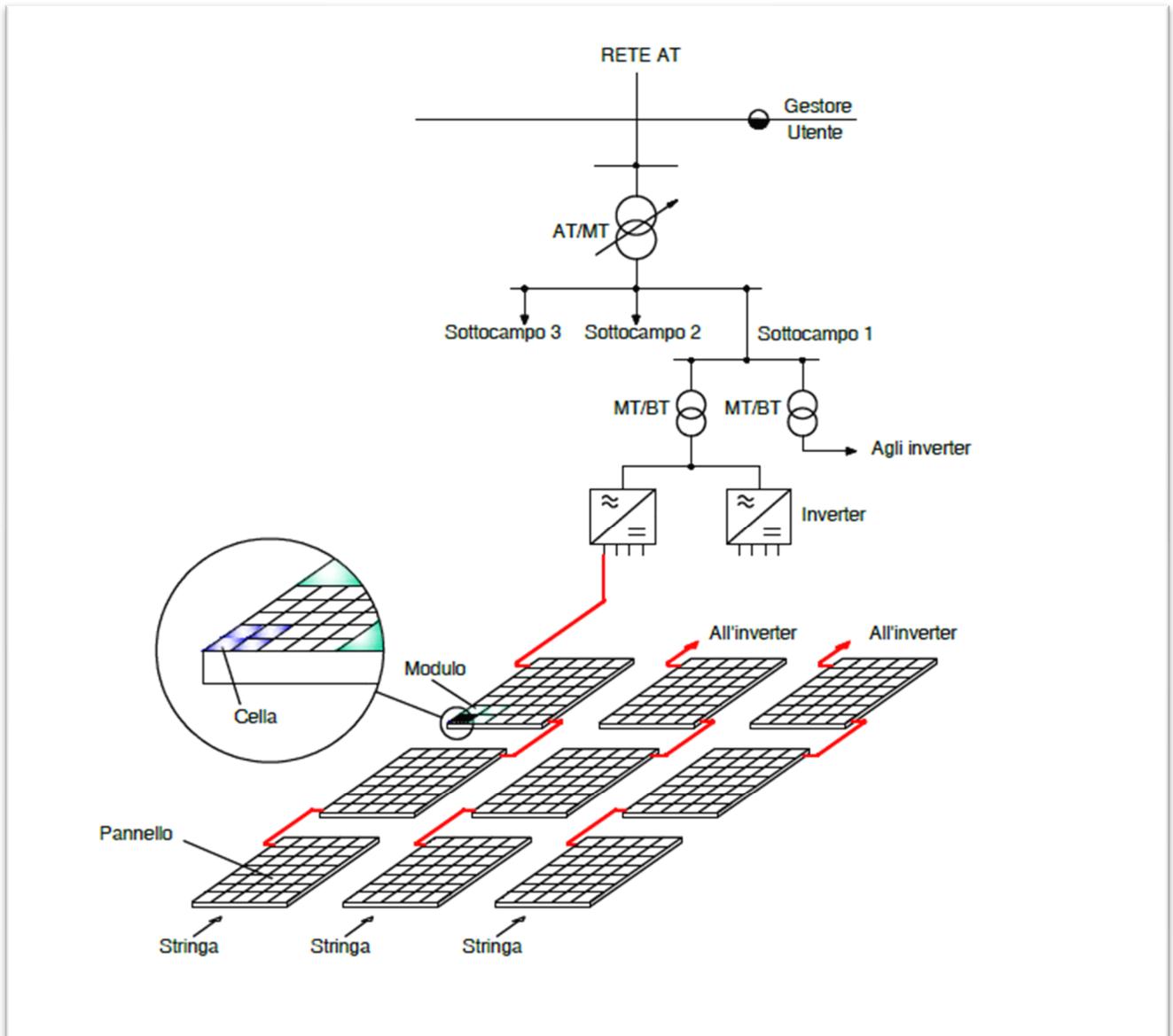


Figura 2: Schema di principio di una centrale fotovoltaica con indicazione delle stringhe fotovoltaiche

Considerando che le stringhe fotovoltaiche producono energia elettrica in corrente continua, esse generano *campi elettrici e magnetici statici*.

In relazione all'esposizione dei lavoratori ai campi elettrici e magnetici statici, ai sensi della Norma CEI EN 50499 esse sono classificabili come *sorgenti giustificabili*, ovvero conformi a priori ai livelli di riferimento per l'esposizione della popolazione di cui alla Raccomandazione 1999/519/CE:

Luoghi e apparecchiature conformi a priori	
Tipo di apparecchiatura/luogo	Note
Luoghi di lavoro accessibili al pubblico	Sono ritenuti conformi i luoghi di lavoro aperti al pubblico che rispettano i limiti di esposizione indicati nella Raccomandazione del Consiglio Europeo 1999/519/EC (ad esempio a 50 Hz il limite di induzione magnetica è di 100 μ T)
Uso di apparecchiature a bassa potenza (così come definite dalla norma EN 50371: con emissione di frequenza 10 MHz ÷ 300 GHz e potenza media trasmessa fino a 20 mW e 20 W di picco), anche in assenza di marcatura CE	Non sono comprese le attività di manutenzione
<p>Uso di apparecchiatura con marcatura CE valutata utilizzando le norme armonizzate per la protezione dai CEM. L'elenco delle norme, che è comunque in frequente aggiornamento, è indicato nell'allegato C della norma EN 50499:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ EN 50360: telefoni cellulari; ▪ EN 50364: sistemi di identificazione (RFID) e antitaccheggio (EAS); ▪ EN 50366: elettrodomestici; ▪ EN 50371: norma generica per gli apparecchi elettrici ed elettronici di bassa potenza; ▪ EN 50385: stazioni radio base e stazioni terminali fisse per sistemi di telecomunicazione senza fili; ▪ EN 50401: apparecchiature fisse per trasmissione radio (110 MHz - 40 GHz) destinate a reti di telecomunicazione senza fili; ▪ EN 60335-2-25: forni a microonde e forni combinati per uso domestico e similare; ▪ EN 60335-2-90: forni a microonde per uso collettivo 	<p>L'apparecchiatura deve essere installata e utilizzata in conformità alle istruzioni del costruttore.</p> <p>Non sono comprese le attività di manutenzione che vanno valutate separatamente.</p> <p>Il datore di lavoro deve verificare sul libretto di uso e manutenzione che l'attrezzatura sia dichiarata conforme alla pertinente norma di prodotto.</p> <p>Non tutte le apparecchiature con marcatura CE sono però state valutate ai fini della protezione dai CEM, e può essere necessario raccogliere informazioni, ad esempio dal costruttore o dal fornitore, sulla valutazione dell'apparecchiatura.</p> <p>Non è comunque necessaria la valutazione rispetto alle norme per la protezione dai CEM per tutte le apparecchiature con la marcatura CE. Inoltre, per alcune apparecchiature e installazioni non è richiesta la marcatura CE.</p>

Uso di apparecchiatura immessa nel mercato europeo in conformità alla Raccomandazione Europea 1999/519/CE, che non richiede marcatura CE	Alcune apparecchiature immesse nel mercato europeo possono anche essere conformi alla Raccomandazione Europea 1999/519/EC pur non avendo ricevuto il marchio CE, per esempio, se fanno parte di un impianto (vedi punto precedente)
Apparecchiature di illuminazione (lampade)	Escluse le illuminazioni speciali alimentate in RF
Computer e apparecchiature IT	
Apparecchiature da ufficio	I dispositivi per la cancellazione in blocco di nastri magnetici possono necessitare di ulteriori valutazioni
Telefoni mobili (cellulari, ecc.) e cordless (DECT, ecc.)	
Radio ricetrasmittenti	Solo quelle con potenze medie inferiori a 20 mW
Basi per telefoni DECT e reti Wlan (es. Wi-Fi)	Limitatamente alle apparecchiature destinate all'utilizzo da parte della popolazione
Apparecchiature e reti di comunicazione escluse quelle wireless	
Apparecchi elettrici portatili e trasportabili	Ad esempio conformi alle EN 60745-1 e EN 61029-1 inerenti la sicurezza degli utensili a motore trasportabili
Apparecchiature portatili per riscaldamento (escluso il riscaldamento a induzione e dielettrico)	Ad esempio conformi alla EN 60335-2-45 (es. pistole per colla a caldo)
Caricabatterie	Trattati nel campo di applicazione della norma EN 60335-2-29 la quale tratta i caricabatteria per il normale uso domestico e quelli destinati all'utilizzo in garage, nei negozi, nell'industria leggera e nelle aziende agricole
Attrezzature elettriche per il giardinaggio	
Apparecchiature audio e video	Alcuni particolari modelli che fanno uso di trasmettitori radio nelle trasmissioni radio/TV possono necessitare di ulteriori valutazioni

Apparecchiature portatili a batteria esclusi i trasmettitori a radiofrequenza	
Apparecchiature elettriche per il riscaldamento di locali	Esclusi i riscaldatori a microonde
Tutte le apparecchiature non elettriche e di conseguenza tutte le attività che si svolgono unicamente in ambienti privi di impianti e apparecchiature elettriche e di magneti permanenti	
<p>Reti di alimentazione elettrica (50 Hz) nei luoghi di lavoro e circuiti di distribuzione e trasmissione dell'elettricità che attraversano o sorvolano il luogo di lavoro. Le esposizioni ai campi elettrici e magnetici vanno considerate separatamente.</p> <p>I seguenti elementi sono conformi per l'esposizione ai campi magnetici:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ tutte le installazioni elettriche con un valore nominale della corrente di fase non superiore a 100 A; ▪ tutti i circuiti singoli all'interno di un'installazione, con un valore nominale della corrente di fase non superiore a 100 A; ▪ tutti i circuiti i cui conduttori sono vicini e hanno una corrente netta non superiore a 100 A; ▪ sono compresi tutti i componenti delle reti che soddisfano i criteri precedenti (inclusi i cablaggi, le apparecchiature di manovra, i trasformatori, ecc.); ▪ tutti i conduttori aerei nudi. <p>I seguenti elementi sono conformi per l'esposizione ai campi elettrici:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ tutti i circuiti di cavi sotterranei o isolati, con qualsiasi tensione nominale ▪ tutti i circuiti aerei nudi con tensione nominale non superiore a 100 kV, o le linee aeree non superiori a 125 kV che sorvolano il luogo di lavoro, o di qualsiasi 	<p>I criteri qui riportati per dimostrare la conformità ai limiti di esposizione nel luogo di lavoro sono basati sulla dimostrazione che le esposizioni sono inferiori ai limiti minimi della Raccomandazione CE (1999) sulle esposizioni EMF per la popolazione. Tali criteri sono sufficienti a dimostrare la conformità per la maggior parte dei luoghi di lavoro.</p> <p>I criteri di valutazione basati direttamente sui limiti di esposizione della Direttiva CE per il luogo di lavoro, sono indicati nell'Allegato F (vedi capitolo 14) della norma EN 50499. Essi utilizzano 500 A al posto di 100 A, 200 kV invece di 100 kV e 250 kV invece di 125 kV. Le liste di controllo indicate nell'allegato F della norma (vedi capitolo 14) possono quindi essere utilizzate per dimostrare la conformità ai campi magnetici ed elettrici in qualsiasi luogo di lavoro.</p>

tensione se il luogo di lavoro è all'interno.	
Strumentazione e apparecchiature di misura e controllo	
Elettrodomestici	<p>Sono inclusi anche gli elettrodomestici professionali, come piani cottura, lavabiancheria, forni a microonde, ecc., utilizzati in ristoranti, negozi, ecc.</p> <p>I piani cottura professionali a induzione sono esclusi e necessitano di ulteriori valutazioni</p>
Computer e terminali IT con comunicazioni wireless	Esempi sono: WLAN (es Wi-Fi), WMAN (es WIMAX), bluetooth e tecnologie analoghe, limitatamente all'utilizzo da parte della popolazione
Trasmettitori a batteria	Limitatamente alle apparecchiature destinate all'utilizzo da parte della popolazione
Antenne di stazioni radio base	Un'ulteriore valutazione è importante solo qualora i lavoratori possano avvicinarsi all'antenna più della distanza di sicurezza stabilita per l'esposizione del pubblico
Tutte le apparecchiature mediche che, nei luoghi di lavoro medici, non irradiano intenzionalmente con esposizione elettromagnetica o applicazione di correnti	
Tutti i luoghi di lavoro interessati dalle emissioni di sorgenti CEM autorizzate ai sensi della normativa nazionale per la protezione della popolazione, con esclusione delle operazioni di manutenzione o altre attività svolte a ridosso delle sorgenti o sulle sorgenti stesse	<p>Il datore di lavoro deve verificare se è in possesso di autorizzazione in base alla legge 36/2001 e relativi decreti attuativi (DPCM 08/07/03) oppure richiedere</p> <p>all'ente gestore una dichiarazione del rispetto della legislazione nazionale in materia</p>

Tabella 7: Elenco delle sorgenti giustificabili -Tabella 1 della Norma CEI EN 50499

4.3 Cavi elettrici di bassa tensione in corrente continua

I cavi elettrici di bassa tensione in corrente continua, generano durante l'esercizio *campi elettrici e campi magnetici statici*. In relazione all'esposizione ai campi elettrici statici, sono classificabili, ai sensi della Norma CEI EN 50499 Tabella 1, come sorgenti giustificabili.

Per quanto riguarda l'esposizione ai campi magnetici statici, considerando che saranno attraversati da una corrente superiore a 100 A, non potendo essere classificabili come sorgenti giustificabili, saranno delle *sorgenti non conformi a priori*, per cui risulta necessario valutare i livelli di emissione e confrontarli con i livelli di riferimento per l'esposizione della Popolazione di cui alla Raccomandazione 1999/519/CE.

Ai fini del calcolo del campo magnetico generato durante l'esercizio, è stata applicata la formula analitica elementare riportata nella Norma CEI 106-12 "Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/BT", valida per le linee elettriche bifilari:

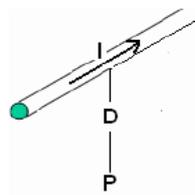
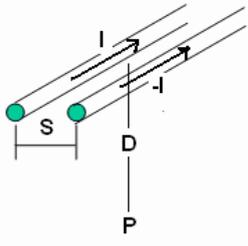
a) Linea unifilare		b) Linea bifilare	
			
$H_p (\text{A/m}) = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot D}$	$B_p (\mu\text{T}) = \frac{1}{5} \cdot \frac{I}{D}$	$H_p (\text{A/m}) \cong \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot D} \cdot \frac{S}{D}$	$B_p (\mu\text{T}) \cong \frac{1}{5} \cdot \frac{I}{D} \cdot \frac{S}{D}$

Figura 3: campo magnetico H e induzione magnetica B prodotti nel punto P da linee unifilari e bifilari

dove:

- I è la corrente che attraversa il conduttore [A];
- S è la distanza tra gli assi dei conduttori [m];
- D è la distanza del punto P di osservazione dalla sorgente di emissione [m].

Considerando che la corrente di impiego delle linee DC è pari a circa 302 A, tenendo conto della profondità di posa dei cavi pari a 1 m e della distanza tra le fasi pari a 0,0317 m, si ottiene un valore di induzione magnetica pari a circa 1,91 μ T.

Ai fini della protezione dei lavoratori dal rischio di esposizione, questo valore è stato confrontato con i Valori Limite di Esposizione, VLE_{san} e VLE_{sen} , e con il Valore di Azione, ottenendo esito positivo:

VLE per l'induzione magnetica esterna (B_0) per frequenze comprese tra 0 e 1 Hz	
	VLE relativi agli effetti sensoriali [T]
Condizioni di lavoro normali	2
Esposizione localizzata degli arti	8
	VLE relativi agli effetti sanitari [T]
Condizioni di lavoro controllate	8

Tabella 8: VLE per l'induzione magnetica esterna (B_0) per frequenze comprese tra 0 e 1 Hz (D.Lgs. 159/2016)

VA per l'induzione magnetica di campi magnetici statici	
Rischi	VA (B_0) [mT]
Interferenza con dispositivi impiantabili attivi, ad esempio stimolatori cardiaci	0,5
Rischio di attrazione e propulsivo nel campo periferico di sorgenti ad alta intensità (> 100 mT)	3

Tabella 9: VA per l'induzione magnetica di campi magnetici statici (D.Lgs. 159/2016)

4.4 Cabine elettriche di conversione e trasformazione dell'energia elettrica prodotta

In relazione all'esposizione dei lavoratori al campo elettrico generato dalle apparecchiature installate all'interno delle cabine di conversione e trasformazione dell'energia elettrica prodotta, vanno applicati i Valori Limite di Esposizione VLE relativi agli effetti sensoriali per il campo elettrico interno a frequenze comprese tra 1 Hz e 400 Hz e i Valori di Azione VA per i campi elettrici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz:

VLE relativi agli effetti sensoriali per il campo elettrico interno a frequenze comprese tra 1 Hz e 400 Hz

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

Tabella 10: VLE relativi agli effetti sensoriali per il campo elettrico interno a frequenze comprese tra 1 Hz e 400 Hz (D. Lgs. 159/2016)

VA per i campi elettrici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

Intervallo di frequenza	VA (E) inferiori per l'intensità del campo elettrico [Vm^{-1}] (valori RMS)	VA (E) superiori per l'intensità del campo elettrico [Vm^{-1}] (valori RMS)
$1 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$
$25 \leq f < 50 \text{ Hz}$	$5,0 \times 10^5 / f$	$2,0 \times 10^4$
$50 \text{ Hz} \leq f < 1,64 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^5 / f$	$1,0 \times 10^6 / f$
$1,64 \leq f < 3 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^5 / f$	$6,1 \times 10^2$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,7 \times 10^2$	$6,1 \times 10^2$

Tabella 11: VA per i campi elettrici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

Nota la frequenza di esercizio dell'impianto, pari a 50 Hz, si ottiene:

$$VLE_{sen} = 0,0028 \times 50 = 0,14 [V m^{-1}]$$

$$VA_{inf} = 5,0 \times 10^5 / 50 = 10.000 [V m^{-1}]$$

$$VA_{sup} = 1,0 \times 10^6 / 50 = 20.000 [V m^{-1}]$$

Tuttavia, poiché tutti i componenti dell'impianto presentano al loro interno schermature o parti metalliche collegate all'impianto di terra locale, i campi elettrici risultanti all'interno dei locali menzionati risultano trascurabili. Nel caso in cui gli effetti mitigatori delle schermature non dovessero risultare idonee, verranno adottate idonee misure di protezione e prevenzione.

In relazione all'esposizione dei lavoratori al campo induzione magnetica, l'indagine è stata condotta all'interno e nelle immediate vicinanze delle cabine elettriche di conversione e trasformazione BT/MT, in condizioni di portata di corrente in servizio normale, intesa, ai sensi della Norma CEI 11-60, come la corrente che può essere sopportata da un conduttore per il 100% del tempo con limiti accettabili del rischio di scarica sugli oggetti mobili e sulle opere attraversate e dell'invecchiamento,

in quanto, ai sensi dell'art. 6 del D.P.C.M. 8 luglio 2008, i proprietari devono comunicare non solo l'ampiezza delle fasce di rispetto ma anche i dati per il calcolo delle stesse ai fini delle verifiche delle Autorità Competenti.

Per la determinazione della Distanza di Prima Approssimazione delle cabine elettriche di trasformazione BT/MT, è stata applicata la procedura di calcolo definita dal Decreto Ministeriale 29 maggio 2008.

