



**UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA**

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali  
Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica e Meccatronica

**CAMPI ELETTROMAGNETICI NEI LUOGHI DI LAVORO:**

**Analisi delle direttive e delle norme a tutela della salute dei  
lavoratori portatori di dispositivi medici**

**ELECTROMAGNETIC FIELDS IN THE WORKPLACE:**

**Analysis of directives and standards to safeguard the health of  
workers wearing medical devices**

Relatore: Prof. Diego Dainese

Correlatore: Ing. Filippo Roveggio

Laureando: Ruben Simonetto

# Indice

Introduzione .....	3
1 Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro 81/08 .....	5
1.1 Articolo 206 - Campo di applicazione .....	5
1.2 Articolo 207 – Definizioni .....	5
1.3 Articolo 208 - Valori limite di esposizione e valori d'azione .....	6
1.4 Obblighi del datore di lavoro .....	9
1.5 Allegato XXXVI .....	11
2 Analisi della Normativa riguardante l'esposizione ai campi elettromagnetici .....	18
2.1 Caratterizzazione della fonte del campo .....	18
2.2 Caratteristiche dello strumento di misura.....	19
2.3 Calibrazione e taratura dello strumento di misura.....	20
2.4 Procedura di misura.....	21
2.5 Incertezza di misura.....	30
2.6 Riduzione delle radiazioni tramite schermatura o attenuazione.....	32
2.7 Lavoratori portatori di dispositivi medici impiantati .....	33
3 Misura in sito .....	37
3.1 Risultati delle misure.....	39
3.1.1 Confronto misure con valori limite .....	43
4 Schermatura elettromagnetica.....	46
4.1 Meccanismi di schermatura.....	46
4.2 Sorgenti in campo vicino e campo lontano .....	49
4.3 Schermatura di campi magnetici vicini a bassa frequenza.....	52
Conclusione.....	55
Appendice .....	56
Bibliografia .....	61

# Introduzione

Nella seguente tesi si propone di analizzare la legislazione e normativa relativa all'esposizione nei luoghi di lavoro ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz, ai possibili effetti su persone portatrici di dispositivi medici attivi e le relative misure per ridurre i rischi associati.

Una prima parte sarà dedicata alle sezioni riguardanti i campi elettromagnetici del Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro, riportando i principali articoli.

Verranno definite le grandezze fisiche relative ai campi elettromagnetici, gli effetti che questi possono avere sul corpo umano e il significato dei diversi valori limite che è necessario rispettare, che potranno tuttavia essere superati rispettando specifiche condizioni accertate dal datore di lavoro.

Saranno quindi enunciati gli obblighi del datore di lavoro relativi alla valutazione dei rischi come gli elementi a cui deve prestare particolare attenzione effettuando quest'ultima, le disposizioni che deve attuare in seguito alla valutazione atte all'eliminazione o alla riduzione dei rischi in caso i valori limite vengano superati, e la formazione e informazione dei lavoratori esposti a questi rischi.

Si concluderà questa parte includendo l'appendice contenente i valori limite d'esposizione e i valori d'azione, sia per gli effetti termici che non termici.

La seconda parte si occuperà della normativa riguardante l'esposizione ai campi elettromagnetici.

Si tratterà il procedimento per la misurazione dei campi elettromagnetici, dalle stime del campo che si andrà a misurare che consentiranno di scegliere la strumentazione con le caratteristiche più adatte per effettuare la misura, alla procedura effettiva di misura che dovrà essere effettuata in determinate posizioni e a determinate distanze dalla fonte di emissione.

Si elencheranno i passaggi per la progettazione di schermi di protezione contro le radiazioni elettromagnetiche e gli effetti che i campi elettromagnetici possono avere sui lavoratori portatori di dispositivi medici attivi impiantati, con relativa valutazione del rischio e misure adatte a ridurlo.

La terza parte riporterà i risultati delle misure fatte su di un metal detector industriale all'interno di un'azienda, confrontando i valori ottenuti con i relativi valori limite forniti dalle direttive e norme pertinenti.

La quarta parte tratterà la teoria riguardante la schermatura di campi e onde elettromagnetiche, spiegando i meccanismi principali di schermatura, i loro diversi contributi per campi elettrici e magnetici al variare della frequenza e la distanza dalla fonte di emissione e il metodo per schermare campi magnetici a bassa frequenza.

Si conclude con un'analisi delle misure effettuate con i valori limite relative a possibili interferenze con dispositivi medici attivi e le misure da adottare in caso di superamento di questi limiti, come

l'identificazione e formazione del lavoratori potenzialmente esposti a questi tipi di campo, l'apposizione di segnaletica o l'utilizzo di schermatura adatta ai campi elettromagnetici rilevati.

# **1 Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro 81/08**

Il Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro, Decreto Legislativo del 9 aprile 2008 n. 81, tratta la protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione ai campi elettromagnetici nel capo IV del titolo VIII, e nell'Appendice XXXVI.

Vengono riportati di seguito gli articoli di interesse.

## ***1.1 Articolo 206 - Campo di applicazione***

- 1. Il presente capo determina i requisiti minimi per la protezione dei lavoratori contro i rischi per la salute e la sicurezza derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici (da 0 Hz a 300 GHz), come definiti dall'articolo 207, durante il lavoro. Le disposizioni riguardano la protezione dai rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori dovuti agli effetti biofisici diretti e agli effetti indiretti noti provocati dai campi elettromagnetici.*
- 2. I valori limite di esposizione (VLE) stabiliti nel presente capo riguardano soltanto le relazioni scientificamente accertate tra effetti biofisici diretti a breve termine ed esposizione ai campi elettromagnetici.*
- 3. Il presente capo non riguarda la protezione da eventuali effetti a lungo termine e i rischi risultanti dal contatto con i conduttori in tensione.*

## ***1.2 Articolo 207 – Definizioni***

- a) «campi elettromagnetici», campi elettrici statici, campi magnetici statici e campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici variabili nel tempo con frequenze sino a 300 GHz;*
- b) «effetti biofisici diretti», effetti provocati direttamente nel corpo umano a causa della sua presenza all'interno di un campo elettromagnetico, che comprendono:*
  - 1. effetti termici, quali il riscaldamento dei tessuti a causa dell'assorbimento di energia dai campi elettromagnetici nei tessuti medesimi;*
  - 2. effetti non termici, quali la stimolazione di muscoli, nervi e organi sensoriali. Tali effetti possono essere di detrimento per la salute mentale e fisica dei lavoratori esposti. Inoltre, la stimolazione degli organi sensoriali può comportare sintomi transitori quali vertigini e fosfeni. Inoltre, tali effetti possono generare disturbi temporanei e influenzare le capacità cognitive o altre funzioni cerebrali o muscolari e possono, pertanto, influire negativamente sulla capacità di un lavoratore di operare in modo sicuro;*
  - 3. correnti negli arti;*

- c) «effetti indiretti», effetti provocati dalla presenza di un oggetto in un campo elettromagnetico, che potrebbe essere causa di un pericolo per la salute e sicurezza, quali:
1. interferenza con attrezzature e dispositivi medici elettronici, compresi stimolatori cardiaci e altri impianti o dispositivi medici portati sul corpo;
  2. rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici all'interno di campi magnetici statici;
  3. innesco di dispositivi elettro-esplosivi (detonatori);
  4. incendi ed esplosioni dovuti all'accensione di materiali infiammabili a causa di scintille prodotte da campi indotti, correnti di contatto o scariche elettriche;
  5. correnti di contatto;
- d) «valori limite di esposizione (VLE)», valori stabiliti sulla base di considerazioni biofisiche e biologiche, in particolare sulla base degli effetti diretti acuti e a breve termine scientificamente accertati, ossia gli effetti termici e la stimolazione elettrica dei tessuti;
- e) «VLE relativi agli effetti sanitari», VLE al di sopra dei quali i lavoratori potrebbero essere soggetti a effetti nocivi per la salute, quali il riscaldamento termico o la stimolazione del tessuto nervoso o muscolare;
- f) «VLE relativi agli effetti sensoriali», VLE al di sopra dei quali i lavoratori potrebbero essere soggetti a disturbi transitori delle percezioni sensoriali e a modifiche minori nelle funzioni cerebrali;
- g) «valori di azione (VA)», livelli operativi stabiliti per semplificare il processo di dimostrazione della conformità ai pertinenti VLE e, ove appropriato, per prendere le opportune misure di protezione o prevenzione specificate nel presente capo. Nell'allegato XXXVI, parte II:
1. per i campi elettrici, per «VA inferiori» e «VA superiori» s'intendono i livelli connessi alle specifiche misure di protezione o prevenzione stabilite nel presente capo;
  2. per i campi magnetici, per «VA inferiori» s'intendono i valori connessi ai VLE relativi agli effetti sensoriali e per «VA superiori» i valori connessi ai VLE relativi agli effetti sanitari.

### **1.3 Articolo 208 - Valori limite di esposizione e valori d'azione**

L'articolo 208 riguarda i Valori Limite d'Esposizione e i Valori d'Azione, includendo le condizioni e casi specifici per cui certi limiti possano essere superati.

1. *Le grandezze fisiche relative all'esposizione ai campi elettromagnetici sono indicate nell'allegato XXXVI, parte I. I VLE relativi agli effetti sanitari, i VLE relativi agli effetti sensoriali e i VA sono riportati nell'allegato XXXVI, parti II e III.*
2. *Il datore di lavoro assicura che l'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici non superi i VLE relativi agli effetti sanitari e i VLE relativi agli effetti sensoriali, di cui all'allegato XXXVI, parte II per gli effetti non termici e di cui all'allegato XXVI, parte III per gli effetti termici. Il rispetto dei VLE relativi agli effetti sanitari e dei VLE relativi agli effetti sensoriali deve essere dimostrato ricorrendo alle procedure di valutazione dell'esposizione di cui all'articolo 209. Qualora l'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici superi uno qualsiasi dei VLE, il datore di lavoro adotta misure immediate in conformità dell'articolo 210, comma 7.*
3. *Ai fini del presente capo, si considera che i VLE siano rispettati qualora il datore di lavoro dimostri che i pertinenti VA di cui all'allegato XXXVI, parti II e III, non siano stati superati. Nel caso in cui l'esposizione superi i VA, il datore di lavoro adotta misure in conformità dell'articolo 210, comma 1, salvo che la valutazione effettuata in conformità dell'articolo 209, comma 1, dimostri che non sono superati i pertinenti VLE e che possono essere esclusi rischi per la sicurezza.*
4. *Fermo restando quanto previsto al comma 3, l'esposizione può superare:*
  - a) *i VA inferiori per i campi elettrici di cui all'allegato XXXVI parte II, tabella B1, seconda colonna, ove giustificato dalla pratica o dal processo produttivo, purché siano verificate le seguenti condizioni:*
    1. *non siano superati i VLE relativi agli effetti sanitari di cui all'allegato XXXVI, parte II, tabella A2;*
    2. *siano evitate eccessive scariche elettriche e correnti di contatto di cui all'allegato XXXVI, parte II, tabella B3 attraverso le misure specifiche di protezione di cui all'articolo 210, comma 5;*
    3. *siano state fornite ai lavoratori e ai rappresentanti dei lavoratori per la sicurezza informazioni sulle situazioni di rischio di cui all'articolo 210-bis, comma 1, lettera b);*
  - b) *i VA inferiori per i campi magnetici di cui all'allegato XXXVI, parte II, tabella B2, seconda colonna, ove giustificato dalla pratica o dal processo produttivo, anche a livello della testa e del tronco, durante il turno di lavoro, purché siano verificate le seguenti condizioni:*
    1. *il superamento dei VA inferiori per i campi magnetici di cui all'allegato XXXVI, parte II, tabella B2, e l'eventuale superamento dei VLE per gli effetti sensoriali di cui all'allegato XXXVI, parte II, tabella A3, sia solamente temporaneo in relazione al processo produttivo;*
    2. *non siano superati i VLE relativi agli effetti sanitari di cui all'allegato XXXVI, parte II, tabella A2;*

- 3. siano adottate misure in conformità all'articolo 210, comma 8, in caso di sintomi transitori di cui alla lettera a) del medesimo comma;*
- 4. siano state fornite ai lavoratori e ai rappresentanti dei lavoratori per la sicurezza informazioni sulle situazioni di rischio di cui all'articolo 210-bis, comma 1, lettera b).*
- 5. Fermo restando quanto previsto ai commi 2, 3 e 4, l'esposizione può superare i VLE relativi agli effetti sensoriali di cui all'allegato XXXVI, parte II, tabelle A1 e A3, e parte III, tabella A2, durante il turno di lavoro, ove giustificato dalla pratica o dal processo produttivo, purché siano verificate le seguenti condizioni:*
  - a) il loro superamento sia solamente temporaneo in relazione al processo produttivo;*
  - b) non siano superati i corrispondenti VLE relativi agli effetti sanitari di cui all'allegato XXXVI, parte II, tabelle A1 e A2 e parte III, tabelle A1 e A3;*
  - c) nel caso di superamento dei VLE relativi agli effetti sensoriali di cui all'allegato XXXVI, parte II, tabelle A1, siano state prese misure specifiche di protezione in conformità all'articolo 210, comma 6;*
  - d) siano adottate misure in conformità all'articolo 210, comma 8, in caso di sintomi transitori, di cui alla lettera b) del medesimo comma;*
  - e) siano state fornite ai lavoratori informazioni sulle situazioni di rischio di cui all'articolo 210-bis, comma 1, lettera b).*
- 6. Nei casi di cui ai commi 4 e 5, il datore di lavoro comunica all'organo di vigilanza territorialmente competente il superamento dei valori ivi indicati, mediante una relazione tecnico-protezionistica contenente:*
  - a) le motivazioni per cui ai fini della pratica o del processo produttivo è necessario il superamento temporaneo dei VA inferiori o degli VLE relativi agli effetti sensoriali;*
  - b) il livello di esposizione dei lavoratori e l'entità del superamento;*
  - c) il numero di lavoratori interessati;*
  - d) le tecniche di valutazione utilizzate;*
  - e) le specifiche misure di protezione adottate in conformità all'articolo 210;*
  - f) le azioni adottate in caso di sintomi transitori;*
  - g) le informazioni fornite ai lavoratori e ai rappresentanti dei lavoratori per la sicurezza sulle situazioni di rischio di cui all'articolo 210-bis, comma 1, lettera b);*

## **1.4 Obblighi del datore di lavoro**

Nei seguenti articoli vengono riportati quelli che sono gli obblighi del datore di lavoro, come la valutazione dei rischi e le disposizioni per eliminarli.

### **Articolo 209 - Valutazione dei rischi e identificazione dell'esposizione**

*Nell'ambito della valutazione dei rischi di cui all'articolo 181, il datore di lavoro valuta tutti i rischi per i lavoratori derivanti da campi elettromagnetici sul luogo di lavoro e, quando necessario, misura o calcola i livelli dei campi elettromagnetici ai quali sono esposti i lavoratori. La valutazione, la misurazione e il calcolo devono essere effettuati tenendo anche conto delle guide pratiche della Commissione europea, delle pertinenti norme tecniche europee e del Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI), delle specifiche buone prassi individuate o emanate dalla Commissione consultiva permanente di cui all'articolo 6 del presente decreto, e delle informazioni reperibili presso banche dati dell'INAIL o delle regioni. La valutazione, la misurazione e il calcolo devono essere effettuati, inoltre, tenendo anche conto delle informazioni sull'uso e sulla sicurezza rilasciate dai fabbricanti o dai distributori delle attrezzature, ovvero dei livelli di emissione indicati in conformità alla legislazione europea, ove applicabili alle condizioni di esposizione sul luogo di lavoro o sul luogo di installazione.*

*Nell'ambito della valutazione del rischio di cui all'articolo 181, il datore di lavoro presta particolare attenzione ai seguenti elementi:*

- a. la frequenza, il livello, la durata e il tipo di esposizione, inclusa la distribuzione sul corpo del lavoratore e sul volume del luogo di lavoro;*
- b. i valori limite di esposizione e i valori di azione di cui all'articolo 208;*
- c. effetti biofisici diretti;*
- d. tutti gli effetti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori particolarmente sensibili al rischio; eventuali effetti sulla salute e la sicurezza dei lavoratori esposti a rischi particolari, con particolare riferimento a soggetti portatori di dispositivi medici impiantati, attivi o passivi, o dispositivi medici portati sul corpo e le lavoratrici in stato di gravidanza;*
- e. qualsiasi effetto indiretto di cui all'articolo 207, comma 1, lettera c);*
- f. l'esistenza di attrezzature di lavoro alternative progettate per ridurre i livelli di esposizione ai campi elettromagnetici;*
- g. la disponibilità di azioni di risanamento volte a minimizzare i livelli di esposizione ai campi elettromagnetici;*
- h. informazioni adeguate raccolte nel corso della sorveglianza sanitaria di cui all'articolo 211;*
- i. informazioni fornite dal fabbricante delle attrezzature;*
- l. altre informazioni pertinenti relative a salute e sicurezza;*

*m. sorgenti multiple di esposizione;*

*n. esposizione simultanea a campi di frequenze diverse.*

*Il datore di lavoro precisa, nel documento di valutazione del rischio di cui all'articolo 28, le misure adottate, previste dall'articolo 210.*

#### **Articolo 210 - Disposizioni miranti ad eliminare o a ridurre i rischi**

*1. A seguito della valutazione dei rischi, qualora risulti che i valori di azione di cui all'articolo 208 sono superati, il datore di lavoro, a meno che la valutazione effettuata a norma dell'articolo 209, comma 1, dimostri che i pertinenti valori limite di esposizione 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 valori limite di esposizione relativi agli effetti sensoriali e ai valori limite di esposizione relativi agli effetti sanitari, tenendo conto in particolare:*

*a) di altri metodi di lavoro che implicano una minore esposizione ai campi elettromagnetici;*

*b) della scelta di attrezzature che emettano campi elettromagnetici di intensità inferiore, tenuto conto del lavoro da svolgere;*

*c) delle misure tecniche per ridurre l'emissione dei campi elettromagnetici, incluso se necessario l'uso di dispositivi di sicurezza, schermature o di analoghi meccanismi di protezione della salute;*

*d) degli appropriati programmi di manutenzione delle attrezzature di lavoro, dei luoghi e delle postazioni di lavoro;*

*e) della progettazione e della struttura dei luoghi e delle postazioni di lavoro;*

*f) della limitazione della durata e dell'intensità dell'esposizione;*

*g) della disponibilità di adeguati dispositivi di protezione individuale;*

*h) di misure appropriate al fine di limitare e controllare l'accesso, quali segnali, etichette, segnaletica al suolo e barriere;*

*i) in caso di esposizione a campi elettrici, delle misure e procedure volte a gestire le scariche elettriche e le correnti di contatto mediante mezzi tecnici e mediante la formazione dei lavoratori.*

*2. Sulla base della valutazione dei rischi di cui all'articolo 209, il datore di lavoro elabora e applica un programma d'azione che comprenda misure tecniche e organizzative volte a prevenire qualsiasi rischio per lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio e qualsiasi rischio dovuto a effetti indiretti di cui all'articolo 207.*

*3. Il datore di lavoro, in conformità all'articolo 183, adatta le misure di cui al presente articolo alle esigenze dei lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio e, se del caso, a*

valutazioni individuali dei rischi, in particolare nei confronti dei lavoratori che hanno dichiarato, anche a seguito delle informazioni ricevute ai sensi dell'articolo 210-bis, di essere portatori di dispositivi medici impiantati attivi o passivi, o hanno dichiarato l'uso di dispositivi medici sul corpo o nei confronti delle lavoratrici in stato di gravidanza che hanno informato il datore di lavoro della loro condizione.

