

Regione Siciliana



Comune di Ramacca
Città Metropolitana di Catania

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO INTEGRATO DA UN SISTEMA DI ACCUMULO DI TIPO ELETTROCHIMICO DA COLLEGARE ALLA RTN CON POTENZA NOMINALE DC 35.635,60 kWp (FV) + DC 26.040 kW (BESS) E POTENZA NOMINALE AC 56.440 kW DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI RAMACCA (CT) - C/DA MARGHERITO SOPRANO



Elaborato:	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 IN APPLICAZIONE DEL D.Lgs. 159/2016		
Relazione:	Redatto:	Approvato:	Rilasciato:
REL_07		AP ENGINEERING	AP ENGINEERING
		Foglio A4	Prima Emissione
Progetto: IMPIANTO MARGHERITO	Data: 26/04/2023	Committente: SORGENIA RENEWABLES S.R.L. Via Alessandro Algardi, 4 - 20148 Milano (MI)	
Cantiere: IMPIANTO MARGHERITO C/DA MARGHERITO SOPRANO		Progettista: 	



INDICE

1. PREMESSA	3
2. RIFERIMENTI NORMATIVI	4
3. DEFINIZIONI	6
3.1. Campo elettrico.....	6
3.2. Campo magnetico	6
4. GENERALITÀ SUI CEM E CLASSIFICAZIONE DEI POTENZIALI EFFETTI SUL CORPO UMANO	8
5. ESPOSIZIONE DI CARATTERE PROFESSIONALE E NON PROFESSIONALE AI CEM.....	10
6. LIMITI PER L'ESPOSIZIONE DI CARATTERE PROFESSIONALE – EFFETTI NON TERMICI	11
7. LIMITI PER L'ESPOSIZIONE DI CARATTERE PROFESSIONALE – EFFETTI TERMICI.....	13
8. LIMITI PER L'ESPOSIZIONE DI CARATTERE NON PROFESSIONALE	15
9. VALUTAZIONE DEL RISCHIO CEM.....	18
10. IDENTIFICAZIONE DELLE SORGENTI DI EMISSIONE.....	19
10.1. Stringhe fotovoltaiche	20
10.2. Cavi elettrici di bassa tensione in corrente continua	25
10.3. Cabine elettriche di conversione e trasformazione dell'energia elettrica prodotta.....	27
10.3.1. <i>Classificazione delle zone</i>	33
10.3.2. <i>Misure di protezione da adottare</i>	33
10.4. Linee elettriche di media tensione.....	35
10.4.1. <i>Classificazione delle zone</i>	42
10.4.2. <i>Misure di protezione da adottare</i>	43
10.5. Sistema di accumulo elettrico	44
10.6. Cabina elettrica di trasformazione 30/36 kV.....	45
10.6.1. <i>Classificazione delle zone</i>	52
10.6.2. <i>Misure di protezione da adottare</i>	53
10. CONCLUSIONI	54
11. ULTERIORI MISURE DI PROTEZIONE E PREVENZIONE.....	58
11.1. Segnaletica.....	58
11.2. Informazione e formazione dei lavoratori e dei rappresentanti dei lavoratori per la sicurezza	60
11.3. Sorveglianza sanitaria	61

11.4. Schermatura del campo magnetico	62
11.4.1. Schermi ferromagnetici	62
11.4.2. Schermi conduttori	62
11.5. Interventi di riduzione del campo magnetico generato da cabine elettriche MT/BT	63
11.6. Azione sulla configurazione e scelta ottimale dei componenti della cabina	63
11.6.1. Utilizzazione degli schermi	63
11.7. Interventi di riduzione del campo magnetico generato dalle linee elettriche in cavo interrato.	64
11.8. Interventi di riduzione del campo magnetico generato dalla sottostazione elettrica di utenza.	65
11.9. Interventi di riduzione del campo magnetico generato dalla linea elettrica in alta tensione a 36 kV	65

1. PREMESSA

La Società Sorgenia Renewables S.R.L. ("SR" o "la Società") intende realizzare nel Comune di Ramacca (CT), in C/da Margheria Soprano, un impianto per la produzione di energia elettrica con tecnologia fotovoltaica integrato da un sistema di accumulo Battery Energy Storage System (BESS), combinato con l'attività di coltivazione agricola. L'impianto avrà una potenza di picco pari a 35.635,60 kWp, sarà integrato da un sistema di accumulo elettrico di tipo elettrochimico in configurazione AC-Coupling da 26.040 kW/52.080 kWh e, conformemente a quanto prescritto dal Gestore di Rete, verrà connesso in antenna la sezione a 36 kV di una futura stazione elettrica di trasformazione SE 380/150/36 kV della RTN da inserire in entra-esce sul futuro elettrodotto RTN a 380 kV "Chiaramonte Gulfi-Ciminna" di cui al Piano di Sviluppo Terna.

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 e 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.

2. 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).

3. 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).

3.1. 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).

3.2. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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	$1 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	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.
	$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	E_{int} [V/m]			$3,8 \times 10^{-4} f$		
A3	$1 \text{ Hz} \leq f < 10 \text{ Hz}$	Campo elettrico interno (<i>in situ</i>)		0,7 / f			I VLE relativi agli effetti sensoriali sono correlati agli effetti del campo elettrico sul sistema nervoso centrale nella testa, cioè fosfeni retinici e modifiche minori e transitorie di talune funzioni cerebrali. f è la frequenza espressa in Hertz [Hz]. 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 XXXV 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_{art}(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_{sop}(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_{art} (B) nell'intervallo di frequenza 1 Hz – 400 Hz garantisce il rispetto dei pertinenti VLE_{san}; al di sopra dei 400 Hz, coincidendo con i VA_{sop} (B), garantisce il rispetto dei pertinenti VLE_{san}.</p> <p>Il rispetto dei VA_{sop} (B) garantisce il rispetto dei VLE sanitari, ma non di quelli sensoriali;</p> <p>I VA_{arti} (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 _e [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

7. 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				SIGNIFICATO PROTEZIONISTICO / NOTE	
		CAMPI AMBIENTALI		VA (S) per la densità di potenza [W/m ²]	VA (I _c) per la corrente di contatto stazionaria [mA] (valore efficace)		VA (I _a) per la corrente indotta in qualsiasi arto [mA] (valore efficace)
		VA (E) per l'intensità del campo elettrico [V/m] (valore efficace)	VA (B) per l'induzione magnetica [μT] (valore efficace)				
B2	100 kHz ≤ f < 1 MHz	810	2,0 × 10 ⁹ /f		40	<p>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.</p> <p>I [VA(E)]², [VA(B)]² e [VA(I_c)]² devono essere mediati per ogni periodo di 8 minuti.</p> <p>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^{0,5} minuti (dove f è la frequenza in GHz) per tenere conto della graduale diminuzione della profondità di penetrazione con l'aumento della frequenza.</p> <p>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.</p> <p>Il rispetto del VA(S) deve essere garantito in termini di valore medio per ogni superficie corporea esposta di 20 cm², con la condizione aggiuntiva che la densità di potenza mediata su ogni superficie di 1 cm² non superi il valore di 1000 W/m².</p> <p>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).</p> <p>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).</p> <p>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).</p>	
	1 MHz ≤ f < 10 MHz	8,1 × 10 ⁹ / f					81
	10 MHz ≤ f ≤ 100 MHz	3 × 10 ⁻³ f ^{1/2}	1,0 × 10 ⁻⁵ f ^{1/2}				
	100 MHz ≤ f ≤ 110 MHz						
	110 MHz ≤ f < 400 MHz						
B1	400 MHz ≤ f < 2 GHz	140	0,45	50			
	2 GHz ≤ f < 8 GHz				8 GHz ≤ f ≤ 300 GHz		

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

Committente:

SORGENIA RENEWABLES S.R.L.

Progettista:



Pag. 13 | 66

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 kHz ≤ f < 6 GHz	Tasso di assorbimento specifico SAR [W/kg]		0,4	Esposizione a corpo intero	I VLE _{sen} proteggono dal riscaldamento termico dei tessuti od organi derivante dall'esposizione a campi elettromagnetici.
				10	Esposizione localizzata di testa e tronco	I VLE _{sen} 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 _{sen} 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.
A2	0,3 GHz ≤ f ≤ 6 GHz	Assorbimento specifico locale di energia SA [mJ/kg]	10		Esposizione della testa a campi elettromagnetici pulsati	Il VLE _{sen} 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 GHz ≤ f ≤ 300 GHz	Densità di potenza incidente sulla superficie corporea S [W/m ²]		50		I VLE _{sen} proteggono dal riscaldamento termico dei tessuti od organi derivante dall'esposizione a campi elettromagnetici. I VLE _{sen} 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.

8. 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.l.)	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.l.)	(0,1 < f ≤ 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 ≤ 3000) MHz	20 [V/m]	0,05 [A/m]	1 [W/m ²]	
	(3 < f ≤ 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.)