La struttura semplificata sulla base della quale viene calcolata la DPA, intesa come distanza da ciascuna delle pareti (tetto, pavimento e pareti laterali), è un sistema trifase, percorso da una corrente pari alla corrente nominale dell'avvolgimento di bassa tensione, e con distanza tra le fasi pari al diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore stesso.

Sotto queste ipotesi, l'espressione che consente di determinare la DPA è quella di seguito riportata:

$$\frac{DPA}{\sqrt{I}} = 0,40942 X^{0,5241} \quad (1)$$

dove:

- DPA è la distanza di prima approssimazione [m];
- I è la corrente nominale dell'avvolgimento di bassa tensione del trasformatore [A];
- X è il diametro dei cavi in uscita dal trasformatore [m].

Considerando che per l'impianto in esame sono previste diverse cabine, ciascuna delle quali equipaggiata con trasformatori da 5000 kVA, aventi un rapporto di trasformazione nominale pari a 0,55/30 kV, la corrente nominale dell'avvolgimento di bassa tensione, da prendere al fini del calcolo della distanza di prima approssimazione, vale:

$$I_{n\ BT} = 5250\ A$$

Assumendo che ciascuna fase BT sarà costituita da n° 9 cavi unipolari da 400 mm², utilizzando la tabella sotto allegata, si può determinare il diametro del cavo da prendere in considerazione ai fini dell'applicazione della (1) per il calcolo della DPA:

Numero conduttori	Sezione nominale	Diametro indicativo conduttore	Spessore medio isolante	Diametro est. indicativo di produzione	Peso indicativo del cavo	Resistenza Elettrica a 20°C	Portale di corrente (A)	
Cores number	Cross section	Approx conductor diameter	Insulation medium thickness	Approx external production diameter	Approx cable weight	Electric resistance at 20°C	Current carrying capacities (A)	
(N°)	(mm²)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(Ohm/km)	30°C In tubo o in aria In air or pipe	(*) 20°C Interrato In ground
1x	1.5	1.6	0.7	6.05	51	13.3	20	21
	4	2.6	0.7	7.15	84	4.95	37	35
	6	3.4	0.7	7.5	104	3.3	48	44
	10	4.4	0.7	7.99	152	1.91	66	59
	16	5.7	0.7	9.1	211	1.21	88	77
	25	6.9	0.9	10.4	301	0.78	117	100
	35	8.1	0.9	11.7	396	0.554	144	121
	50	9.8	1	14.05	556	0.386	175	150
	2.5	2	0.7	6.5	63	7.98	28	27
	70	11.6	1.1	15.9	761	0.272	222	184
	95	13.3	1.1	17.59	991	0.206	269	217
	120	15.1	1.2	19.9	1219	0.161	312	259
	150	16.8	1.4	22.01	1517	0.129	355	287
	185	18.6	1.6	24.2	1821	0.106	417	323
	240	21.4	1.7	26.88	2366	0.0801	490	379
	300	23.9	1.8	31.7	2947	0.0641	-	429
400	27.5	2	35.1	3870	0.0486	-	541	
2x	1.5	1.6	0.7	9.6	125	13.3	22	23
	2.5	2	0.7	10.1	151	7.98	30	30
	4	2.6	0.7	11.9	210	4.95	40	39
	6	3.4	0.7	12.7	260	3.3	51	49
	10	4.4	0.7	14.27	395	1.91	69	66
	16	5.7	0.7	16.3	576	1.21	91	86
	25	6.9	0.9	19	806	0.78	119	111
	35	8.1	0.9	21.4	1052	0.554	146	136
	50	9.8	1	25.5	1465	0.386	175	168
	70	11.6	1.1	30.8	2282	0.272	221	207
	95	13.3	1.1	33.9	2917	0.206	265	245
120	15.1	1.2	37.9	3678	0.161	305	284	
150	16.8	1.4	42	4028	0.129	-	324	
3x	1.5	1.6	0.7	9.9	142	13.3	19.5	19
	2.5	2	0.7	11	185	7.98	26	25
	4	2.6	0.7	12.5	246	4.95	35	32
	6	3.4	0.7	13.5	317	3.3	44	41
	10	4.4	0.7	16.5	503	1.91	60	55
	16	5.7	0.7	18.5	690	1.21	80	72
	25	6.9	0.9	21.9	991	0.78	105	93
	35	8.1	0.9	23.99	1370	0.554	128	114
	50	9.8	1	29.5	1941	0.386	154	141
	70	11.6	1.1	33.9	2680	0.272	194	174
	95	13.3	1.1	37.8	3487	0.206	233	206
	120	15.1	1.2	42.66	4406	0.161	268	239
	150	16.8	1.4	46.87	5440	0.129	300	272
185	18.6	1.6	53.5	6750	0.106	340	306	
240	21.4	1.7	60.65	8778	0.0801	398	360	

Tabella 12: Scheda tecnica cavi elettrici BT

Tenendo conto del diametro del singolo cavo e del numero di cavi costituenti ciascuna fase BT, si ricava un diametro equivalente del fascio di cavi in uscita dai trasformatori di circa 316 mm, pertanto, applicando la (1) si ottiene una distanza di prima approssimazione, arrotondata al mezzo metro superiore, pari a:

$$DPA = 16,5 \text{ m}$$

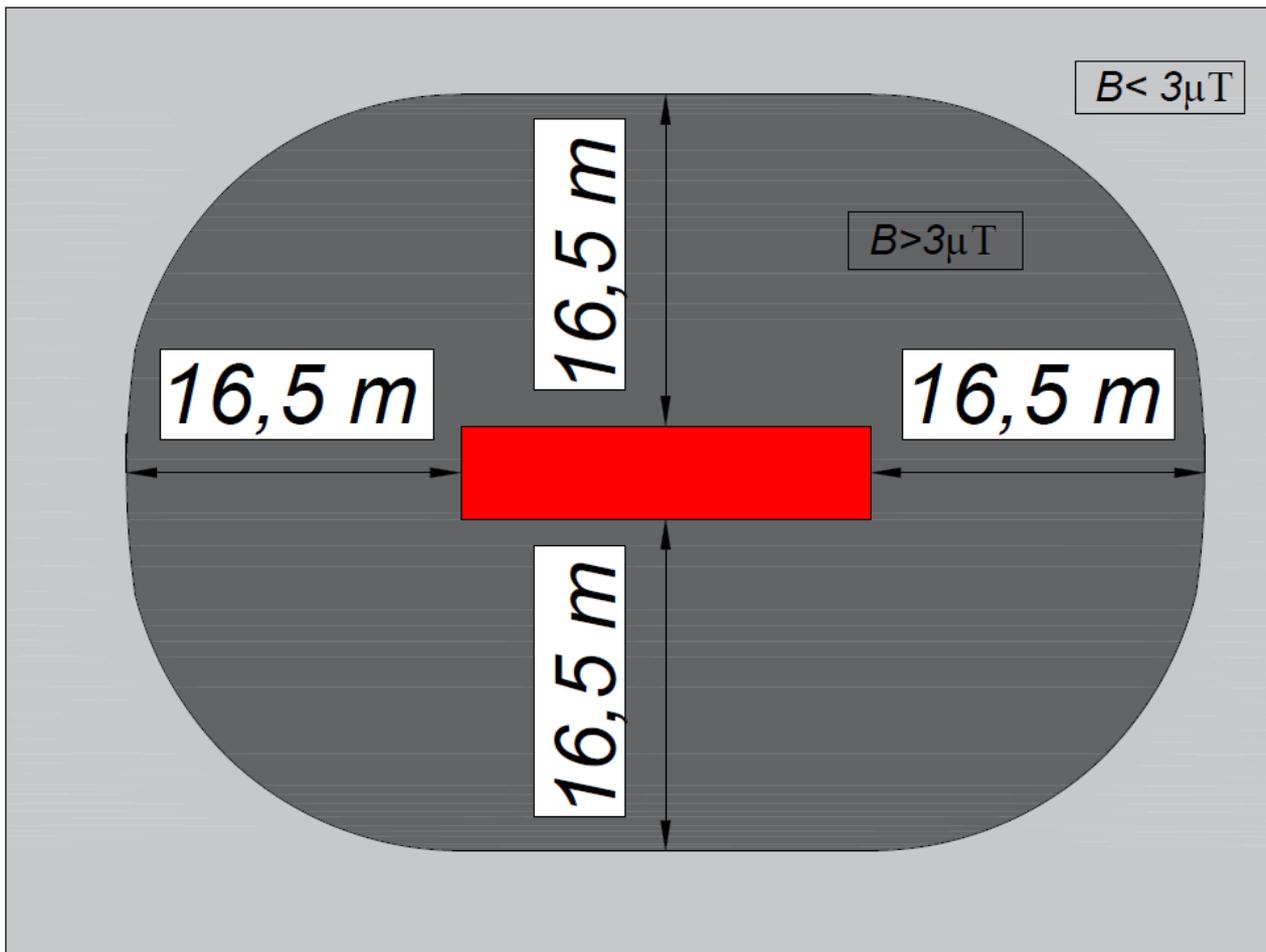


Figura 4: Distanza di prima approssimazione cabina elettrica equipaggiata con trasformatori da 5000 kVA

Dato che le cabine saranno realizzate all'interno di un sito intercluso alla libera circolazione, si può affermare che i livelli di emissione non costituiscono pericoli per la popolazione.

Ai fini della protezione dei lavoratori dal rischio di esposizione, si è fatto riferimento alla Scheda S.1 della Guida CEI 106-45:

TIPOLOGIA SORGENTE - APPARATO	LUOGHI DI LAVORO	CARATTERISTICHE E DESCRIZIONE
ELETTRODOTTI OPERANTI ALLA FREQUENZA DI RETE (50 Hz) 	A. LUOGHI ACCESSIBILI ESCLUSIVAMENTE A LAVORATORI ADDETTI <i>(esposizione di carattere professionale)</i>	<p>Rientrano nella fattispecie degli elettrodotti i seguenti impianti: linee elettriche, sottostazioni e cabine di trasformazione (Legge 22 febbraio 2001, n.36 [3])</p> <ul style="list-style-type: none"> • Luoghi accessibili esclusivamente a lavoratori esposti per motivi professionali, ad es. addetti che debbano svolgere specifiche attività lavorative (ad esempio attività di controllo e manutenzione impianti) e solo in relazione allo svolgimento delle stesse. • L'esposizione può superare i limiti di esposizione per la popolazione di cui al DPCM 8/7/2003 BF [5] (Cfr. 8.2). • Devono essere rispettati i limiti stabiliti nel TUS, Allegato XXXVI, Parte II [1] (Cfr. Tabella 3 e Tabella 4 della presente Guida CEM). <p>I lavoratori esposti al CEM per motivi di carattere professionale, in relazione allo svolgimento di specifiche attività lavorative, devono essere sottoposti a sorveglianza sanitaria e ricevere una formazione ed eventuale addestramento in relazione al rischio specifico.</p>
	B. LUOGHI ACCESSIBILI AL PUBBLICO <i>(esposizioni di carattere NON professionale)</i>	<p>Luoghi accessibili anche a lavoratori non esposti per ragioni di carattere professionale o a visitatori esterni (popolazione). L'esposizione deve essere contenuta entro le restrizioni per l'esposizione della popolazione fissate dalla legislazione nazionale vigente (DPCM 8/7/2003 BF) (Cfr. 8.2).</p> <p>PERMANENZE < 4 ORE</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'esposizione deve essere contenuta entro il limite di esposizione per la popolazione fissato dal DPCM 8/7/2003 BF, ma può superare il valore di attenzione e l'obiettivo di qualità. <p>PERMANENZE ≥ 4 ORE</p> <p>In un luogo adibito a permanenze non inferiori alle 4 ore giornaliere di pubblico o lavoratori non esposti per motivi di carattere professionale, in base alle definizioni del DPCM 8/7/2003 BF, si possono verificare le seguenti situazioni:</p> <p>EDIFICIO O ELETTRODOTTI PRECEDENTI alla data del 08.07.2003: l'esposizione deve essere contenuta entro il limite di esposizione e il valore di attenzione fissati dal DPCM 8/7/2003 BF;</p> <p>EDIFICIO O ELETTRODOTTI SUCCESSIVI alla data del 08.07.2003: l'esposizione deve essere contenuta entro il limite di esposizione e l'obiettivo di qualità fissati dal DPCM 8/7/2003 BF.</p>

Scheda S.1

Tabella 13: Scheda S.1 Norma CEI 106-45 – Guida alla valutazione dei rischi per la salute e la sicurezza derivante dall'esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (CEM) fra 0 Hz e 300 GHz nei luoghi di lavoro – Elettrodotti operanti a frequenza di rete

Considerando che le cabine in oggetto insistono su luoghi accessibili esclusivamente agli addetti ai lavori, l'esposizione può superare i limiti per la popolazione di cui al DPCM 8 luglio 2003. Tuttavia, per la protezione dei lavoratori dal rischio di esposizione, è necessario rispettare i Limiti di Azione esposizione stabiliti dal D.Lgs 159/2016, di seguito riportati:

VA per i campi magnetici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

Intervallo di frequenza	VA (B) inferiori per l'induzione magnetica [μT] (valori RMS)	VA (B) superiori per l'induzione magnetica [μT] (valori RMS)	VA (B) per l'induzione magnetica per esposizione localizzata degli arti [μT] (valori RMS)
$1 \leq f < 8 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^5 / f^2$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$8 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,5 \times 10^4 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$25 \leq f < 300 \text{ Hz}$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^3 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

Tabella 14: Va per i campi magnetici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz (D.Lgs. 159/2016)

Nota la frequenza di esercizio dell'impianto, pari a 50 Hz, si ottiene:

$$VA_{\text{inf}} = 1,0 \times 10^3 = 1.000 [\mu\text{T}]$$

$$VA_{\text{sup}} = 3,0 \times 10^5 / 50 = 6.000 [\mu\text{T}]$$

$$VA = 9,0 \times 10^5 / 50 = 18.000 [\mu\text{T}] \quad (\text{per esposizione localizzata degli arti})$$

I limiti sopra calcolati, sono stati confrontati con il valore dell'induzione magnetica generata durante l'esercizio dalle apparecchiature installate all'interno delle cabine, pari a $3\mu\text{T}$, ottenendo esito positivo.

Cautelativamente, considerando che la principale fonte di emissione del campo magnetico è il trasformatore, è stato calcolato il valore di induzione magnetica generata ricorrendo alla formula di Siemens di seguito riportata:

$$B(d) = (0,72 \times V_{\text{cc}\%} \sqrt{An}) / d^{2,8}$$

dove:

- d è la distanza in metri dal centro del trasformatore;
- $V_{\text{cc}\%}$ è la tensione di cortocircuito del trasformatore;
- An è la potenza apparente nominale del trasformatore [kVA].

Considerando che i trasformatori hanno una potenza nominale di 5000 kVA e una $V_{\text{cc}\%}$ pari al 6%, a distanza di 1 m dal centro si ottiene un valore di B pari a circa **$306 \mu\text{T}$** , il quale risulta notevolmente inferiore ai limiti previsti dal D.Lgs. 159/2016.

Ciò nonostante i lavoratori esposti ai CEM per motivi di carattere professionale, in relazione allo svolgimento di specifiche attività lavorative, verranno sottoposti a sorveglianza sanitaria e riceveranno una formazione ed addestramento in relazione al rischio specifico.

Ai sensi della Legge 22 febbraio 2001 n.36, ***le cabine elettriche di trasformazione rientrano nella fattispecie degli Elettrodotti.***

La principale misura di prevenzione che varrà adottata è la **zonizzazione**, che consiste nell'individuare e delimitare, le diverse zone in cui sono rispettate le restrizioni statuite dalla legge, come prescritto nella Norma CEI EN 50499. L'individuazione delle diverse zone di rispetto, ad accesso libero o controllato, andrà fatta in relazione ai limiti di esposizione per la popolazione e per i lavoratori,

tenendo conto dei casi di lavoratori particolarmente sensibili al rischio procedendo come sintetizzato nella figura seguente:

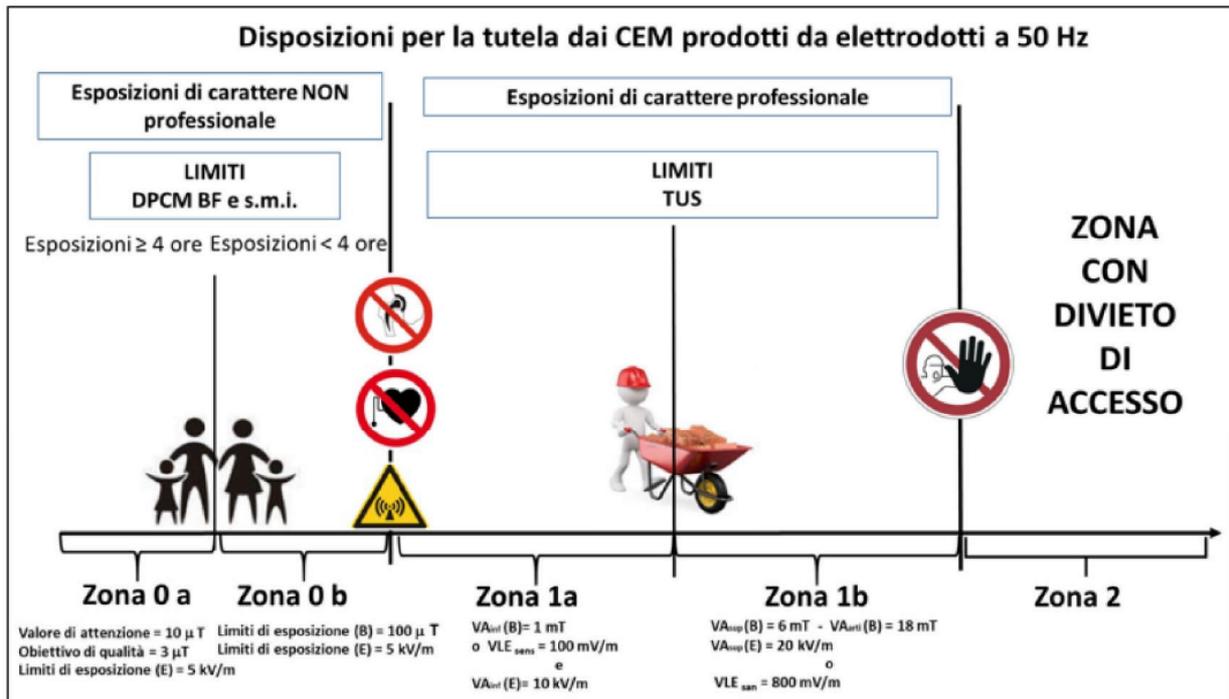


Figura 5: misure di prevenzione e protezione per la tutela dai CEM prodotti da elettrodotti a 50 Hz

4.4.1 Classificazione delle zone

Zona 0 “Area accessibile al pubblico e ai lavoratori non esposti per motivi di carattere professionale”: area nella quale le esposizioni sono conformi alle restrizioni per l’esposizione della popolazione (come definite dalla Legge Quadro 36/2001 e dal DPCM BF 8 luglio 2003); la Zona 0, in virtù della specifica legislazione italiana, verrà suddivisa in due ulteriori sottozone:

- **Zona 0a**: area in cui saranno rispettati sia i limiti di esposizione sia il valore di attenzione e l’obiettivo di qualità relativi all’esposizione della popolazione;
- **Zona 0b**: area in cui sono rispettati i limiti di esposizione ma in cui possono essere superati il valore di attenzione o l’obiettivo di qualità relativi all’esposizione della popolazione.