### **Articolo 210-bis - Informazione e formazione dei lavoratori e dei rappresentanti dei lavoratori per la sicurezza**

Il datore di lavoro garantisce, inoltre, che i lavoratori che potrebbero essere esposti ai rischi derivanti dai campi elettromagnetici sul luogo di lavoro e i loro rappresentanti ricevano le informazioni e la formazione necessarie in relazione al risultato della valutazione dei rischi con particolare riguardo:

- a. agli eventuali effetti indiretti dell'esposizione;
- b. alla possibilità di sensazioni e sintomi transitori dovuti a effetti sul sistema nervoso centrale o periferico;
- c. 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.;

I Valori Limite di Esposizione e Valori di Azione sia per effetti non termici che termici sono riportati nell'Allegato XXXVI del D. Lgs. 81/08, che si riporta di seguito:

## **1.5 Allegato XXXVI**

### **Parte I - GRANDEZZE FISICHE CONCERNENTI L'ESPOSIZIONE AI CAMPI ELETTROMAGNETICI**

Le seguenti grandezze fisiche sono utilizzate per descrivere l'esposizione ai campi elettromagnetici:

**L'intensità di campo elettrico (E)** è una quantità vettoriale che corrisponde alla forza esercitata su una particella carica indipendentemente dal suo movimento nello spazio. È espressa in volt per metro (V/m). È necessario distinguere il campo elettrico ambientale rispetto al campo elettrico presente all'interno del corpo (in situ) a seguito dell'esposizione al campo elettrico ambientale.

**La corrente attraverso gli arti (I<sub>L</sub>)** è la corrente che attraversa gli arti di una persona esposta a campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenze comprese tra 10 MHz e 110 MHz a seguito del contatto con un oggetto in un campo elettromagnetico o del flusso di correnti capacitive indotte nel corpo esposto. È espressa in ampere (A).

**La corrente di contatto (I<sub>c</sub>)** è una corrente che compare quando una persona entra in contatto con un oggetto conduttore a diverso potenziale elettrico all'interno di un campo elettromagnetico. È

espressa in ampere (A). Una corrente di contatto stabile nel tempo si verifica quando la persona è in contatto continuo con un oggetto all'interno di un campo elettromagnetico. Nel momento in cui si stabilisce tale contatto, può verificarsi una scarica di scintille con correnti transitorie associate.

**La carica elettrica (Q)** è la grandezza impiegata per le scariche elettriche ed è espressa in coulomb (C).

**L'intensità di campo magnetico (H)** è una grandezza vettoriale che, insieme all'induzione magnetica, specifica un campo magnetico in qualunque punto dello spazio. È espressa in ampere per metro (A/m).

**L'induzione magnetica (B)** è una grandezza vettoriale che determina una forza che agisce sulle cariche in movimento. È espressa in tesla (T). Nello spazio libero e nei materiali biologici l'induzione magnetica e l'intensità del campo magnetico sono intercambiabili in base alla seguente equivalenza: intensità di campo magnetico (H) pari a 1 A/m = induzione magnetica (B) pari a  $4\pi \cdot 10^{-7}$  T (circa 1,25 microtesla).

**Densità di potenza (S).** Questa grandezza si impiega nel caso delle frequenze molto alte, per le quali la profondità di penetrazione nel corpo è piccola. Si tratta della potenza radiante incidente perpendicolarmente a una superficie, divisa per l'area della superficie in questione; è espressa in watt per metro quadrato (W/m).

**Assorbimento specifico di energia (SA).** È l'energia assorbita per unità di massa di tessuto biologico e si esprime in joule per chilogrammo (J/kg). Nel presente decreto, questa grandezza è utilizzata per la definizione dei limiti per gli effetti sensoriali derivanti da esposizioni a microonde pulsate.

**Tasso di assorbimento specifico di energia (SAR).** Si tratta del valore mediato, su tutto il corpo o su alcune parti di esso, del tasso di assorbimento di energia per unità di massa di tessuto corporeo, ed è espresso in watt per chilogrammo (W/kg). Il SAR riferito a tutto il corpo (a corpo intero) è una grandezza ampiamente accettata per porre in rapporto gli effetti termici nocivi (sanitari) all'esposizione alle radiofrequenze (RF). Oltre al valore del SAR medio a corpo intero, sono necessari anche valori del SAR locale per valutare e limitare la deposizione eccessiva di energia in parti piccole del corpo conseguenti a particolari condizioni di esposizione, quali ad esempio il caso di un individuo esposto a RF di frequenze di pochi MHz (ad esempio provenienti da riscaldatori dielettrici), e di individui esposti nel campo vicino di un'antenna.

Tra le grandezze sopra citate, possono essere misurate direttamente l'induzione magnetica (B), la corrente di contatto ( $I_c$ ), la corrente attraverso gli arti ( $I_L$ ), l'intensità di campo elettrico (E), l'intensità di campo magnetico (H) e la densità di potenza (S).

## Parte II – EFFETTI NON TERMICI

Valori Limite di Esposizione e Valori di Azione nell'intervallo di frequenze tra 0 Hz E 10 Mhz.

### A. VLE

I VLE per le frequenze inferiori a 1 Hz (tabella 1.1) sono limiti per il campo magnetico statico, la cui misurazione non è influenzata dalla presenza del soggetto esposto.

I VLE per le frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz (tabella 1.2) sono limiti per i campi elettrici indotti all'interno del corpo (in situ) a seguito dell'esposizione a campi elettrici e magnetici variabili nel tempo.

**VLE per un'induzione magnetica esterna ( $B_0$ ) compresa tra 0 e 1 Hz**

	VLE relativi agli effetti sensoriali
Condizioni di lavoro normali	2 T
Esposizione localizzata degli arti	8 T
	VLE relativi agli effetti sanitari
Condizioni di lavoro controllate	8 T

**Tabella n.1.1**

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

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

**Tabella n.1.2**

I VLE relativi agli effetti sensoriali (tabella 1.3) sono correlati agli effetti del campo elettrico interno sul sistema nervoso centrale nella testa, tra cui fosfeni e modifiche minori e transitorie di talune funzioni cerebrali.

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

Gamma di frequenza	VLE relativi agli effetti sensoriali
$1 \text{ Hz} \leq f < 10 \text{ Hz}$	$0,7/f \text{ V/m}$ (picco)
$10 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$	► C1 0,07 V/m (picco) ◀
$25 \text{ Hz} \leq f \leq 400 \text{ Hz}$	$0,0028 f \text{ V/m}$ (picco)

**Tabella n.1.3**

## **B. VA**

*I valori di azione (VA), espressi nelle grandezze fisiche misurabili di seguito riportate, consentono una valutazione semplificata della conformità ai pertinenti VLE. In particolare il rispetto dei VA garantisce il rispetto dei pertinenti VLE, mentre il superamento dei VA medesimi corrisponde all'obbligo di adottare le pertinenti misure di prevenzione e protezione di cui all'articolo 210:*

- *VA (E) inferiori e VA (E) superiori, per i campi elettrici ambientali variabili nel tempo, come indicati nella tabella 1.4;*
- *VA (B) inferiori e VA (B) superiori, per l'induzione magnetica ambientale variabile nel tempo, come indicati nella tabella 1.5;*
- *VA (Ic) per la corrente di contatto, come indicati nella tabella 1.6;*
- *VA (B<sub>0</sub>) per l'induzione magnetica di campi magnetici statici, come indicati nella tabella 1.7.*

*I VA per E e B corrispondono ai valori del campo elettrico e magnetico imperturbati, calcolati o misurati sul posto di lavoro nello spazio occupato dal corpo del lavoratore, in assenza di questi. Il valore di B<sub>0</sub> non è perturbato dalla presenza del soggetto esposto.*

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

Gamma di frequenza	Intensità di campo elettrico	
	LA(E) inferiori [V/m] (RMS)	LA(E) superiori [V/m] (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 n.1.4**

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

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

**Tabella n.1.5**

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

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

**Tabella n.1.6**

**LA per induzione magnetica di campi magnetici statici**

Rischi	LA( $B_0$ )
Interferenza con dispositivi impiantati attivi, ad esempio stimolatori cardiaci	0,5 mT
Rischio di attrazione e propulsivo nel campo periferico di sorgenti ad alta intensità (> 100 mT)	3 mT

**Tabella n.1.7**

### **Parte III – EFFETTI TERMICI**

*Valori Limite di Esposizione e Valori di Azione nell'intervallo di Frequenze Tra 100 KHZ e 300 GHZ*

#### **A. Valori Limite di Esposizione (VLE)**

*I VLE relativi agli effetti sanitari per le frequenze comprese tra 100 kHz e 6 GHz (tabella 1.8) sono riferiti alla potenza (energia per unità di tempo) assorbita per unità di massa di tessuto corporeo, derivante da esposizione a campi elettrici, magnetici, ed elettromagnetici.*

*Il VLE relativo agli effetti sensoriali per le frequenze comprese tra 0,3 e 6 GHz (tabella 1.9) è riferito all'energia assorbita per ogni piccola massa (10 g) di tessuto all'interno della testa, derivante da esposizione a campi elettromagnetici, ed è finalizzato alla prevenzione degli effetti uditivi provocati da esposizioni della testa a microonde pulsate.*

*I VLE relativi agli effetti sanitari per le frequenze superiori a 6 GHz (tabella 1.10) sono riferiti alla densità di potenza di onda elettromagnetica incidente sulla superficie corporea.*

**VLE relativi agli effetti sanitari per esposizione a campi elettromagnetici a frequenze comprese tra 100 kHz e 6 GHz**

VLE relativi agli effetti sanitari	Valori di SAR mediati per ogni periodo di sei minuti [W/kg]
VLE relativo allo stress termico sistemico, espresso come SAR medio a corpo intero	0,4
VLE relativo allo stress termico localizzato nella testa e nel tronco, espresso come SAR locale (nella testa e nel tronco)	10
VLE relativo allo stress termico localizzato, negli arti, espresso come SAR locale (negli arti)	20

**Tabella n.1.8**

**VLE relativo agli effetti sensoriali per esposizione a campi elettromagnetici a frequenze comprese tra 0,3 e 6 GHz**

Intervallo di frequenza	Assorbimento specifico locale di energia nella testa (SA) [mJ/kg]
$0,3 \leq f \leq 6$ GHz	10

**Tabella n.1.9**

**VLE relativo agli effetti sanitari per esposizione a campi elettromagnetici  
di frequenze comprese tra 6 GHz e 300 GHz**

Intervallo di frequenza	Densità di potenza [W/m <sup>2</sup> ]
6 GHz ≤ f ≤ 300 GHz	50

**Tabella n.1.10**

**B. Valori di Azione (VA)**

*I valori di azione (VA), espressi nelle grandezze fisiche misurabili di seguito riportate, consentono una valutazione semplificata della conformità ai pertinenti VLE. In particolare il rispetto dei VA garantisce il rispetto dei pertinenti VLE, mentre il superamento dei VA medesimi corrisponde all'obbligo di adottare le pertinenti misure di prevenzione e protezione di cui all'articolo 210:*

- VA (E) per i campi elettrici ambientali variabili nel tempo, come indicati nella tabella 1.11;
- VA (B) per l'induzione magnetica ambientale variabile nel tempo, come indicati nella tabella 1.11;
- VA (S) per la densità di potenza ambientale come indicati nella tabella 1.11;
- VA (I<sub>c</sub>) per la corrente di contatto, come indicati nella tabella 1.12;
- VA (I<sub>l</sub>) per la corrente attraverso gli arti, come indicati nella tabella 1.12.

**VA per i campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici ambientali a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz**

Intervallo di frequenza	VA (E) per l'intensità del campo elettrico [V/m] (RMS)	VA (B) per l'induzione magnetica [μT] (RMS)	VA (S) per la densità di potenza [W/m <sup>2</sup> ]
100 kHz ≤ f < 1 MHz	6,1 x 10 <sup>2</sup>	2,0 x 10 <sup>6</sup> /f	-
1 ≤ f < 10 MHz	6,1 x 10 <sup>8</sup> /f	2,0 x 10 <sup>6</sup> /f	-
10 ≤ f < 400 MHz	61	0,2	-
400 MHz ≤ f < 2 GHz	3 x 10 <sup>-3</sup> f <sup>1/2</sup>	1,0 x 10 <sup>-5</sup> f <sup>1/2</sup>	-
2 ≤ f < 6 GHz	1,4 x 10 <sup>2</sup>	4,5 x 10 <sup>-1</sup>	-
6 ≤ f ≤ 300 GHz	1,4 x 10 <sup>2</sup>	4,5 x 10 <sup>-1</sup>	50

**Tabella n.1.11**

**VA per le correnti di contatto stazionarie e le correnti indotte attraverso gli arti**

Intervallo di frequenza	VA (I <sub>c</sub> ) per la corrente di contatto stabile nel tempo [mA] (RMS)	VA (I <sub>l</sub> ) per la corrente indotta in qualsiasi arto [mA] (RMS)
100 kHz ≤ f < 10 MHz	40	-
10 MHz ≤ f ≤ 110 MHz	40	100

**Tabella n.1.12**

## **2 Analisi della Normativa riguardante l'esposizione ai campi elettromagnetici**

### **2.1 Caratterizzazione della fonte del campo**

Per scegliere in modo corretto gli strumenti di misura e le loro sonde, prima di procedere con la misura è necessario conoscere cosa si va a misurare, che tipo di campo elettromagnetico viene emesso e le condizioni ambientali in cui verrà effettuata la misurazione.

Prima di eseguire misurazioni, si dovrebbero effettuare stime del livello di emissioni per garantire che le persone non siano esposte all'emissione di radiazioni pericolose senza una protezione adeguata. Questa stima dovrebbe anche prevenire il sovraccarico dell'apparecchiatura di misurazione.

In generale, il sistema di misurazione include un sensore che può essere un'antenna, e un rivelatore associato ad un analizzatore del segnale trasmesso attraverso un connettore schermato o una fibra ottica. Per scegliere correttamente gli strumenti, è richiesta una certa conoscenza preliminare di un dato numero di caratteristiche della radiazione da misurare:

- gamma e valori delle frequenze incluse le armoniche;
- potenza di emissione;
- polarizzazione: orientamento del campo elettrico e magnetico;
- modulazione (valori medi e di picco);
- ciclo di radiazioni a impulsi: frequenza e ampiezza;
- caratteristiche della sorgente: tipo, guadagno, larghezza di banda;
- distanza dalla sorgente;
- presenza di oggetti che possono influire sulla propagazione.

La frequenza delle radiazioni, le dimensioni della sorgente e la distanza tra la sorgente e il punto di esposizione determinano se l'esposizione avviene o meno nel campo vicino o lontano.

[EN 12198-2:2009]

Prima di effettuare le misurazioni del campo elettromagnetico, devono essere effettuate le seguenti identificazioni:

- determinare la posizione delle persone esposte e delle aree accessibili;
- determinare il tempo di esposizione (solo per l'alta frequenza);
- fare una valutazione approssimativa dell'esposizione per evitare una sovraesposizione della persona che esegue la misurazione;
- selezionare il sistema di misura adeguato in base alle caratteristiche della sorgente di campo EM in questione;

- verificare il corretto funzionamento della sonda e dell'apparecchiatura di misura.

[EN 50413:2019]

## **2.2 Caratteristiche dello strumento di misura**

Una volta conclusa l'analisi preliminare del campo che si vuole misurare, si può procedere alla scelta dello strumento di misura, che dovrà quindi avere determinate caratteristiche.

Durante la selezione dell'apparecchiatura di misurazione ci sono infatti fattori da tenere in considerazione.

La larghezza di banda e l'intervallo di misurazione dello strumento devono essere adeguati alla frequenza del campo elettromagnetico misurato.

La presenza del sensore o del rivelatore non dovrebbe alterare significativamente le caratteristiche della radiazione/campo e il collegamento tra il sensore e l'analizzatore non dovrebbe disturbare significativamente il campo da misurare.

La risposta in frequenza del rivelatore dovrebbe coprire la gamma di frequenze presente e non essere influenzata dalla luce o da altre frequenze al di fuori della banda dichiarata.

[EN 12198-2:2009]

### **Specifiche della strumentazione**

Le specifiche dello strumento che devono essere fornite e/o soddisfatte sono riportate di seguito.

#### **-Incertezza di misura**

L'incertezza di misura dello strumento di misurazione deve essere specificata dal produttore dello strumento. L'incertezza deve essere specificata come incertezza di misura estesa, utilizzando un fattore di copertura 2. L'incertezza deve contenere tutte le componenti rilevanti quando lo strumento è utilizzato in un campo quasi uniforme.

#### **-Intervallo di magnitudo**

L'intervallo di magnitudo su cui lo strumento opera entro l'incertezza specificata deve essere chiaramente indicato.

#### **-Banda passante**

Gli strumenti di misura a banda larga nella gamma AC hanno sempre una frequenza di taglio inferiore e una superiore, che definiscono una banda passante. Normalmente i limiti della banda passante sono definiti dal punto meno 3 dB della risposta in frequenza.

L'incertezza di misura di uno strumento dovuta alle tolleranze di fabbricazione è normalmente maggiore ai limiti di banda rispetto alle medie frequenze. Pertanto l'incertezza di misura di uno strumento è spesso specificata anche, e a volte solo, in una gamma di frequenza ristretta.

### **-Intervalli di temperatura e umidità operativa**

Gli intervalli di temperatura e umidità relativa in cui lo strumento opera entro l'incertezza specificata devono essere rispettivamente di almeno -10 °C - 45 °C e 5 % - 95 %. Improvvise variazioni di temperatura che possono provocare condensa nello strumento andrebbero evitate.

### **-Dimensioni dello strumento e scelta della sonda**

Le sonde devono essere a tre assi.

[EN 61786-1:2014]

Di seguito vengono riportate delle specifiche riguardanti alcune dimensioni dei misuratori di campi elettrici e magnetici.

