

*Alla mia famiglia,
che mi ha sempre sostenuto,
grazie.*



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale DII

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dell'Energia Elettrica

LA VALUTAZIONE DEI RISCHI DA CAMPI ELETTROMAGNETICI
IN AMBIENTE DI LAVORO. CASI PRATICI DI RIDUZIONE DEL
RISCHIO.

RISK ASSESSMENT OF ELECTROMAGNETIC FIELD EXPOSURE IN
WORKING ENVIRONMENT. PRACTICAL CASES OF RISK
REDUCTION.

Relatore: Prof. Roberto Turri

Correlatore: Ing. Carlo Casagrande

Studente: Giuseppe Finocchiaro
matricola n.1109412

Anno Accademico 2016/2017

Premessa

Il presente lavoro di tesi è il risultato di quanto svolto in 6 mesi di stage, da ottobre 2016 a marzo 2017, presso lo studio d'ingegneria Casagrande.

L'argomento dello stage e della tesi è stato la sicurezza nei luoghi di lavoro, e in particolar modo la sicurezza dei lavoratori dai potenziali pericoli di intensi campi elettromagnetici.

Si è scelto questo specifico argomento per la grande attualità del tema, e soprattutto per l'aggiornamento del Testo unico sulla sicurezza (D.lgs 81/2008) del 2 settembre 2016, che ha implementato quanto riportato nella Direttiva Europea 2013/35/UE.

Si sono svolte misure di campi elettromagnetici in diverse aziende, e ciò che viene qui riportato sono i casi più significativi nell'ambito di una valutazione dei rischi.

Le misure effettuate vengono difatti, in tale ottica, riportate e presentate come un'unica valutazione dei rischi, quindi come un unico documento.

Il lavoro di tesi viene presentato in due parti: una prima parte teorica, dove vengono affrontati i potenziali pericoli di un'esposizione ai campi elettromagnetici, la conseguente normativa utilizzata per diminuire il rischio susseguente all'esposizione a tali campi, nonché i vari metodi e strumenti che possono essere utilizzati per diminuire tale rischio.

La seconda parte è pratica, e ha riguardato la misura dei campi elettromagnetici in diverse aziende e la conseguente valutazione del rischio delle sorgenti stesse.

In questa parte, sono stato seguito nell'attuazione delle misure dall'Ingegnere Piccin e dall'Ingegnere Casagrande.

Indice

Premessa.....	V
Indice.....	VII
Breve premessa storica.....	1
Ørsted	1
Biot-Savart	1
Faraday	1
Maxwell.....	3
1 - Introduzione Generale Ai Campi Elettromagnetici	5
1.1 – Definizioni dei campi elettromagnetici	5
1.1.1 – Il Campo Elettrico	5
1.1.2 - Il Campo Magnetico	6
1.1.3 - Il Campo Elettromagnetico	8
1.1.4 – campo vicino e campo lontano	10
1.2 - Le Onde Elettromagnetiche Nell’ambiente.....	11
1.2.1 - Banda ELF: Extremely Low Frequencies (3 Hz - 3 KHz).....	13
1.2.2 - Bande VLF, LF, MF e HF: very low, low, medium e high frequencies (3 kHz - 30 MHz)	14
1.2.3 - Bande VHF e UHF: very-high e ultra-high frequencies (30 MHz - 3 GHz)	15
1.2.4 - Bande SHF e EHF: superhigh e extrahigh frequencies (3 - 300 GHz)	16
2 - Effetti sulla salute	17
2.1 – Studi contrastanti.....	17
2.2 - L’interazione Con I Sistemi Biologici	17
2.2.1 – Metodi di analisi del rischio da radiazioni elettromagnetiche.....	19
2.2.2 - Misura del rischio: odds ratio e rischio relativo	20
2.2.3 - Gli effetti dei campi elettrici e magnetici statici	23
2.2.4 - Gli effetti dei campi elettromagnetici a ELF.....	23
2.2.4.1 – effetti a breve termine.....	24
2.2.4.2 – effetti a lungo termine	25
2.2.5 - Gli Effetti Dei Campi Elettromagnetici A Radio-Frequenza	29
2.2.5.1 – effetti a breve termine.....	29
2.2.5.2 – effetti a lungo termine	32
2.3 – Lavoratori particolarmente a rischio	33
2.3.1 - Campi elettrici o magnetici statici di grande intensità.....	34
2.3.2 - Campi elettrici e magnetici ELF negli ambienti industriali	34

2.3.3 - Riscaldatori industriali a radiofrequenza e microonde.....	34
2.3.4 – Addetti alle apparecchiature biomediche.....	35
2.3.5 – Addetti ad apparati per telecomunicazioni.....	36
2.3.6 - Varchi magnetici e sistemi antitaccheggio.....	36
2.3.7 – Donne in gravidanza.....	36
2.4 - Prevenzione fra precauzione e responsabilità.....	37
2.5 – Effetti sulla salute: dati e conclusioni.....	39
3 – Sicurezza: prevenzione e protezione.....	42
3.1 - Prevenzione.....	42
3.2 - Protezione.....	44
3.2.1 - Schermatura.....	44
3.2.2 - Ripari.....	46
3.2.3 - Dispositivi di protezione sensibili.....	47
3.2.4 - Misure tecniche contro le scariche.....	47
3.2.5 - Misure organizzative.....	47
4 – Riferimenti normativi utilizzati.....	54
4.1 - Decreto legislativo del 9 aprile 2008, n.81, capo IV.....	55
Art. 206. Campo di applicazione.....	55
Art. 207. Definizioni.....	55
Art. 208. Valori limite di esposizione e valori d’azione.....	55
Art. 209. Identificazione dell’esposizione e valutazione dei rischi.....	55
Art. 210. Misure di prevenzione e protezione.....	57
Art. 211. Sorveglianza sanitaria.....	58
Art. 212. Linee guida.....	59
4.2 - il Decreto Legislativo n.159 del 1 agosto 2016.....	59
art. 206.....	59
art. 207.....	60
art. 208.....	61
art. 209.....	61
art. 210 - disposizioni miranti ad eliminare o ridurre i rischi.....	62
art. 210 bis - Informazione e formazione dei lavoratori e dei rappresentanti dei lavoratori per la sicurezza.....	62
art. 211 - Sorveglianza sanitaria.....	63
art. 212 - Deroghe.....	63
4.3 - tabelle dei limiti per i campi elettromagnetici.....	63
TABELLA INDICAZIONI GENERAL PUBLIC ICNIRP 1998.....	64

TABELLE RELATIVE AGLI EFFETTI NON TERMICI	65
TABELLE RELATIVE AGLI EFFETTI TERMICI.....	68
5 – Tecniche e strumento di misura	70
5.1 – teoria della misurazione	70
5.1.1 – lo strumento	70
5.1.2 - Stima del risultato ed analisi delle incertezze.....	71
5.1.4 - Misure di radiazioni elettromagnetiche e valutazione del rischio.....	72
individuazione delle sorgenti pericolose	72
Scelta dei punti di misura	72
Posizionamento della sonda	72
Misura del campo	73
Weighted Peak WP.....	73
5.2 – PMM 8053	75
5.2.1 – sonda EHP 50-G	76
5.2.2 – sonda EP 330	77
Capitolo 6.....	78
6.1 - Metodologia di misura utilizzata	78
6.1.1 - Induzione Magnetica e Campo Elettrico (5 Hz – 400 kHz)	78
6.1.2 - Campo Elettrico (100 kHz – 3 GHz)	79
6.1.3 - Strumentazione utilizzata	80
6.2 – Misurazioni e provvedimenti di diminuzione del rischio.....	81
6.2.1 - SORGENTE CEM N.01	81
6.2.1.2 - Generalità sull'apparecchiatura e specifiche della misurazione	82
6.2.1.3 – misure di prevenzione e protezione.....	84
6.2.2 - SORGENTE CEM N.02	85
6.2.2.1- Generalità.....	87
6.2.2.2 – misure di riduzione del rischio	89
6.2.3 - SORGENTE CEM N.03	92
6.2.3.1 – generalità sull'apparecchiatura e specifiche di misurazione	92
6.2.3.2 - Misure di riduzione del rischio	96
6.2.4 - SORGENTE CEM N.04	97
6.2.4.1 – Generalità sull'apparecchiatura e specifiche di misurazione	98
6.2.4.2 – misure di riduzione del rischio	101
6.2.5 - SORGENTE CEM N.05	103
6.2.5.1 – Generalità sull'apparecchiatura e specifiche di misurazione	104
Conclusioni	108

Ringraziamenti	109
Bibliografia – sitografia	110
Letteratura scientifica	110
Normative e guide	110
Sitografia	111

Breve premessa storica

L'intento di questa breve introduzione storica è di dare un'idea generale di come si sia giunti alla scoperta dell'esistenza delle onde elettromagnetiche, e non ha alcun nesso diretto con lo svolgimento della tesi.

Ørsted

Attorno al 1820 Ørsted intuì dagli spostamenti di un ago attorno ad un filo percorso da corrente, che le forze magnetiche prodotte da un filo conduttore nel quale passa della corrente, sono costituite da cerchi.

Viene per la prima volta evidenziata una relazione **tra elettricità e magnetismo**.

Biot-Savart

Biot e Savart dimostrarono sperimentalmente che in prossimità di un conduttore rettilineo la 'forza magnetica' varia in ragione inversa alla distanza, e ne trovarono il valore.

La legge come è conosciuta oggi (al tempo ancora non era definito il concetto di campo) stabilisce che il valore del campo magnetico ad una distanza “r” da un conduttore rettilineo percorso da corrente sia:

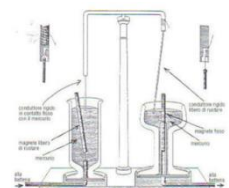
$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I \mathbf{\hat{I}} \times \mathbf{\hat{r}}}{2\pi |\mathbf{r}|}$$

Faraday



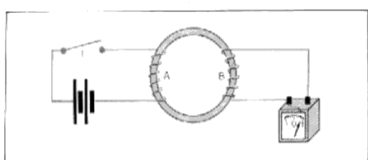
Faraday verificò la validità dell'interpretazione delle “curve magnetiche” (denominate così da lui, in un primo periodo) come delle entità concentriche e circolari, costruendo il primo modello di motore elettrico.

Faraday riuscì, con grande successo, a realizzare la rotazione elettromagnetica continua, e ciò rappresentò una seria sfida alla più



avanzata teoria di Ampère (1775-1836), che considerava unicamente attrazione e repulsione, ma non le rotazioni.

Nel 1831 egli scoprì **l'induzione elettromagnetica**: un magnete mosso in prossimità di un circuito non alimentato provoca in esso il passaggio di corrente. Il fenomeno è evidente solo durante il moto relativo di magnete e circuito elettrico.



Concretizzò questa scoperta con l'esperienza riportata nella figura a fianco. Chiudendo l'interruttore I, bobina B si ha per un breve intervallo di tempo un passaggio di corrente; il

fenomeno si ripeteva all'apertura di I, con l'interruzione della corrente.

È la prima evidenza chiara di un nesso tra corrente elettrica, magnetismo e movimento (o variazione di una data situazione).

Tale esperienza può essere formalizzata dalla formula:

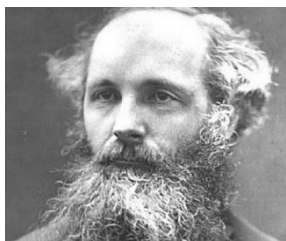
$$\Delta V = \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t} \neq 0$$

Successivamente Faraday, grazie ad un esperimento nel quale il piano di polarizzazione della luce veniva deviato dalla presenza di un forte elettromagnete, capì che **la luce** non si trasmette in modo istantaneo in un cosiddetto "etere", come si credeva al tempo, ma che **si trasmette nel tempo e nello spazio con una sua velocità** (e che può essere influenzata da altri fenomeni fisici, come per l'appunto il magnetismo).

Oltre a ciò Faraday trovò un'altra analogia tra i fenomeni elettrici e quelli magnetici: Le sostanze paramagnetiche, così come i conduttori di elettricità, facevano convergere le linee di forza; le sostanze diamagnetiche e i dielettrici le facendole divergere.

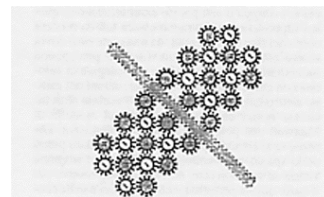
Questa **incredibile analogia** apriva la possibilità di una trattazione dell'elettromagnetismo basata unicamente sulle linee di forza. Ma tale argomento sarebbe stato affrontato soltanto in seguito da James C. Maxwell (1831-1879), per il quale quelle idee furono un importante punto di partenza.

Maxwell



Maxwell, utilizzando il “metodo delle analogie” mostrò che alle concezioni di Faraday era possibile applicare gli stessi metodi matematici con i quali erano state trattate la teoria dell'elasticità e l'idrodinamica.

Maxwell dette una prima spiegazione meccanica a tutte le azioni elettromagnetiche, avendo esse, nel suo modello, sede in un mezzo elastico.



Nel 1864 con “A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field” egli abbandona tale modello meccanico servitogli per spiegare i fenomeni elettromagnetici in passato, ma si serve ancora dell'etere per elaborare un modello più puramente matematico e fondato sul calcolo. Le proprietà di questo campo sono descritte da 20 equazioni generali.

Egli arriva quindi a considerare l'energia elettrica come energia potenziale meccanica e l'energia magnetica come energia cinetica di natura meccanica, questa energia meccanica-elettromagnetica risiede in tutto lo spazio e, in particolari condizioni, si può propagare sotto forma di onde elettromagnetiche.

In definitiva la propagazione di onde elettromagnetiche nello spazio è dovuta alla trasformazione continua di una di queste forme di energia nell'altra e viceversa.

E al di là di spiegazioni che possono adesso risultarci artificiose e complicate, ciò corrisponde con quanto oggi sappiamo: si originano onde elettromagnetiche ogniqualvolta ci si trovi in presenza di una variazione o di un campo elettrico o di un campo magnetico.

Il numero di queste equazioni verrà ridotto a 9 da Hertz ed a 5 da Lorentz, 4 provenienti dalla teoria di Maxwell ed una rappresentante la Forza di Lorentz.

I problemi principali lasciati irrisolti da Maxwell erano l'esistenza di onde elettromagnetiche e l'esistenza di un etere che le sostenga. Inoltre le sue equazioni non avevano soddisfatto la comunità scientifica da un punto di

vista euristico poiché erano state ricavate con grande “disinvoltura” matematica (erano talvolta presenti addirittura errori di calcolo) e poiché non risultavano simmetriche come le equazioni della dinamica.

Per concludere, Maxwell servendosi di un mezzo meccanico, l'etere, aveva unificato in una mirabile sintesi i fenomeni dell'elettricità, del magnetismo e dell'ottica, e aprendo il campo allo studio dei fenomeni elettromagnetici e alla costruzione di macchinari basati sugli stessi (gli “eredi” dei quali saranno analizzati per l'appunto in questa tesi).

Grazie al suo lavoro, i suoi successori arrivarono alla sintesi, in 4 equazioni (più una) che spiegava ogni fenomeno elettromagnetico.

Equazione di Gauss	$\Phi_s(\vec{\mathbf{E}}) = \frac{Q_T}{\epsilon_0}$
Legge di Faraday-Neumann-Lenz	$\Gamma_\gamma(\vec{\mathbf{E}}) = - \frac{\Delta\Phi(\vec{\mathbf{B}})}{\Delta t}$
Teorema di Gauss per il campo magnetico	$\Phi_s(\vec{\mathbf{B}}) = 0$
Teorema di Ampère generalizzato	$\Gamma_\gamma(\vec{\mathbf{B}}) = \mu_0 \left(\sum_j I_j + \epsilon_0 \frac{\Delta\Phi(\vec{\mathbf{E}})}{\Delta t} \right)$
Forza di Lorentz	$\vec{\mathbf{F}} = q(\vec{\mathbf{E}} + \vec{\mathbf{v}} \times \vec{\mathbf{B}})$

1 - Introduzione Generale Ai Campi Elettromagnetici

Per introdurre il concetto di campo elettromagnetico, bisogna partire dai due campi che idealmente, lo compongono: il campo elettrico e quello magnetico.

1.1 – Definizioni dei campi elettromagnetici

1.1.1 – Il Campo Elettrico

Per spiegare cosa sia il campo elettrico, si deve partire dal concetto di carica elettrica, la cui unità di misura nel Sistema Internazionale è il coulomb (simbolo C), dal nome del fisico francese Charles Augustin Coulomb (1736-1806).

Il Coulomb è definito a partire dalla corrente elettrica (costituita dal movimento ordinato delle cariche elettriche) ed è pari alla carica che transita in 1 secondo attraverso la sezione di un circuito percorso da una corrente di 1 ampere (A), l'unità di misura della corrente.

Ma cos'è quindi **la carica elettrica** di una particella? È un valore fisico misurabile che indica, in pratica, quanti elettroni mancano o sono in sovrabbondanza in quella particella, rispetto allo stato neutrale, nel quale protoni ed elettroni della particella si eguagliano.

È quindi una grandezza quantizzata, con un segno, e la cui unità di base è la carica elementare dell'elettrone:

$$e = -1.6021 \cdot 10^{-19} C$$

Una particella carica elettricamente modifica lo spazio che la circonda, influenzando tutte le particelle cariche nello spazio circostante, con una azione a distanza, una forza.

Per capire meglio questo concetto, si pensi ad un pianeta nello spazio: esso esercita una forza su tutti i gravi circostanti, definendo un **campo gravitazionale**.

Allo stesso modo, una particella carica genera un **campo elettrico**, definito come quella zona di spazio influenzata dalla particella, nella quale un'altra particella carica subisce una forza di tipo elettrico, dipendentemente dall'intensità della loro carica, dall'inverso del quadrato della loro distanza, ma anche dalla loro polarità (diversamente dal campo gravitazionale, quello elettrico può essere attrattivo o repulsivo: cariche dello stesso segno si respingono, di segno opposto si attraggono).

Le linee di forza sono linee orientate (entranti con carica positiva, uscenti se negativa) che permettono di rappresentare graficamente il campo elettrico.

Il campo elettrico è un campo vettoriale che modifica lo spazio circostante in modo da influenzare il comportamento di una carica di prova in esso.

Il suo comportamento può essere rappresentato attraverso delle linee di forza, che hanno una direzione ed un verso.

Attraverso la densità di tali linee di forza in ciascun punto dello spazio, viene definita l'intensità del campo elettrico, misurata in [V/m] o [N/C]:

$$E = \frac{F}{q_0}$$

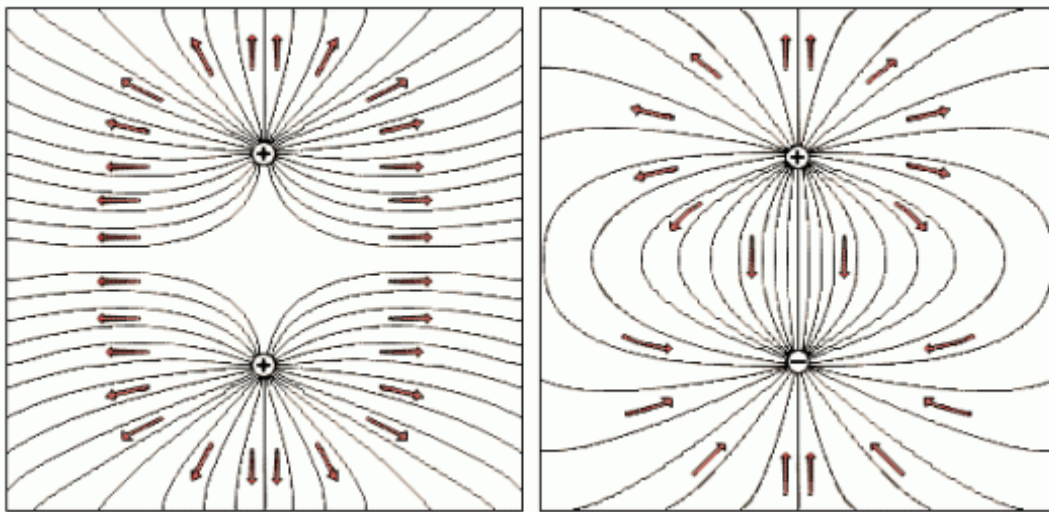


Figura 1.1 - campo elettrico generato da due cariche

Il campo elettrico è un campo vettoriale, e può essere espresso in ogni punto come il gradiente, cambiato di segno, del campo potenziale elettrico, che è invece un campo scalare, e viene definito attraverso linee concentriche, equipotenziali e perpendicolari alle linee di forza del campo elettrico.

$$\mathbf{E}_0 = -\nabla V_0$$

1.1.2 - Il Campo Magnetico

Già nel passato erano note le proprietà di attrarre il ferro della magnetite, e di altre sostanze che possono essere magnetizzate (se messe a contatto con la magnetite).

Ogni magnete ha due poli indivisibili, contrariamente a quanto accade con le cariche elettriche: se tagliassimo un magnete in due, otterremo due magneti, ciascuno con due poli.

Come le cariche elettriche generano un campo elettrico, anche i magneti modificano lo spazio circostante, creando un campo, il campo magnetico, che indicheremo con la lettera **B** [T].

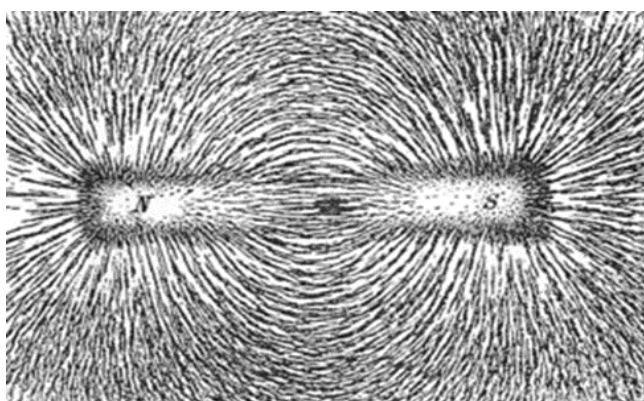


Figura 1.2 – limatura di ferro attorno a magnete

Anch'esso è un campo vettoriale, definito da delle linee di forza, che si possono ad esempio visualizzare grazie a della limatura di ferro, e come si vede nella *figura 1.2* esse sono sempre linee chiuse, in quanto non si può trovare una singola carica magnetica, ma esse sono sempre accoppiate.

Come nel caso del campo elettrico, dove le linee sono più fitte, l'intensità del campo è più intensa.

Un altro modo per identificare queste linee, e forse più vicino alla vita quotidiana, è l'utilizzo di un ago magnetico (una bussola) per identificare la direzione delle linee del campo.

Ma come è già stato accennato nella premessa storica, Oersted scoprì che anche una corrente elettrica (lo spostamento di cariche elettriche lungo un filo conduttore) è in grado di generare un campo magnetico, la cui intensità dipende dalla distanza dal filo:

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \cdot \frac{\mathbf{\hat{I}} \times \mathbf{\hat{r}}}{|\mathbf{r}|}$$

Dove il prodotto esterno è tra il versore che indica la direzione del filo (e quindi della corrente) e il versore che indica la direzione tra il filo e il punto in cui analizzare il campo. Quindi una carica elettrica in movimento genera un campo magnetico.

Ma è anche vero che un campo magnetico influenza il comportamento di una carica elettrica in movimento. Esso esercita sulla carica elettrica una forza, detta di Lorentz:

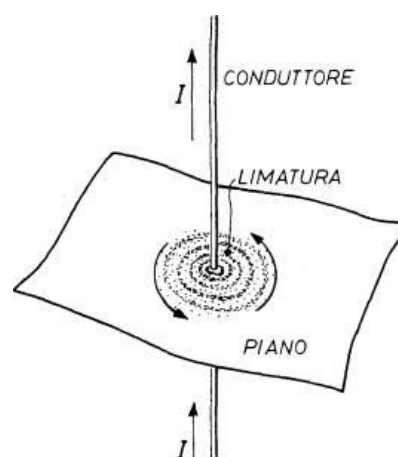


Figura 1.3 - campo magnetico generato da una corrente lungo un filo rettilineo

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Si nota come il modulo di questa forza è massima quando la velocità della carica in movimento è perpendicolare al campo magnetico.

Se in un dato spazio coesistono campo elettrico e magnetico le forze agenti sulla particella saranno due:

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

1.1.3 - Il Campo Elettromagnetico

Abbiamo visto che esiste un'interazione tra i fenomeni elettrici e quelli magnetici, ma non si è ancora detto cosa succede in caso di variazioni di campo, infatti ad una variazione del campo elettrico corrisponde un campo magnetico indotto, e viceversa.

L'intensità del vettore di campo indotto è tanto maggiore quanto più la variazione del campo induttore è rapida.

Ad esempio facendo passare un magnete attraverso una spira di materiale conduttore, si genererà una forza elettromotrice indotta, e quindi una corrente nel materiale conduttore, che a sua volta genererà un campo magnetico indotto che si opporrà alla variazione di flusso di campo magnetico induttore:

$$f.e.m. = - \frac{\Delta\Phi(\vec{B})}{\Delta t}$$

Allo stesso modo, un campo elettrico che varia nel tempo genera un campo magnetico indotto:

$$\Gamma_\gamma(\vec{B}) = \mu_0 \left(\sum_j I_j + \epsilon_0 \frac{\Delta\Phi(\vec{E})}{\Delta t} \right)$$

La direzione del campo indotto, che sia quello elettrico o quello magnetico, è sempre comunque perpendicolare al campo variabile che lo ha indotto e si oppone alla variazione imposta dal campo induttore.

Prendiamo ora in considerazione una carica che facciamo oscillare tra due punti: essa genera un campo elettrico variabile, dato che essa è sempre in

movimento, e un campo magnetico variabile, indotto proprio dalla variazione del campo elettrico.

A sua volta, il campo magnetico indotto (variabile!) induce un campo elettrico variabile in un altro punto, e così via: è il fenomeno della propagazione elettromagnetica, ovvero si genera **un'onda elettromagnetica**, prevista teoricamente dal James Clerk Maxwell e dimostrata poi da Hertz.

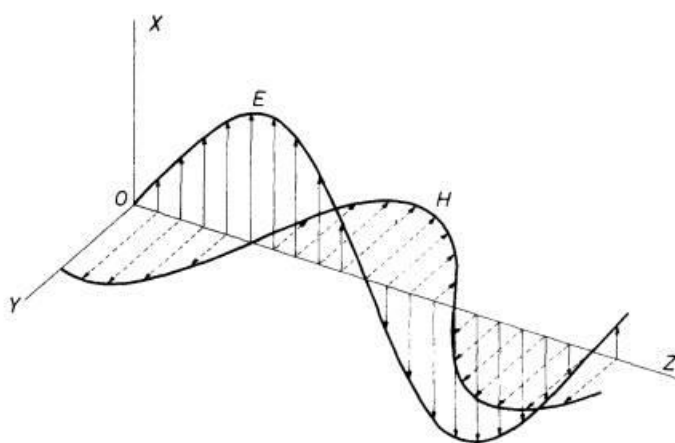


Figura 1.4 propagazione di un'onda elettromagnetica

L'onda elettromagnetica può trasmettersi anche nel vuoto, e continua a propagarsi anche quando il movimento della carica che l'ha generata cessa.