Zona 1: “Area accessibile esclusivamente a lavoratori esposti per motivi professionali” e solo in relazione allo svolgimento di specifiche attività. In conformità alla Norma CEI EN 50499, tale zona andrà suddivisa in due ulteriori sottozone:

- **Zona 1a**: area in cui le esposizioni possono essere superiori ai limiti per la popolazione ma conformi ai VA_{inf} o ai VLE_{sen} ;

- **Zona 1b:** area in cui le esposizioni sono conformi ai VA_{sup} o ai VLE_{san} ma possono superare i VA_{inf} o i VLE_{sen} in cui può essere necessario adottare misure di controllo specifiche.

Zona 2: “Area di accesso vietato”, in cui l’esposizione può superare i VLE_{san} .

4.4.2 Misure di protezione da adottare

Zona 0: la zona 0 non presenta alcun rischio in relazione all’esposizione ai CEM. Possono accedere anche la popolazione e i lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio CEM. Qualora si configuri anche un’esposizione a campi magnetici statici, non deve essere superato il VA di 0,5 mT per l’induzione magnetica di campi magnetici statici per i rischi di interferenza con i DMIA. Per i portatori di DMIA devono essere rispettate le distanze di separazione dalle sorgenti giustificabili di CEM indicate nella tabella 1 della Norma CEI EN 50527-1.

Zona 1: nell’area 1 verranno adottate le seguenti misure di protezione:

- a) Verrà interdetto l’accesso al pubblico e ai lavoratori non addetti;
- b) Verrà vietato l’accesso ai lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio CEM;
- c) Verrà delimitato l’accesso all’area con l’apposizione della pertinente segnaletica per i CEM ai sensi della normativa vigente;
- d) Verrà erogata specifica formazione ai lavoratori che vi accedono;
- e) In caso di superamento dei VLE_{sen} , lo stesso sarà temporaneo e verranno adottate misure di protezione specifiche, quali il controllo dei movimenti nel caso di esposizione a campi magnetici statici o quasi statici;
- f) Verranno adottate misure di protezione finalizzate a prevenire il rischio di microscariche.

Zona 2: verranno adottate procedure autorizzative per l’accesso. In tale zona nessuno potrà accedere, salvo ridurre temporaneamente l’esposizione fino a ricadere almeno nel caso della Zona 1. L’accesso alla Zona 2 verrà impedito a mezzo di ostacoli fisici o provvedimenti organizzativi.

4.5 Linee elettriche di media tensione

In relazione all’esposizione dei lavoratori ai campi elettrici generati dalle linee elettriche di media tensione elettrificate a 30 kV in corrente alternata a frequenza industriale, ai sensi della Norma CEI EN 50499 esse sono classificabili come *sorgenti giustificabili*, ovvero conformi a priori ai livelli di riferimento per l’esposizione della popolazione di cui alla Raccomandazione 1999/519/CE:

Luoghi e apparecchiature conformi a priori	
Tipo di apparecchiatura/luogo	Note
Luoghi di lavoro accessibili al pubblico	Sono ritenuti conformi i luoghi di lavoro aperti al pubblico che rispettano i limiti di esposizione indicati nella Raccomandazione del Consiglio Europeo 1999/519/EC (ad esempio a 50 Hz il limite di induzione magnetica è di 100 \square T)
Uso di apparecchiature a bassa potenza (così come definite dalla norma EN 50371: con emissione di frequenza 10 MHz ÷ 300 GHz e potenza media trasmessa fino a 20 mW e 20 W di picco), anche in assenza di marcatura CE	Non sono comprese le attività di manutenzione
<p>Uso di apparecchiatura con marcatura CE valutata utilizzando le norme armonizzate per la protezione dai CEM. L'elenco delle norme, che è comunque in frequente aggiornamento, è indicato nell'allegato C della norma EN 50499:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ EN 50360: telefoni cellulari; ▪ EN 50364: sistemi di identificazione (RFID) e anticaccheggio (EAS); ▪ EN 50366: elettrodomestici; ▪ EN 50371: norma generica per gli apparecchi elettrici ed elettronici di bassa potenza; ▪ EN 50385: stazioni radio base e stazioni terminali fisse per sistemi di telecomunicazione senza fili; ▪ EN 50401: apparecchiature fisse per trasmissione radio (110 MHz - 40 GHz) destinate a reti di telecomunicazione senza fili; ▪ EN 60335-2-25: forni a microonde e forni combinati per uso domestico e similare; ▪ EN 60335-2-90: forni a microonde per uso collettivo 	<p>L'apparecchiatura deve essere installata e utilizzata in conformità alle istruzioni del costruttore.</p> <p>Non sono comprese le attività di manutenzione che vanno valutate separatamente.</p> <p>Il datore di lavoro deve verificare sul libretto di uso e manutenzione che l'attrezzatura sia dichiarata conforme alla pertinente norma di prodotto.</p> <p>Non tutte le apparecchiature con marcatura CE sono però state valutate ai fini della protezione dai CEM, e può essere necessario raccogliere informazioni, ad esempio dal costruttore o dal fornitore, sulla valutazione dell'apparecchiatura.</p> <p>Non è comunque necessaria la valutazione rispetto alle norme per la protezione dai CEM per tutte le apparecchiature con la marcatura CE. Inoltre, per alcune apparecchiature e installazioni non è richiesta la marcatura CE.</p>

Usò di apparecchiatura immessa nel mercato europeo in conformità alla Raccomandazione Europea 1999/519/CE, che non richiede marcatura CE	Alcune apparecchiature immesse nel mercato europeo possono anche essere conformi alla Raccomandazione Europea 1999/519/EC pur non avendo ricevuto il marchio CE, per esempio, se fanno parte di un impianto (vedi punto precedente)
Apparecchiature di illuminazione (lampade)	Escluse le illuminazioni speciali alimentate in RF
Computer e apparecchiature IT	
Apparecchiature da ufficio	I dispositivi per la cancellazione in blocco di nastri magnetici possono necessitare di ulteriori valutazioni
Telefoni mobili (cellulari, ecc.) e cordless (DECT, ecc.)	
Radio ricetrasmittenti	Solo quelle con potenze medie inferiori a 20 mW
Basi per telefoni DECT e reti Wlan (es. Wi-Fi)	Limitatamente alle apparecchiature destinate all'utilizzo da parte della popolazione
Apparecchiature e reti di comunicazione escluse quelle wireless	
Apparecchi elettrici portatili e trasportabili	Ad esempio conformi alle EN 60745-1 e EN 61029-1 inerenti la sicurezza degli utensili a motore trasportabili
Apparecchiature portatili per riscaldamento (escluso il riscaldamento a induzione e dielettrico)	Ad esempio conformi alla EN 60335-2-45 (es. pistole per colla a caldo)
Caricabatterie	Trattati nel campo di applicazione della norma EN 60335-2-29 la quale tratta i caricabatteria per il normale uso domestico e quelli destinati all'utilizzo in garage, nei negozi, nell'industria leggera e nelle aziende agricole
Attrezzature elettriche per il giardinaggio	
Apparecchiature audio e video	Alcuni particolari modelli che fanno uso di trasmettitori radio nelle trasmissioni radio/TV possono necessitare di ulteriori valutazioni

Apparecchiature portatili a batteria esclusi i trasmettitori a radiofrequenza	
Apparecchiature elettriche per il riscaldamento di locali	Esclusi i riscaldatori a microonde
Tutte le apparecchiature non elettriche e di conseguenza tutte le attività che si svolgono unicamente in ambienti privi di impianti e apparecchiature elettriche e di magneti permanenti	
<p>Reti di alimentazione elettrica (50 Hz) nei luoghi di lavoro e circuiti di distribuzione e trasmissione dell'elettricità che attraversano o sorvolano il luogo di lavoro. Le esposizioni ai campi elettrici e magnetici vanno considerate separatamente.</p> <p>I seguenti elementi sono conformi per l'esposizione ai campi magnetici:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ tutte le installazioni elettriche con un valore nominale della corrente di fase non superiore a 100 A; ▪ tutti i circuiti singoli all'interno di un'installazione, con un valore nominale della corrente di fase non superiore a 100 A; ▪ tutti i circuiti i cui conduttori sono vicini e hanno una corrente netta non superiore a 100 A; ▪ sono compresi tutti i componenti delle reti che soddisfano i criteri precedenti (inclusi i cablaggi, le apparecchiature di manovra, i trasformatori, ecc.); ▪ tutti i conduttori aerei nudi. <p>I seguenti elementi sono conformi per l'esposizione ai campi elettrici:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ tutti i circuiti di cavi sotterranei o isolati, con qualsiasi tensione nominale ▪ tutti i circuiti aerei nudi con tensione nominale non superiore a 100 kV, o le linee aeree non superiori a 125 kV che sorvolano il luogo di lavoro, o di qualsiasi 	<p>I criteri qui riportati per dimostrare la conformità ai limiti di esposizione nel luogo di lavoro sono basati sulla dimostrazione che le esposizioni sono inferiori ai limiti minimi della Raccomandazione CE (1999) sulle esposizioni EMF per la popolazione. Tali criteri sono sufficienti a dimostrare la conformità per la maggior parte dei luoghi di lavoro.</p> <p>I criteri di valutazione basati direttamente sui limiti di esposizione della Direttiva CE per il luogo di lavoro, sono indicati nell'Allegato F (vedi capitolo 14) della norma EN 50499. Essi utilizzano 500 A al posto di 100 A, 200 kV invece di 100 kV e 250 kV invece di 125 kV. Le liste di controllo indicate nell'allegato F della norma (vedi capitolo 14) possono quindi essere utilizzate per dimostrare la conformità ai campi magnetici ed elettrici in qualsiasi luogo di lavoro.</p>

tensione se il luogo di lavoro è all'interno.	
Strumentazione e apparecchiature di misura e controllo	
Elettrodomestici	Sono inclusi anche gli elettrodomestici professionali, come piani cottura, lavabiancheria, forni a microonde, ecc., utilizzati in ristoranti, negozi, ecc. I piani cottura professionali a induzione sono esclusi e necessitano di ulteriori valutazioni
Computer e terminali IT con comunicazioni wireless	Esempi sono: WLAN (es Wi-Fi), WMAN (es WIMAX), bluetooth e tecnologie analoghe, limitatamente all'utilizzo da parte della popolazione
Trasmettitori a batteria	Limitatamente alle apparecchiature destinate all'utilizzo da parte della popolazione
Antenne di stazioni radio base	Un'ulteriore valutazione è importante solo qualora i lavoratori possano avvicinarsi all'antenna più della distanza di sicurezza stabilita per l'esposizione del pubblico
Tutte le apparecchiature mediche che, nei luoghi di lavoro medici, non irradiano intenzionalmente con esposizione elettromagnetica o applicazione di correnti	
Tutti i luoghi di lavoro interessati dalle emissioni di sorgenti CEM autorizzate ai sensi della normativa nazionale per la protezione della popolazione, con esclusione delle operazioni di manutenzione o altre attività svolte a ridosso delle sorgenti o sulle sorgenti stesse	Il datore di lavoro deve verificare se è in possesso di autorizzazione in base alla legge 36/2001 e relativi decreti attuativi (DPCM 08/07/03) oppure richiedere all'ente gestore una dichiarazione del rispetto della legislazione nazionale in materia

Tabella 15: Elenco delle sorgenti giustificabili -Tabella 1 della Norma CEI EN 50499

Le linee elettriche con correnti superiori a 100 A rientrano tra le sorgenti **non conformi a priori** ai sensi della Norma CEI EN 50499, per cui sono necessarie ulteriori misure o approfondimenti.

Con riferimento alle **esposizioni di carattere professionale**, ai fini della verifica della conformità ai VA stabiliti dal TUS, si è fatto riferimento alla norma CEI EN 50647.

Il rispetto dei VA_{inf} permette di prevenire le scariche elettriche nell'ambiente di lavoro.

Per i lavoratori particolarmente sensibili al rischio, in nessun caso l'esposizione dovrà superare i livelli di riferimento per l'esposizione della popolazione di cui al DPCM BF 8 luglio 2003.

Con riferimento alle *esposizioni di carattere non professionale*, sono state applicate le disposizioni contenute nel DPCM BF 8 luglio 2003.

In relazione all'esposizione dei lavoratori e della popolazione ai campi magnetici generati durante l'esercizio, è stata applicata la procedura di calcolo descritta dalla Norma CEI 211-4: "*Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche*", adottando le seguenti ipotesi di lavoro:

- Tipologia di cavi: unipolari;
- Tipologia di posa: interrata;
- Modalità di posa: fasi a trifoglio;
- Profondità di posa: 1,20 m per le linee interne al campo e 1,40 m per la dorsale;

La disposizione dei cavi con fasi a trifoglio, consente di ridurre il valore dell'induzione magnetica generata a livello del suolo sulla verticale del cavo, rispetto alle altre modalità di posa. I risultati ottenuti, vengono rappresentati nelle figure seguenti:

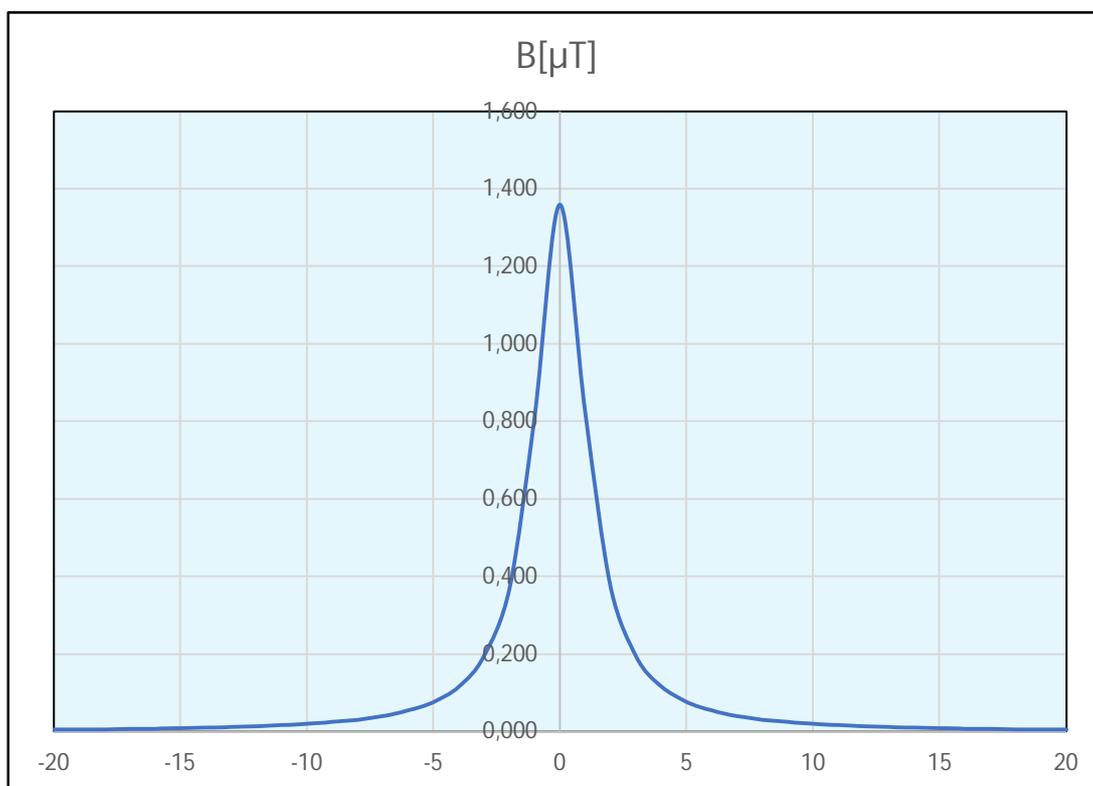


Figura 6: Induzione magnetica generata durante l'esercizio dalla linea MT 30 kV da 240 mm²; fasi disposte a trifoglio, I = 193 A circa, profondità di posa 1,20 m

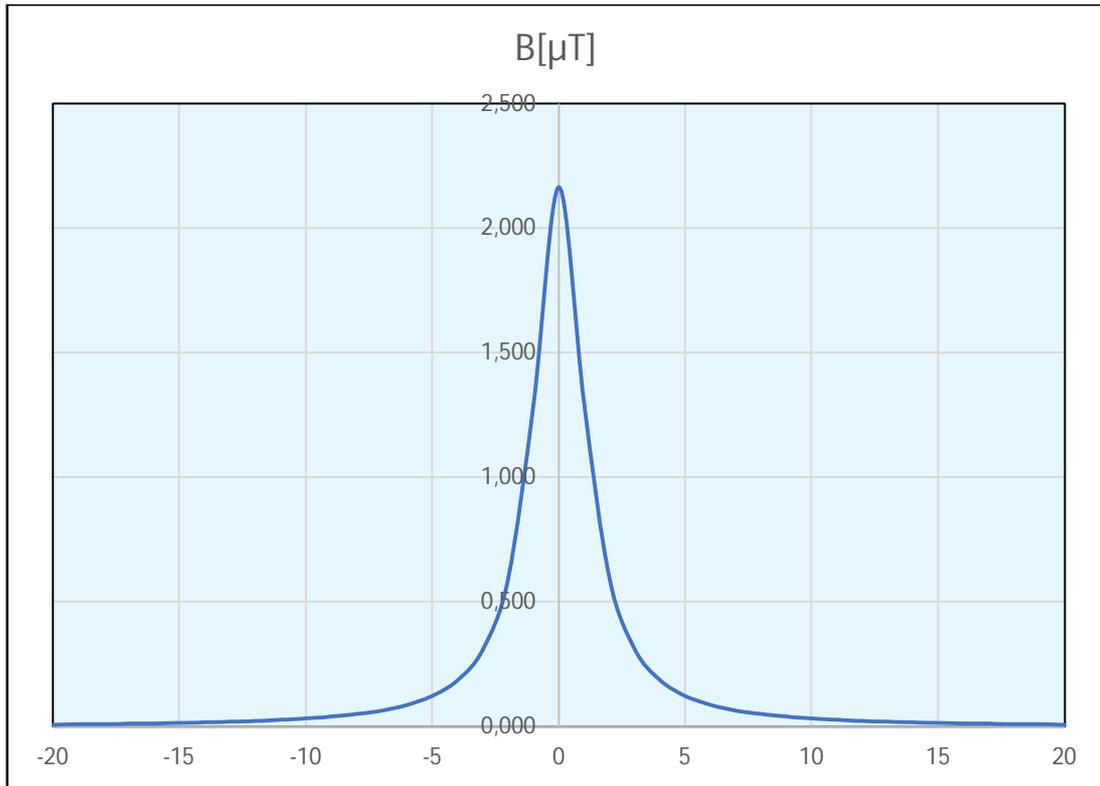


Figura 7: Induzione magnetica generata durante l'esercizio dalla linea MT 30 kV da 300 mm²; fasi disposte a trifoglio, I = 289 A circa, profondità di posa 1,20 m.