#### **Misuratore di campi magnetici**

Ogni qualvolta scorre corrente elettrica, sono generati campi magnetici attorno al conduttore. I campi magnetici sono misurati utilizzando sensori in forma di anello o di bobina presentati perpendicolarmente al campo magnetico. Si possono utilizzare anche sonde con effetto Hall e magnetometri a nucleo saturabile. [EN 12198-2:2009]

Le dimensioni della sonda devono essere adeguate alla variazione spaziale del campo misurato. La sonda deve avere un'area di 0,01 m<sup>2</sup> o inferiore. Con le sonde a tre assi, i tre sensori possono essere concentrici o, se i sensori non sono più grandi di 0,05 m, devono essere il più vicino possibile. La dimensione massima dello spazio in cui si trovano i tre sensori combinati non deve superare gli 0,2 m. [EN 61786-1:2014]

#### **Misuratore di campi elettrici**

I campi elettrici sono presenti ovunque esiste una differenza di potenziale elettrico. La misurazione è effettuata utilizzando uno strumento autonomo - un misuratore a corpo libero - il cui rivelatore costituisce parte integrante del sensore in forma di due semisfere o di due piastre opposte collegate da un amperometro. [EN 12198-2:2009]

Le dimensioni dei misuratori di campo elettrico devono essere indicate nella documentazione del produttore in base al tipo di misuratore: per un misuratore a corpo libero le dimensioni massime della sonda del volume contenente la sonda non devono essere superiori a 0,2 m;

[EN 61786-1:2014]

## **2.3 Calibrazione e taratura dello strumento di misura**

Il misuratore di campo deve essere calibrato per le misurazioni da effettuare.

Inoltre, i sistemi di misura devono essere sottoposti a taratura per tutta la loro durata di vita. Tutte le calibrazioni devono essere riconducibili a standard nazionali e internazionali attraverso una catena ininterrotta di calibrazioni, tutte con incertezze dichiarate.

La calibrazione deve essere eseguita a intervalli regolari. L'intervallo iniziale dovrebbe essere di dodici mesi. Questo intervallo può essere modificato in base alla deriva della risposta del misuratore di campo tra una calibrazione e l'altra e in base alle condizioni di utilizzo.

[EN 61786-1:2014]

## **2.4 Procedura di misura**

Una volta selezionato lo strumento di misura si può procedere alla misurazione e conseguente valutazione del rischio.

Per i rischi correlati alla emissione di radiazioni da una macchina, la procedura di valutazione del rischio e di riduzione del rischio che deve essere eseguita dal fabbricante consiste in:

- una valutazione dei rischi dovuti alla emissione di tutti i tipi di radiazioni;
- applicazione di misure appropriate per l'eliminazione o la riduzione delle emissioni di radiazioni al fine di soddisfare i requisiti sulle emissioni;
- verifica della conformità ai requisiti della presente norma.

### **Condizioni operative**

Durante la misurazione, le condizioni operative specificate devono essere rappresentative dell'emissione di radiazioni massima durante l'utilizzo previsto del macchinario. Si possono utilizzare condizioni operative simulate e/o semplificate a condizione che la documentazione del fabbricante abbia specificato che queste condizioni siano rappresentative delle massime emissioni di radiazioni.

### **Punti di misurazione**

A volte la posizione di esposizione è ben definita, ma spesso può essere necessario determinare la posizione in cui si verificherà la massima esposizione. Questo può essere ottenuto sia con un'indagine preliminare delle aree circostanti una sorgente sia attraverso la creazione di una matrice di misurazione spaziale 2D/3D. Una volta individuata la posizione di massima esposizione, è necessario effettuare misurazioni dettagliate. [EN 50413:2019]

- Requisiti per la classificazione

I punti sufficienti (per numero e posizione) devono essere specificati come punti di misurazione al fine di caratterizzare adeguatamente i campi di radiazione attorno alla macchina (e in particolare quelli in cui gli operatori o altre persone possono essere esposti). Le condizioni da rispettare sono le seguenti:

- a) la misurazione deve essere effettuata alla distanza di 25 cm dalla superficie della macchina;
- b) se la posizione della massima emissione di radiazioni è a una distanza dalla superficie accessibile maggiore rispetto alla distanza di 25 cm, la misurazione deve essere effettuata nel punto in cui si verifica l'emissione massima;
- c) se ci sono aperture nell'alloggiamento in cui gli operatori possono inserire parti del loro corpo, le misurazioni devono essere effettuate all'interno della zona accessibile;
- d) se gli operatori devono vedere nell'alloggiamento attraverso finestre o dispositivi ottici installati, si devono effettuare misurazioni dell'intensità delle radiazioni in corrispondenza della posizione degli occhi.

- Requisiti aggiuntivi

Se pertinente, si devono effettuare misurazioni aggiuntive nei punti seguenti:

- 1) in corrispondenza delle posizioni di lavoro dell'operatore o delle posizioni in cui le persone possono trovarsi nel campo di radiazione attorno alla macchina;
- 2) in corrispondenza dei punti in cui si possono verificare fughe di radiazioni (per esempio penetrazioni attraverso schermi, giunti, ecc.), all'interno di coperchi rimossi per la manutenzione e in corrispondenza delle aperture di servizio specificate in una norma di tipo "C" o;
- 3) sulla superficie dell'alloggiamento della macchina;

oppure,

- alla distanza di approccio più prossima del rivelatore in conseguenza del suo grande volume sensibile o di un dispositivo di separazione integrato;
- in corrispondenza della posizione di una o più linee di uguale densità di flusso.

Tutti i punti di misurazione devono essere specificati in modo da essere identificati in modo univoco.

[EN 12198-2:2009]

La procedura di misura dipende dal tipo di campo e dalla sua alimentazione, per cui caratteristiche diverse possono necessitare di approcci e strumenti differenti, illustrati qui di seguito:

### **Campo magnetico CA**

Per determinare i livelli medi di esposizione, il campo deve essere misurato a diverse altezze e posizioni, tenendo conto della posizione del corpo umano, e i risultati devono essere mediati. [EN 50413:2019]

Nello sviluppo di un metodo e di un protocollo di misurazione, le seguenti sorgenti di campi magnetici e i seguenti elementi devono essere presi in considerazione:

- le fonti elettriche che servono l'impianto;
- tipi e ubicazione dei trasformatori;

- ubicazione dei cavi principali e degli interruttori automatici;
- entità delle tensioni di alimentazione e dei periodi di picco di utilizzo dell'energia;
- frequenze (compresi gli 0 Hz) degli alimentatori e dei dispositivi elettrici;
- posizione delle persone rispetto alle sorgenti di campo note;
- posizione della misurazione rispetto al corpo umano, ad esempio testa, tronco, ecc;
- presenza di motori e generatori;
- presenza di piccoli riscaldatori;
- presenza di bobine a nucleo d'aria utilizzate nei reattori di compensazione a nucleo d'aria e nelle bobine di filtro
- sistemi e connessioni di messa a terra.

Il protocollo di misura deve specificare le distanze di misurazione tra il punto di misura e le sorgenti (o le pareti o le recinzioni o le superfici).

[EN 61786-2:2019]

### **Campo magnetico CC**

La differenza principale tra la misurazione dei campi magnetici CA e CC è l'influenza del campo geomagnetico. Il campo geomagnetico deve essere misurato all'inizio e alla fine delle misurazioni, su ciascun lato del cavo. Poiché il campo geomagnetico e il campo CC emesso dai cavi sono vettori, non è possibile sottrarre semplicemente la componente del campo geomagnetico. Il campo magnetico misurato deve essere riportato così com'è e anche la componente del campo geomagnetico deve essere riportata. [EN 50413:2019]

### **Campo elettrico AC**

Le misure del campo elettrico non perturbato devono essere effettuate con strumenti a tre assi e devono essere del campo elettrico risultante e la sonda deve essere montata su un treppiede isolato. Durante le misurazioni del campo elettrico, occorre prestare particolare attenzione a evitare gli effetti di prossimità dell'osservatore e di altre persone che possono trovarsi nelle vicinanze della sonda di campo. Possono verificarsi perturbazioni significative del campo, in grado di introdurre errori inaccettabili nella misura. Deve essere rispettata una distanza minima di 2 m tra l'operatore e la sonda. I campi elettrici sono molto facilmente perturbati dalla presenza di oggetti conduttivi, anche se si tratta di conduttori elettrici scadenti. Tutti gli oggetti mobili dovrebbero essere rimossi quando possibile. In caso contrario, la distanza tra la sonda e l'oggetto deve essere pari ad almeno tre volte l'altezza dell'oggetto (oggetto non permanente) o a 1 m (oggetto permanente), se possibile. Gli oggetti che non possono essere rimossi devono essere elencati, indicando le loro dimensioni e la loro posizione.

Le misure del campo elettrico possono essere errate se l'umidità relativa è superiore al 70%.

[EN 61786-2:2014]

### Campo ad alta frequenza

Un campo elettromagnetico incidente ad alta frequenza, la cui lunghezza d'onda è inferiore alle dimensioni dell'oggetto, può indurre correnti superficiali su oggetti metallici, che possono provocare un'onda di diffusione.

È necessaria una distanza minima della sonda dagli oggetti metallici. Sebbene questa distanza sia solitamente paragonabile a diversi diametri della sonda, è difficile generalizzare il requisito. La documentazione della sonda deve pertanto includere la distanza minima dalla sorgente o da eventuali oggetti metallici, che può dipendere dalla frequenza e dalle dimensioni della sonda.

La presenza di un corpo umano può influenzare il campo elettrico o magnetico misurato. Si devono evitare gli effetti di prossimità dell'osservatore e di altre persone che possono trovarsi nelle vicinanze della sonda. Se è necessario evitare ciò, la persona che esegue la misurazione e chiunque altro devono essere sufficientemente lontani dal misuratore e dal sistema di misura e la sonda deve essere posizionata su un supporto non conduttivo o sostenuta da un'asta non conduttiva.

[EN 50413:2019]

La norma EN 50499:2019 fornisce degli schemi con le diverse procedure di misurazione.

Di seguito sono riportati i diagrammi di flusso con i processi di valutazione per gli effetti non termici.

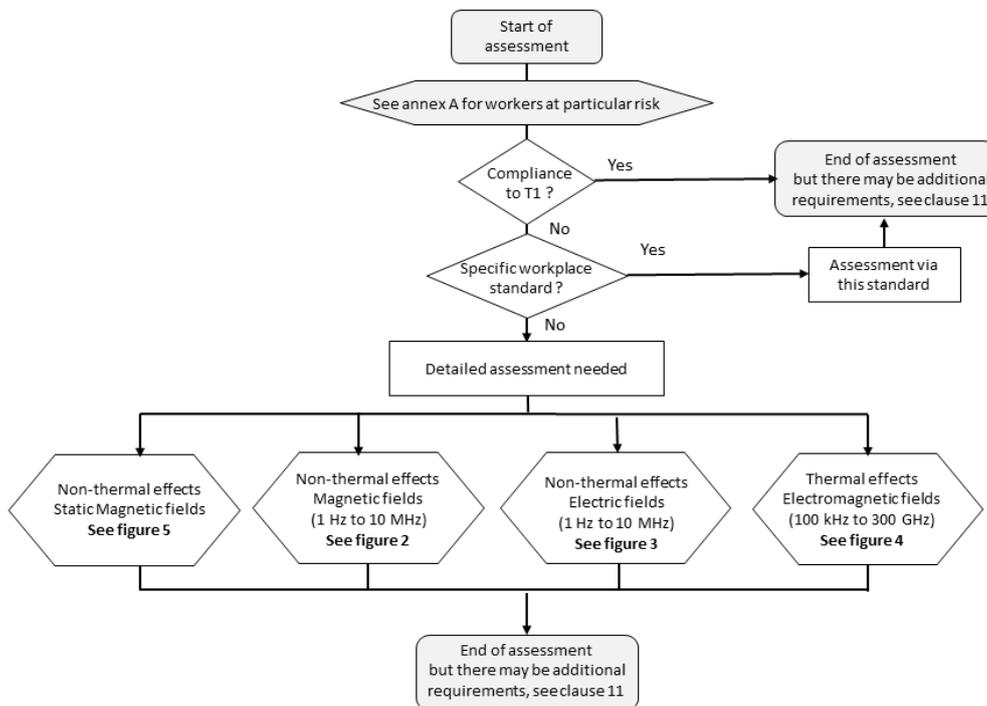


Figura n.2.1

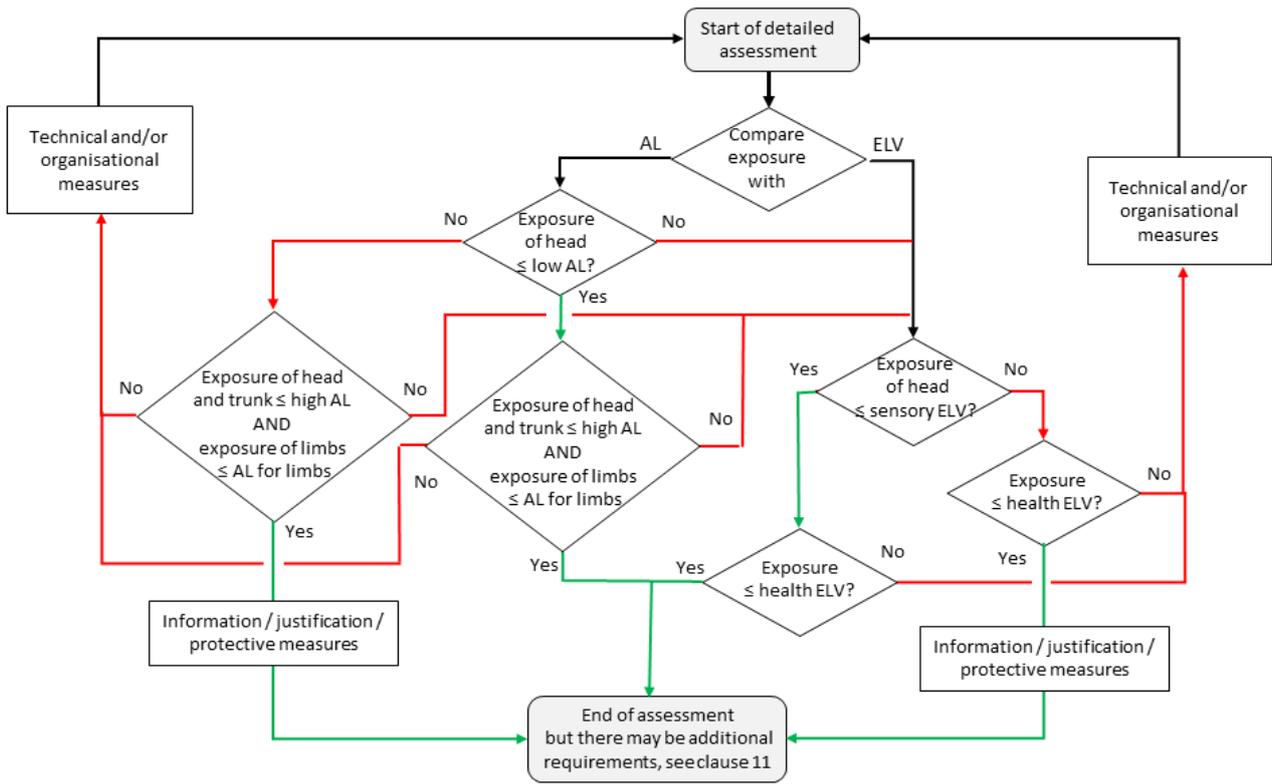


Figura n.2.2

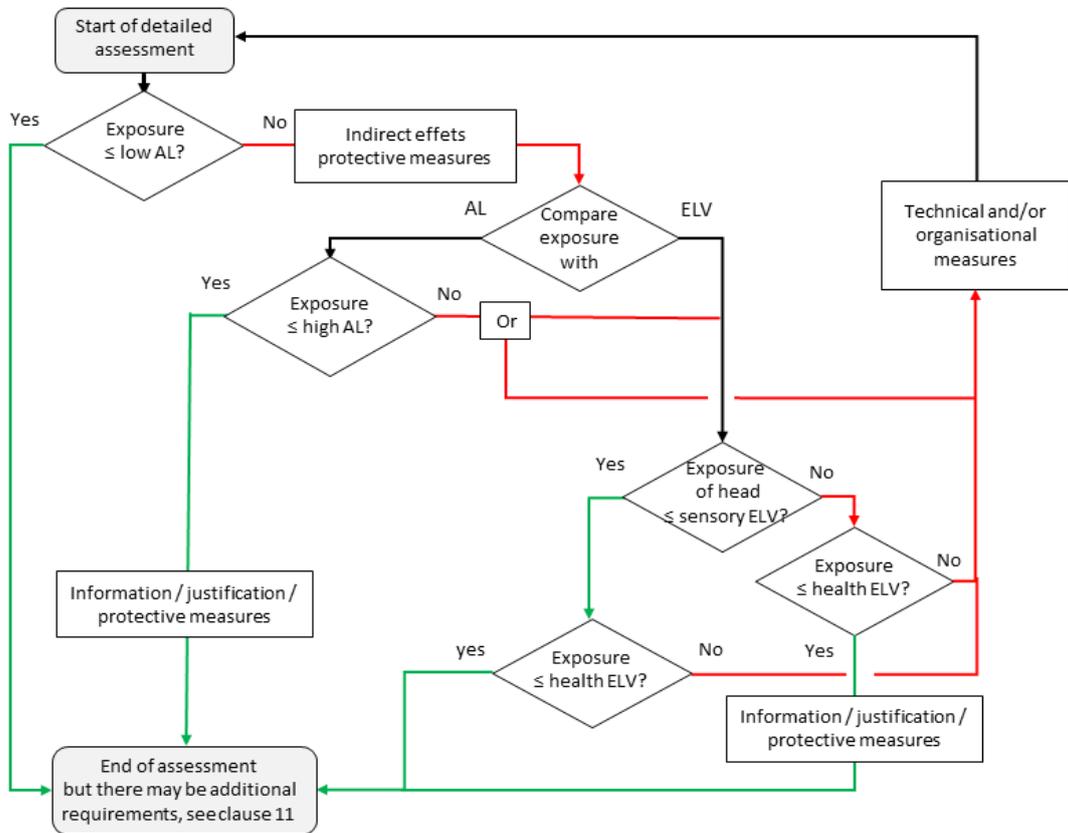
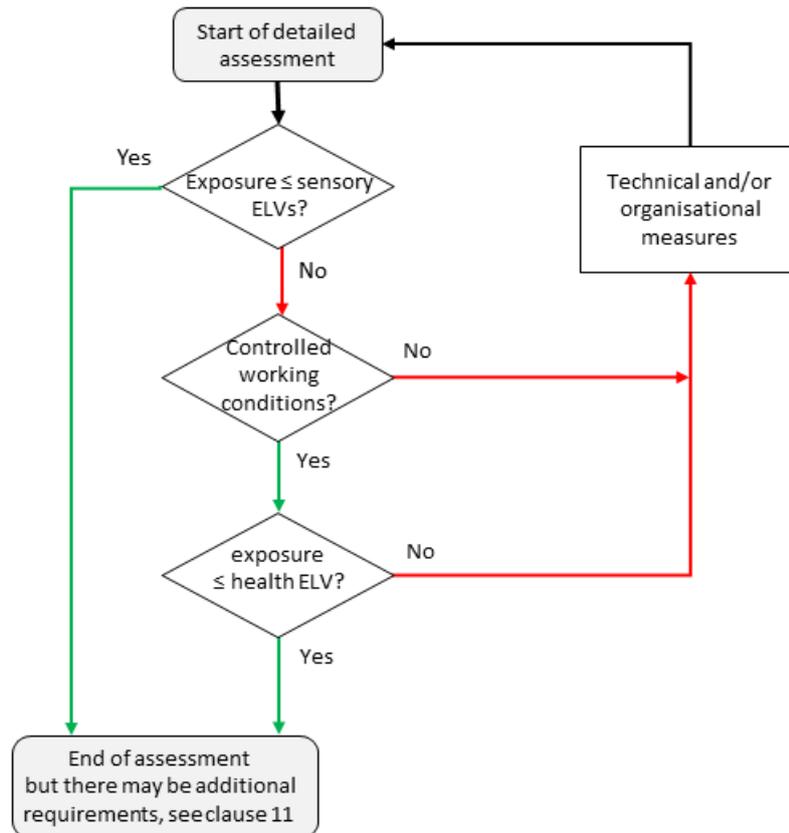


Figura n.2.3



**Figura n.2.4**

[EN 50499:2019]

### **Procedura per la valutazione del rischio**

La procedura per la valutazione del rischio è composta dai seguenti passi:

- Identificazione delle emissioni di radiazioni (sorgenti, tipo di radiazioni, livello approssimativo di emissione ecc.).
- La misurazione o la previsione dettagliata dei livelli di emissione deve essere effettuata in tutti i punti in cui le persone possono essere esposte durante il normale utilizzo.
- Identificazione delle emissioni più elevate di ogni tipo di radiazione durante tutte le fasi d'uso della macchina. Deve inoltre essere considerato il prevedibile uso scorretto durante queste fasi.