9. VALUTAZIONE DEL RISCHIO CEM

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

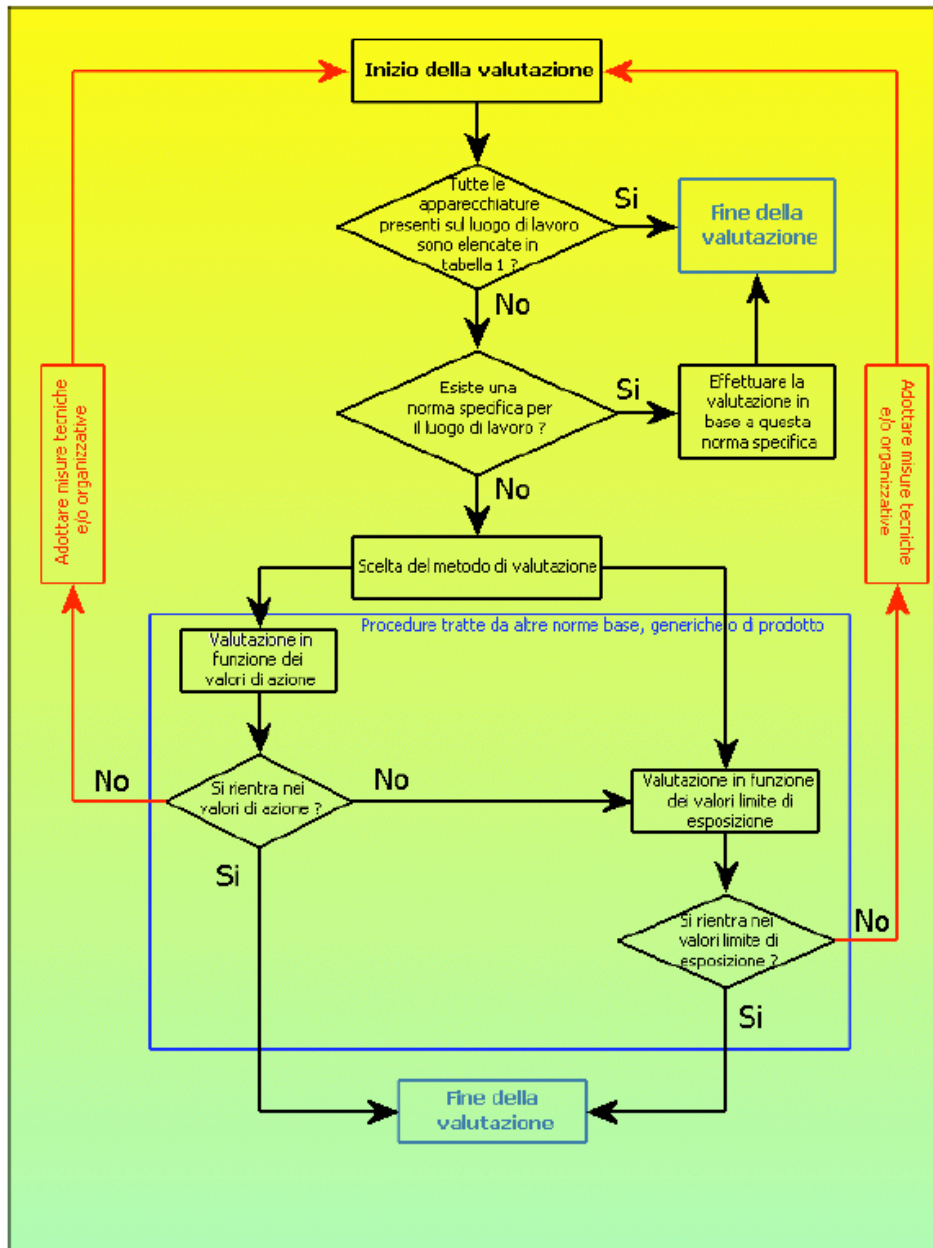


Figura 1: diagramma di flusso del processo di valutazione del rischio elettromagnetico (CEI EN 50499)

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

10. 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;
- sistema di accumulo;
- Cabina elettrica di trasformazione 30/36 kV;

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.

10.1. 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:

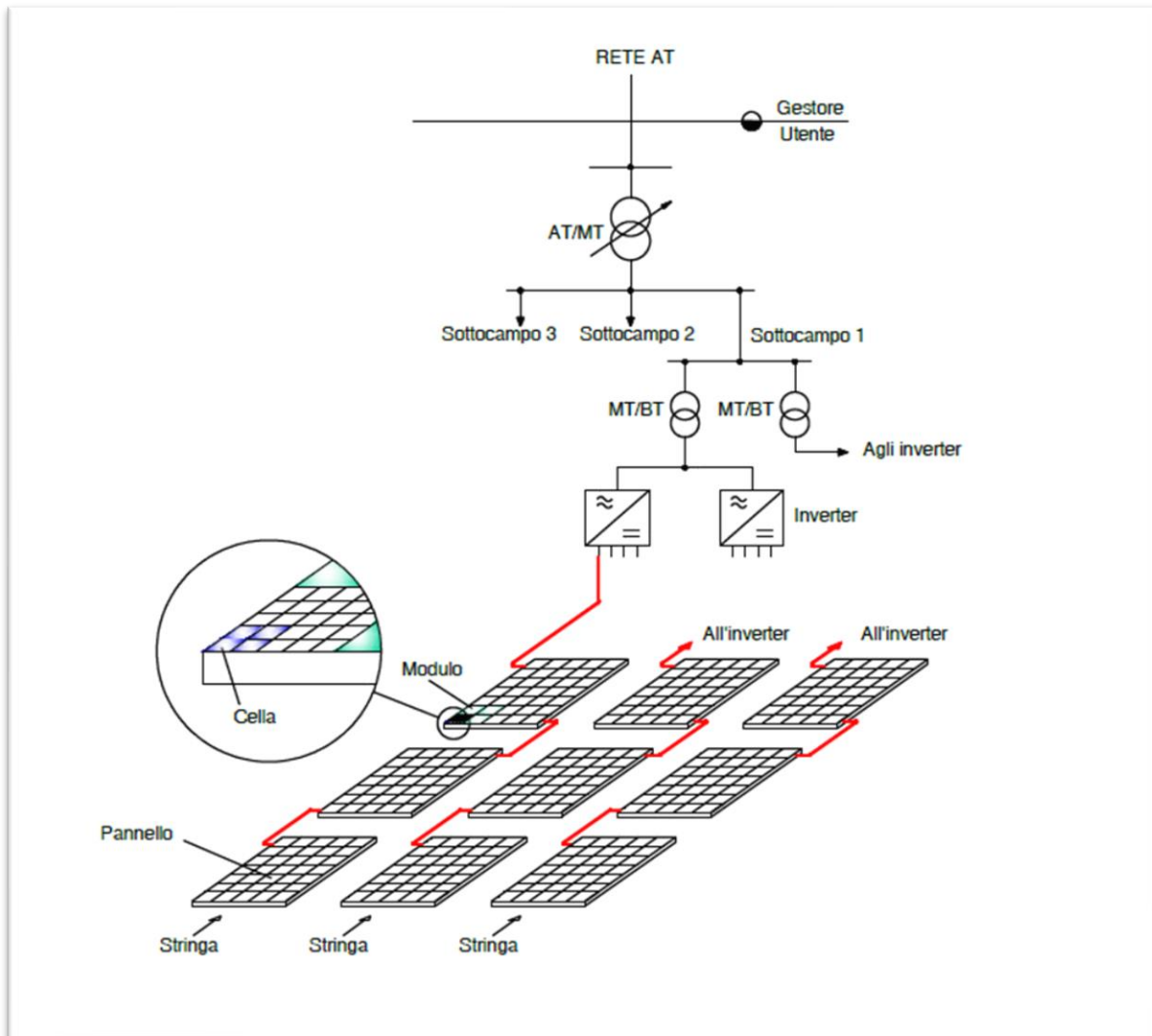


Figura 2: Schema di principio di una centrale fotovoltaica con indicazione delle stringhe fotovoltaiche