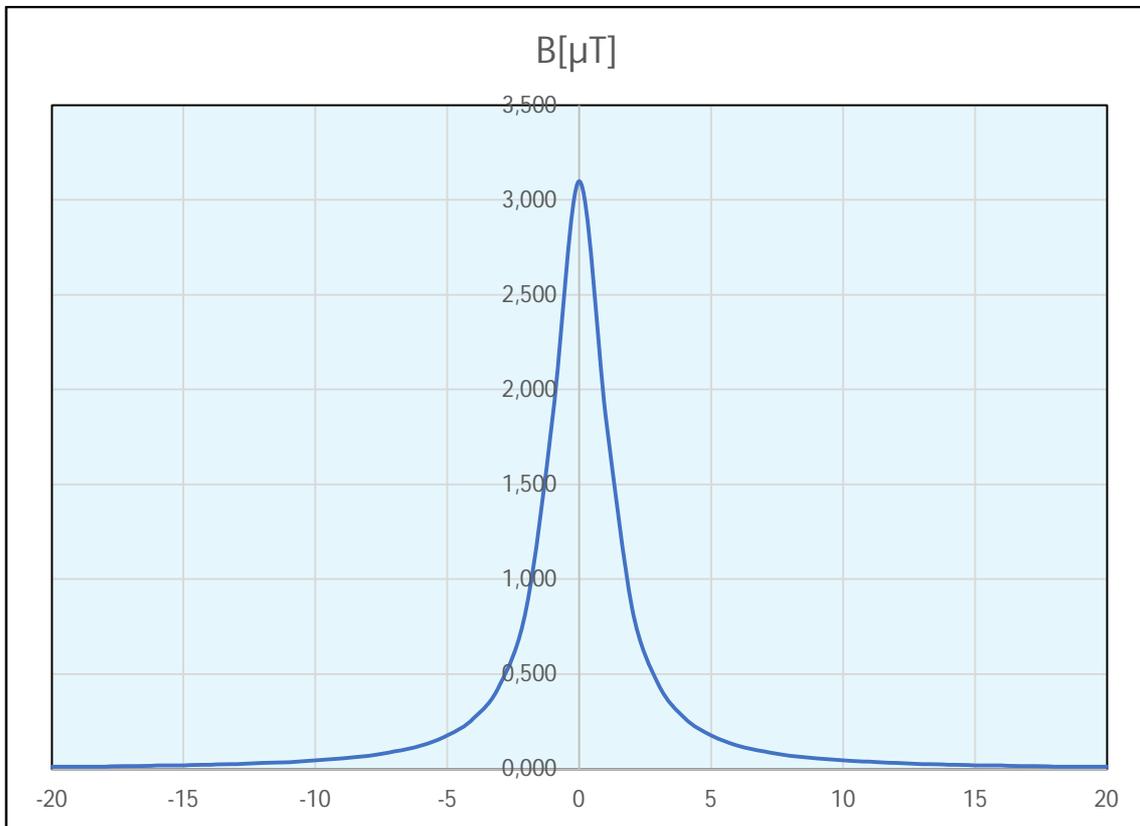


Figura 8: Induzione magnetica generata durante l'esercizio dalla linea MT 30 kV da 400 mm²; fasi disposte a trifoglio, I = 385 A circa, profondità di posa 1,20 m.

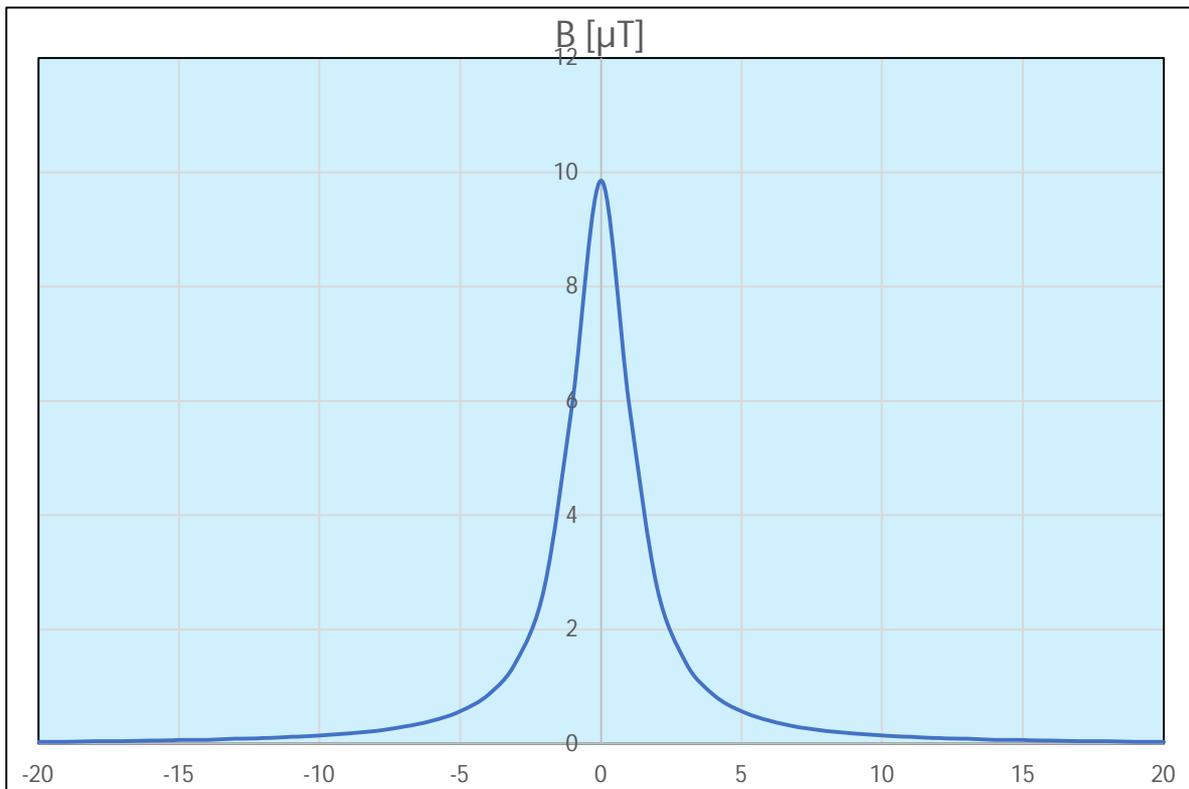


Figura 9: Induzione magnetica generata durante l'esercizio dalle due dorsali di collegamento con la Sottostazione Elettrica di Utenza; $I_1 = 578$ A; $I_2 = 482$ A; profondità di posa = 1,40 m; fasi disposte a trifoglio; terne distanziate di 25 cm

Il valore massimo dell'induzione magnetica si raggiunge al di sopra del suolo in corrispondenza dell'asse della linea e vale circa **3,1μT per le linee di campo e 10 μT per le dorsali**. Questi valori, risultano inferiori ai limiti stabiliti dal D.Lgs. 159/2016:

VA per i campi magnetici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

Intervallo di frequenza	VA (B) inferiori per l'induzione magnetica [μT] (valori RMS)	VA (B) superiori per l'induzione magnetica [μT] (valori RMS)	VA (B) per l'induzione magnetica per esposizione localizzata degli arti [μT] (valori 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 16: VA per i campi magnetici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

Possiamo affermare che i livelli di induzione magnetica generati, non costituiscono pericoli per la popolazione e per i lavoratori esposti.

Ai sensi della Legge 22 febbraio 2001 n.36, *le linee elettriche di media tensione rientrano nella fattispecie dei cavidotti.*

I cavidotti interni all'impianto si svilupperanno all'interno di *luoghi accessibili esclusivamente a lavoratori addetti*. L'esposizione può superare i limiti di esposizione per la popolazione di cui al DPCM 8 luglio 2003 BF, ma saranno comunque rispettati i limiti stabiliti nel TUS, Allegato XXXVI. *I lavoratori particolarmente esposti ai CEM* per motivi di carattere professionale, in relazione allo svolgimento di specifiche attività lavorative, *verranno sottoposti a sorveglianza sanitaria e riceveranno un'adeguata formazione in relazione al rischio specifico*. In nessun caso l'esposizione supererà i livelli di riferimento per l'esposizione della popolazione di cui al DPCM BF.

Le dorsali di media tensione di collegamento con la Sottostazione Elettrica di Utenza, si svilupperanno in luoghi accessibili al pubblico (esposizioni di carattere non professionale). L'esposizione verrà contenuta entro le restrizioni per l'esposizione della popolazione fissate dalla legislazione nazionale vigente (DPCM 8 luglio 2003 BF).

In caso di permanenza < 4 ore, l'esposizione verrà contenuta entro il limite di esposizione per la popolazione fissato dal DPCM 8 luglio 2003 BF, ma può superare il *valore di attenzione e l'obiettivo di qualità*.

In caso di permanenza ≥ 4 ore, in base alle disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 BF, considerando che l'elettrodotto è successivo alla data del 08.07.2003 l'esposizione sarà contenuta entro il limite di esposizione e l'obiettivo di qualità di 3μT.

Ai fini della valutazione della conformità all'obiettivo di qualità, è stato applicato il procedimento di calcolo previsto dalla Guida CEI 106-12, a partire dalla conoscenza delle caratteristiche geometriche ed elettriche dei cavidotti.

La principale misura di prevenzione che verrà adottata è la *zonizzazione*, che consiste nell'individuare e delimitare, le diverse zone in cui sono rispettate le restrizioni statuite dalla legge, come prescritto nella Norma CEI EN 50499. L'individuazione delle diverse zone di rispetto, ad accesso libero o controllato, andrà fatta in relazione ai limiti di esposizione per la popolazione e per i lavoratori,

tenendo conto dei casi di lavoratori particolarmente sensibili al rischio procedendo come sintetizzato nella figura seguente:

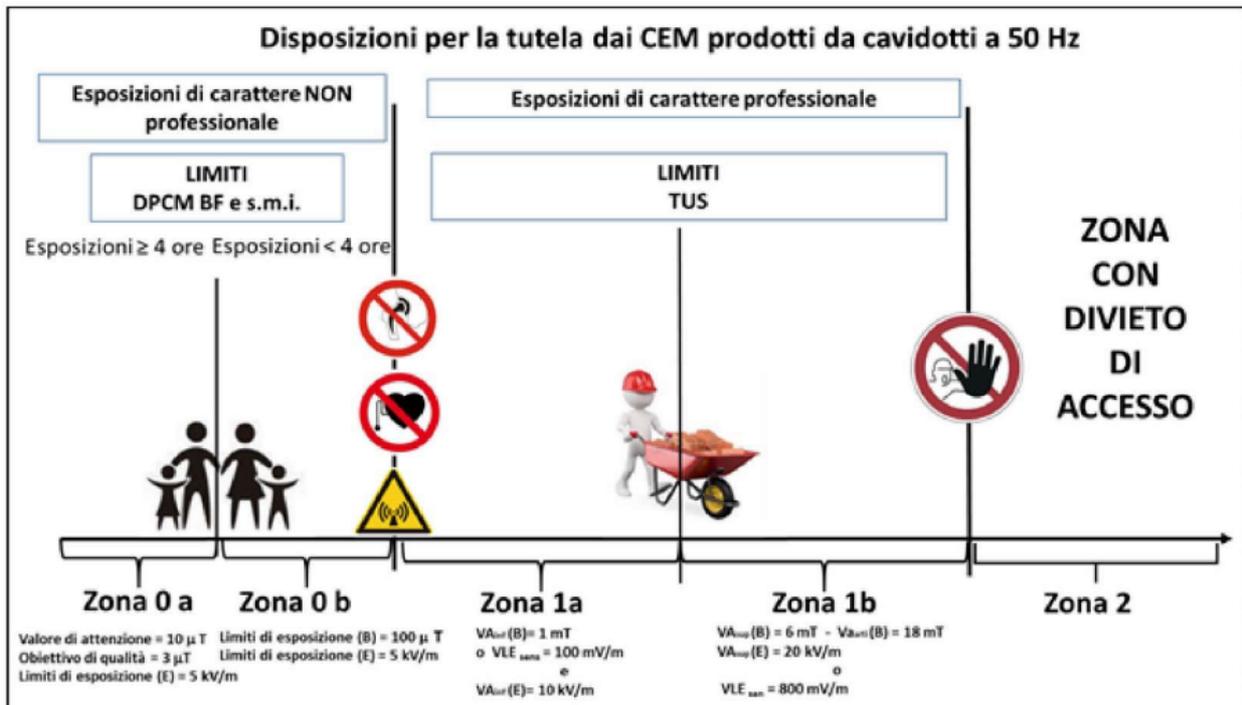


Figura 10: Misure di prevenzione e protezione per la tutela dai CEM prodotti da cavidotti a 50 Hz

4.5.1 Classificazione delle zone

Zona 0 “Area accessibile al pubblico e ai lavoratori non esposti per motivi di carattere professionale”: area nella quale le esposizioni sono conformi alle restrizioni per l’esposizione della popolazione (come definite dalla Legge Quadro 36/2001 e dal DPCM BF 8 luglio 2003); la Zona 0, in virtù della specifica legislazione italiana, verrà suddivisa in due ulteriori sottozone:

- **Zona 0a**: area in cui saranno rispettati sia i limiti di esposizione sia il valore di attenzione e l’obiettivo di qualità relativi all’esposizione della popolazione;
- **Zona 0b**: area in cui sono rispettati i limiti di esposizione ma in cui possono essere superati il valore di attenzione o l’obiettivo di qualità relativi all’esposizione della popolazione.

Zona 1: “Area accessibile esclusivamente a lavoratori esposti per motivi professionali” e solo in relazione allo svolgimento di specifiche attività. In conformità alla Norma CEI EN 50499, tale zona andrà suddivisa in due ulteriori sottozone:

- **Zona 1a**: area in cui le esposizioni possono essere superiori ai limiti per la popolazione ma conformi ai $V_{A_{inf}}$ o ai VLE_{sen} ;

- **Zona 1b:** area in cui le esposizioni sono conformi ai VA_{sup} o ai VLE_{san} ma possono superare i VA_{inf} o i VLE_{sen} in cui può essere necessario adottare misure di controllo specifiche.

Zona 2: “Area di accesso vietato”, in cui l’esposizione può superare i VLE_{san} .

4.5.2 Misure di protezione da adottare

Zona 0: la zona 0 non presenta alcun rischio in relazione all’esposizione ai CEM. Possono accedere anche la popolazione e i lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio CEM. Qualora si configuri anche un’esposizione a campi magnetici statici, non deve essere superato il VA di 0,5 mT per l’induzione magnetica di campi magnetici statici per i rischi di interferenza con i DMIA. Per i portatori di DMIA devono essere rispettate le distanze di separazione dalle sorgenti giustificabili di CEM indicate nella tabella 1 della Norma CEI EN 50527-1.

Zona 1: nell’area 1 verranno adottate le seguenti misure di protezione:

- g) Verrà interdetto l’accesso al pubblico e ai lavoratori non addetti;
- h) Verrà vietato l’accesso ai lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio CEM;
- i) Verrà delimitato l’accesso all’area con l’apposizione della pertinente segnaletica per i CEM ai sensi della normativa vigente;
- j) Verrà erogata specifica formazione ai lavoratori che vi accedono;
- k) In caso di superamento dei VLE_{sen} , lo stesso sarà temporaneo e verranno adottate misure di protezione specifiche, quali il controllo dei movimenti nel caso di esposizione a campi magnetici statici o quasi statici;
- l) Verranno adottate misure di protezione finalizzate a prevenire il rischio di microscariche.

Zona 2: verranno adottate procedure autorizzative per l’accesso. In tale zona nessuno potrà accedere, salvo ridurre temporaneamente l’esposizione fino a ricadere almeno nel caso della Zona 1. L’accesso alla Zona 2 verrà impedito a mezzo di ostacoli fisici o provvedimenti organizzativi.

4.6 Sottostazione Elettrica di Utenza MT/AT

Le Sottostazioni Elettriche in alta tensione generano elevati livelli di campo elettrico nelle loro immediate vicinanze dove vi può essere presenza di persone. Questi campi elettrici possono causare, attraverso accoppiamento capacitivo, un innalzamento del potenziale elettrico delle persone o di altri oggetti conduttivi che si trovino in vicinanza.

Una situazione tipica è costituita dagli operatori addetti alle attività di gestione e manutenzione. Questi lavoratori si trovano ad operare in presenza di un campo elettrico che li “carica” e, quindi, quando vengono a contatto con un oggetto collegato elettricamente a terra (quadri, sostegni, ecc.), possono essere soggetti, dapprima, a una scarica e, successivamente a contatto avvenuto, a una corrente di contatto stazionaria.

Nell’intervallo di frequenze fino a 10 MHz, la corrente elettrica che viene scambiata tra un oggetto posto nel campo e il corpo dell’individuo può dar luogo alla stimolazione dei muscoli e/o dei nervi periferici. All’aumentare dell’intensità della corrente, questi effetti possono manifestarsi come semplice percezione, scosse elettriche dolorose e/o ustioni, incapacità di rilasciare l’oggetto, difficoltà di respirazione e, a correnti molto alte, fibrillazione ventricolare. I valori di soglia per questi effetti dipendono dalla frequenza e assumono valori inferiori alle frequenze comprese tra 10 Hz e 100 Hz. Le soglie per la stimolazione dei nervi periferici rimangono basse fino a frequenze di diversi kHz.

I metodi adottati in fase di progettazione per ridurre la probabilità di comparsa di microscariche possono essere sostanzialmente raggruppati in tre categorie:

- a) innalzamento dei conduttori;
- b) ottimizzazione delle fasi;
- c) schermatura;
- d) messa a terra.

A questi metodi si aggiungono tutti i metodi di lavoro che, attraverso semplici precauzioni, consentono di ridurre il fastidio provocato dalle microscariche sulla pelle.

Un’adeguata informazione e formazione del personale consente, inoltre, di eliminare le situazioni in cui le microscariche possono provocare fastidiose conseguenze. Ad esempio, la consapevolezza della probabilità di insorgenza di microscariche, permette all’operatore di avvicinarsi a un oggetto tenendo in mano un arnese metallico riducendo quindi la densità di corrente locale ed evitando, pertanto, il fastidio locale generato dalla scarica.

a) Innalzamento dei conduttori

Poiché l'insorgenza di microscariche è legata all'intensità del campo elettrico, l'innalzamento dei conduttori sulla zona di interesse risulta il metodo più semplice a livello di progetto. Per l'impianto in esame, l'altezza dei conduttori è conforme agli Standard di Unificazione degli impianti AT isolati in aria:

PRINCIPALI DISTANZE DI PROGETTO	Sez.380 kV (m)	Sez.220 kV (m)	Sez.132-150 kV (m)
Distanza tra le fasi per le sbarre e le apparecchiature	5,50	3,20	2,20
Distanza tra le fasi nei conduttori in sorpasso alle sbarre (se del caso)	5,50	3,50	3,00
Distanza tra le fasi per l'amarro linee	6,25	3,50	3,00
Larghezza degli stalli	22,00	14,00	11,00
Larghezza complessiva dello stallo parallelo (del tipo ad U senza sorpasso sbarre)	44,00	28,00	22,00
Distanza tra le fasi adiacenti di due sistemi di sbarre	11,00	7,60	6,00
Altezza dei conduttori di stallo (asse morsetti sezionatori di sbarra)	6,50	5,30	4,50
Quota asse sbarre	11,80	9,30	7,50
Quota amarro linee (ad interruttori "sfalsati")	14,00 (21,00)	16,00 (12,00)	15,00
Sbalzo sbarre per i TV di sbarra ⁽²⁾	5,50	4,00	3,30
Sbalzo senza TV di sbarra	4,00	3,00	2,00
Distanza tra l'asse del TV di sbarra ed l'asse strada (larghezza strada 4 metri)	6,70	5,00	4,00
DISTANZE LONGITUDINALI TRA LE PRINCIPALI APPARECCHIATURE AT DI STALLO			
Distanza tra le sbarre e l'interruttore	10,00	7,00	6,50
Distanza tra l'interruttore ed il TA ⁽¹⁾	10,00	8,00	7,50
Distanza tra il TA ed il sezionatore di linea ⁽¹⁾	5,10	5,00	3,50
Distanze tra il sezionatore di linea ed il TV ⁽¹⁾	5,90 (9,90)	5,00	3,00
Distanza tra il TV ed il traliccio/portale di amarro ⁽²⁾⁽⁵⁾ (caso di stallo senza scaricatore di arrivo linea)	-	-	4,50
Distanza tra TV e scaricatore di arrivo linea ⁽⁴⁾⁽⁶⁾	2,50	2,50	1,50
<p>(1): le distanze sono da intendersi tra le mezzerie della apparecchiature.</p> <p>(2): il TV ed il traliccio possono anche essere allineati.</p> <p>(3): distanza da intendersi tra l'asse dell'ultimo sostegno e l'asse del TV di sbarra.</p> <p>(4) Si veda il paragrafo 7.18.1</p> <p>(5) Nel caso di stallo linea 380 kV con portale H21 senza scaricatori di arrivo linea, la BOC è posta su sostegno dedicato a 5,90 m dal sezionatore orizzontale ed a 4,00 m dal TV</p> <p>(6) Nel caso di stallo linea 380 kV con portale H21 con scaricatori di arrivo linea, la BOC è posta su sostegno dedicato a 5,40 m dal sezionatore orizzontale ed a 3,50 m dal TV</p>			

Tabella 17: principali distanze di progetto Stazioni Elettriche di Trasformazione – sezione 150 kV isolata in aria

b) ottimizzazione delle fasi

La riduzione dei livelli di campo elettrico è ottenibile attraverso la scelta opportuna della sequenza delle fasi in conduttori (sbarre) adiacenti.

c) Schermature

È prevista l'installazione di schermi collegati a terra tra i conduttori in tensione e le zone di interesse, al fine di assicurare la protezione contro le microscariche. Infatti, nell'area coperta dallo schermo, il campo elettrico è praticamente nullo. Gli schermi saranno realizzati con griglie di conduttori, tenendo conto di eventuali aspetti legati alle esigenze di gestione e manutenzione degli impianti in tensione.

d) messa a terra

Per ridurre l'insorgenza delle scariche quando i lavoratori si trovano ad operare in vicinanza degli oggetti collegati a terra, verrà realizzato il collegamento a terra degli operatori stessi attraverso l'utilizzo di calzature e indumenti conduttivi.

