



UNIVERSITÀ DI PADOVA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA BIOMEDICA

EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI SULLA SALUTE DELL'UOMO

Relatore: **Chiar.mo Prof. Alessandro Sona**

Correlatore: **Ing. Diego Dainese**

Laureanda: **Giulia Guidolin**

Anno Accademico 2012-2013

*L'eccessiva attenzione dedicata a rischi che o non esistono
o sono insignificanti
va inevitabilmente a scapito degli sforzi per occuparsi di rischi effettivi.
O comunque per nutrire gli affamati.
Il rischio tecnologico, Lewis H. [Lewis 95]*

Sommario

L'oggetto della presente tesi rappresenta un'annosa problematica, che ha visto in continua opposizione le opinioni di coloro i quali si sono sempre dimostrati scettici sull'innocuità dei campi elettromagnetici nei confronti della salute umana e di quanti, dall'altra parte, hanno cercato di dimostrare l'inesistenza di effetti nocivi. Nel Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri dell'8 luglio 2003 e nel D.lgs n. 81 GU 30 Aprile 2008 e correttivo D.Lgs 106/09, si definiscono i limiti per la popolazione e per i lavoratori professionalmente esposti. La necessità della distinzione tra i due intervalli di frequenza (limiti popolazione e limiti lavoratori) sarà meglio specificata nel seguito del presente lavoro. Peraltro, già questa distinzione introduce un ulteriore fattore vincolante, a scapito della chiarezza e linearità dei concetti agli occhi dell'opinione pubblica. Il problema è quindi, almeno per alcuni aspetti di difficile interpretazione. Tuttavia la legislazione italiana, grazie anche ad un notevole contributo scientifico, nazionale ed internazionale, fornito nel recente passato da moltissimi studiosi del settore, ha voluto (anche sulla base della spinta di precise Direttive di carattere Comunitario) identificare dei "punti fermi", ovvero dei limiti di esposizione, sulla base dei quali permettere alle Autorità Competenti di effettuare delle valutazioni quantitative, punto di partenza per le successive autorizzazioni (all'uso e produzione di campi elettromagnetici) previste dalla legge vigente. A parte l'aspetto meramente legislativo, per capire le difficoltà associate al problema dell'interazione delle radiazioni non ionizzanti con la salute dell'uomo, occorre premettere alcuni concetti fisici relativi ai campi elettromagnetici (CEM) e ai metodi di misura di quest'ultimi, i quali verranno poi concretamente applicati sulla valutazione e misura dei rischi elettromagnetici di un elettrobisturi dell'ASL di Padova.

Indice

1 Campi elettromagnetici	1
1.1 Richiami di fisica sui campi elettromagnetici	3
1.2 Campo elettrico	3
1.3 Campo magnetico	6
1.4 Onde elettromagnetiche	8
2 La misura	13
2.1 Definizione di misura	13
2.2 Metodologia di misura	14
2.3 Campo lontano e campo vicino	14
2.4 Tasso di assorbimento specifico (SAR)	15
3 Procedure standard di misura del campo elettrico e magnetico	17
3.1 Strumentazione per la misura di campi elettromagnetici	19
3.1.1 Strumentazione per la misura dei campi magnetici alter- nati	20
3.1.2 Strumentazione per la misura dei campi magnetici statici	20
3.1.3 Strumentazione per la misura dei campi elettrici	21
4 Propagazioni del campo elettromagnetico nel tessuto biologico ed effetti delle radiazioni sull'uomo	25
4.1 Effetti biologici onde elettromagnetiche	25
4.2 Le radiazioni ionizzanti e non ionizzanti	26
4.2.1 Le radiazioni ionizzanti	26
4.2.2 Le radiazioni non ionizzanti	26
4.3 Effetti radiazioni non ionizzanti	28

INDICE

4.3.1	Gli effetti termici (effetti acuti) - 100 kHz ÷ 300 GHz . . .	29
4.3.2	Gli effetti atermici (effetti a lungo termine)	30
4.3.3	Effetti indiretti ad alta frequenza - 100 kHz ÷ 300 GHz .	31
5	Normativa	33
5.0.4	Effetti sulla salute che la norma intende prevenire . . .	33
5.0.5	Limiti esposizione	34
5.0.6	Gestione della valutazione del rischio per portatori di protesi ed altri dispositivi medici impiantati	40
5.0.7	Casi e modalità in cui i produttori sono tenuti a fornire informazioni sui livelli di emissione di CEM.	40
5.0.8	Valutazione dei tempi di propagazione (Allegato XXXVI, Tabella 1 e 2 e relative note)	42
5.0.9	Criteri di classificazione del personale esposto e delimi- tazione aree	43
6	D.lgs 81/08	47
6.1	Campo d'applicazione:	47
6.2	Identificazione dell'esposizione e valutazione dei rischi	48
6.3	Misure di prevenzione e protezione	49
6.4	Informazione e formazione dei lavoratori	50
6.5	Sorveglianza sanitaria	50
7	Elettrobisturi	55
7.1	Norme particolari: elettrobisturi	55
7.2	Principi fisici dell'elettrochirurgia	56
7.3	DVR elettrobisturi	58
8	DVR	63
8.1	Utilizzazione e consultazione	63
8.2	Revisione	64
8.3	Definizioni Ricorrenti	64
8.4	Sorveglianza sanitaria	69

9	Dati generali dell'azienda	73
9.1	Descrizione tecnica del Laboratorio EMC	73
10	Primo Soccorso	77
10.1	Primo Soccorso	77
10.2	Compiti di Primo soccorso	78
11	Valutazione dei rischi	81
11.1	Metodologia Adottata	82
11.2	Pericoli e rischi correlati	87
12	Principali fattori di rischio	89
12.1	Rischi per la sicurezza	89
12.2	Rischi per la salute	90
12.3	Rischi trasversali o organizzativi	90
13	Conclusioni	93
	Elenco delle figure	95
	Bibliografia	97

Capitolo 1

Campi elettromagnetici

In figura 1.1 è richiamato lo spettro delle frequenze delle onde elettromagnetiche. Da questo si evince come, convenzionalmente, si sia deciso di demarcare il limite tra le cosiddette radiazioni ionizzanti e le radiazioni non ionizzanti in corrispondenza dell'energia fotonica pari a 12 eV, 100 nm di lunghezza d'onda e 3×10^{15} Hz di frequenza.

Le principali differenze sono di seguito riportate:

- le radiazioni ionizzanti (raggi X e γ) sono dotate di un'energia in grado di rompere i legami atomici della materia, atomi o molecole che danno luogo al fenomeno fisico della ionizzazione;
- le radiazioni non-ionizzanti (NIR) la cui energia, sebbene di entità non tale da dar vita al fenomeno della ionizzazione, interagisce con la materia apportando modifiche termiche, meccaniche e bioelettriche.

Una trattazione dettagliata degli effetti fisico-chimici di tutte le radiazioni appartenenti allo spettro elettromagnetico esula dallo scopo del presente lavoro, ragion per cui si analizzerà l'intervallo di frequenze compreso tra 0 e 300 GHz.

Campi elettromagnetici

Tipo di radiazione	Frequenza (Hz)		Lunghezza d'onda (m)		Principali sorgenti
Radiazioni non ionizzanti	10^0	1Hz	3×10^8		Campi statici e a frequenze industriali: linee e stazioni elettriche e apparecchiature per applicazioni domestiche e industriali, impianti di trasporto, applicazioni mediche e di tipo diagnostico e terapeutico.
	10^1	50 Hz	3×10^7		
	10^2		3×10^6	3Mm	
	10^3	1 kHz	3×10^5		
	10^4		3×10^4		
	10^5		3×10^3	3km	Ripetitori radio e televisivi, sistemi di radionavigazione, sistemi di controllo degli accessi, applicazioni industriali per il trattamento dei materiali, telecomunicazioni "citizen band e 2walkie-talkie".
	10^6		3×10^2		
	10^7		3×10^1		
	10^8		3×10^0	3m	
	10^9	1 GHz	3×10^{-1}		Ponti radio, sistemi per radioamatori, radar meteorologici e per navigazione marittima ed aerea, telefonia cellulare, apparecchi a microonde, telecomunicazioni satellitari, processi industriali a microonde, applicazioni mediche, radioastronomia, radiometeorologia, spettrografia a microonde.
	10^{10}		3×10^{-2}		
	10^{11}	1 THz	3×10^{-3}	3mm	
	10^{12}		3×10^{-4}		
			$3 \mu\text{m}$		
					Luce
Radiazioni ionizzanti					Visibile
				3nm	Ultravioletto
				3\AA	
					Raggi X
				3pm	
					Raggi γ

Figura 1.1: Spettro delle frequenze delle onde elettromagnetiche e principali tipi di sorgenti

1.1 Richiami di fisica sui campi elettromagnetici

Per meglio comprendere gli effetti dei CEM ¹ sulla salute dell'uomo è opportuno rimembrare alcuni semplici concetti di fisica che stanno alla base delle onde elettromagnetiche.

Il campo elettromagnetico è una quantità vettoriale definita in tutti i punti dello spazio e in ogni istante di tempo. Esso è composto in generale da tre campi vettoriali, il campo elettrico $\vec{E}(x, y, z, t)$, il campo magnetico $\vec{B}(x, y, z, t)$ e un terzo campo che è la sorgente. Questo significa che i vettori (\vec{E} , \vec{B} e \vec{J}) che caratterizzano il campo elettromagnetico hanno ciascuno un valore definito in ciascun punto del tempo e dello spazio.

Il campo elettromagnetico genera una forza \vec{F} su una particella carica, data dall'equazione di Lorentz:

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

dove q è la carica della particella e \vec{v} è la sua velocità.

1.2 Campo elettrico

Ogni corpo elettricamente carico crea intorno a sé, nello spazio che lo circonda, un campo di forze elettriche. Se il corpo è conduttore, si può immaginare un complesso di linee di forza, perpendicolari alla superficie del corpo, che partono da esso e terminano su altre cariche, che possono essere vicine o lontane, ma sempre di valore opposto a quelle di partenza.

Per descrivere l'intensità del campo elettrico in un punto dello spazio conviene prima definire la forza elettrica che si esercita tra due corpi carichi attraverso la legge di Coulomb:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

dove

¹Campi elettromagnetici

Campi elettromagnetici

- q_1 e q_2 sono le due cariche puntiformi sulle quali si esercita la forza;
- d è distanza tra le cariche;
- $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}$;
- ϵ_o è la costante dielettrica o permittività.

L'intensità del campo elettrico E è il rapporto tra la forza esercitata su una carica elettrica di valore unitario ed il valore della carica stessa:

$$E = \frac{F}{q} = \frac{Kq_1}{d^2}$$

espressa in Newton/Coulomb o Volt/metro.

La più piccola carica elementare in natura è la carica dell'elettrone, pari a $1,6 \times 10^{-19}$ Coulomb. Nel caso più complesso, ma più aderente alla realtà, si considera una carica immersa in un campo elettrico, generato da più cariche disposte in diversi punti dello spazio. In questo caso, per rappresentare il campo elettrico, occorre definire un vettore campo elettrico che, oltre ad avere un'intensità, ha anche una direzione. Partendo da una generica posizione e muovendosi per tratti infinitesimi successivi, ciascuno parallelo e concorde al campo elettrostatico in quel punto, si ottiene una linea detta **linea di forza** o **linea del campo elettrostatico**: pertanto in ogni punto tale linea per definizione è tangente al campo e il suo verso di percorrenza indica il verso del campo. Una linea di forza è in ogni suo punto tangente e concorde con il campo elettrostatico in quel punto. Le linee di forza si addensano dove l'intensità del campo elettrostatico è maggiore e non si incrociano mai.

Un campo elettrostatico uniforme è rappresentato da linee parallele ed equidistanti. 1.2

Nel caso di campi variabili nel tempo con legge sinusoidale, il valore \vec{E} oscilla lungo un asse fisso (sorgente mono-fase) o ruota in un piano e descrive un'ellisse (sorgenti poli-fasi o sorgenti multiple sincrone). Il vettore campo elettrico può essere scomposto in tre componenti E_x , E_y ed E_z che descrivono l'intensità del campo elettrostatico complessivo nelle tre direzioni ortogonali. Dalla conoscenza dei valori che il campo elettrico assume nelle direzioni ortogonali è sempre possibile calcolare l'intensità complessiva del vettore campo

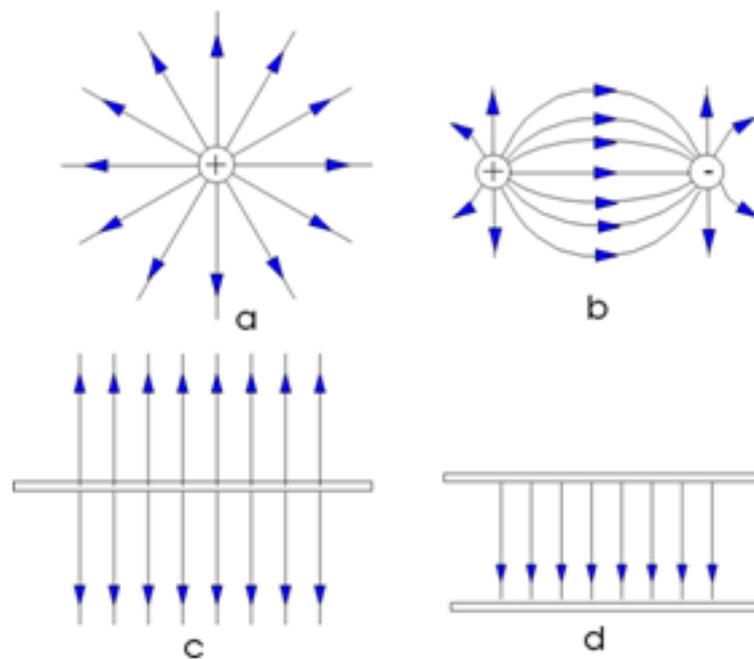


Figura 1.2: Linee di forza campo elettrico

elettrico in un punto nel seguente modo:

$$E = \sqrt{(E_x^2 + E_y^2 + E_z^2)}$$

Nel caso di onde elettromagnetiche provenienti da n sorgenti, l'intensità di campo elettrico complessiva E_c è data da:

$$E_c = \sqrt{(E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_n^2)}$$

Il valore di questo campo complessivo in un punto, in generale varia nel tempo. Per definire il valor medio del livello che il campo elettrico assume in un punto occorre eseguire una media che, ai fini della verifica dei limiti dal D.P.C.M. n. 199 del 8 luglio 2003, deve essere calcolata eseguendo la media temporale dei valori misurati su un intervallo di sei minuti. Allora la media temporale del campo elettrico complessivo $E_c(t)$ variabile nel tempo è :

$$E = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} E_c(t) dt$$

- espressa in Volt/metro (V/m)

Campi elettromagnetici

- t_1 e t_2 indicano rispettivamente l'istante iniziale e finale.

Nel caso si abbiano n valori discreti del campo elettrico complessivo $E_c(t)$ variabile nel tempo la media temporale è :

$$E = \frac{1}{t_2 - t_1} \sum_{k=1, \dots, n} E_{c_k} \cdot t_k$$

1.3 Campo magnetico

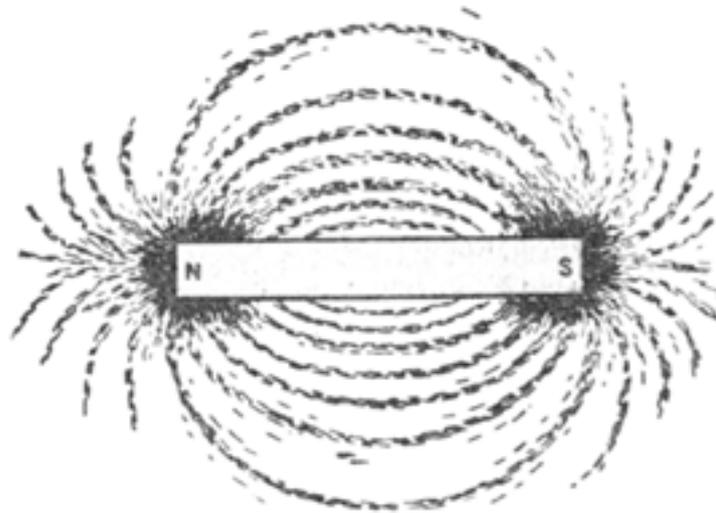
Il campo magnetico è un campo vettoriale che associa ad ogni punto nello spazio un vettore, eventualmente variabile nel tempo, il cui effetto fisico si esplica in termini della forza di Lorentz subita da una carica elettrica in movimento oppure nel momento torcente che agisce su un dipolo magnetico. Le sorgenti del campo magnetico sono le correnti elettriche oppure i dipoli magnetici.