L'oscillazione del campo elettrico e del campo magnetico sono perpendicolari tra loro, ed

entrambi perpendicolari alla direzione della propagazione.

L'intensità dei due campi dipende dall'ampiezza delle oscillazioni: più queste sono ampie, più è alto il contenuto energetico dell'onda elettromagnetica.

Come dimostrato dallo stesso Maxwell, la velocità di propagazione di un'onda elettromagnetica nel vuoto è pari a quella della luce, e proprio da questa affermazione si è in grado di affermare che la luce è un'onda elettromagnetica.

Un'altra osservazione importante da fare è che l'oscillazione dei due campi non avviene sempre nelle stesse direzioni, ma anzi oscillano in tutte le direzioni, rimanendo perpendicolari tra loro.

Un caso particolare è quello delle onde polarizzate, nelle quali i piani di oscillazione sono sempre gli stessi.

Le diverse categorie di onde elettromagnetiche dipendono dalla loro frequenza, o lunghezza d'onda, ad esempio, solo una piccola percentuale dello spettro delle radiazioni elettromagnetiche è luce, visibile dall'occhio umano.

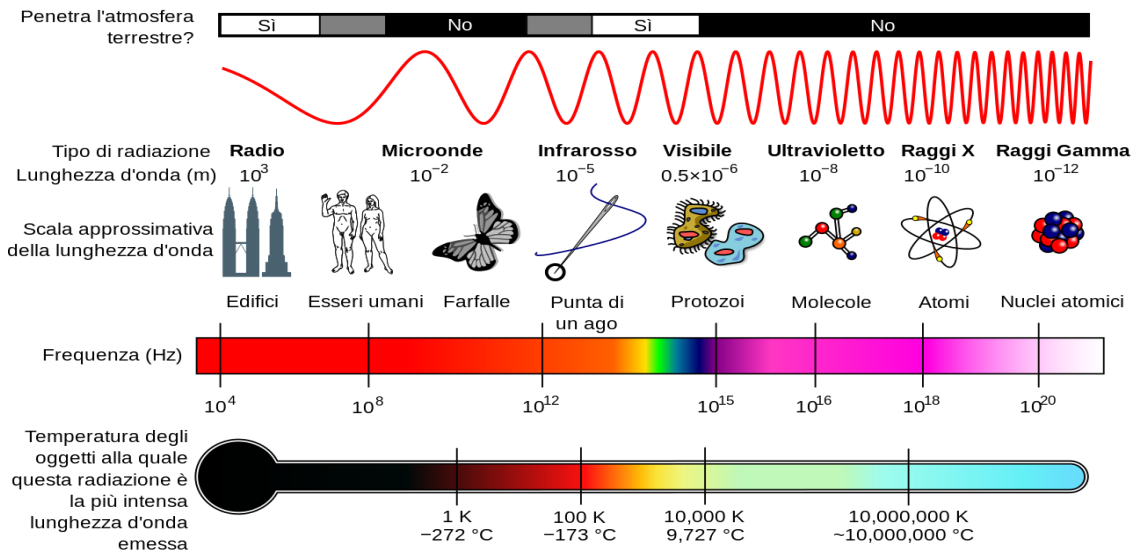


Figura 1.5 classificazione delle onde elettromagnetiche in base alla lunghezza d'onda (con esempi relativi ad oggetti di dimensione nota), alla frequenza e alla temperatura alla quale sono emesse più abbondantemente.

Le onde radio, e tutte le onde elettromagnetiche fino alla luce visibile, non hanno abbastanza energia per strappare elettroni ai materiali che colpiscono, e per questo motivo vengono dette “**radiazioni non ionizzanti**”. Diversamente da queste, più ci si sposta verso l'ultravioletto e i raggi gamma, più le onde elettromagnetiche diventano **ionizzanti**, e quindi anche tanto più pericolose (almeno nell'immediato) per gli organismi viventi.

1.1.4 – campo vicino e campo lontano

Una cosa importante nello studio dei campi elettromagnetici e quindi in una loro misurazione, è la distanza tra questi e il punto di osservazione, infatti si individuano due tipi di configurazione:

- In condizioni di **campo vicino**: l'onda viene studiata come un'onda sferica, e le misure di campo elettrico e magnetico devono essere eseguite in maniera indipendente.

Come specificato più avanti, i campi con frequenza estremamente bassa, gli ELF, si trovano sempre in condizione di campo vicino, in quanto si estinguono molto velocemente con la distanza dalla sorgente.

- In condizioni di **campo lontano** è possibile misurare solo uno dei campi, ad esempio quello elettrico, **E** e ricavare da esso il campo magnetico **H**.

Si considerano le onde come piane uniformi, ovvero la condizione in cui le oscillazioni dei campi elettrici e magnetici sono sinusoidali, in fase fra loro e ortogonali alla direzione di propagazione

Quanto detto sulle relazioni tra E ed H si traduce in una formula pratica:

$$E = 377 H$$

Dove 377 indica il valore dell'impedenza intrinseca nel vuoto $\eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$

È chiaro che le due condizioni non hanno un confine netto, ma esso va scelto in caso di misurazioni, ed è definito come il massimo tra λ e $2d^2/\lambda$. λ è la lunghezza d'onda del segnale da misurare e d la dimensione lineare massima della sorgente. Solitamente viene scelta come linea di demarcazione tra campo vicino e lontano, la distanza di $\lambda/6$. In alta frequenza ci troveremo quindi a misurare i campi elettromagnetici considerando solamente uno dei due (E o B).

Si ricorda che la frequenza è collegata alla lunghezza d'onda dalla relazione

$$\lambda = \frac{v}{f}; \text{ dove } v \text{ è la velocità di propagazione dell'onda, pari a quella della luce.}$$

1.2 - Le Onde Elettromagnetiche Nell'ambiente

L'ambiente nel quale viviamo, è attraversato da una notevole quantità di onde elettromagnetiche, di diverse lunghezze d'onda e di diversa provenienza, che contribuiscono a generare un "rumore elettromagnetico di fondo", dato dalla sovrapposizione di tutte queste onde, e che dall'inizio dell'era elettrica nel XX secolo, è aumentato a dismisura.

La prima categoria di fenomeni che contribuiscono alla generazione di questo fondo elettromagnetico sono quelli di origine naturale: i raggi UV emessi dalla nostra stella, il sole; il campo magnetico terrestre, che ci protegge proprio dalle radiazioni più dannose emesse dal sole e che è prodotto probabilmente da correnti nel nucleo del nostro pianeta; ma anche alcuni fenomeni vulcanici possono essere una concausa del rumore elettromagnetico di fondo.

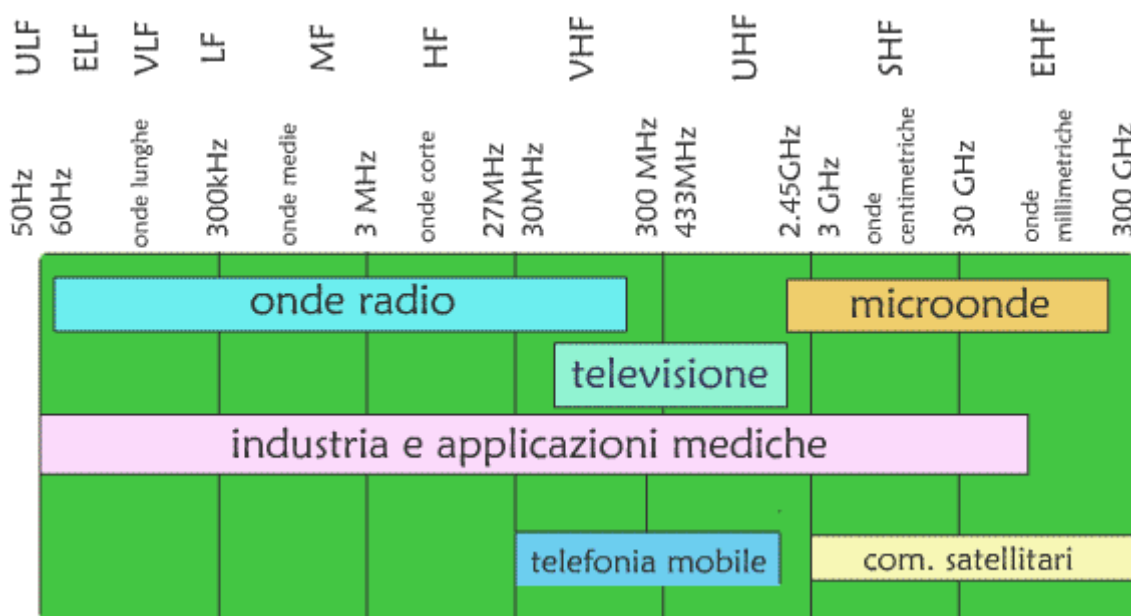
Anche se di sicuro interesse dal punto scientifico, non è nostro obiettivo esaminare i campi elettromagnetici naturali, e ci concentreremo sull'analisi dei campi elettromagnetici artificiali e sui loro effetti sugli organismi viventi, in particolare sui lavoratori, negli ambienti di lavoro.

Il “fondo elettromagnetico artificiale” viene prodotto dalle varie applicazioni tecnologiche di cui si serve la società moderna. Si pensi ai cellulari (890-920 MHz in Italia), le onde radio (le più comuni vanno dai 30kHz ai 3GHz), al Wi-Fi (qualche GHz di frequenza), agli elettrodotti per la trasmissione dell'energia elettrica, alle cabine di trasformazione, agli impianti industriali e di telecomunicazione e in generale dispositivi elettrici ed elettronici di comune utilizzo.

Il fondo elettromagnetico artificiale di origine antropica contribuisce in maniera rilevante alla costituzione del fondo elettromagnetico terrestre, o quantomeno a quello urbano.

Infatti il fondo antropico è particolarmente intenso nelle aree urbane e industriali dove viene generato, ma anche nelle aree rurali e più distanti dalle aree industrializzate questo fondo elettromagnetico artificiale non è completamente assente.

L'escursione in frequenza del rumore di origine antropica è schematizzata come segue:



Data la grande escursione in termini di frequenza delle emissioni elettromagnetiche, non sono ancora disponibili dei modelli di distribuzione temporali e spaziali delle stesse.

Prima di andare ad indagare i possibili effetti sulla salute dei lavoratori che queste radiazioni hanno, è bene distinguere i tipi principali di emissioni in base alla frequenza, perché, come vedremo in seguito, essa è uno dei parametri discriminativi nello studio delle onde elettromagnetiche e dei loro effetti.

1.2.1 - Banda ELF: Extremely Low Frequencies (3 Hz - 3 KHz)

La principale sorgente di campi elettromagnetici artificiali in questa banda è costituita dagli elettrodotti, intendendo l'insieme delle tecnologie preposte al trasporto, alla trasformazione e alla distribuzione dell'energia elettrica alla frequenza di 50 Hz.



Essi rappresentano la tecnologia più significativa e numerosa per impatto sanitario e ambientale, ed è infatti di questo impatto che si occuperanno le misurazioni e le indicazioni di prevenzione-protezione proposte in questa tesi. La tecnica usata per il trasporto dell'energia elettrica favorisce l'impiego di tensioni elevate e correnti relativamente basse, allo scopo di minimizzare le perdite e l'impiego dei materiali.

In questa definizione sono escluse le grandi e piccole utenze private o industriali, ne fanno invece parte i sistemi di trazione ferroviaria, in particolare i sistemi ad alta velocità (2x25KV).

A 50 Hz ci troviamo in una situazione di campo vicino, quindi i campi elettrico e magnetico sono indipendenti l'uno dall'altro: l'intensità del campo elettrico, in [V/m] generato da una linea dipende dalla tensione nominale di esercizio mentre l'intensità del campo magnetico e quindi dell'induzione magnetica in [T], dipende invece dalla corrente.

L'intensità dei campi elettrici e magnetici delle linee di trasmissione decadono rapidamente con la distanza.

In questa sede si accenna solamente al fatto che la fascia di rispetto (distanza minima da abitazioni o ambienti frequentati da persone) dettata dalla normativa vigente, per una linea di trasmissione può essere calcolata attraverso una formula empirica:

$$R = 0.34 \cdot \sqrt{S \cdot I}$$

Fondamentalmente la fascia di rispetto dipende dalla potenza e dalla corrente circolante nella linea.

1.2.2 - Bande VLF, LF, MF e HF: very low, low, medium e high frequencies (3 kHz - 30 MHz)

Tutti gli apparati di trasmissione per le radiocomunicazioni, ovvero i dispositivi che impiegano oscillatori elettrici, sono sorgenti di emissione elettromagnetica. In molti casi tale emissione è indesiderata e non sempre è facile ed economico schermare queste sorgenti per rispettare la normativa.

Le principali sorgenti in questo campo di frequenza in termini di potenza trasmessa riguardano le stazioni radio AM e alcune applicazioni industriali. Tra le sorgenti a radiofrequenza da menzionare trovano posto sicuramente i riscaldatori a induzione magnetica e a perdita dielettrica nei processi di fusione di termo-saldature.

Anche se meno intense e problematiche come sorgenti in questa banda troviamo gli apparati industriali, il traffico automobilistico, gli elettrodomestici e gli impianti di illuminazione fredda. I monitor dei computer e i ricevitori televisivi a tubo catodico sono tra le principali sorgenti “casalinghe”, soprattutto per le distanze ravvicinate di utilizzo e i lunghi tempi di esposizione, o per meglio dire erano (infatti oggi troviamo schermi piatti solitamente a cristalli liquidi e quindi con un funzionamento totalmente differente dalla tecnologia del tubo catodico, che prevedeva l’accelerazione degli elettroni in direzione proprio dello schermo sul quale vengono proiettati, con l’emissione di altre radiazioni una volta che questi ultimi vengono per l’appunto bruscamente fermati. Si ricordi infatti quanto detto riguardo i campi elettromagnetici indotti dalla rapida variazione di un campo induttore).

1.2.3 - Bande VHF e UHF: very-high e ultra-high frequencies (30 MHz - 3 GHz)

Emittenti	Banda	Frequenza (MHz)
TV	VHF	55.2 - 88
Radio FM	VHF	88 - 108
TV	VHF	174 - 223
TV	UHF	470 - 590
TV	UHF	614 - 838
TACS (telefonia mobile)	UHF	910 - 950
GSM (telefonia mobile)	UHF	925 - 960
GSM-DCS (telefonia mobile)	UHF	1805 - 1880
UMTS (telefonia mobile)	UHF	2000

Le principali categorie di sorgenti sono le tecnologie di telecomunicazioni, tra cui le emittenti radio FM (1-10 kW di potenza emessa in antenna), le emittenti televisive (fino al kW) e le stazioni radio base per la telefonia mobile (fino a qualche kW).

Gli intervalli di frequenza di questi campi elettromagnetici, sono quelli assegnati ai servizi per le telecomunicazioni e le emittenti si estendono più o meno omogeneamente nel territorio.

In questo campo di frequenze la principale sorgente di rumore elettromagnetico **non localizzato** è prodotta dagli apparati di accensione dei motori delle autovetture. Radar e trasmissioni satellitari non sono così influenti come gli altri sistemi di telecomunicazioni, in quanto i radar hanno una diffusione poco capillare sul territorio, mentre le trasmissioni satellitari sfruttano antenne direttive.

Per quanto riguarda le sorgenti domestiche, telefonia cordless, forni a microonde ecc. non pesano eccessivamente poiché, nel loro corretto funzionamento, sono a bassa emissione e opportunamente schermati. Per quanto riguarda le applicazioni scientifiche e mediche

che sfruttano queste frequenze per fini sanitari, esse non hanno grande impatto fuori dalle sedi proprie.

1.2.4 - Bande SHF e EHF: superhigh e extrahigh frequencies (3 - 300 GHz)
Questa banda è poco coperta da rumore artificiale e il motivo è da ricercare nella complessità di questi sistemi: mentre per frequenze più basse è relativamente semplice costruire oscillatori elettrici, linee di trasmissione, antenne, ecc., in questo campo di frequenze che si estende per due ordini di grandezza, non è altrettanto pratico costruire magnetron, maser (oscillatore o generatore di microonde), guide d'onda e antenne. Inoltre, a causa della stessa natura dei processi fisici che governano questi fenomeni di emissione e la loro propagazione, le onde elettromagnetiche irradiate sono estremamente direzionali.

2 - Effetti sulla salute

2.1 – Studi contrastanti

Mentre viene scritto questo elaborato, il fatto che esista o meno una correlazione tra l'esposizione a campi elettromagnetici ed un aumentato rischio di patologie nel lungo periodo nell'uomo è ancora fortemente dibattuto.

La valutazione dei rischi per la salute dell'uomo dei campi elettromagnetici non è affatto semplice, in quanto esistono sull'argomento moltissime pubblicazioni internazionali, molte volte in contraddizione tra loro, o anche incomplete e prive di un rigore scientifico.

Bisogna anche ricordare che queste ricerche hanno una forte connotazione multidisciplinare, che implica per forza di cose una maggiore complessità, inoltre è difficile valutare l'effetto delle onde elettromagnetiche isolato da tutti gli altri possibili fattori scatenanti una patologia, in particolar modo quando parliamo di effetti a lungo termine.

Le onde elettromagnetiche interagiscono con i sistemi biologici in vari modi, e il modo e gli effetti derivanti da queste interazioni dipendono, come abbiamo già visto da intensità e frequenza delle onde, ma anche, chiaramente, dal tempo di esposizione.

Frequenze molto alte hanno una capacità di penetrazione dei tessuti di pochi millimetri, mentre più le frequenze sono basse, più il potere penetrativo aumenta.

È quindi chiaramente molto importante, quando si parla di “elettrosmog”, non confondere e accomunare sorgenti di onde elettromagnetiche differenti, in quanto gli effetti, come vedremo, sono molto diversi.

La maggior parte dei tessuti biologici presenta le caratteristiche tipiche dei materiali conduttori, quindi quando un individuo è esposto a un campo elettrico, magnetico o elettromagnetico, si manifestano delle interazioni tra le correnti presenti nel sistema biologico, e i campi a cui è sottoposto.

Bisogna sottolineare che “interazione” non significa per forza “danno”.

2.2 - L'interazione Con I Sistemi Biologici

L'interazione delle onde elettromagnetiche con i sistemi biologici può portare o meno una modificazione degli stessi. Quando ciò accade si parla di *effetto biologico*, ovvero

una variazione fisiologica rilevabile o notevole in un sistema biologico, che non vuol per forza dire un effetto negativo per l'organismo nel quale avviene tale modificazione.

Se l'effetto biologico non può essere compensato dall'organismo, allora si parla di *effetto sanitario*, ovvero di un effetto biologico che porta un danno al sistema biologico.

A loro volta, gli effetti sanitari si suddividono in *effetti diretti*, quando hanno a che fare con una interazione tra il campo elettromagnetico e il corpo del soggetto e in *effetti indiretti*, quando questi sono l'effetto del contatto (più o meno violento) tra il soggetto e altri oggetti sottoposti all'azione del campo elettromagnetico.

Infine si suddividono gli effetti sanitari in *effetti acuti*, quando essi siano immediatamente rilevabili, rilevabili oltre una soglia di esposizione o in *effetti cronici*, per i quali non sussiste una soglia di esposizione e i quali effetti si determinano nel lungo periodo: l'esempio più noto sono per l'appunto i tumori.

Abbiamo quindi introdotto i concetti di:

- Effetto biologico
- Effetto sanitario
- Danni diretti
- Danni indiretti
- Effetti acuti, quasi sempre certi e verificabili
- Effetti cronici, ancora indagini di studi

Come abbiamo già visto, le onde elettromagnetiche vengono classificate in base a tre parametri: lunghezza d'onda (la lunghezza in cm che separa due creste successive dell'onda), frequenza (in Hz, è l'inverso del periodo T, che misura in secondi la distanza tra due creste successive dell'onda) ed energia (dipendente dall'ampiezza dei due campi E ed H).

Proprio in base a quest'ultima, per quanto riguarda frequenze superiori a 10^{15} Hz possiamo definire le radiazioni ionizzanti, che per la loro alta energia riescono a modificare lo stato elettronico degli elementi (per l'appunto a ionizzarli) e quindi a renderli carichi positivamente o negativamente, e quelle non ionizzanti, che non hanno abbastanza energia per rompere i legami atomici, ma hanno comunque un'interazione coi sistemi biologici, e questa interazione può anche causare danni.

Gli effetti acuti dell'esposizione a campi elettrici e magnetici ELF ed a campi elettromagnetici a radiofrequenze e microonde sono oggettivi e avvengono solo per valori superiori ad un preciso valore di soglia della grandezza in questione. Sono inoltre accertabili sperimentalmente, mentre sugli effetti a lungo termine gli effetti sono ancora discussi e non certi.

Una prima suddivisione degli effetti acuti può essere la seguente:

- per quanto riguarda i campi elettrici e magnetici statici ed ELF ed i campi elettromagnetici a **frequenze minori di 1 MHz: induzione di cariche e correnti elettriche** e conseguente stimolazione di tessuti nei quali le cellule sono elettricamente eccitabili, come le fibre muscolari e i neuroni
- per frequenze **maggiori di 1 MHz: riscaldamento dei tessuti**, dovuto alla trasformazione dell'energia elettromagnetica in energia termica per campi elettromagnetici

Come abbiamo già specificato, per quanto riguarda gli effetti sanitari a lungo termine, non esistono ricerche che confermino con certezza la correlazione tra esposizione alle onde elettromagnetiche e dei conseguenti danni alla salute delle persone.

Bisogna quindi basarsi su studi epidemiologici, dove si ricerca un eventuale rapporto causa-effetto, che è chiaramente difficilmente individuabile.

Ribadendo ancora una volta che questi effetti sono ad oggi sconosciuti, essi potrebbero includere:

- sintomi più o meno soggettivi (affaticamento, irritabilità, difficoltà di concentrazione, diminuzione della libido, cefalee, insonnia, impotenza etc.);
- patologie con segni oggettivi ed in genere gravi (tumori, malattie degenerative).

Abbiamo precedentemente elencato i vari tipi di campi in base alla loro frequenza, analizziamoli ora nuovamente, in base agli effetti noti o possibili che essi potrebbero avere.

2.2.1 – Metodi di analisi del rischio da radiazioni elettromagnetiche

Prima di parlare dei rischi veri e propri collegati alle radiazioni elettromagnetiche, è bene fare una breve introduzione al metodo di analisi del rischio adottato dagli autori varie ricerche citate in seguito.

Innanzitutto bisogna parlare delle grandezze prese in considerazione.

Per gli effetti sanitari certi, che sono solamente quelli acuti, vengono usate grandezze dosimetriche, ovvero grandezze che sono direttamente collegate agli effetti sanitari sul corpo umano, esse sono:

- **SAR**: “rateo di assorbimento specifico”, esprime il rilascio di energia all’interno del corpo, e si esprime in W/kg
- **Densità di corrente indotta**: esprime la quantità di corrente che viene indotta nel corpo da campi magnetici, solitamente statici

Le grandezze dosimetriche, avendo a che fare con effetti ormai accertati, hanno più a che fare con la valutazione del rischio.

Ci sono poi le grandezze radiometriche, che sono comunque chiaramente collegate alle dosimetriche, ma in un approccio cautelativo, ovvero si fa in modo che *il livello di una di queste grandezze non possa mai implicare una grandezza dosimetrica pericolosa nell'immediato per il corpo umano.*

Esse sono:

- campo elettrico **E**
- induzione magnetica **B**
- campo magnetico **H**
- potenza **S**

Queste sono le grandezze che di solito vengono misurate negli studi epidemiologici per studiare gli eventuali effetti sanitari a lungo termine dovuti alla presenza di onde la cui intensità dei succitati parametri superi determinati valori.

2.2.2 - Misura del rischio: odds ratio e rischio relativo

Ma come avviene la misura del rischio nell'investigazione da parte della comunità medico-scientifica di un qualsiasi rapporto causa-effetto? Come si fa cioè a quantificare questo tipo di rapporto? Parlando in generale, nel procedimento di valutazione dell'esistenza di una associazione dobbiamo considerare due ovvie variabili:

1. la presunta causa o esposizione (variabile indipendente)
2. l'effetto (variabile dipendente, così detta in quanto appunto subordinata alla variabile indipendente). In genere l'effetto è rappresentato dalla comparsa della malattia.

L'esistenza di una associazione può essere accertata in due modi: o attraverso studi **retrospettivi** (o studi caso-controllo) o studi **prospettivi** (o studi di coorte). Negli studi retrospettivi si confronta la frequenza di esposizione nei malati («casi») con quella nei non-malati («controlli»). Negli studi prospettivi si confronta la frequenza di malattia negli esposti con quella nei non-esposti, avendo definito “esposti” coloro che sono sottoposti alla presenza di un fattore che può ipoteticamente causare un certo effetto.

Se lo studio è retrospettivo si calcola l'odds ratio, se lo studio è prospettivo si calcola il rischio relativo.

- **Studio retrospettivo: l'odds ratio**

$$OR = \frac{P(\text{malattia}|\text{esposti})/(1 - P(\text{malattia}|\text{esposti}))}{P(\text{malattia}|\text{non esposti})/(1 - P(\text{malattia}|\text{non esposti}))}$$

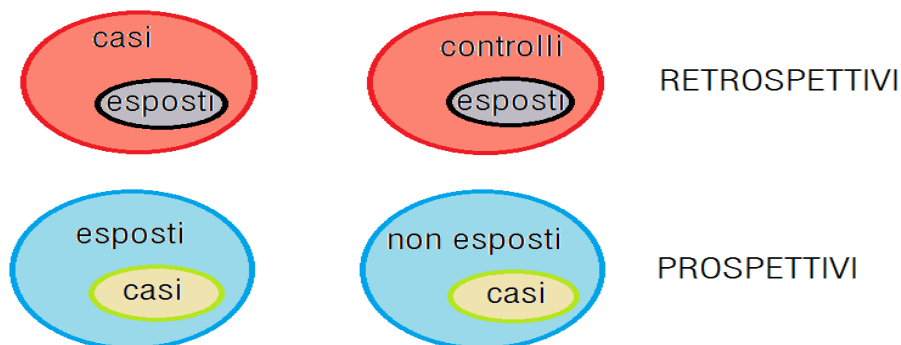
Il metodo da utilizzare per la misurazione dell'associazione in uno studio retrospettivo è il calcolo del cosiddetto «odds ratio (OR)» o «rapporto degli odd» o «rapporto incrociato».