Si valuta poi la categoria della macchina usando le tabelle 2.2 e 2.3.

Se la categoria della macchina non è 0, devono essere effettuati i passi seguenti:

- Valutazione delle possibili situazioni di esposizione durante l'utilizzo previsto della macchina [persone esposte (adulti, bambini, persone informate, non informate, ecc.), durate e frequenza dell'esposizione, distanza dalla sorgente, prevista o meno, emissione di radiazioni previste o meno, ecc.].

- Valutazione se la categoria di emissione di radiazioni assegnata per le fasi di funzionamento, messa a punto e pulizia relative all'utilizzo della macchina è accettabile per le situazioni di esposizione valutate.
- Identificazione di pericoli secondari (disturbi a stimolatori cardiaci e ad altre apparecchiature elettriche impiantate)

### **Classificazione delle macchine in base ai livelli di emissione di radiazioni**

In funzione del livello di emissione di radiazioni, il fabbricante deve assegnare alla macchina una categoria di emissione di radiazioni. In conformità alla Tabella 3.1, sono considerate tre categorie.

**Classificazione delle macchine in base ai livelli di emissione di radiazioni**

Categoria	Restrizioni e misure di protezione	Informazioni e addestramento
0	Nessuna restrizione	Nessuna informazione necessaria
1	Restrizioni: possono essere necessarie la limitazione dell'accesso e misure di protezione	Informazioni su pericoli, rischi ed effetti secondari
2	Restrizioni speciali e misure di protezione sono essenziali	Informazioni su pericoli, rischi ed effetti secondari; l'addestramento può essere necessario

**Tabella n.2.1**

### **Onde e campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (fino a 300 GHz)**

La densità del flusso di potenza della radiazione a radiofrequenza o l'intensità di campo di campi elettrici e/o magnetici deve essere misurata a una distanza di 0,25 m dalla superficie accessibile della macchina.

Il tempo di mediazione per la misurazione deve essere:

- 6 min per frequenze maggiori di 100 kHz;
- 1 s per frequenze minori di 100 kHz.

Se le quantità di campo misurate non superano i valori riportati nella tabella 2.2, la categoria di emissione di radiazioni è 0.

Se le quantità di campo misurate sono comprese fra i valori riportati nelle Tabelle 2.2 e 2.3, la categoria di emissione di radiazioni della macchina è 1.

Se i valori di campo misurati superano i valori specificati nella tabella 2.3, la categoria di emissione di radiazioni della macchina è 2.

**Quantità per la definizione di categorie (categoria 0)**

Range di frequenza	Intensità di Campo E [V/m]	Intensità di Campo H [A/m]	Campo B [ $\mu$ T]
da 1 a 8 Hz	10000	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$
da 8 a 25 Hz	10000	$4000 / f$	$5000 / f$
da 0,025 kHz a 0,8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$
da 0,8 kHz a 3 kHz	$250 / f$	5	6,25
da 3 kHz a 150 kHz	87	5	6,25
da 0,15 MHz a 1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$

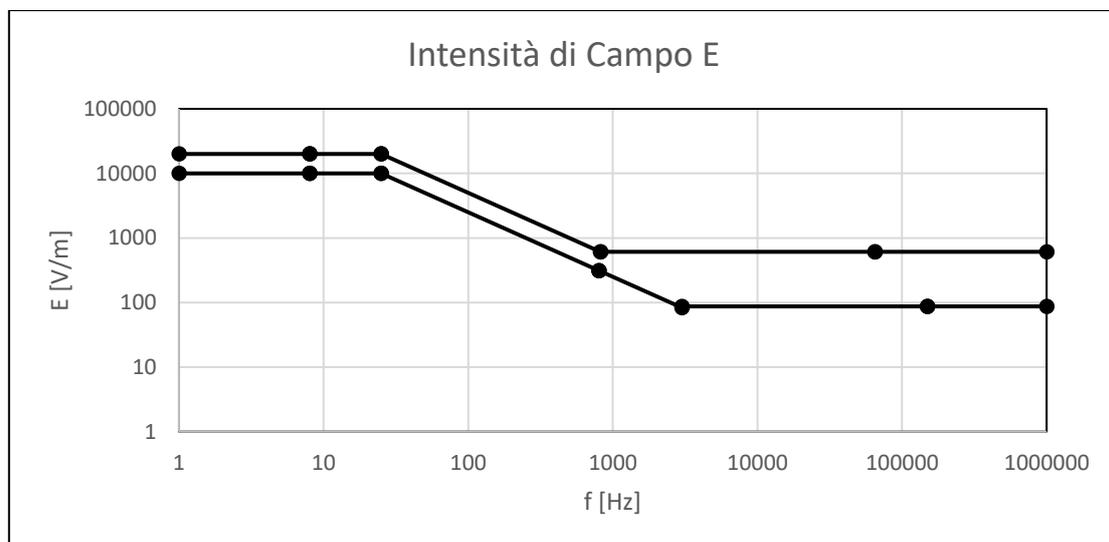
**Tabella n.2.2**

**Quantità per la definizione di categorie (categoria 1)**

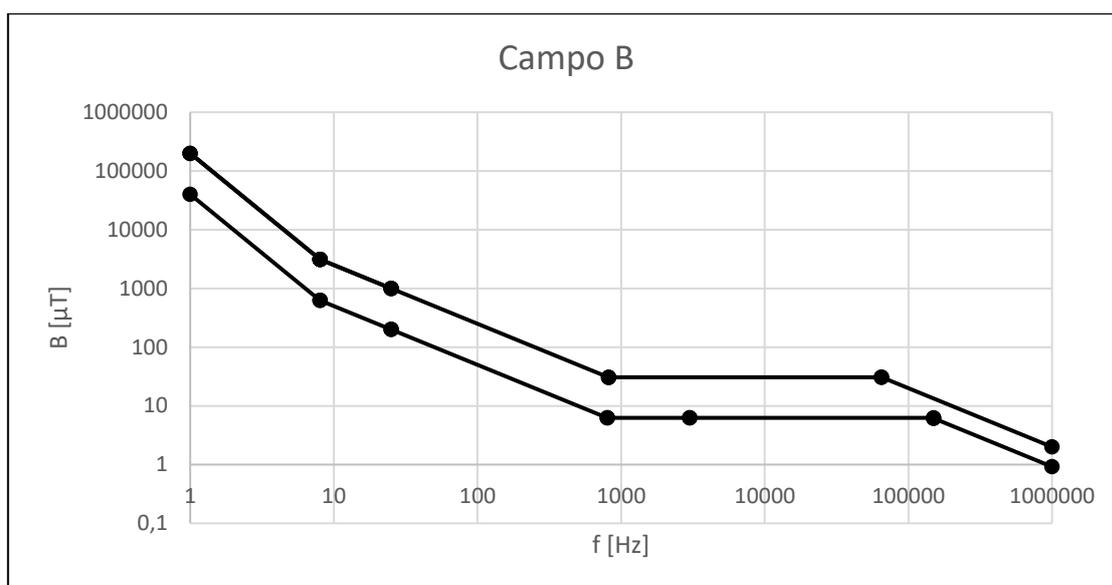
Range di frequenza	Intensità di Campo E [V/m]	Intensità di Campo H [A/m]	Campo B [ $\mu$ T]
da 1 a 8 Hz	20000	$1,63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$
da 8 a 25 Hz	20000	$2 \times 10^4 / f$	$2,5 \times 10^4 / f$
da 0,025 kHz a 0,82 kHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$
da 0,82 kHz a 65 kHz	610	24,4	30,7
da 0,065 MHz a 1 MHz	610	$1,6 / f$	$2,0 / f$

**Tabella n.2.3**

Nei seguenti grafici vengono riportati i limiti di campo elettrico e induzione magnetica delle due precedenti tabelle.



**Figura n.2.5**



**Figura n.2.6**

### **Misure di protezione per l'eliminazione o la riduzione dei rischi dovuti all'emissione di radiazioni**

I requisiti seguenti devono essere soddisfatti congiuntamente.

- Nell'area di lavorazione, l'emissione di radiazioni funzionale deve essere stabilita al livello più basso sufficiente per il funzionamento corretto della macchina durante le diverse fasi del suo utilizzo.
- Nelle altre aree, l'emissione di radiazioni indesiderata deve essere eliminata o ridotta ad una proporzione tale che gli effetti a carico delle persone esposte siano nulli oppure limitati a proporzioni non pericolose.

Riguardo a questi requisiti, il fabbricante deve adottare le misure di protezione appropriate. Se non sono sufficienti e in funzione della categoria di emissione di radiazioni assegnata alla macchina, può rivelarsi necessario che l'utilizzatore della macchina adotti misure di protezione supplementari. Il fabbricante deve fornire le informazioni necessari agli utilizzatori della macchina.

#### **Categoria 0**

Non sono necessarie misure speciali di protezione.

#### **Categoria 1**

Il fabbricante deve specificare, nelle informazioni per l'utilizzo, le misure di protezione appropriate che devono essere prese, considerando le caratteristiche tecniche della macchina e le informazioni sui livelli di emissione di radiazioni rimanenti in diverse aree attorno alla macchina.

## **Categoria 2**

Le misure di protezione sono necessarie. L'individuazione di quali misure di protezione siano necessarie dipende dal livello di emissione, da come è impiegata la macchina e da altri fattori. Devono essere fornite informazioni sui pericoli, sui rischi e sugli effetti secondari. L'addestramento può essere necessario.

### **Scelta delle misure appropriate**

Nella selezione dei metodi più appropriati, si deve tenere conto dello stato dell'arte.

Nella selezione dei metodi più appropriati per la riduzione delle radiazioni, il fabbricante deve prendere misure per ridurre le emissioni di radiazioni il più vicino possibile alla sorgente delle emissioni stesse.

Il fabbricante deve applicare le seguenti misure, nell'ordine indicato (per quanto possibile):

- eliminare o impedire i rischi di esposizione mediante la progettazione;
- ridurre i rischi, se non si può ottenerne l'eliminazione, nell'ordine seguente:
- riduzione della emissione (riduzione della potenza irradiata),
- riduzione mediante schermatura o altri mezzi tecnici,
- riduzione dell'esposizione mediante la separazione fra l'unità di lavorazione e di funzionamento e l'unità di controllo;
- informare gli utilizzatori dei rischi residui e dichiarare ogni misura supplementare necessaria.

[EN 12198-1:2009]

## **2.5 Incertezza di misura**

L'incertezza di misura dello strumento di misurazione deve essere specificata dal produttore dello strumento. L'incertezza deve essere specificata come incertezza di misura estesa, utilizzando un fattore di copertura 2. L'incertezza è valida dopo l'applicazione dei fattori di correzione disponibili. L'incertezza deve contenere tutte le componenti rilevanti quando lo strumento è utilizzato in un campo quasi uniforme. [EN 61786-1:2014]

Occorre prestare particolare attenzione alla logica e ai requisiti speciali dei limiti utilizzati per la valutazione della conformità. L'incertezza della misura deve essere specificata.

Incetezza di tipo A

- incetezza di calibrazione;
- ripetibilità della misura;
- riproducibilità della misura;

Incetezza di tipo B

- fattore di correzione;

- effetti di mediazione delle sonde a bobina durante le misure in campo non uniforme;
- errori di posizionamento della sonda in campi non uniformi;
- risposta in frequenza o limitazioni della banda passante (scelta del filtro);
- costante di tempo di misura dello strumento;
- deriva metrologica;
- risoluzione;
- temperatura;
- vicinanza a oggetti o ostacoli;
- umidità (solo per il campo elettrico);
- isteresi della scala in modalità automatica.

L'incertezza standard combinata  $u_c$  si ottiene come radice quadrata della somma delle varianze. L'incertezza estesa (totale)  $u_e$  sarà pari a  $k$  volte l'incertezza standard combinata, dove  $k$  è il fattore di copertura. Il fattore di copertura sarà pari a 2 che, per distribuzioni gaussiane normali, corrisponderà a un intervallo di confidenza del 95 % circa.

$$u_e = 2u_c$$

[EN 50413:2019]

I seguenti fattori possono influire sull'incertezza di misura:

### **Limitazioni della banda passante**

Una banda passante limitata può contribuire all'incertezza di misura e portare a differenze nei risultati di misura.

### **La temperatura**

L'influenza della temperatura sul funzionamento del misuratore di campo è un'altra possibile fonte di incertezza. Se si prevedono differenze estreme di temperatura in un sito di misurazione, rispetto alla temperatura al momento della calibrazione, gli effetti della temperatura ambientale devono essere noti o caratterizzati.

### **Umidità**

L'effetto dell'umidità è trascurabile sulla misurazione del campo magnetico.

L'umidità può influire sui misuratori di campo elettrico. L'effetto dell'umidità è trascurabile sulla misura del campo elettrico quando l'umidità è inferiore al 70%.

### **Effetto di prossimità dell'osservatore (per il campo elettrico)**

L'effetto di prossimità di un osservatore è trascurabile se la distanza tra l'osservatore e la sonda di campo elettrico è superiore a 2 metri.

[EN 61786-2:2014]

## 2.6 Riduzione delle radiazioni tramite schermatura o attenuazione

### Termini e definizioni

- schermo (definizione generale): Componente progettato per ridurre, selezionare o assorbire le radiazioni. Il componente può avere lo scopo di proteggere dalle radiazioni o di filtrare radiazioni particolari.
- schermo di protezione: Schermo utilizzato per proteggere dalle radiazioni persone e/o apparecchiature.
- schermo selettivo: Schermo utilizzato per filtrare le radiazioni, selezionandone il tipo o l'energia.
- schermo ombra: Schermo disposto in modo da non racchiudere completamente la sorgente delle radiazioni ma da impedire la propagazione delle radiazioni in determinate direzioni.

### Procedura di riduzione dei livelli delle radiazioni mediante la progettazione dello schermo

I fabbricanti devono tenere in considerazione il rischio derivante dalle radiazioni in fase di progettazione della macchina. Ciò si può ottenere assegnando i livelli massimi desiderati delle emissioni di radiazioni funzionali e delle emissioni di radiazioni indesiderabili. Vanno anche considerate le possibili alterazioni delle emissioni di radiazioni causate da variazioni nelle condizioni operative ambientali o nei cicli di funzionamento della macchina.

Di seguito sono elencati i passaggi per la procedura di progettazione dello schermo:

- 1) Specificare l'obiettivo di progettazione definendo un livello di emissione di radiazioni da non superare, il più basso possibile.
- 2) Caratterizzare tutte le sorgenti di radiazioni: si prendono in considerazione il numero delle sorgenti, le loro caratteristiche di costruzione come la geometria e le dimensioni, prestando attenzione quando la stessa sorgente emette tipi diversi di radiazione.
- 3) Definire le direzioni previste, l'intensità dei campi di radiazione e l'accesso all'area irradiata: le dimensioni del campo devono essere il più ridotte possibili e la distanza che attraversa minimizzata e quando possibile il campo deve essere chiuso per impedire l'accesso involontario a livelli di radiazioni sopra il livello dell'obiettivo di radiazione.
- 4) Rivedere i materiali di attenuazione o schermatura disponibili: per i materiali vanno considerate diverse proprietà, come l'assorbimento, l'attenuazione, la composizione chimica, la durabilità, la conducibilità elettrica e termica e se i componenti sono mobili o fissi.
- 5) Valutare le condizioni ambientali e i loro effetti sulla sorgente e sugli schermi.

- 6) Prendere decisioni di progettazione: vanno considerati l'ubicazione della sorgente e la sua installazione, la permeabilità dei punti di fissaggio dello schermo e l'interblocco tra la sorgente ed un eventuale riparo.
- 7) Fabbricare un prototipo: misurando le radiazioni dei prototipi o mediante calcolo teorico.
- 8) Effettuare misurazioni in conformità alla EN 12198-2 e al punto 6 della EN 12198-1.
- 9) Confrontare con i livelli desiderati definiti nella fase 1.
- 10) Se necessario, modificare la progettazione e ripetere le fasi da 6 a 10.
- 11) Preparare la documentazione per gli utilizzatori.

[EN 12198-3:2008]

## 2.7 Lavoratori portatori di dispositivi medici impiantati

### Effetti dei campi elettromagnetici sul corpo umano

Tutti gli effetti conosciuti dovuti a campi elettrici e magnetici variabili nel tempo sono dovuti all'induzione di campi e correnti all'interno dell'organismo esposto. Mentre il campo elettrico come fonte principale genera correnti superficiali al corpo, il campo magnetico provoca la circolazione di correnti all'interno del corpo stesso interessando parti molto più delicate.

L'induzione di campi e correnti elettriche all'interno del corpo umano dà quindi luogo a due effetti biologici, entrambi potenziali cause di effetti sanitari, quelli connessi alla stimolazione elettrica dei tessuti muscolari e nervosi, e gli effetti termici connessi al riscaldamento per effetto Joule.