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 \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
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>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>
<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>Uso di apparecchiatura immessa nel mercato europeo in conformità alla Raccomandazione Europea 1999/519/CE, che non richiede marcatura CE</p>	<p>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)</p>
<p>Apparecchiature di illuminazione (lampade)</p>	<p>Escluse le illuminazioni speciali alimentate in RF</p>
<p>Computer e apparecchiature IT</p>	
<p>Apparecchiature da ufficio</p>	<p>I dispositivi per la cancellazione in blocco di nastri magnetici possono necessitare di ulteriori valutazioni</p>
<p>Telefoni mobili (cellulari, ecc.) e cordless (DECT, ecc.)</p>	
<p>Radio ricetrasmittenti</p>	<p>Solo quelle con potenze medie inferiori a 20 mW</p>
<p>Basi per telefoni DECT e reti Wlan (es. Wi-Fi)</p>	<p>Limitatamente alle apparecchiature destinate all'utilizzo da parte della popolazione</p>
<p>Apparecchiature e reti di comunicazione escluse quelle wireless</p>	
<p>Apparecchi elettrici portatili e trasportabili</p>	<p>Ad esempio conformi alle EN 60745-1 e EN 61029-1 inerenti la sicurezza degli utensili a motore trasportabili</p>
<p>Apparecchiature portatili per riscaldamento (escluso il riscaldamento a induzione e dielettrico)</p>	<p>Ad esempio conformi alla EN 60335-2-45 (es. pistole per colla a caldo)</p>
<p>Caricabatterie</p>	<p>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</p>
<p>Attrezzature elettriche per il giardinaggio</p>	
<p>Apparecchiature audio e video</p>	<p>Alcuni particolari modelli che fanno uso di trasmettitori radio nelle trasmissioni radio/TV possono necessitare di ulteriori valutazioni</p>

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

10.2. 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:

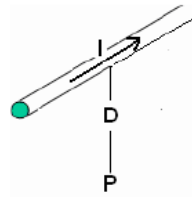
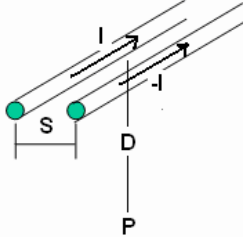
a) Linea unifilare		b) Linea bifilare	
			
$H_p \text{ (A/m)} = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot D}$	$B_p \text{ (\mu T)} = \frac{1}{5} \cdot \frac{I}{D}$	$H_p \text{ (A/m)} \cong \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot D} \cdot \frac{S}{D}$	$B_p \text{ (\mu T)} \cong \frac{1}{5} \cdot \frac{I}{D} \cdot \frac{S}{D}$

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 230 A, tenendo conto della profondità di posa dei cavi pari a 0,8 m e della distanza tra le fasi pari a 0,0141m, si ottiene un valore di induzione magnetica pari a circa 1,01 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)

10.3. 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, poichè 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. tutte gli schermi e le masse metalliche saranno collegati a terra, imponendo il potenziale di terra, consentendo di schermare completamente i campi elettrici. 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].

Come caso più sfavorevole è stata presa in considerazione la cabina elettrica di trasformazione equipaggiata con un trasformatore da 3150 kVA, avente un rapporto di trasformazione nominale pari a 0,8/30 kV, a cui corrisponde una corrente nominale lato BT pari a:

$$I_{nBT} = 2274 \text{ A}$$

Assumendo che ciascuna fase BT sarà costituita da n° 6 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:

Formazione	Ø indicativo conduttore	Spessore medio isolante	Spessore medio guaina	Ø esterno max	Resistenza elettrica max a 20°C	Peso indicativo cavo	Portata di corrente A					
							in aria a 30°C	in tubo in aria a 30°C	interrato a 20°C		tubo interrato a 20°C	
n° x mm ²	mm	mm	mm	mm	Ω/km	kg/km			K = 1	K = 1,5	K = 1	K = 1,5
1 x 1,5	1,5	0,7	1,4	6,7	13,3	43	24	20	26	24	23	21
1 x 2,5	2,0	0,7	1,4	7,2	7,98	54	33	28	34	31	29	27
1 x 4	2,5	0,7	1,4	7,8	4,95	68	45	37	43	40	38	35
1 x 6	3,0	0,7	1,4	8,4	3,30	91	58	48	55	51	48	44
1 x 10	4,0	0,7	1,4	9,4	1,91	140	80	66	73	68	64	59
1 x 16	5,0	0,7	1,4	10,4	1,21	190	107	88	96	89	83	77
1 x 25	6,2	0,9	1,4	12,2	0,780	280	141	117	124	115	108	100
1 x 35	7,4	0,9	1,4	13,6	0,554	370	176	144	150	139	131	121
1 x 50	8,9	1,0	1,4	15,4	0,386	510	216	175	186	173	162	150
1 x 70	10,5	1,1	1,4	17,3	0,272	700	279	222	229	212	199	184
1 x 95	12,2	1,1	1,5	19,4	0,206	905	342	269	270	250	234	217
1 x 120	13,8	1,2	1,5	21,4	0,161	1140	400	312	312	289	271	251
1 x 150	15,4	1,4	1,6	23,8	0,129	1420	464	355	356	330	310	287
1 x 185	16,9	1,6	1,6	26,0	0,106	1725	533	417	401	371	349	323
1 x 240	19,5	1,7	1,7	29,2	0,0801	2360	634	490	471	436	409	379
1 x 300	23,0	1,8	1,8	32,0	0,0641	2820	736	-	533	493	463	429
1 x 400	26,5	2,0	1,9	36,5	0,0486	3700	868	-	621	575	540	500
1 x 500 (*)	28,5	2,2	2,1	37,1	0,0384	4605	998	-	705	650	610	560
1 x 630 (*)	33,0	2,4	2,3	42,2	0,0287	6125	1151	-	823	762	716	663




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 219 mm, pertanto, applicando la (1) si ottiene una distanza di prima approssimazione, arrotondata al mezzo metro superiore, pari a:

$$DPA = 9 \text{ m}$$

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
<p>ELETTRODOTTI</p> <p>OPERANTI ALLA FREQUENZA DI RETE (50 Hz)</p>   	<p>A. LUOGHI ACCESSIBILI ESCLUSIVAMENTE A LAVORATORI ADDETTI</p> <p><i>(esposizione di carattere professionale)</i></p>	<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>
	<p>B. LUOGHI ACCESSIBILI AL PUBBLICO</p> <p><i>(esposizioni di carattere NON professionale)</i></p>	<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:

Committente:

SORGENIA RENEWABLES S.R.L.

Progettista:



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 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:

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

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

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

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 3150kVA e una Vcc% pari al 6%, a distanza di 1 m dal centro si ottiene un valore di B pari a circa **243 μ 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 csi di lavoratori particolarmente sensibili al rischio procedendo come sintetizzato nella figura seguente:

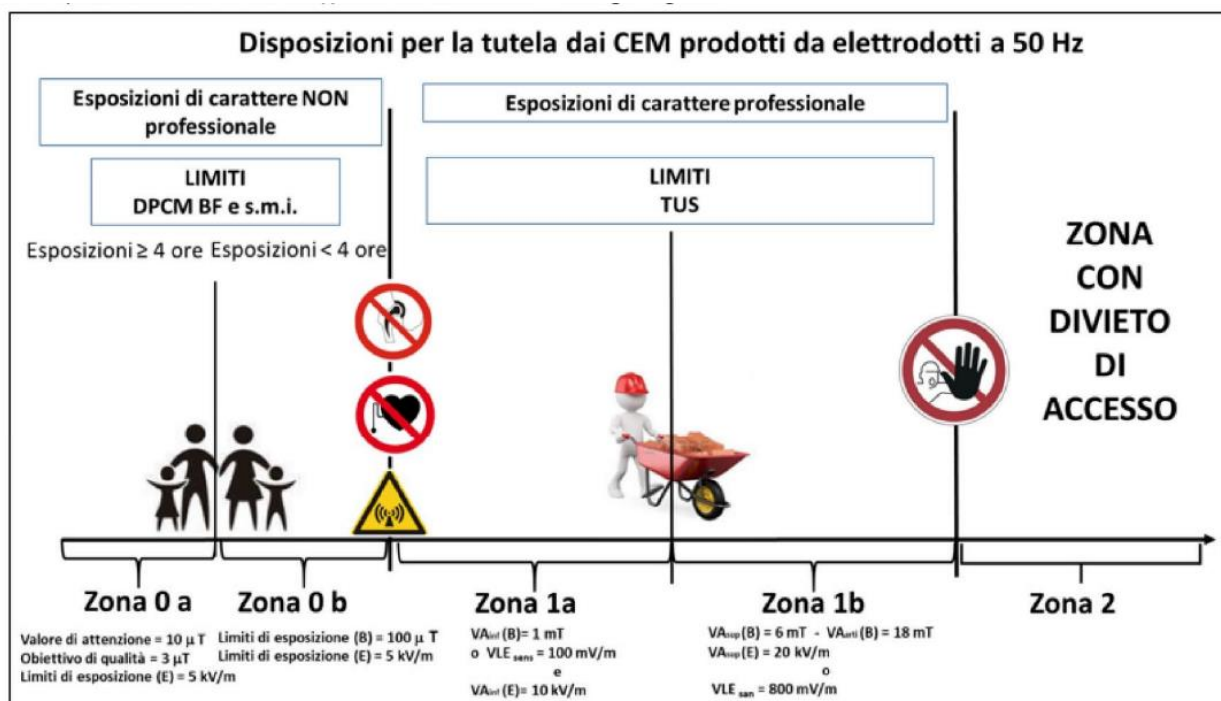


Figura 4: misure di prevenzione e protezione per la tutela dai CEM prodotti da elettrodotti a 50 Hz

10.3.1. 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} .