Per comprendere questa misura, occorre introdurre il concetto di "odds", traducibile con “probabilità a favore”. Gli odds sono rappresentati dal rapporto fra il numero di volte in cui l'evento si verifica (o si è verificato) e il numero di volte in cui l'evento non si verifica (o si è verificato).

- **Studio prospettivo: il rischio relativo**

$$RR = I(\text{esposti})/I(\text{nonesposti})$$

Diversamente da uno studio retrospettivo, uno studio prospettivo inizia suddividendo la popolazione in esposti e non esposti e poi osservando nel tempo quanti fra gli esposti (e quanti fra i non-esposti) si ammalano.



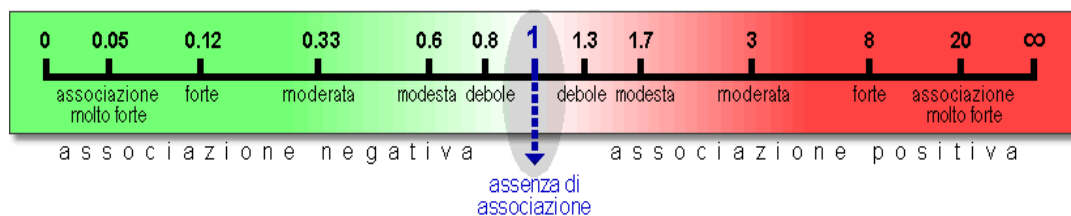
Interpretazione dell'odds ratio e del rischio relativo

L'interpretazione è identica sia che si tratti di valori di OR che di valori di RR. Dapprima occorre sottolineare entrambi possono assumere valori *teorici* compresi fra 0 e +infinito.

È intuitivo che un valore =1 indica assenza di associazione tra malattia ed esposizione.

Un valore <1 indica una associazione negativa (cioè il fattore può proteggere dalla malattia) mentre un rapporto >1 indica l'esistenza di una associazione positiva (il fattore può causare la malattia). Più i valori si discostano da 1, in un senso o nell'altro, più l'associazione è forte.

Schema di interpretazione dei valori di Rischio Relativo e Odds Ratio



A rigore, l'odds ratio non è un'autentica misura del rischio in quanto si riferisce alla probabilità di avere già una malattia, mentre nel termine "rischio" è implicita l'idea di un evento che si verificherà in futuro. Tuttavia, se si suppone che la durata media della malattia negli esposti sia simile a quella nei non-esposti (e che la malattia non influenzi lo stato di esposizione), allora l'odds ratio rappresenta una buona misura del rischio relativo.

In statistica, quando si stima un parametro, come lo sono l'OR e il RR, la semplice individuazione di un singolo valore è spesso non sufficiente. È opportuno allora accompagnare la stima di un parametro con un intervallo di valori plausibili per quel parametro, che viene definito **intervallo di confidenza (o intervallo di fiducia): IC**.

L'IC ci serve perché quando valutiamo una distribuzione statistica, troveremo un valore medio, ma in realtà la maggior parte dei valori trovati non saranno quel valore medio, bensì si troveranno in un intervallo limitato attorno ad esso.

Dato quindi un IC del 95% per un valore v , questo significa che "vi è un livello di confidenza del 95% che v sia nell'intervallo IC".

È però bene specificare che per considerare una sostanza, o un determinato fattore, causa della malattia, bisogna che il metodo statistico utilizzato rispetti i cosiddetti cinque principi di causalità:

- consistenza (la stessa associazione è stata dimostrata in diversi studi)
- forza (misurabile in una varietà di modi)
- specificità (misura quanto una esposizione induce una ben determinata malattia)
- temporalità (l'esposizione deve precedere la malattia)
- coerenza (l'associazione deve essere biologicamente plausibile)

2.2.3 - Gli effetti dei campi elettrici e magnetici statici

Come abbiamo già detto l'azione fondamentale e certa di questi campi sui sistemi biologici è l'induzione di cariche e correnti elettriche, ma solo, per i principi dapprima esposti, per soggetti in movimento nel campo.

È stato però provato che si verificano anche altri effetti che potrebbero portare a danni per la salute anche se esclusivamente ad intensità di campo molto elevate: ad esempio le interferenze con pacemaker od altri dispositivi elettronici, lo spostamento di impianti metallomagnetici dentro il corpo umano.

1. Per quanto riguarda il campo elettrico statico, se escludiamo le correnti elettriche indotte da campi particolarmente intensi, non è un pericolo per la salute.
2. Considerando invece i campi magnetici statici molto intensi, essi possono alterare il flusso sanguigno o modificare i normali impulsi nervosi. Stiamo parlando di intensità praticamente impossibili da incontrare nella vita quotidiana, dell'ordine di diversi tesla.

Alcune indagini mediche (es. risonanza magnetica) e alcune lavorazioni (es. produzione di corrente continua, impianti elettrolitici, produzioni di magneti permanenti) possono causare esposizioni al di sopra dei livelli normali.

Vi è invece una mancanza di dati a lungo termine sui possibili effetti di esposizioni prolungate ai campi magnetici statici ai livelli che si incontrano negli ambienti di lavoro.

2.2.4 - Gli effetti dei campi elettromagnetici a ELF

Come è già stato detto, questa tipologia di campi sono quelli che ci interessano più specificatamente, in quanto essi sono, negli ambienti di lavoro, i più presenti.

2.2.4.1 – effetti a breve termine

Anche se vi è tutta una gamma di effetti *diretti* a breve termine, essi solitamente si manifestano ad intensità di campo molto elevate, essi comprendono:

- formicolio o dolore (stimolazione nervosa)
- Spasmi muscolari
- Disturbi del ritmo cardiaco
- Lievi alterazioni delle funzioni cerebrali
- Fosfeni (percezione di lampi di luce nel campo visivo)

Gli effetti a breve termine più consistenti a livello di gravità nell'incidenza, sono quelli *indiretti*, ovvero quegli effetti che hanno a che fare con apparecchiature elettroniche all'interno del corpo umano, come ad esempio pacemaker o altre protesi metalliche.

Essi sono quindi associati alla capacità di un apparato elettrico o elettronico, di generare in un altro apparato disturbi elettromagnetici che possano creare problemi alla salute di particolari categorie di persone o problemi di sicurezza.

Nell'ottica della sicurezza negli ambienti di lavoro e di vita, la questione assume rilievo particolarmente in tre ambiti:

1. Gli effetti su apparati elettronici preposti alla **segnalazione di allarme** per eventi ad alto rischio, e in generale alla gestione di processi industriali a potenziale rischio di incidente;
2. Gli effetti su **protesi biomedicali** (es. pace-maker, protesi metalliche etc.) direttamente indossate dal soggetto interessato, sia lavoratore sia paziente.
3. l'immunità di **apparati diagnostici o terapeutici**, dal cui corretto funzionamento dipende la qualità della prestazione, qualità che in taluni casi può rivestire un ruolo critico (es. apparati di supporto vitale);

Va sottolineato che tali effetti possono insorgere anche a valori di esposizione inferiori ai livelli d'azione fissati per i lavoratori.

- **Interferenza con pacemaker**

I pacemaker sono dispositivi impiantabili in grado di rilevare l'attività elettrica del cuore e di stimolarla quando questa è insufficiente.

Allo scopo di prevenire interferenze è pertinente riportare i livelli di sicurezza raccomandati dall'ICNIRP (Linee Guida 2009) per i campi magnetici statici e dall'American Conference of Government Industrial Hygienist (ACGIH, 1999) per i campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz (valori efficaci):

- campi magnetici statici: $B = 0,5 \text{ mT}$
- campi a 50 Hz: $E = 1 \text{ kV/m}$; $B = 100 \text{ } \mu\text{T}$

La possibilità di interferenze elettromagnetiche può essere efficacemente ridotta seguendo queste indicazioni pratiche:

- fornire una corretta informazione ai lavoratori;
- apporre adeguata segnaletica di avviso in prossimità di sistemi emittenti radiazione elettromagnetica in grado di interferire con i pace maker;
- creare percorsi alternativi per i portatori di pacemaker nel caso di sistemi di prossimità (metal detector, sistemi antitaccheggio), quale misura di cautela;
- interdire l'accesso a portatori di pacemaker alle sorgenti di CEM potenzialmente interferenti.

- **Interferenze con dispositivi e protesi metalliche**

Per quanto riguarda i potenziali rischi dovuti all'interferenza di campi magnetici statici con dispositivi o materiali ferromagnetici impiantati, le Linee Guida ICNIRP del 2009 raccomandano di indicare con speciali segnali di avvertimento le aree con induzioni magnetiche superiori a 0,5 mT, valore al di sotto del quale non è verosimile che si manifestino effetti come lo spostamento di schegge metalliche o parti metalliche ferromagnetiche di protesi.

2.2.4.2 – effetti a lungo termine

Per quanto riguarda studi autorevoli sul problema di danni alla salute derivanti dall'esposizione più o meno prolungata alle radiazioni elettromagnetiche, il primo che correla direttamente la vicinanza di linee aeree, e quindi di campi ELF, alle abitazioni, ad un'aumentata mortalità per tumori (sia infantili che nell'adulto) è quello eseguito nel 1979 da Wertheimer e Leeper.

Emerse l'ipotesi che un aumentato valore di campo magnetico provocasse tumori, in particolare infantili. Le case supposte ad alto rischio vennero classificate come "abitazioni ad alta configurazione di corrente".

Qual è quindi ad oggi l'opinione della scienza? Per scienza intendiamo le maggiori organizzazioni in ambito sanitario a livello mondiale: *International Commission on non-ionizing radiation protection (ICNIRP)*; *Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO)*; *Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC)*.

L'OMS ha presentato nel 2001 una valutazione (effettuata congiuntamente alla IARC) degli effetti cancerogeni dei campi ELF.

Quindi, per quanto riguarda le Basse frequenze (ELF) in ambito di esposizione residenziale viene segnalata una possibile associazione con la leucemia infantile (IARC 2002, possibilmente cancerogeno 2B).

"Possibilmente cancerogeno per l'uomo" è una classificazione usata per connotare un agente per il quale vi sia una limitata evidenza di cancerogenicità nell'uomo ed un'evidenza meno che sufficiente negli animali da laboratorio (in questa classe ad esempio vi sono: il caffè, i gas di scarico delle auto a benzina, i fumi di saldatura).

In particolare, la classificazione dell'OMS riguardante le sostanze (gli agenti) studiati per la loro possibile cancerogenicità, è quella riportata nella seguente tabella.

1	L'agente è cancerogeno per l'uomo
2A	L'agente è probabilmente cancerogeno per l'uomo
2B	L'agente è possibilmente cancerogeno per l'uomo
3	L'agente non è classificabile per quanto riguarda la cancerogenesi nell'uomo
4	L'agente è probabilmente non cancerogeno per l'uomo

La valutazione del gruppo a cui assegnare un agente fisico o qualunque tipologia di fenomeno, viene fatta seguendo delle linee tipo, approssimabili con la seguente tabella.

Essa non è un metodo rigido di valutazione, ma fa capire abbastanza bene come queste classi di rischio vengano assegnate.

Evidenza di cancerogenicità nell'uomo		Evidenza di cancerogenicità nell'animale da esperimento			
		sufficiente	limitata	inadeguata	assente
sufficiente		gruppo 1	gruppo 1	gruppo 1	gruppo 1
limitata		gruppo 2A <i>(gruppo 1)</i>	gruppo 2B <i>(gruppo 2A)</i>	gruppo 2B <i>(gruppo 2A)</i>	gruppo 2B
inadeguata		gruppo 2B <i>(gruppo 2A)</i> <i>(gruppo 3)</i>	gruppo 3 <i>(gruppo 2B)</i>	gruppo 3 <i>(gruppo 2B)</i>	gruppo 3 <i>(gruppo 4)</i>
assente		gruppo 3	gruppo 3	gruppo 3	gruppo 4

Per quanto riguarda un'altra organizzazione impegnata a livello internazionale nello studio degli effetti delle radiazioni non ionizzanti si fa riferimento all'ICNIRP, che pubblica nel dicembre 2001 la rassegna sui dati esistenti in letteratura riguardo ai campi ELF.

Le conclusioni di tale rassegna sono state effettivamente accertate negli anni successivi da altri studi e rassegne. Prendiamo quindi tali conclusioni a riferimento, citandole:

<<a) La qualità degli studi epidemiologici è migliorata sempre più e molti degli studi recenti su leucemia infantile e sul cancro associati ad esposizione occupazionale sono vicini al limite di quello che può realisticamente essere raggiunto in termini di portata dello studio e rigore metodologico.

b) La valutazione dell'esposizione costituisce una difficoltà particolare per l'epidemiologia dei campi elettromagnetici, da vari punti di vista:

- 1) l'esposizione è impercettibile, diffusa, ha molteplici sorgenti e può variare largamente nel tempo e anche per piccole distanze dalle sorgenti;*
- 2) in genere il periodo di esposizione, rilevante per gli effetti indagati, è precedente alla data in cui le misurazioni realisticamente possono essere ottenute e di durata e con periodo di induzione ignoti;*
- 3) non è nota una misura appropriata dell'esposizione cumulativa e non vi sono dati biologici da cui derivarla.*

c) *In assenza di evidenze sperimentali e considerate le incertezze nella letteratura epidemiologica, non esiste alcuna malattia cronica per la quale una relazione etiologica con i campi elettromagnetici possa essere stabilita.*

d) *Sono stati presentati in abbondanza dati di elevata qualità su cancro infantile, come anche per la leucemia dell'adulto ed i tumori cerebrali in rapporto all'esposizione occupazionale. Fra tutte le risultanze valutate negli studi epidemiologici sui campi elettromagnetici, la leucemia infantile in relazione ad esposizioni postnatali superiori a 0,4 μ T è l'unico caso per il quale vi sia la maggiore evidenza di associazione. **Il rischio relativo, in un'analisi condotta su un pool largamente rappresentativo, è stato stimato pari a 2,0 (intervallo di confidenza al 95% 1,27 - 3,13).** È inverosimile che ciò sia dovuto al caso, ma potrebbe in parte essere dovuto a fattori confondenti (bias). Tale dato è difficile da interpretare, in assenza di un meccanismo conosciuto o di un supporto sperimentale riproducibile. Nella succitata analisi largamente rappresentativa soltanto lo 0.8% di tutti i bambini erano stati esposti a valori superiori a 0,4 μ T. Ulteriori studi sono quindi necessari per disegnare e testare specifiche ipotesi quali le possibili distorsioni legate alla selezione dei soggetti in studio o la misura dell'esposizione.*

'Nella gran parte delle abitazioni, infatti, l'intensità di campo magnetico misurabile è notevolmente inferiore al valore suddetto ma tali intensità possono essere raggiunte e superate in residenze prossime ad importanti sorgenti di CEM (l'esempio più significativo sono gli elettrodotti). Dagli studi epidemiologici è stato stimato che l'1% della popolazione sia esposta a campi elettromagnetici superiori a 0,3-0,4 μ T. Ipotizzando che l'incremento di rischio possa essere attribuito con certezza e totalmente all'esposizione ai CEM e sapendo che il tasso annuale di leucemia infantile (0 - 14 anni) in Italia è circa 4/100000 bambini, nel nostro paese ogni anno meno di 10 leucemie infantili (3 - 7) su circa 430 sarebbero causate da questa esposizione.'

e) *Sulla base dei riscontri epidemiologici, è stata evidenziata una associazione tra la sclerosi laterale amiotrofica e l'esposizione occupazionale a campi elettromagnetici, sebbene il confondimento sia una potenziale spiegazione.*

f) Il cancro del seno, le malattie cardio-vascolari, il suicidio, la depressione rimangono problemi irrisolti. >>

La pubblicazione del 2002 dell'IARC, che sottolinea una limitata evidenza di cancerogenicità in relazione alla leucemia infantile e una evidenza inadeguata per tutti gli altri tipi di tumore, viene confermata dall'organizzazione mondiale per la sanità nel 2007, con studi su uomini, su animali e in vitro.

Anche i due studi epidemiologici più rilevanti per le dimensioni e per la metodologia impiegata che sono stati pubblicati dopo il rapporto NIEHS (Linnet et al. 1998; McBride et al. 1999) vanno contro l'ipotesi di una cancerogenicità dei campi magnetici ELF.

Dal 2005, la pubblicazione di svariate pubblicazioni di studi epidemiologici su popolazioni con diverso grado di esposizione, di studi su animali e in vitro ci informa che il dubbio che esista un aumentato rischio di leucemia nei bambini sottoposti ad un campo magnetico superiore a 0,3 – 0,4 μ T, permane.

Questi studi infatti suggeriscono che nelle popolazioni in cui l'esposizione media è superiore a questi valori, si possa sviluppare **un'incidenza raddoppiata di leucemia**. Essendo studi epidemiologici, nonostante la grande quantità di dati, non si ha la certezza che questo incremento dei casi di leucemia dipenda dai campi magnetici delle ELF o da altri fattori non considerati direttamente. Ma gli effetti su animali dei campi magnetici, anche a valori notevolmente elevati, sono stati nulli, o quantomeno non rilevabili. Per quanto riguarda gli studi in vitro, si è notata una possibile **interazione costruttiva tra sostanze notoriamente cancerogene e la presenza di ELF**.

È bene precisare, che **ad oggi non esiste nessun risultato di laboratorio riproducibile, che dimostri un effetto biologico per campi magnetici al di sotto dei 100 μ T**.

Ancora una volta è quindi chiaro che non possiamo conoscere con certezza gli effetti di queste onde.

2.2.5 - Gli Effetti Dei Campi Elettromagnetici A Radio-Frequenza

2.2.5.1 – *effetti a breve termine*

In questo intervallo di frequenza l'effetto biologico è quello dell'assorbimento di energia all'interno del corpo umano, con conseguente innalzamento della temperatura del tessuto. L'assorbimento di energia viene misurato dalla grandezza SAR (Specific Absorption Rate) la cui unità di misura è il W/kg (watt al chilogrammo).

Gli standard protezionistici attuali ci dicono che non ci sono effetti termici al di sotto di 4 W/kg poiché a tali livelli di esposizione non è associato un innalzamento significativo di temperatura del corpo. Ovviamente, a seconda di quanta energia viene assorbita si ottengono effetti differenziati, che possono andare dall'innalzamento della temperatura corporea di pochi gradi con la conseguente attivazione del sistema di termoregolazione dell'individuo esposto, ad effetti da stress termico, fino a vere e proprie ustioni e necrosi da radiofrequenze.

L'ICNIRP (Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti), che è la massima autorità del campo, fissa gli standard protezionistici che ogni Paese dovrà recepire nella propria normativa.

Considerato che gli effetti noti da esposizione a CEM a RF si riscontrano a partire da 4 W/kg, la Commissione ha diviso per un fattore di sicurezza pari a 10 questo valore, fissando su questa base i **limiti primari per i lavoratori (quindi 0,4 W/kg)**; dividendo per un ulteriore fattore di sicurezza pari a 5 viene fissato il **limite primario per la popolazione (quindi 0,08 W/kg)**.

Poiché però questa grandezza (SAR) non è misurabile in modo diretto si sono individuate delle grandezze fisiche misurabili (il campo elettrico E ed il campo magnetico H), e conseguentemente dei limiti derivati, che, se rispettati, ci danno la garanzia che non vengano superati i limiti primari. In altri termini, **alle varie frequenze sono fissati valori limite per il campo elettrico e per il campo magnetico sia per i lavoratori che per la popolazione**, che non sono in grado di produrre effetti termici.

Quindi, come già detto per le radiazioni elettromagnetiche in generale, le RF possono produrre effetti biologici che dipendono dalla frequenza e dall'intensità del campo.

Non necessariamente tali effetti biologici si traducono in danni per la salute.

Nella tabella seguente sono descritti i principali effetti a breve termine e sperimentalmente accertati sugli esseri viventi relativi alle specifiche bande di frequenza.

Banda di frequenza	Effetto biologico	Grandezza dosimetrica	Danni alla salute	Luoghi a rischio (solo indicativo)
RF al di sopra di 10 GHz	Assorbimento limitato alla superficie della pelle	La densità di potenza in (W/m^2)	Cataratte oculari e ustioni della pelle solo per densità di potenza $>$ di $1000 W/m^2$	Nelle immediate vicinanze di radar di potenza e praticamente mai in altri ambienti di vita o di lavoro.
RF tra 1 MHz e 10 GHz	Penetrazione nei tessuti esposti e produzione di calore a seguito dell'assorbimento locale di energia. La profondità di penetrazione dipende dalla frequenza del campo ed è maggiore alle frequenze più basse.	L'assorbimento di energia si misura come tasso di assorbimento specifico (SAR) entro una data massa di tessuto, in (W/Kg).	<ul style="list-style-type: none"> • Per SAR $>$ di $4 W/Kg$ • Cataratte oculari e ustioni della pelle solo per SAR molto elevati. • Influenza sullo sviluppo fetale. • Effetti negativi sulle fertilità maschile. 	Entro decine di metri di distanza dal fascio di emissione di potenti antenne FM, aree inaccessibili al pubblico in quanto collocate in cima a torri elevate.
RF al di sotto di 1 MHz	Nessun riscaldamento significativo; induzione invece di correnti elettriche nei tessuti. Le numerose reazioni chimiche implicate nei processi vitali sono associate a normali densità di correnti "di fondo" di circa $10 mA/m^2$.	Densità di corrente espresse in (A/m^2)	Densità di corrente indotte $>$ a $10 mA/m^2$ possono provocare effetti sensoriali come, ad esempio, contrazioni muscolari involontarie.	

2.2.5.2 – *effetti a lungo termine*

Per quanto riguarda l'esposizione su lunghi periodi, e quindi gli effetti cronici di questa esposizione, gli studi epistemologici attualmente disponibili (qualche studio di sorveglianza della mortalità per professione, un piccolo numero di coorti di personale militare con unità di radaristi, una coorte di radioamatori, una piccola coorte di addette alla saldatura a RF di materie plastiche, qualche studio geografico su residenti in prossimità di trasmettitori radio-televisivi) non possono garantire un'appropriata valutazione dell'eventuale cancerogenicità dell'esposizione a RF per mancanza di informazioni adeguate e per bassa qualità dei metodi di stima all'esposizione (quasi sempre presunta in base al titolo professionale ed alla mansione, ovvero per prossimità della residenza a sorgenti fisse di RF), ma anche per l'incoerenza nei risultati che questi studi hanno.

Le sorgenti più presenti a livello ambientale nella società odierna sono le seguenti:

- **Stazioni Radio-Base**

Ci si riferisce qui alle antenne fisse per il servizio della rete cellulare, tecnicamente indicate appunto come stazioni radio base. Negli ultimi 15 anni sono stati pubblicati vari studi epidemiologici che hanno esaminato la possibile relazione tra trasmettitori a radiofrequenza e cancro. Questi non hanno fornito nessuna evidenza che l'esposizione ai campi generati dai trasmettitori con emissioni nei limiti di legge aumenti il rischio di cancro. I livelli dei campi elettromagnetici a RF prodotti dalle stazioni radio base e/o da altre reti locali wireless, a cui la popolazione è potenzialmente esposta, sulla base delle attuali conoscenze scientifiche, non sembrano rappresentare rischi rilevanti per la salute umana.

- **Telefoni Cellulari**

Un cenno a parte meritano gli studi sul rischio di tumori tra gli utilizzatori di telefoni cellulari, perché alcuni contributi sono stati pubblicati molto di recente e non compaiono nelle rassegne precedentemente citate.

L'unico effetto biologico certo è quello a breve termine, ovvero quello del riscaldamento dei tessuti tipico delle radiofrequenze, infatti durante le telefonate si è potuto constatare sperimentalmente il riscaldamento del lobo dell'orecchio dell'interlocutore per diversi millimetri di penetrazione. È quindi chiaro che nell'ottica di comportamenti cautelativi e preventivi, va monitorata la distanza tra la

sorgente d'emissione delle radiazioni (in questo caso i cellulari) e l'intensità della radiazione stessa (viene misurata in SAR (Specific Absorption Rate) [W/kg]. Va indicato che i telefoni cellulari attualmente in vendita in Europa devono avere un'emissione di SAR massimo di 2 W/kg.

Gli studi sulla cancerogenicità correlata all'uso dei cellulari si susseguono con risultati alterni: secondo alcuni di essi, come il progetto INTERPHONE, la mortalità per tutti i tumori non risulta correlata all'intensità d'uso del cellulare e il piccolo numero di decessi per tumori cerebrali e leucemie non consente analisi robuste da un punto di vista statistico. D'altra parte, l'IARC, analizzando i dati dello stesso progetto, ha dichiarato che **1640 ore di conversazione telefonica rappresenterebbero un raddoppio del rischio di tumori al cervello ipsilaterali** (gliomi) rispetto agli altri tumori, ma è da sottolineare che l'OR è comunque non significativamente alto: **(OR=1,96; 95% IC =1,22-3,16)**.

Sulla base di queste osservazioni, che meriterebbero di essere ulteriormente replicate, si può affermare che le analisi spaziali dei tassi di mortalità o d'incidenza di patologia basate esclusivamente sulla distanza da ripetitori radio-TV non sono indicative riguardo all'eventuale associazione tra i diversi eventi in studio e l'esposizione a RF generate dai trasmettitori, neppure in riferimento ai livelli di esposizione come medie o gradienti di gruppo.

Non esistono indicazioni che esposizioni multiple al di sotto dei livelli di soglia, previsti dalle normative, provochino effetti negativi per la salute né risulta accumulo di danni per effetto di esposizioni ripetute a bassi livelli di campo RF.

2.3 – Lavoratori particolarmente a rischio

Vi sono delle mansioni in cui l'esposizione ai campi elettromagnetici è sensibilmente più intensa e duratura che in altre mansioni, si parla per questo di mansioni ad alto rischio.

Questa breve lista ci può essere particolarmente utile nel momento antecedente le misure vere e proprie: infatti nella valutazione preliminare della scelta dei punti di misura, avere bene in mente quali siano i macchinari più critici faciliterà e velocizzerà il compito di valutazione del rischio.

2.3.1 - Campi elettrici o magnetici statici di grande intensità

Rientrano in questa categoria i lavoratori addetti a processi di **elettrolisi** (ad esempio nella preparazione dell'alluminio), e coloro che operano nel **comparto ferroviario** su trasporti alimentati in corrente continua.

Campi statici elevati si hanno nei processi di **Risonanza Magnetica Nucleare** (campo magnetico statico in genere fino a 2 T per gli apparati di uso diagnostico).

2.3.2 - Campi elettrici e magnetici ELF negli ambienti industriali

È noto che al di sotto di una linea a 380 kV il campo elettrico può raggiungere i 5 kV/m e l'induzione magnetica qualche decina di μT . L'esposizione degli addetti alle **centrali elettriche**, è stata stimata attorno a 40 μT come valore medio, con picchi sensibilmente più elevati, specie per gli addetti alla manutenzione delle linee.