In relazione all'esposizione della popolazione ai campi magnetici generati durante l'esercizio, ai sensi della "Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08 – Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche", elaborata da Enel S.p.A. quale supporto tecnico all'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29 maggio 2008 "Approvazione delle metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti", la Distanza di Prima Approssimazione e, quindi, la fascia di rispetto, rientra nei confini di pertinenza dell'impianto stesso:

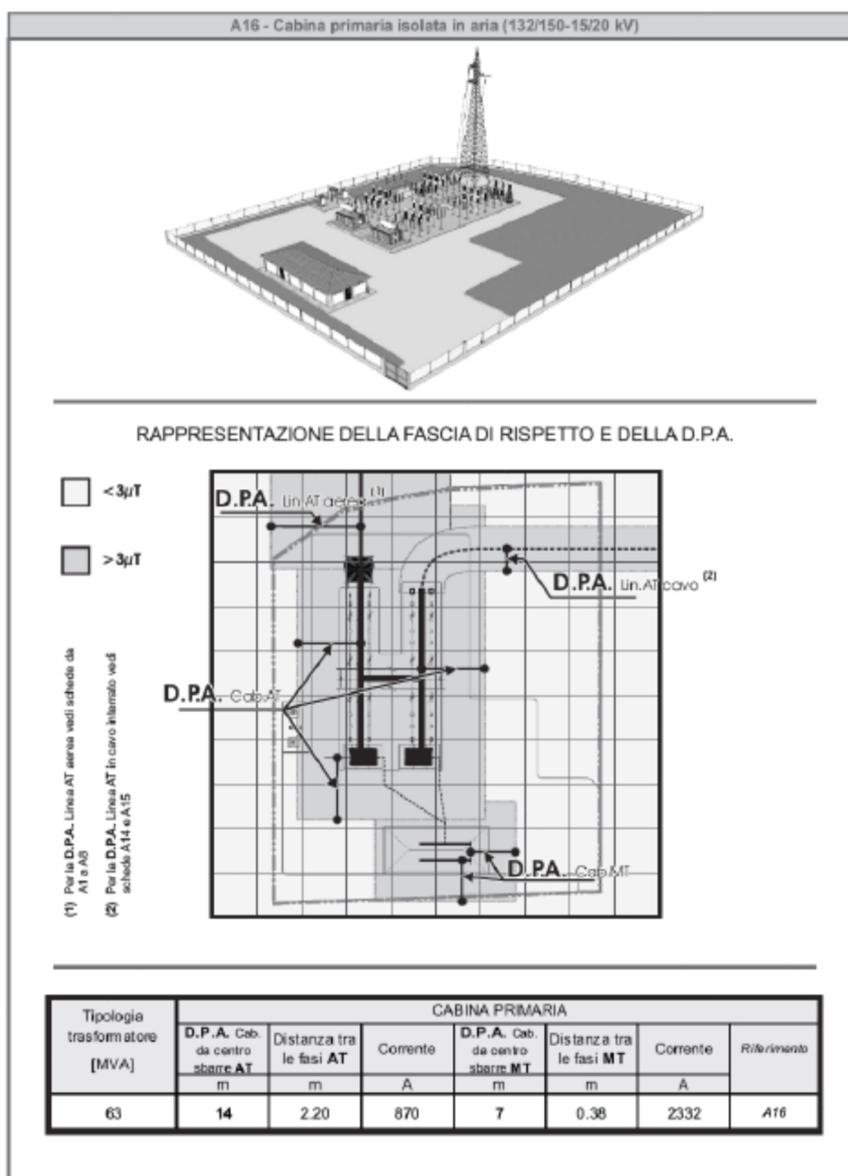


Figura 11: DPA Cabina Primaria AT/MT Enel equipaggiata con n° 2 trasformatori AT/MT da 63 MVA- Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al D.M. 29.05.08 – Distanza di prima approssimazione da linee e cabine elettriche

All'esterno dell'area di pertinenza dell'impianto, il valore di induzione magnetica generata risulta inferiore all'obiettivo di qualità di 3μT fissato dal DPCM 8 luglio 2003, pertanto non sussistono pericoli di esposizione per la popolazione.

In relazione all'esposizione dei lavoratori ai campi magnetici generati durante l'esercizio, ai fini del calcolo del valore di induzione magnetica generata durante l'esercizio, è stata applicata la procedura prescritta dalla norma CEI 106-11 ***“Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003”*** la quale prevede delle formule analitiche approssimate che permettono il calcolo immediato dell'induzione magnetica. Tali formule derivano dalla considerazione che l'induzione magnetica generata da un sistema di conduttori di lunghezza infinita e tra di loro paralleli può essere espresso dalla scomposizione in serie della legge di Biot-Savart e che, per punti relativamente lontani dai conduttori, quali quelli di interesse per la valutazione delle fasce di rispetto a 3μT lo sviluppo in serie può essere troncato al primo termine, con una approssimazione tanto più accettabile tanto più elevata è la distanza dai conduttori. Con questa approssimazione le curve isolivello dell'induzione magnetica sono le circonferenze aventi per centro il centro geometrico dei conduttori.

L'analisi è stata condotta con riferimento alle sbarre AT di stazione, le quali sono assimilabili ad una terna di conduttori disposti in piano:

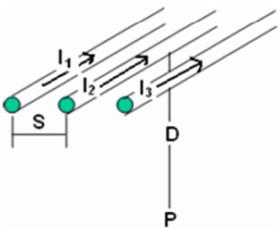
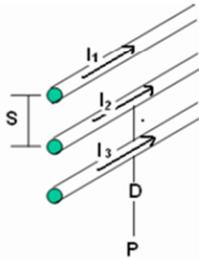
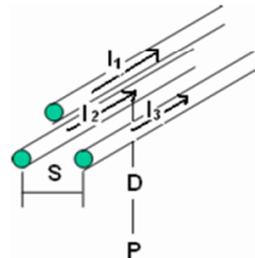
a) Terna trifase di conduttori in piano	b) Terna trifase di conduttori in verticale	c) Terna trifase di conduttori a triangolo
		
$B(\mu T) = 0,2 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{I S}{D D}$		$B(\mu T) = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{I S}{D D}$

Figura 12: Schema di principio per il calcolo delle distanze da terne di conduttori disposti in piano e a trifoglio oltre le quali l'induzione magnetica è inferiore all'obiettivo di qualità – Norma CEI 106-11 – Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003

Assumendo i seguenti dati di progetto:

- Altezza delle sbarre: 7,50 m;
- Distanza tra le sbarre: 2,20 m;
- Valore efficace della corrente di sbarre: 1250 A;
- Valore efficace della tensione: 150 kV.

ed applicando la formula semplificata prevista dalla Norma CEI 106-11 si ottiene una **distanza di prima approssimazione**, arrotondata al mezzo metro superiore, pari a circa **18 m**. Entro questa fascia, il campo magnetico risulterà sicuramente superiore all'obiettivo di qualità.

Dovendo confrontare il valore B generato con i limiti di esposizione fissati dal D.Lgs. 159/2016 ai fini della protezione dei lavoratori dalle esposizioni ai CEM, è stato calcolato il valore puntuale del campo generato dal sistema di sbarre AT a mezzo della relazione riportata nella Norma CEI 106-12 sopra richiamata.

Sostituendo i valori si ottiene:

$$B (\mu T) = 0,2 \times \sqrt{3} \times \frac{I \times S}{D \times D} = 0,2 \times \sqrt{3} \times \frac{1250 \times 2,2}{7,5 \times 7,5} = 17 \mu T$$

Questo valore è stato confrontato con i Valori di Azione fissati dal D.Lgs. 159/2016 **ottenendo esito positivo.**

VA per i campi magnetici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

Intervallo di frequenza	VA (B) inferiori per l'induzione magnetica [μT] (valori RMS)	VA (B) superiori per l'induzione magnetica [μT] (valori RMS)	VA (B) per l'induzione magnetica per esposizione localizzata degli arti [μT] (valori RMS)
$1 \leq f < 8 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^5 / f^2$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$8 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,5 \times 10^4 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$25 \leq f < 300 \text{ Hz}$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^5 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^3$

Tabella 18: VA per i campi magnetici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

La Sottostazione sarà accessibile esclusivamente a ***lavoratori addetti*** (esposizione di carattere professionale) e a ***personale autorizzato*** (esposizione di carattere non professionale) che accede all'area per l'espletamento delle proprie attività. **I lavoratori che, in relazione allo svolgimento di specifiche attività lavorative, saranno sottoposti ad esposizione di carattere professionale verranno sottoposti a sorveglianza sanitaria specifica relativamente al rischio in oggetto e informati, formati e addestrati per il rischio specifico all'esposizione ai campi elettromagnetici.**

Per i lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio, in nessun caso l'esposizione dovrà superare i livelli di riferimento per l'esposizione della popolazione di cui al DPCM BF.

Ai sensi della Legge 22 febbraio 2001 n.36, *la Sottostazione Elettrica di Utenza rientra nella fattispecie degli Elettrodotti.*

La principale misura di prevenzione che varrà adottata è la **zonizzazione**, che consiste nell'individuare e delimitare, le diverse zone in cui sono rispettate le restrizioni statuite dalla legge, come prescritto nella Norma CEI EN 50499. L'individuazione delle diverse zone di rispetto, ad accesso libero o controllato, andrà fatta in relazione ai limiti di esposizione per la popolazione e per i lavoratori, tenendo conto dei casi di lavoratori particolarmente sensibili al rischio procedendo come sintetizzato nella figura seguente:

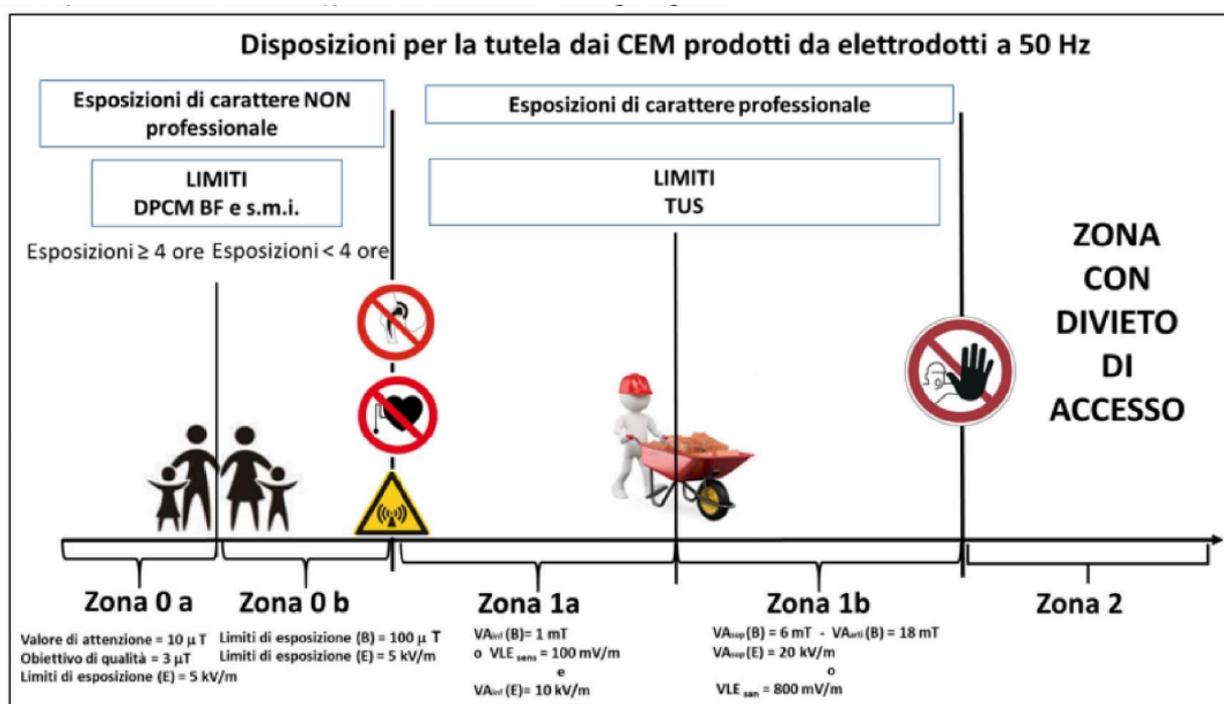


Figura 13: Misure di prevenzione e protezione per la tutela dai CEM prodotti da Elettrodotti a 50 Hz

4.6.1 Classificazione delle zone

Zona 0 “Area accessibile al pubblico e ai lavoratori non esposti per motivi di carattere professionale”: area nella quale le esposizioni sono conformi alle restrizioni per l'esposizione della popolazione (come definite dalla Legge Quadro 36/2001 e dal DPCM BF 8 luglio 2003); la Zona 0, in virtù della specifica legislazione italiana, verrà suddivisa in due ulteriori sottozone:

- **Zona 0a:** area in cui saranno rispettati sia i limiti di esposizione sia il valore di attenzione e l'obiettivo di qualità relativi all'esposizione della popolazione;
- **Zona 0b:** area in cui sono rispettati i limiti di esposizione ma in cui possono essere superati il valore di attenzione o l'obiettivo di qualità relativi all'esposizione della popolazione.

Zona 1: “Area accessibile esclusivamente a lavoratori esposti per motivi professionali” e solo in relazione allo svolgimento di specifiche attività. In conformità alla Norma CEI EN 50499, tale zona andrà suddivisa in due ulteriori sottozone:

- **Zona 1a:** area in cui le esposizioni possono essere superiori ai limiti per la popolazione ma conformi ai VA_{inf} o ai VLE_{sen} ;
- **Zona 1b:** area in cui le esposizioni sono conformi ai VA_{sup} o ai VLE_{san} ma possono superare i VA_{inf} o i VLE_{sen} in cui può essere necessario adottare misure di controllo specifiche.

Zona 2: “Area di accesso vietato”, in cui l'esposizione può superare i VLE_{san} .

4.6.2 Misure di protezione da adottare

Zona 0: la zona 0 non presenta alcun rischio in relazione all'esposizione ai CEM. Possono accedere anche la popolazione e i lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio CEM. Qualora si configuri anche un'esposizione a campi magnetici statici, non deve essere superato il VA di 0,5 mT per l'induzione magnetica di campi magnetici statici per i rischi di interferenza con i DMIA. Per i portatori di DMIA devono essere rispettate le distanze di separazione dalle sorgenti giustificabili di CEM indicate nella tabella 1 della Norma CEI EN 50527-1.

Zona 1: nell'area 1 verranno adottate le seguenti misure di protezione:

- a) Verrà interdetto l'accesso al pubblico e ai lavoratori non addetti;
- b) Verrà vietato l'accesso ai lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio CEM;
- c) Verrà delimitato l'accesso all'area con l'apposizione della pertinente segnaletica per i CEM ai sensi della normativa vigente;
- d) Verrà erogata specifica formazione ai lavoratori che vi accedono;
- e) In caso di superamento dei VLE_{sen} , lo stesso sarà temporaneo e verranno adottate misure di protezione specifiche, quali il controllo dei movimenti nel caso di esposizione a campi magnetici statici o quasi statici;

Verranno adottate misure di protezione finalizzate a prevenire il rischio di microscariche.

Zona 2: verranno adottate procedure autorizzative per l'accesso. In tale zona nessuno potrà accedere, salvo ridurre temporaneamente l'esposizione fino a ricadere almeno nel caso della Zona 1. L'accesso alla Zona 2 verrà impedito a mezzo di ostacoli fisici o provvedimenti organizzativi.

4.7 Elettrodotto AT 150 kV

L'elettrodotto in alta tensione, consentirà di collegare la Sottostazione Elettrica di Utenza con la Stazione Elettrica delle RTN. Ai sensi della Legge 22 febbraio 2001 n° 36, **rientra nella fattispecie degli elettrodotti operanti alla frequenza di rete (50 Hz).**

La linea si sviluppa in luoghi accessibili al pubblico (esposizioni di carattere non professionale). L'esposizione verrà contenuta entro le restrizioni per l'esposizione della popolazione fissate dalla legislazione nazionale vigente (DPCM 8 luglio 2003 BF).

In caso di permanenza < 4 ore, l'esposizione verrà contenuta entro il limite di esposizione per la popolazione fissato dal DPCM 8 luglio 2003 BF, ma può superare il *valore di attenzione e l'obiettivo di qualità*.

In caso di permanenza ≥ 4 ore, in base alle disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 BF, considerando che l'elettrodotto è successivo alla data del 08.07.2003 l'esposizione sarà contenuta entro il limite di esposizione e l'obiettivo di qualità di 3μT.

Ai fini della valutazione della conformità agli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione, è stato applicato il procedimento di calcolo previsto dalla **Norma CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche"**, a partire dalla conoscenza delle caratteristiche geometriche ed elettriche del cavidotto:

- Tipologia di cavi: unipolari;
- Formazione: 3x(1x1600) mm²;
- Tipologia di posa: interrata;
- Modalità di posa: a trifoglio;
- Profondità di posa: 1,6 m.