Ogni conduttore percorso da una corrente elettrica genera un campo magnetico, rappresentabile con un insieme di linee di forza sempre chiuse su se stesse. In analogia con quanto fatto per il campo elettrico \vec{E} , si possono definire le **linee di forza del campo magnetico**, come linee tangenti in ogni punto al campo magnetico stesso. Tale vettore viene indicato con il simbolo \vec{B} . Il verso delle linee di \vec{B} può essere individuato ponendo un piccolo ago magnetico in ciascun punto in cui esiste il campo \vec{B} . Esso si orienterà parallelo a \vec{B} e il verso sarà quello dal polo Sud al polo Nord dell'ago magnetico. La forma e l'andamento delle linee di forza dipendono dalla forma del conduttore e dai materiali magnetizzabili posti vicino. Per un conduttore rettilineo le linee di forza magnetiche possono essere rappresentate come tante circonferenze concentriche aventi per asse il conduttore. Tali linee sono molto fitte nelle vicinanze del conduttore e tendono sempre più a diradarsi allontanandosi da esso. 1.3

L'intensità del campo magnetico è rappresentabile con il simbolo H e l'unità di misura del campo magnetico è Ampere su metro (A/m).

Per indicare invece l'induzione magnetica che permette di rappresentare meglio gli effetti del campo magnetico sul corpo umano, si utilizza la lettera B .

L'intensità dell'induzione magnetica è espressa in *Tesla* o in *Weber* per metro quadrato (Wb/m^2).



Campo magnetico prodotto da una barra magnetica

Figura 1.3: Linee di forza campo magnetico

Sia il campo magnetico che l'induzione magnetica sono rappresentati da un vettore, cioè da una grandezza che oltre all'intensità ha anche una direzione. Come per il campo elettrico, il campo magnetico, variabile nel tempo con una legge sinusoidale, oscilla lungo un'asse fissa (sorgente mono-fase) oppure ruota in un piano e descrive un'ellisse (sorgenti poli-fasi o sorgenti multiple sincrone).

È sempre possibile calcolare l'intensità complessiva del campo magnetico conoscendo le tre componenti ortogonali attraverso la formula:

$$H = \sqrt{(H_x^2 + H_y^2 + H_z^2)}$$

Nei mezzi lineari, il vettore magnetico (\vec{H}) e il vettore induzione magnetica (\vec{B}) sono legati dalla relazione:

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

dove μ è la permeabilità magnetica caratteristica del particolare materiale attraversato. Nel vuoto μ_0 è costante e pari a $4\pi \times 10^{-7}$ Henry per metro (H/m). Quindi nel vuoto o nell'aria assimilabile al vuoto, un campo magnetico con

Campi elettromagnetici

valore dell'induzione magnetica pari a 1 mT corrisponde ad un'intensità del campo magnetico pari a $\frac{10^4}{4\pi}$ A/m ossia 800 A/m. Se le onde elettromagnetiche provengono da n sorgenti, il campo magnetico complessivo (H_c) sarà pari a:

$$H_c = \sqrt{(H_1^2 + H_2^2 + \dots + H_n^2)}$$

Per definire il valore del campo magnetico assunto in un punto occorre fare una media dei valori in un intervallo di tempo pari a sei minuti, come viene definito dal D.P.C.M. n 199 del 8 luglio 2003. La media temporale del campo magnetico complessivo (H_c) è:

$$H = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} H_c(t) dt$$

espressa in Ampere/metro (A/m)

t_1 e t_2 sono rispettivamente l'istante iniziale e finale della misura.

Nel caso si abbiano n valori discreti del campo magnetico complessivo la formula diventa:

$$H = \frac{1}{t_2 - t_1} \sum_{k=1, \dots, n} H_{c_k} \cdot t_k$$

1.4 Onde elettromagnetiche

In generale si definisce come **onda una qualsiasi perturbazione, impulsiva o periodica, che si propaga con una velocità ben definita**. Le onde hanno origine da una sorgente in cui si produce la perturbazione, che fa vibrare un corpo materiale, il quale mette in movimento le cariche elettriche (onde elettromagnetiche). Come è da tutti ben noto, le onde elettromagnetiche furono per la prima volta formalizzate coerentemente ed in forma compatta ed integrata da Maxwell, il quale scrisse le famose quattro equazioni, riportate di seguito:

- **Teorema del flusso per il campo elettrico:**

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

- **Teorema del flusso per il campo magnetico:**

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

- **Legge di Faraday (circuitazione del campo elettrico):**

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

- **Legge di Ampere (circuitazione del campo magnetico):**

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

dove ∇ e $\nabla \times$ sono rispettivamente gli operatori differenziali divergenza e rotore espressi tramite l'operatore nabla, \vec{E} è il campo elettrico, \vec{B} l'induzione magnetica, ρ la densità di carica e \vec{J} il vettore densità di corrente. Le costanti ϵ_0 e μ_0 sono dette rispettivamente costante dielettrica del vuoto e permeabilità magnetica del vuoto e sono legate dalla relazione $1/c^2 = \epsilon_0 \mu_0$, dove c è la velocità di propagazione dell'onda elettromagnetica nel vuoto, pari a 3×10^8 m/s, mentre nel mezzo la velocità è minore e vale $\frac{1}{v^2} = \epsilon \mu$.

Per una corretta descrizione dei campi elettromagnetici *all'interno dei mezzi materiali*, è necessario tenere conto del fatto che questi interagiscono con i campi polarizzandosi e magnetizzandosi. Dato che la polarizzazione e la magnetizzazione della materia generano a loro volta un campo elettromagnetico, diviene praticamente intrattabile il problema di un aggregato di un gran numero di molecole in interazione con il campo. Allora risulta preferibile approssimare il mezzo come un continuo e dare una descrizione macroscopica dei campi, che vanno intesi come valori medi misurati in una zona di spazio che contenga un numero significativamente elevato di molecole. Le equazioni di Maxwell in forma macroscopica divengono:

- **Teorema del flusso per il campo elettrico:**

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho_f$$

- **Teorema del flusso per il campo magnetico:**

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

- **Legge di Faraday (circuitazione del campo elettrico):**

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Campi elettromagnetici

- **Legge di Ampere (circuizione del campo magnetico):**

$$\nabla \times \vec{B} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

dove i nuovi campi \vec{D} (induzione elettrica) e \vec{H} (campo magnetico) tengono conto dei contributi delle cariche di polarizzazione e delle correnti di magnetizzazione nella materia: $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$ $\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M})$ dove i vettori \vec{P} (polarizzazione) e \vec{M} (magnetizzazione) rappresentano valor medio del momento di dipolo elettrico e magnetico per unità di volume.

Tali equazioni dimostrano inequivocabilmente come il campo elettrico \vec{E} ed il campo magnetico \vec{B} sono fortemente correlati l'un l'altro.

Nel caso delle onde elettromagnetiche la sorgente è un sistema di cariche accelerate opportunamente che producono un campo elettrico $\vec{E}(x, y, z, t)$ e un campo magnetico $\vec{B}(x, y, z, t)$ correlati tra loro, i cui effetti si manifestano in tempi successivi a distanze sempre maggiori dalla sorgente. Riferendosi alla terminologia usata nella descrizione dei fenomeni ondulatori, si dice che $\vec{E}(x, y, z, t)$ e $\vec{B}(x, y, z, t)$ costituiscono le *funzioni d'onda* che descrivono l'onda elettromagnetica.

Le equazioni di Maxwell hanno differenti tipi di soluzione in funzione del problema in esame; una di queste (e forse la più interessante per lo scopo) è quella dell'onda piana.

Ammettendo $\rho = 0$ e dopo alcuni passaggi matematici, si arriva alla generica soluzione di un'onda avente identica fase (allo stesso istante) in tutti i punti appartenenti ad un medesimo piano normale al vettore d'onda \vec{S} (detto anche vettore di Poynting, \vec{k}). Un'onda di questo tipo può essere formulata nel modo seguente:

$$\Phi = \Phi_0 \sin(2\pi(\vec{k} \cdot \vec{R}) - vt + \varphi)$$

dove

- Φ_0 = l'ampiezza dell'onda;
- \vec{R} = direzione e modulo della distanza di un punto del piano perpendicolare al moto dell'onda (rispetto ad un arbitrario sistema di riferimento cartesiano);

1.4 Onde elettromagnetiche

- v = velocità di propagazione dell' onda (si trova che $v = Sc$, dove S è il modulo del vettore d' onda);
- φ = fase iniziale dell' onda (che si può anche considerare nulla).

Capitolo 2

La misura

2.1 Definizione di misura

La misurazione ci permette di definire una misura ed attraverso il misurando si assegna un intervallo di valori ad una quantità.

La misura non è mai un numero ma si ottiene attraverso dei rapporti.

Inoltre per l'indicazione del numero, si deve rigorosamente definire il *grado di incertezza*, cioè valutare con *quale* strumento fare la misura, stimare la "bontà della misura". Misurando si vorrebbe valutare il valore atteso, vero; questo non si otterrà mai ma sarà possibile solo avvicinarsi.

Attraverso i valori che si misurano, si possono fare delle medie ed aggiungendo l'incertezza (intervallo sinistro e destro), si stima l'intervallo d'incertezza.

Una buona misura si avrà con un buon strumento, il quale avrà un intervallo di incertezza basso. La misura risulterà accurata e sarà ripetibile, cioè si otterranno sempre valori uguali ad ogni misurazione.

Il sistema di unità di misura si divide tra unità fondamentali e derivate. Quelle derivate sono ottenute mediante relazioni che esprimono le leggi fisiche implicite. Le 7 unità fondamentali del Sistema Internazionale (SI) sono *metro*, *kilogrammo*, *secondo*, *ampere*, *kelvin*, *candela* e *mole*.

Ogni valore di una quantità fisica viene espresso come confronto rispetto alla unità di tale quantità. Ad esempio, il valore di una quantità fisica Q , viene espresso come prodotto di un'unità $[Q]$ per un fattore numerico:

$$Q = n \times [Q] = n[Q]$$

La misura

Il segno di moltiplicazione viene generalmente tralasciato, così come accade nelle formule in notazione scientifica. Nelle formule l'unità $[Q]$ può essere trattata come se fosse una specie di dimensione fisica.

Una distinzione deve essere fatta tra le unità ed i campioni normativi. Un'unità è fissata per definizione, ed è indipendente da condizioni fisiche come la temperatura. Un campione, al contrario, è la materializzazione fisica di una unità, ed è soggetta alle condizioni fisiche.

2.2 Metodologia di misura

La scelta delle grandezze fisiche da misurare (così come l'individuazione della strumentazione idonea, i punti di misura e la necessità di determinare i tempi e la periodicità necessaria) è un problema che va attentamente analizzato. Le grandezze fisiche da misurare sono generalmente suggerite dai limiti di esposizione con cui ci si deve confrontare, ma il significato intrinseco del valore numerico letto sulla strumentazione è strettamente connesso con la frequenza delle emissioni e con la distanza del punto di misura dalla sorgente.

2.3 Campo lontano e campo vicino

La radiazione elettromagnetica prodotta da una sorgente, a sufficiente distanza da essa, trasporta energia che si allontana dalla sorgente sotto forma di campi elettrici e magnetici i cui valori stanno fra loro in un rapporto costante e che sono convertibili in uno specifico valore di densità e di potenza: è la cosiddetta **regione di campo lontano** o **regione di Fraunhofer**. In questa regione di spazio il campo elettromagnetico si propaga per onde sferiche. Localmente è sempre possibile approssimare un'onda sferica mediante un'onda piana. Per un'onda piana il campo elettromagnetico è composto da distribuzioni uniformi delle intensità di campo elettrico e magnetico nello spazio, su piani che sono a 90° l'uno rispetto all'altro ed ortogonali rispetto alla direzione di propagazione dell'onda elettromagnetica. I campi elettrici e magnetici sono in fase e le ampiezze sono legate da una relazione costante. La zona di campo lontano si estende da una distanza dalla sorgente di λ o di $\frac{2D^2}{\lambda}$ (il maggiore

2.4 Tasso di assorbimento specifico (SAR)

dei due valori) fino all'infinito, dove D è la massima distanza misurabile tra due punti appartenenti alla sorgente.

A distanze inferiori dalla sorgente, **regione di campo vicino reattivo** o **regione di Fresnel**, i campi componenti assumono invece un andamento assai irregolare con rapida variazione di intensità fra punti vicini e con un'energia associata che non abbandona la sorgente ma viene continuamente emessa e riassorbita dal generatore, non sono presenti fenomeni di propagazione dell'energia ma solo fenomeni di induzione elettrica e magnetica.

Regione nella quale comincia a formarsi il fascio di radiazione è la **zona di campo vicino radiativo**. Tale regione, quando presente, inizia alla distanza di transizione e si esaurisce ad una distanza pari a λ o a $\frac{2D^2}{\lambda}$ (il maggiore dei due valori). La valutazione dell'energia associata ad un punto è legata alla misura di entrambi i campi presenti, elettrico e magnetico, considerati separatamente. In tale situazione una valutazione fatta solo in termini di densità di potenza è priva di significato poichè tale valore viene ottenuto dalla conversione numerica della misura di uno solo dei campi associati, che in campo vicino è priva di fondamento. Particolare attenzione comunque si dovrà riservare a campi prodotti da sorgenti multiple di pari o diversa frequenza e alle caratteristiche di campo con cui si sovrappongono nei vari punti di misura.

Ad una certa distanza dalla sorgente i due campi iniziano a trovare un equilibrio tra loro, questo ne facilita la propagazione. Prende inizio il **fenomeno della radiazione** in cui si ha che il campo elettrico e campo magnetico sono proporzionali tra loro (caratteristica fondamentale). L'impedenza d'onda nel vuoto è:

$$Z_o = \frac{E}{H} = 377\Omega$$

2.4 Tasso di assorbimento specifico (SAR)

Le misure dosimetriche sono difficilmente effettuabili. Queste sono basate principalmente sulla misura delle correnti indotte nel corpo umano o in una parte di esso o più frequentemente sulla misura diretta dell'intensità del campo elettrico o del flusso di potenza. La sezione di uno dei numerosi metodi di misura dipende dalla frequenza, dalle caratteristiche e dal tipo di modulazio-

La misura

ne della sorgente di radiazioni elettromagnetiche.

In formule è la derivata rispetto al tempo dell'energia elementare ∂W assorbita da una massa elementare ∂m contenuta in un volume elementare ∂V di densità ρ nel punto in questione:

$$SAR = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial W}{\partial m} \right) = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial W}{\rho \partial V} \right)$$

L'unità di misura del SAR nel Sistema Internazionale è il watt per chilogrammo (W/kg). Il SAR locale può anche essere scritto come:

$$SAR = \frac{\sigma}{\rho} |E|^2 = \frac{\omega \epsilon_o \epsilon''}{\rho} |E|^2$$

Questa formula è direttamente applicabile se si conosce il campo \vec{E} e la conduttività in un punto dell'oggetto. Se al contrario, si conosce il SAR e la conduttività in un punto dell'oggetto è possibile calcolare il campo \vec{E} nel punto stesso.

Il SAR è molto importante in termini dosimetrici in quanto fornisce sia una misura dell'energia assorbita che si può manifestare sottoforma di calore nei tessuti, sia una misura dei campi che si vengono a determinare internamente e che possono influire sul sistema biologico in forme differenti dallo sviluppo di calore.

Per un corpo di natura biologica la risonanza avviene ad una certa frequenza tale che la lunghezza del corpo è circa uguale a $\frac{4}{10}$ della lunghezza d'onda. Al di sotto della risonanza il SAR varia con il quadrato della frequenza mentre appena al di sopra il SAR varia come il reciproco della frequenza.

Capitolo 3

Procedure standard di misura del campo elettrico e magnetico

Dopo aver fatto una stima dei valori di campo elettrico e magnetico applicando le formule che ben approssimano i valori e dopo aver testato la strumentazione e le sonde di misura che si stanno per utilizzare, per aver conferma del loro buon funzionamento, si può procedere nella misurazione.