10.3.2. 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.

Le misure di prevenzione e protezione descritte, verranno adottate in fase di costruzione ed esercizio dell'impianto. Qualora dovessero risultare insufficienti, verranno applicati ulteriori provvedimenti di mitigazione del campo elettrico e del campo magnetico.

10.4. 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 \pm 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
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>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>
<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 	

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	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;
- Formazione: $3 \times (1 \times 400)$ mm² per le linee di campo; $2 \times [3 \times (1 \times 630)]$ mm² per la dorsale;
- Tipologia di posa: interrata;
- Modalità di posa: in piano con fasi a contatto;
- Profondità di posa: 1,2 m per le linee di campo; 1,5 m per la dorsale.

Al fine di ridurre i valori di induzione magnetica, è stata privilegiata la posa delle fasi a trifoglio, ottenendo il risultato rappresentato nella figura seguente:

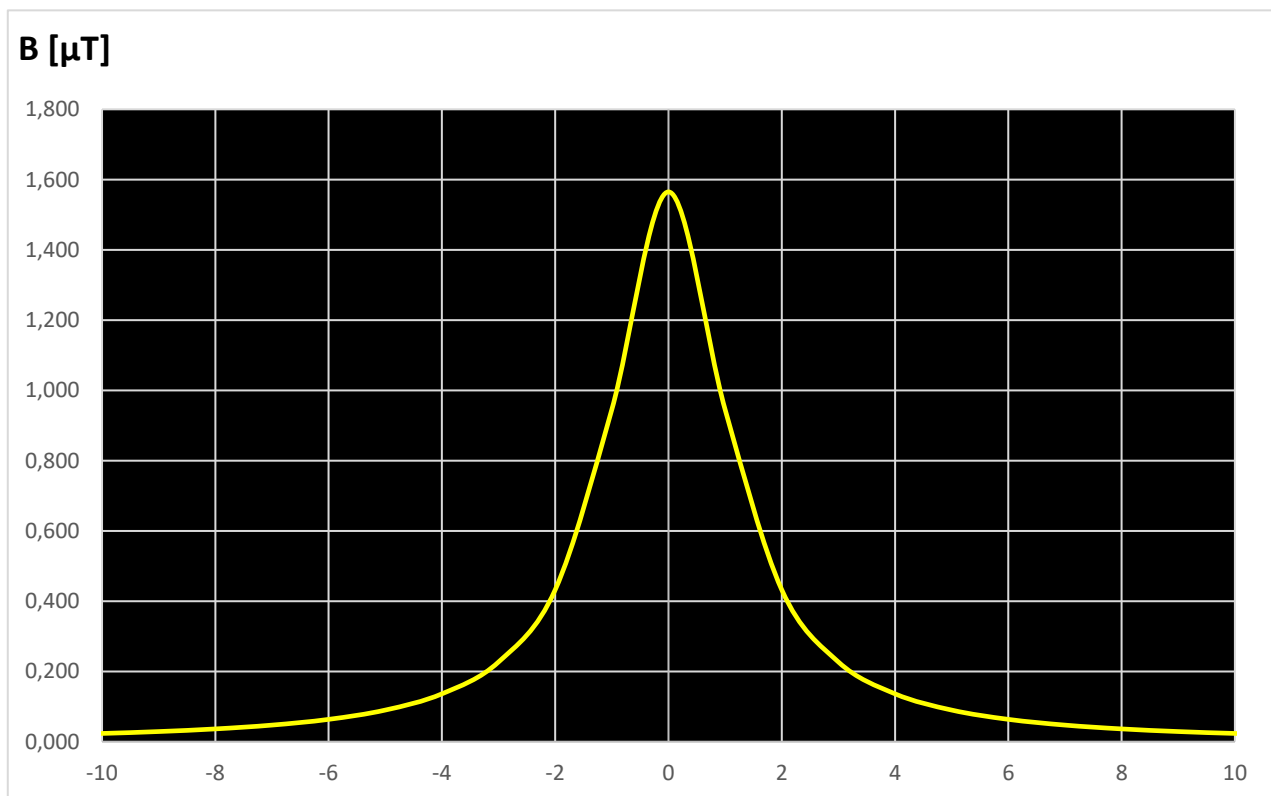


Figura 5: Induzione magnetica generata durante l'esercizio valutata ai sensi della Norma CEI 211-4 – Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche

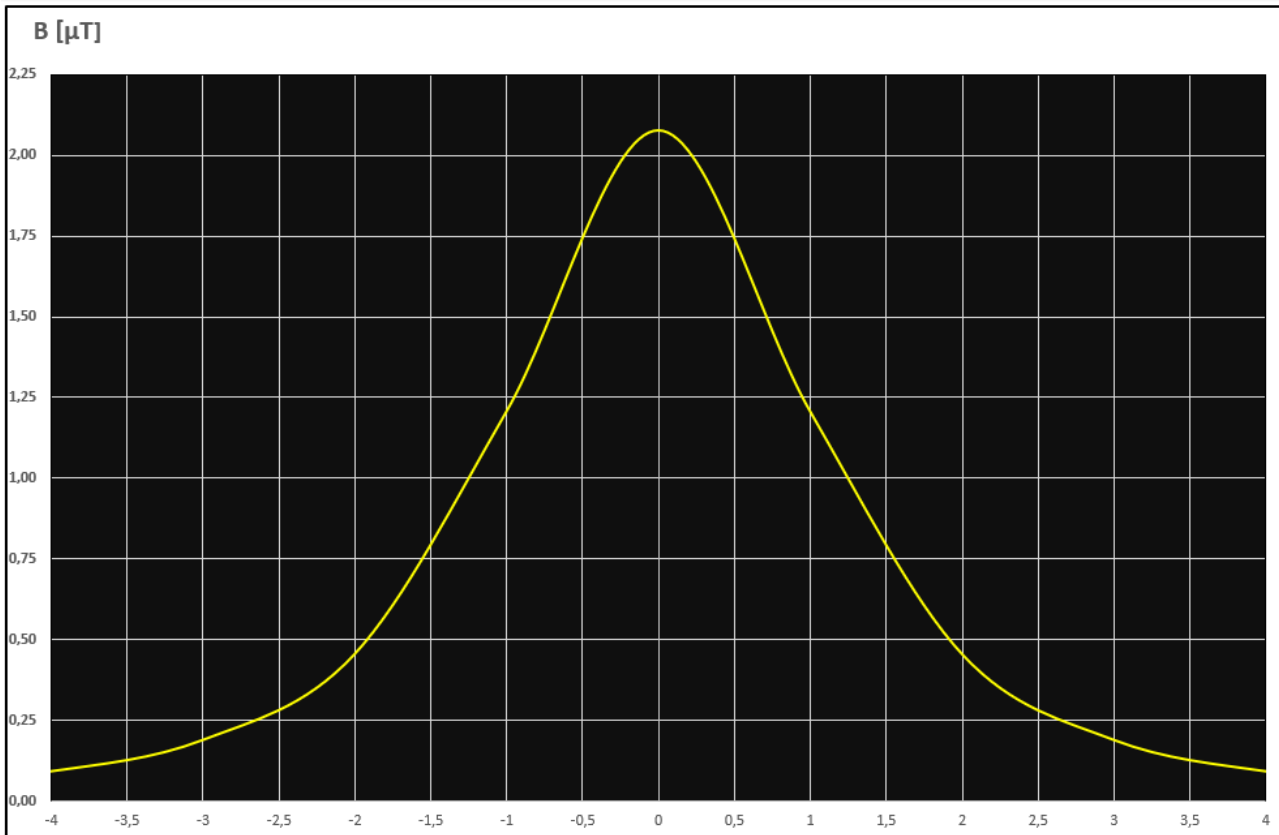


Figura 6: induzione magnetica generata dalla dorsale MT di collegamento con la Sottostazione Elettrica di Utenza

Il valore massimo dell'induzione magnetica si raggiunge al di sopra del suolo in corrispondenza dell'asse della linea e vale circa **1,6 μT**. **Questo valore, risulta inferiore all'obiettivo di qualità di 3μT fissato dal DPCM 8 luglio 2003 per la protezione della popolazione e 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)
$1 \leq f < 8 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^5 / f^2$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$8 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,5 \times 10^4 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$25 \leq f < 300 \text{ Hz}$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^2 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

Tabella 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'idonea 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 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:

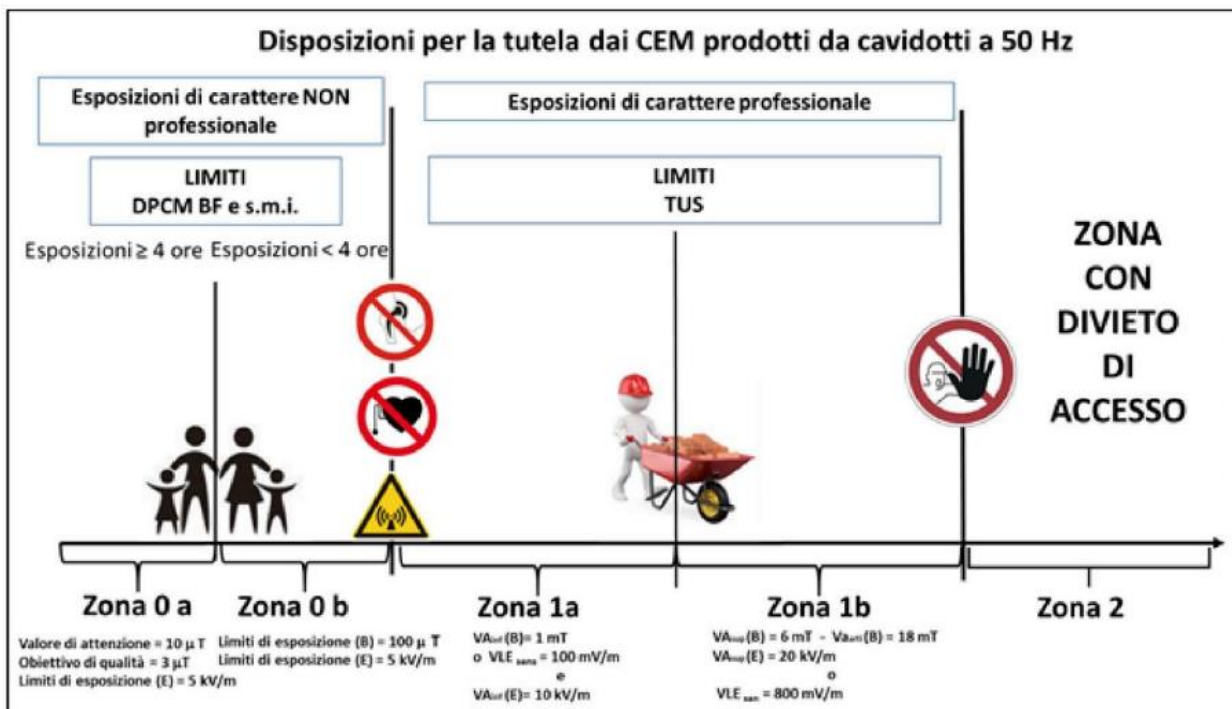


Figura 7: Misure di prevenzione e protezione per la tutela dai CEM prodotti da cavidotti a 50 Hz

10.4.1. 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} .

10.4.2. 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:

- 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.

Le misure di prevenzione e protezione descritte, verranno adottate in fase di costruzione ed esercizio dell'impianto. Qualora dovessero risultare insufficienti, verranno applicati ulteriori provvedimenti di mitigazione del campo elettrico e del campo magnetico.

10.5. Sistema di accumulo elettrico

Come riscontrabile dalle tavole di progetto allegate, l'impianto di produzione risulta integrato da un sistema di accumulo elettrico di tipo elettrochimico in configurazione AC-Coupling, avente una potenza nominale di 26.040 kW/52.080 kWh, costituito da n. 14 UAC, di taglia 1,86 MW per ognuna delle quali è previsto un PCS da 1,86 MVA.

Dal punto di vista delle esposizioni ai campi elettrici, i sistemi di accumulo sono classificabili come sorgenti conformi a priori, pertanto non risulta necessaria alcuna valutazione.

In merito all'esposizione ai Campi Magnetici, è stata calcolata l'Induzione Magnetica generata applicando il procedimento descritto dalla Norma CEI 106-12, con riferimento alle linee elettriche bifilari:

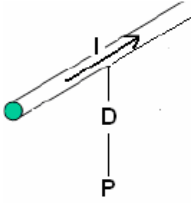
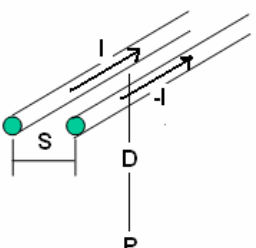
a) Linea unifilare		b) Linea bifilare	
			
$H_p (\text{A/m}) = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot D}$	$B_p (\mu\text{T}) = \frac{1}{5} \cdot \frac{I}{D}$	$H_p (\text{A/m}) \cong \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot D} \cdot \frac{S}{D}$	$B_p (\mu\text{T}) \cong \frac{1}{5} \cdot \frac{I}{D} \cdot \frac{S}{D}$

Figura 2 – Campo magnetico H e induzione magnetica B prodotti nel punto P da linee unifilari e bifilari

Tenendo conto della corrente nominale della linea in DC e della sezione dei cavi, è stata calcolata l'Induzione Magnetica generata ad 1 metro di distanza ottenendo il seguente valore:

$$B = 150 \mu\text{T}$$

Questo valore, anche se apparentemente elevato, risulta inferiore al limite stabilito dalle linee Guida ICNIRP:

Tabella 6. Livelli di riferimento per l'esposizione professionale a campi elettrici e magnetici (valori efficaci imperturbati)

Intervallo di frequenza	Intensità del campo elettrico (V/m)	Intensità del campo magnetico (A/m)	Induzione magnetica (μT)	Densità di potenza dell'onda piana equivalente S_{eq} (W/m ²)
fino a 1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	2×10^5	-
1-8 Hz	20.000	$1,63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	-
8-25 Hz	20.000	$2 \times 10^4/f$	$2,5 \times 10^4/f$	-
0,025-0,82 kHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$	-
0,82-65 kHz	610	24,4	30,7	-
0,065-1 MHz	610	$1,6/f$	$2,0/f$	-
1-10 MHz	$610/f$	$1,6/f$	$2,0/f$	-
10-400 MHz	61	0,16	0,2	10
400-2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$0,01f^{1/2}$	$f/40$
2-300 GHz	137	0,36	0,45	50

Figura 8: valori limite di esposizione

Pertanto, si può concludere che il sistema di accumulo non costituisce una sorgente di pericolo dal punto di vista delle esposizioni ai campi elettromagnetici.

10.6. Cabina elettrica di trasformazione 30/36 kV

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.

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, assimilando, nel caso più sfavorevole, la cabina elettrica di trasformazione 30/36 kV ad una cabina primaria MT/AT analoga a quelle di proprietà di e-distribuzione, 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 metodologie 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:

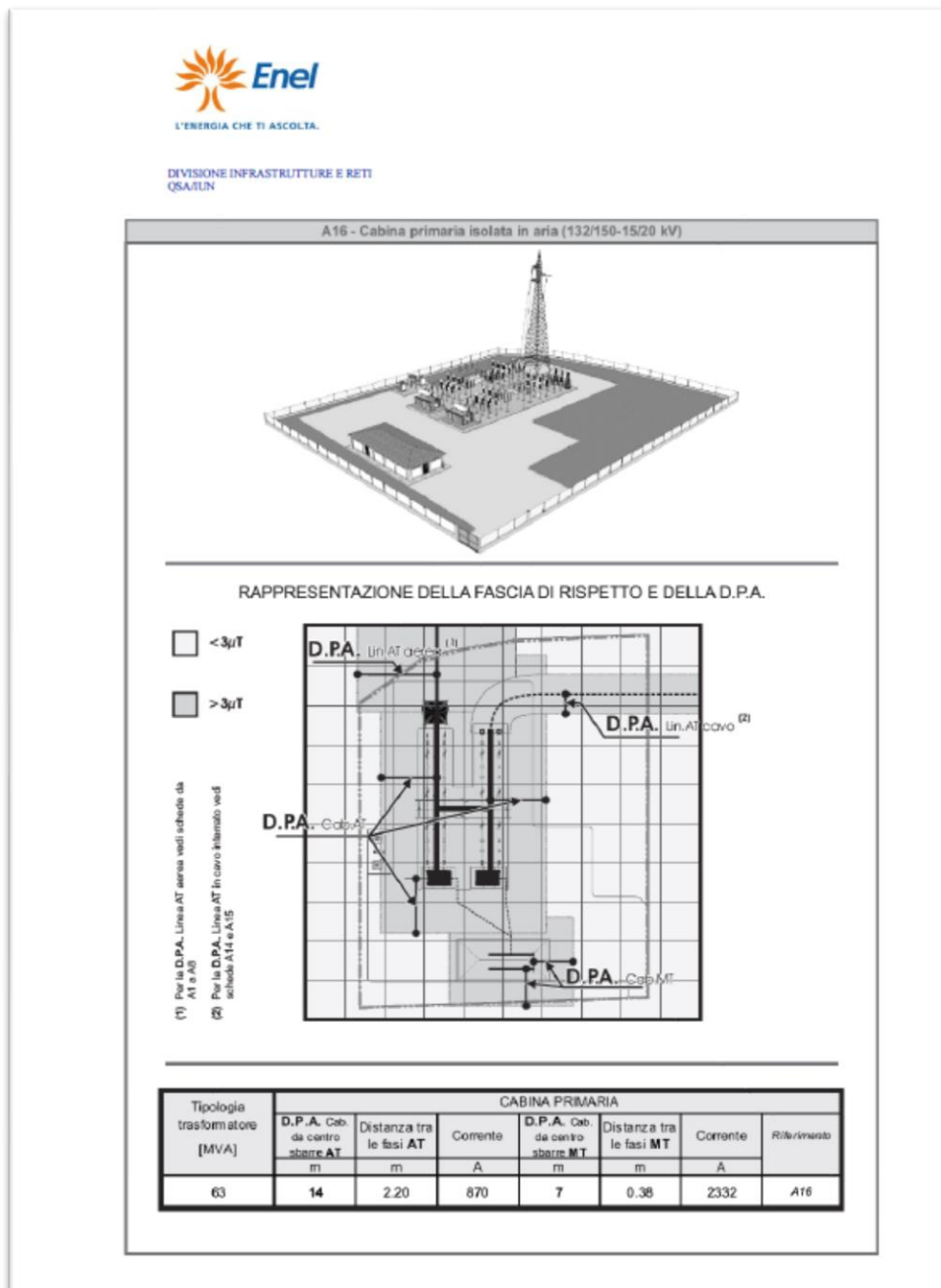


Figura 9: DPA Cabina Primaria AT/MT Enel equipaggiata con n° 2 trasformatori AT/MT da 63 MVA- Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al D.M. 29.05.08 – Distanza di prima approssimazione da linee e cabine elettriche

All'esterno dell'area di pertinenza dell'impianto, il valore di induzione magnetica generata risulta inferiore all'obiettivo di qualità di $3\mu\text{T}$ 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 $3\mu\text{T}$ 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 a 36 kV di stazione, le quali sono assimilabili ad una terna di conduttori disposti in piano:

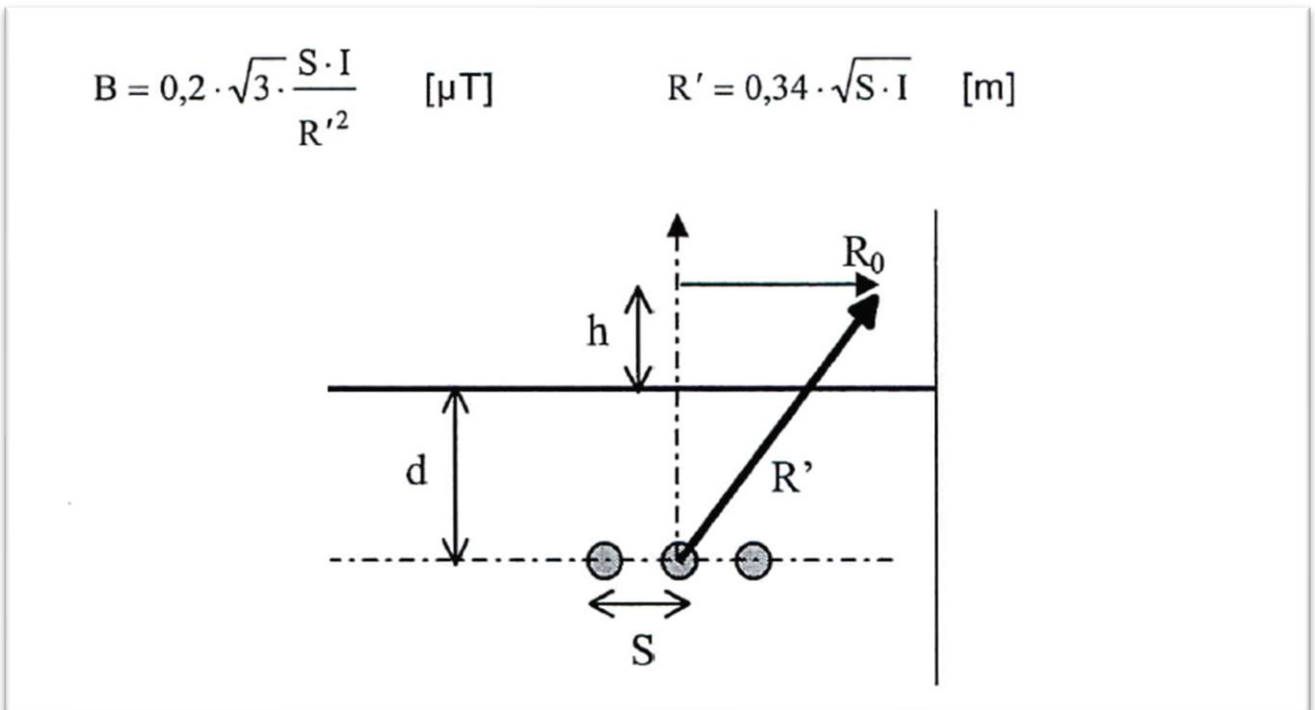


Figura 10: Schema di principio per il calcolo delle distanze da terne di cavi interrati con posa in piano/sbarre AT isolate in aria oltre le quali l'induzione magnetica è inferiore all'obiettivo di qualità – Norma CEI 106-11 – Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003

Applicando la formula semplificata prevista dalla Norma CEI 106-11 si ottiene una **distanza di prima approssimazione**, arrotondata al mezzo metro superiore, pari a **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:

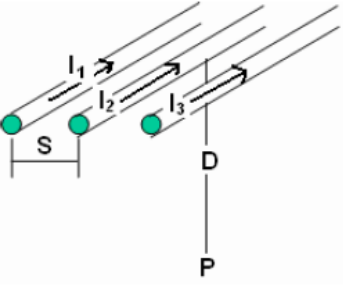
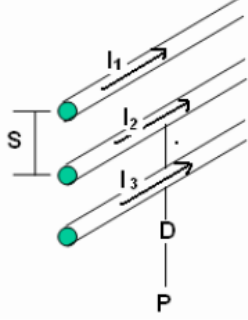
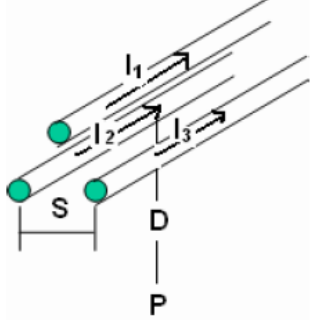
a) Terna trifase di conduttori in piano	b) Terna trifase di conduttori in verticale	c) Terna trifase di conduttori a triangolo
		
$B(\mu T) = 0,2 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{I S}{D D}$		$B(\mu T) = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{I S}{D D}$

Figura 11: campo magnetico H e induzione magnetica B prodotti nel punto P da linee unifilari e bifilari

Sostituendo i valori si ottiene:

$$B = 12 \mu T$$

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 [μ T] (valori RMS)	VA (B) superiori per l'induzione magnetica [μ T] (valori RMS)	VA (B) per l'induzione magnetica per esposizione localizzata degli arti [μ T] (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 17: 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:

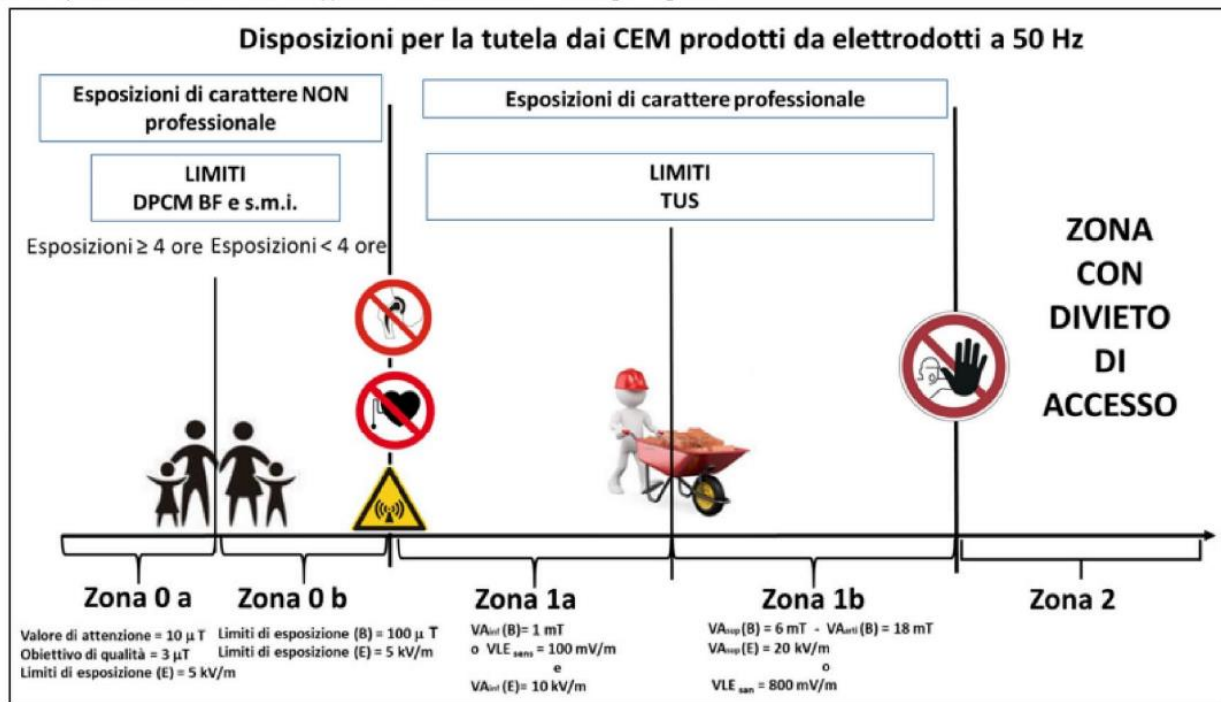


Figura 12: Misure di prevenzione e protezione per la tutela dai CEM prodotti da Elettrodotti a 50 Hz

10.6.1. 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} .