In prossimità dei **forni elettrici** e nelle **fonderie** i lavoratori possono risultare esposti con continuità a campi magnetici tra 10 μT e 100 μT , con picchi superiori ai 100 μT nel caso dei **saldatori**, che sembrano costituire la categoria potenzialmente esposta ai livelli più elevati.

Esposizioni significative sono inoltre riscontrabili nei processi di **smerigliatura** a mano (fino a 300 μT), e nella **produzione di magneti permanenti** (500 μT). Valori molto più elevati di 1 μT in un range spettrale tra 5 e 500 Hz, sono previsti in seguito alla trasformazione delle attuali **linee ferroviarie** a corrente continua in linee a corrente alternata a 25 kV, nell'ambito dei progetti per l'alta velocità.

2.3.3 - Riscaldatori industriali a radiofrequenza e microonde

Tali macchine si basano sulla trasformazione in calore dell'energia elettromagnetica assorbita dal materiale oggetto di trattamento. Le applicazioni sono numerose, e si stima che in Italia il numero di apparati esistenti sia superiore alla decina di migliaia. I riscaldatori industriali vengono tradizionalmente suddivisi in tre categorie in base al principio e alle modalità di funzionamento: a perdite dielettriche, a induzione magnetica e a microonde. Questi ultimi apparati, rappresentano l'equivalente dei comuni forni di uso domestico con potenze molto più elevate, e non costituiscono sorgenti di esposizione rilevanti.

Per quanto riguarda invece gli **apparecchi per riscaldamento a perdite dielettriche**, tali apparecchiature sono in grado di produrre calore direttamente all'interno del materiale trattato, e vengono impiegati nell'industria del legno (incollaggio e piegatura), per la

saldatura e stampaggio di manufatti in plastica (PVC in primo luogo) e nell'industria tessile (essiccamento delle fibre).

L'esposizione degli operatori avviene in zona di campo vicino, e quindi è necessario a rigore misurare separatamente i campi elettrico e magnetico.

In questi casi, l'attuazione di semplici interventi di bonifica e contenimento, insieme con l'adozione delle più corrette procedure di impiego, può portare ad una significativa riduzione dell'esposizione, ben al di sotto dei livelli di riferimento per gli effetti acuti.

Infine, per quanto riguarda gli **apparecchi per riscaldamento a induzione**, queste apparecchiature sfruttano intensi campi magnetici per produrre calore all'interno di metalli e semiconduttori. Il campo di applicazione è prevalentemente nel trattamento dei materiali metallici (saldatura, indurimento, tempera, fusione, etc.), e nell'industria elettronica.

L'esposizione degli operatori avviene in zona di campo vicino, e i livelli di esposizione possono arrivare fino a 30 μ T per i campi magnetici e fino a 8 kV/m per i campi elettrici, in assenza delle opportune misure di protezione e contenimento, dipendendo sempre in modo critico, oltre che dalla potenza della macchina, dal tipo e configurazione degli induttori, dalla posizione del lavoratore rispetto ad essi, dalla presenza di altri oggetti metallici, e dalle procedure di impiego della macchina

2.3.4 – Addetti alle apparecchiature biomediche

Numerose indagini sperimentali effettuate in differenti strutture sanitarie presso apparecchiature emittenti radiazioni non ionizzanti hanno evidenziato situazioni di esposizione rilevante e talvolta elevati rischi per la salute e la sicurezza di operatori e pazienti, con notevoli carenze strutturali, organizzative e procedurali, dovute anche all'assenza di specifiche normative di prevenzione e protezione in materia, eccezion fatta per la Risonanza Magnetica Nucleare.

Le apparecchiature sorgenti di radiazioni non ionizzanti ELF, RF, di comune impiego in ambito sanitario, che presentano aspetti di interesse ai fini della tutela della salute di pazienti e lavoratori sono:

- **Magnetoterapia Terapia riabilitativa**
- **Marconiterapia Terapia riabilitativa**
- **Radarterapia Terapia riabilitativa**

- **Elettrobisturi Chirurgia**
- **Tomografia RMN Diagnostica**

2.3.5 – Addetti ad apparati per telecomunicazioni

Il complesso delle sorgenti riferibili ai sistemi delle telecomunicazioni rappresenta il contributo più significativo per l'esposizione della popolazione alle radiofrequenze e microonde, e su tale aspetto è maggiormente concentrata l'attenzione. Numerose categorie professionali possono comunque risultare esposte a livelli notevolmente elevati.

Gli operatori la cui mansione comporta l'ascesa su torri e tralicci, per **l'installazione o la manutenzione di sistemi radio FM** (87,5 MHz - 108 MHz), **o televisivi UHF** (470 MHz - 862 MHz), possono essere esposti a campi elettrici fino a 1 kV/m e magnetici fino a 7 μ T.

In alcuni **centri di trasmissione militari**, può accadere che delle antenne si trovino prossime a strutture che ospitano uffici, o risultino comunque accessibili per la necessità di presidiare determinate aree all'interno delle installazioni.

2.3.6 - Varchi magnetici e sistemi antitaccheggio

I sistemi elettronici antitaccheggio, insieme ai varchi magnetici per il controllo degli accessi e ai metal detector utilizzano campi magnetici variabili nel tempo per rivelare il passaggio attraverso determinate zone controllate di persone od oggetti, sono sorgenti di esposizione per la popolazione e per i lavoratori di largo e crescente impiego presso centri commerciali, supermercati, negozi, banche, aeroporti ecc. Taluni di essi – se non conformi agli standard di emissione per la popolazione - possono presentare livelli di potenza emessi elevati, raggiungendo spesso livelli superiori a quelli raccomandati dalle norme per la prevenzione degli effetti a breve termine.

Le esposizioni delle persone del pubblico hanno generalmente durata molto breve in quanto il campo decresce rapidamente all'aumentare della distanza dalla sorgente (con l'inverso del cubo della distanza).

2.3.7 – Donne in gravidanza

Il feto è un organismo in via di formazione, e quindi è molto più sensibile di un adulto già sviluppato all'interazione con le onde elettromagnetiche.

In particolare il fatto che le ossa non siano ancora del tutto sviluppate, o per niente sviluppate, espone in modo molto più diretto gli organi interni del feto agli effetti acuti e ai possibili effetti cronici, delle onde elettromagnetiche.

2.4 - Prevenzione fra precauzione e responsabilità

Alla luce di quanto appena esposto sulla possibile pericolosità dell'esposizione alle radiazioni elettromagnetiche, ci si trova, a livello amministrativo/normativo ma anche individuale, di fronte alla scelta di un atteggiamento attivo di una prevenzione primaria, ma fatta in assenza di certezze o di un atteggiamento attendista passivo che ignora la prevenzione primaria prendendo a garanzia, a certezza, le incertezze etiologiche, e il fatto che il nesso causa-effetto non sia certo.

È chiaro che la scelta che segua il principio della precauzione è la più logica e la più corretta nella difesa della salute dei singoli e quindi in ultima analisi la più logica nell'interesse interesse socio-economico della comunità.

Il principio della precauzione dà una risposta all'urgenza dell'intervento quando ci si trova dinanzi ad un rischio potenzialmente grave e contemporaneamente in una situazione dove manca l'evidenza scientifica (e quindi a quel punto incontestabile) della relazione causa-effetto.

Un atteggiamento cautelativo e prudente può venir interpretato come antitecnologico e antiscientifico, ma la realtà è che questo atteggiamento, che è stato effettivamente portato avanti in questi anni dal legislatore, e in particolar modo da quello nazionale, è un riconoscimento del fatto che il sapere predittivo e preventivo sia inferiore a quello tecnico-scientifico.

E proprio in vece di questa superiorità di verità, una normativa più stringente, in un'ottica cautelativa, dovrebbe diventare per la ricerca della verità scientifica una spinta a trovare la risposta, e non certo un freno.

Il principio di precauzione a questo livello potrebbe rappresentare, forse ancora di più a livello individuale, il rifiuto di un destino ineludibile e determinato da ciò che l'uomo è ormai in grado di fare ma che soprattutto sembra essere costretto a continuare a fare, dando priorità oltre che al come, al perché facciamo certe cose.

I problemi ambientali e di salute continuano a crescere più rapidamente della capacità della società di identificarli e di correggerli e adottare il principio di precauzione e quello

di responsabilità significa anche accettare il dovere di **informare** e impedire l'occultamento di informazioni su anche solo *possibili* rischi per la salute dei cittadini ed evitare di considerare l'intera specie umana, di considerare noi stessi, come un insieme di cavie sulle quali saggiare tutto quanto è capace di inventare il progresso tecnologico. "Tutta la nostra realtà è divenuta sperimentale ... l'uomo moderno è votato alla sperimentazione di sé stesso".

È per questo motivo che la prima priorità da perseguire dovrebbe essere la salvaguardia della salute e la sicurezza dei lavoratori e della popolazione attraverso lo sviluppo di principi che vadano nel verso di una prevenzione cautelativa.

Questi principi sono effettivamente presenti nella normativa vigente a difesa della salute e della sicurezza dei lavoratori.

L'OMS, a riguardo dei principi di precauzione e prevenzione, nel fact-sheet n. 263 dell'ottobre 2001 consiglia le seguenti misure precauzionali:

Governi e industrie: Questi organismi dovrebbero essere al corrente dei più recenti sviluppi scientifici e fornire al pubblico informazioni corrette, chiare ed esaurienti sui *potenziali rischi dei campi elettromagnetici*, assieme a suggerimenti per misure di riduzione delle esposizioni a basso costo e senza controindicazioni (come ad esempio delle semplici schermature dei macchinari ad alta emissività). Dovrebbero anche promuovere ricerche che forniscano migliori informazioni in base alle quali definire i rischi sanitari.

Singoli individui: I membri del pubblico generale potrebbero scegliere di ridurre la propria esposizione ai campi elettromagnetici minimizzando l'uso di certi dispositivi elettrici ed aumentando la distanza da sorgenti che possono produrre campi relativamente elevati.

Consultazione tra autorità locali, industrie e pubblico nella localizzazione di nuove linee elettriche: La fornitura di energia ai consumatori richiede ovviamente l'installazione di elettrodotti. Spesso, si richiede che nel decidere la loro localizzazione si tengano in considerazione gli aspetti estetici e la sensibilità del pubblico. Comunque, in queste decisioni si dovrebbero anche considerare le soluzioni per ridurre l'esposizione della popolazione.

2.5 – Effetti sulla salute: dati e conclusioni

Abbiamo elencato tutta una serie di studi o istituzioni, la cui affermazione è fondamentalmente, che i casi di malattie a lungo termine non sono attribuibili ai campi elettromagnetici con certezza.

Un caso parzialmente a parte lo fanno le **leucemie infantili**, per il quale sembrano esserci più evidenze di una correlazione tra la malattia e l'**esposizione a campi elettromagnetici a bassa frequenza** (solitamente si tratta delle emissioni da elettrodotti). Esse sono più frequenti nei maschi e nei paesi a sviluppo avanzato. I tassi di incidenza, standardizzati per età, variano da circa 20-25 casi all'anno in Africa e Asia a 45-60 casi per 1.000.000 nei paesi a sviluppo avanzato. L'incidenza è massima nei primi 4 anni di vita e i tassi appaiono in crescita negli ultimi anni l'opinione attuale è che l'eziologia delle leucemie infantili sia lontana dall'essere chiarita e si fonda su una complessa interazione gene/ambiente ove l'esposizione "ambientale" deriverebbe sia da cause esterne che interne. Gli studi recenti suggeriscono che la fase di iniziazione con danno al DNA avvenga durante la vita fetale in risposta a cause infettive, fisiche e chimiche, ma che questo sia insufficiente senza il contributo di altri fattori postnatali.

Si accompagna a tali affermazioni una raccolta sotto forma di tabella riassuntiva dei maggiori studi per quanto riguarda autorevolezza, che in particolare si concentrano sul rischio più dibattuto, quello delle leucemie infantili, per l'appunto.

NOME STUDIO	NUMERO SOGGETTI COINVOLTI	RISCHIO/TIPO DI STUDIO	CONCLUSIONI
Ahlbom et al., 2000	3.247 casi di leucemia infantile e 10.400 controlli	Leucemia infantile per esposizione a campi magnetici da ELF	<ul style="list-style-type: none">• Esposizione < 0.4 μT = nessun rischio significativo• > 0.4 μT = raddoppio del rischio (RR: 2,00; IC 95%: 1,27-3,13)
Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT., 2000	2.656 casi e 7.084 controlli	Leucemia infantile per esposizione a campi magnetici da ELF	nel gruppo a maggiore esposizione (> 0,3 μ T) risultava un aumento del rischio (RR: 1,68; IC 95%: 1,23-2,31)

IARC, 2001 Gruppo di lavoro di 21 esperti internazionali		Rischio da campi elettromagnetici a bassa frequenza (ELF)	Evidenza di cancerogenicità: <ul style="list-style-type: none"> • limitata in relazione alla leucemia infantile (magnetico da ELF) • inadeguata in relazione a tutti gli altri tumori (magnetico ELF) • inadeguata da campi elettrici e magnetici statici e dei campi elettrici ELF <p>“I campi magnetici ELF sono possibili cancerogeni per l'uomo (gruppo 2B)”</p> <p>“I campi elettrici e magnetici statici e i campi elettrici ELF non sono classificabili per la loro cancerogenicità per l'uomo (gruppo 3)”.</p>
Commissione Cancerogenesi Ambientale della Lega Tumori, 2004		ELF	“L'insieme degli studi disponibili indica che le evidenze di cancerogenicità per l'uomo sono limitate e concernono la leucemia infantile, mentre sono inadeguate per le altre sedi tumorali, e che la relazione tra esposizione ai tipi di campi presi in considerazione e rischio di tumore non è sufficientemente chiara.”
Kheifets et al. 2000	Nuovi casi leucemia a livello mondiale circa 49000	Esposizione a campi maggiori di 0.4 μ T	Su 49000 casi, sono attribuibili (quindi non con certezza) tra 127 e 1.566 casi dovuti ad esposizioni a campi maggiori di 0.4 μ T
Childhood leukemia and magnetic fields in Japan, Kabuto et al., 2006	381 famiglie (di 781) con figli affetti da leucemia infantile.	Leucemia infantile Esposti: B > 0.4 μ T Non esposti: B < 0.1 μ T	I risultati sono viziati dal fatto che lo studio è limitato per la casistica, ma si nota un dato rilevante di RR per la leucemia acuta. RR = 2.6 (IC95%: 0.76 -8.6) (tutte le leucemie) RR = 4.7 (IC95%: 1.15 -19.0) (solo LLA, <i>leucemia linfoblastica acuta</i>)
Hardell L1, Sage C., 2007	18 studi, 2 studi di coorte e 16 studi di caso-controllo	Neuroma acustico, glioma e meningioma dovuto ad uso del cellulare, con latenza di 10 anni	OR=1.3, 95%, CI=0.6-2.8 generale OR=2.4, 95% CI=1.1-5.3 per uso del cellulare ipsilaterale. OR=1.2, 95% CI=0.8-1.9 per glioma OR=2.0, 95% CI=1.2-3.4 per glioma con uso ipsilaterale OR=1.3, 95% CI=0.9-1.8 per meningioma

			OR=1.7, 95% CI=0.99-3.1 per meningioma con uno ipsilaterale
--	--	--	---

3 – Sicurezza: prevenzione e protezione

Abbiamo introdotto e spiegato cosa sono i campi elettromagnetici, e abbiamo parlato dei rischi per la salute, elencando quelli certi e a breve termine, e quelli a lungo termine, di cui non abbiamo certezza diagnostica e che quindi abbiamo classificato come possibilmente dannosi per la salute.

Una volta data tale spiegazione, ci rimane da indagare come proteggere i lavoratori, ovvero come farli operare in totale sicurezza.

Ciò che è contenuto in questo capitolo è fondamentalmente quanto espresso dalla normativa, che però si esprime in maniera per lo più tecnica.

È quindi conveniente introdurre il concetto della sicurezza con un discorso più ampio, introducendo anche ulteriori dettagli che contribuiscano a chiarire determinati concetti nonché a renderli attuali dal punto di vista pratico, ovvero calati nell'ambiente lavorativo.

È bene introdurre prima di tutto i concetti di valore d'azione e valore limite.

Valore d'azione: è il valore di una data grandezza che esprime il rischio e che obbliga il datore di lavoro ad agire per ridurlo.

Nel caso del rischio elettromagnetico sarà quindi l'espressione del campo elettrico (V/m) o del campo magnetico (T).

Valore limite: è il valore della grandezza fisica che esprime il valore di rischio, che non può essere in nessun caso superato.

Entrambi questi valori, per ogni tipologia di rischio, sono indicati nella normativa, di cui tratteremo più avanti.

I due principi che bisogna seguire nel caso si presentino situazioni in cui si supera il valore d'azione, sono quelli della prevenzione e della protezione.

3.1 - Prevenzione

Con prevenzione intendiamo tutte quelle strategie che impediscono il verificarsi di una situazione pericolosa o la presenza della lavorazione a rischio stessa.

Fanno parte della prevenzione l'informazione e la formazione dei lavoratori e il loro addestramento all'utilizzo di macchinari e processi.

Prima di ciò, in sede progettuale vanno garantite scelte costruttive e progettistiche all'avanguardia, che possano permettere un rischio molto basso in tutto l'ambiente di lavoro e per tutti i lavoratori.

La soluzione migliore sarebbe certamente quella di sostituire le lavorazioni che implicano la generazione di campi elettromagnetici pericolosi o potenzialmente tali per la salute umana, con altri tipi di lavorazioni che possano garantire gli stessi risultati, ma facendo ricorso a tecniche più sicure.

Degli esempi sono quelli della saldatura elettrica a resistenza, che può essere sostituita da quella laser, che, a differenza della prima, non implica una generazione di campi elettromagnetici molto intensi.

È chiaro che la valutazione su quali macchinari utilizzare non può essere fatta in qualsiasi momento, ma sarà piuttosto un compito da svolgere durante la progettazione degli impianti stessi o in occasione di un cambio/ammodernamento dell'impianto.

Non sempre (o per meglio dire: quasi mai) sarà possibile sostituire la lavorazione pericolosa con una del tutto sicura, o in ogni caso non sarà possibile farlo in un momento qualsiasi della vita dell'impianto (si pensi ad un impianto appena costruito e con un ritorno dell'investimento di 20 anni, che però superi i valori d'azione per l'emissione di campi elettromagnetici, magari a causa di un aggiornamento della normativa).

Ma l'unica soluzione non è quella di cambiare l'intero parco macchine di un'azienda.

Il datore di lavoro farà eseguire una valutazione del rischio, e in caso i valori di esposizione vengano valutati al di sopra dei valori d'azione, egli dovrà procedere con una indagine tecnica che preveda delle misure.

A quel punto, se non sussistono rischi particolarmente gravi, egli fare utilizzare procedure che espongono il meno possibile e per il minor tempo possibile il lavoratore, grazie ad esempio a tecniche di automazione che garantiscano una certa distanza dal processo.

Se l'esposizione rimanesse ad un livello non accettabile dalla normativa, si procederebbe alla diminuzione dell'emissione elettromagnetica, ad esempio tramite schermatura.

3.2 - Protezione

La protezione è tutto ciò che protegge direttamente il lavoratore da ciò che potrebbe causare danno, ovvero fondamentalmente tutto ciò che si interpone tra il lavoratore e il rischio.

Tutti i dispositivi di protezione individuale, come scarpe e guanti antiinfortunistici e/o isolanti, ma anche gli arresti di emergenza delle macchine o gli estintori, fanno parte delle protezioni attive, perché prevedono un'attivazione da parte degli operatori.

Per quanto riguarda i sistemi di protezione collettiva, come il salvavita o i rivelatori antincendio, essi fanno parte delle protezioni passive, perché proteggono il lavoratore anche in assenza di un comando umano.

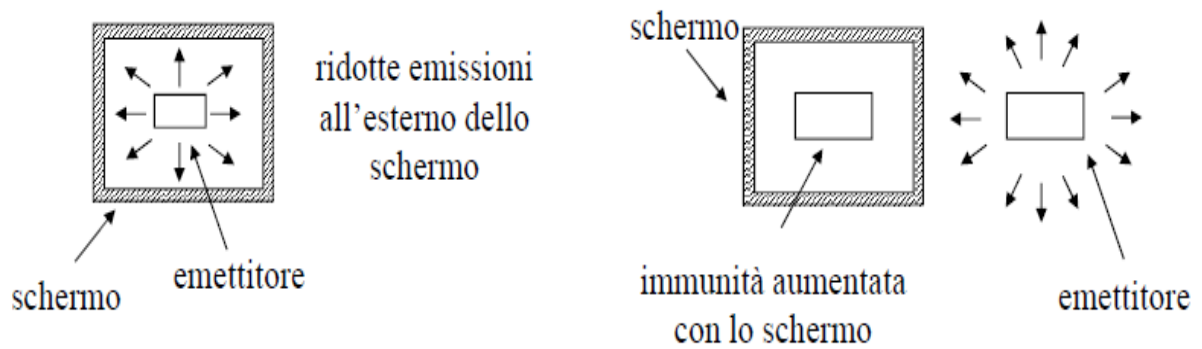
Entrambi i tipi di protezione sono importanti ai fini del mantenimento della sicurezza, e sono quasi sempre complementari, e non esclusive.

3.2.1 - Schermatura

Per quanto riguarda nello specifico i campi elettromagnetici e i rischi a loro associati, la misura tecnica più utilizzata e anche più semplice da attuare è la schermatura, che attraverso l'utilizzo, per l'appunto, di schermi, permette di ridurre l'esposizione ai campi elettromagnetici, in particolare quelli elettrici a bassa frequenza, riducendone ad esempio l'emissione da parte del macchinario in oggetto (si pensi ad una cabina per la distribuzione in MT) o impedendo alle radiazioni di entrare nell'ambiente lavorativo (o comunque di essere meno intense).

Una considerazione importante su questo tipo di protezione è che bisogna innanzitutto considerare se l'emissione è **intenzionale o accidentale**: è infatti chiaro che in una qualsiasi azienda quasi mai si può porre uno schermo che incapsuli il macchinario (o comunque la sorgente in questione) se quest'ultimo è direttamente e continuamente azionato da uno o più lavoratori, ovvero se le sue emissioni sono di tipo intenzionale. Discorso diverso si ha nel caso ci si debba proteggere da una fonte di emissione elettromagnetica accidentale, ovvero non direttamente coinvolta nell'attività lavorativa.

È quindi chiaro, che pur parendo la schermatura delle sorgenti o dei luoghi da proteggere, una soluzione semplice, le tecniche utilizzate per proteggere i lavoratori dovranno spesso essere altre, ed esse verranno descritte successivamente.



Per essere funzionali gli schermi sono solitamente costituiti da materiali che possiamo definire **buoni conduttori**, ovvero materiali per cui la tangente di perdita

$$\frac{\sigma}{\varepsilon\omega}$$

è molto maggiore di 1.

Essa è data dal rapporto tra la **densità di corrente di conduzione** e la **densità di corrente di spostamento**. In regime sinusoidale permanente, tali termini sono: σE , che è associato ad un fenomeno di perdita di energia, e $j\omega\varepsilon E$, che è associato.

L'efficienza di schermatura si può indicare in generale attraverso la formula:

$$SE_{Db} = 20 \log_{10} \left(\frac{E_i}{E_t} \right)$$

Come si vede l'efficienza di schermatura è espressa in scala logaritmica, e dipende dal rapporto tra l'intensità dell'onda incidente diviso l'intensità dell'onda trasmessa.

Anche se è stato preso a riferimento il campo elettrico "E", la formula vale ugualmente sostituendolo col campo magnetico "H".

L'efficienza di schermatura è esprimibile anche attraverso la somma di tre termini:

- **A_{db}** : indica il contributo dato per assorbimento, ovvero quando lo schermo non fa passare
- **R_{db}** : sono invece le perdite per riflessione, ovvero quanto dell'onda incidente torna indietro

- M_{db} : rappresentano le perdite per riflessioni multiple, e questo termine dipende dalle relazioni che esistono tra il mezzo dello schermo e il mezzo (aria) in cui si trova l'onda trasmessa Et, ovvero il mezzo protetto dallo schermo.

Un altro parametro che lo schermo deve rispettare è la **continuità**: infatti per essere efficace esso non deve presentare buchi o tagli, ed eventuali aperture dovrebbero essere il più piccole possibile.

Nelle guide di onde per campi elettromagnetici a radiofrequenza o nei cavi, si ha di norma la presenza di una schermatura, che garantisce non solo una ridotta emissione di radiazioni negli ambienti circostanti, ma anche minori perdite per dispersione di energia.

Oltre a tutti i parametri già considerati, bisogna tenere conto anche della frequenza dell'onda che vogliamo schermare, infatti per esempio, per campi magnetici statici e/o a bassa frequenza, la schermatura è un procedimento più complesso e prevede l'utilizzo di leghe metalliche speciali, che però sono spesso riservate ad applicazioni specialistiche.

Si può anche usare una schermatura attiva dei campi per mezzo di una bobina supplementare (un solenoide) che serve a generare un campo magnetico opposto.

I due campi entrano in interferenza distruttiva e per forza di cose l'intensità del campo da schermare, diminuisce di molto e teoricamente si annulla.

Per campi limitati nello spazio, ma non nell'intensità, quindi per lavorazioni specifiche e macchinari particolari, al posto delle schermature devono molto probabilmente essere usate altre strategie.

3.2.2 - Ripari

I ripari sono delle protezioni che isolano la macchina pericolosa per l'operatore dall'operatore stesso e la rendono inaccessibile nella zona della macchina ad alta esposizione elettromagnetica.

Questa risulta spesso una scelta adeguata perché, come già trattato precedentemente, i campi elettromagnetici più presenti in ambito lavorativo, ovvero quelli a frequenze industriali, e quindi a bassa frequenza, diminuiscono rapidamente con la distanza dalla sorgente.

Se nell'uso comune del macchinario non è necessario entrare nella zona dove il campo elettromagnetico è intenso, la soluzione più facile ed economica è una barriera fissa, un riparo che richieda l'utilizzo di attrezzi specifici per essere smontato.

Ma nel qual caso si debba accedere frequentemente alla zona ad alta esposizione (si intende chiaramente soprattutto a macchina non funzionante, quindi ad esempio per le manutenzioni) è più ragionevole l'uso di ripari mobili, che però di norma dovrebbero essere interbloccati con la sorgente del campo, ovvero scatti un meccanismo che li mantenga bloccati durante il funzionamento, o che non permetta lo stesso se il riparo mobile non dovesse essere in posizione.