Per garantire la necessaria precisione ed evitare errori di valutazione delle grandezze elettromagnetiche è consigliabile seguire la seguente procedura standard:

1. Acquisire tutte le informazioni relative alle caratteristiche delle sorgenti presenti nelle zone adiacenti i luoghi di misura ed in particolare per le sorgenti a frequenza superiore a 10 kHz:
 - la frequenza delle sorgenti;
 - la potenza di emissione delle sorgenti;
 - il tipo di modulazione delle sorgenti.
2. Definire le zone di misura ricercando i punti più esposti;

Procedure standard di misura del campo elettrico e magnetico

3. Scegliere il metodo di misura e le condizioni di misura più idonee per garantire la massima precisione dei valori, con particolare riguardo alle sorgenti con emissione fortemente variabile nel tempo;
4. Scegliere la strumentazione più idonea per la misura delle grandezze elettriche e magnetiche;
5. Valutare i rischi per il personale addetto alle misure e per la strumentazione adottando, se possibile, misure protettive quali la riduzione della potenza emessa, la riduzione del tempo di esposizione, l'adozione di attrezzature di protezione personale quali occhiali e tute metalliche schermanti. Si può ottenere una riduzione dei rischi per il personale addetto alle misure effettuando misure preventive a grande distanza dalla sorgente, valutando successivamente i valori del campo in zone più vicine mediante calcoli ed confronto con valori di precedenti misure e di impianti o situazioni simili;
6. Registrare i dati delle misure. Per le misure occorre una check-list di controllo dei valori ottenuti simile a quella di test della strumentazione che comprenda:
 - il confronto di valori misurati con i valori di precedenti esperienze e, se disponibili, con i valori calcolati mediante formule;
 - la misura con un secondo strumento, se disponibile, per la verifica della correttezza dei primi valori misurati.

Nelle misure di campo elettromagnetico emesso da sorgenti multiple di cui non si conoscono distanza, frequenza, polarizzazione e direzione di propagazione delle onde, è fortemente consigliato utilizzare sonde isotrope con banda di frequenza di funzionamento abbastanza ampia da rilevare tutte le maggiori sorgenti captabili nel luogo di misura.

Nelle misure nella zona di campo vicino è particolarmente importante utilizzare sonde e antenne di misura di piccole dimensioni per evitare di perturbare il campo elettromagnetico e cavi di collegamento in fibra ottica o cavi conduttori con forte impedenza. In tale zona è possibile utilizzare sonde in banda stretta, anche in presenza di più sorgenti, poiché, trattandosi di misure nelle

3.1 Strumentazione per la misura di campi elettromagnetici

immediate vicinanze della sorgente, è trascurabile l'influenza delle sorgenti più distanti.

Se i valori misurati si avvicinano ai valori limite imposti dalle normative, allora il numero e la distribuzione della posizione dei punti di misura devono essere aumentati. È consigliabile in questo caso che le misure vengano eseguite negli stessi punti in tempi diversi per essere certi che il valore limite non sia mai superato.

3.1 Strumentazione per la misura di campi elettromagnetici

L'architettura di base di un sistema di acquisizione è composta da diverse parti: un sensore, un input, un processore, un output e un attuatore.

Il sensore rileva l'evento ed effettua una trasformazione da un dominio all'altro, trasducendo un segnale elettrico da una quantità fisica.

Nell'input è necessario un condizionamento (*signal conditioning*) e attraverso la *digitalizzazione* si passa da una conversione analogica a digitale.

Il processore elabora e memorizza l'informazione.

Nell'output si ha il processo contrario che converte il segnale da digitale ad analogico in modo da poter così pilotare le uscite, gli attuatori e i display.

Gli strumenti che si usano a fini protezionistici per la misura dei campi elettromagnetici a bassa frequenza dipendono dalla frequenza e dal tipo di grandezza che si desidera misurare.

Per quanto riguarda le caratteristiche degli strumenti è molto importante utilizzare strumenti che siano in grado di fornire le seguenti specifiche: incertezza strumentale, gamma di ampiezza, banda passante, temperatura e umidità di funzionamento, alimentazione, leggibilità della scala, dimensioni dello strumento, sicurezza e compatibilità elettromagnetica, durabilità e peso.

Nel seguito verranno illustrate le caratteristiche generali della strumentazione per la misura dei campi magnetici alternati, dei campi magnetici statici e dei campi elettrici.

In generale la strumentazione per la misura dei campi elettromagnetici è co-

Procedure standard di misura del campo elettrico e magnetico

stituita da tre componenti fondamentali: il sensore, il cavo di collegamento e lo strumento di misura del livello.

3.1.1 Strumentazione per la misura dei campi magnetici alternati

Per quanto riguarda questa strumentazione, le sonde di misura sono composte da una bobina di filo conduttore schermato, in cui il campo magnetico alternato induce una forza elettromotrice che viene misurata da un opportuno voltmetro. Se le sonde misurano una sola componente del campo, per risalire al valore efficace del campo si devono effettuare le misurazioni sulle tre componenti B_x , B_y e B_z applicando poi la formula $B = \sqrt{(B_x^2 + B_y^2 + B_z^2)}$ per ottenere il campo magnetico complessivo. Esistono tuttavia degli strumenti che effettuano simultaneamente la misura delle tre componenti, fornendo il valore efficace del campo. La persona che effettua la misura può in genere stazionare in prossimità dello strumento se la misura stessa risulta essere di breve durata. La misura non viene inoltre influenzata dalla vicinanza di dielettrici e da conduttori non ferrosi di dimensioni ridotte. Se invece quest'ultimi hanno dimensioni estese o sono presenti oggetti ferrosi, la misura viene perturbata.

Oltre agli strumenti a bobina si utilizzano misuratori ad effetto Hall, particolarmente sensibili fino a qualche centinaio di Hertz.

Il funzionamento della sonda a bobina si basa sull'effetto Faraday per cui la forza elettromotrice indotta è pari alla derivata, cambiata di segno, del flusso dell'induzione magnetica perpendicolare alla superficie stessa. Se nel flusso sono presenti delle armoniche, nell'espressione compariranno dei termini supplementari, uno per ciascuna armonica, pesati secondo il valore dell'armonica stessa, fornendo un valore efficace di fem indotta diverso da quello relativo al campo.

3.1.2 Strumentazione per la misura dei campi magnetici statici

Per quanto riguarda i campi magnetici statici sono disponibili in commercio una serie di strumenti che prendono il nome dall'effetto di rivelazione.

3.1 Strumentazione per la misura di campi elettromagnetici

Esistono dunque misuratori ad effetto Hall, che sono sensibili a valori compresi tra $100 \mu\text{T}$ e 10T , misuratori a risonanza magnetica nucleare (Nuclear Magnetic Resonance o NMR), magnetometri a nucleo saturabile, sensibili a valori tra $0,1 \mu\text{T}$ e $0,01 \text{T}$, magnetometri a dispositivi quantici superconduttori (Semiconductor Quantum Interference Device o SQUID). Questi strumenti sono influenzati da campo magnetico terrestre e per questo devono essere attentamente tarati.

3.1.3 Strumentazione per la misura dei campi elettrici

La strumentazione per la misura di campi elettrici è sostanzialmente riconducibile a tre gruppi principali:

- elettrodi isolati da terra o a potenziale libero;
- un elettrodo collegato a terra;
- elettro-ottica.

La strumentazione maggiormente usata per le misure di esposizione è quella ad elettrodi isolati a terra. Dato che il misuratore influenza il campo elettrico è necessario che la sonda sia posta ad una distanza sufficiente dal personale che misura. Questi strumenti devono essere sufficientemente piccoli per non perturbare la distribuzione di cariche presente sulla superficie che genera il campo elettrico. Solitamente misurano la componente del campo elettrico lungo l'asse della sonda ma esistono anche strumenti triassiali, in grado di misurare le tre componenti spaziali (E_x , E_y e E_z).

Strumentazione con elettrodi isolati da terra. Gli strumenti con elettrodi isolati da terra utilizzano la corrente stazionaria o la carica indotta su un elettrodo-sonda immerso nel campo da misurare. Essi sono alimentati a batteria e sono disponibili in commercio strumenti monoassiali e triassiali. Le sonde possono essere caratterizzate da varie geometrie, riconducibili ad un corpo conduttore composto da due elettrodi separati. Tali elettrodi possono essere sferici, composti da piastre parallele o da cubi 3.1.

Procedure standard di misura del campo elettrico e magnetico



Figura 3.1: Elettrodo-sonda isolato da terra.

Strumentazione con un elettrodo collegato a terra. Gli strumenti con un elettrodo collegato a terra utilizzano la corrente stazionaria o la carica indotta o la carica indotta su un elettrodo-sonda piatto immerso nel campo da misurare. Questi vengono utilizzati per la misura del campo elettrico a livello del suolo o su superfici conduttrici piatte poste a potenziale si terra 3.2. Se S è la superficie dell'elettrodo sensibile, la carica indotta sulla superficie stessa è pari a:

$$Q = S\epsilon_0 E$$

che, in presenza di campo elettrico \vec{E} sinusoidale del tipo $\vec{E}_o \sin(\omega t)$, induce una corrente I pari a:

$$I = \omega S\epsilon_0 E_o \cos(\omega t)$$

Strumentazione elettro-ottica Gli strumenti elettro-ottici utilizzano sonde ad effetto Pockels che permettono di convertire il campo elettrico in variazioni delle proprietà ottiche del materiale componente la sonda e quindi in corrispondenti variazioni della luce che lo attraversa. Grazie a quest'effetto è possibile porre le sonde in prossimità della superficie di cui è necessario misurare il potenziale.

Tali sonde sono più piccole rispetto agli altri tipi di strumenti ma da una mi-

3.1 Strumentazione per la misura di campi elettromagnetici



Figura 3.2: Elettrodo centrale isolato



Figura 3.3: Strumento elettro-ottica.

nore sensibilità, che li rende adatti soprattutto alla misura di campi elettrici elevati.

In questo tipo di strumenti non esiste il problema delle armoniche perchè la grandezza di uscita è legata direttamente al campo elettrico 3.3.

Procedure standard di misura del campo elettrico e magnetico

Capitolo 4

Propagazioni del campo elettromagnetico nel tessuto biologico ed effetti delle radiazioni sull'uomo

4.1 Effetti biologici onde elettromagnetiche

Le onde elettromagnetiche sono parte integrante dell' ambiente in cui viviamo e lavoriamo e la loro origine è in parte artificiale (onde radio, radar e nelle telecomunicazioni) e in parte naturale (la luce visibile, i raggi X o i raggi γ). I raggi X sono utilizzati per diagnosticare un arto rotto dopo un incidente sportivo. Vari tipi di onde radio frequenza più elevata sono utilizzati per trasmettere informazioni tramite antenne TV, stazioni radio o stazioni radio base per telefonia mobile. Gli effetti della radiazione elettromagnetica sugli esseri viventi dipendono principalmente da due fattori: la frequenza della radiazione, che indica il numero di oscillazioni dell'onda elettromagnetica al secondo e le modalità di esposizione, cioè l'intensità della radiazione, la durata dell'esposizione, le parti del corpo esposte e altro. Per quanto riguarda la frequenza della radiazione si usa distinguere tra radiazioni ionizzanti e radiazioni non ionizzanti.

4.2 Le radiazioni ionizzanti e non ionizzanti

L'effetto biologico delle onde elettromagnetiche dipende essenzialmente dalla loro intensità e dalla loro frequenza. Di conseguenza lo spettro elettromagnetico può essere suddiviso in due tipologie principali: le radiazioni ionizzanti (per esempio i raggi X e γ) e quelle non ionizzanti, come le onde radio e le microonde. La linea di demarcazione tra i due tipi di radiazione si colloca all'interno delle frequenze dell'ultravioletto, sicché le radiazioni infrarosse e parte dell'ultravioletto rientrano nelle radiazioni non ionizzanti, mentre la componente superiore della radiazione ultravioletta fa già parte di quelle ionizzanti. Per convenzione si assumono ionizzanti tutte le radiazioni la cui energia è superiore a 12 eV. Fra i due tipi di radiazione c'è una differenza fondamentale. Le radiazioni si differenziano fra loro per la diversa capacità che hanno di interagire con gli atomi e le molecole che compongono la materia.

4.2.1 Le radiazioni ionizzanti

Per radiazioni ionizzanti si intendono le radiazioni elettromagnetiche di frequenza sufficientemente alta da essere in grado di ionizzare gli atomi della sostanza esposta, cioè staccare dalla loro struttura i singoli elettroni e poter quindi rompere dei legami chimici di molecole del nostro corpo o creare in esso sostanze particolarmente reattive, che a loro volta possono causare danni rilevanti al sistema biologico. È infatti risaputo che anche piccole dosi di raggi ultravioletti o radiazioni ionizzanti (radioattività) possono determinare patologie anche molto gravi come i tumori della pelle o la leucemia.

4.2.2 Le radiazioni non ionizzanti

Le radiazioni non ionizzanti, invece, anche in presenza d'intensità di campo assai elevate non sono in grado di ionizzare le molecole di cui è costituito il nostro corpo. Le radiazioni non ionizzanti, dette NIR¹, comprendono tutte le radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti, dalle ELF fino all'ultravioletto vicino. Il principale effetto che riescono a produrre sulle molecole è quello di farle oscillare producendo attrito e di conseguenza calore (come accade ad

¹dall'acronimo inglese Non Ionizing Radiation

4.2 Le radiazioni ionizzanti e non ionizzanti

esempio in un forno a microonde): il riscaldamento è proprio l'effetto principale delle radiazioni non ionizzanti. Si ritiene comunemente che le radiazioni non ionizzanti possano avere effetti sui viventi solo per i loro effetti termici. Poiché il principale "scambiatore" di calore presente nel corpo umano è costituito dal sangue, si può pensare che gli organismi meno vascolarizzati costituiscano organi critici per quanto riguarda l'esposizione alle radiazioni elettromagnetiche, in quanto, se riscaldati dall'esterno non hanno più modo di ridistribuire il calore ricevuto tramite un'adeguata circolazione sanguigna. Da questo punto di vista gli organi critici per eccellenza sono il cristallino e le gonadi maschili.

Anche nell'ambito delle radiazioni non ionizzanti l'effetto biologico dipende molto dalla loro frequenza, sicché anche per questo tipo di onde si è soliti adottare un'ulteriore differenziazione in:

- **Frequenza estremamente bassa (ELF) - fino a 100 kHz:** per i campi (elettrici e magnetici) a frequenza estremamente bassa, il meccanismo di interazione è rappresentato dalle correnti indotte nei tessuti. Per quanto riguarda gli effetti biologici² e sanitari³, una certezza è data dal fatto che un'onda elettromagnetica trasferisce calore, quindi l'effetto dell'interazione di un'onda elettromagnetica con un sistema vivente è che parte dell'energia viene rilasciata, con un aumento della temperatura locale o di tutto il sistema. Per le ELF il campo elettrico ed il campo magnetico possono essere considerati separatamente. Il fattore determinante è però il campo magnetico, che a differenza del campo elettrico è assai più difficile da schermare. L'effetto biologico principale dei campi a bassa frequenza è di produrre all'interno del nostro organismo, per effetto dell'induzione, delle correnti elettriche che si possono sovrapporre a quelle naturali, dando vita, soprattutto in presenza di elevate intensità di campo, a sovr eccitazioni nervose e muscolari (azione irritativa sul sistema nervoso centrale). Si parla anche di una possibile correlazione

²Si parla di *effetto biologico* quando l'organismo presenta variazioni di tipo morfologico o funzionale nell'ambito di strutture di livello superiore a quello molecolare.

³Si parla di *effetto sanitario* quando l'effetto biologico supera i limiti di efficacia dei meccanismi di adattamento dell'organismo che variano soggettivamente.

Propagazioni del campo elettromagnetico nel tessuto biologico ed effetti delle radiazioni sull'uomo

tra i campi a bassa frequenza ed alcuni casi di leucemia infantile e dei tumori alla mammella, tuttora in corso di ulteriori approfondimenti.