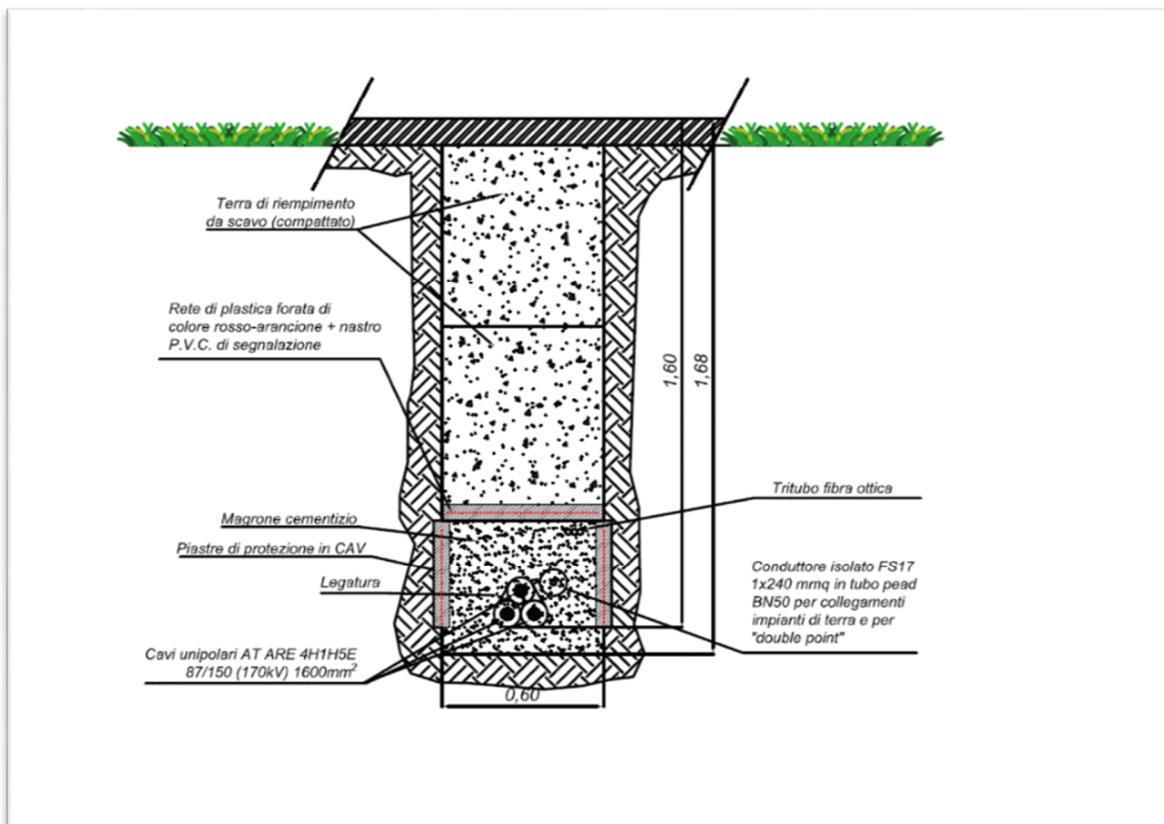


Figura 14: tipico di posa cavo AT 150 kV di collegamento con la Stazione Elettrica RTN

La corrente utilizzata ai fini del calcolo è la portata in regime permanente, così definita nella Norma CEI 11-17:

Portata in regime permanente: massimo valore della corrente che, in regime permanente e in condizioni specificate, il conduttore può trasmettere senza che la sua temperatura superi un valore specificato. Per il cavo in esame, la portata di riferimento è pari a **1110 A**.

I risultati di calcolo sono riportati nei paragrafi seguenti.

4.7.1 Campo elettrico

Il cavo scelto in fase di progettazione definitiva è dotato di schermo metallico, il quale consente di ridurre il valore efficace del campo elettrico a valori inferiori ai limiti di legge (5kV/m):

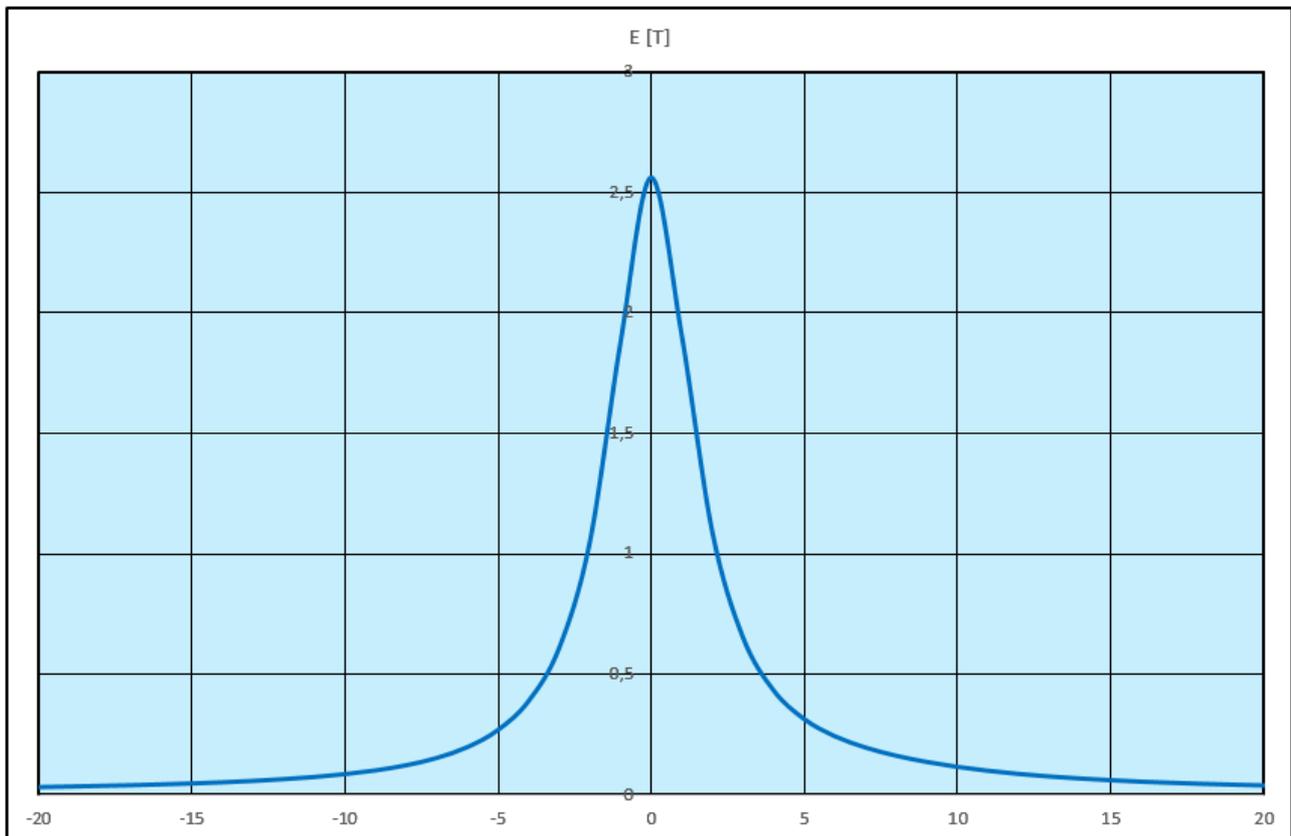


Figura 15: Campo elettrico generato dalla Linea durante l'esercizio valutato applicando la procedura della Norma CEI 211-4 - Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche

4.7.2 Campo induzione magnetica

A parità di portata in regime permanente, la disposizione dei cavi a trifoglio rispetto alla disposizione in piano, consente di ridurre il valore dell'induzione magnetica al di sopra del livello del suolo ed in corrispondenza dell'asse della linea. Ciò nonostante, in corrispondenza dell'asse linea e a livello della superficie del suolo, l'induzione magnetica risulta superiore all'obiettivo di qualità fissato dal DPCM BF:

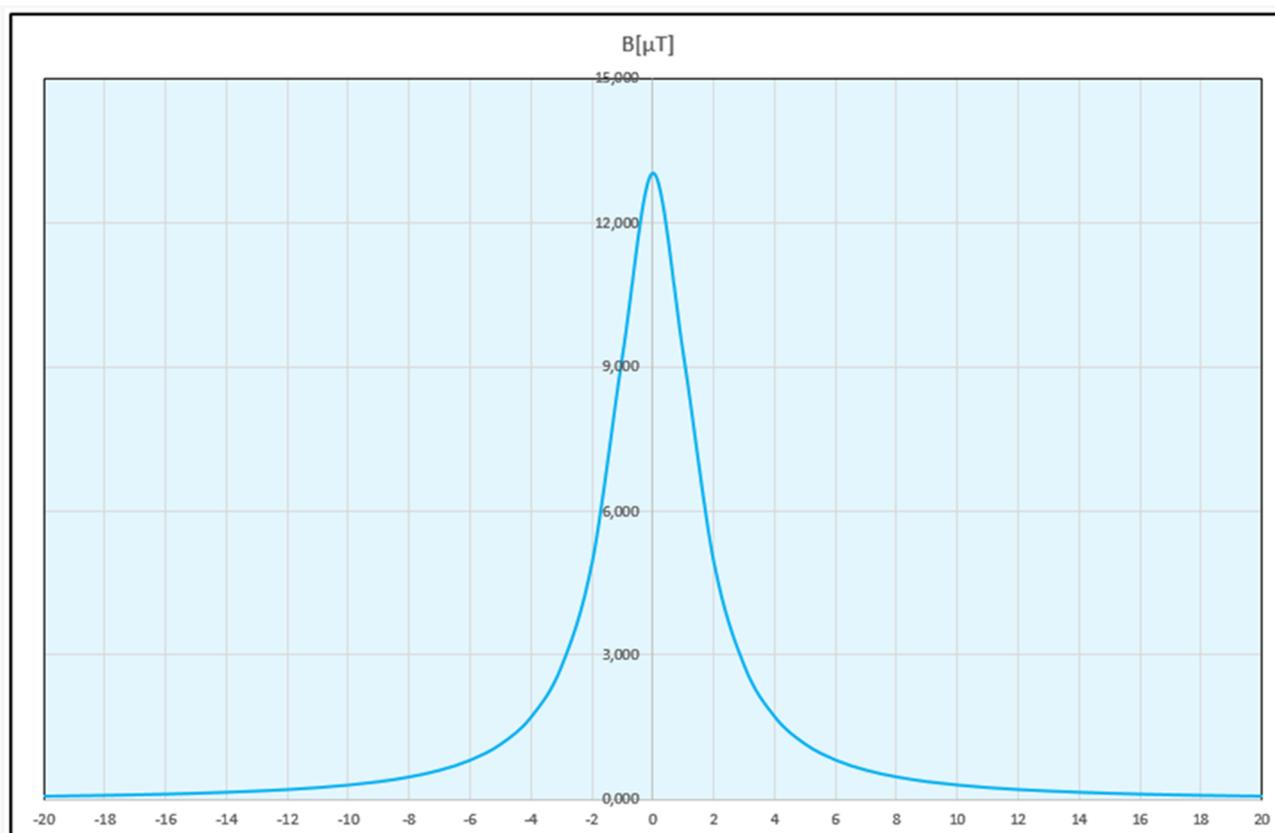


Figura 16: induzione magnetica generata durante l'esercizio dalla linea AT 150 kV di collegamento con la Stazione Elettrica Terna, valutata applicando la procedura delle Norma CEI 211-4 – Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche

Dato che il tracciato dell'elettrodotto si sviluppa lungo un percorso accessibile al pubblico ma il tempo di permanenza sarà comunque < 4 ore, il valore di B può superare l'obiettivo di qualità ma comunque non supera il limite di esposizione di **100 μT**, pertanto possiamo affermare che **non ci saranno pericoli di esposizione per la popolazione.**

4.7.3 Protezione dei lavoratori dalle esposizioni ai CEM

In relazione all'**esposizione dei lavoratori ai campi elettrici**, ai sensi della Norma CEI EN 50499 la linea è classificabile come **sorgenti giustificabili**, ovvero conforme a priori ai livelli di riferimento per l'esposizione della popolazione di cui alla Raccomandazione 1999/519/CE:

Luoghi e apparecchiature conformi a priori	
Tipo di apparecchiatura/luogo	Note
Luoghi di lavoro accessibili al pubblico	Sono ritenuti conformi i luoghi di lavoro aperti al pubblico che rispettano i limiti di esposizione indicati nella Raccomandazione del Consiglio Europeo 1999/519/EC (ad esempio a 50 Hz il limite di induzione magnetica è di 100 μ T)
Uso di apparecchiature a bassa potenza (così come definite dalla norma EN 50371: con emissione di frequenza 10 MHz ÷ 300 GHz e potenza media trasmessa fino a 20 mW e 20 W di picco), anche in assenza di marcatura CE	Non sono comprese le attività di manutenzione
<p>Uso di apparecchiatura con marcatura CE valutata utilizzando le norme armonizzate per la protezione dai CEM. L'elenco delle norme, che è comunque in frequente aggiornamento, è indicato nell'allegato C della norma EN 50499:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ EN 50360: telefoni cellulari; ▪ EN 50364: sistemi di identificazione (RFID) e antitaccheggio (EAS); ▪ EN 50366: elettrodomestici; ▪ EN 50371: norma generica per gli apparecchi elettrici ed elettronici di bassa potenza; ▪ EN 50385: stazioni radio base e stazioni terminali fisse per sistemi di telecomunicazione senza fili; ▪ EN 50401: apparecchiature fisse per trasmissione radio (110 MHz - 40 GHz) destinate a reti di telecomunicazione senza fili; ▪ EN 60335-2-25: forni a microonde e forni combinati per uso domestico e similare; ▪ EN 60335-2-90: forni a microonde per uso collettivo 	<p>L'apparecchiatura deve essere installata e utilizzata in conformità alle istruzioni del costruttore.</p> <p>Non sono comprese le attività di manutenzione che vanno valutate separatamente.</p> <p>Il datore di lavoro deve verificare sul libretto di uso e manutenzione che l'attrezzatura sia dichiarata conforme alla pertinente norma di prodotto.</p> <p>Non tutte le apparecchiature con marcatura CE sono però state valutate ai fini della protezione dai CEM, e può essere necessario raccogliere informazioni, ad esempio dal costruttore o dal fornitore, sulla valutazione dell'apparecchiatura.</p> <p>Non è comunque necessaria la valutazione rispetto alle norme per la protezione dai CEM per tutte le apparecchiature con la marcatura CE. Inoltre, per alcune apparecchiature e installazioni non è richiesta la marcatura CE.</p>

Usò di apparecchiatura immessa nel mercato europeo in conformit� alla Raccomandazione Europea 1999/519/CE, che non richiede marcatura CE	Alcune apparecchiature immesse nel mercato europeo possono anche essere conformi alla Raccomandazione Europea 1999/519/EC pur non avendo ricevuto il marchio CE, per esempio, se fanno parte di un impianto (vedi punto precedente)
Apparecchiature di illuminazione (lampade)	Escluse le illuminazioni speciali alimentate in RF
Computer e apparecchiature IT	
Apparecchiature da ufficio	I dispositivi per la cancellazione in blocco di nastri magnetici possono necessitare di ulteriori valutazioni
Telefoni mobili (cellulari, ecc.) e cordless (DECT, ecc.)	
Radio ricetrasmittenti	Solo quelle con potenze medie inferiori a 20 mW
Basi per telefoni DECT e reti Wlan (es. Wi-Fi)	Limitatamente alle apparecchiature destinate all'utilizzo da parte della popolazione
Apparecchiature e reti di comunicazione escluse quelle wireless	
Apparecchi elettrici portatili e trasportabili	Ad esempio conformi alle EN 60745-1 e EN 61029-1 inerenti la sicurezza degli utensili a motore trasportabili
Apparecchiature portatili per riscaldamento (escluso il riscaldamento a induzione e dielettrico)	Ad esempio conformi alla EN 60335-2-45 (es. pistole per colla a caldo)
Caricabatterie	Trattati nel campo di applicazione della norma EN 60335-2-29 la quale tratta i caricabatteria per il normale uso domestico e quelli destinati all'utilizzo in garage, nei negozi, nell'industria leggera e nelle aziende agricole
Attrezzature elettriche per il giardinaggio	
Apparecchiature audio e video	Alcuni particolari modelli che fanno uso di trasmettitori radio nelle trasmissioni radio/TV possono necessitare di ulteriori valutazioni

Apparecchiature portatili a batteria esclusi i trasmettitori a radiofrequenza	
Apparecchiature elettriche per il riscaldamento di locali	Esclusi i riscaldatori a microonde
Tutte le apparecchiature non elettriche e di conseguenza tutte le attività che si svolgono unicamente in ambienti privi di impianti e apparecchiature elettriche e di magneti permanenti	
<p>Reti di alimentazione elettrica (50 Hz) nei luoghi di lavoro e circuiti di distribuzione e trasmissione dell'elettricità che attraversano o sorvolano il luogo di lavoro. Le esposizioni ai campi elettrici e magnetici vanno considerate separatamente.</p> <p>I seguenti elementi sono conformi per l'esposizione ai campi magnetici:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ tutte le installazioni elettriche con un valore nominale della corrente di fase non superiore a 100 A; ▪ tutti i circuiti singoli all'interno di un'installazione, con un valore nominale della corrente di fase non superiore a 100 A; ▪ tutti i circuiti i cui conduttori sono vicini e hanno una corrente netta non superiore a 100 A; ▪ sono compresi tutti i componenti delle reti che soddisfano i criteri precedenti (inclusi i cablaggi, le apparecchiature di manovra, i trasformatori, ecc.); ▪ tutti i conduttori aerei nudi. <p>I seguenti elementi sono conformi per l'esposizione ai campi elettrici:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ tutti i circuiti di cavi sotterranei o isolati, con qualsiasi tensione nominale ▪ tutti i circuiti aerei nudi con tensione nominale non superiore a 100 kV, o le linee aeree non superiori a 125 kV che sorvolano il luogo di lavoro, o di qualsiasi 	<p>I criteri qui riportati per dimostrare la conformità ai limiti di esposizione nel luogo di lavoro sono basati sulla dimostrazione che le esposizioni sono inferiori ai limiti minimi della Raccomandazione CE (1999) sulle esposizioni EMF per la popolazione. Tali criteri sono sufficienti a dimostrare la conformità per la maggior parte dei luoghi di lavoro.</p> <p>I criteri di valutazione basati direttamente sui limiti di esposizione della Direttiva CE per il luogo di lavoro, sono indicati nell'Allegato F (vedi capitolo 14) della norma EN 50499. Essi utilizzano 500 A al posto di 100 A, 200 kV invece di 100 kV e 250 kV invece di 125 kV. Le liste di controllo indicate nell'allegato F della norma (vedi capitolo 14) possono quindi essere utilizzate per dimostrare la conformità ai campi magnetici ed elettrici in qualsiasi luogo di lavoro.</p>

tensione se il luogo di lavoro è all'interno.	
Strumentazione e apparecchiature di misura e controllo	
Elettrodomestici	Sono inclusi anche gli elettrodomestici professionali, come piani cottura, lavabiancheria, forni a microonde, ecc., utilizzati in ristoranti, negozi, ecc. I piani cottura professionali a induzione sono esclusi e necessitano di ulteriori valutazioni
Computer e terminali IT con comunicazioni wireless	Esempi sono: WLAN (es Wi-Fi), WMAN (es WIMAX), bluetooth e tecnologie analoghe, limitatamente all'utilizzo da parte della popolazione
Trasmettitori a batteria	Limitatamente alle apparecchiature destinate all'utilizzo da parte della popolazione
Antenne di stazioni radio base	Un'ulteriore valutazione è importante solo qualora i lavoratori possano avvicinarsi all'antenna più della distanza di sicurezza stabilita per l'esposizione del pubblico
Tutte le apparecchiature mediche che, nei luoghi di lavoro medici, non irradiano intenzionalmente con esposizione elettromagnetica o applicazione di correnti	
Tutti i luoghi di lavoro interessati dalle emissioni di sorgenti CEM autorizzate ai sensi della normativa nazionale per la protezione della popolazione, con esclusione delle operazioni di manutenzione o altre attività svolte a ridosso delle sorgenti o sulle sorgenti stesse	Il datore di lavoro deve verificare se è in possesso di autorizzazione in base alla legge 36/2001 e relativi decreti attuativi (DPCM 08/07/03) oppure richiedere all'ente gestore una dichiarazione del rispetto della legislazione nazionale in materia

Tabella 19: Elenco delle sorgenti giustificabili -Tabella 1 della Norma CEI EN 50499

In relazione all'esposizione dei lavoratori ai campi magnetici, le linee elettriche con correnti superiori a 100 A rientrano tra le sorgenti ***non conformi a priori*** ai sensi della Norma CEI EN 50499, per cui sono necessarie ulteriori misure o approfondimenti.