10.6.2. 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.

Le misure di prevenzione e protezione descritte, verranno adottate in fase di costruzione ed esercizio dell'impianto. Qualora dovessero risultare insufficienti, verranno applicati ulteriori provvedimenti di mitigazione del campo elettrico e del campo magnetico.

10. 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:

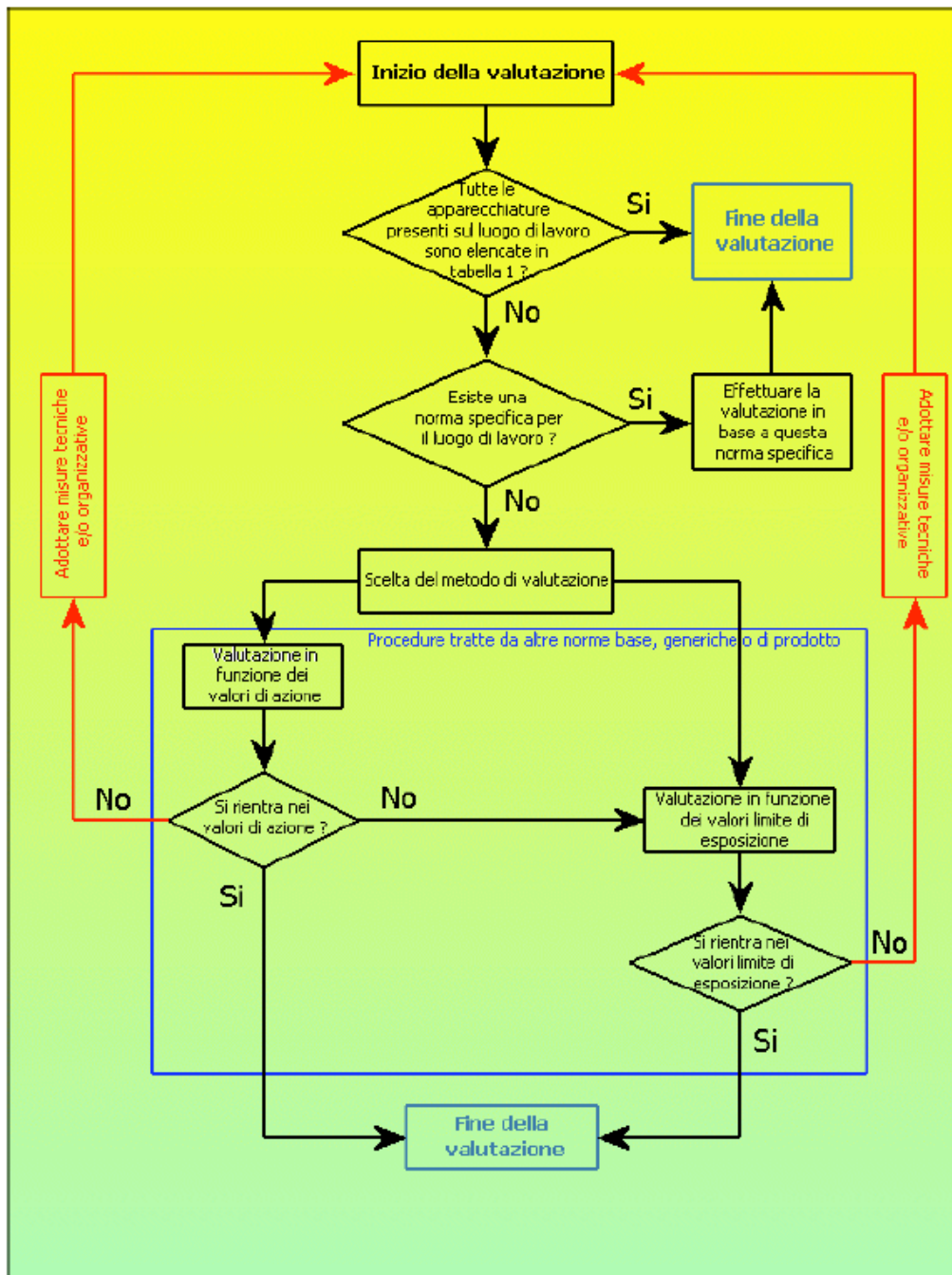


Figura 13: Diagramma di flusso del processo di valutazione del rischio elettromagnetico (CEI EN 50499)

ottenendo i risultati riportati nella tabella seguente:

Sorgente di emissione	Sorgente giustificabile e per l'esposizione e ai campi elettrici	Sorgente giustificabile e per l'esposizione e 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 e da adottare
Stringhe fotovoltaiche	SI	SI	//	//	NO	SI	Nessuna misura di protezione
Linee elettriche di bassa tensione	SI	NO	//	1,01	NO	SI	Interramento delle linee.
Cabine elettriche di conversione e trasformazione	SI	NO	//	243	NO	SI	Zonizzazione delle aree; Collegamenti delle masse e masse estranee a terra.
Linee elettriche di media tensione	SI	NO	//	1,6 per le linee di campo; 2,1 per la dorsale	SI	SI	Interramento delle linee; Zonizzazione delle aree; Collegamento a terra degli schermi metallici dei cavi; Utilizzo di materiali schermanti.
Sistema di accumulo	SI	NO	//	150	SI	SI	Il valore di campo generato risulta inferiore al limite di legge
Cabina Elettrica di Trasformazione e 30/36 kV	NO	NO	//	12	NO	SI	Zonizzazione delle aree; Collegamenti a terra delle masse e delle masse estranee; Innalzamento dei conduttori; Utilizzo di schermi metallici.

Tabella 18: 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 dai sistemi di accumulo è stata calcolata ad 1,00 m di distanza dal container;
- l'induzione magnetica generata dalla sottostazione elettrica MT/AT è stata calcolata facendo riferimento alla linea guida DPA di e-distribuzione.

Le misure di prevenzione e protezione descritte, verranno adottate in fase di costruzione ed esercizio dell'impianto. Qualora dovessero risultare insufficienti, verranno applicati ulteriori provvedimenti di mitigazione del campo elettrico e del campo magnetico.

11. ULTERIORI MISURE DI PROTEZIONE E PREVENZIONE

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

11.1. 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	
	Il segnale indica la presenza di campi elettromagnetici che potrebbero mettere il lavoratore in condizioni di esposizione non accettabili
	Il segnale indica la presenza di campi magnetici che potrebbero mettere il lavoratore in condizioni di esposizione non accettabili

Figura 14: 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	
	Il segnale indica la presenza di campi elettromagnetici che potrebbero mettere il lavoratore in condizioni di esposizione non accettabili
	Il segnale indica la presenza di campi magnetici che potrebbero mettere il lavoratore in condizioni di esposizione non accettabili
	Divieto di ingresso per portatori di DMIA
	Divieto di ingresso per portatori di DMIP
	Divieto di indossare materiale metallici
	Divieto dell'uso del cellulare o ricetrasmittenti
	Obbligatorio indossare calzature antistatiche
	Obbligatorio leggere le istruzioni

Figura 15: Segnaletica relativa ai CEM indicata dalla Norma UNI EN ISO 7010

11.2. 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.

11.3. 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 garantirà 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.

11.4. Schermatura del campo magnetico

Per schermare il campo magnetico a bassa frequenza, si ricorrerà a 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.

11.4.1. 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:

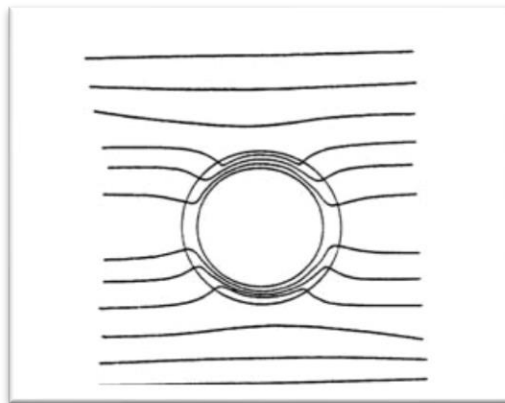


Figura 16: andamento qualitativo della deformazione delle linee di forza di un campo magnetico uniforme per effetto di un nucleo in materiale ferromagnetico

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.