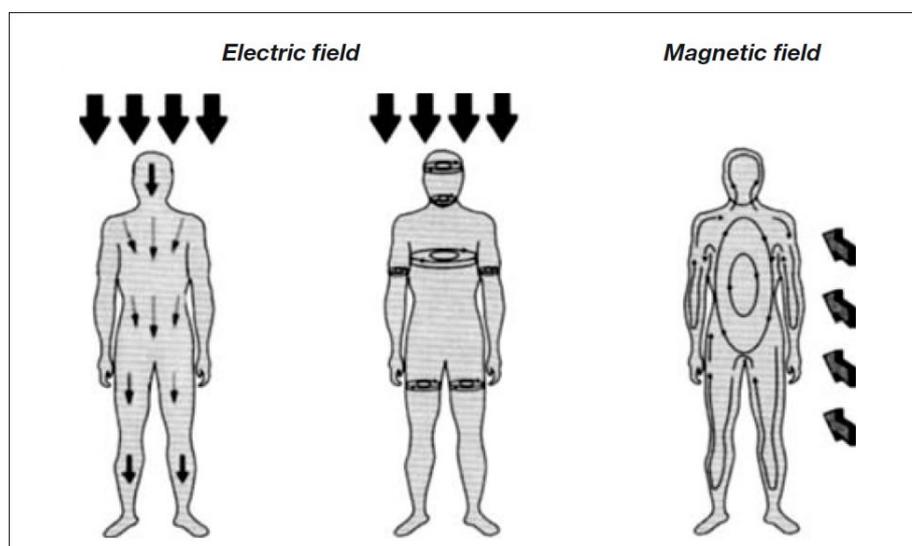


Figura n.2.7

## **Effetti indiretti sui lavoratori con dispositivi medici**

Se sul luogo di lavoro sono presenti lavoratori con dispositivi medici attivi indossati o impiantati nel corpo o con impianti metallici passivi, il datore di lavoro deve considerare il rischio specifico derivante dall'effetto dei campi elettrici e magnetici sul luogo di lavoro su tali dispositivi o impianti. I possibili rischi per i lavoratori con dispositivi medici attivi sono effetti sul funzionamento del dispositivo, ma anche riscaldamento o attrazione, a seconda della frequenza del campo. I rischi per gli impianti metallici passivi derivano dal riscaldamento o dall'attrazione dell'impianto e/o dall'aumento locale dell'intensità del campo elettrico indotto. Inoltre, per gli impianti ferromagnetici, possono verificarsi movimenti dell'impianto e danni ai tessuti in caso di campi statici e a bassa frequenza. Il datore di lavoro deve considerare se eventuali restrizioni all'accesso a particolari processi o luoghi di lavoro per questi lavoratori. [EN 50499:2019]

## **Termini e definizioni**

### **- Distanza di interferenza**

Distanza identificata per un'apparecchiatura, al di fuori della quale un dipendente AIMD può lavorare normalmente.

### **- Dispositivo medico impiantabile attivo (AIMD)**

Dispositivo medico attivo destinato a essere introdotto totalmente o parzialmente, per via chirurgica o medica, nel corpo umano o per intervento medico in un orifizio naturale, e destinato a rimanere anche dopo la procedura.

### **- Esposizione transitoria**

Esposizione a campi elettromagnetici dell'ordine di secondi che:

- non è continua, cioè termina o si riduce a livelli non influenti;
- non danneggia l'AIMD;
- porti solo a una risposta accettabile dell'AIMD sulla base del parere del medico responsabile (ad esempio, una guida generale o una specifica) e/o descritta nella documentazione che accompagna l'AIMD.

## **Avvertenze specifiche**

Tutti i dipendenti dell'AIMD ricevono dal proprio medico responsabile avvertimenti generali per evitare situazioni in cui si possono verificare rischio di interferenze, come ad esempio non utilizzare telefoni cellulari a una distanza inferiore a quella specificata dall'AIMD e non utilizzare

apparecchiature a motore nelle immediate vicinanze dell'impianto. Tali avvertenze non sono considerate avvertenze specifiche, ma devono comunque essere seguite.

### **Attrezzature del luogo di lavoro**

Questa valutazione dei rischi controlla sia i campi presenti sul luogo di lavoro che superano questi livelli sia per i dipendenti AIMD che, per motivi clinici, sono soggetti a un'immunità ridotta della loro AIMD.

La valutazione dei rischi prosegue con la verifica delle attrezzature presenti sul luogo di lavoro. Le apparecchiature elencate nella Tabella 1 della norma EN 50527-2:2016 possono essere ritenute in grado di produrre campi che non superano i livelli di riferimento per il pubblico generale della Raccomandazione del Consiglio 1999/519/CE.

Tra le apparecchiature incluse nella tabella ci sono:

- Equipaggiamento per illuminazione;
- Computer, tablet, equipaggiamento IT, apparecchiature ITE compresa la comunicazione wireless e attrezzature per ufficio;
- Telefoni cellulari, smartphone e telefoni cordless;
- Radio ricetrasmittenti;
- Strumenti elettrici portatili, strumenti trasportabili e strumenti di riscaldamento portatili;
- Piccoli caricabatterie per uso domestico, apparecchi elettrici da giardino, apparecchiature audio e video, apparecchiature elettriche per il riscaldamento degli ambienti e tutto l'equipaggiamento non elettrico;
- Elettrodomestici;
- Tutte le apparecchiature che producono campi magnetici statici purchè non producano una densità di flusso magnetico statico  $B > 1 \text{ mT}$ , questo limite vale anche per i campi "quasi statici" da 0 Hz a 1 Hz.

Se sono presenti apparecchiature che non sono elencate nella tabella o non sono utilizzate come specificato nelle osservazioni della tabella, si deve presumere che i livelli di campo elettrico, magnetico o elettromagnetico possano essere troppo elevati per garantire un comportamento non influenzato dall'AIMD. In questo caso deve essere eseguita una valutazione specifica.

Se il dipendente AIMD è esposto a campi magnetici statici con densità di flusso  $> 1 \text{ mT}$ , alcuni tipi di AIMD, come pacemaker, ICD, neurostimolatori, ecc. possono rispondere al campo passando a un comportamento clinicamente accettabile per una breve esposizione.

Non è consigliabile, tuttavia, che il lavoratore sia esposto a tali campi per lunghi periodi di tempo (ad esempio, per diversi secondi), in quanto potrebbero verificarsi risposte inaccettabili o cambiamenti

nelle prestazioni previste dell'AIMD. Il limite di 1mT si applica anche ai campi magnetici "quasi statici" nell'intervallo di frequenza da 0 Hz a 1 Hz.

### **Valutazione della situazione di esposizione**

L'intensità massima del campo continuo e transitorio sul luogo di lavoro deve essere nota o determinata e devono essere raccolte informazioni sull'intensità di campo di picco, sulla modulazione, ecc.

I risultati delle misurazioni R.M.S. semplici non sono sufficienti per le sorgenti di campo non sinusoidali. Le misurazioni dei picchi ponderati possono richiedere ulteriori considerazioni aggiuntive sui valori di picco.

La determinazione può essere effettuata con una o più delle seguenti opzioni:

- misurazione;
- calcolo;
- informazioni fornite dal fornitore dell'apparecchiatura.

Le misurazioni devono seguire uno standard appropriato, come la norma EN 50413 o lo standard di prodotto o di misura applicabile.

### **Valutazione del rischio**

L'interferenza dei campi elettromagnetici con un dispositivo medico impiantato è identificata come un effetto indiretto che causa un particolare rischio nell'ambito dell'articolo 4.5 della direttiva 2013/35/UE e dell'articolo 209 del Testo Unico sulla Sicurezza 81/08.

I dipendenti di AIMD devono essere istruiti su come trattare tali apparecchiature in modo sicuro. Generalmente questo significa che i dipendenti AIMD devono essere informati sulle distanze o zone di interferenza di tali apparecchiature. Se le informazioni sulla sicurezza non sono riportate in un cartello sul sito, è possibile richiederle al proprietario dell'apparecchiatura.

Tuttavia, è responsabilità del datore di lavoro che i dipendenti AIMD abbiano le giuste informazioni su ogni luogo di lavoro che visitano.

[EN 50527-1:2016]

### 3 Misura in sito

La misura è stata effettuata all'interno di un'azienda, su di un metal detector industriale montato attorno ad un nastro trasportatore, atto alla rilevazione di piccoli oggetti metallici estranei.

Il macchinario è stato acceso e quindi testato nella modalità in cui si trovava.

Dopo aver cercato i punti di massima emissione, due serie misure sono state effettuate seguendo la norma UNI EN 12198-1:2009 ad una distanza di 25 cm dal corpo esterno in due posizioni: a lato del pannello di controllo della macchina e al di sopra del nastro trasportatore; mentre seguendo la norma UNI EN 12198-2:2009 è stata effettuata una serie di misure nello spazio tra il metal detector e il nastro trasportatore ad una distanza inferiore a 25 cm, in quanto accessibile con un braccio dall'operatore.

Durante l'operazione la temperatura era di 23°C e l'umidità era del 48%.

La strumentazione rispetta i requisiti richiesti dalla normativa.

Gli strumenti utilizzati sono i seguenti:



**Figura n.3.1**

**Figura n.5.1: PMM 8053B con sonda EP 745**

Sistema di misura di campi elettromagnetici con sonda per campi elettrici a tre assi.

Range: 100 MHz – 7 GHz

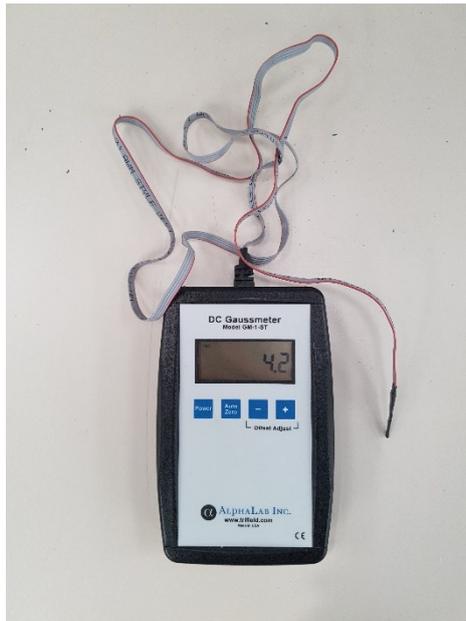


**Figura n.3.2**

**Figura n.5.2: EHP50G**

Sonda e analizzatore di campi elettrici e magnetici a tre assi.

Range: 1 Hz – 400 kHz



**Figura n.3.3**

**Figura n.5.3: GM 1-ST**

Gaussimetro monoassiale per campi magnetici continui.

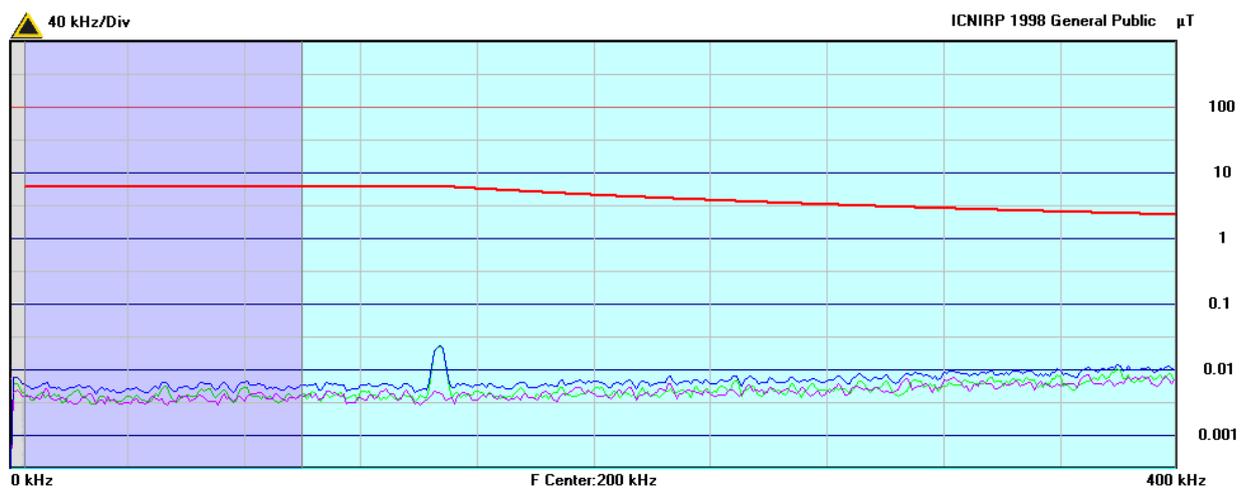
**3.1 Risultati delle misure**

**Misure della sonda EHP-50G**

Campo magnetico in posizione 1:

Frequenza dominante: 147,5 kHz

Campo magnetico B = 0,023  $\mu$ T

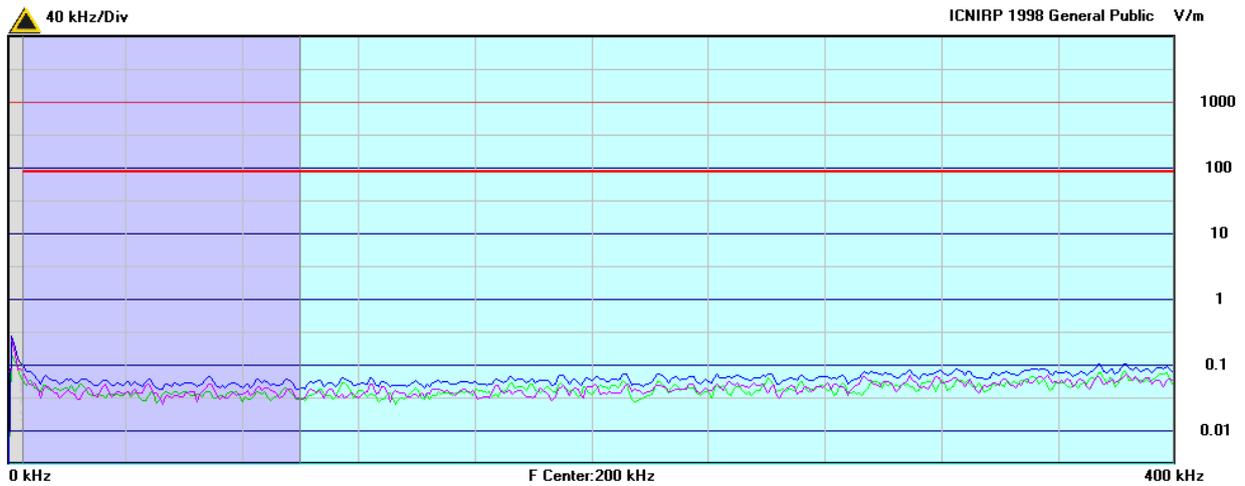


**Figura n.3.4**

Campo elettrico in posizione 1:

Frequenza dominante: 383,8 kHz

Campo elettrico E = 0,11 V/m

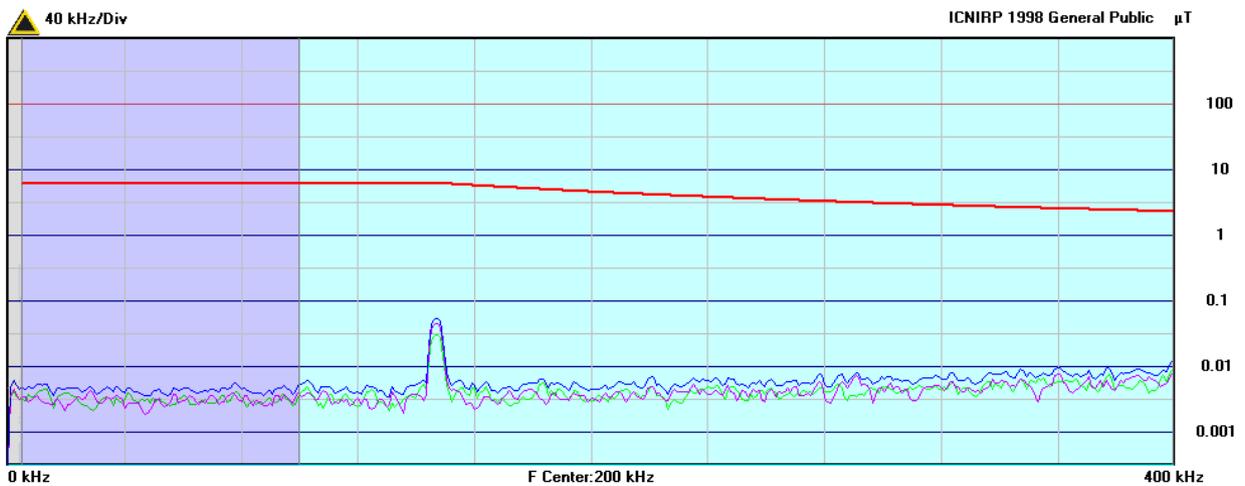


**Figura n.3.5**

Campo magnetico in posizione 2:

Frequenza dominante: 147,5 kHz

Campo magnetico B = 0,055  $\mu$ T

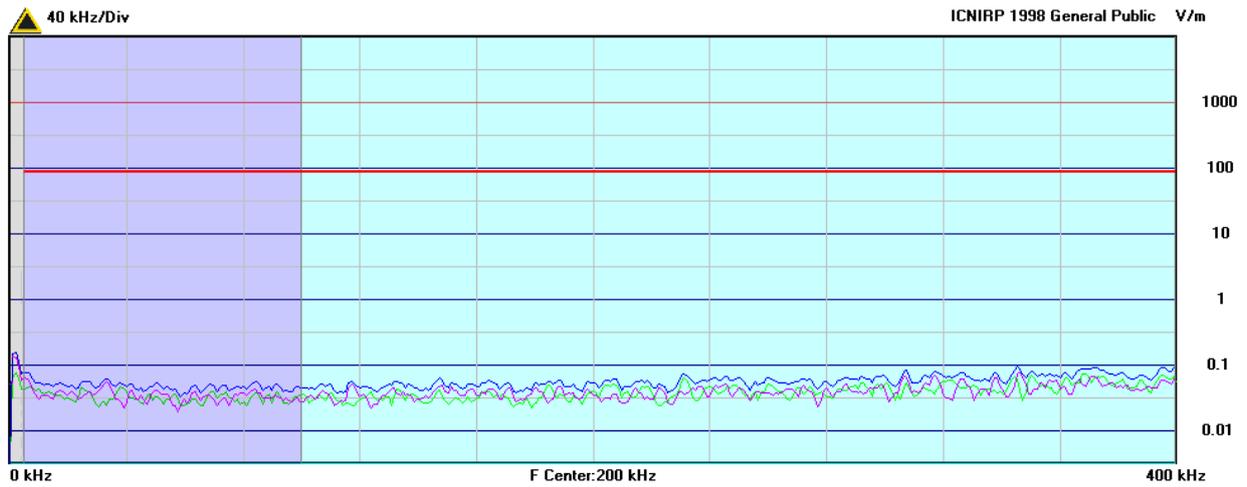


**Figura n.3.6**

Campo elettrico in posizione 2:

Frequenza dominante: 345,7 kHz

Campo elettrico E = 0,097 V/m

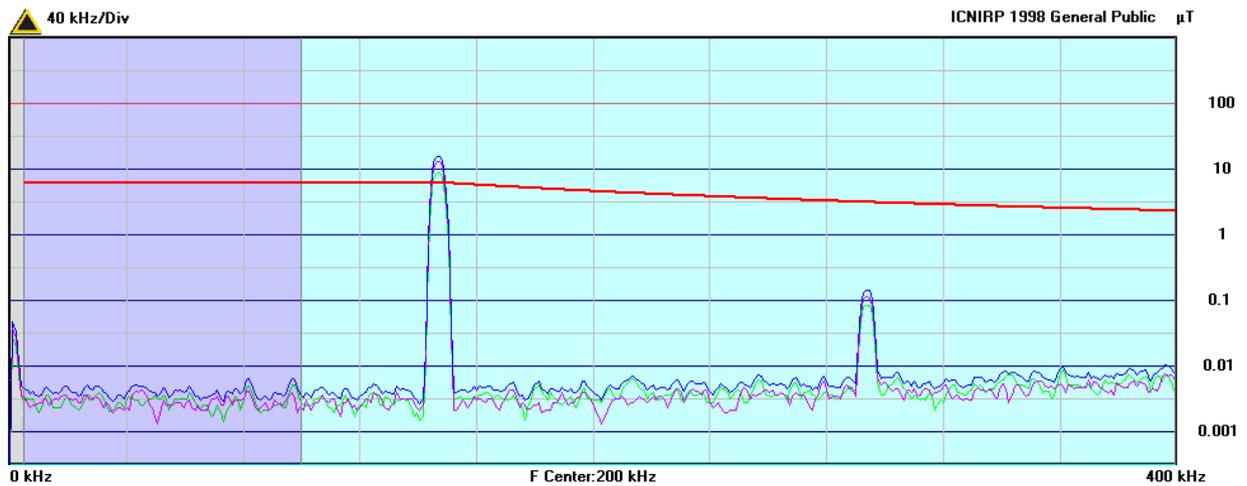


**Figura n.3.7**

Campo magnetico in posizione 3 (interna):

Frequenza dominante: 147,5 kHz

Campo magnetico  $B = 15,59 \mu\text{T}$

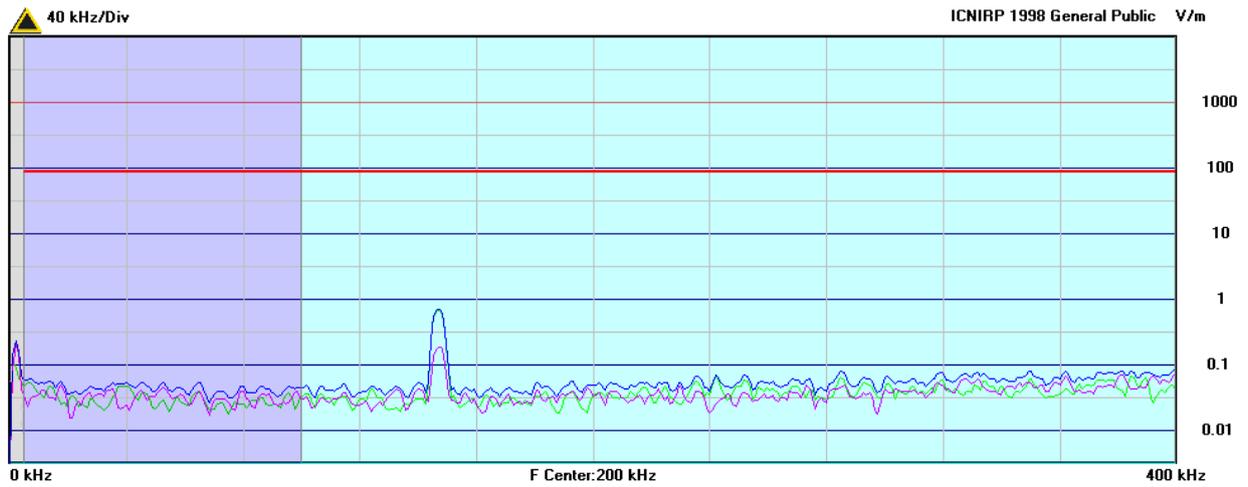


**Figura n.3.8**

Campo elettrico in posizione 3 (interna):

Frequenza dominante: 147,5 kHz

Campo elettrico  $E = 0,70 \text{ V/m}$

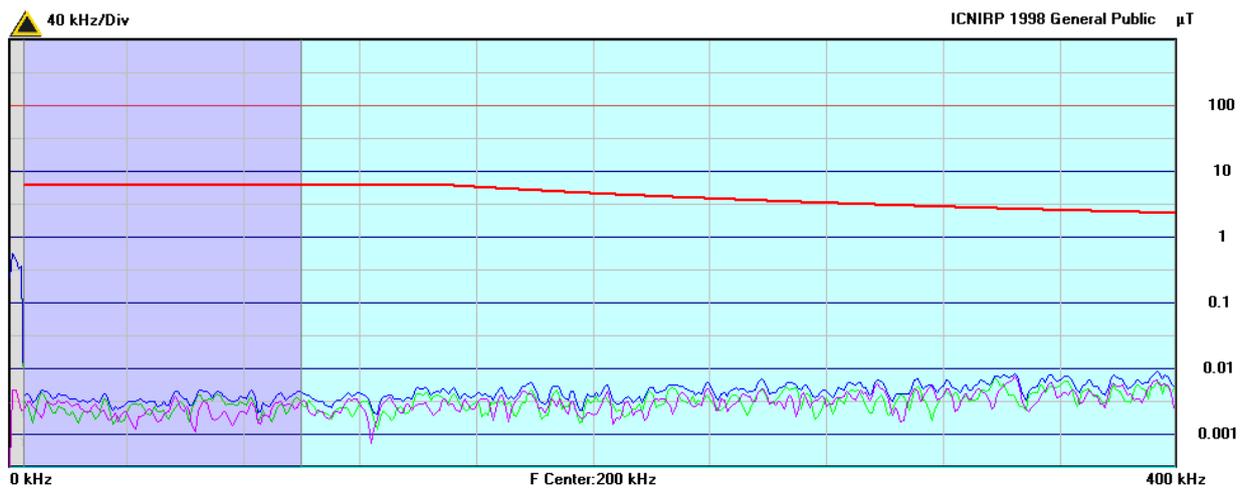


**Figura n.3.9**

Campo magnetico di fondo:

Frequenza dominante: 178,7 kHz

Campo magnetico  $B = 0,0062 \mu\text{T}$

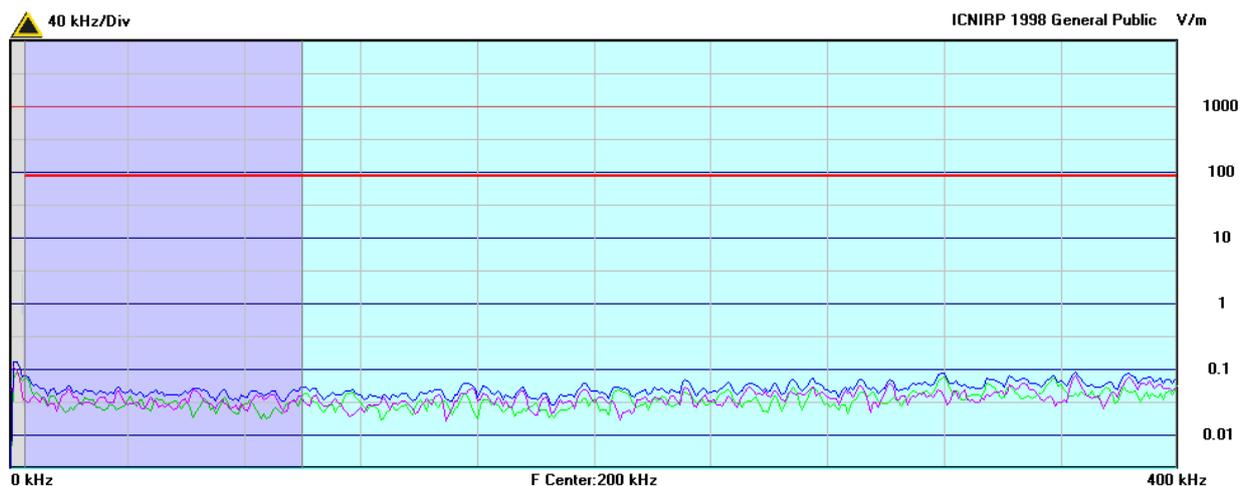


**Figura n.3.10**

Campo elettrico di fondo:

Frequenza dominante: 319,34 kHz

Campo elettrico  $E = 0,087 \text{ V/m}$



**Figura n.3.11**

**Misure della sonda EP 745:**

	Posizione 1 E [V/m]	Posizione 2 E [V/m]	Posizione 3 E [V/m]	Rumore di fondo E [V/m]
Max	0,63	0,7	4,12	0,82
Min	0,47	0,39	0,42	0,44
RMS	0,54	0,53	3,33	0,46

**Tabella n.3.1**

**Misure del Gaussimetro:**

	Campo magnetico B [G]	Campo magnetico B [mT]
max x	4,9	0,49
max y	4,9	0,49
max z	4,9	0,49

**Tabella n.3.2**

**3.1.1 Confronto misure con valori limite**

**Misure nelle posizioni 1 e 2**

Le misure effettuate nelle posizioni 1 e 2, seguendo la direttiva 12198-1:2009, hanno valori entro i limiti delle direttive e norme considerate.

**Misure nella zona accessibile dall'operatore con un braccio**

Considerando le misure del campo elettrico, sia a 147 kHz che nel range 100 kHz ÷ 7 GHz, si è ampiamente al di sotto dei limiti riportati nel Testo Unico di Sicurezza sia per gli effetti non termici che per quelli termici e sotto ai limiti per la categoria 0 della norma EN 12198-1:2009.

Per quanto riguarda i valori del picco del campo magnetico a 147 kHz, mentre il limite riportato nel Testo Unico di Sicurezza per gli effetti non termici viene rispettato, il livello d'azione per gli effetti termici viene superato, che equivale al limite della categoria 1 della norma EN 12198-1:2009, il quale però fa riferimento a valori misurati ad una distanza di 25 cm.

	Valore misurato B [ $\mu$ T]	Valore limite B [ $\mu$ T]	V <sub>mis</sub> /V <sub>lim</sub>
Direttiva 2013/35/UE Effetti non termici: LA per esposizione arti	15,59	300	5,20%
Direttiva 2013/35/UE Effetti termici: LA	15,59	13,56	115%
EN 12198-1:2009 Categoria 0	15,59	6,25	249,44%
EN 12198-1:2009 Categoria 1	15,59	13,6	114,63%

**Tabella n.3.3**

Con il superamento del livello d'azione per gli effetti termici, sarà compito ell datore di lavoro adottare le misure elencate nel Titolo VIII, Capo IV, Articolo 210 del Testo Unico 81/08 tra cui anche la limitazione della durata dell'esposizione, che in questo caso può essere rispettata in quanto l'accesso con il braccio non fa parte del normale processo lavorativo ma avviene in casi sporadici durante il funzionamento del metal detector e del nastro trasportatore. In ogni caso sarà prerogativa del datore di lavoro assicurarsi che gli operatori che hanno accesso al macchinario vengano istruiti in modo da rispettare queste misure di sicurezza.

### **Misure del campo magnetico continuo**

Le misure effettuate con il gaussimetro del campo magnetico continuo hanno valori di 0,49 mT.

Considerando il certificato di taratura N° 1671/21, l'incertezza di misura dello strumento, espressa come due volte lo scarto tipo corrispondente ad un livello di confidenza del 95%, è di  $\pm 0,52\%$  del valore letto, mentre la precisione dello strumento è di  $\pm 1\%$ .

Combinando i loro due contributi di incertezza, utilizzando un fattore di copertura 2, si ottiene un'incertezza totale di 1,13%.

Si arriva quindi ad un valore massimo di 0,496 mT, inferiore al limite di 0,5 mT dato dal Testo Unico 81/08, relativo al rischio d'interferenza con dispositivi impiantati attivi, come stimolatori cardiaci.

Non è quindi necessario in questo caso adottare ulteriori misure a protezione di lavoratori con dispositivi medici impiantati attivi.

## 4 Schermatura elettromagnetica

Uno schermo è una copertura metallica che avvolge completamente o solo in parte un dispositivo elettronico. Ha la duplice funzione di schermare l'apparato che racchiude dalle interferenze esterne che lo colpiscono ed evitare che emetta disturbi verso l'esterno.

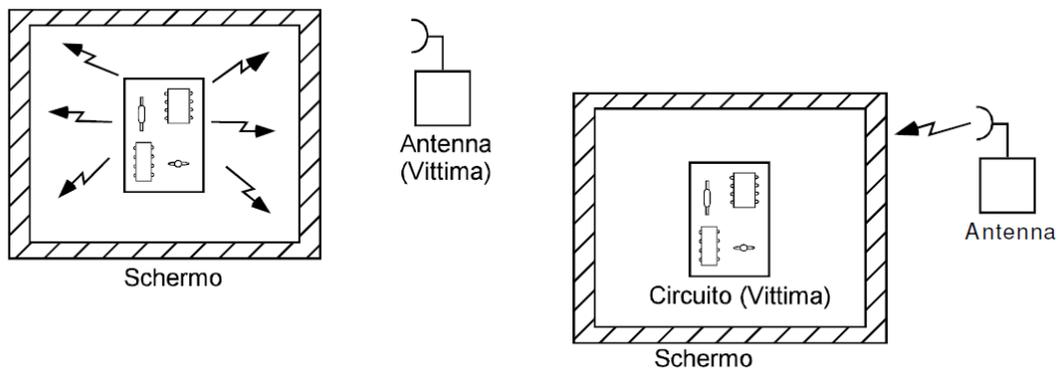


Figura n.4.1

### 4.1 Meccanismi di schermatura

La riduzione del campo elettromagnetico a seguito dell'attraversamento di una barriera è il contributo di diversi fenomeni. Consideriamo il seguente diagramma:

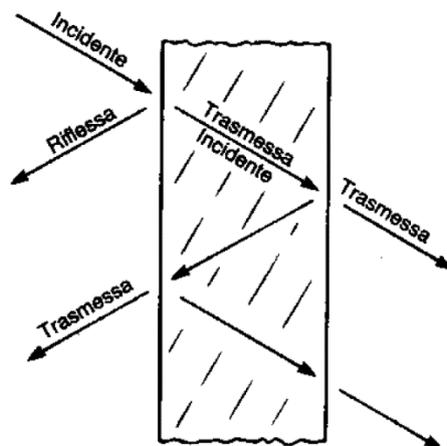


Figura n.4.2

L'onda incidente sull'interfaccia subisce i fenomeni di riflessione e trasmissione, dipendenti dal coefficiente di riflessione  $\rho$  e il coefficiente di trasmissione  $\tau$  della superficie.

Si avrà quindi una perdita per riflessione dovuta al fatto che una frazione del campo incidente non oltrepassi la barriera, una perdita per assorbimento dovuta al mezzo conduttivo non perfetto, infine una perdita per riflessioni multiple dovuta alla propagazione dell'onda riflessa all'interno della barriera.

La somma di questi tre termini equivale all'efficacia di schermatura:

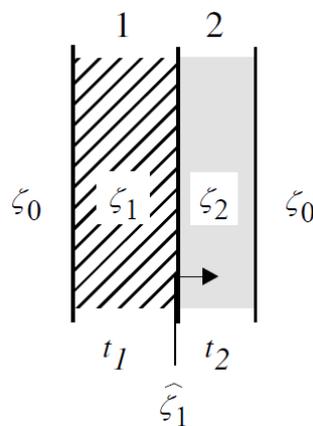
$$SE_{dB} = R_{dB} + A_{dB} + M_{dB}$$

Mentre le perdite per riflessione e assorbimento sono sempre positive, la perdita per riflessioni multiple è un termine negativo in quanto producono campi che si sommano al campo iniziale trasmesso attraverso l'interfaccia.

Le perdite per riflessione sono importanti a bassa frequenza sia per materiali ferrosi che non ferrosi. Ad alta frequenza i materiali ferrosi presentano una perdita per assorbimento maggiore e quindi una SE globalmente migliore.

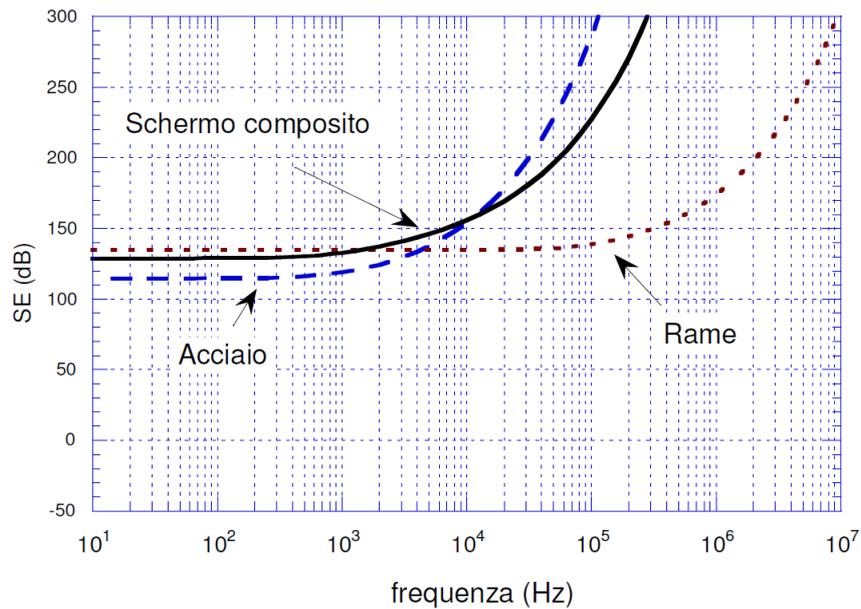
### Confronto tra schermo singolo e schermo composito

Consideriamo uno schermo composito formato da due materiali diversi.



**Figura n.4.3**

In figura n.4.4 viene riportato il confronto tra uno schermo composito formato da uno strato di 0,25 mm d'acciaio e di 0,25 mm di rame e due strati singoli di 0,5 mm ciascuno di rame e acciaio.

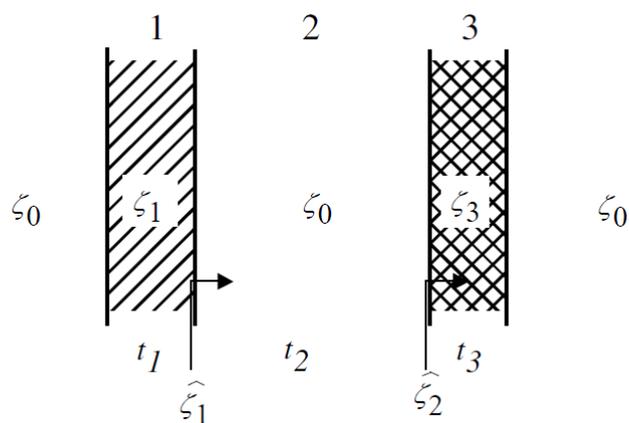


**Figura n.4.4**

Lo schermo di rame ha una maggiore efficacia di schermatura alle basse frequenze grazie al termine di prime riflessioni, mentre è maggiore l'SE dell'acciaio alle alte frequenze grazie al termine di assorbimento più elevato. Si ha quindi un'efficacia di schermatura globalmente migliore dei singoli sia ad alta che a bassa frequenza.