Per i lavoratori particolarmente sensibili al rischio, in nessun caso l'esposizione dovrà superare i livelli di riferimento per l'esposizione della popolazione di cui al DPCM BF 8 luglio 2003.

Il valore massimo di induzione magnetica generata durante l'esercizio, pari a circa **12,3 μ T**, è confrontato con i limiti massimi stabiliti dal D.Lgs. 159/2016 **ottenendo esito positivo**:

VA per i campi magnetici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

Intervallo di frequenza	VA (B) inferiori per l'induzione magnetica [μT] (valori RMS)	VA (B) superiori per l'induzione magnetica [μT] (valori RMS)	VA (B) per l'induzione magnetica per esposizione localizzata degli arti [μT] (valori RMS)
$1 \leq f < 8 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^5 / f^2$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$8 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,5 \times 10^4 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$25 \leq f < 300 \text{ Hz}$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^5 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

Tabella 20: VA per i campi magnetici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz (D.Lgs. 159/2016)

La principale misura di prevenzione che varrà adottata è la **zonizzazione**, che consiste nell'individuare e delimitare, le diverse zone in cui sono rispettate le restrizioni statuite dalla legge, come prescritto nella Norma CEI EN 50499. L'individuazione delle diverse zone di rispetto, ad accesso libero o controllato, andrà fatta in relazione ai limiti di esposizione per la popolazione e per i lavoratori, tenendo conto dei casi di lavoratori particolarmente sensibili al rischio procedendo come sintetizzato nella figura seguente:

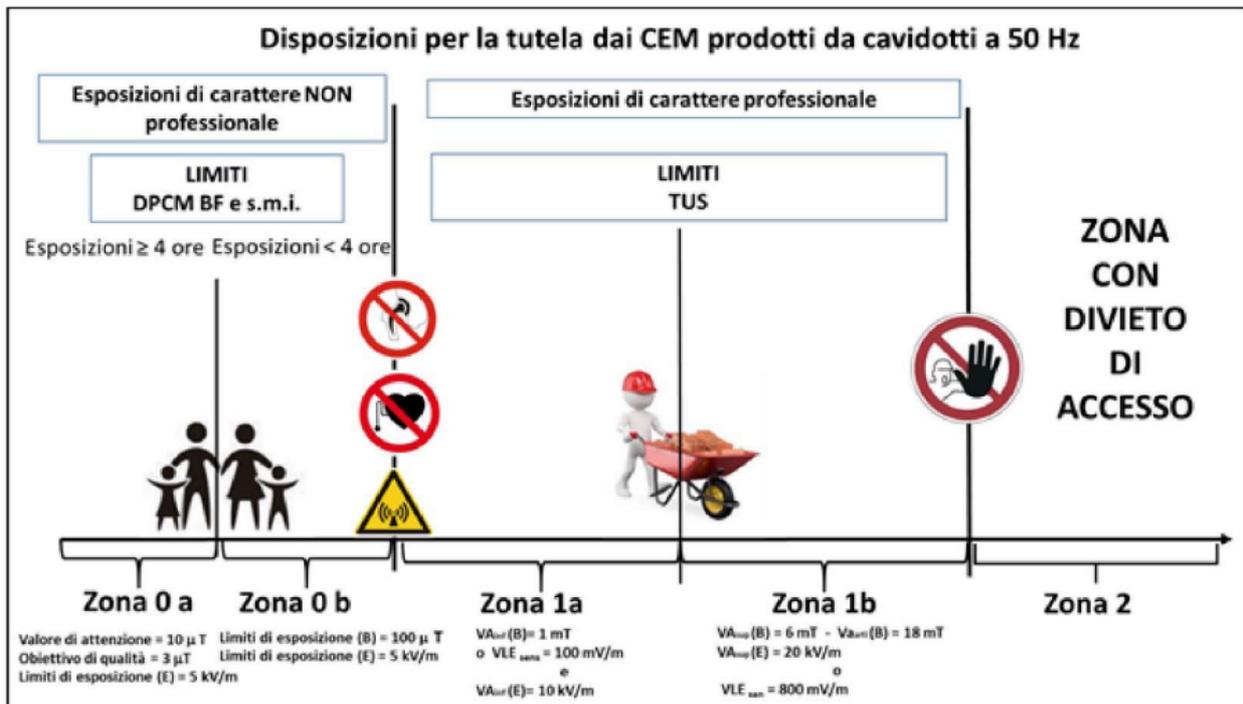


Figura 17: Misure di prevenzione e protezione per la tutela dai CEM prodotti da cavidotti a 50 Hz

4.7.4 Classificazione delle zone

Zona 0 “Area accessibile al pubblico e ai lavoratori non esposti per motivi di carattere professionale”: area nella quale le esposizioni sono conformi alle restrizioni per l’esposizione della popolazione (come definite dalla Legge Quadro 36/2001 e dal DPCM BF 8 luglio 2003); la Zona 0, in virtù della specifica legislazione italiana, verrà suddivisa in due ulteriori sottozone:

- **Zona 0a**: area in cui saranno rispettati sia i limiti di esposizione sia il valore di attenzione e l’obiettivo di qualità relativi all’esposizione della popolazione;
- **Zona 0b**: area in cui sono rispettati i limiti di esposizione ma in cui possono essere superati il valore di attenzione o l’obiettivo di qualità relativi all’esposizione della popolazione.

Zona 1: “Area accessibile esclusivamente a lavoratori esposti per motivi professionali” e solo in relazione allo svolgimento di specifiche attività. In conformità alla Norma CEI EN 50499, tale zona andrà suddivisa in due ulteriori sottozone:

- **Zona 1a**: area in cui le esposizioni possono essere superiori ai limiti per la popolazione ma conformi ai VA_{inf} o ai VLE_{sen} ;
- **Zona 1b**: area in cui le esposizioni sono conformi ai VA_{sup} o ai VLE_{san} ma possono superare i VA_{inf} o i VLE_{sen} in cui può essere necessario adottare misure di controllo specifiche.

Zona 2: “Area di accesso vietato”, in cui l’esposizione può superare i VLE_{san} .

4.7.5 Misure di protezione da adottare

Zona 0: la zona 0 non presenta alcun rischio in relazione all’esposizione ai CEM. Possono accedere anche la popolazione e i lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio CEM. Qualora si configuri anche un’esposizione a campi magnetici statici, non deve essere superato il VA di 0,5 mT per l’induzione magnetica di campi magnetici statici per i rischi di interferenza con i DMIA. Per i portatori di DMIA devono essere rispettate le distanze di separazione dalle sorgenti giustificabili di CEM indicate nella tabella 1 della Norma CEI EN 50527-1.

Zona 1: nell’area 1 verranno adottate le seguenti misure di protezione:

- m) Verrà interdetto l’accesso al pubblico e ai lavoratori non addetti;
- n) Verrà vietato l’accesso ai lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio CEM;
- o) Verrà delimitato l’accesso all’area con l’apposizione della pertinente segnaletica per i CEM ai sensi della normativa vigente;

- p) Verrà erogata specifica formazione ai lavoratori che vi accedono;
- q) In caso di superamento dei VLE_{sen} , lo stesso sarà temporaneo e verranno adottate misure di protezione specifiche, quali il controllo dei movimenti nel caso di esposizione a campi magnetici statici o quasi statici;
- r) Verranno adottate misure di protezione finalizzate a prevenire il rischio di microscariche.

Zona 2: verranno adottate procedure autorizzative per l'accesso. In tale zona nessuno potrà accedere, salvo ridurre temporaneamente l'esposizione fino a ricadere almeno nel caso della Zona 1. L'accesso alla Zona 2 verrà impedito a mezzo di ostacoli fisici o provvedimenti organizzativi.

4.8 Conclusioni

Il presente elaborato è stato redatto al fine di valutare l'esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (CEM) generati dall'impianto durante l'esercizio e il rischio derivante dall'esposizione nei luoghi di lavoro, ai sensi del Titolo VIII, Capo IV del D. Lgs. 81/2008 e s.m.i. *“Testo Unico in materia di salute e sicurezza sul lavoro”, come modificato ed integrato dal D. Lgs. 159/2016, che attua la Direttiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 26 giugno 2013, sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) e che abroga la direttiva 2004/40/CE.*

Considerando che l'art. 209 del Testo Unico sulla Sicurezza individua le Norme tecniche del Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) come riferimento per l'identificazione dell'esposizione ai CEM nel campo di frequenza tra 0 Hz e 300 GHz e nella valutazione dei rischi derivanti dall'esposizione ai CEM nei luoghi di lavoro, il suddetto comitato ha pubblicato in data 01/2021 la *“Guida alla valutazione dei rischi per la salute e la sicurezza derivante dall'esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (CEM) fra 0 Hz e 300 GHz nei luoghi di lavoro”*, la quale integra i contenuti della Norma CEI EN 50499 “Procedura per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici” e la disciplina sulla protezione dalle esposizioni ai CEM ai sensi della legislazione nazionale vigente, proponendo un approccio operativo semplificato per la valutazione dei rischi derivanti dall'esposizione ai CEM da parte di tutti i soggetti, interni ed esterni, coinvolti nell'organizzazione e gestione della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro, a cui si è fatto riferimento per la redazione del presente elaborato.

Individuate le sorgenti di emissione e verificato se esse sono elencate nella tabella 1 della Norma CEI EN 50499, la procedura adottata ai fini della valutazione del rischio elettromagnetico è quella rappresentata nel diagramma di flusso di seguito riportato:

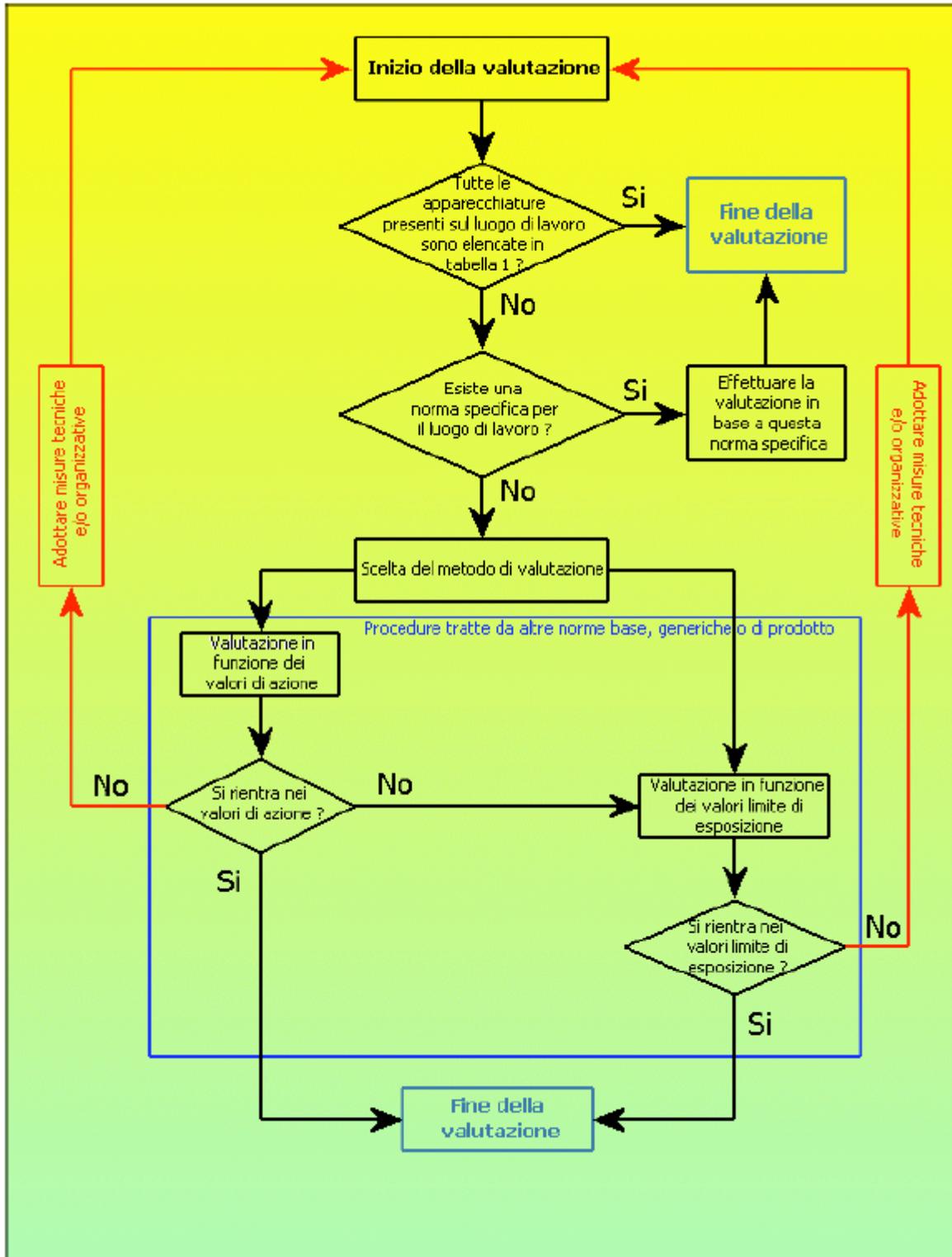


Figura 18: Diagramma di flusso del processo di valutazione del rischio elettromagnetico (CEI EN 50499)

ottenendo i risultati riportati nella tabella seguente:

Sorgente di emissione	Sorgente giustificabile per l'esposizione ai campi elettrici	Sorgente giustificabile per l'esposizione ai campi magnetici	Campo elettrico generato [kV m ⁻¹]	Induzione magnetica generata [μT]	Presenza di personale non addetto ai lavori	Presenza di personale addetto ai lavori	Misure di protezione da adottare
Stringhe fotovoltaiche	SI	SI	//	//	NO	SI	Nessuna misura di protezione
Linee elettriche di bassa tensione	SI	NO	//	1,91	NO	SI	Interramento delle linee.
Cabine elettriche di conversione e trasformazione	SI	NO	//	306	NO	SI	Zonizzazione delle aree; Collegamenti delle masse e masse estranee a terra.
Linee elettriche di media tensione	SI	NO	//	3,1 per le linee di campo 10 per le dorsali di collegamento con la SSE	SI	SI	Interramento delle linee; Zonizzazione delle aree; Collegamento a terra degli schermi metallici dei cavi; Utilizzo di materiali schermanti.
Sottostazione Elettrica di Utente MT/AT	NO	NO	//	17	NO	SI	Zonizzazione delle aree; Collegamenti a terra delle masse e delle masse estranee; Innalzamento dei conduttori; Utilizzo di schermi metallici.
Linea elettrica AT in cavo interrato	SI	NO	2,51	13,03	SI	SI	Interramento delle linee; Zonizzazione delle aree; Collegamento a terra degli schermi metallici dei cavi.

Tabella 21: Classificazione delle sorgenti di emissione e indicazione delle misure di protezione da adottare per garantire la protezione dei lavoratori e della popolazione dai rischi legati ai CEM

dove:

- i livelli di induzione magnetica generati dalle linee elettriche sono stati valutati sulla superficie del suolo in corrispondenza dell'asse della linea;

- l'induzione magnetica generata dalle cabine elettriche di trasformazione BT/MT è stata calcolata ad 1,00 m di distanza dal trasformatore;
- l'induzione magnetica generata dalla sottostazione elettrica MT/AT è stata calcolata sulla superficie del suolo al di sotto delle sbarre AT, le quali si trovano ad una quota dal piano di calpestio pari a 7,50 m;
- i valori del campo elettrico generato dalle varie apparecchiature non sono stati calcolati in quanto i collegamenti a terra delle masse, degli schermi metallici dei cavi, etc., consentono di ridurlo a valori trascurabili.

5. Ulteriori misure di protezione e prevenzione

Oltre alle misure di protezione indicate in tabella, verranno adottati ulteriori provvedimenti come meglio specificato ai successivi paragrafi.

5.1 Segnaletica

Nei luoghi di lavoro in cui i livelli di esposizione ai CEM possono saranno superiori alle restrizioni per la popolazione fissate dalla legislazione nazionale vigente e, per il campo magnetico statico, al VA di 0,5 mT per il rischio di interferenza con i DMIA, verrà affissa apposita segnaletica sui CEM e l'accesso agli stessi sarà limitato in maniera opportuna.

L'utilizzo di ulteriore segnaletica potrà essere previsto per la protezione da rischi specifici come, ad esempio, nel caso di superamento dei VA_{inf} per il campo elettrico, $VA_{inf}(E)$, al fine di individuare chiaramente le zone in cui potrebbero verificarsi microscariche e può essere necessario adottare specifici DPI.

La segnaletica di salute e sicurezza da utilizzare deve essere conforme ai requisiti del TUS, Titolo V, Allegati da XXIV a XXXII.

Nel TUS sono riportati solo alcuni segnali ma è possibile utilizzare anche la segnaletica contenuta nella UNI EN ISO 7010.

Segnaletica indicata dal TUS

	<p>Il segnale indica la presenza di campi elettromagnetici che potrebbero mettere il lavoratore in condizioni di esposizione non accettabili</p>
	<p>Il segnale indica la presenza di campi magnetici che potrebbero mettere il lavoratore in condizioni di esposizione non accettabili</p>

Figura 19: Segnaletica relativa ai CEM indicata dal Testo Unico sulla Sicurezza, D.Lgs. 81/2008 e s.m.i. come modificato ed integrato dal D.Lgs. 159/2016 che attua la Direttiva 2013/35/UE

Segnaletica UNI EN 7010

	<p>Il segnale indica la presenza di campi elettromagnetici che potrebbero mettere il lavoratore in condizioni di esposizione non accettabili</p>
	<p>Il segnale indica la presenza di campi magnetici che potrebbero mettere il lavoratore in condizioni di esposizione non accettabili</p>
	<p>Divieto di ingresso per portatori di DMIA</p>
	<p>Divieto di ingresso per portatori di DMIP</p>
	<p>Divieto di indossare materiale metallici</p>
	<p>Divieto dell'uso del cellulare o ricetrasmittenti</p>
	<p>Obbligatorio indossare calzature antistatiche</p>
	<p>Obbligatorio leggere le istruzioni</p>

Figura 20: Segnaletica relativa ai CEM indicata dalla Norma UNI EN ISO 7010

5.2 Informazione e formazione dei lavoratori e dei rappresentanti dei lavoratori per la sicurezza

Il TUS stabilisce che il Datore di Lavoro debba garantire a ciascun lavoratore una formazione sufficiente ed adeguata in materia di salute e sicurezza. La durata, i contenuti minimi e le modalità della formazione sono definiti mediante Accordi in sede di Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province autonome di Trento e di Bolzano.