3.2.3 - Dispositivi di protezione sensibili

Una soluzione alternativa ai ripari sono le cosiddette barriere invisibili, ovvero barriere fotoelettriche che funzionano grazie a cellule fotoelettriche, tappeti sensibili alla pressione e altri tipi di dispositivi che rilevano l'ingresso o la presenza di una persona nell'area e possono interrompere il funzionamento delle apparecchiature che generano CEM.

3.2.4 - Misure tecniche contro le scariche

Vi sono situazioni lavorative in cui i campi elettromagnetici sono talmente intensi da permettere il verificarsi di scintille quando una persona vada a toccare un conduttore il cui potenziale si trova ad un livello differente.

La messa a terra di tutti gli oggetti conduttori garantisce che non vi sia questa differenza di potenziale ed impedisce quindi le scariche.

Anche i dispositivi di protezione individuali possono essere considerate delle misure tecniche che evitano le scariche, isolando il lavoratore dai conduttori a tensione diversa, ma questo ha ancora una volta più a che fare col rischio elettrico.

3.2.5 - Misure organizzative

Non sempre è possibile attuare le misure sopra elencate, e anzi **quasi sempre le misure che bisogna adottare sono di tipo organizzativo. Queste misure sono in effetti le più adottate a livello pratico.**

Veniamo quindi ad alcune misure di tutela organizzative e procedurali atte a ridurre al minimo l'esposizione dei lavoratori e a prevenirla in individui con controindicazioni in senso assoluto o relative all'esposizione.

Nel caso i valori d'azione della radiazione elettromagnetica vengano superati, bisogna intervenire spesso con misure che sembrano banali, ma che sono a servizio della sicurezza e della salute del lavoratore.

Le misure che verranno elencate non sono certe esclusive: possono, e spesso devono, essere complementari, per garantire la massima sicurezza possibile.

1. Se non è stato possibile ridurre le emissioni, è *“necessario far sì che gli apparati emettitori di CEM siano installati in aree di lavoro adibite ad uso esclusivo degli stessi e ad idonea distanza dalle altre aree di lavoro ove il personale staziona per periodi prolungati”*. Inoltre *“è di fondamentale importanza evitare che in prossimità delle sorgenti vengano posizionati, se non previa idonea valutazione tecnica, oggetti metallici di qualsiasi tipo ed apparecchiature elettriche”* perché attraverso di essi possono circolare correnti pericolose per l'incolumità umana.
2. Anche studiare l'**ergonomia** del lavoratore durante l'utilizzo di una macchina ad alte emissioni può davvero essere decisivo e cambiare drasticamente la situazione in meglio per il lavoratore stesso, riducendo l'esposizione in generale o in zone particolarmente delicate, come il cervello (quindi l'esposizione tronco-testa). Si potrebbero fare molti esempi, ma pensando semplicemente ad una saldatrice ad arco, se il lavoratore si trova interposto tra l'alimentatore del saldatore (mettiamo a sinistra dello stesso) e con una mano (poniamo caso sia la destra) tiene per l'appunto il saldatore, attraverso il lavoratore la corrente che passa aumenterà sostanzialmente, anche a dispetto del fatto che il campo elettrico sia nei limiti di legge.
3. **Informazione, formazione ed addestramento del personale:** è necessario che il personale sia formato sui comportamenti da adottare nelle operazioni in prossimità del macchinario sorgente di CEM, sulla necessità di limitare la permanenza nelle aree a rischio e sulle controindicazioni personali all'esposizione ai CEM.
4. Nei casi in cui *“l'accesso alle aree con rischio di **superamento del valore limite** per i lavoratori non possa essere impedito fisicamente”* (ad esempio in attività su tralicci o linee elettriche aeree di alta tensione) è necessario dotare i lavoratori di:
*“**monitor portatile di CEM** con dispositivo d'allarme atto a segnalare tempestivamente il superamento dei valori d'azione di campo elettrico e magnetico fissati dalla normativa”*;
*“**indumenti di protezione RF** specifici per le frequenze di interesse”*.

5. *“le aree di lavoro ove i valori di esposizione possono risultare superiori ai livelli di riferimento per la popolazione devono essere delimitate con **cartelli di segnalazione della presenza di campi elettromagnetici, conformi alle normative vigenti in materia di segnaletica di sicurezza**” e l’accesso sarà “consentito solo a personale autorizzato, previa valutazione dell’assenza di controindicazioni fisiche all’esposizione”.*

Di seguito vengono rappresentati i cartelli più significativi per quanto riguarda il rischio elettromagnetico.

CARTELLONISTICA:



Figura 3.1 – attenzione campi magnetici

Questo è un cartello di **avvertimento** per la presenza di forti campi magnetici. Può trovarsi in corrispondenza di laboratori di analisi per la risonanza magnetica. I pericoli sono l'induzione di correnti attraverso il corpo e problemi per i portatori di protesi metalliche



Figura 3.2 – radiazioni non ionizzanti

Questo è un altro cartello di avvertimento. Indica la presenza di radiazioni non ionizzanti, e viene solitamente usato in caso di radiazioni elettromagnetiche che superano il valore d'azione per la popolazione. Può anche significare “pericolo radiazioni ad alta frequenza” o “forte campo elettromagnetico”, ma deve essere accompagnato da una didascalia.



Figura 3.3 – divieto d'accesso

È genericamente un segnale di divieto d'accesso. Accompagnato da didascalie differenti può svolgere compiti diversi. Può negare l'accesso a chiunque, nell'ambito che stiamo trattando si parla di campi elettromagnetici che superano costantemente i valori limite anche per i lavoratori, o può negare l'accesso solo ai non autorizzati, nel nostro caso questo potrebbe riguardare un'area lavorativa dove l'esposizione elettromagnetica è intensa e per lavorarci bisogna aver seguito una formazione specialistica



In caso di campi elettromagnetici particolarmente intensi (anche se al di sotto dei limiti per i lavoratori) in soggetti con pacemaker le correnti che vengono indotte possono essere pericolose e provocare un malfunzionamento o un blocco dell'apparecchio.

Figura 3.4 – divieto d'accesso ai portatori di dispositivi cardiaci impiantabili attivi



Pur non essendo un dispositivo atto a garantire qualche funzione vitale, per soggetti con protesi metalliche, l'accesso a particolari aree con livelli di radiazione particolarmente elevati, potrebbe essere vietato. Infatti in esse possono circolare correnti potenzialmente dannose per il corpo, sia nel breve periodo, sia a lungo termine.

Figura 3.5 – divieto d'accesso a portatori di protesi metalliche

Qualora fossero presenti pericoli evitabili grazie all'utilizzo di dispositivi di protezione individuale (DPI), essi sono obbligatori per i lavoratori, e devono garantire loro la sicurezza ma anche una certa comodità di utilizzo, nonché l'impossibilità che il loro utilizzo sia causa di altri pericoli oltre quelli già presenti nell'ambiente di lavoro (si pensi a dei guanti isolanti troppo larghi in un ambiente con presenza di macchine con parti in movimento: pur proteggendomi dal rischio elettrico, mi espongo al rischio meccanico, ad esempio di impigliamento o trascinamento).

I segnali d'obbligo più comuni che indicano questa necessità, sono i seguenti.



Figura 3.6 – indossare calzature di sicurezza

In presenza di forti campi elettromagnetici, essi possono far scorrere correnti elettriche attraverso il corpo. Delle calzature isolanti lo impediscono.



Figura 3.7 – indossare guanti di sicurezza

Valgono le stesse considerazioni fatte per le calzature, con cui i guanti vengono spesso usati in accoppiata per evitare che le correnti indotte possano passare attraverso il corpo.

Solitamente sono usati più specificatamente in presenza di rischio elettrico, e sono divisi in classi isolanti



Figura 3.8 – indossare occhiali protettivi

Gli occhiali protettivi possono proteggere gli organi visivi da molteplici fattori. Sia dalle radiazioni non ionizzanti di cui stiamo trattando, ma, in ambito di campi e radiazioni, essi proteggono soprattutto dalle radiazioni ionizzanti e direttamente dannose per l'occhio.



Un cartello d'obbligo usato in ambito di campi elettromagnetici importanti è il segnale d'obbligo generale, che però va accompagnato dal testo, e quindi dall'istruzione specifica da eseguire.

Figura 3.9 – segnale di obbligo generale (va accompagnato da una didascalia)

4 – Riferimenti normativi utilizzati

Nello sviluppo di questo lavoro di tesi si sono utilizzati principalmente due riferimenti normativi: il primo sono le linee guide stabilite dall'ICNIRP nel 1998 per la salute pubblica; per quanto riguarda invece la sicurezza dei lavoratori, si fa riferimento al Testo Unico della sicurezza, emanato in Italia il 9 aprile 2008.

È stato deciso l'utilizzo della normativa ICNIRP per caratterizzare i luoghi a basso rischio: infatti dove le emissioni erano al di sotto dei limiti stabiliti da tale norma, si parla di rischio basso, con emissioni tra questi limiti e i valori di attenzione inferiori del decreto del 2 settembre 2016 (aggiornamento del Testo Unico) si parla di rischio medio, e al di sopra di questi limiti siamo in presenza di rischio elevato, anche dovessero essere rispettati i VLE presenti nel Testo Unico.

Quando si parla di salute e sicurezza sul luogo di lavoro in Italia, si fa riferimento al Testo Unico della Sicurezza, che è un complesso di norme emanate dalla Repubblica Italiana con il Decreto legislativo del 9 aprile 2008, n.81.

Il Testo Unico di Sicurezza è stato un grande passo in avanti nell'opera di regolamentazione e normazione riguardante la sicurezza, infatti esso ha riunito tutte le varie norme precedenti, solitamente suddivise per settori, in un unico testo nel quale si trovano un insieme ordinato di norme, commi, allegati e indicazioni coi quali il legislatore si rivolge a tutti i datori di lavoro e a tutti i lavoratori, specificando ogni qualsivoglia tipologia di rischio.

Esso altro non è che un recepimento della della Direttiva 2004/40/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dai campi elettromagnetici.

Per quanto riguarda il rischio da radiazioni da campi elettromagnetici, ovvero l'oggetto della presente tesi, il Testo Unico è stato aggiornato il 1 agosto 2016 a seguito della Direttiva 2013/35/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 26 giugno 2013, sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici.

Di questa sezione, che si trova al **capo IV del titolo VIII**, fanno parte gli articoli dal 206 al 212, che citeremo nella forma antecedente al 1 agosto 2016, per analizzare poi in seguito le differenze col Testo Unico nella sua versione originale.

4.1 - Decreto legislativo del 9 aprile 2008, n.81, capo IV.

Art. 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 nocivi a breve termine conosciuti nel corpo umano derivanti dalla circolazione di correnti indotte e dall'assorbimento di energia, e da correnti di contatto.

2. Il presente capo non riguarda la protezione da eventuali effetti a lungo termine e i rischi risultanti dal contatto con i conduttori in tensione.

Art. 207. Definizioni

1. Agli effetti delle disposizioni del presente capo si intendono per:

a) campi elettromagnetici: campi magnetici statici e campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici variabili nel tempo di frequenza inferiore o pari a 300 GHz;

*b) **valori limite di esposizione:** limiti all'esposizione a campi elettromagnetici che sono basati direttamente sugli effetti sulla salute accertati e su considerazioni biologiche. Il rispetto di questi limiti garantisce che i lavoratori esposti ai campi elettromagnetici sono protetti contro tutti gli effetti nocivi a breve termine per la salute conosciuti;*

*c) **valori di azione:** l'entità dei parametri direttamente misurabili, espressi in termini di intensità di campo elettrico (E), intensità di campo magnetico (H), induzione magnetica (B) e densità di potenza (S), che determina l'obbligo di adottare una o più delle misure specificate nel presente capo. Il rispetto di questi valori assicura il rispetto dei pertinenti valori limite di esposizione.*

Art. 208. Valori limite di esposizione e valori d'azione

1. I valori limite di esposizione sono riportati nell'allegato XXXVI, lettera A, tabella 1.

2. I valori di azione sono riportati nell'allegato XXXVI, lettera B, tabella 2.

Art. 209. Identificazione dell'esposizione e valutazione dei rischi

1. Nell'ambito della valutazione dei rischi di cui all'articolo 181, il datore di lavoro valuta 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 in conformità alle norme europee standardizzate del Comitato europeo di

normalizzazione elettrotecnica (CENELEC). Finché le citate norme non avranno contemplato tutte le pertinenti situazioni per quanto riguarda la valutazione, misurazione e calcolo dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici, il datore di lavoro adotta le specifiche linee guida individuate od emanate dalla Commissione consultiva permanente per la prevenzione degli infortuni e per l'igiene del lavoro, o, in alternativa, quelle del Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI), tenendo conto, se necessario, dei livelli di emissione indicati dai fabbricanti delle attrezzature.

2. A seguito della valutazione dei livelli dei campi elettromagnetici effettuata in conformità al comma 1, qualora risulti che siano superati i valori di azione di cui all'articolo 208, il datore di lavoro valuta e, quando necessario, calcola se i valori limite di esposizione sono stati superati.

3. La valutazione, la misurazione e il calcolo di cui ai commi 1 e 2 non devono necessariamente essere effettuati in luoghi di lavoro accessibili al pubblico, purché si sia già proceduto ad una valutazione conformemente alle disposizioni relative alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz e risultino rispettate per i lavoratori le restrizioni previste dalla raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio, del 12 luglio 1999, e siano esclusi rischi relativi alla sicurezza.

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

- a) il livello, lo spettro di frequenza, la durata e il tipo dell'esposizione;*
- b) i valori limite di esposizione e i valori di azione di cui all'articolo 208;*
- c) tutti gli effetti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori particolarmente sensibili al rischio;*
- d) qualsiasi effetto indiretto quale:
 - 1) interferenza con attrezzature e dispositivi medici elettronici (compresi stimolatori cardiaci e altri dispositivi impiantati);*
 - 2) rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici in campi magnetici statici con induzione magnetica superiore a 3 mT;*
 - 3) innesco di dispositivi elettro-esplosivi (detonatori);**

4) incendi ed esplosioni dovuti all'accensione di materiali infiammabili provocata da scintille prodotte da campi indotti, correnti di contatto o scariche elettriche;

e) l'esistenza di attrezzature di lavoro alternative progettate per ridurre i livelli di esposizione ai campi elettromagnetici;

f) la disponibilità di azioni di risanamento volte a minimizzare i livelli di esposizione ai campi elettromagnetici;

g) per quanto possibile, informazioni adeguate raccolte nel corso della sorveglianza sanitaria, comprese le informazioni reperibili in pubblicazioni scientifiche;

h) sorgenti multiple di esposizione;

i) esposizione simultanea a campi di frequenze diverse.

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

Art. 210. Misure di prevenzione e protezione

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 2, dimostri che i 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, 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.

2. I luoghi di lavoro dove i lavoratori possono essere esposti a campi elettromagnetici che superano i valori di azione devono essere indicati con un'apposita segnaletica. Tale obbligo non sussiste nel caso che dalla valutazione effettuata a norma dell'articolo 209, comma 2, il datore di lavoro dimostri che i valori limite di esposizione non sono superati e che possono essere esclusi rischi relativi alla sicurezza. Dette aree sono inoltre identificate e l'accesso alle stesse è limitato laddove ciò sia tecnicamente possibile e sussista il rischio di un superamento dei valori limite di esposizione.

3. In nessun caso i lavoratori devono essere esposti a valori superiori ai valori limite di esposizione. Allorché, nonostante i provvedimenti presi dal datore di lavoro in applicazione del presente capo, i valori limite di esposizione risultino superati, il datore di lavoro adotta misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto dei valori limite di esposizione, individua le cause del superamento dei valori limite di esposizione e adegua di conseguenza le misure di protezione e prevenzione per evitare un nuovo superamento.

4. A norma dell'articolo 209, comma 4, lettera c), il datore di lavoro adatta le misure di cui al presente articolo alle esigenze dei lavoratori esposti particolarmente sensibili al rischio.

Art. 211. Sorveglianza sanitaria

1. La sorveglianza sanitaria viene effettuata periodicamente, di norma una volta l'anno o con periodicità inferiore decisa dal medico competente con particolare riguardo ai lavoratori particolarmente sensibili al rischio di cui all'articolo 183, tenuto conto dei risultati della valutazione dei rischi trasmessi dal datore di lavoro. L'organo di vigilanza, con provvedimento motivato, può disporre contenuti e periodicità diversi da quelli forniti dal medico competente.

2. Fermo restando il rispetto di quanto stabilito dall'articolo 182, sono tempestivamente sottoposti a controllo medico i lavoratori per i quali è stata rilevata un'esposizione superiore ai valori di azione di cui all'articolo 208, comma 2.

Art. 212. Linee guida

1. Il Ministero della salute, avvalendosi degli organi tecnico-scientifici del Servizio sanitario nazionale, sentita la Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano, entro due anni dalla data di entrata in vigore del presente decreto, elabora le linee guida per l'applicazione del presente capo nello specifico settore dell'utilizzo in ambito sanitario delle attrezzature di risonanza magnetica.

4.2 - il Decreto Legislativo n.159 del 1 agosto 2016

Ma con il Decreto Legislativo n.159 del 1 agosto 2016, viene data attuazione alla Direttiva 2013/35/UE sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (**campi elettromagnetici**) modificando così i suddetti articoli. Essa entra in vigore a partire dal 2 settembre 2016.

art. 206

Il D.Lgs. n.159/2016 apporta modifica diretta al Testo Unico di Sicurezza, a cominciare dall'art. 206 che apre il Capo IV sulla protezione dei lavoratori dal rischio esposizione a campi elettromagnetici. Il Capo, tratta (come in passato) dei 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) e anche della 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 (prima si parlava genericamente di "effetti nocivi a breve termine" derivanti dalla circolazione di correnti indotte, dall'assorbimento di energia e da correnti di contatto).

Si fa poi riferimento nel Capo a Valori limite di esposizione (VLE) che riguardano soltanto le relazioni scientificamente accertate tra effetti biofisici diretti a breve termine ed esposizione ai campi elettromagnetici; si specifica poi che il Capo non riguarda la protezione da eventuali effetti a lungo termine e ai rischi risultanti dal contatto con i conduttori in tensione.

art. 207

Quest'articolo, che rispetto all'originale è stato ampliato e modificato notevolmente, è davvero centrale nel definire grandezze e parametri utili all'analisi del rischio.

Si riporta quindi una tabella riassuntiva delle definizioni che l'articolo stesso ci fornisce.

Campi elettromagnetici	campi elettrici e magnetici statici variabili nel tempo con frequenze sino a 300 GHz
Effetti biofisici diretti	<ul style="list-style-type: none">• Termici• Non termici (concentrazione, salute mentale)• Correnti indotte
Effetti biofisici indiretti	<ul style="list-style-type: none">• Interferenze con dispositivi elettronici• Propulsione oggetti metallici• Innesco di detonatori• Incendi ed esplosioni causa scintille• Correnti di contatto
VLE – valori limite di esposizione	Sulla base degli effetti diretti acuti e a breve termine scientificamente accertati, ossia gli effetti termici e la stimolazione elettrica dei tessuti
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
VLE relativi agli effetti sensoriali	Disturbi transitori delle percezioni sensoriali e a modifiche minori nelle funzioni cerebrali
VA – valori di azione (allegato XXXVI, parte II)	<ul style="list-style-type: none">• Per E: VA inferiori e superiori si intendono i livelli connessi alle specifiche misure di protezione e prevenzione del presente capo• Per B: “VA inferiori” sono i valori connessi ai VLE relativi agli effetti sensoriali, mentre i “VA superiori” quelli connessi agli effetti sanitari

art. 208

Ampliato notevolmente l'art. 208 che, per i Valori limite di esposizione e valori di azione rimanda alle grandezze indicate nell'allegato XXXVI, parte I. Quanto ai VLE relativi agli effetti sanitari, i VLE relativi agli effetti sensoriali e i VA, sono riportati nell'allegato XXXVI, parti II e III.

Un ulteriore paragrafo richiede al datore di lavoro di assicurare 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 XXXVI, parte III per gli effetti termici. Il rispetto dei valori deve essere dimostrato ricorrendo alle procedure di valutazione dell'esposizione di cui al (nuovo) articolo 209. Qualora l'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici superi uno qualsiasi dei VLE, il datore di lavoro adotterà misure immediate in conformità dell'articolo 210, comma 7 (anch'esso modificato). Il comma 4 prevede i casi in cui è possibile superare i VA (vedi intra par.4 dell'art. 208). Il comma 5 invece, indica le condizioni per il superamento dei 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; nel comma 6 si specifica la procedura da seguire in caso di superamento dei sopraddetti limiti.

art. 209

L'articolo 209 (Identificazione dell'esposizione e valutazione dei rischi) **specifica meglio l'obbligo del datore di lavoro** di valutare tutti i rischi per i lavoratori derivanti da campi elettromagnetici sul luogo di lavoro e, quando necessario, misurare o calcolare 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) (è stata sostituita la menzione al CENELEC), 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.

Al comma 2 viene detto che vanno considerati gli errori strumentali e le incertezze nel qual caso non sia possibile stabilire con sicurezza il superamento dei VLE. **Dal punto di vista della misurazione, la normativa si mantiene quindi abbastanza vaga.**

Il nuovo comma 5 (che sostituisce la dicitura prevista nel vecchio co. 4 dell'art. 209) indica gli elementi da considerare da parte del datore di lavoro per la valutazione dei rischi, modificando l'elenco originariamente previsto, sottolineando in particolare la presenza di **effetti biologici diretti** e la necessità di una loro valutazione.

art. 210 - disposizioni miranti ad eliminare o ridurre i rischi

L'articolo 210 sulle Misure di prevenzione e protezione impone di adottare un programma di 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 che tenga conto di un insieme di elementi sostanzialmente non modificato dal nuovo D.Lgs. n.159/2016, che aggiunge però di tenere conto anche:

h) di misure appropriate al fine di limitare e controllare l'accesso, quali **segnali**, etichette, **segnaletica** al suolo e barriere nei casi siano superati i valori d'azione;

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.

L'articolo risulta particolarmente ampliato e richiama il datore di lavoro all'obbligo di adattare le misure del programma d'azione alle esigenze dei lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio (comma 3), anche attraverso una opportuna segnaletica (comma 4) in caso di superamento dei VA e, in questi casi, richiede l'adozione di misure di protezione specifiche, quali l'informazione e la formazione dei lavoratori a norma dell'articolo 210-bis, articolo quest'ultimo, introdotto dal D.Lgs. n.159/2016, oltre all'uso di strumenti tecnici e di protezione individuale, da realizzarsi anche mediante la messa a terra degli oggetti di lavoro, il collegamento elettrico dei lavoratori con gli oggetti di lavoro nonché, o l'impiego di scarpe e guanti isolanti e di indumenti protettivi.

art. 210 bis - Informazione e formazione dei lavoratori e dei rappresentanti dei lavoratori per la sicurezza

Il 210 bis, articolo introdotto dal D.Lgs. n.159/2016 si dedica alla Informazione e formazione dei lavoratori e dei rappresentanti dei lavoratori per la sicurezza, che va svolta dal datore di lavoro su gli effetti indiretti dell'esposizione, sulla possibilità di sensazioni e sintomi transitori e di rischi specifici nei confronti di lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili o portatori di dispositivi medici o di protesi metalliche.

art. 211 - Sorveglianza sanitaria

L'articolo 211 si dedica alla Sorveglianza sanitaria: resta la periodicità annuale o inferiore su giudizio del medico competente come in passato, salvo provvedimento motivato dell'organo di vigilanza che disponga contenuti e periodicità diversi da quelli forniti dal medico competente.

Maggiormente specificato il caso in cui un lavoratore segnali effetti indesiderati o inattesi sulla salute (comma.2), il datore di lavoro dovrà garantire, in conformità all'articolo 41, che siano forniti al lavoratore o ai lavoratori interessati un controllo medico e, se necessario, una sorveglianza sanitaria appropriati anche nel caso di un'esposizione superiore ai VLE per gli effetti sensoriali oppure un'esposizione superiore ai VLE per gli effetti sanitari, il tutto a spese del datore di lavoro in orario scelto dal lavoratore (comma 3).

art. 212 - Deroghe

Infine, l'art. 212, dove si parla di Deroghe (e non più li Linee guida, come in passato), riferisce alla possibilità del Ministero del Lavoro di autorizzare, su richiesta del datore di lavoro e in presenza di specifiche circostanze documentate e soltanto per il periodo in cui rimangono tali, **deroghe al rispetto dei VLE**, in base a criteri e modalità da definirsi con apposito decreto, le cui condizioni per l'autorizzazione sono dettagliate al comma 2, in particolare

“il datore di lavoro dimostra che i lavoratori sono sempre protetti contro gli effetti nocivi per la salute e i rischi per la sicurezza, avvalendosi in particolare di norme e orientamenti comparabili, più specifici e riconosciuti a livello internazionale.”

4.3 - tabelle dei limiti per i campi elettromagnetici

Vengono riportate le tabelle dei valori limite e dei valori d'azione. La prima tabella si riferisce ai limiti indicati dall'ICNIRP nel 1998, mentre tutte le altre si riferiscono al decreto legislativo entrato in vigore il 2 settembre 2016.