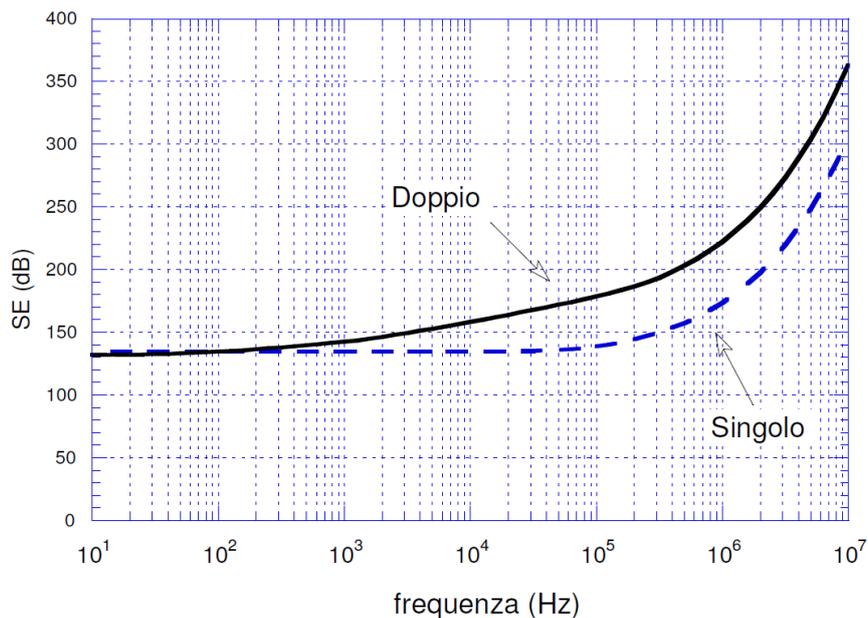
### Confronto tra schermo singolo e schermo doppio

Consideriamo ora due schermi separati da uno strato d'aria.



**Figura n.4.5**

In figura n.4.6 viene riportato il confronto tra l'efficacia di schermatura tra un singolo schermo di rame dello spessore di 0,5 mm e due schermi di 0,25 mm distanziati di 2,5 cm.



**Figura n.4.6**

Si può vedere che alle alte frequenze uno schermo doppio presenta un'efficacia di schermatura maggiore rispetto ad uno schermo singolo di uguale spessore totale, questo grazie al termine dovuto alle prime riflessioni maggiore nel doppio schermo rispetto al singolo e il termine dovuto alle riflessioni multiple che è preponderante nello schermo doppio alle basse frequenze.

## 4.2 Sorgenti in campo vicino e campo lontano

Finora è stata considerata una sorgente lontana dallo schermo, con un'onda piana incidente su di esso. Bisogna però conoscere la differenza tra campo vicino e campo lontano, con le loro caratteristiche differenti:

- Campo vicino: zona entro la distanza di circa  $1/6$  ( $1/2\pi$ ) della minima lunghezza d'onda  $\lambda$  emanata dalla sorgente in cui il fronte di propagazione ha una forma sferica.
- Campo lontano: zona oltre la distanza di  $3\lambda$  dove abbiamo un'onda piana uniforme.

Consideriamo il rapporto tra campo elettrico e magnetico

$$\frac{E_{\theta}}{H_{\phi}} = \zeta_0 \cong 377\Omega$$

dove  $\zeta_0$  è l'impedenza caratteristica dello spazio libero. Definiamo ora impedenza d'onda il rapporto

$$\frac{E_{\theta}}{H_{\phi}}$$

In campo lontano l'impedenza d'onda diventa uguale all'impedenza caratteristica del mezzo ma in campo vicino queste condizioni non sono verificate.

Considerando un dipolo elettrico elementare in campo vicino il valore del campo elettrico diventa predominante e l'impedenza assume valori piuttosto elevati, da cui il nome di sorgente ad alta impedenza.

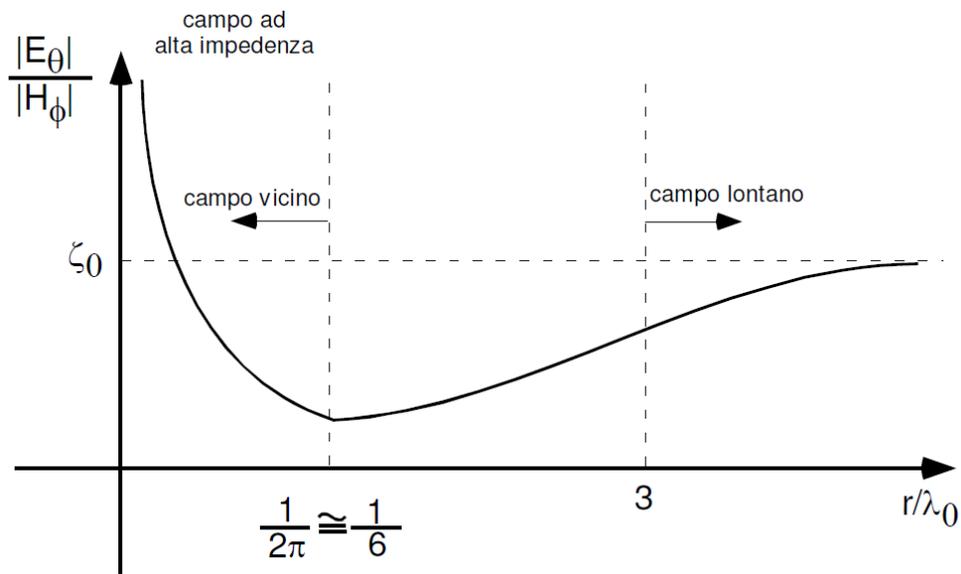


Figura n.4.7

Considerando invece una spira elementare, che può essere ricondotta ad un dipolo magnetico elementare, si ha la predominanza di  $H_\phi$  nel campo vicino. L'impedenza quindi assume valori molto piccoli. Si parla dunque di sorgente a bassa impedenza per la spira elementare.

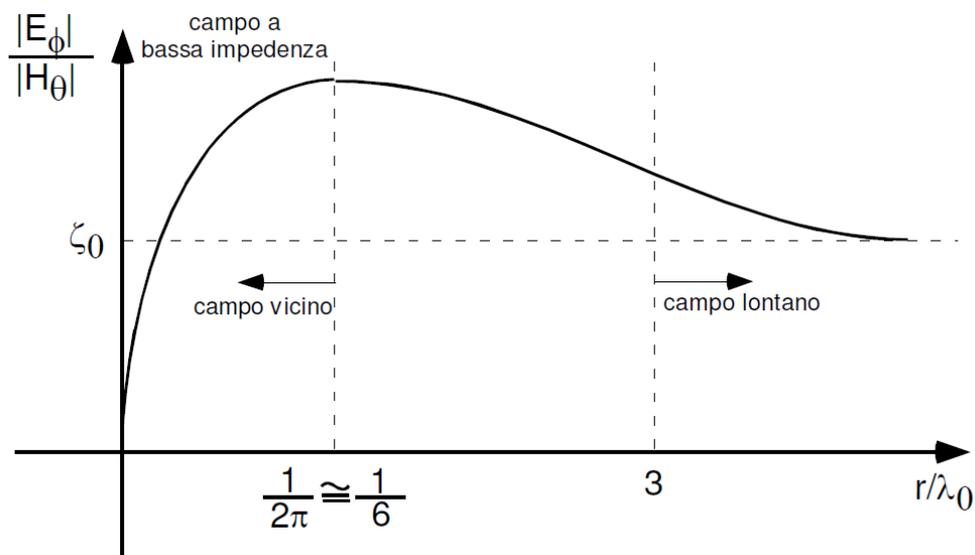
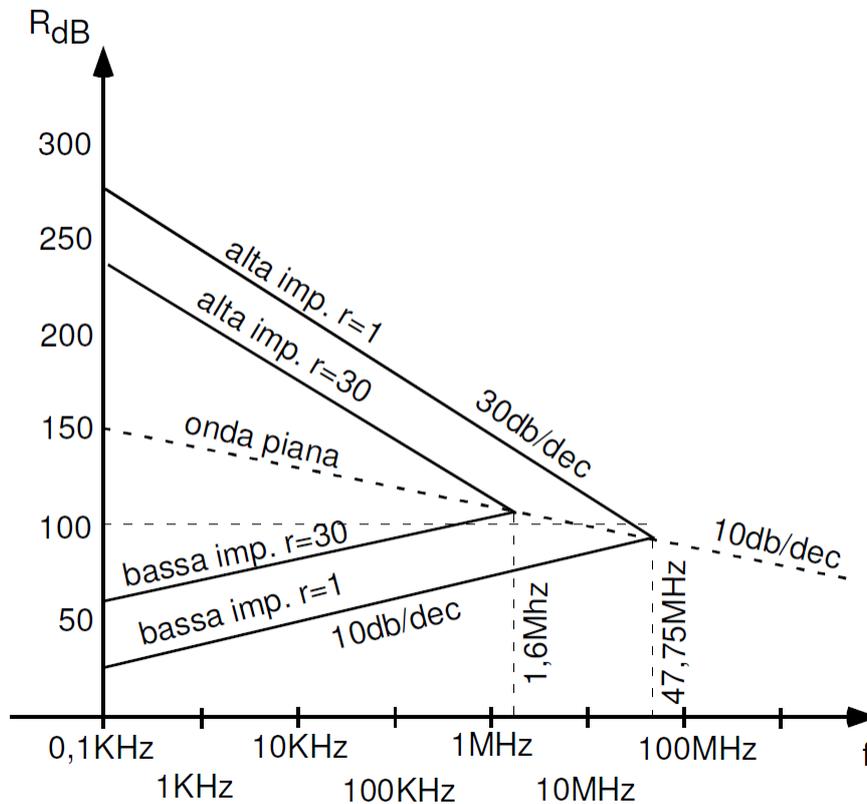


Figura n.4.8

Nella figura n.4.9 sono riportate le perdite per riflessione per diverse distanze dalla sorgente per uno schermo di rame.



**Figura n.4.9**

Per le sorgenti di tipo elettrico (ad alta impedenza) il tipo di schermatura cambia principalmente al variare della gamma di frequenze:

- alle basse frequenze la schermatura dei campi elettrici sia lontani che vicini è dovuta essenzialmente dalla perdita per riflessione, che non richiede schermi di spessore elevato e attenua soprattutto campi elettrici vicini;
- alle alte frequenze la schermatura dei campi elettrici sia lontani che vicini è dovuta essenzialmente dalla perdita per assorbimento (che richiede spessori elevati), mentre il contributo della perdita per riflessione è piccolo. In ogni caso l'attenuazione è praticamente uguale a prescindere che il campo sia vicino o lontano.

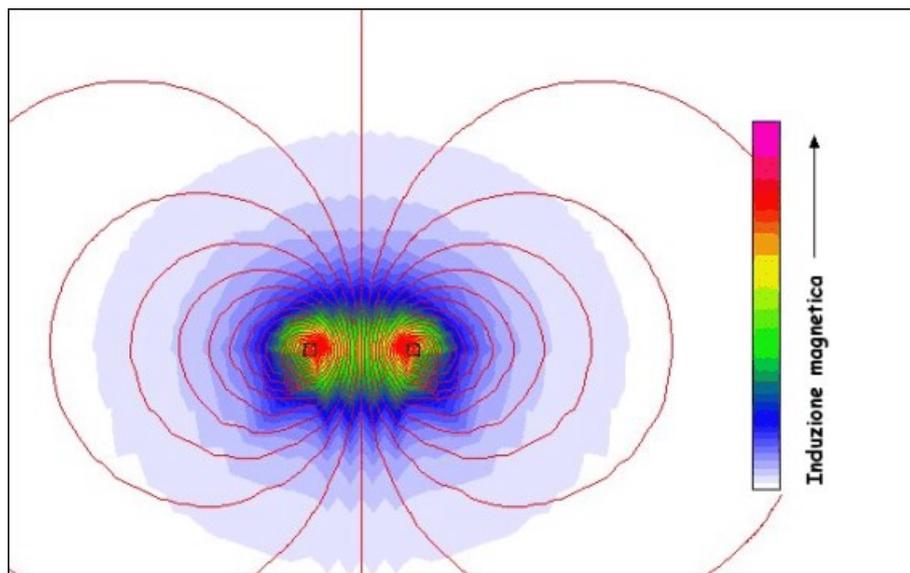
Per la schermatura di campi elettrici la scelta dei materiali va verso quelli con elevata conducibilità.

Per le sorgenti magnetiche (a bassa impedenza) la schermatura cambia al variare della distanza dalla sorgente del campo:

- in presenza di sorgenti lontane come per i campi elettrici la perdita per riflessione diventa il meccanismo di schermatura predominante alle basse frequenze, mentre la perdita per assorbimento è il meccanismo predominante alle alte frequenze;
- in presenza di sorgenti vicine la perdita per assorbimento prevale a tutte le frequenze, però, a differenza del campo elettrico, risulta molto piccola in bassa frequenza. Tuttavia anche le perdite per riflessione diminuiscono al diminuire della frequenza. Per questo è necessario impiegare altri metodi per schermare i campi magnetici vicini a bassa frequenza.

### 4.3 Schermatura di campi magnetici vicini a bassa frequenza

Il metodo per schermare un campo magnetico vicino a bassa frequenza è quello di deviare le linee di campo tramite l'utilizzo di schermi composti da materiali ferromagnetici o conduttori.

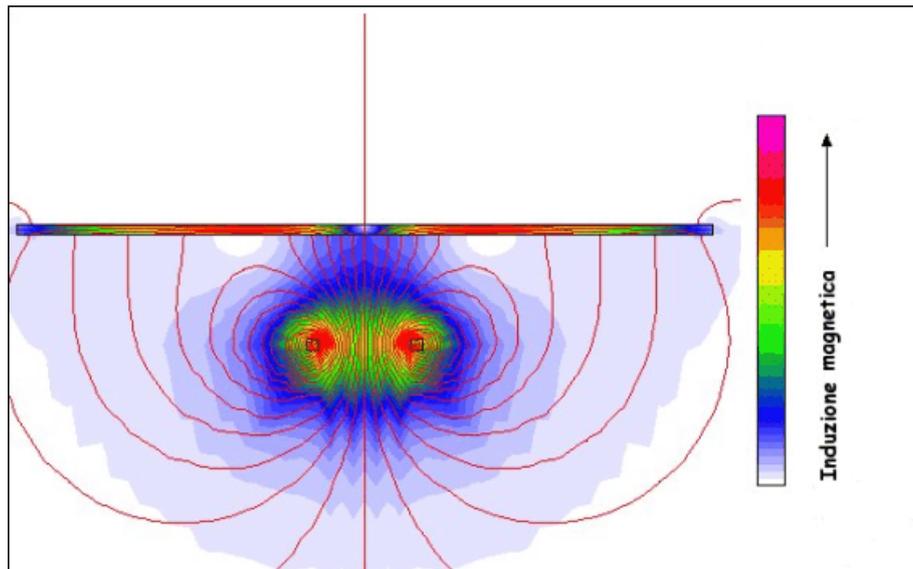


**Figura n.4.10**

Campo magnetico in assenza di schermo

#### Schermi ferromagnetici

Gli schermi composti da materiali ferromagnetici, con permeabilità magnetica superiore a quella dell'aria, fanno in modo che le linee del campo magnetico si concentrino nel percorso a bassa riluttanza.



**Figura n.4.11**

Campo magnetico in presenza di schermo ferromagnetico

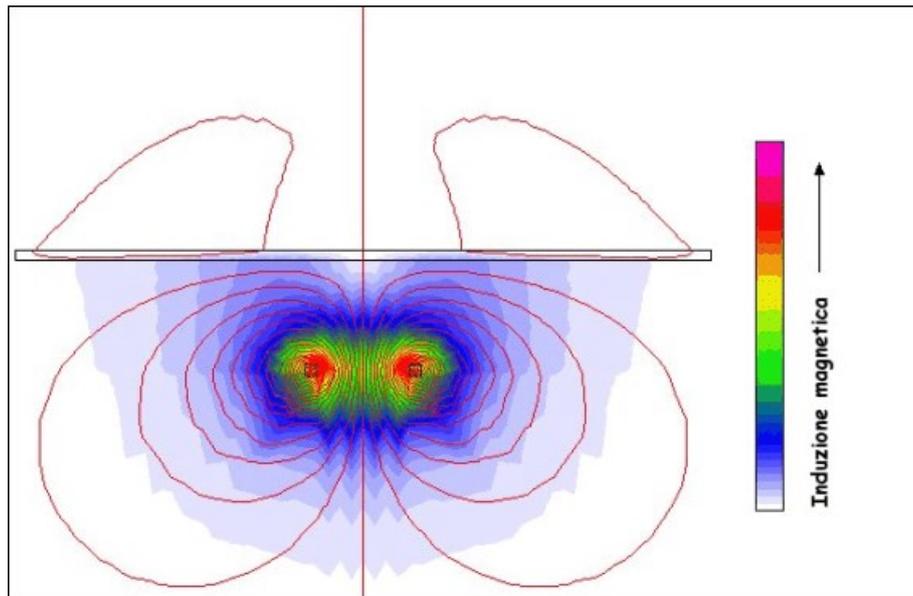
La loro efficacia dipende da diversi parametri:

- La permeabilità magnetica del materiale
- Lo spessore della lamiera utilizzata
- La conducibilità del materiale, che se elevata può aggiungere un effetto come schermo conduttore
- L'estensione dello schermo
- La distanza tra sorgente e schermo
- La posizione e forma dello schermo

I materiali più adatti sono le leghe contenenti metalli ferromagnetici come ferro, nichel e cobalto, ricordando però che la loro permeabilità diminuisce all'aumentare della frequenza e che oltre certi valori di flusso tende a saturare.

### **Schermi conduttori**

In presenza di un campo magnetico variabile gli schermi composti da materiali conduttori diventano sedi di correnti indotte, creando un campo magnetico indotto di reazione.



**Figura n.4.12**

Campo magnetico in presenza di schermo conduttore

Nel valutare la scelta di uno schermo conduttore bisogna valutare i seguenti parametri:

- Lo spessore del materiale utilizzato
- La conducibilità del metallo impiegato
- L'estensione dello schermo
- La distanza tra sorgente e schermo
- La continuità elettrica tra gli elementi costituenti lo schermo
- La posizione e la forma dello schermo

I materiali più adatti sono i metalli ad alta conducibilità come rame, alluminio e acciaio ad elevate caratteristiche magnetiche.

Utilizzando materiali ferromagnetici è preferibile realizzare schermi chiusi che formino una struttura che circonda la sorgente, aumentando l'efficacia vicino alla sorgente stessa, mentre usando materiali conduttori conviene realizzare schermi aperti, ottenendo una significativa schermatura soprattutto lontano dalla sorgente.

Utilizzando invece una combinazione dei due materiali si può ottenere un'ottima capacità schermante sia vicino allo schermo, grazie allo schermo ferromagnetico, che lontano grazie allo schermo conduttivo.

## Conclusione

I lavoratori che sono portatori di dispositivi medici impiantati attivi devono essere a conoscenza dei rischi derivanti all'esposizione ai campi elettromagnetici in qualunque luogo di lavoro e vengono informati a riguardo nel momento in cui il dispositivo viene inserito.

In caso di esposizione a campi elettromagnetici al di sopra dei valori limite imposti dalle direttive il dispositivo può subire delle interferenze con possibili conseguenze anche gravi, è dunque necessario adottare delle misure per eliminare o ridurre i rischi.