A tutti i lavoratori deve essere impartita una formazione di base che includa cenni sulla natura dei CEM, sulle modalità di esposizione e sui meccanismi di interazione con l'essere umano in relazione sia agli effetti diretti (sensoriali e sanitari) sia agli effetti indiretti, nonché sulle condizioni che inducono particolare sensibilità al rischio CEM, sulla zonizzazione e sulla segnaletica di salute e sicurezza, sui DPI e sulla sorveglianza sanitaria.

Scopo di tale formazione è anche quello di rendere consapevoli dei possibili rischi derivanti dall'esposizione ai CEM i lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio

In aggiunta a quanto previsto dalle disposizioni generali, il TUS stabilisce l'obbligo per il DL di garantire sia nei confronti dei lavoratori che svolgono attività che comportino esposizioni di carattere professionale ai CEM sia nei confronti dei loro RLS un'informazione e una formazione specifiche in relazione al risultato della valutazione dei rischi, con particolare riguardo agli eventuali effetti indiretti dell'esposizione, alla possibilità di sensazioni e sintomi transitori dovuti a effetti sul SNC o SNP e alla possibilità di rischi specifici nei confronti di lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio, quali i soggetti portatori di dispositivi medici o di protesi metalliche e le lavoratrici in stato di gravidanza.

Laddove la pratica o il processo produttivo possa determinare il superamento, a determinate condizioni, dei VA_{inf} o dei VLE_{sens} , dovranno altresì essere fornite ai lavoratori una informazione e una formazione specifica in relazione ai possibili effetti sensoriali.

Tra i contenuti della formazione specifica in merito alle esposizioni ai CEM rientrano, a titolo esemplificativo e non esaustivo:

- l'approfondimento sugli effetti legati all'esposizione dei CEM;
- l'illustrazione delle sorgenti di interesse presenti nel luogo di lavoro e le loro caratteristiche;
- la distinzione delle diverse tipologie di esposizione e, di conseguenza, i limiti da applicare;
- l'individuazione delle attività che possono comportare esposizione di carattere professionale;
- la zonizzazione e il relativo significato;
- la procedura di accesso alle zone, le autorizzazioni e la segnaletica;
- le procedure e le norme comportamentali idonee a ridurre al minimo l'esposizione;

- l'illustrazione delle misure organizzative e tecniche di tutela.

5.3 Sorveglianza sanitaria

A valle del processo di valutazione dei rischi, il DL sottoporrà alla sorveglianza sanitaria i lavoratori esposti a rischi specifici, secondo le modalità stabilite nel TUS e secondo il protocollo istituito dal MC.

La sorveglianza sanitaria per i lavoratori esposti per ragioni professionali ai CEM verrà effettuata periodicamente, di norma una volta all'anno o con periodicità inferiore, decisa dal MC con riferimento ai lavoratori particolarmente sensibili al rischio, tenuto conto della valutazione dei rischi trasmessi dal datore di lavoro.

In assenza di indicatori biologici di esposizione/dose ai CEM e indicatori di effetto biologico precoce, la sorveglianza sanitaria ha l'obiettivo di individuare i lavoratori particolarmente sensibili al rischio CEM e di indagare l'eventuale comparsa di effetti correlabili all'esposizione. La sorveglianza sanitaria costituisce, altresì, un'importante occasione per fornire un'**informativa generale sui possibili rischi derivanti dalle esposizioni ai CEM e sulle condizioni che possono comportare una particolare sensibilità al rischio**. Ciò può avvenire in occasione della visita pre-assuntiva o preventiva e si dovrà ripetere durante gli accertamenti periodici.

Il DL deve garantire un controllo medico e, se necessario, una sorveglianza sanitaria appropriati nel caso in cui sia stata rilevata un'**esposizione superiore ai VLE_{sens} o superiore ai VLE_{san}** o nel caso in cui un **lavoratore segnali** effetti indesiderati o inattesi sulla salute, ivi compresi effetti sensoriali. La percezione di sintomi transitori non comporta di per sé inidoneità alla mansione. Tuttavia, qualora il MC riceva segnalazione da un lavoratore di sintomi ascrivibili all'esposizione ai CEM, è opportuno che approfondisca con il lavoratore le circostanze di manifestazione dei sintomi e la loro ricorrenza, al fine di escludere quelle non ascrivibili allo svolgimento dell'attività lavorativa. Le informazioni raccolte saranno trascritte dal MC nella cartella sanitaria e di rischio del lavoratore. I dati così raccolti saranno oggetto di una periodica analisi da parte del MC al fine di valutare la necessità di avviare valutazioni più approfondite delle situazioni che hanno determinato il manifestarsi dei sintomi ascrivibili all'esposizione ai CEM.

5.4 Schermatura del campo magnetico

Per schermare il campo magnetico a bassa frequenza, si potranno utilizzare due differenti tipologie di materiali:

- materiali ferromagnetici ad alta permeabilità;

- materiali conduttori ad elevata conducibilità.

In entrambi i casi gli schermi saranno ottenuti da fogli, nastri o piastrine opportunamente sagomate e dimensionate.

5.4.1 Schermi ferromagnetici

I materiali ferromagnetici, avendo una permeabilità magnetica superiore a quella dell'aria, offrono una via preferenziale alle linee di forza del campo magnetico, sottraendo linee di flusso dalla zona intorno alla sorgente da schermare:

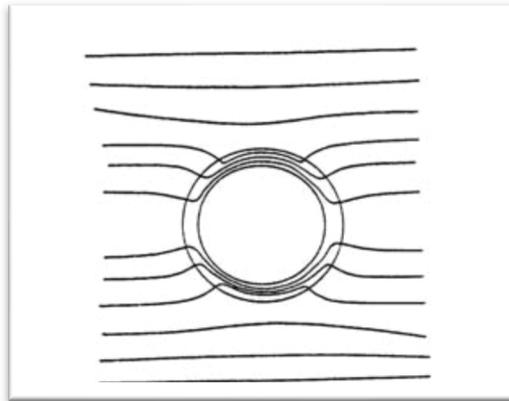


Figura 21: andamento qualitativo della deformazione delle linee di forza di un campo magnetico uniforme per effetto di un nucleo in materiale ferromagnetico

La loro efficacia schermante pertanto risulta elevata nelle immediate vicinanze dello schermo mentre diminuisce all'aumentare della distanza dallo schermo stesso. Verranno impiegati nelle cabine elettriche di trasformazione BT/MT e in generale in tutti i locali tecnici contenenti apparecchiature elettriche e avranno uno spessore non inferiore a 2 mm.

5.4.2 Schermi conduttori

Gli schermi conduttori, a differenza degli schermi ferromagnetici, agiscono in maniera differente rispetto agli schermi ferromagnetici. In essi vengono indotte correnti parassite che a loro volta danno luogo ad un campo magnetico che si oppone a quello inducente. Essi verranno impiegati in tutti quei casi in cui risulterà necessario ottenere significative riduzioni del campo, non solo nelle immediate vicinanze della sorgente ma anche a distanze maggiori. In particolare, il loro impiego è previsto all'interno delle cabine elettriche di trasformazione e nella sottostazione elettrica di utenza.

5.5 Interventi di riduzione del campo magnetico generato da cabine elettriche MT/BT

Alla luce delle esperienze riportate nella letteratura tecnica si può affermare che i principali metodi di mitigazione del campo magnetico generato da una cabina elettrica MT/BT, sono quelli di seguito riportati descritti.

5.6 Azione sulla configurazione e scelta ottimale dei componenti della cabina

Per ridurre il campo generato dalle cabine elettriche, verranno adottati i seguenti provvedimenti:

- verranno allontanate le sorgenti di campo (quadri e relativi collegamenti al trasformatore) dai muri della cabina confinanti con l'ambiente esterno, ove si vuole ridurre il campo. L'attenzione maggiore verrà rivolta ai collegamenti in bassa tensione tra trasformatore e quadri BT e tra questi e le linee uscenti, essendo questi i componenti interessati dalle correnti più elevate;
- le fasi dei collegamenti verranno avvicinate, e per la realizzazione dei collegamenti verranno utilizzati cavi cordati;
- nel caso di collegamenti realizzati con più cavi unipolari per fase in parallelo, la disposizione delle fasi verrà ottimizzata;
- verranno utilizzati componenti compatti.

per quanto riguarda il campo magnetico generato dai collegamenti tra il trasformatore ed il relativo scomparto del quadro MT, considerando che la corrente che li percorre è di qualche decina di ampere e il percorso dei cavi interessa la parte più interna della cabina, non verranno adottati particolari provvedimenti se non l'utilizzo di schermi ferromagnetici.

5.7 Utilizzazione degli schermi

Oltre agli interventi sulla configurazione che consentono di ottenere significative riduzioni del campo magnetico, si ricorrerà alla schermatura parziale delle principali sorgenti di emissione, mediante schermi ferromagnetici, e alla schermatura totale delle pareti della cabina mediante lastre di materiale conduttore o ferromagnetico di spessore minimo non inferiore a 3 mm.

5.7.1 Interventi di riduzione del campo magnetico generato dalle linee elettriche in cavo interrato

Per ridurre l'emissione di campo magnetico in prossimità delle linee interrate si potranno utilizzare schermi ferromagnetici in normale ferro da carpenteria (Fe360B), disposti come di seguito rappresentato:

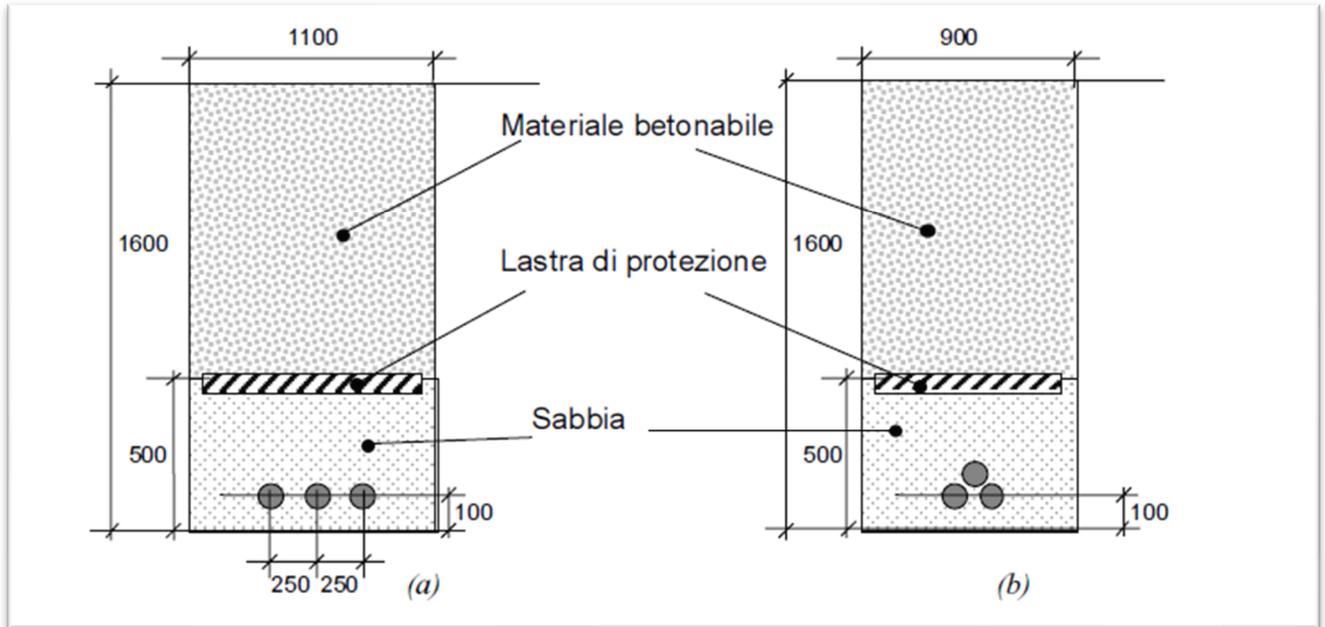


Figura 22: schermatura cavi elettrici interrati

In alternativa si potranno utilizzare materiali in lega Alloy-49 o lo Skudotech, aventi le caratteristiche di seguito riportate:

MATERIALI FERROMAGNETICI					
	σ [S/m]	ϵ_r	μ_r	spessore	B di saturazione
Skudotech®	$1,77 \cdot 10^6$	1	300.000	0,1÷0,4 mm	0,5÷0,65 T
Alloy-49 ²	$2,07 \cdot 10^6$	1	10.000	0,2÷0,5 mm	0,8÷1,0 T
Ferro ³	$1,03 \cdot 10^7$	1	500	10÷100 mm	-

Tabella 22: caratteristiche degli schermi da impiegare per la mitigazione del campo generato dalle linee elettriche in cavo interrato

5.7.2 Interventi di riduzione del campo magnetico generato dalla Sottostazione Elettrica di Utenza

Ai fini della minimizzazione del campo magnetico emesso dalla sottostazione Elettrica di Utenza, è stato curato il progetto in maniera tale che il trasformatore, il sistema di sbarre AT e il locale di media tensione siano distanti il più possibile dalla recinzione della stazione e pertanto dai fabbricati limitrofi.

5.7.3 Interventi di riduzione del campo magnetico generato dalla linea elettrica in alta tensione a 150 kV

Per ridurre il campo magnetico generato dalla linea AT durante l'esercizio, in fase di costruzione si potrà prevedere un sottile schermo di materiale ferromagnetico ad alta permeabilità, da sovrapporre all'armatura accessibile in materiale buon conduttore. In tal modo si viene a realizzare uno schermo multistrato, in cui un materiale buon conduttore come il rame è interposto tra la sorgente di campo magnetico ed il materiale ferromagnetico ad elevata permeabilità.

Per la messa a terra degli schermi dei cavi verrà adottata la tecnica "solid bonding" che prevede la messa a terra degli schermi ad entrambe le estremità della linea:

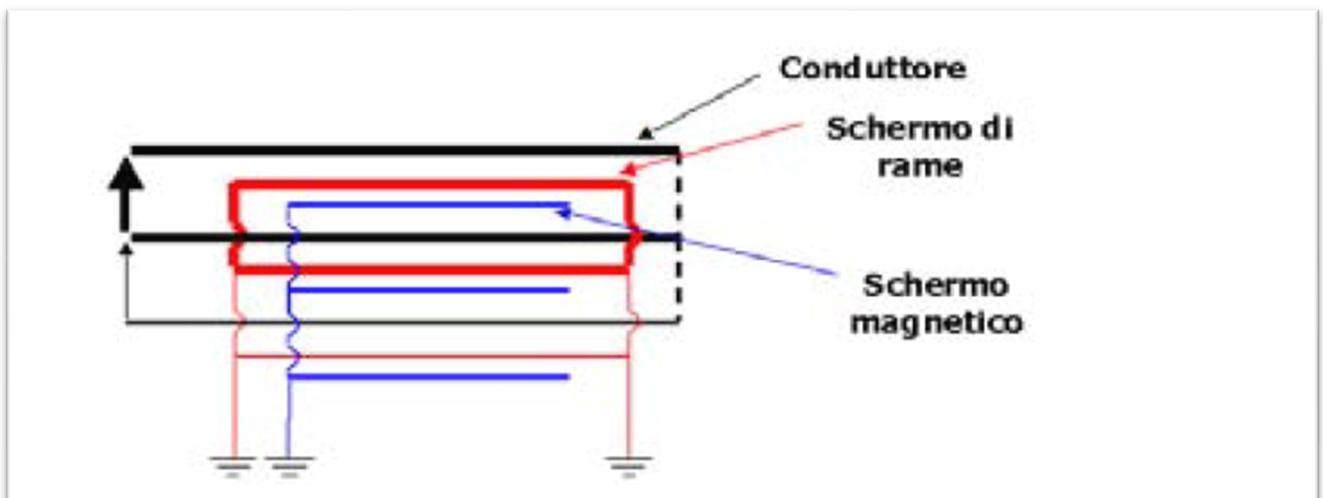


Figura 23: schema bidimensionale del cavo unipolare e della messa a terra degli schermi- tecnica "solid bonding"

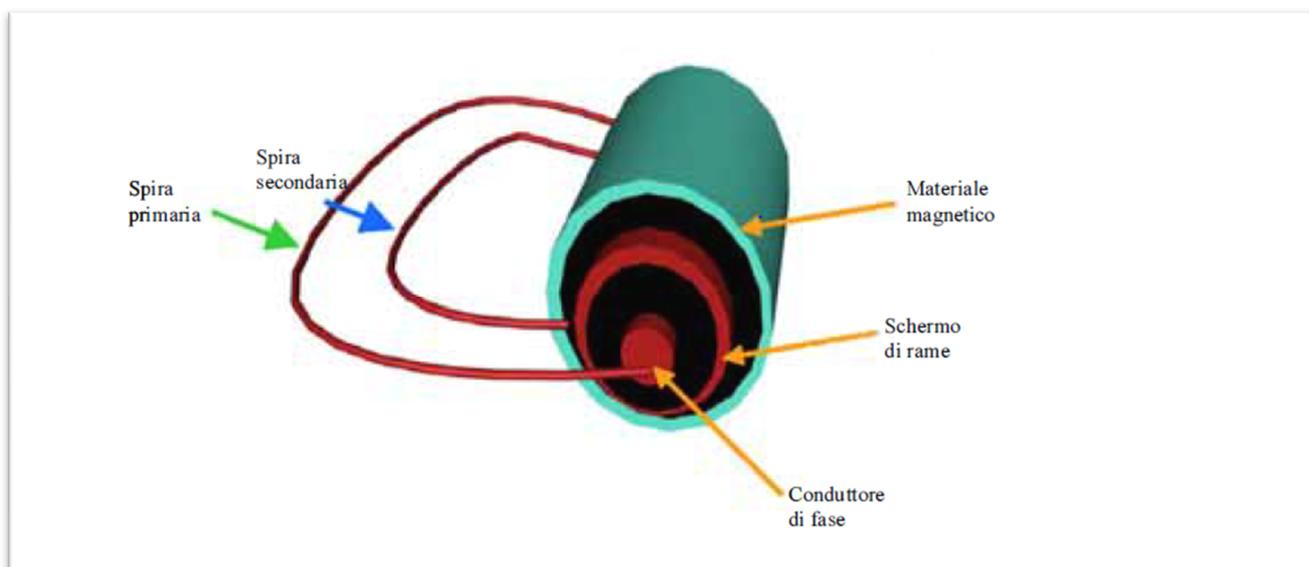


Figura 24: schema tridimensionale del cavo a debole emissione di campo magnetico- tecnica "Solid-bonding"

Il principio della schermatura si basa sulla combinazione degli effetti del materiale conduttore e di quello ferromagnetico. Sfruttando la messa a terra degli schermi di rame e l'effetto di contenimento delle linee di flusso del campo magnetico da parte dello schermo di materiale ferromagnetico, sugli schermi conduttori si inducono correnti parassite di intensità prossima alle correnti di linea. Tali correnti parassite generano un campo magnetico in opposizione a quello prodotto dalle correnti di linea. Si deve tuttavia rilevare che lo schermo ferromagnetico è soggetto ad elevata induzione magnetica che può provocarne la saturazione; inoltre la presenza delle correnti di linea e delle correnti parassite causa un consistente aumento di temperatura che può ridurre la portata a limite termico della linea.

Per la linea AT in esame, costituita dai tre cavi con conduttori di alluminio di 1600 mm^2 , si potrà utilizzare uno schermo ferromagnetico di Alloy-49 di spessore 0,2 mm, la cui sezione verrà scelta considerando i seguenti vincoli di progetto:

- la temperatura massima di 90 °C dell'isolante XLPE;
- il valore massimo di $3 \mu\text{T}$ del profilo trasversale di induzione magnetica generato ad altezza di 1,6 m sull'asse della linea.