TABELLA INDICAZIONI GENERAL PUBLIC ICNIRP 1998

Table 7. Reference levels for general public exposure to time-varying electric and magnetic fields (unperturbed rms values).^a

Frequency range	E-field strength (V m ⁻¹)	H-field strength (A m ⁻¹)	B-field (μT)	Equivalent plane wave power density S_{eq} (W m ⁻²)
up to 1 Hz	—	3.2×10^4	4×10^4	—
1–8 Hz	10,000	$3.2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	—
8–25 Hz	10,000	$4,000/f$	$5,000/f$	—
0.025–0.8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	—
0.8–3 kHz	$250/f$	5	6.25	—
3–150 kHz	87	5	6.25	—
0.15–1 MHz	87	$0.73/f$	$0.92/f$	—
1–10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0.73/f$	$0.92/f$	—
10–400 MHz	28	0.073	0.092	2
400–2,000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$0.0046f^{1/2}$	$f/200$
2–300 GHz	61	0.16	0.20	10

TABELLE RELATIVE AGLI EFFETTI NON TERMICI

Tabella A1: VLE per l'induzione magnetica esterna (B0) per frequenze comprese tra 0 e 1 Hz (1)

	VLE relativi agli effetti sensoriali [T]
Configurazioni di lavoro normali	2
Esposizione localizzata degli arti	8

Tabella A2: VLE per l'induzione magnetica esterna (B0) per frequenze comprese tra 0 e 1 Hz (2)

	VLE relativi agli effetti sanitari [T]
Condizione di lavoro controllata	8

Tabella A2: VLE relativi agli effetti sanitari per l'intensità di campo elettrico interno al corpo a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

Intervallo di frequenza	VLE relativi agli effetti sanitari [Vm ⁻¹] (valore di picco)
1 Hz ≤ f < 3 kHz	1,1
3 kHz ≤ f ≤ 10 MHz	3,8 × 10 ⁻⁴ f

Tabella A3: VLE relativi agli effetti sensoriali per il campo elettrico interno al corpo a frequenze comprese tra 1 Hz e 400 Hz

Intervallo di frequenza	VLE relativi agli effetti sensoriali [Vm ⁻¹] (valore di picco)
1 Hz ≤ f < 10 Hz	0,7/f
10 Hz ≤ f < 25 Hz	0,07
25 Hz ≤ f ≤ 400 Hz	0,0028 f

Tabella B1 VA per i campi elettrici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

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

Tabella B2: VA per i campi magnetici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

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

Tabella B3: VA per la corrente di contatto I

Frequenza	VA (I_C) corrente di contatto stabile nel tempo [mA] (RMS)
Fino a 2,5 kHz	1,0
$2,5 \leq f < 100$ kHz	$0,4 f$
$100 \text{ kHz} \leq f \leq 10000$ kHz	40

Tabella B4: VA per l'induzione magnetica di campi magnetici statici

Rischi	VA (B_0) [mT]
--------	-------------------

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

TABELLE RELATIVE AGLI EFFETTI TERMICI

Tabella A1: 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 [Wkg^{-1}]
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 A2: 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) [mJkg^{-1}]
$0,3 \leq f \leq 6 \text{ GHz}$	10

Tabella A3: 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 [Wm^{-2}]
$6 \text{ GHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$	50

Tabella B1: 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 [μ T] (RMS)	VA (S) per la densità di potenza [W/m^2]
$100 \text{ kHz} \leq f < 1 \text{ MHz}$	$6,1 \times 10^2$	$2,0 \times 10^6 / f$	-
$1 \leq f < 10 \text{ MHz}$	$6,1 \times 10^8 / f$	$2,0 \times 10^6 / f$	-
$10 \leq f < 400 \text{ MHz}$	61	0,2	-
$400 \text{ MHz} \leq f < 2 \text{ GHz}$	$3 \times 10^{-3} f^{1/2}$	$1,0 \times 10^{-5} f^{1/2}$	-
$2 \leq f < 6 \text{ GHz}$	$1,4 \times 10^2$	$4,5 \times 10^{-1}$	-
$6 \leq f \leq 300 \text{ GHz}$	$1,4 \times 10^2$	$4,5 \times 10^{-1}$	50

Tabella B2: VA per le correnti di contatto stazionarie e le correnti indotte attraverso gli arti

Intervallo di frequenza	VA (I_C) per la corrente di contatto stabile nel tempo [mA] (RMS)	VA (I_L) per la corrente indotta in qualsiasi arto [mA] (RMS)
$100 \text{ kHz} \leq f < 10 \text{ MHz}$	40	-
$10 \text{ MHz} \leq f \leq 110 \text{ MHz}$	40	100

5 – Tecniche e strumento di misura

Le misure dei campi elettromagnetici e quindi la valutazione del rischio elettromagnetico in un ambiente, non sono procedure semplici e che seguono un

È bene riportare un'introduzione molto sintetica di quelle che sono le basi teoriche a sostegno delle misurazioni pratiche che sono state eseguite.

5.1 – teoria della misurazione

Le operazioni prima di eseguire una misura, sono le seguenti:

- scegliere un opportuno sistema di unità di misura
- scegliere lo strumento da usare, valutandone le caratteristiche in rapporto alla misura da effettuare
- elaborare i risultati

Ma cos'è una misura? Una misura è un processo che associa ad ogni grandezza fisica uno (scalare) o più (vettore) numeri che la quantifica rispetto ad una opportuna unità di misura.

La misura è un procedimento empirico soggetto a limitazioni di varia natura che ne determinano la precisione, e quindi una misura non ha solitamente significato se non è accompagnata dalla sua incertezza.

Anche se in via del tutto teorica, sarebbe quindi fondamentale che nella misura fossero specificati 1) valore 2) incertezza 3) unità di misura.

Per quanto riguarda l'incertezza, nella valutazione del rischio da campi elettromagnetici ci sono molti parametri che influiscono sull'errore e sull'incertezza, quindi non solo l'errore strumentale, ma ad esempio anche il posizionamento della sonda, che non può che essere basato su un giudizio soggettivo da parte dell'operatore e su una stima della posizione "esatta" in cui dovrebbe avvenire la misura.

5.1.1 – lo strumento

Uno strumento di misura è un apparecchio che permette di determinare il valore di una grandezza fisica in rapporto al valore di una grandezza campione assunto convenzionalmente come unitario.

Lo strumento è caratterizzato da alcune specifiche sue proprie, esse sono le seguenti:

● **Sensibilità:** minima sollecitazione che si deve applicare allo strumento, perché esso fornisca una risposta apprezzabile.

●**Precisione**: capacità dello strumento di fornire la stessa risposta a parità di sollecitazione.

●**Accuratezza**: corrispondenza tra il valore che esso fornisce per la misura di una grandezza e il valore vero di essa.

●**Intervallo d'uso**: condizioni di lavoro (e.g. Intervallo di temp.) e di valori misurabili

5.1.2 - Stima del risultato ed analisi delle incertezze

Il risultato finale di una serie di misure di una grandezza è la **miglior stima** della grandezza.

L'incertezza sulla singola misura, e quindi sul risultato, viene espressa attribuendo loro un errore, spesso indicato attraverso un intervallo all'interno del quale si è confidenti che si trovi il valore misurato. L'incertezza dipende direttamente dagli errori della misurazione, e questi possono essere:

- **Errori sistematici**: quegli errori che possono affliggere il valore misurato così da renderlo sistematicamente diverso dal valore vero, sempre più piccolo o sempre più grande.

- **Errori di sensibilità**: errori dovuti alla sensibilità dello strumento.

- **Errori casuali**: quegli errori dovuti a cause accidentali (circostanze ambientali) che influenzano la misura.

-**Errore assoluto**: è in genere definito come la differenza tra il valore misurato e il valore esatto o considerato tale.

-**Errore relativo**: è generalmente indicato dalla divisione tra l'errore assoluto e il valore medio della serie di misure

-**Cifre significative**: L'errore sperimentale deve di regola essere arrotondato a una cifra significativa.

Per esempio: $g \text{ misurata} = 9,82 \pm 0,02 \text{ m/s}^2$

L'ultima cifra significativa del risultato di una misura deve essere dello *stesso ordine di grandezza (stessa posizione decimale) dell'errore*.

Per esempio, se si ottiene come valore misurato della velocità 92,81 m/s e l'errore sulla misura è 0,3 m/s, si deve scrivere velocità misurata = $92,8 \pm 0,3$ m/s se l'errore sulla misura è 3 m/s, si deve scrivere velocità misurata = 93 ± 3 m/s

5.1.4 - Misure di radiazioni elettromagnetiche e valutazione del rischio

Nella valutazione del rischio da campi elettromagnetici, la procedura di misurazione seguirà diversi step:

individuazione delle sorgenti pericolose

La prima operazione da effettuare nell'ambiente di lavoro è l'individuazione dei macchinari o di altre sorgenti che potrebbero rappresentare un quantitativo di emissioni che superano i valori di azione, o anche dei valori limite individuati dalla norma e quindi pericolosi per l'uomo. Questa operazione è influenzata da una certa conoscenza dei macchinari presenti nella struttura (e quindi dovrebbe esserci una fase preliminare di raccolta e studio delle informazioni sull'impianto produttivo) e anche certamente coadiuvata da una pregressa esperienza sul campo.

Scelta dei punti di misura

Una volta individuate le sorgenti potenzialmente più pericolose per l'uomo, si passa ad un atto decisionale. Ovvero, non potendo mappare in maniera totale e completa il campo elettromagnetico su tutta l'area lavorativa, si procede alla misura in concomitanza con i punti scelti, che saranno potenzialmente quelli ad emissione più elevata.

Posizionamento della sonda

Questo è un punto critico per il quali parlare di errori e di incertezze diventa poco interessante dal punto di vista pratico-tecnico. Infatti il posizionamento della sonda non potrà quasi mai avvenire nella stessa posizione in cui si troverà il lavoratore sottoposto all'azione di quella sorgente, bensì, semplicemente, vicino, in quanto la macchina dovrà essere azionata dal lavoratore stesso per permettere la misura in una situazione simile a quella di normale funzionamento della macchina. È chiaro che questo non è sempre vero, come ad esempio nel caso della misura del campo elettrico e magnetico emesso da un quadro elettrico. Bisogna anche valutare, oltre alla distanza dalla sorgente (che andrà specificata) anche l'altezza (o le altezze) della/e misura/e, tenendo ad esempio conto di quale parte del corpo del lavoratore è solitamente più esposta alle radiazioni.

La valutazione, anche in questo caso, non è fine, ma grossolana: bisogna valutare se il lavoratore passa più tempo in piedi o seduto per lavorare col macchinario in questione, se

lavora sempre frontalmente allo stesso o se in taluni casi si trovi a fianco del macchinario (in molti casi la misurazione cambia totalmente, dato che se ad esempio il campo magnetico prodotto dalle correnti circolanti è radiale all'asse orizzontale della macchina, come ad esempio nel caso di una puntatrice, se il lavoratore si dispone lateralmente alla macchina, attraverso di esso possono circolare correnti indotte molto più elevate)

Misura del campo

La normativa ci fornisce dei valori d'azione di riferimento da rispettare per il campo elettromagnetico al variare della frequenza, le misure saranno quindi effettuate e comparate con i limiti imposti dalla normativa.

Esiste inoltre una normativa tecnica per le misure in bassa (CEI 211-6) ed alta frequenza (CEI 211-7) che indica come effettuare, per l'appunto, le misure.

Inoltre viene introdotto il concetto di “picco ponderato” per la valutazione del rischio nel qual caso, ad esempio, non vi siano superamenti puntuali dei valori di normativa, ma valori elevati su tutto lo spettro.

Weighted Peak WP

L'indice cosiddetto di picco ponderato è riportato nelle indicazioni del documento ICNIRP, “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic fields (1 Hz to 100 kHz) – Health Physics Vol 99 Nr 6 pp 818-836, December 2010”.

Esso viene calcolato come:

$$\left| \sum_i \frac{A_i}{EL_i} \cos(2\pi f_i t + \theta_i + \varphi_i) \right| \leq 1$$

EL_i = Limite alla frequenza i-esima

A_i = Ampiezza del campo

θ_i = Angolo di fase

φ_i = Angolo di fase del filtro alla frequenza armonica

L'indice di picco ponderato consente all'operatore di valutare il superamento dei limiti normativi anche in presenza di segnali complessi, infatti l'indice è costituito da un numero adimensionale: basterà che esso non superi il valore unitario per rientrare nei valori normativi.

Viene calcolato da un software attraverso un filtro digitale di ponderazione i cui parametri variano in base al tipo di sonda (elettrica o magnetica) e ai limiti di esposizione selezionati, che dovranno essere indicati al software dal tecnico, e saranno divisi quindi in limiti per la popolazione o per i lavoratori.

Per le misure da noi eseguite, caratterizzeremo gli ambienti a basso rischio rifacendoci ai livelli di riferimento per la popolazione contenuti nel documento “ICNIRP, Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 Ghz) – Health Physics Vol 74 Nr 4 pp 494-522 April 1998” tabella 7.

Mentre per caratterizzare gli ambienti a rischio medio-elevato, ci rifaremo ai livelli inferiori riportati nella 2013-35-UE, e quindi nell’adeguamento del decreto legislativo 81/08 del 1 agosto 2016 entrato in vigore il 2 settembre 2016.

5.2 – PMM 8053

Specifiche principali	Specifiche del PMM 8053A. Le seguenti condizioni si applicano a tutte le specifiche: • La temperatura ambiente di utilizzo deve essere tra -10° e 40° C.
Specifiche Tecniche Misuratore di Campi elettromagnetici portatile PMM 8053	
Campo di misura	
Campo di frequenza	5 Hz - 40 GHz
Dinamica	>140 dB (in funzione del sensore)
Risoluzione e Sensibilità	in funzione del sensore
Display LCD	
Campo misurato	X, Y, Z in valore assoluto, percentuale e totale.
Tempo	Clock interno in tempo reale
Funzioni di misura	
Funzioni	Minimo , Massimo e Medio
Averaging mode	Aritmetica, quadratica (RMS), manuale, spaziale e media trascinata
Averaging time	definibile 30 sec, 1, 2, 3, 6, 10, 15, 30 min
Acquisizioni dati	Modi: sampling (1, 10-900 sec/lettura), data change, over the limit,
(Logger)	average su 6 min, manuale, spectrum (con EHP-50A/B/C)
Specifiche generali	
Ingressi	diretto con connettore Fischer o fibra ottica
Software/Firmware	Aggiornamento disponibile via Internet all'indirizzo http://www.pmm.it
Autotest	Automatico durante l'accensione per tutte le funzioni; verifica automatica di ogni singolo sensore a diodi
Calibrazione	Interna al sensore su E ² PROM
Conformità	Alle direttive 89/336 e 73/23 e agli emendamenti CEI 211-6 e 211-7
Temperatura operativa	Da -10 a +40°C
Temperatura di immagazzinamento	Da -20 a +70°C
Dimensioni (LxHxP)	108 x 240 x 50 mm
Peso	1,07 kg
Attacco treppiede	inserto filettato ¼"



L'ambiente operativo dello strumento deve trovarsi nell'ambito delle seguenti specifiche:

- Temperatura: Da -10 °C a +40 °C
- Umidità: < 90% relativa

Installazione ed uso

L'installazione del PMM 8053A è molto facile, semplicemente **inserire la sonda nell'apposito connettore superiore dell'apparecchio ed accenderlo.**

- Il valore misurato è calcolato come

$$\frac{V}{m_{tot}} = \sqrt{Ex^2 + Ey^2 + Ez^2}$$

È possibile anche specificare il valore di una frequenza, ciò permetterà di ottenere una misura molto precisa del valore di campo sulla frequenza scelta.

5.2.1 – sonda EHP 50-G

La sonda utilizzata è la EHP 50-G, permette di eseguire misure in un ampio campo di frequenze e ampiezze e presenta le seguenti incertezze da applicare alle misure:

Magnetic probe ⁽¹⁾	Magnetic flux density range	Total expanded uncertainty (k=2)	
		Without contribution of uncertainty of calibration U _{EHP50F} (%)	With contribution of uncertainty of calibration U _T (%)
Frequency at 50 Hz	50 nT to < 100 μT	2.3	3.0 ⁽²⁾
	100 μT to 3000 μT	2.6	3.8 ⁽³⁾
Frequency from 5 to 40 Hz	50 nT to 10.0 μT	5.3	5.7 ⁽²⁾
Frequency from 40 to 100 kHz	50 nT to 10.0 μT	4.9	5.3 ⁽²⁾

Electric probe ⁽⁴⁾	Electric field range	Total expanded uncertainty (k=2)	
		Without contribution of uncertainty of calibration U_{EHP50F} (%)	With contribution of uncertainty of calibration U_T (%)
Frequency at 50 Hz	1 V/m to 1000 V/m	7.1	7.4 ⁽⁵⁾
	1 V/m to < 100 kV/m	7.8	8.2 ⁽⁶⁾
Frequency from 5 Hz to 100 kHz	1 V/m to < 1000 V/m	8.8	9.2 ⁽⁶⁾

5.2.2 – sonda EP 330



Il Range di frequenza della sonda è 100 kHz - 3 GHz e viene fornito l'errore assoluto da associare alla sonda, che è +/- 0.8 dB (circa il 10%).

Capitolo 6

6.1 - Metodologia di misura utilizzata

Nelle diverse aziende sono state individuati i macchinari che presumibilmente avrebbero presentato dei livelli di emissione maggiori, riferendosi in questo step della procedura, a quanto descritto dalla letteratura sull'argomento.

6.1.1 - Induzione Magnetica e Campo Elettrico (5 Hz – 400 kHz)

1. Innanzitutto **viene installato il sensore isotropico** (sonda) sul treppiede ad un'altezza che possa essere rappresentativa della posizione del lavoratore nel luogo di lavoro ad esempio: 1.1 m, 1.5 m, 1.9 m). Questa altezza viene valutata caso per caso ed in funzione dell'usuale utilizzo dell'attrezzatura in questione e delle eventuali zone del corpo dove l'emissione potrebbe essere più concentrata (in effetti, in presenza di forti campi elettromagnetici, seppur sotto i limiti di esposizione della normativa, si presta particolare attenzione all'emissione a livello della testa dell'operatore).
2. Bisogna fare in modo di non influenzare la misura in nessun modo. Quindi **vengono spenti eventuali apparecchi cellulari** e si distanzia l'operatore che esegue la misura dal sensore misuratore, semplicemente **collegando il sensore al computer portatile tramite cavetto in fibra ottica** di opportuna lunghezza o collegando il sensore al PMM 8053 se si vuole usare lo strumento senza l'ausilio del portatile;
3. In caso si sia utilizzato il computer, si osserva lo spettro della radiazione non ionizzante, al fine di **individuare le frequenze con il più significativo contributo al Campo Elettromagnetico emesso**, e si acquisisce lo spettro stesso; l'ampiezza dello spettro di frequenze (200 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, ecc.) dipenderà chiaramente dalla tipologia della sorgente e verrà scelto al momento delle misure in base alle prime misure dello spettro, per l'appunto; senza l'utilizzo dell'elaboratore, la misura è meno precisa: o si sceglierà una frequenza ben precisa, come è stato fatto nel caso della cabina di trasformazione, o si procederà ad una misurazione in banda larga;
4. Si effettuano le **misure** di Induzione Magnetica e di Campo Elettrico in corrispondenza delle **frequenze puntuali** sopra individuate e all'interno del range di frequenza 5 Hz – 400 kHz, raccogliendo i valori istantanei delle due grandezze. Nel caso della misura del wi-fi si è misurata la frequenza puntuale di 2,4 GHz;

5. Ove necessario (ovvero in quei casi dove i vari valori puntuali si trovano sotto al valore limite di esposizione, ma comunque vicini ad esso) **si valuta il picco ponderato** (*Weighted Peak*) che, nel caso di sorgenti che emettono simultaneamente campi elettromagnetici a varie frequenze, permette una sommatoria pesata dei vari contributi al campo elettromagnetico generato dalla sorgente stessa. Per rispettare i limiti il valore del picco ponderato massimo dovrà essere inferiore al 100%.
6. Sono stati considerati i VA per la popolazione e i VA per i lavoratori. Essendo i primi più restrittivi, se questi vengono rispettati, la zona adiacente al macchinario viene considerata a rischio basso; se vengono superati i VA per la popolazione ma non quelli inferiori per i lavoratori, la zona verrà considerata a rischio medio, ed infine se vengono superati i VA inferiori per i lavoratori la zona è stata considerata a rischio elevato. Chiaramente in relazione a ciascun livello di rischio bisognerà provvedere con misure anche drasticamente diverse tra loro.

6.1.2 - Campo Elettrico (100 kHz – 3 GHz)

Per le misure del campo elettromagnetico ad alta frequenza, viene misurato solo il campo Elettrico, in quanto, come già spiegato nella parte teorica, ad alta frequenza i campi elettrico e magnetico sono dipendenti l'uno dall'altro tramite l'impedenza dell'aria nel vuoto, $E = 377 H$.

Si effettuano le misure di Campo Elettrico con il relativo sensore isotropico a banda larga nel range di frequenza 100 kHz – 3 GHz; tali misurazioni vengono eseguite tenendo conto della necessità di mediare un campo variabile e quindi prolungando la misurazione fino alla stabilizzazione del valore medio (generalmente per un intervallo di tempo pari a 6 minuti).

6.1.3 - Strumentazione utilizzata

La strumentazione impiegata nella misura dell'Induzione Magnetica e del Campo Elettrico ha le caratteristiche riportate nella tabella seguente:

Descrizione dello strumento	Marca	Modello
Data Logger	PMM	PMM 8053
Sensore isotropico di Campo Elettrico e di Induzione Magnetica	PMM	EHP 50 G
Sensore isotropico di Campo Elettrico	PMM	EP 330
Treppiede in legno 1.00 - 1.80 m	PMM (Berleback)	TR-02
Cavo in fibra ottica	-	-
Software utilizzato	PMM	SW02

6.2 – Misurazioni e provvedimenti di diminuzione del rischio

6.2.1 - SORGENTE CEM N.01

Numero identificativo ai fini della misura	Dati identificativi dell'attrezzatura/sorgente	Funzione	Collocazione
01	Quadro Elettrico Generale	/	Zona Ingresso Lavoratori



Particolare del quadro elettrico e posizionamento della sonda



Assorbimento di corrente elettrica al momento delle misurazioni

6.2.1.2 - Generalità sull'apparecchiatura e specifiche della misurazione

Il quadro elettrico generale o quadro di distribuzione è la parte dell'impianto a BT che serve a distribuire l'energia elettrica all'interno di tutto l'impianto di produzione.

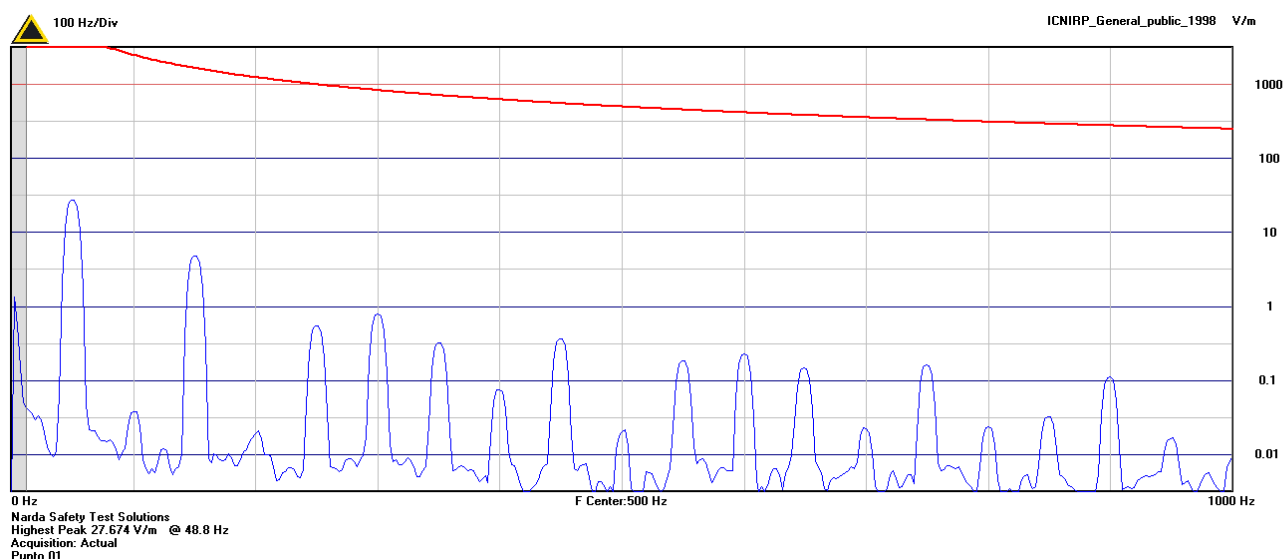
Il quadro elettrico è formato dall'involucro, dall'interruttore generale (un sezionatore o un magnetotermico), da uno o più interruttori magnetotermici e da almeno due interruttori differenziali ("salvavita"), in modo che il circuito delle luci sia separato dal circuito delle prese e favorisca la continuità di servizio.

La sonda è stata installata di fronte al quadro, a 20 cm di distanza da esso e a circa 1,6m d'altezza per considerare le interazioni tra le radiazioni e il sistema tronco-capo del corpo umano dei lavoratori che eventualmente si troveranno in corrispondenza del quadro.

Viene misurato dapprima il campo elettrico impostando la misurazione con span di 1kHz e i limiti di esposizione con quelli indicati nel documento ICNIRP del 1998.

Come si vede, e come era già stato specificato nella parte di normativa, questo limite varia con la frequenza.

Un'altra importante annotazione a riguardo della misura, è che l'asse delle ordinate è logaritmico e non lineare

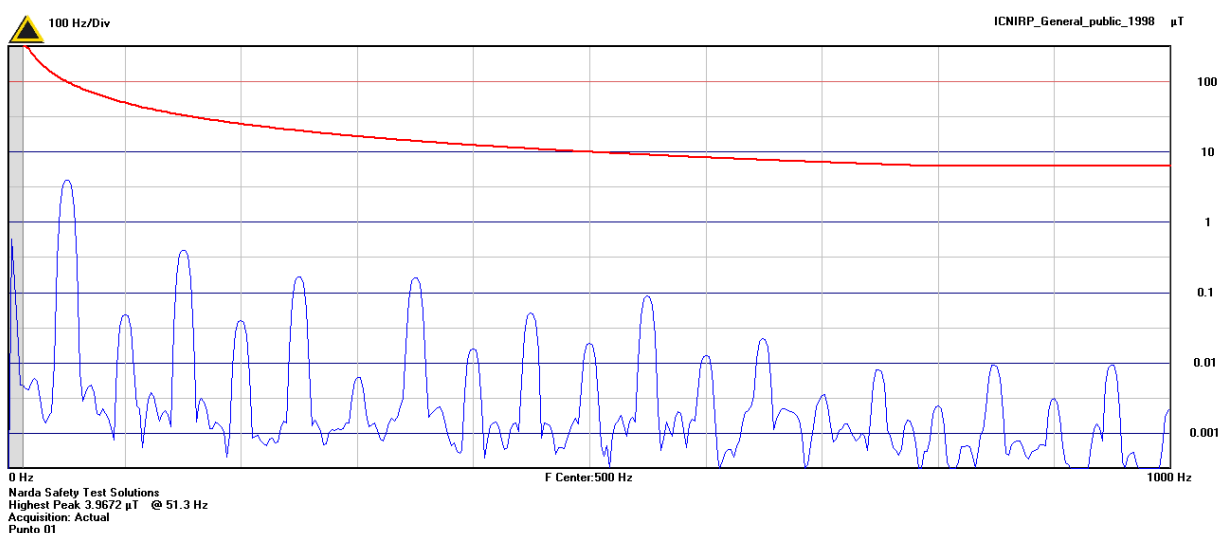


Campo Elettrico – Spettro (fino a 1000 Hz) rapportato ai limiti previsti per la popolazione

Come si vede dallo spettro, il picco più alto si ha in corrispondenza dei 50Hz, e tutti gli altri picchi in corrispondenza delle armoniche, in particolar modo si notano i picchi a 150Hz (terza armonica), e il gruppo con picco centrale a 300Hz (settima) e i due picchi laterali della quinta e della nona armonica.