- **Radiofrequenze e microonde:** Un'onda elettromagnetica che si propaga nello spazio trasporta energia che viene in parte assorbita e in parte riflessa dagli oggetti che incontra sul suo percorso. L'assorbimento avviene con modalità ed in misura diversa a seconda delle caratteristiche del mezzo. A livello microscopico, manca ancora uno schema interpretativo soddisfacente dell'azione di un campo elettromagnetico sulle cellule degli organismi viventi. Questo dipende innanzitutto dall'incompleta conoscenza dei fenomeni a livello di membrana cellulare legati allo scambio di materiali ed informazioni tra cellule e ambiente esterno. In secondo luogo, la complessità strutturale dei tessuti biologici e la loro disomogeneità, rende assai problematico un calcolo dettagliato della deposizione locale di energia nei tessuti da parte dell'onda elettromagnetica incidente. La controversia sulla possibilità di manifestazione di effetti non termici, cioè dovuti ad esposizioni a livelli di campo elettromagnetico a radiofrequenze e microonde non abbastanza elevati da produrre riscaldamento dei tessuti, si riflette nella scelta degli standard ammissibili di esposizione per lavoratori e popolazione civile da parte di Stati ed Organizzazioni internazionali diversi. Le ricerche compiute nei Paesi occidentali hanno condotto alla conclusione (ANSI, 1982) che l'esposizione protratta per un periodo inferiore ad 1 ora e comportante un tasso di assorbimento specifico medio al corpo intero inferiore a 4 W/kg non è in grado di produrre effetti sulla salute. Per cautelarsi dai possibili effetti cumulativi dovuti ad esposizioni prolungate (giorni oppure settimane) si è considerato per l'uomo un valore limite di SAR 10 volte inferiore, pari quindi a 0.4 W/kg.

4.3 Effetti radiazioni non ionizzanti

Per quanto riguarda gli effetti delle radiazioni non ionizzanti ad alta frequenza sulla salute umana, in generale si distingue tra effetti termici e atermici.

4.3 Effetti radiazioni non ionizzanti

Effetti indiretti	Soglia di corrente (mA) alla frequenza di			
	50/60 Hz	1 kHz	100 kHz	1 MHz
Percezione del contatto	0.2-0.4	0.4-0.8	24-40	24-40
Dolore del dito in contatto	0.9-1.8	1.6-3.3	33-55	28-50
Shock doloroso/ soglia di rilascio	8-16	12-24	112-224	Non determinato
Shock forte/ difficoltà respiratorie	12-23	21-41	160-320	Non determinato

Figura 4.1: Correnti di soglia degli effetti indiretti valide per bambini, donne e uomini.

4.3.1 Gli effetti termici (effetti acuti) - 100 kHz ÷ 300 GHz

Gli effetti riconosciuti dei campi ad alta frequenza sono connessi all'assorbimento di energia e al conseguente aumento della temperatura nel tessuto irradiato. Effetti termici sono normalmente causati da esposizioni brevi ma intense. Per misurare l'energia radiante assorbita dal corpo umano nell'unità di tempo si utilizza il SAR⁴. Il valore di base del SAR ha una corrispondenza diretta con gli effetti biologici dell'esposizione elettromagnetica:

- Alcune ricerche condotte su cavie animali hanno dimostrato che l'esposizione può causare effetti di vario genere (per esempio disturbi metabolici, nervosi e comportamentali) a partire da un aumento della temperatura in tutto il corpo di circa 1°C, che corrisponderebbe ad un valore di SAR mediato su tutto il corpo di circa 2 W/kg. Oltre i 4 W/kg si cominciano a registrare dei danni veri e propri, sicché questo valore è abitualmente considerato la soglia di rilevanza per la salute umana nell'assorbimento energetico. Quando poi l'assorbimento supera i 10 W/kg i danni all'organismo diventano irreversibili.
- Utilizzando un cellulare, l'assorbimento energetico nel capo è inferiore a 2 W/kg. Occorre però ricordare che l'attività fisica, la presenza di temperature esterne elevate, l'alta umidità dell'aria e lo scarso ricambio d'aria possono aumentare ulteriormente gli effetti termici dovuti alle alte

⁴vedi paragrafo 2.4

Propagazioni del campo elettromagnetico nel tessuto biologico ed effetti delle radiazioni sull'uomo

frequenze. Inoltre, la soglia di tolleranza termica solitamente riscontrabile nelle persone sane può essere notevolmente ridotta negli anziani, nei malati (soprattutto se in stato febbrile) o in chi assume alcuni tipi di farmaci. Una particolare attenzione va rivolta ai bambini.

- In presenza di tassi d' assorbimento elevati sono particolarmente a rischio gli organi poco vascolarizzati, quelli cioè con una scarsa circolazione sanguigna e quindi un decongestionamento termico più lento, come gli occhi o testicoli. Essi si riscaldano più velocemente e sono quindi più esposti al rischio rispetto ad altre zone del corpo.
- In alcuni studi è stato ipotizzato un effetto negativo delle radiofrequenze del cellulare sul cervello (riscaldamento), in particolare per i bambini (International Expert Group on Mobile Phones - IEGMP - Stewart report). Tuttavia svariate ricerche su questo problema non hanno potuto avvalorare l' ipotesi di un possibile rischio per la salute. Saranno necessarie maggiori ricerche in questo campo.

4.3.2 Gli effetti atermici (effetti a lungo termine)

Oltre agli effetti termici prima descritti, le radiazioni elettromagnetiche determinano nell' uomo degli effetti biologici associati a valori di SAR molto più bassi ($< 0,01$ W/kg) e che non si spiegano con il solo riscaldamento dei tessuti. Ecco perchè si suole definirli "effetti atermici". Si tratta normalmente di esposizioni di lunga durata però di bassa intensità. La ricerca scientifica non ha ancora fatto piena luce sulle conseguenze reali che tali effetti atermici possono avere per la salute umana. In alcuni casi si dispone soltanto di dati sperimentali (ottenuti cioè con prove in vitro o su cavie animali). In altri, i risultati ottenuti appaiono contraddittori.

Dai vari studi eseguiti emergono i seguenti effetti:

- alterazioni dell' attività enzimatica della ornitindecarbossilasi (un enzima che, quando è attivo, è associato all' insorgenza di tumori)
- modifica del tenore di calcio nelle cellule (trasporto degli ioni dentro e fuori dalle cellule)

4.3 Effetti radiazioni non ionizzanti

- alterazioni delle proteine della membrana cellulare e modifica del trasporto di ioni attraverso la membrana stessa (un fenomeno essenziale per le cellule cerebrali).

Tutti questi effetti possono tradursi in alterazioni più o meno manifeste della funzione cellulare, con conseguenze sulla salute umana ancora tutte da approfondire e verificare.

Attualmente, analogamente ad altri agenti i cui effetti biologici sono in parte ancora ignoti, le ricerche stanno cercando di chiarire alcuni aspetti considerati particolarmente critici:

- l'eventuale rapporto tra i campi ad alta frequenza o quelli a bassissima frequenza e alcuni tipi di tumori, i disturbi della funzione riproduttiva, alcune malformazioni congenite, l'epilessia, le cefalee ed altri disturbi neurofisiologici (come amnesie o depressioni), disturbi del sistema immunitario, degenerazione del tessuto oculare, l'aumento del rischio dell'insorgenza di effetti negativi in alcuni soggetti come i bambini, le gestanti o gli anziani.

Fino ad oggi non si possono ancora valutare gli effetti sulla salute prodotti dagli effetti atermici delle radiazioni ad alta frequenza o a bassissima frequenza, nè si possono stabilire dei limiti di legge "assolutamente sicuri". Per il momento, comunque, sono da ritenere validi i parametri di sicurezza stabiliti dalla Commissione internazionale per la protezione dalle radiazioni non ionizzanti (ICNIRP), che però sono principalmente riferiti agli effetti termici documentati.

4.3.3 Effetti indiretti ad alta frequenza - 100 kHz ÷ 300 GHz

I principali effetti indiretti nella gamma di frequenze in questione consistono in shock e ustioni derivanti dal contatto tra una persona ed un oggetto metallico, non connesso a terra, che ha acquistato una certa carica a causa del campo elettromagnetico, oppure tra una persona carica elettricamente dal campo e un oggetto metallico connesso a terra. In generale è stato dimostrato che le correnti di soglia che producono la percezione e il dolore non variano

Propagazioni del campo elettromagnetico nel tessuto biologico ed effetti delle radiazioni sull'uomo

significativamente nei valori compresi tra 100 kHz e 1 MHz e molto poco per i valori fino a 110 MHz. Tuttavia in questa banda di valori varia la sensibilità di percezione tra uomini, donne e bambini.

Capitolo 5

Normativa

LINEE GUIDA PER LA LIMITAZIONE DELL'ESPOSIZIONE A CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI VARIABILI NEL TEMPO ED A CAMPI ELETTROMAGNETICI (FINO A 300 GHz)

Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non
Ionizzanti (ICNIRP)^{1,2}

(Traduzione italiana di: Guidelines for Limiting Exposure
to Time-varying Electric, Magnetic and Electromagnetic
Fields (up to 300 GHz). Health Physics 74: 494-522 (1998))

5.0.4 Effetti sulla salute che la norma intende prevenire

L'art.206 del DLgs.81/2008 specifica che le disposizioni sono volte alla “*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*”.

In questo articolo si vuole specificare che le misure devono essere finalizzate alla protezione dagli effetti biologici che hanno una ricaduta certa in termini sanitari. Questi riguardano gli effetti conosciuti di tipo deterministico, di cui cioè esiste ed è nota la soglia di insorgenza e la cui importanza dipende in genere dall'entità dell'esposizione. Le conseguenze possono essere sia immediate (es. ustione da radiofrequenze) sia cumulative (es. cataratta del cristallino).

Normativa

- I principali effetti avversi causati dalle correnti indotte (CEM fino a 10 MHz) sono quelli sul sistema cardiovascolare e sul sistema nervoso centrale e altri quali la contrazione muscolare e l'induzione di lampi luminosi nel campo visivo, noti come magnetofosfeni.
- I principali effetti avversi causati dall'assorbimento di energia (CEM oltre i 100 kHz) sono il riscaldamento localizzato di organi e tessuti e lo stress termico generalizzato che, oltre ad ustioni e colpo di calore, possono causare danni soprattutto a carico del cristallino, dei sistemi nervoso, endocrino, immunitario, cardiovascolare e riproduttivo maschile.
- Le correnti di contatto considerate dalla legge sono quelle che fluiscono al contatto di un individuo con un oggetto conduttore posto nel campo elettromagnetico. Possono indurre vari effetti, come la percezione dolorosa, la contrazione muscolare e le ustioni.

MARGINI DI SICUREZZA:

- Effetto sanitario : 1
- Esposizione professionale : 10
Livelli di esposizione controllati, persone adulte, informate e consapevoli dei rischi e delle possibili precauzioni da adottare;
- Popolazione : 20 - 50 (Fattori di sicurezza che considerano condizioni ambientali sfavorevoli, condizioni di salute non buone, differenze fisiche (altezza, massa, ...)).
Persone di qualsiasi età ed in qualsiasi condizione di salute, inconsapevoli dell'esposizione.

5.0.5 Limiti esposizione

ESPOSIZIONE LAVORATORI:

D.lgs 9 aprile 2008, n.81. TESTO UNICO SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO (Gazzetta Ufficiale n. 101 del 30 aprile 2008 - Suppl. Ordinario n. 108)

Allegato XXXVI - Valori limite d'esposizione e valori d'azione

per i campi elettromagnetici. Art. 188. Comma 1

La normativa prevede inoltre la protezione da alcune tipologie di effetti indiretti tra i quali l'interferenza elettromagnetica con attrezzature e dispositivi medici elettronici (compresi stimolatori cardiaci e altri dispositivi impiantati).

È da sottolineare che la legge non riguarda la protezione da eventuali effetti a lungo termine per cui mancano dati scientifici conclusivi che comprovino un nesso di causalità.

Per situazione *giustificabile* si intende analisi delle condizioni nelle quali la valutazione del rischio può concludersi con una giustificazione secondo cui la natura e l'entità dei rischi non rendono necessaria una valutazione più dettagliata.

Una condizione è detta "giustificabile" se non comporta esposizione a CEM o nella quale la condizione espositiva non comporta rischi per la salute. Ai fini di questa definizione si considerano non comportare rischi per la salute le esposizioni inferiori ai livelli di riferimento per la popolazione di cui alla Raccomandazione Europea 1999/519/CE.

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva sui dati riportati nella Raccomandazione Europea:

Tipo di attrezzatura / situazione

- Tutte le attività che si svolgono unicamente in ambienti privi di impianti e apparecchiature elettriche e di magneti permanenti;
- Luoghi di lavoro interessati dalle emissioni di sorgenti CEM autorizzate ai sensi della normativa nazionale per la protezione della popolazione, con esclusione di manutenzione o altre attività a ridosso delle sorgenti;

NOTE: Il datore di lavoro deve verificare se è in possesso di autorizzazione ex legge 36/2001 e relativi decreti attuativi ovvero richiedere all'ente gestore una dichiarazione del rispetto della legislazione nazionale in materia.

- Uso di apparecchiature a bassa potenza (così come definite dalla norma EN 50371: con emissione di frequenza 10 MHz ÷ 300 GHz e potenza media trasmessa fino a 20 mW e 20 W di picco), anche se non marcate

Normativa

CE;

NOTE: Non sono comprese le attività di manutenzione.

- Uso di attrezzature marcate CE, valutate secondo gli standard armonizzati per la protezione dai CEM Lista soggetta a frequenti modifiche:
 - EN 50360: telefoni cellulari;
 - EN 50364: sistemi di allarme e antitaccheggio;
 - EN 50366: elettrodomestici;
 - EN 50371: norma generica per gli apparecchi elettrici ed elettronici di bassa potenza;
 - EN 50385: stazioni radio base e stazioni terminali fisse per sistemi di telecomunicazione senza fili;
 - EN 50401: apparecchiature fisse per trasmissione radio (110 MHz - 40 GHz) destinate a reti di telecomunicazione senza fili;
 - EN 60335-2-25: forni a microonde e forni combinati per uso domestico e similare;
 - EN 60335-2-90: forni a microonde per uso collettivo (uso domestico e similare).

NOTE: Le attrezzature devono essere installate ed utilizzate secondo le indicazioni del costruttore.

Non è compresa le attività di manutenzione.

Il datore di lavoro deve verificare sul libretto di uso e manutenzione che l'attrezzatura sia dichiarata conforme al pertinente standard di prodotto

- Attrezzature presenti sul mercato europeo conformi alla raccomandazione 1999/159/EC che non richiedono marcatura CE essendo per esempio parte di un impianto;
 - NOTE: Escluso specifiche lampade attivate da RF.

-
- Computer e attrezzature informatiche;
 - Attrezzature da ufficio;
 - NOTE: i cancellatori di nastri possono richiedere ulteriori valutazioni.
 - Cellulari e cordless;
 - NOTE: Solo quelle con potenze inferiori a 20 mW.
 - Radio rice-trasmittenti;
 - Basi per telefoni DECT e reti Wlan;
 - NOTE: limitatamente alle apparecchiature per il pubblico.
 - Apparati di comunicazione non wireless e reti;
 - Utensili elettrici manuali e portatili;
 - NOTE: es.: conformi alle EN 60745-1 e EN 61029-1 inerenti la sicurezza degli utensili a motore trasportabili.
 - Attrezzature manuali per riscaldamento (escluso il riscaldamento a induzione e dielettrico);
 - NOTE: es.: conformi alla EN 60335-2-45 (es. pistole per colla a caldo).
 - Carica batterie;
 - NOTE: Inclusi quelli ad uso domestico e destinati a garage, piccole industrie e aziende agricole (EN 60335-2-29).
 - Attrezzature elettriche per il giardinaggio;
 - Apparecchiature audio e video;
 - NOTE: alcuni particolari modelli che fanno uso di trasmettitori radio nelle trasmissioni radio/TV necessitano di ulteriori valutazioni.

Normativa

- Apparecchiature portatili a batteria esclusi i trasmettitori a radiofrequenza;
- Stufe elettriche per gli ambienti;
 - NOTE: esclusi i riscaldatori a microonde.
- Rete di distribuzione dell'energia elettrica a 50 Hz nei luoghi di lavoro: campo elettrico e magnetico devono essere considerati separatamente.

Per esposizioni al campo magnetico sono conformi:

 - Ogni installazione elettrica con un'intensità di corrente di fase 100 A;
 - Ogni singolo circuito all'interno di una installazione con una intensità di corrente di fase 100 A;
 - Tutti i componenti delle reti che soddisfano i criteri di cui sopra sono conformi (incluso i conduttori, interruttori, trasformatori ecc...);
 - Qualsiasi conduttore nudo aereo di qualsiasi voltaggio.