Per proteggere questi lavoratori si può procedere con l'identificazione dei lavoratori portatori di questi tipi di dispositivi e formarli riguardo le apparecchiature generanti campi elettromagnetici con valori superiori ai limiti, posizionare segnaletica che avverte riguardo la presenza di campi che possono interferire con dispositivi medici attivi come i pittogrammi di seguito riportati, oppure una combinazione di queste due misure.



Nel caso in cui il campo elettromagnetico presente nello spazio occupato dalla postazione di lavoro superi i limiti imposti dal D. lgs 9 aprile 2008, n.81 è necessario procedere alla schermatura del campo, valutando la soluzione migliore tra uno schermo che avvolge interamente la sorgente del campo od uno schermo aperto che protegge il lavoratore, utilizzando spessori e materiali adatti ad assorbire e ridurre il tipo di campo presente, che nel caso di campo magnetico statico o a bassa frequenza sono metalli ferromagnetici contenenti ferro, nichel o cobalto.

# Appendice

## **Materiali schermanti**

Il sistema di mitigazione dell'induzione magnetica viene ottenuto, sia nel caso delle piastre che in quello delle canalizzazioni schermanti, mediante l'apposizione di prodotti con differenti caratteristiche, costituite dall'accoppiamento di due materiali:

- Materiale ad alta permeabilità magnetica.
- Materiale ad elevata conducibilità elettrica.

Lo strato di materiale ad alta permeabilità magnetica, permette l'abbattimento dell'induzione magnetica mediante l'assorbimento del campo magnetico presente. Il suo comportamento schermante simile ad un "ombrello" di protezione dal campo magnetico che può essere molto intenso vicino allo schermo, ma tende a decadere allontanandosi dal medesimo.

Lo strato di materiale ad elevata conducibilità elettrica in presenza di un campo magnetico variabile (campo induttore) diventa sede di correnti di circolazione, le quali generano a loro volta un campo magnetico di reazione (campo indotto). La combinazione dei due materiali, ferromagnetico e conduttivo, permette di realizzare uno schermo con ottime capacità schermanti sia vicino allo schermo, grazie principalmente allo schermo ferromagnetico, sia lontano dallo schermo, grazie allo schermo conduttivo.

## **Piastre schermanti**

L'orientamento delle piastre schermanti rispetto alla "sorgente di campo magnetico", è fondamentale per la mitigazione del medesimo. Da analisi teoriche supportate anche da test sperimentali si evince che l'apposizione delle piastre con la parte ferromagnetica rivolta verso la sorgente garantisce una migliore efficienza schermante solamente nel caso in cui ci si trovi a pochi centimetri dalla schermatura e nel caso in cui venga effettuata una schermatura completa del locale in cui è presente la sorgente; di conseguenza si consiglia questa tipologia di installazione solamente nel caso in cui la "vittima" sia molto vicina (pochissimi cm) alla schermatura.

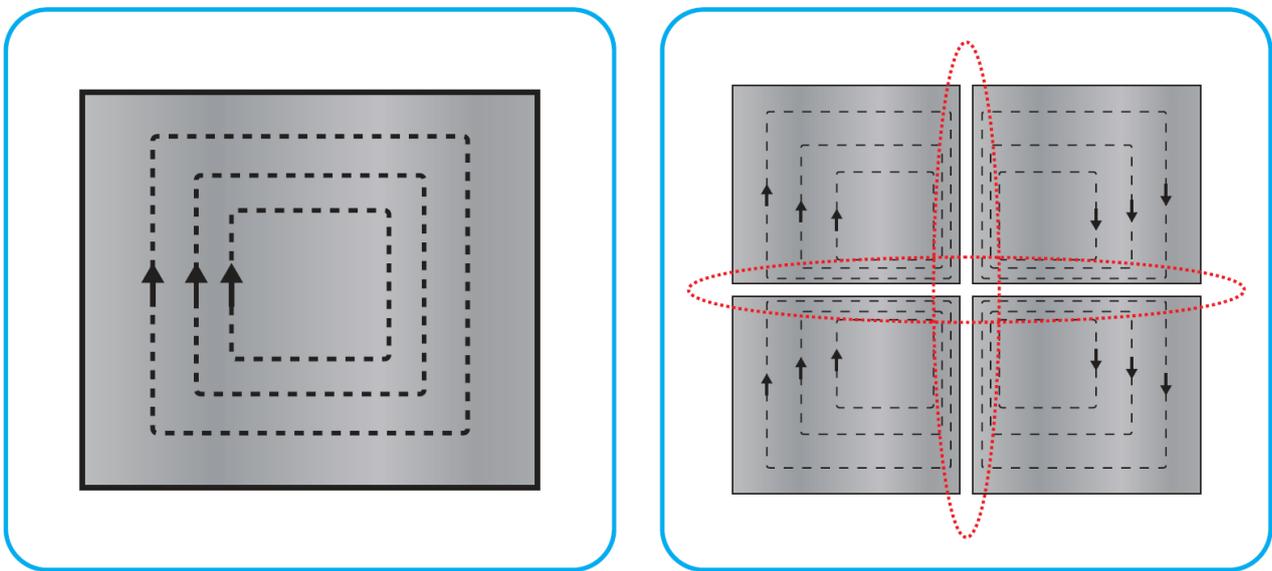
In tutti gli altri casi le migliori performance schermanti si ottengono con il materiale ad elevata conducibilità rivolto verso la "sorgente" e quello ferromagnetico verso la "vittima".

Ciò è legato a due fattori che possono essere così riassunti:

1) Il materiale conduttivo funziona sul principio di creare un campo magnetico che si oppone a quello sorgente attraverso correnti indotte nello stesso, dallo stesso campo sorgente. E' quindi opportuno che

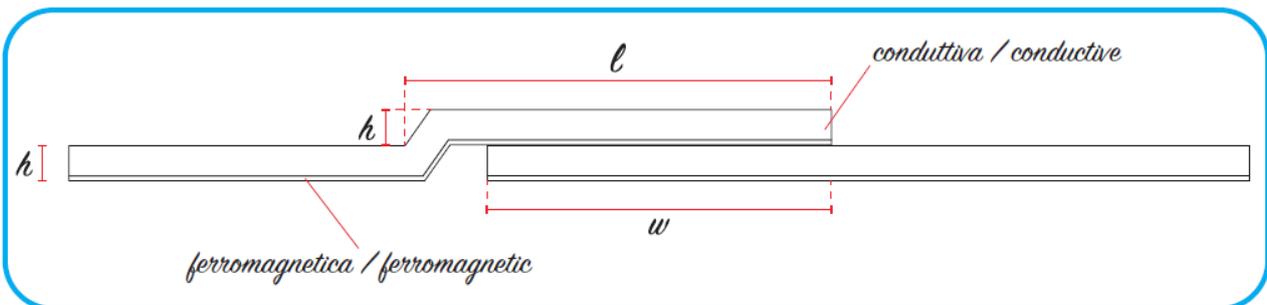
il materiale conduttivo veda il maggiore campo sorgente possibile. Se si orienta la piastra con il lato del materiale ferromagnetico verso la sorgente, questo riduce l'effetto di funzionamento del materiale conduttivo.

2) L'efficienza di uno schermo è legata alla continuità magnetica ed elettrica delle piastre schermanti. Il mancato collegamento tra le piastre ad elevata conducibilità, riduce fortemente le caratteristiche schermanti complessive, in quanto le correnti indotte che creano il controcampo si richiudono all'interno della singola piastra e non possono circolare tra una piastra e l'altra. E' quindi fondamentale il collegamento elettrico tra le piastre con la sovrapposizione e tramite saldatura nella parte conduttiva.



**Figura n.A.1**

La piastra generalmente di forma quadrata ha una parte dei lati piani ed una parte modellati a formare una sorta di ala. Le ali di una piastra vanno a sovrapporsi con le parti piane delle ali confinanti.

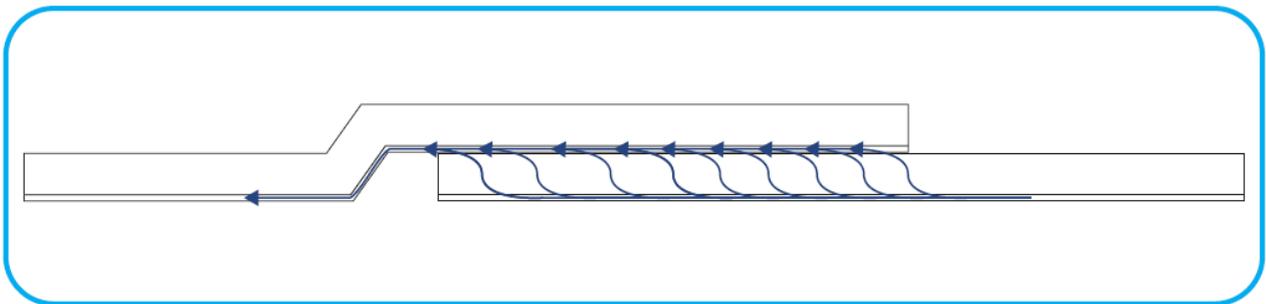


**Figura n.A.2**

Dettaglio dell'elemento ala

La soluzione proposta consente di conseguire i seguenti vantaggi:

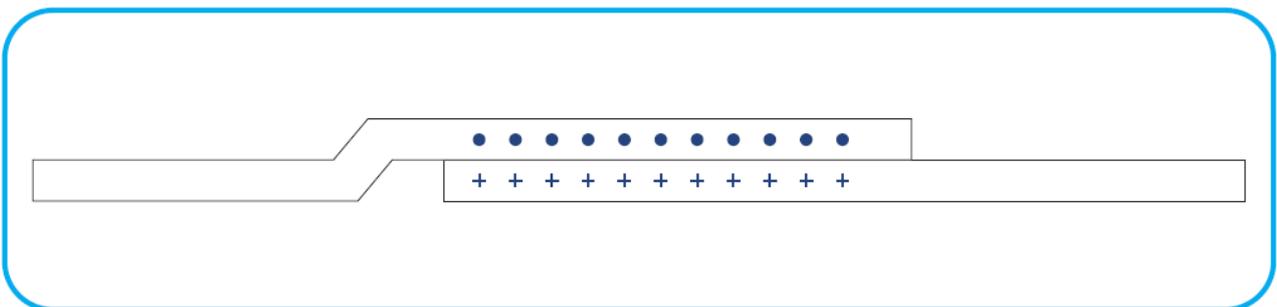
a) Riduzione della riluttanza magnetica di accoppiamento tra le piastre. Si consideri di avere un sistema di piastre misto conduttivo e ferromagnetico. Nell'area di sovrapposizione delle piastre, inferiore e superiore, il campo magnetico passa da una lastra ferromagnetica all'altra attraverso lo spessore limitato pari allo strato conduttivo (Fig. n.A.3).



**Figura n.A.3**

Dettaglio dell'elemento ala

b) Compensazione dei campi magnetici ai bordi delle piastre dovuti alla richiusura delle correnti all'interno della parte conduttiva della singola piastra. Come mostrato in Fig. n.A.4 le correnti indotte nelle due piastre presentano verso opposto e pertanto generano campi magnetici locali che si compensano reciprocamente. Tale compensazione determina un beneficio relativamente agli effetti ai bordi anche in assenza di successiva saldatura.

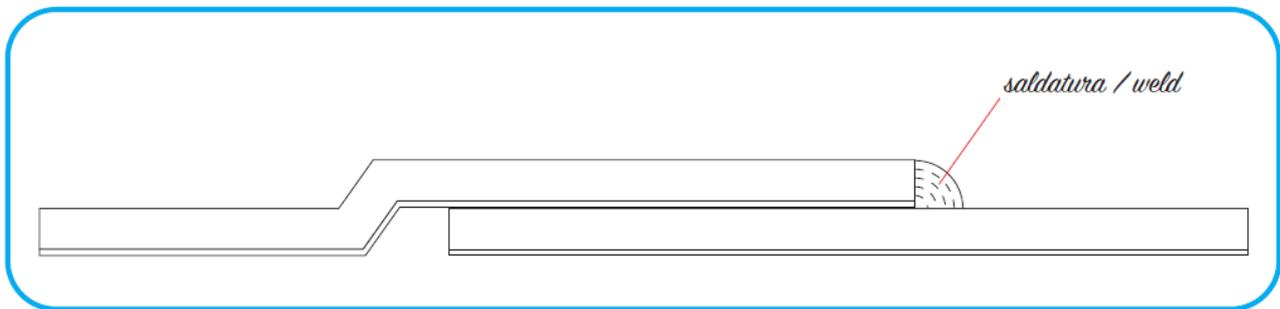


**Figura n.A.4**

Compensazione delle correnti nell'area di sovrapposizione delle piastre

c) La richiusura della corrente indotta sulla parte conduttiva della singola piastra può essere eliminata, con ulteriore aumento delle prestazioni del sistema schermante, mediante la saldatura delle parti conduttive delle piastre confinanti; la saldatura consente infatti di ripristinare la continuità elettrica tra di esse permettendo alle correnti indotte di circolare liberamente. La saldatura realizzata tra la

costa della piastra superiore e la parte piatta della piastra inferiore (Fig. n.A.5) risulta agevolata dal naturale recupero delle tolleranze meccaniche legate alla sovrapposizione tra le piastre.



**Figura n.A.5**

Posizionamento della saldatura tra le parti conduttive

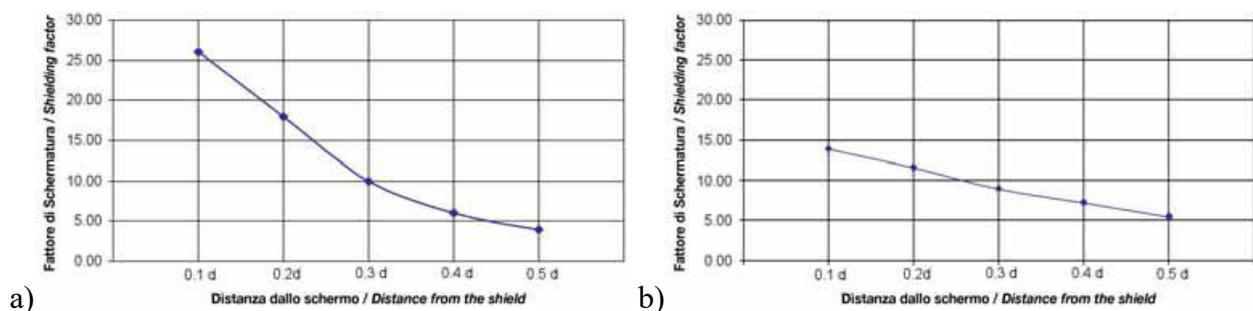
d) Infine, la presenza della sovrapposizione tra le piastre agevola la fase di installazione delle piastre a soffitto. Fissata una prima piastra superiore a soffitto, quella successiva di tipo inferiore può utilizzare l'ala della superiore come base di appoggio.

Di seguito sono riportati due esempi di piastre con caratteristiche diverse e i loro fattori di schermatura risultanti.

### Piastra a spessore ridotto 2,7 mm serie WPL

Lo spessore complessivo della piastra è pari a 2,7 mm, con strati aventi le seguenti caratteristiche:

- 1° strato: materiale ad alta permeabilità magnetica composto da 2 piastre sovrapposte dello spessore di 0,35 mm ciascuna.
- 2° strato: materiale ad elevata conducibilità elettrica di spessore 2 mm.



**Figura n.A.6**

Fattore di schermatura per piastra tipo WPL con materiale alta permeabilità magnetica (a) e alta conducibilità elettrica (b) rivolto verso la sorgente.

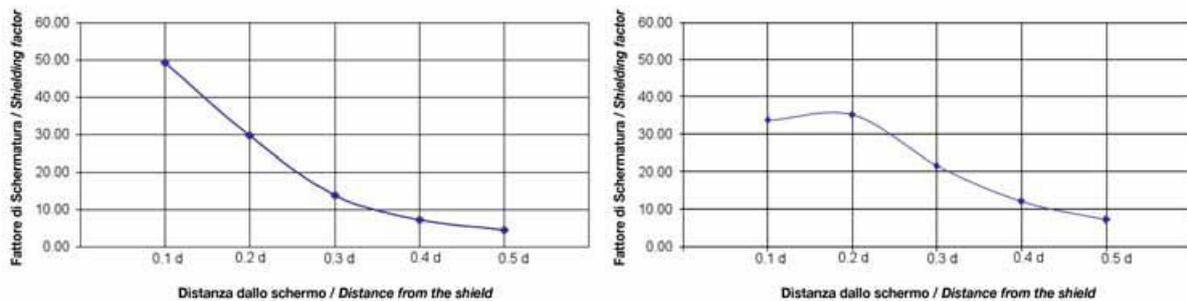
### Piastra a medio spessore 4,7 mm serie WPM

Lo spessore complessivo della piastra è pari a 4,7 mm con strati aventi le seguenti caratteristiche:

- 1° strato: materiale ad alta permeabilità magnetica composto da 2 piastre sovrapposte dello spessore di 0,35 mm ciascuna.

- 2° strato: materiale ad elevata conducibilità elettrica di spessore 4 mm.

La serie WPM ha potenziata la schermatura di tipo conduttivo e presenta fattori di schermatura che si mantengono elevati allontanandosi dallo schermo.



**Figura n.A.7**

Fattore di schermatura per piastra tipo WPM con materiale alta permeabilità magnetica e alta conducibilità elettrica rivolto verso la sorgente.

Possono essere anche utilizzati sistemi schermanti a rotoli composti da nichel / lega di ferro con una densità di flusso di saturazione di 0,8 Tesla, in grado di essere facilmente piegato, tagliato e saldato, con un'elevata flessibilità che facilita l'installazione.



**Figura n.A.8**

## Bibliografia

- D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81, TESTO UNICO SULLA SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO, TITOLO VIII, CAPO IV; ALLEGATO XXXVI
- Norma EN 50413:2019 Basic standard on measurement and calculation procedures for human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields (0 Hz - 300 GHz)
- Norma EN 50499:2019 Procedure for the assessment of the exposure of workers to electromagnetic fields
- Norma EN 61786-1:2014 Measurement of DC magnetic, AC magnetic and AC electric fields from 1 Hz to 100 kHz with regard to exposure of human beings; Part 1: Requirements for measuring instruments
- Norma IEC 61786-2:2014 Measurement of DC magnetic, AC magnetic and AC electric fields from 1 Hz to 100 kHz with regard to exposure of human beings; Part 2: Basic standard for measurements
- Norma EN 12198-1:2009 Valutazione e riduzione dei rischi generati dalle radiazioni emesse dal macchinario; Parte 1: Principi generali
- Norma EN 12198-2:2009 Valutazione e riduzione dei rischi generati dalle radiazioni emesse dal macchinario; Parte 2: Procedura di misurazione dell'emissione di radiazione
- Norma EN 12198-3:2009 Valutazione e riduzione dei rischi generati dalle radiazioni emesse dal macchinario; Parte 3: Riduzione della radiazione per attenuazione o schermatura
- Norma EN 50527-1:2016 Procedure for the assessment of the exposure to electromagnetic fields of workers bearing active implantable medical devices; Part 1: General
- BESHielding: Schermatura Elettromagnetica ELF