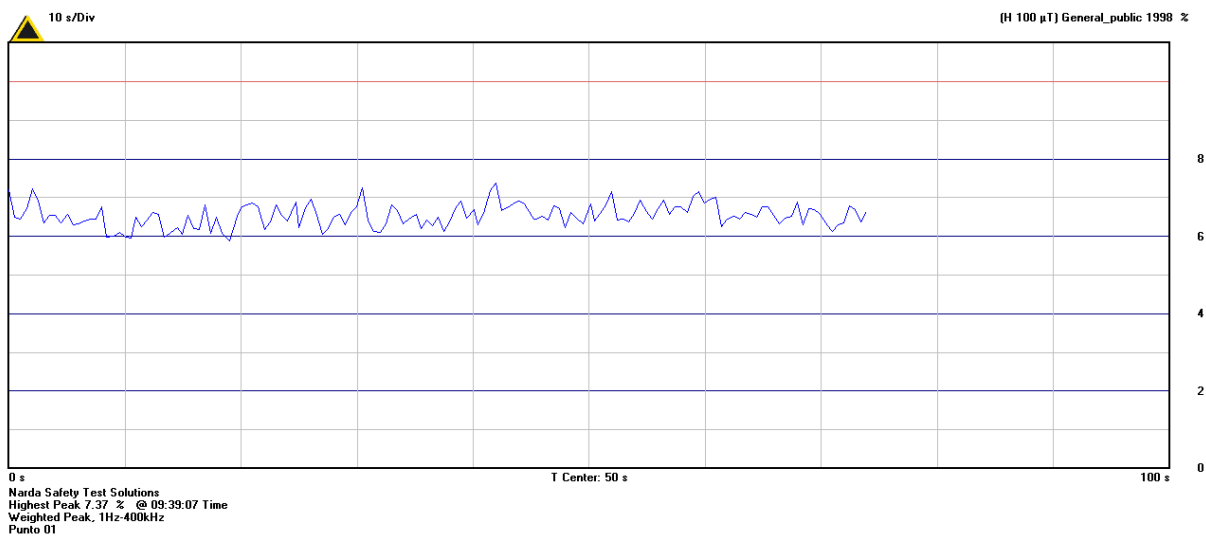
Per il Campo Elettrico non si evidenziano criticità (valori misurati inferiori ai limiti della popolazione e quindi anche a quelli dei lavoratori).

Si procede quindi alla misura del campo magnetico, con uno span sempre di 1000Hz.



Induzione Magnetica – Spettro (fino a 1000 Hz) rapportato ai limiti previsti per la popolazione

Come si evidenzia dalla schermata (spettro) sopra riportata, non si ha alcun superamento “puntuale” del limite, ma a tutte le frequenze si hanno dei valori in ogni caso non trascurabili. Si ritiene opportuno ricorrere, per completezza di valutazione, alla misurazione del picco ponderato (Weighted Peak) che tiene conto del contributo alle varie frequenze:



Induzione Magnetica – grafico del picco ponderato “Weighted Peak” (in percentuale del limite (100%) previsto per la popolazione)

Dato che anche il picco ponderato per l’Induzione Magnetica NON supera il limite per la popolazione (100%) (il picco ponderato si attesta su dei valori prossimi al 7% rispetto al limite del 100%), viene soddisfatta la Zona 0 (Rischio Basso).

Si aggiunge inoltre che il Quadro Elettrico, alla data del sopralluogo di misura, confina con locali adibiti a permanenza di persone inferiore alle 04 ore giornaliere.

SORGENTE CEM N.01	ZONA 0	Rischio BASSO
-------------------	--------	---------------

6.2.1.3 – misure di prevenzione e protezione

È chiaro quindi che per tutto quanto sopra esposto, non sia necessario applicare in questo primo caso, nessuna misura specifica di riduzione del rischio.

È chiaramente però consigliabile mantenere questa zona a bassa frequentazione da parte dei lavoratori.

6.2.2 - SORGENTE CEM N.02

Numero identificativo ai fini della misura	Dati identificativi dell'attrezzatura/sorgente	Funzione	Collocazione
02	Puntatrice	Puntatura carrelli	Reparto saldatura



*Immagine della sorgente di Campi Elettromagnetici in esame e le fasi di misura.
(1)*



Immagine della sorgente di Campi Elettromagnetici in esame e le fasi di misura.(2)



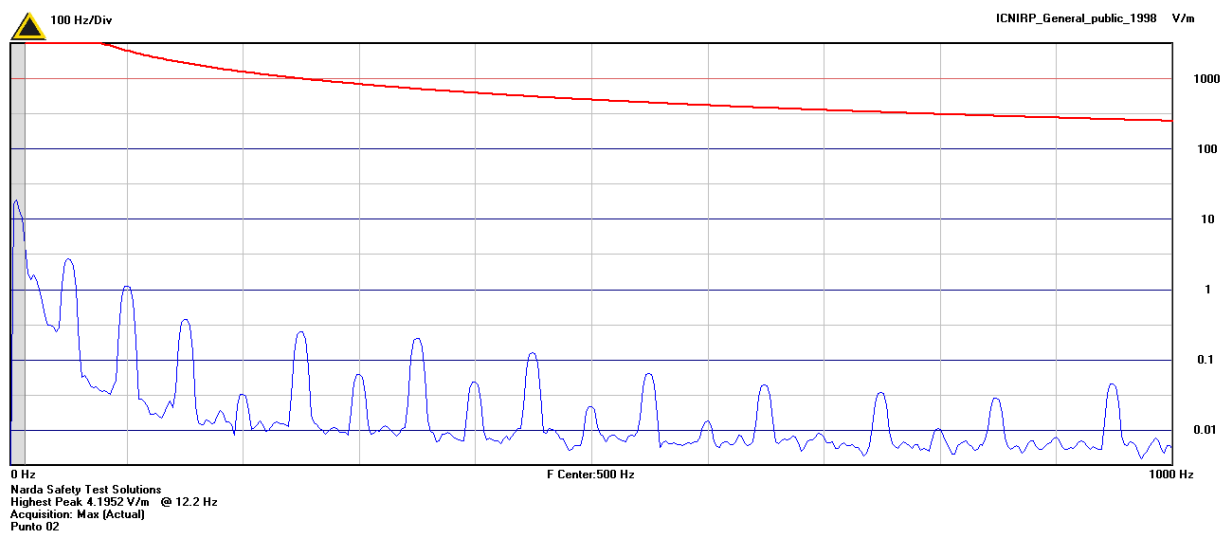
Caratteristiche dell'apparecchiatura e particolare dei parametri impostati al pannello di controllo durante le operazioni di misura

6.2.2.1- Generalità sull'apparecchiatura e specifiche della misurazione

La puntatrice è una macchina operatrice impiegata nella saldatura elettrica a resistenza, per mezzo della quale si esegue l'unione per “punti” dei lembi sovrapposti di due lamiere che vengono serrati tra due elettrodi azionati meccanicamente (solitamente da un operatore). Quando si chiude il circuito elettrico, al passaggio della corrente si avrà uno sviluppo notevole di calore, per effetto Joule, nei punti di contatto tra gli elettrodi e la lamiera, e tra le due lamiere, che porta ad alta temperatura (e alla conseguente fusione) solo una zona limitata di metallo. Il problema principale di questa tipologia di macchine sono le correnti molto elevate (anche decine di migliaia di A), per tempi brevissimi. Queste grandi correnti impulsive possono provocare grandi disturbi armonici e quindi emissione di campi elettromagnetici a frequenze anche elevate.

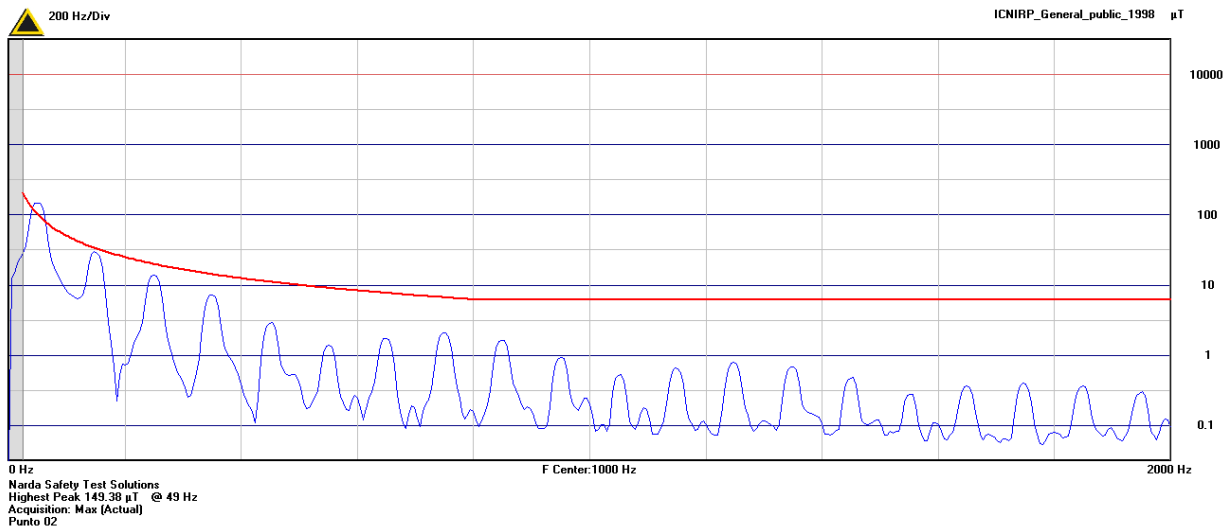
È per questo che anche se le misure sono risultate inferiori ai limiti, è stato deciso di usare il picco ponderato.

La sonda è stata posta quanto più vicino possibile alla testa dell'operatore che aziona la macchina, infatti questa zona corrisponde sia con la zona più critica per l'organismo, sia con la parte della macchina meno “schermata” e quindi più emettitrice.



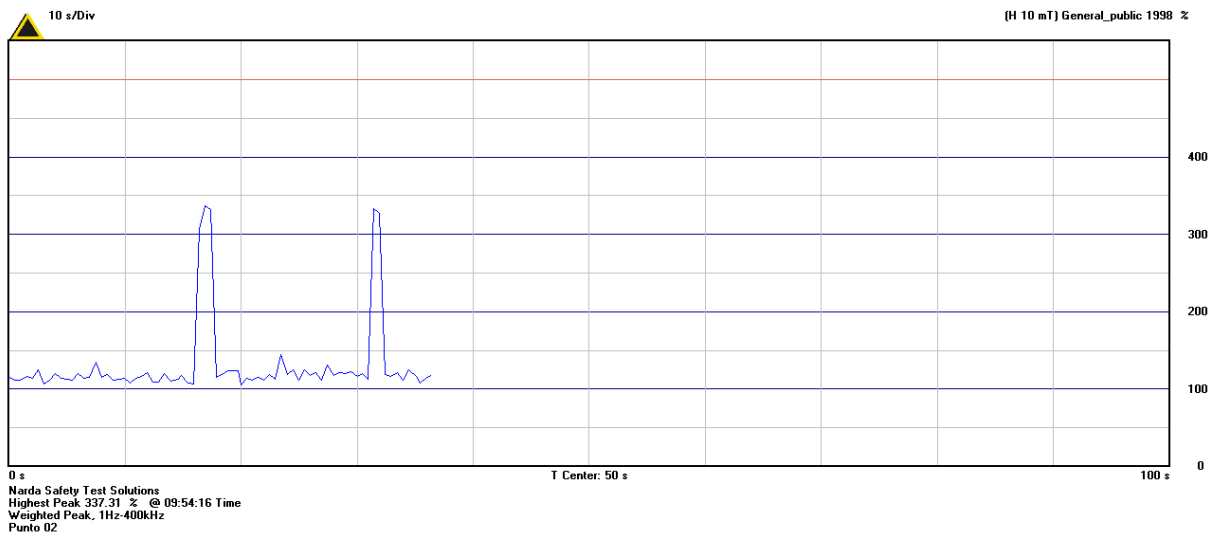
Campo Elettrico – Spettro (fino a 1000 Hz) rapportato ai limiti previsti per la popolazione

Per il Campo Elettrico non si evidenziano criticità (valori misurati inferiori ai limiti della popolazione e quindi anche a quelli dei lavoratori).



Induzione Magnetica – Spettro (fino a 2000 Hz) rapportato ai limiti previsti per la popolazione

Come si evidenzia dalla schermata (spettro) sopra riportata, si ha un superamento “puntuale” del limite, ma anche a tutte le frequenze si hanno dei valori in ogni caso non trascurabili. Si veda a tal proposito la seguente schermata che si riferisce alla misurazione del picco ponderato (Weighted Peak) che tiene conto del contributo alle varie frequenze:



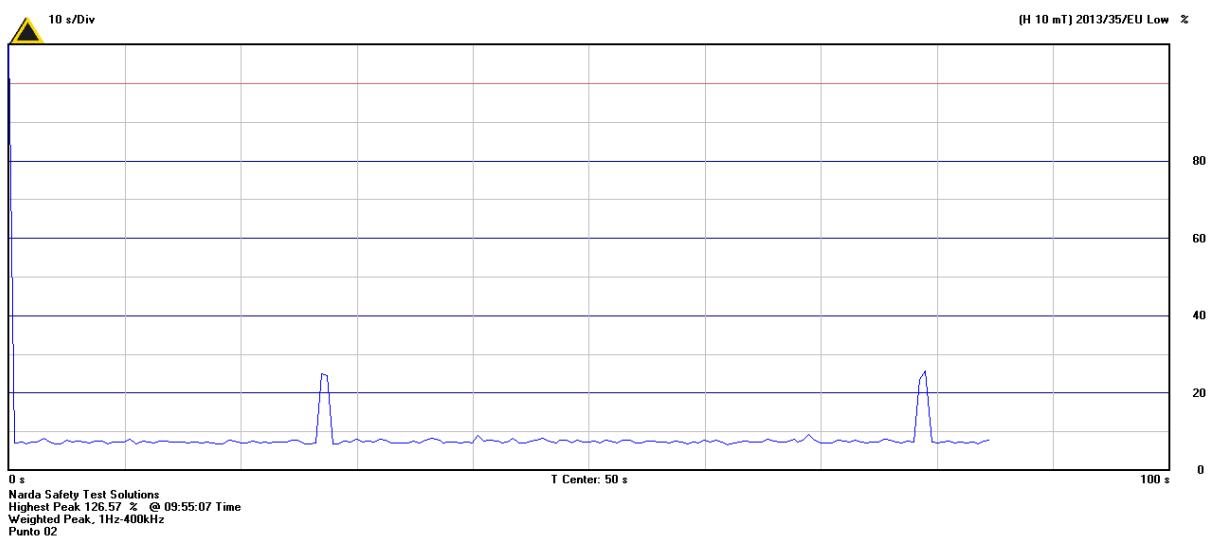
Induzione Magnetica – grafico del picco ponderato “Weighted Peak” (in percentuale del limite (100%) previsto per la popolazione)

Per quanto riguarda l’Induzione Magnetica ci possono essere delle criticità dovute al fatto che le intensità di corrente elettrica durante gli istanti di puntatura sono in genere molto elevate e inoltre si possono avere dei contributi all’Induzione Magnetica dovuti a varie frequenze.

Per tale ragione si è valutato anche il grafico del picco ponderato (Weighted Peak) che tiene conto del contributo alle varie frequenze.

Come è evidenziato dalla schermata sopra riportata, i valori di picco ponderato per l'Induzione Magnetica superano di molto il limite per la popolazione (si raggiungono anche valori superiori al 330% rispetto al limite del 100%).

NON viene quindi soddisfatta la Zona 0 (Rischio Basso). Per stabilire se la Zona è 1 (Rischio Medio) o 2 (Rischio Alto) si dovranno valutare i limiti per i lavoratori (schermata seguente):



Induzione Magnetica – grafico del picco ponderato “Weighted Peak” (in percentuale del limite (100%) previsto per i lavoratori) Siccome i valori di picco ponderato per l'Induzione Magnetica NON superano il limite per i lavoratori (vedi schermata di sopra), si è in Zona 1 (Rischio Medio).

SORGENTE CEM N.02	ZONA 1	Rischio MEDIO
-------------------	--------	---------------

6.2.2.2 – misure di riduzione del rischio

Tenendo presente che i valori di azione riportati nella presente relazione si riferiscono ad esposizioni istantanee dei lavoratori e non necessariamente a lunghe permanenze nei pressi della sorgente di campo elettromagnetico, si raccomanda quanto segue:

- Pur rimandando al Medico Competente ogni ulteriore considerazione in merito, i soggetti particolarmente sensibili agli effetti dei Campi Elettromagnetici, è bene non vengano adibiti alla mansione che prevede l'utilizzo dell'apparecchiatura;

- Applicare sull'involucro dell'apparecchiatura e, se possibile, nelle immediate vicinanze appositi pittogrammi (ad esempio come da simbolo sotto riportato) che



segnalino la presenza di emissioni di forti campi magnetici. Tali pittogrammi dovranno essere applicati in posizione evidente e in maniera indelebile e inamovibile;

- Esiste la possibilità di ridurre ulteriormente il rischio (già al di sotto dei limiti di legge) installando **fogli di materiale ferromagnetico** tra la testa dell'operatore e il macchinario. Questi fogli potrebbero effettivamente ridurre di molto il campo elettromagnetico attraverso la concatenazione dei flussi dispersi. Sarebbe però chiaramente necessaria la disponibilità del datore di lavoro, che comunque non è da legge costretto ad intervenire, dato che non sono superati i valori d'azione e ulteriori misure sperimentali dopo l'avvenuta bonifica.
- Applicare appositi pittogrammi di divieto (ad esempio come da simboli sotto riportati) nelle vicinanze dell'apparecchiatura. Tali pittogrammi dovranno essere applicati in posizione evidente e in maniera indelebile e inamovibile;



Vietato l'accesso ai portatori di stimolatori cardiaci attivi
P007



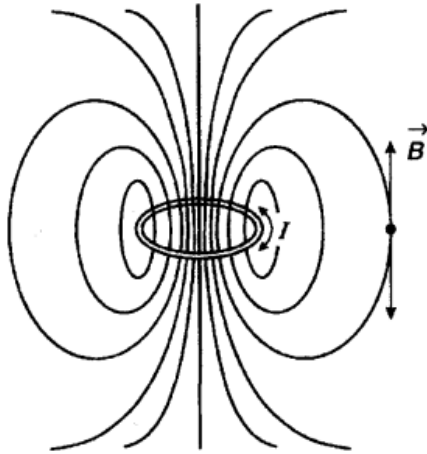
Vietato l'accesso ai portatori di protesi metalliche
P014



Vietato entrare con orologi ed oggetti metallici
P008

- L'operatore durante le operazioni di puntatura dovrà seguire le buone prassi e mantenere una corretta postura ed ergonomia di lavoro (vedasi la posizione dell'operatore riportata nelle fotografie iniziali della presente Scheda Sorgente).

A questo riguardo va detto che l'operatore potrebbe pensare che posizionandosi non frontalmente, bensì di lato all'apparecchiatura, sarebbe soggetto di minore esposizione, ma in realtà è vero il contrario:



Se pensiamo al circuito di puntatura come ad una spira di corrente, il campo magnetico che investirà l'operatore sarà perpendicolare allo stesso se seduto nella posizione corretta, ma qualora decidesse di operare lateralmente, esso sarebbe tagliato a metà dalle linee di flusso del campo di induzione magnetica, che si richiuderebbero quindi partendo da una mano, passando attraverso la testa per chiudere il percorso infine all'altra mano. È essenziale quindi che il lavoratore rispetti l'ergonomia di utilizzo della macchina.

- A tutti i lavoratori e ai loro rappresentanti dovranno essere impartite le informazioni sui rischi e pericoli derivanti dall'esposizione ai Campi Elettromagnetici.

6.2.3 - SORGENTE CEM N.03

Numero identificativo ai fini della misura	Dati identificativi dell'attrezzatura/sorgente	Funzione	Collocazione
03	Saldatrice a filo – SIPE S.p.A. – Tipo COMPACT 250	Saldatura/Riparazione pezzi	Reparto saldatura

6.2.3.1 – generalità sull'apparecchiatura e specifiche di misurazione

La saldatura di questa saldatrice è ad arco elettrico: un elettrodo rivestito di un materiale antiossidante viene avvicinato al pezzo da saldare e ad una certa distanza si genera la scarica elettrica che scalda il pezzo fino a creare il bagno di saldatura, che viene protetta dall'ossidazione per l'appunto dal fatto che l'elettrodo è rivestito di un materiale antiossidante.

In questo caso la sonda è stata posta in corrispondenza del sistema mano braccio, ovvero la parte più sottoposta al campo elettromagnetico e ad eventuali correnti indotte.



Immagine della sorgente di Campi Elettromagnetici in esame e le fasi di misura.

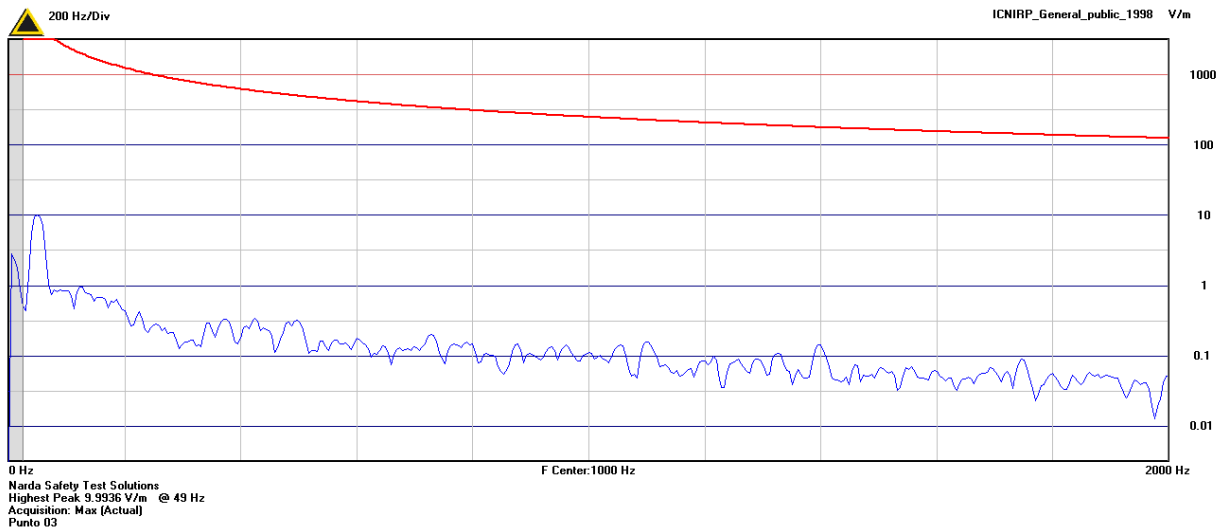
				MIG-MAG	
TIPO COMPACT 250				N° 7E86205	
SALDATURA		50 A / 14 V - 250 A / 28 V			
	U	X	%	60 %	100 %
	I	I ₂	A	250 A	200 A
	U ₀ 18,40V	U ₂	V	28 V	24 V
ALIMENTAZIONE				74149-1	
m 3 ~	50 Hz	U ₁	220 V	I ₁	A 29,5 A 17,3 A
n	11,2 KVA		380 V		
	cos φ				17 10
<input checked="" type="checkbox"/> COSTRUZIONE ESEGUITA A NORMA del D.P.R. 27 Aprile 1955 N. 547					
SIPE S.p.A.			PESCARA - Italy		

Targhetta identificativa dell'apparecchiatura



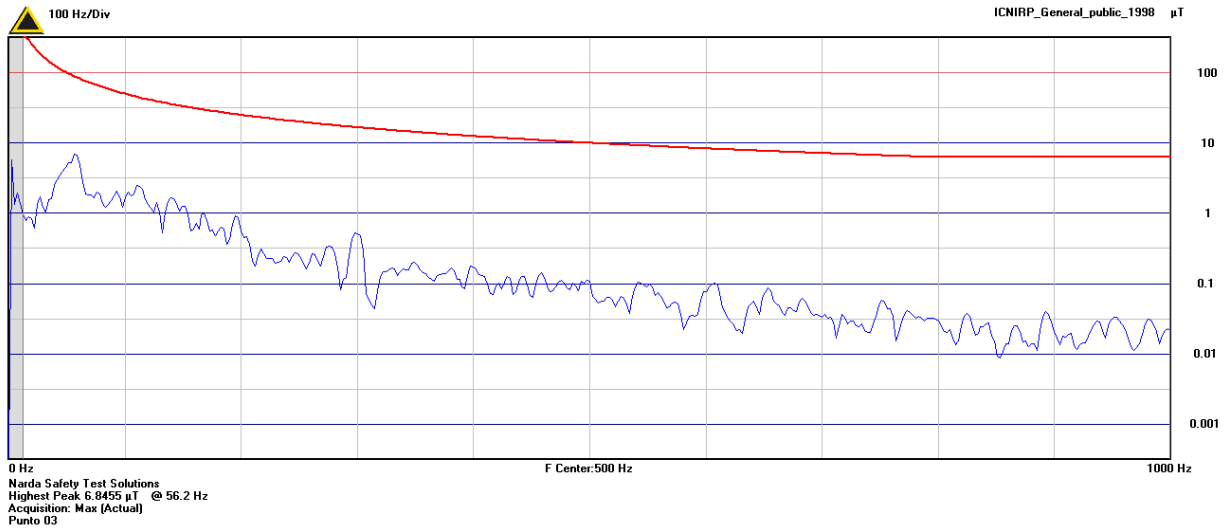
Caratteristiche dell'apparecchiatura e particolare dei parametri impostati al pannello di controllo durante le operazioni di misura

Come si vede dall'immagine allegata sopra, la sonda è stata posta ad un'altezza di circa 1,5m e ad una distanza dall'operatore e in particolare dalla sorgente di CEM è di 50 centimetri. Si parte dalla misura del campo elettrico rapportando i valori misurati con i limiti indicati dall'ICNIRP nelle linee guida per la popolazione.