Per esposizioni al campo elettrico sono conformi:

 - Qualsiasi circuito in cavo sotterraneo o isolato indipendentemente dal voltaggio;
 - Qualsiasi circuito nudo aereo tarato ad un voltaggio fino a 100 kV, o line aerea fino a 125 kV, sovrastante il luogo di lavoro, o a qualsiasi voltaggio nel caso di luogo di lavoro interni;
- Strumentazione e apparecchi di misura e controllo;
- Elettrodomestici;
 - NOTE: Sono inclusi in questa tabella anche le apparecchiature professionali per la cottura, lavaggio (lavatrici), forni a microonde ecc... usate in ristoranti, negozi, ecc... Necessitano invece di ulteriori valutazioni i forni di cottura ad induzione.
- Computer e attrezzature informatiche con trasmissione wireless;
 - NOTE: es.: Wlan (Wi-Fi), Bluetooth e tecnologie simili, limitatamente all'uso pubblico.

-
- Trasmettitori a batteria;
 - NOTE: Limitatamente alle apparecchiature per il pubblico.
 - Antenne di stazioni base;
 - NOTE: Limitatamente alle apparecchiature per il pubblico.
 - Apparecchiature elettromedicali non per applicazioni con campi elettromagnetiche o di corrente.

ESPOSIZIONE POPOLAZIONE:

- **DPCM 8 luglio 2003**
Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della *popolazione* dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100kHz e 300GHz.
- **DPCM 8 luglio 2003**
Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della *popolazione* dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti.
- Tra 0 Hz e 100 kHz, per sorgenti non riconducibili ad elettrodotti si applicano le restrizioni della Raccomandazione Europea GUCE 30 Luglio 1999 n.199.

In generale non si possono “giustificare” gli apparecchi che dichiarano il rispetto delle norme di compatibilità elettromagnetica. Le norme di compatibilità elettromagnetica prescrivono vincoli sull’immunità degli apparati ai campi elettromagnetici (cioè la capacità di funzionare correttamente anche in presenza di disturbi elettromagnetici) e sull’emissione degli apparati stessi ai fini della prevenzione di malfunzionamenti su altre attrezzature utilizzate in prossimità dell’apparato. I vincoli sulle emissioni, in particolare, non garantiscono automaticamente il rispetto dei limiti per la protezione della salute umana, a meno che tale aspetto non sia esplicitamente riportato nella norma di prodotto.

5.0.6 Gestione della valutazione del rischio per portatori di protesi ed altri dispositivi medici impiantati

I livelli d'azione prescritti dall'Allegato XXXVI del DLgs.81/2008 sono stati fissati al fine di prevenire gli effetti noti dell'esposizione, su soggetti sani. L'esposizione a campi elettromagnetici di entità inferiore al livello d'azione può però comportare problemi per persone portatrici di stimolatori cardiaci, impianti ferromagnetici e dispositivi medicali impiantati. Pertanto, su tale base, è possibile affermare che i lavoratori non esposti (giustificabili) sono quelli che hanno un'esposizione ai campi elettromagnetici che risulti inferiore ai limiti derivati per la popolazione riportati nella normativa ICNIRP, ad esclusione dell'esposizione a campo magnetico statico, ove il limite per la popolazione fissato dall'ICNIRP (40 mTesla) non previene l'insorgenza di possibili malfunzionamenti in pace maker e dispositivi elettronici impiantati, che per la maggior parte presentano disturbi e malfunzionamenti per campi magnetici statici superiori a 0.5 mTesla. Pertanto nel caso di esposizione a campo magnetico statico la soglia tra esposti e non esposti è pari a 0,5 mT (misura su tempo di integrazione pari a 1 secondo).

5.0.7 Casi e modalità in cui i produttori sono tenuti a fornire informazioni sui livelli di emissione di CEM.

Tutti i macchinari alimentati a corrente elettrica oppure contenenti sorgenti di radiazioni possono emettere radiazioni o generare campi elettrici e/o magnetici di varie frequenze ed intensità. Secondo quanto riportato al punto 1.5.10 dell'Allegato 1 del DPR 459/96 (recepimento della direttiva macchine) che recita: *La macchina deve essere progettata e costruita in modo tale che qualsiasi emissione di radiazioni da parte della macchina sia limitata a quanto necessario al suo funzionamento e i suoi effetti sulle persone esposte siano nulli o ridotti a proporzioni non pericolose.* la progettazione e costruzione di tali macchinari deve essere tale da limitare qualsiasi emissione di radiazioni a quanto necessario al loro funzionamento e tale che i suoi effetti sulle persone esposte siano nulli o comunque non pericolosi. La norma cui fare riferimento per la valutazione e riduzione dei rischi generati dalle radiazioni emesse dal macchinario è la UNI EN 12198-1 del 2002, che riguarda

l'emissione dai macchinari di tutti i tipi di radiazione elettromagnetica non ionizzante (sia i campi elettromagnetici che le radiazioni ottiche). In funzione del livello di emissione di radiazioni, (valori riportati in appendice B della UNI EN 12198:2002) il fabbricante deve assegnare alla macchina una categoria di emissione di radiazioni. Sono considerate dalla norma tre categorie di emissione, per le quali sono previste diverse misure di protezione, informazione, addestramento:

1. **Categoria 0:**

- **Restrizioni e misure di protezione** : nessuna restrizione
- **Informazioni ed addestramento** : nessuna informazione necessaria

2. **Categoria 1:**

- **Restrizioni e misure di protezione** : restrizioni: può essere necessaria la limitazione dell'accesso e misura di protezione
- **Informazioni ed addestramento** : informazioni sui pericoli, rischi ed effetti secondari

3. **Categoria 2:**

- **Restrizioni e misure di protezione** : restrizioni speciali e misure di protezione sono essenziali
- **Informazioni ed addestramento** : informazioni sui pericoli, rischi ed effetti secondari; l'addestramento può essere necessario

La categoria complessiva risultante per la macchina è comunque quella con il numero più alto fra le categorie determinate per tutti i diversi tipi di emissione di radiazioni durante le fasi di messa a punto, funzionamento e pulizia relative all'utilizzo della macchina. Le radiazioni emesse dai macchinari possono essere previste dal processo di lavorazione (emissioni **funzionali**) oppure possono verificarsi in modo involontario (emissioni **indesiderate**). Per le emissioni di radiazioni indesiderate, il livello di emissione dovrebbe essere ridotto a valori corrispondenti alla categoria 0, mentre l'emissione funzionale di radiazioni deve essere limitata al grado necessario per il funzionamento della

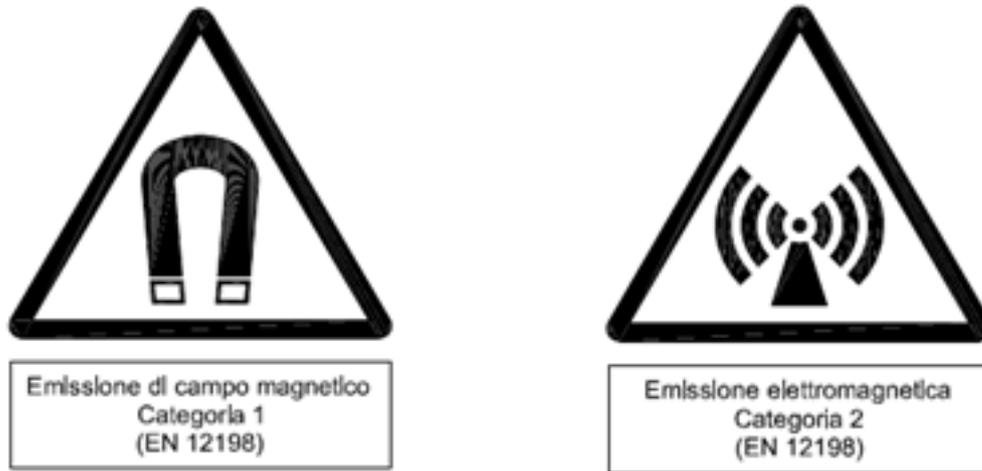


Figura 5.1: Segnaletica emissione campo magnetico ed elettrico

macchina, corrispondente alla categoria 1 o 2. Il fabbricante deve dichiarare nelle istruzioni per l'uso quali sono gli impieghi previsti della macchina, la categoria di emissione di radiazioni e le procedure di funzionamento. Il fabbricante deve specificare, se necessario, il livello di competenza da raggiungere mediante addestramento. Nei casi in cui le condizioni operative e di messa a punto della macchina si traducano in una riduzione della emissione, il fabbricante deve fornirne dettagli appropriati nelle istruzioni. Se la categoria di emissione di radiazioni è 1 o 2, il fabbricante deve dichiarare come informazione supplementare il tipo e il livello di radiazioni che possono essere emesse dalla macchina. Le macchine rientranti nelle categorie 1 e 2 devono essere marcate. La marcatura deve comprendere:

- Segnale di sicurezza rappresentante il tipo di emissione di radiazione;
- Il numero di categoria (categoria 1 o categoria 2).
- Il riferimento alla norma EN 12198.

5.0.8 Valutazione dei tempi di propagazione (Allegato XXXVI, Tabella 1 e 2 e relative note)

Come già detto per i campi elettromagnetici si considerano solo effetti acuti o cumulativi la cui insorgenza è possibile anche per esposizioni molto brevi se si

superano determinate soglie. Per tale motivo, i limiti e i valori di attenzione fissati dalla normativa sono riferiti a tempi di esposizione brevi o addirittura istantanei.

In particolare, per i campi elettromagnetici a frequenze basse (fino a 100 kHz), i limiti fissati non devono essere superati nemmeno per un istante.

Per campi non pulsati frequenze tra 100 kHz e 10 GHz, invece, la valutazione dell'esposizione va effettuata considerando la potenza media su periodi di 6 minuti (a causa dell'effetto di riscaldamento dei tessuti dovuto ai campi in questo intervallo di frequenze e del tempo di risposta del sistema di termoregolazione del corpo umano).

Per frequenze superiori a 10 GHz, infine, l'intervallo di tempo su cui valutare la media della potenza è pari a $\frac{68}{f^{1.05}}$ minuti. La scelta del periodo di riferimento per la valutazione dell'esposizione (quale intervallo di 6 minuti o quale istante nella giornata lavorativa), va effettuata in funzione della conoscenza delle caratteristiche di emissione degli apparati, del ciclo di lavorazione, delle procedure lavorative, andando ad individuare le peggiori condizioni di esposizione possibili per un lavoratore.

5.0.9 Criteri di classificazione del personale esposto e delimitazione aree

1. Valori di esposizione superiori a livelli d'azione per i lavoratori: Il personale che vi accede dovrà essere considerato professionalmente esposto e dovrà essere formato ed addestrato sulle misure di sicurezza da adottare all'interno dell'area. Qualora non sia possibile schermare la sorgente e ridurre i livelli di esposizione:
 - Tali aree andranno confinate e contraddistinte da idonea segnaletica 5.1;
 - Accesso interdetto per soggetti non protetti;
 - Dotare i lavoratori di dispositivi portatili di allarme che segnalino il superamento del livello d'azione.
2. Esposizioni inferiori al livello d'azione per i lavoratori e maggiori o uguali al limite derivato ICNIRP per la popolazione ovvero 0,5 mTesla per

Normativa

Intervallo di frequenza	Densità di corrente per corpo e tronco J (Am/m ²) rms	SAR mediato sul corpo intero (W/kg)	SAR localizzato (corpo e tronco) (W/kg)	SAR localizzato (arti) (W/kg)	Densità di potenza (W/m ²)
Fino ad 1 Hz	40	/	/	/	/
1 – 4 Hz	40f	/	/	/	/
4 – 1000 Hz	10	/	/	/	/
1000 – 100 kHz	f/100	/	/	/	/
100 kHz – 10 MHz	f/100	0.4	10	20	/
10 MHz – 10 GHz	/	0.4	10	20	/
10 – 300 GHz	/	/	/	/	50

Figura 5.2: Valori limite d'esposizione (art. 188, comma 1) - Tutte le condizioni devono essere rispettate)

campi statici. Il personale dovrà essere considerato professionalmente esposto e dovrà essere formato sulle appropriate misure di sicurezza da adottare all'interno dell'area. All'ingresso delle aree ove si verificano tali esposizioni dovrà essere esposta segnalazione atta ad avvertire della presenza di campi EM. Dovrà essere interdetto l'accesso a personale non autorizzato, possibilmente mediante barriere fisiche. Dovranno essere inoltre affissi cartelli con le seguenti informazioni:

“ Zona a rischio di esposizione a campi elettromagnetici (specificare tipo).

SOGGETTI CON DIVIETO ASSOLUTO DI ACCESSO (L'ACCESSO POTRÀ ESSERE CONSENTITO SOLO A SEGUITO VISITA IDONEITÀ DA PARTE DEL MEDICO COMPETENTE) ”

Elenco a titolo indicativo:

- Portatori di pace-makers o altre protesi e dispositivi dotati di circuiti elettronici;
- Portatori di clips vascolari, dispositivi e protesi endovascolari o schegge metalliche ferromagnetiche;
- Portatori di protesi interne;
- Donne in gravidanza;
- Infarto recente del miocardio;
- Portatrici di dispositivi intrauterini;
- Soggetti operati di cataratta.

Normativa

Capitolo 6

D.lgs 81/08

DECRETO LEGISLATIVO 19 novembre 2007, n. 257. Attuazione della direttiva 2004/40/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici).

Testo pubblicato nella Gazzetta Ufficiale italiana n. 9 del 11 gennaio 2008.

Con questo decreto si ha l'ATTUAZIONE DELLA DIRETTIVA 2004/40/CE che rappresenta un'integrazione al D.Lgs 626/94, introducendovi il titolo V-ter "Protezione da agenti fisici: campi elettromagnetici".

Il D.lgs 81/2008 è stato successivamente integrato dal D.lgs. n. 106 del 3 agosto 2009[1] recante disposizioni integrative e correttive del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro. Le norme contenute nel cosiddetto decreto correttivo sono entrate in vigore il 20 agosto 2009.

6.1 Campo d'applicazione:

- Il presente decreto legislativo si applica a tutti i settori di attività, privati e pubblici e a tutte le tipologie di rischio.
- Il presente titolo 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) durante il lavoro.

ro. 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, nonché da correnti di contatto.

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

Nell'art. 4 viene indicata la clausola di cedevolezza, nell'art. 5 l'invarianza degli oneri e nell'art. 49 vengono elencate le definizioni, i valori limite di esposizione e valori di azione, gli obblighi del datore di lavoro, l'identificazione dell'esposizione e valutazioni dei rischi, le misure di prevenzione e protezione, l'informazione e formazione dei lavoratori, la sorveglianza sanitaria e le cartelle sanitarie e di rischio.

6.2 Identificazione dell'esposizione e valutazione dei rischi

- *L'emendamento 49.16 Comma 1* cita che 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).
- CEI 211-6 "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz ÷ 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana".
- CEI 211-7 "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz ÷ 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana".

NOVITÀ RISPETTO AL DECRETO 626/94: *L'emendamento 49.16 Comma 4* stabilisce che le misurazioni sono programmate ed effettuate con cadenza almeno quinquennale da personale competente nell'ambito del servizio di

6.3 Misure di prevenzione e protezione

prevenzione e protezione.

Questo rappresenta l'unica novità rispetto alla Direttiva Europea.

Valutazione del rischio

- Il **rischio generico** è rappresentato da una situazione di pericolo comune che grava su ogni uomo in modo uguale e pertanto esclude ogni rapporto col lavoro;
- Il **rischio generico aggravato**, pur incombendo su ogni cittadino, grava su chi esplica determinate professioni in modo maggiore;
- Il **rischio specifico** è dovuto a peculiari condizioni di lavoro;
- Il **rischio professionale** può essere un rischio specifico o un rischio generico aggravato.

L'*emendamento 49.16 Comma 5* decreta che nell'ambito della valutazione del rischio il datore di lavoro presta particolare attenzione ai seguenti elementi:

[...] qualsiasi effetto indiretto quale:

- *interferenza con attrezzature e dispositivi medici elettronici (compresi stimolatori cardiaci e altri dispositivi impiantati);*
- *rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici in campi magnetici statici con induzione magnetica superiore a 3 mT;*
- *incendi ed esplosioni dovuti all'accensione di materiali infiammabili provocata da scintille prodotte da campi indotti, correnti di contatto o scariche elettriche;*

[i₂¹]

6.3 Misure di prevenzione e protezione

Nell'*emendamento 49.17 Comma 1* è riportato che fermo restando a quanto previsto dall'articolo 3, il datore di lavoro, tenuto conto del progresso tecnico e della disponibilità di misure per controllare il rischio alla fonte, elimina

alla sorgente o riduce al minimo i rischi derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici.