11.4.2. 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.

11.5. 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.

11.6. 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.

11.6.1. 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.

11.7. 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 verranno utilizzati schermi ferromagnetici in normale ferro da carpenteria (Fe360B), disposti come di seguito rappresentato:

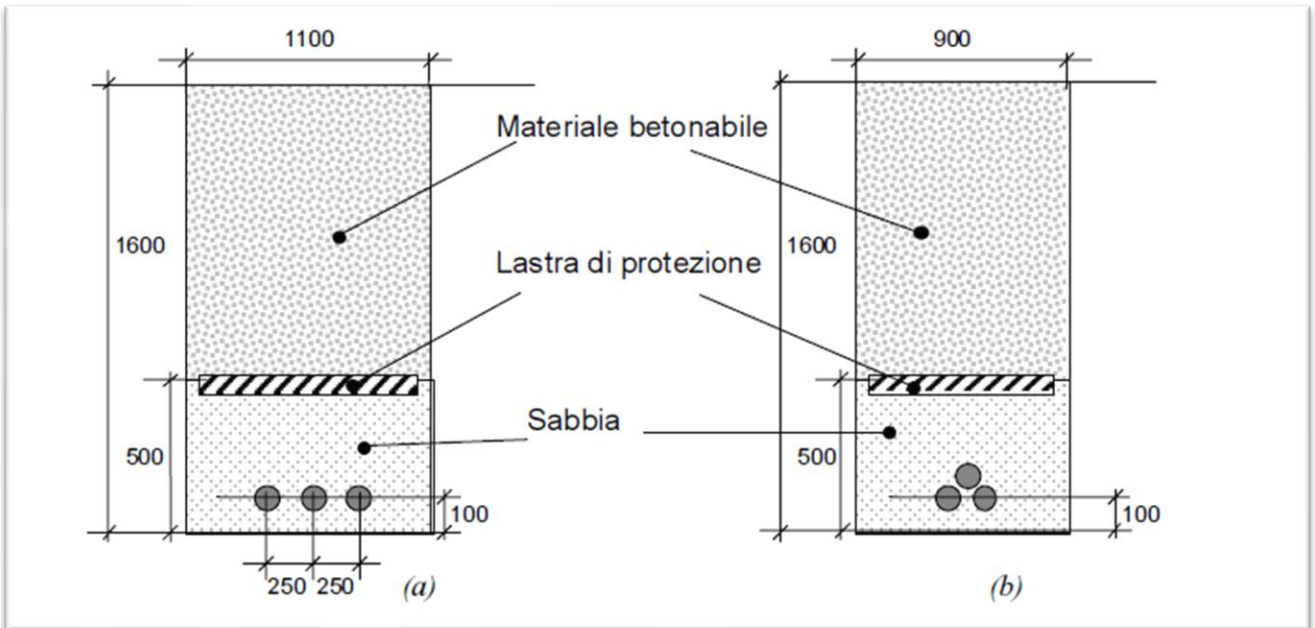


Figura 17: schermatura cavi elettrici interrati

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

11.8. 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.

11.9. Interventi di riduzione del campo magnetico generato dalla linea elettrica in alta tensione a 36 kV

Per ridurre il campo magnetico generato dalla linea AT durante l'esercizio, è prevista la realizzazione di 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:

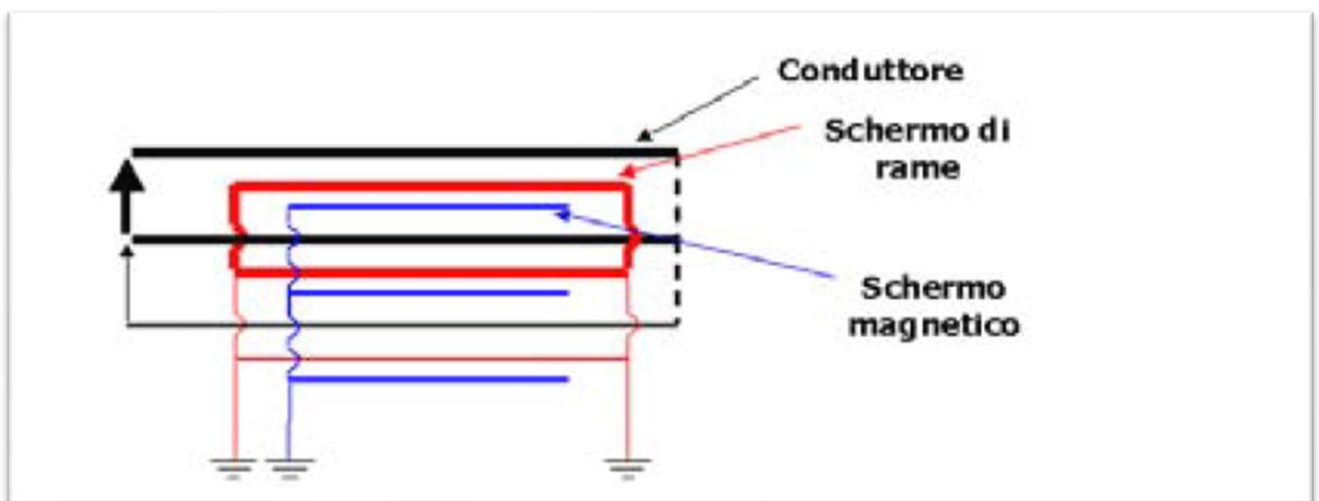


Figura 18: schema bidimensionale del cavo unipolare e della messa a terra degli schermi- tecnica "solid bonding"

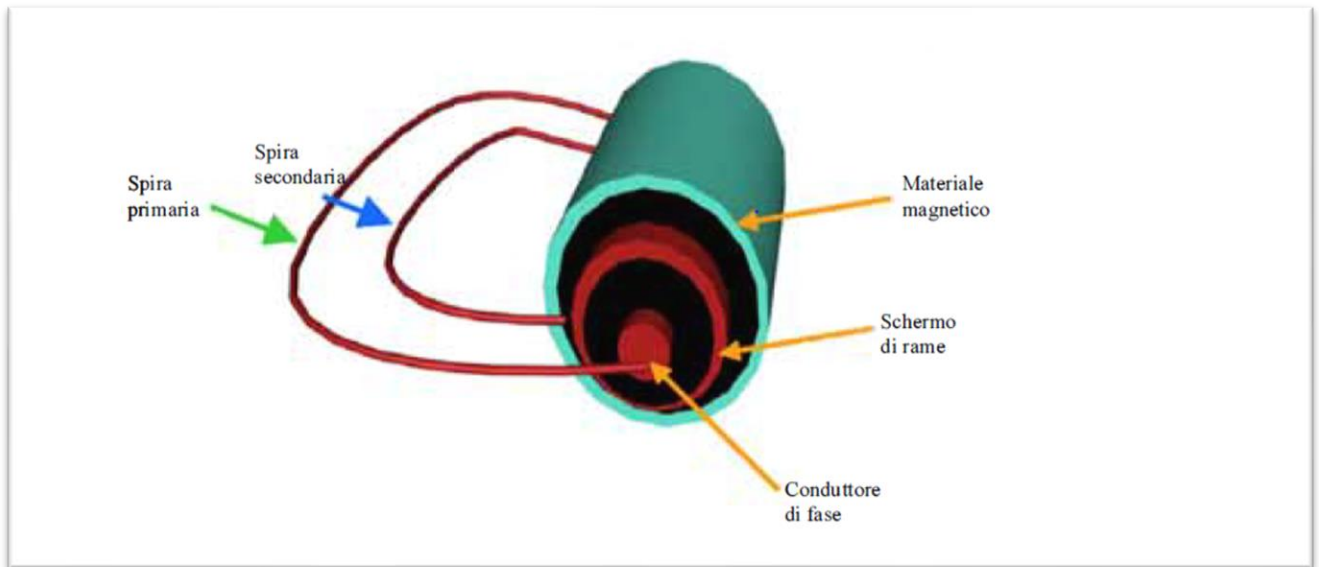


Figura 19: schema tridimensionale del cavo a debole emissione di campo magnetico- tecnica "Solid-bonding"

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 da una doppia terna di cavi da 630 mm², in fase di progettazione è stato scelto uno schermo ferromagnetico di Alloy-49 di spessore 0,2 mm. La sezione dello schermo di rame è stata scelta considerando i seguenti due vincoli di progetto:

- la temperatura massima di 90 °C dell'isolante XLPE;
- il valore massimo di 3μT del profilo trasversale di induzione magnetica generato ad altezza di 1,5 m sull'asse della linea.