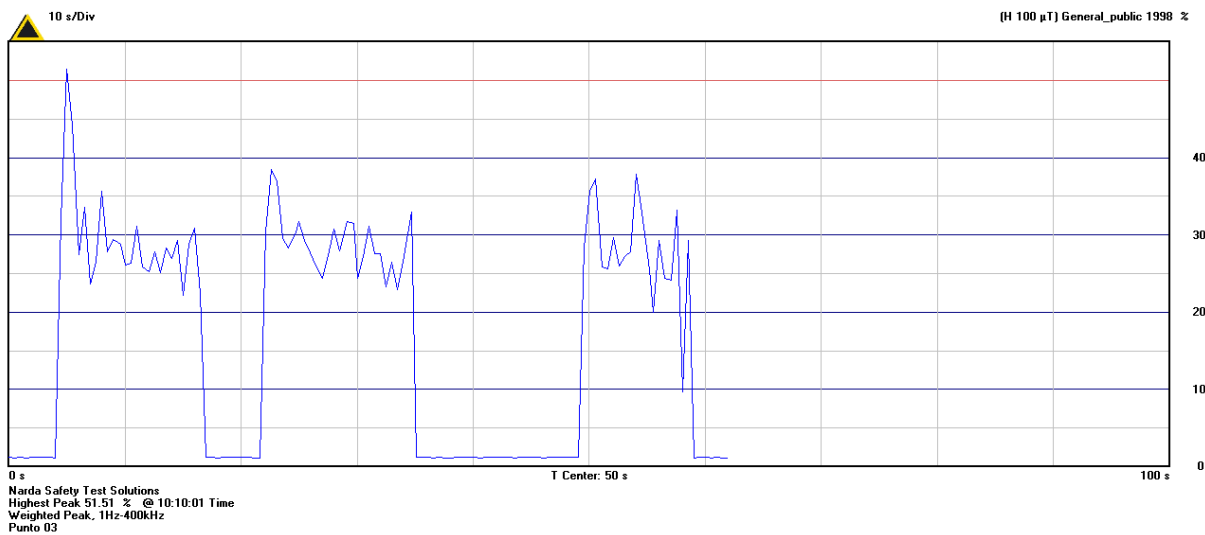
Campo Elettrico – Spettro (fino a 2000 Hz) rapportato ai limiti previsti per la popolazione

Per il Campo Elettrico non si evidenziano criticità (valori misurati inferiori ai limiti della popolazione e di conseguenza anche a quelli dei lavoratori).



Induzione Magnetica – Spettro (fino a 1000 Hz) rapportato ai limiti previsti per la popolazione

Come si evidenzia dalla schermata (spettro) sopra riportata, non si ha alcun superamento “puntuale” del limite, ma a tutte le frequenze si hanno dei valori in ogni caso non trascurabili. Si ritiene opportuno ricorrere quindi alla misurazione del picco ponderato (Weighted Peak) che tiene conto del contributo alle varie frequenze:



Induzione Magnetica – grafico del picco ponderato “Weighted Peak” (in percentuale del limite (100%) previsto per la popolazione)

Siccome il picco ponderato per l'Induzione Magnetica NON supera il limite per la popolazione (100%) (durante le fasi di saldatura si sono raggiunti valori di quasi del 52% rispetto al limite del 100%), viene soddisfatta la Zona 0 (Rischio Basso).

SORGENTE CEM N.03	ZONA 0	Rischio BASSO
-------------------	--------	---------------

6.2.3.2 - Misure di riduzione del rischio

Seppur rispettando anche il gradino più basso nella nostra classificazione del rischio, si possono fare alcune considerazioni dal punto di vista meramente pratico per quanto riguarda la riduzione del rischio per l'operatore.

Bisogna infatti **informare e formare** i lavoratori addetti a questa apparecchiatura al funzionamento e all'uso della stessa.

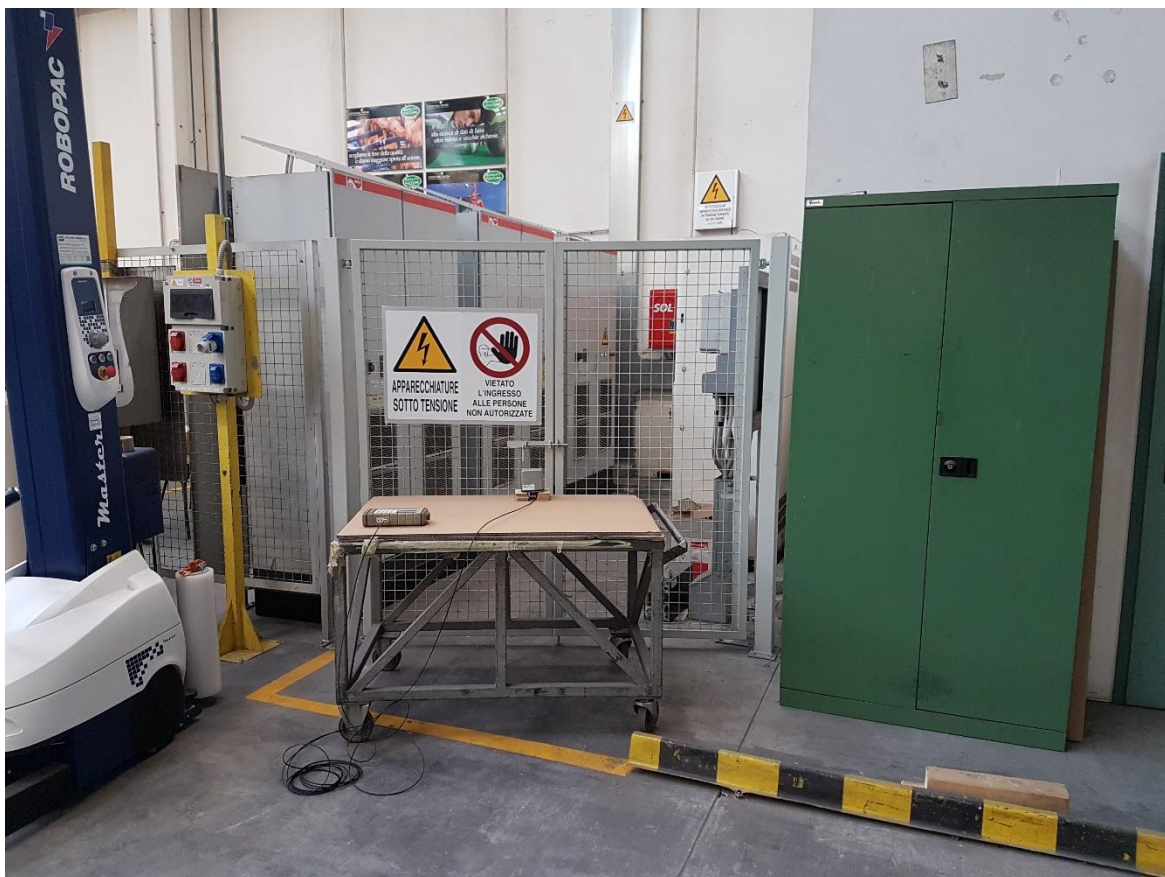
Seppur entro i limiti previsti dall'ICNIRP, la macchina emette campi magnetici relativamente intensi, e uno dei problemi da risolvere/rispettare è quello dell'ergonomia, ovvero della posizione dell'addetto alla saldatura. Infatti se costui si trova posizionato tra il trasformatore di potenza che alimenta l'arco elettrico, e l'elettrodo che genera l'arco stesso, il lavoratore potrebbe chiudere il circuito e avere correnti disperse che si richiudono attraverso il suo corpo.

È per questo motivo che:

- Va garantito un posizionamento che eviti la chiusura del circuito generatore-elettrodo
- Potrebbe essere previsto l'uso di guanti e/o tappetini e/o scarpe isolanti per evitare il fenomeno appena descritto
- Va evitato quanto possibile la presenza addosso al corpo dell'addetto di oggetti metallici

6.2.4 - SORGENTE CEM N.04

Numero identificativo ai fini della misura	Dati identificativi dell'attrezzatura/sorgente	Funzione	Collocazione
04	Cabina di trasformazione MT-BT	Trasformazione-distribuzione energia elettrica nell'impianto	Angolo del capannone sede dei diversi processi produttivi



Cabina elettrica, esterno



Particolare della cabina (1)



Particolare della cabina (2)

6.2.4.1 – Generalità sull'apparecchiatura e specifiche di misurazione

La cabina elettrica di trasformazione media-bassa è sita nell'impianto di Inoxveneta Spa, nella zona industriale di Vittorio Veneto.



Logo dell'azienda

Una Cabina elettrica di trasformazione da media a bassa tensione, abbassa la tensione della rete di MT da 20KV ad una tensione inferiore, solitamente 380V, per poi distribuirla in tutto l'impianto permettendo il funzionamento dei macchinari presenti.

I campi elettrico e magnetico, nel caso di una cabina elettrica, sono indipendenti tra loro. Infatti, come è già stato specificato precedentemente, a 50Hz (la frequenza di funzionamento di un trasformatore), campo elettrico e magnetico sono indipendenti tra loro, e in particolare E è proporzionale alla tensione, mentre B è proporzionale alla corrente.

È proprio per questo motivo che il lato più problematico è quello a bassa tensione, ovvero quello dove la tensione è minore, ma sono più alte le correnti.

Le misure dei campi elettromagnetici di una cabina MT/BT possono essere eseguite tarando la sonda EHP-50 sulla singola frequenza dei 50Hz, e in particolar modo misurando solo il campo di induzione magnetica, dato che il campo elettrico viene già fortemente attenuato dalla schermatura offerta dalle pareti metalliche della cabina stessa. La sonda è stata posizionata in 3 diversi punti, sempre all'altezza di 1,5 metri dal suolo, impostando la modalità Data Logger con durata dell'acquisizione di 1 minuto e con una acquisizione al secondo.

Come abbiamo già detto, a questa frequenza, l'unico campo di interesse è quello di induzione magnetica, in quanto quello elettrico viene facilmente schermato dalle pareti metalliche della cabina stessa.

Ci riferiamo quindi, per il *primo step di rischio*, alle guide linea del 1998 dell'ICNIRP per la salute pubblica, che per la frequenza di 50 Hz indicano i seguenti valori:

Campo di Frequenze	Bmax [μT]
$0.025 \leq f < 8\text{kHz}$	$5/f$
$F=50\text{Hz}=0.05\text{kHz}$	$5/0.05=100$

Se questi valori dovessero essere superati, ci riferiremo come *secondo step di rischio*, ai limiti imposti dalla normativa nazionale entrata in vigore il 2 settembre 2016:

Frequenza (Hz)	Induzione magnetica B (μT)		
	LA inferiori	LA superiori	LA esposizioni localizzate
35 – 300	1000	$3 \times 10^5/f$	18000
50	1000	6000	18000

Nella valutazione del rischio è stata valutata anche la presenza, sul retro del locale cabine, di una zona adibita al ristoro per la pausa caffè. Si è deciso quindi di eseguire delle misurazioni anche in tale zona



Zona pausa caffè adiacente alla cabina

Posizione	B_{MAX} (μT)	% ICNIRP general public guidelines 1998	% LA inferiori D.Lgs 01/08/2016 n.159	% LA superiori D.Lgs 01/08/2016 n.159
Davanti al cancello della cabina	2,25	2,25%	0,22%	0,375%
Zona caffè adiacente alla cabina di trasformazione	0,71	0,71%	0,071%	0,012%

6.2.4.2 – misure di riduzione del rischio

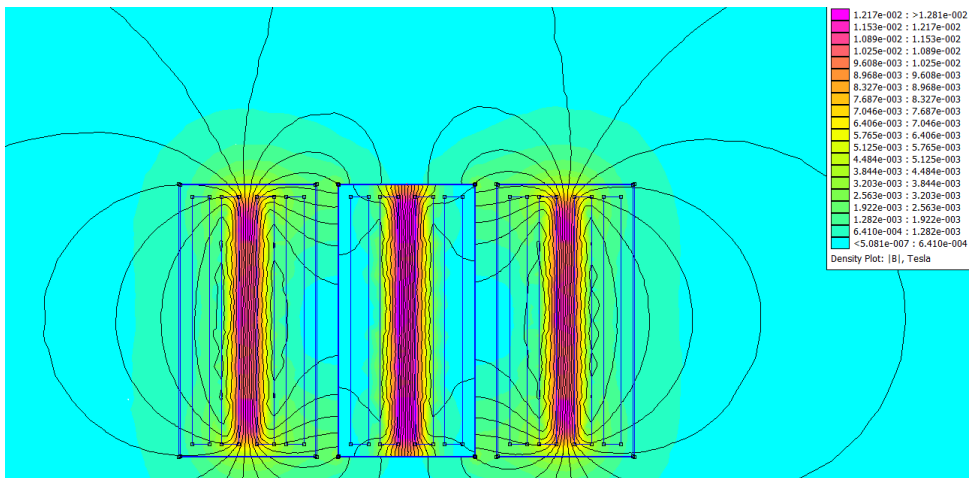
Le misurazioni soddisfano pienamente tutti i limiti imposti dalla legge, ma ampiamente anche i limiti indicati dalle linee guida dell'ICNIRP, non si ritengono necessarie azioni specifiche di riduzione del rischio.

Tuttavia, è interessante considerare il motivo della drastica riduzione dell'induzione magnetica nella zona caffè. Pur rispettando pienamente i limiti, infatti, precedentemente alle nostre misure (probabilmente in sede progettuale/di installazione) era stata installata una parete divisoria tra le due zone, con un rivestimento metallico dal lato della cabina. Come già spiegato nel capitolo dedicato alle misure di protezione, la schermatura funziona soprattutto con schermi chiusi, ma nelle abituali condizioni degli ambienti di lavoro questo non è quasi mai possibile, in questo caso con la cabina, e ancor di più, come abbiamo già visto, con i macchinari che richiedono un azionamento continuo da parte dell'operatore.

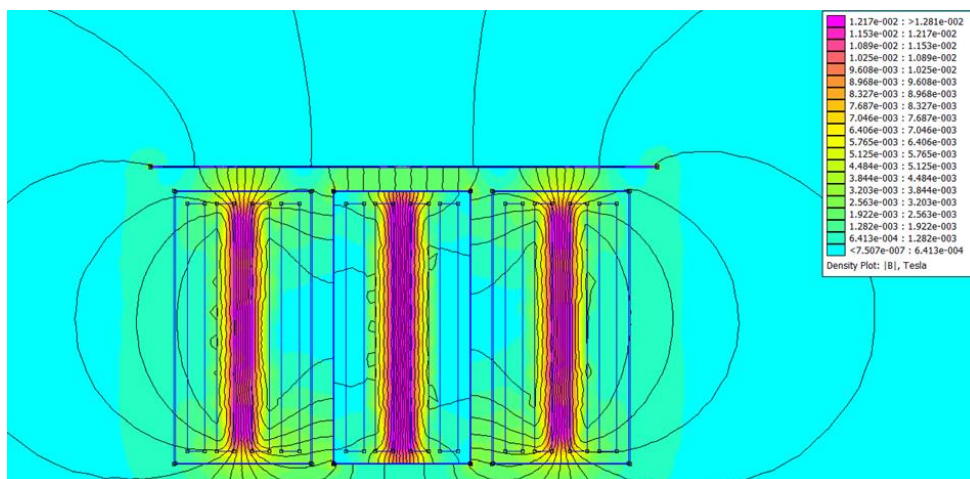
In ogni caso questo è un esempio pratico di come anche una schermatura aperta (una semplice barriera in materiale conduttivo) possa apportare grandi benefici nell'attenuare i campi di induzione magnetica.

Per esemplificare il concetto, è stata eseguita una semplice simulazione agli elementi finiti di una cabina di trasformazione, e di come un semplice schermo piano di 1 cm di spessore in Ferro (che oltre ad essere conduttivo, è un materiale ferromagnetico) permetta una

concatenazione del flusso disperso e quindi una riduzione considerevole dell'esposizione ai CEM.



Trasformatore trifase senza schermatura



Trasformatore trifase con schermatura aperta

6.2.5 - SORGENTE CEM N.05

Numero identificativo ai fini della misura	Dati identificativi dell'attrezzatura/sorgente	Funzione	Collocazione
05	Modem "fibra" e ripetitore wi-fi	Trasmissione informazioni	Prima casetta all'ingresso della struttura del bed&breakfast



Piantina della struttura con indicazione dei punti di misura

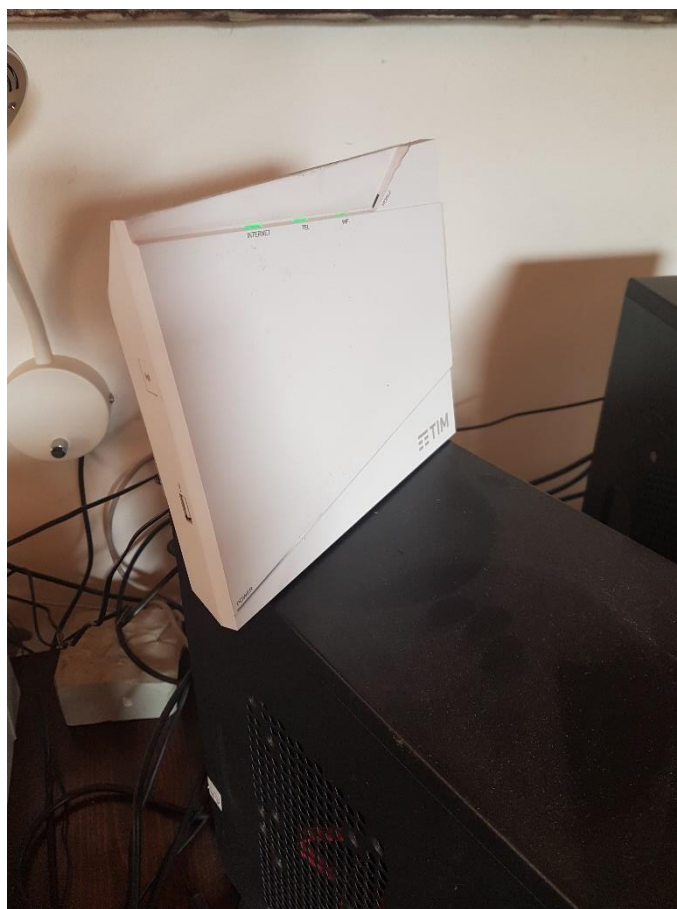
Si è deciso di effettuare delle misurazioni del campo emesso dal modem di nuova generazione (collegamento alla rete in fibra ottica, velocità di trasmissione dichiarata

100Mbit/s) recentemente installato nella struttura del bed and breakfast “da Caterina”, sito in Vittorio Veneto (TV)



6.2.5.1 – Generalità sull'apparecchiatura e specifiche di misurazione

L'attività in questione ha deciso di allacciare la propria linea telefonica alla rete di telecomunicazioni in fibra ottica, ammodernando quindi anche modem internet e un ripetitore che permette la connessione in tutta l'area .



Punto di misura n.1

È stato quindi nostro interesse, dopo aver verificato la connettività alla rete stessa in ognuno dei diversi moduli abitativi, misurare i livelli di campo elettromagnetico ad alta frequenza in diversi punti significativi.

La normativa ci indica i seguenti limiti per l'alta frequenza (il modem ha una frequenza dichiarata di 2,4GHz):

Intervallo di frequenza	VA (E) per l'intensità del campo elettrico [V/m] (RMS)	VA (B) per l'induzione magnetica [μ T] (RMS)	VA (S) per la densità di potenza [W/m^2]
$2 \leq f < 6$ GHz	$1,4 \times 10^2$	$4,5 \times 10^{-1}$	-



Punto di misura n.2



Punto di misura n.3

Le misure sono state eseguite in questo caso con la sonda EP-330 in modalità MAX/RMS con tempo di acquisizione di 1 minuto, i valori misurati sono i seguenti:

Posizione	E_{MAX} (V/m)	E_{RMS} (V/m)	% del massimo rispetto al VA del D.Lgs 01/08/2016 n.159
Punto di misura 1 a 5 cm dal modem	6,3	2,5	4,5%
Punto di misura 1 Posizione testa impiegato al PC	0,89	0,59	0,006%
Punto di misura 2 Davanti al ripetitore	0,31	0,16	0,22%
Punto di misura 3	0,31	0,06	0,22%
Punto di misura 4	0,05	0,05	0,00035%

Ci viene fornito l'errore assoluto da associare alla sonda, che è +/- 0.8 dB, da cui possiamo ricavare l'errore percentuale attraverso la formula:

$$\left(1 - 10^{\frac{XdB}{20}}\right) \cdot 100 = \varepsilon\%$$

L'errore percentuale della sonda ad alta frequenza risulta quindi pari al 9,65%.

Le misure sono state effettuate, in ordine, a breve distanza dal modem, in corrispondenza della testa dell'operatore, davanti al ripetitore, a 10 metri dallo stesso e in ultimo, in una zona in ombra.

Le misure rispettano pienamente i limiti imposti dalla normativa, non sono necessarie misure tecniche od organizzative di alcun tipo per diminuire il rischio.

Tuttavia i soggetti che presentano una ipersensibilità accertata a questo tipo di radiazioni e gli infanti, dovrebbero evitare per quanto possibile, di sostare parecchio tempo vicino alla sorgente di emissione.

Conclusioni

Dalle misurazioni effettuate, è stato appurato che i limiti imposti dal nuovo decreto entrato in vigore il 2 settembre 2016 sono tutti rispettati dalle varie aziende analizzate.

Detto questo, è giusto specificare, come già si è fatto, che il limite indicato dalla normativa indica semplicemente effetti acuti e accertati, mentre per quelli a lungo termine, i cui dati a riguardo sono contrastanti, non è stato preso alcun provvedimento.

In un'ottica cautelativa e preventiva, si sono consigliate comunque, nei casi di campi molto intensi, delle misure che in ogni caso andassero a ridurre l'esposizione a tali campi.

Inoltre, bisogna considerare che anche gli effetti sensoriali, anche se privi di ripercussioni a lungo termine, potrebbero comunque rappresentare un rischio per la sicurezza nell'ambiente lavorativo, e pertanto l'eventuale addetto sottoposto a campi con effetti biologici sensoriali, dovrà essere informato di tale pericolo (a seguito di nausea, fosfeni, o altri fenomeni transitori che potrebbero impedire il corretto utilizzo dei macchinari in ambiente di lavoro) e messo in condizioni tali da poter operare in totale sicurezza.

Oltre alle misurazioni vere e proprie, come quelle qui effettuate, si presenta la possibilità di interrogare i lavoratori stessi per quanto riguarda eventuali effetti spiacevoli sulla propria persona, in un contesto di salute e sicurezza del lavoratore, aspetti che dipendono anche dallo stress del dover provare sensazioni negative durante il proprio turno di lavoro.

Infatti in tal senso, la normativa indica sì dei limiti da rispettare, ma come si coglie da una lettura generale della stessa, l'obiettivo del Datore di Lavoro rimane quello, anche dopo aver rispettato suddetti limiti, di **diminuire comunque il rischio**, quando questo sia possibile logicamente e a livello economico (si dovrebbe quanto possibile ricercare quindi un teorico "ottimo").

La logica da seguire è quindi sempre e comunque quella di un approccio cautelativo e preventivo.

Ringraziamenti

Desidero ringraziare tutti coloro che mi hanno aiutato nella realizzazione della mia Tesi, in particolare il mio relatore, il prof. Turri, il mio correlatore, l'ingegner Casagrande e anche l'ingegner Piccin, che mi ha aiutato in particolare nello svolgimento delle misure.

Ringrazio tutta la mia famiglia per il sostegno morale ed economico che mi hanno continuamente fornito in questi 5 anni, sia nei momenti più spensierati, sia in quelli più difficili. Un grazie particolare va a mia madre, dalla quale ho appreso di giorno in giorno piccole grandi lezioni di pazienza e comprensione, doti necessarie ad affrontare questa vita e in particolare lo studio e il lavoro.

Ringrazio poi tutti i miei amici, da quelli "storici", a quelli che ho avuto la fortuna di incontrare solo negli ultimi anni. Grazie in particolare a tutti coloro che col tempo ho imparato a considerare dei punti fissi, coi quali è stato possibile condividere sia momenti di grande divertimento, sia momenti più importanti.

Bibliografia – sitografia

Letteratura scientifica

- [1] Ahlbom et al., *A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia*, 2000.
- [2] Greenland S, Kheifets L , *Leukemia Attributable to Residential Magnetic Fields: Results from Analyses Allowing for Study Biases*, *Risk Analysis*, 2006.
- [3] Greenland, S., Sheppard, A. R., Kaune, W. T., Poole, C., & Kelsh, M. A. *A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia*. *Childhood Leukemia-EMF Study Group*, 2000.
- [4] Kabuto et al. , *Childhood leukemia and magnetic fields in Japan: A case-control study of childhood leukemia and residential power-frequency magnetic fields in Japan*, 2006.
- [5] Kheifets L, Afifi, A, Shimkhada R, *Public Health Impact of Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields* *Environmental Health Perspectives*, 2006.
- [6] L. Hardell and C. Sage, “*Biological Effects from Electromagnetic Field Exposure and Public Exposure Standards*,” *Biomedicine and Pharmacotherapy*, Vol. 62, No. 2, 2008.
- [7] M. Nigro, P. Mazzoldi, C. Voci, *Fisica Vol. 2 - Elettromagnetismo e onde*, Edises, 2008.
- [8] Manuale Operativo PMM 8053.
- [9] P. Comba, L. Fazzo, R. Pasetto, *Studio epidemiologico di popolazioni esposte a elevati livelli di campi magnetici a 50 Hz*, 2004.
- [10] R. Turri, *appunti delle lezioni del corso “impianti elettrici per l’industria e i trasporti”*, 2015.
- [11] Wertheimer N, Leeper E, *Electrical wiring configurations and childhood cancer*, 1979.

Normative e guide

- [12] CEI EN 50499 – *Procedura per la valutazione dell’esposizione dei lavoratori ai campi Elettromagnetici*, 2011.

- [13] Commissione europea – *Guida non vincolante di buone prassi per l’attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici, Vol. 1: Guida pratica*, Ufficio delle pubblicazioni dell’Unione Europea, 2015.
- [14] Commissione europea – *Guida non vincolante di buone prassi per l’attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici, Vol. 2: Studi di casi*, Ufficio delle pubblicazioni dell’Unione Europea, 2015.
- [15] D.lgs. 1° agosto 2016, n. 159, *Attuazione della direttiva 2013/35/UE sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all’esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici)*
- [16] D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81, *Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro*.
- [17] Direttiva 2004/40/CE – *Prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all’esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici)*
- [18] Direttiva 2013 35 UE – *Disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all’esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici)*
- [19] ICNIRP, 1998 - *guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 Ghz)*.
- [20] CEI EN 50499 – *Procedura per la valutazione dell’esposizione dei lavoratori ai campi Elettromagnetici*, 2011.

Sitografia

- [21] *Aspetti normativi*, <http://www.ceinorme.it/it/lavori-normativi-it/vim.html>
- [22] *Campi elettromagnetici artificiali*
http://roma2.rm.ingv.it/it/tematiche/39/elettromagnetismo_ambientale/39/fondo_elettromagnetico_artificiale
- [23] <http://www.fisicamente.net/FISICA/index-4.htm>
- [24] *Indicazioni di protezione*, <http://www.icnirp.org/>
- [25] *Interazione tra CEM e corpo umano*,
<http://www.arpa.marche.it/index.php/effetti-sanitari-dei-campi-elettromagnetici>

- [26] *Linee guida per la valutazione del rischio,*
http://www.portaleagentifisici.it/fo_campi_elettromagnetici_valutazione.php?lg=IT
- [27] *Normative europee,* <http://eur-lex.europa.eu/homepage.html>
- [28] *Ricerche e dati sulla correlazione CEM e malattie,*
<http://www.iarc.fr/en/research-groups/ENV/current-topics.php>