Se vengono superati i valori di azione di cui all'articolo 49-15 , il datore di lavoro, a meno che non 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, *emendamento 49.17 Comma 2*, tenendo conto in particolare di:

- uso di dispositivi di sicurezza, schermature o di analoghi meccanismi di protezione della salute;
- postazioni, luoghi e metodi di lavoro ed attrezzature che permettano la minor esposizione;
- limitazione della durata e dell'intensità dell'esposizione.

Se nei luoghi di lavoro vengono superati i limiti, deve essere indicata un'apposita segnaletica 6.1 e 6.2:

L'*emendamento 49.17 comma 4* dice che in nessun caso i lavoratori devono essere esposti a valori superiori ai valori limite di esposizione (vedi tabella 6.1).

6.4 Informazione e formazione dei lavoratori

Nell'*emendamento 49.18. comma 1*, il datore di lavoro deve provvede affinché i lavoratori esposti a rischi derivanti da campi elettromagnetici sul luogo di lavoro e i loro rappresentanti vengano informati e formati in relazione al risultato della valutazione dei rischi di cui all'articolo 49-16.

6.5 Sorveglianza sanitaria

Devono essere sottoposti a sorveglianza sanitaria i lavoratori che sono stati esposti per un periodo superiore ai limiti di legge. Di norma viene effettuata una volta l'anno o con periodicità inferiore decisa dal medico competente



Figura 6.1: Segnali di sicurezza



Figura 6.2: segnali di divieto

6.5 Sorveglianza sanitaria

Frequenza	Densità di corrente per corpo e tronco $J[\frac{A}{m^2}]$
0-1 Hz	40
1-4 Hz	$\frac{40}{f}$
4-100 Hz	10
1-100 kHz	$\frac{f}{100}$

Tabella 6.1: Limiti d'esposizione lavoratori

Intervallo di frequenza	Campo elettrico $\vec{E}[\frac{V}{m}]$	Campo magnetico $\vec{H}[\frac{A}{m}]$	Induzione Magnetica $\vec{B}[\mu T]$
0-1Hz	–	$1,63 \times 10^5$	2×10^5
1-8 Hz	20000	$1,63 \times \frac{10^5}{f^2}$	$2 \times \frac{10^5}{f^2}$
8-25 Hz	20000	$2 \times \frac{10^4}{f}$	$2,5 \times \frac{10^4}{f}$
0.025-0.82 kHz	$\frac{500}{f}$	$\frac{20}{f}$	$\frac{25}{f}$
0.82-2.5 kHz	610	24.4	30.7
0.25-65 kHz	610	24.4	30.7

Tabella 6.2: Valori d'azione

e con particolare attenzione per i lavoratori maggiormente esposti. Nell'esistenza di un danno alla salute, il medico competente ne informa il datore di lavoro che procede ad effettuare una nuova valutazione del rischio a norma dell'articolo 49-16. Art. 6.

Capitolo 7

Elettrobisturi

7.1 Norme particolari: elettrobisturi

L'apparecchiatura per la produzione di corrente elettrochirurgica è un generatore a radio frequenze opportunamente dotato di comandi e controlli che prende il nome di “elettrobisturi”.

Il paziente è inserito in serie al circuito d'uscita del generatore facendo uso di due elettrodi, come schematizzato in figura a 7.1. L'elettrodo attivo è di piccola superficie, in grado quindi di iniettare nel paziente ad alta densità al fine di “produrre effetti di tipo fisico” (CEI 62.11 art. 2.1.102). L'altro elettrodo, detto neutro, è realizzato da un conduttore di estesa superficie, circa 100 volte maggiore rispetto all'elettrodo attivo, appoggiato stabilmente sulla cute del paziente. Questo costituisce il circuito di ritorno per la corrente ad alta frequenza in modo da indurre una densità di corrente così bassa, a livello del punto di contatto con il paziente, da non produrre effetti collaterali di tipo fisico come bruciature, ustioni, etc. (CEI 62.11 art. 2.1.104).

Oltre a questa configurazione detta monopolare, esistono altri modi di collegamento apparecchiatura-paziente. Quella monoterminale figura b 7.1 fa uso del solo elettrodo attivo, sfruttando per il ritorno di corrente la capacità parassita del paziente verso terra che assume valori compresi fra 100 e 2000pF, tipica degli interventi odontoiatrici o nelle pratiche estetiche dove le potenze sono di poche decine di Watt. Un'altra modalità d'uso più valida dal punto di vista della sicurezza elettrica e quella “bipolare” figura c 7.1, nella quale

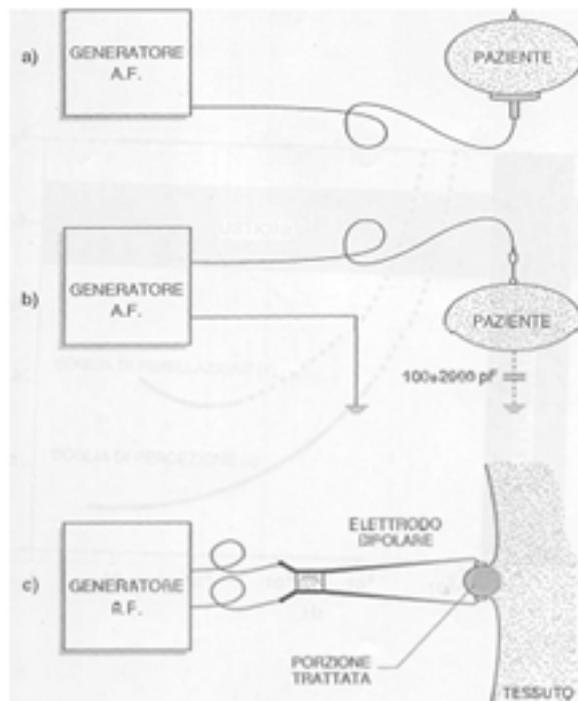


Figura 7.1: Elettrobisturi a, b, c

i due elettrodi sono montati nella pinzetta con la quale si afferra la porzione di tessuto da trattare. In questo caso la corrente elettrochirurgica percorre solo la porzione di tessuto afferrata dalla pinzetta, evitando così percorsi di corrente nell'organismo non del tutto determinati e controllabili.

7.2 Principi fisici dell'elettrochirurgia

Sul piano funzionale i principali effetti della corrente dell'elettrochirurgia che si intende ottenere sono essenzialmente tre:

1. essiccazione;
2. taglio;
3. folgorazione.

La coagulazione può essere considerata come la combinazione dell'essiccazione e della folgorazione.

7.2 Principi fisici dell'elettrochirurgia

BASSA POTENZA 10 – 100 W	<ul style="list-style-type: none">• neurochirurgia• laparoscopia• polipectomia• dermatologia• chirurgia plastica
MEDIA POTENZA 100 – 200 W	<ul style="list-style-type: none">• chirurgia generale• laparotomia• chirurgia ortopedica• chirurgia vascolare• tiroide
ALTA POTENZA 200 – 400 W	<ul style="list-style-type: none">• resezione transrenale• toracotomia• mastectomia• cardiocirurgia• chirurgia toracica

Figura 7.2: Valori usati di potenza dell'elettrobisturi

1. Si ha *essiccazione* quando i liquidi cellulari evaporano lentamente dalla struttura tessutale. Per ottenere questo effetto si tengono a contatto del tessuto degli elettrodi attivi sufficientemente grandi, come mostrato in figura 2a 7.3, caratterizzati da una contenuta densità di corrente. Quando l'essiccazione è protratta, aumenta la resistenza elettrica del tessuto fino a raggiungere valori tali da ridurre sensibilmente l'effetto Joule. Conseguentemente aumenta la differenza di potenziale tra elettrodo attivo e tessuto biologico sottostante fino a rendere possibile il formarsi di scariche elettriche.
2. Per ottenere il *taglio* dei tessuti è necessario concentrare l'energia termica su una piccola zona e ciò è ottenibile utilizzando elettrodi di piccola dimensione come riportato in fig.2b 7.3, caratterizzati cioè da un'elevata densità di corrente. Il taglio si verifica se la temperatura del liquido cellulare supera il valore dei 100 °C. Il dissolversi del tessuto al di sotto dell'elettrodo attivo provoca una momentanea interruzione del circuito generatore-paziente. Dal punto di vista elettrico una tale situazione

ne è caratterizzata da un'elevata differenza di potenziale tra elettrodo e tessuto che determina l'innescò di scariche elettriche le quali contribuiscono anch'esse a concentrare l'energia prodotta in una piccolissima zona.

3. Si ha *folgorazione* del tessuto quando la distanza fra elettrodo e tessuto è di pochi millimetri e si creano volutamente delle scariche elettriche intermittenti, come schematizzato in fig.2c7.3. L'arco elettrico nella folgorazione è meno energetico e più discontinuo rispetto quello che accade nel taglio. Dal punto di vista elettrico, per realizzare folgorazioni valide ai fini clinici, si agisce principalmente sulla forma d'onda (sinusoidi smorzate ripetitive) e sulla tensione di picco. Un parametro indicativo della qualità della folgorazione è il fattore di cresta (CF), definito dal rapporto tra il valore di picco della tensione impiegata e il suo valore efficace. Valori tipici del fattore di cresta nella folgorazione sono 5-7, contro 1.5 del taglio.

7.3 DVR elettrobisturi

In data 8 luglio 2010 è stata effettuata alle ore 10.30 la misurazione dell'elettrobisturi Force FXTM-8CA generatore elettrochirurgico della Valleylab in una delle sale operatorie del Blocco Operatorio dell'Ospedale di Padova. La sonda utilizzata era EHP50 per la misurazione del campo elettrico (V/m) e un ridotto campo magnetico (μT) e precedentemente tarata. Gli operatori addetti alla misurazione erano l'ingegnere Diego Dainese e la laureanda in ingegneria biomedica Giulia Guidolin, accompagnati dalla dottoressa Caterina Zanetti.

Giunti nella sala dove veniva utilizzato l'elettrobisturi, la misurazione è durata 30 minuti. La banda passante della sonda era di start 120Hz - 10KHz e la frequenza di campionamento si basava sull'intervallo di 6 minuti, in rispetto della normativa CEI 211-6, CEI 211-7 con rms massimo pari a 2.70 V/m per il campo elettrico nella posizione 1 e rms massimo per il campo magnetico nella posizione 2 pari a $0.117\mu T$. Il personale medico, composto dal chirurgo, 3 infermieri e un anestesista, stava eseguendo un'operazione al fe-

7.3 DVR elettrobisturi

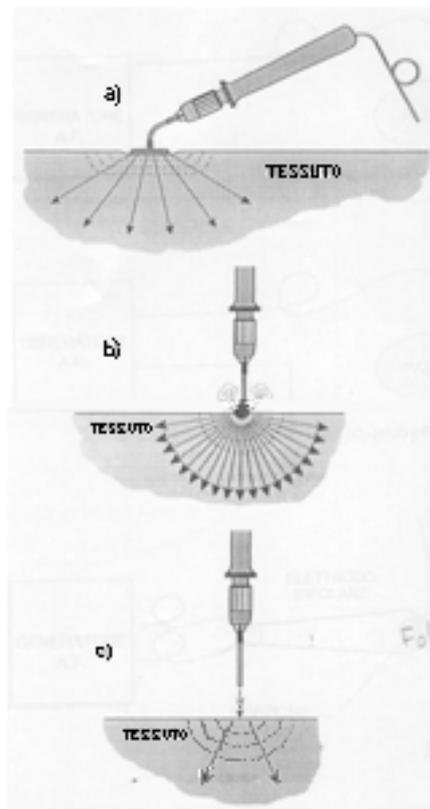
Posizione	EHP050 10Hz - 5kHz [E]	EHP050 10 nT - 40 μT [H]
Posizione 1	Max 24.19 V/m	Max 0.060 μT
	Max 2.70 V/m	Max 0.054 μT
Posizione 2	Max 2.59 V/m	Max 0.128 μT
	rms 1.50 V/m	rms 0.117 μT
Posizione 3	Max 1.69 V/m	Max 0.127 μT

Tabella 7.1: Valori d'azione

gato, mentre veniva fatta la misurazione ponendo la sonda EHP50 a 1.5 m rispetto al piano di calpestio. Le misurazioni sono state realizzate in 3 posizioni differenti, indicate nel disegno sottostante e le misure sono riportate in tabella 7.1.

L' elettrobisturi Force FXTM-8CA Generatore elettrochirurgico della Valleylab lavora ad una potenza di 45 ÷ 80 W per un fondo scala di 120W, 80W é la potenza massima utilizzata, dichiarata dagli operatori.

Sulla base della misurazione effettuata si evince che i limiti non sono superati né per i lavoratori (ai sensi del D.Lgs. 81/08), né per la popolazione (D.P.C.M. 8 luglio 2003 per la frequenza di 50Hz e Raccomandazione del Consiglio del 12 luglio 1999). Essendo quindi rispettati, il rischio relativo alle radiazioni elettromagnetiche é accettabile sia per il i lavoratori, chirurgo, infermieri, anestesista e personale di sala, che per il paziente, per i tempi di esposizione medi, in base alla normativa 211-6 e 211-7.



corrente.png

Figura 7.3: Effetti della corrente elettrochirurgica a, b, c

sensib.png

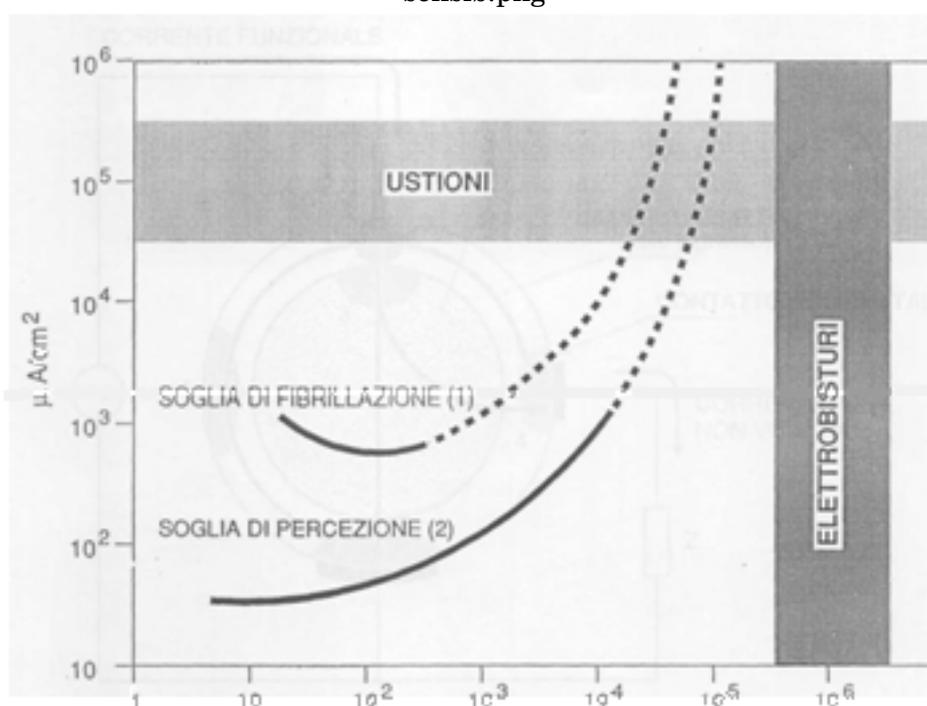


Figura 7.4: Curve di sensibilità dell'energia elettrica nel corpo al variare della frequenza. (1) Soglia di fibrillazione ventricolare tra 10 e 300 Hz (2) Soglia di percezione

Capitolo 8

DVR

Il D.lgs n. 81 GU 30 Aprile 2008 e correttivo D.Lgs 106/09 rispetto alla precedente disciplina normativa (Decreto Legislativo 626/94) ha confermato l'obbligo di effettuare la valutazione dei rischi attraverso la redazione del documento di valutazione, ma al tempo stesso ha introdotto alcune novità. In particolare il documento dovrà contenere le procedure per l'attuazione delle misure ancora da realizzare, nonché l'indicazione del Rspp, del Rls (Aziendale o territoriale) e del medico competente e delle mansioni che possono comportare esposizione dei lavoratori a rischi specifici, cui si correlano esigenze di qualificazione professionale. L'obbligo di redazione del documento, che dovrà avere data certa, coinvolge il datore di lavoro, i dirigenti, i preposti e gli operatori, per quanto di loro competenza. La valutazione dei rischi è uno strumento finalizzato alla programmazione delle misure di protezione e prevenzione, quindi, alla più generale organizzazione della prevenzione aziendale volta a salvaguardare la salute e la sicurezza dei lavoratori.

8.1 Utilizzazione e consultazione

Il documento sarà utilizzato come guida da tutti i soggetti facenti parte del sistema organizzativo della sicurezza per applicare al meglio tutte le misure da adottare durante le varie lavorazioni in relazione ai fattori di rischio presenti. Tutti saranno tenuti alla piena osservanza ed applicazione delle

misure di sicurezza riportate nel presente documento. Le misure, i dispositivi di protezione individuale e le cautele di sicurezza sono:

- tassativamente obbligatorie
- da impiegare correttamente e continuamente
- da osservare personalmente.

8.2 Revisione

Il DVR dovrà essere sottoposto a revisione, ad opportuni intervalli di tempo, per assicurarne l'adeguatezza e l'efficacia nel tempo. Sarà pertanto necessario rielaborare una valutazione dei rischi, ogni qualvolta si introduca un cambiamento tale da modificare la percezione dei rischi sul luogo di lavoro, ad esempio quando viene introdotto un nuovo strumento per la misurazione, si presentano nuovi livelli di esposizione oppure quando si effettua una variazione dell'organizzazione del lavoro da cui possano risultare nuove situazioni lavorative in ambienti diversi. La valutazione dei rischi deve tener conto di eventuali misure di potenziamento o contenimento, corretta installazione e stato di manutenzione degli apparati, procedure di utilizzo, caratteristiche degli ambienti, disposizione delle postazioni di lavoro e particolari abitudini di ogni singolo lavoratore interessato.

8.3 Definizioni Ricorrenti

Si adottano, nel presente documento le definizioni seguenti:

- **Pericolo:** proprietà o qualità intrinseca di una determinata entità (per es. materiali o strumentazione, metodi e pratiche di lavoro) avente la potenzialità di causare danni;
- **Danno:** lesione fisica e/o danno alla salute o ai beni;
- **Rischio:** probabilità che sia raggiunto il limite potenziale di danno nelle condizioni di impiego, ovvero di esposizione, di un determinato fattore;

8.3 Definizioni Ricorrenti

- **Rischio residuo:** rischio che permane dopo che sono state adottate le appropriate misure per ridurlo;
- **Valutazione dei rischi:** procedimento di valutazione dei rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori, della possibile entità del danno, quale conseguenza del rischio per la salute e la sicurezza dei lavoratori nell'espletamento delle loro mansioni, derivante dalle circostanze del verificarsi di un pericolo sul luogo di lavoro;
- **Lavoratore:** persona che presta il proprio lavoro alle dipendenze di un datore di lavoro, esclusi gli addetti ai servizi domestici e familiari, con rapporto di lavoro subordinato anche speciale. Sono equiparati i soci lavoratori di cooperative o di società, anche di fatto, che prestino la loro attività per conto delle società e degli enti stessi, e gli utenti dei servizi di orientamento o di formazione scolastica, universitaria e professionale avviati presso datori di lavoro per agevolare o per perfezionare le loro scelte professionali. Sono altresì equiparati gli allievi degli istituti di istruzione ed universitari e i partecipanti a corsi di formazione professionale nei quali si faccia uso di laboratori, macchine, apparecchi ed attrezzature di lavoro. I soggetti di cui al precedente periodo non vengono computati ai fini della determinazione del numero di lavoratori dal quale il presente decreto fa discendere particolari obblighi;
- **Datore di lavoro:** il soggetto titolare del rapporto di lavoro con il lavoratore o, comunque, il soggetto che, secondo il tipo e l'organizzazione dell'impresa, ha la responsabilità dell'impresa stessa ovvero dell'unità produttiva, quale definita in seguito alla voce unità produttiva, in quanto titolare dei poteri decisionali e di spesa. Nelle pubbliche amministrazioni di cui all'art. 1, comma 2, del decreto legislativo 3 febbraio 1993, n. 29, per datore di lavoro si intende il dirigente al quale spettano i poteri di gestione, ovvero il funzionario non avente qualifica dirigenziale, nei soli casi in cui quest'ultimo sia preposto ad un ufficio avente autonomia gestionale;
- **RSPP¹:** persona in possesso delle capacità e dei requisiti professionali

¹RSPP: *Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione*

di cui all'articolo 32 designata dal datore di lavoro, a cui risponde, per coordinare il servizio di prevenzione e protezione dai rischi;

- **RLS²**: persona eletta o designata per rappresentare i lavoratori per quanto concerne gli aspetti della salute e della sicurezza durante il lavoro;
- **SPP³**: insieme delle persone, sistemi e mezzi esterni o interni all'azienda finalizzati all'attività di prevenzione e protezione dai rischi professionali nell'azienda, ovvero unità produttiva;
- **Unità produttiva**: stabilimento o struttura finalizzata alla produzione di beni o servizi, dotata di autonomia finanziaria e tecnico funzionale;
- **Medico competente**: medico in possesso di uno dei seguenti titoli:
 - specializzazione in medicina del lavoro o in medicina preventiva dei lavoratori e psicotecnica o in tossicologia industriale;
 - in igiene industriale o in fisiologia ed igiene del lavoro o in clinica del lavoro ed altre specializzazioni individuate, ove necessario, con decreto del Ministro della sanità di concerto con il Ministro dell'università e della ricerca scientifica e tecnologica;
 - docenza o libera docenza, in medicina del lavoro o in medicina preventiva dei lavoratori e psicotecnica o in tossicologia industriale o in igiene industriale o in fisiologia ed igiene del lavoro;
- **sorveglianza sanitaria**: insieme degli atti medici, finalizzati alla tutela dello stato di salute e sicurezza dei lavoratori, in relazione all'ambiente di lavoro, ai fattori di rischio professionali e alle modalità di svolgimento dell'attività lavorativa;
- **salute**: stato di completo benessere fisico, mentale e sociale, non consistente solo in un'assenza di malattia o d'infermità;

²**RLS**: *Rappresentante dei Lavoratori per la Sicurezza*

³**SPP**: *Servizio di prevenzione e protezione dei rischi*

- **sistema di promozione della salute e sicurezza:** complesso dei soggetti istituzionali che concorrono, con la partecipazione delle parti sociali, alla realizzazione dei programmi di intervento finalizzati a migliorare le condizioni di salute e sicurezza dei lavoratori;
- **norma tecnica:** specifica tecnica, approvata e pubblicata da un'organizzazione internazionale, da un organismo europeo o da un organismo nazionale di normalizzazione, la cui osservanza non sia obbligatoria;
- **buone prassi:** soluzioni organizzative o procedurali coerenti con la normativa vigente e con le norme di buona tecnica, adottate volontariamente e finalizzate a promuovere la salute e sicurezza sui luoghi di lavoro attraverso la riduzione dei rischi e il miglioramento delle condizioni di lavoro, elaborate e raccolte dalle regioni, dall'Istituto superiore per la prevenzione e la sicurezza del lavoro (ISPESL), dall'Istituto nazionale per l'assicurazione contro gli infortuni sul lavoro (INAIL) e dagli organismi paritetici di cui all'articolo 51, validate dalla Commissione consultiva permanente di cui all'articolo 6, previa istruttoria tecnica dell'ISPESL, che provvede a assicurarne la più ampia diffusione;
- **linee guida:** atti di indirizzo e coordinamento per l'applicazione della normativa in materia di salute e sicurezza predisposti dai Ministeri, dalle regioni, dall'ISPESL e dall'INAIL e approvati in sede di Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano;
 - **formazione:** processo educativo attraverso il quale trasferire ai lavoratori ed agli altri soggetti del sistema di prevenzione e protezione aziendale conoscenze e procedure utili alla acquisizione di competenze per lo svolgimento in sicurezza dei rispettivi compiti in azienda e alla identificazione, alla riduzione e alla gestione dei rischi;
 - **informazione:** complesso delle attività dirette a fornire conoscenze utili alla identificazione, alla riduzione e alla gestione dei rischi in ambiente di lavoro;

- **addestramento**: complesso delle attività dirette a fare apprendere ai lavoratori l'uso corretto di attrezzature, macchine, impianti, sostanze, dispositivi, anche di protezione individuale, e le procedure di lavoro;
- **modello di organizzazione e di gestione** : modello organizzativo e gestionale per la definizione e l'attuazione di una politica aziendale per la salute e sicurezza, ai sensi dell'articolo 6, comma 1, lettera a), del decreto legislativo 8 giugno 2001, n. 231, idoneo a prevenire i reati di cui agli articoli 589 e 590, terzo comma, del codice penale, commessi con violazione delle norme antinfortunistiche e sulla tutela della salute sul lavoro;
- **Corrente di contatto (I_C)**: La corrente che fluisce al contatto tra un individuo ed un oggetto conduttore caricato dal campo elettromagnetico. La corrente di contatto è espressa in Ampere (A);
- **Corrente indotta attraverso gli arti (I_L)** : La corrente indotta attraverso qualsiasi arto, a frequenze comprese tra 10 e 110 MHz, espressa in Ampere (A);
- **Densità di corrente (J)**: è definita come la corrente che passa attraverso una sezione unitaria perpendicolare alla sua direzione in un volume conduttore quale il corpo umano o una sua parte. È espressa in Ampere per metro quadro (A/m²);
- **Intensità di campo elettrico**: è una grandezza vettoriale (E) che corrisponde alla forza esercitata su una particella carica indipendentemente dal suo movimento nello spazio. È espressa in Volt per metro (V/m);
- **Intensità di campo magnetico**: è una grandezza vettoriale (H) che, assieme all'induzione magnetica, specifica un campo magnetico in qualunque punto dello spazio. È espressa in Ampere per metro (A/m);
- **Induzione magnetica** è una grandezza vettoriale (B) che determina una forza agente sulle cariche in movimento. È espressa in Tesla (T);

- **Densità di potenza (S)** Questa grandezza si impiega nel caso delle frequenze molto alte per le quali la profondità di penetrazione nel corpo è modesta. Si tratta della potenza radiante incidente perpendicolarmente a una superficie, divisa per l'area della superficie in questione ed è espressa in Watt per metro quadro (W/m^2);
- **Assorbimento specifico di energia (SA):** Si definisce come l'energia assorbita per unità di massa di tessuto biologico e si esprime in Joule per chilogrammo (J/kg). Nella presente direttiva esso si impiega per limitare gli effetti non termici derivanti da esposizioni a microonde pulsate;
- **Tasso di assorbimento specifico di energia (SAR):** Si tratta del valore mediato su tutto il corpo o su alcune parti di esso, del tasso di assorbimento di energia per unità di massa di tessuto corporeo ed è accettato per porre in rapporto gli effetti termici nocivi dell'esposizione a radiofrequenze (RF). Oltre al valore del SAR mediato su tutto il corpo, sono necessari anche valori locali del SAR per valutare e limitare la deposizione eccessiva di energia in parti piccole del corpo conseguenti a particolari condizioni di esposizione, quali ad esempio il caso di un individuo in contatto con la terra, esposto a RF dell'ordine di pochi MHz e di individui esposti nel campo vicino di un'antenna.

8.4 Sorveglianza sanitaria

Dato che la valutazione dei rischi definisce la necessità di provvedere o meno alla sorveglianza sanitaria, il documento di valutazione dei rischi deve descrivere per quali rischi e per quali mansioni è prevista. Di seguito sono riportati i fattori e le situazioni di rischio più frequenti che determinano l'obbligo di sorveglianza sanitaria:

- **utilizzo di videoterminale:** è obbligatorio sottoporre a controllo sanitario i lavoratori che utilizzano attrezzature munite di videoterminali, in modo sistematico o abituale, per venti ore settimanali,

dedotte le interruzioni di legge (art. 21 L. 422/00). La periodicità della visita medica è quinquennale, salvo indicazioni individuali da parte del medico competente; per i lavoratori di età superiore ai 50 anni è biennale (D. Lgs. 81/08, art. 176).

- **strumentazione di laboratorio:** l' utilizzo simultaneo delle attrezzature non deve comportare un'esposizione professionale del corpo intero superiore ad un valore massimo dell'induzione magnetica di 2T, anche se possono essere consentite esposizioni fino a 5T (limitate alle estremità). Mentre non si deve superare un'induzione magnetica di 40mT di esposizione continua per individui della popolazione. È obbligatorio sottoporre a controllo sanitario i lavoratori che occupano il laboratorio durante queste operazioni in modo sistematico o abituale.

* La saldatrice⁴ al plasma supera i valori limite per la popolazione, valori superiori 40mT di induzione magnetica. Il macchinario deve essere posizionato nella zona nord della stanza e tale zona deve essere opportunamente segnalata mediante segnaletica orizzontale (linee colorate) o mediante cartelli monitori o catenelle. Durante l'utilizzo della saldatrice, nel laboratorio devono essere presenti solo il personale addetto. Per esposizioni inferiori al livello d'azione per i lavoratori e maggiori o uguali al limite derivato ICNIRP per la popolazione (0,5 mTesla per campi statici), il personale dovrà essere considerato professionalmente esposto e dovrà essere formato sulle appropriate misure di sicurezza da adottare all'interno dell'area. All'ingresso delle aree ove si verificano tali esposizioni dovrà essere esposta segnalazione atta ad avvertire della presenza di campi EM. Dovrà essere interdetto l'accesso a personale non autorizzato, possibilmente mediante barriere fisiche. Dovranno essere inoltre affissi cartelli con le seguenti informazioni:

Zona a rischio di esposizione a campi elettromagnetici (speci-

⁴parte delle situazioni di rischio più frequenti, riportate in questo DVR, sono state puramente inventate, per poter analizzare i vari casi.

ficare tipo). SOGGETTI CON DIVIETO ASSOLUTO DI ACCESSO (L'ACCESSO POTRA' ESSERE CONSENTITO SOLO A SEGUITO VISITA IDONEITA' DA PARTE DEL MEDICO COMPETENTE) Elenco a titolo indicativo:

- Portatori di pace-makers o altre protesi e dispositivi dotati di circuiti elettronici
 - Portatori di clips vascolari, dispositivi e protesi endovascolari o schegge metalliche ferromagnetiche;
 - Portatori di protesi interne;
 - Donne in gravidanza;
 - Infarto recente del miocardio;
 - Portatrici di dispositivi intrauterini;
 - Soggetti operati di cataratta.
- * Il gruppo di antenne emettenti superano i limiti d'esposizione del lavoratore professionalmente esposto. Il Datore di lavoro deve intervenire immediatamente. Il personale deve indossare indumenti di protezione, con guanti e stivali appositi per tali valori di campi. I lavoratori devono essere dotati di dispositivi portatili di allarme che segnalino il superamento del livello d'azione. Le macchine rientranti nelle categorie 1 e 2, vedi suddivisione sotto, devono essere marcate. La marcatura deve comprendere:
- Segnale di sicurezza rappresentante il tipo di emissione di radiazione;
 - Il numero di categoria (categoria 1 o categoria 2);
 - Il riferimento alla norma EN 12198.

1. Categoria 0:

- * **Restrizioni e misure di protezione** : nessuna restrizione
- * **Informazioni ed addestramento** : nessuna informazione necessaria

2. Categoria 1:

- * **Restrizioni e misure di protezione** : restrizioni: può essere necessaria la limitazione dell'accesso e misura di protezione
- * **Informazioni ed addestramento** : informazioni sui pericoli, rischi ed effetti secondari

3. Categoria 2:

- * **Restrizioni e misure di protezione** : restrizioni speciali e misure di protezione sono essenziali
- * **Informazioni ed addestramento** : informazioni sui pericoli, rischi ed effetti secondari; l'addestramento può essere necessario

Capitolo 9

Dati generali dell'azienda

9.1 Descrizione tecnica del Laboratorio EMC

L'attività del Laboratorio EMC si sviluppa in locali forniti in comodato d'uso dall'Università degli studi di Padova. La stanza è ubicata al terzo e ultimo piano del DEI/A ed è ad uso direzionale. La superficie è di 50 m², il pavimento è in gres, le murature sono in laterizio con finiture ad intonaco civile, tinteggiate in lavabile bianco. Ampie finestre illuminano e danno una buona aereazione al vano. La forometria è superiore ai parametri di legge e la porta è ad unico battente, in legno e vetro apribile verso il laboratorio.

Il locale ha l'agibilità, è conforme alle norme di prevenzione incendi e idoneo ai requisiti dei luoghi di lavoro contenuti nell'allegato IV del D. Lgs 81/08.

9.1

Destinazione d'uso Il locale in analisi è adibito ad uso laboratorio, utilizzato da studenti e insegnanti, contenente la strumentazione necessaria per le varie misurazioni richieste per la compatibilità elettromagnetica.9.2

Dati generali dell'azienda

DATI GENERALI	
Denominazione/ Rag. sociale	Università degli Studi di Padova
Attività Lavorativa	Studio universitario
Descrizione azienda	Studio universitario
Codice fiscale	
P. IVA	
ASL competente	
Rappresentante Legale	
SEDE	
Indirizzo	Via Gradenigo, 6/B
CAP	35121
Città	Padova
Telefono	
Fax	
E - Mail	matteo.bertocco@unipd.it
URL	
FIGURE E RESPONSABILI	
Rappresentante Legale	
Datore di Lavoro	Ing. Diego Dainese
RLS	
RSPP	Giulia Guidolin
Medico Competente	
Resp. Emergenze	

Figura 9.1: Dati generali dell'azienda

9.1 Descrizione tecnica del Laboratorio EMC

Matricola	Nominativo	Mansione
523452	Mario Rossi	Studente

Figura 9.2: Dati lavoratori

Dati generali dell'azienda

Capitolo 10

Primo Soccorso

10.1 Primo Soccorso

Il D. Lgs. 81/08 (artt.18 e 45) prevede che il datore di lavoro adotti i provvedimenti in materia di organizzazione di primo soccorso e di assistenza medica di emergenza sui luoghi di lavoro, stabilendo i necessari rapporti con i servizi pubblici competenti in materia di pronto soccorso. Ciò si traduce nella definizione di un piano di Primo Soccorso, che stabilisca le procedure organizzative da seguire in caso di infortunio o malore, i criteri di individuazione e i compiti dei lavoratori designati per lo svolgimento delle funzioni di pronto soccorso e le risorse dedicate. Si ricordano le seguenti definizioni:

- pronto soccorso: procedure complesse con ricorso a farmaci e strumentazione, orientate a diagnosticare il danno ed a curare l'infortunato, di competenza di personale sanitario
- primo soccorso: insieme di semplici manovre orientate a mantenere in vita l'infortunato ed a prevenire possibili complicazioni in attesa dell'arrivo di soccorsi qualificati; deve essere effettuato da qualsiasi persona.

Il piano di primo soccorso va definito dal datore di lavoro e dal RSPP, in collaborazione con il medico competente, condiviso dagli addetti al primo soccorso e dai RLS e portato alla conoscenza di tutti i lavoratori. Nella formulazione del piano si terrà presente:

- le informazioni fornite dal documento di valutazione dei rischi;

Primo Soccorso

- le informazioni fornite dalle schede di sicurezza della strumentazione, qualora utilizzata, che vanno sempre tenute aggiornate;
- la tipologia degli infortuni già avvenuti in passato (informazioni ricavate dal registro infortuni) la segnalazione in forma anonima da parte del medico competente della presenza di eventuali casi di particolari patologie tra i lavoratori, per le quali è opportuno che gli addetti al primo soccorso siano addestrati;
 - le procedure di soccorso preesistenti, che vanno disincentivate se scorrette o recuperate se corrette. Si devono, inoltre, precisare ruoli, compiti e procedure, come riportato di seguito:
 - chi assiste all'infortunio: deve allertare l'addetto al primo soccorso riferendo quanto è accaduto
 - l'addetto al primo soccorso: deve accertare la necessità di aiuto dall'esterno ed iniziare l'intervento di primo soccorso
 - tutti: a seconda dei casi mettere in sicurezza se stessi e gli altri oppure, se non si è coinvolti, rimanere al proprio posto in attesa di istruzioni

10.2 Compiti di Primo soccorso

Gli incaricati al primo soccorso devono essere opportunamente formati ed addestrati ad intervenire prontamente ed autonomamente per soccorrere chi s'infortuna o accusa un malore e hanno piena facoltà di decidere se sono sufficienti le cure che possono essere prestate in loco o se invece è necessario ricorrere a soccorritori professionisti. Gli incaricati al primo soccorso devono svolgere i seguenti compiti:

- al momento della segnalazione, devono intervenire tempestivamente, sospendendo ogni attività che stavano svolgendo prima della chiamata, laddove è possibile saranno temporaneamente sostituiti, in quanto gli incaricati saranno esonerati, per tutta la durata dell'intervento, da qualsiasi altra attività.

10.2 Compiti di Primo soccorso

- L'azione di soccorso è circoscritta al primo intervento su qualsiasi persona bisognosa di cure immediate e si protrae, senza interferenze di altre persone non competenti, fino a che l'emergenza non sia terminata.
- In caso di ricorso al 118, l'intervento si esaurisce quando l'infortunato è stato preso dal personale dell'ambulanza o in caso di trasporto in auto in ospedale dal personale del Pronto Soccorso.
- Gli interventi di primo soccorso sono finalizzati al soccorso di chiunque si trovi nei locali dell'azienda.
- Nei casi più gravi, gli incaricati al P.S. ¹, se necessario, accompagnano o dispongono il trasporto in ospedale dell'infortunato, utilizzando l'automobile dell'azienda o un'altra autovettura prontamente reperita.
- Qualora un incaricato di P.S. riscontri carenze nella dotazione delle valigette di primo soccorso o nell'infermeria, deve avvisare il coordinatore, il quale provvede a trasferire la segnalazione alla persona che svolge la funzione di addetto alla gestione dei materiali.
- Durante le prove d'evacuazione, tutti gli incaricati di P.S. debitamente e preventivamente avvisati ed istruiti da chi organizza la prova, devono rimanere nei luoghi loro assegnati per poter intervenire prontamente in caso di necessità.
- In caso di evacuazione non simulata, tutti gli incaricati di P.S. presenti sono impegnati nella sorveglianza delle operazioni (a meno che non svolgano anche la mansione di addetto all'antincendio) ed usciranno solo dopo che si sono completate tutte le operazioni di sfollamento.

¹P.S.: *Pronto Soccorso*

Capitolo 11

Valutazione dei rischi

La valutazione dei rischi esamina in maniera sistematica tutti gli aspetti dei luoghi di lavoro, per definire le possibili od eventuali cause di lesioni o danni. La valutazione dei rischi è stata strutturata ed attuata in modo da consentire di:

- identificare i luoghi di lavoro (reparti, ambienti, postazioni di lavoro);
- identificare i pericoli e le fonti potenziali di rischio, presenti in tutte le fasi lavorative;
- individuare i soggetti esposti, direttamente o indirettamente, anche a pericoli particolari;
- stimare i rischi, considerando adeguatezza e affidabilità delle misure di tutela già in atto;
- definire le misure di prevenzione e protezione, atte a cautelare i lavoratori, secondo le seguenti gerarchie ed obiettivi:
 - eliminazione dei rischi;
 - riduzione dei rischi (privilegiando interventi alla fonte).
- programmare le azioni di prevenzione e protezione con priorità derivanti da:
 - gravità dei danni;

Valutazione dei rischi

- probabilità di accadimento;
- numero di lavoratori esposti;
- complessità delle misure di intervento (prevenzione, protezione, ecc.) da adottare.

Effettuare la valutazione dei rischi comporta una serie di azioni descritte nel seguente diagramma di flusso in figura 11.1:

11.1 Metodologia Adottata

La quantificazione e relativa classificazione dei rischi deriva dalla stima dell'entità dell'esposizione e dalla gravità degli effetti; infatti, il rischio può essere visto come il prodotto della **Probabilità P** di accadimento per la **Gravità del Danno D**:

$$R = P \times D$$

Per quanto riguarda la probabilità di accadimento si definisce una scala delle Probabilità, riferendosi ad una correlazione più o meno diretta tra la carenza riscontrata e la probabilità che si verifichi l'evento indesiderato, tenendo conto della frequenza e della durata delle operazioni/misurazioni che potrebbero comportare rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori. La Scala delle Probabilità è riportata in figura 11.2:

Per quanto concerne l'Entità dei Danni, si fa riferimento alla reversibilità o meno del danno. La Scala dell'Entità del Danno è riportata in figura 11.3:

Combinando le due scale in una matrice si ottiene la **Matrice Dei Rischi**, nella quale ad ogni casella corrisponde una determinata combinazione di probabilità entità dei danni. La matrice che scaturisce dalle suddette scale è riportata in figura 11.4: Valutazione sicurezza in base alle tabelle della scaletta delle probabilità, dell'entità del danno e della matrice di rischio:

Strumentazione	Probabilità	Entità danno	Classe di rischio
computer	non probabile	modesto	basso
strum. varia	probabile	modesto	accettabile
saldatrice	altamente probab.	grave	elevato



Figura 11.1: step per valutazione rischi

Livello	Criteri
Non Probabile	L'anomalia da eliminare potrebbe provocare un danno solo in concomitanza con eventi poco probabili ed indipendenti. Non sono noti episodi già verificatisi.
Possibile	L'anomalia da eliminare potrebbe provocare un danno solo in circostanze sfortunate di eventi. Sono noti solo rarissimi episodi già verificatisi.
Probabile	L'anomalia da eliminare potrebbe provocare un danno anche se in modo non automatico e/o diretto. E' noto qualche episodio in cui all'anomalia ha fatto seguito il verificarsi di un danno.
Altamente probabile	Esiste una correlazione diretta tra l'anomalia da eliminare ed il verificarsi del danno ipotizzato. Si sono già verificati danni conseguenti all'anomalia evidenziata nella struttura in esame o in altre simili ovvero in situazioni operative simili.

Figura 11.2: Scaletta delle Probabilità

Livello	Criteri
Lieve	Infortunio o episodio di esposizione acuta con inabilità temporanea breve e rapidamente reversibile. <u>Esposizione cronica con effetti rapidamente reversibili</u>
Modesto	Infortunio o episodio di esposizione acuta con inabilità temporanea anche lunga ma reversibile. <u>Esposizione cronica con effetti reversibili</u>
Significativo	Infortunio o episodio di esposizione acuta con effetti di invalidità permanente parziale. <u>Esposizione cronica con effetti irreversibili e/o parzialmente invalidanti</u>
Grave	Infortunio o episodio di esposizione acuta con effetti letali o di invalidità totale. <u>Esposizione cronica con effetti letali e/o totalmente invalidanti</u>

Figura 11.3: Scala dell'Entità del Danno

Valutazione dei rischi

Classe di Rischio	Priorità Di Intervento
<i>Elevato</i> ($12 \leq R \leq 16$)	<i>Azioni correttive Immediate</i> L'intervento previsto è da realizzare con tempestività nei tempi tecnici strettamente necessari non appena approvato il budget degli investimenti in cui andrà previsto l'onere dell'intervento stesso.
<i>Notevole</i> ($6 \leq R \leq 9$)	<i>Azioni correttive da programmare con urgenza</i> L'intervento previsto è da realizzare in tempi relativamente brevi anche successivamente a quelli stimati con priorità alta.
<i>Accettabile</i> ($3 \leq R \leq 4$)	<i>Azioni correttive da programmare a medio termine</i> Intervento da inserire in un programma di interventi a medio termine ma da realizzare anche in tempi più ristretti qualora sia possibile attuarlo unitamente ad altri interventi più urgenti.
<i>Basso</i> ($1 \leq R \leq 2$)	<i>Azioni migliorative da valutare in fase di programmazione</i>

Figura 11.4: Matrice di rischio

11.2 Pericoli e rischi correlati

Sono state effettuate le misure con una sonda con campo di frequenza tra i 100Hz e 3GHz (campo elettrico) e una tra i 5Hz e i 100KHz (campo magnetico).

Vengono presi in esame i tre computer, due con monitor a tubo catodico (CRT), uno con monitor di tipo lcd, una saldatrice al plasma e altre attrezzature poste nell'angolo nord/nord-ovest. Tale strumentazione è quotidianamente usata per lo svolgimento dei lavori all'interno del laboratorio. I valori rilevati dalla misurazione sono riportati in tabella 11.5.

Valutazione dei rischi

	100Hz – 3GHz	5Hz – 100kHz
Computer CRT n°1		
Max	7.575 V/m	0.009 A/m
Min	6.509 V/m	0.005 A/m
Rms	6.659 V/m	0.008 A/m
Computer CRT n°2		
Max	6.590 V/m	0.008 A/m
Min	6.555 V/m	0.004 A/m
Rms	6.565 V/m	0.007 A/m
Computer LCD		
Max	8.484 V/m	0.058 A/m
min	8.371 V/m	0.004 A/m
rms	8.482 V/m	0.010 A/m
Saldatrice al plasma		
Max	40.00 V/m	0.288 A/m
min	38.85 V/m	0.256 A/m
rms	39.42 V/m	0.272 A/m
Varie attrezzature		
Max	19.989 V/m	0.048 A/m
min	19.152 V/m	0.041 A/m
rms	19.570 V/m	0.044 A/m

Figura 11.5: misurazioni

Capitolo 12

Principali fattori di rischio

I fattori di rischio presenti nel luogo di lavoro, in conseguenza dello svolgimento delle attività lavorative sono state ordinati in tre categorie:

1. **Rischi per la sicurezza** (di natura infortunistica) dovuti a:

- impianti elettrici;
- incendio.

2. **Rischi per la salute** (di natura igienico-ambientale) dovuti a:

- agenti biologici;
- agenti fisici.

3. **Rischi trasversali** (per la salute e la sicurezza) dovuti a:

- organizzazione del lavoro;
- uso inappropriato della strumentazione;
- interferenza di campi magnetici con dispositivi elettronici.

12.1 Rischi per la sicurezza

I rischi per la sicurezza, o rischi infortunistici si riferiscono al possibile verificarsi di incidenti/infortuni, ovvero di danni o menomazioni fisiche (più o meno gravi) subite dai lavoratori in conseguenza di un impatto fisico/traumatico di

Principali fattori di rischio

diversa natura (meccanica, elettrica, termica, ecc.). Di seguito sono riportati alcuni esempi di tali rischi:

1. Rischi da carenze strutturali dell'ambiente di lavoro (illuminazione normale e di emergenza, pavimenti, uscite, porte, locali, ecc.);
2. Rischi da carenza di sicurezza su strumentazione;
3. Rischi da carenza di sicurezza elettrica;
4. Rischi da incendio e/o esplosione (presenza di materiali infiammabili, carenza di sistemi antincendio e/o di segnaletica di sicurezza).

12.2 Rischi per la salute

I rischi per la salute, o rischi igienico-ambientali, sono responsabili del potenziale danno dell'equilibrio biologico e fisico del personale del laboratorio che comportano l'esposizione a rischi di natura fisica e biologica. Di seguito sono riportati alcuni esempi di tali rischi:

- Rischi da agenti fisici:
 - radiazioni ionizzanti;
 - radiazioni non ionizzanti (presenza di apparecchiature che impiegano radiofrequenze, microonde, radiazioni infrarosse e ultraviolette, luce laser);
 - microclima (temperatura, umidità, ventilazione, calore radiante, condizionamento);
 - illuminazione (carenze nei livelli di illuminamento ambientale e dei posti di lavoro, non osservanza delle indicazioni tecniche previste in presenza di videoterminali).

12.3 Rischi trasversali o organizzativi

Tali rischi, sono individuabili all'interno della complessa articolazione che caratterizza il rapporto tra il dipendente e l'organizzazione del lavoro con inte-

12.3 Rischi trasversali o organizzativi

razioni di tipo ergonomico, ma anche psicologico ed organizzativo. Di seguito sono riportati alcuni esempi di tali rischi:

1. Organizzazione del lavoro (sistemi di turni, lavoro notturno ecc.);
2. Fattori psicologici (intensità, monotonia, solitudine, ripetitività del lavoro, ecc.);
3. Fattori ergonomici (ergonomia dei dispositivi di protezione individuale e del posto di lavoro).

Principali fattori di rischio

Capitolo 13

Conclusioni

Il presente documento di valutazione dei rischi:

- è stato redatto ai sensi degli artt. da 28 a 30 del D.Lgs. 81/08 s.m.i.;
- è soggetto ad aggiornamento periodico ove si verificano significativi mutamenti che potrebbero averlo reso superato.

La valutazione dei rischi è stata condotta dal Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione con la collaborazione del Medico Competente, per quanto di sua competenza e il coinvolgimento preventivo del Rappresentante dei Lavoratori per la Sicurezza.

Figure	Nominativo	Firma
Datore di Lavoro	Diego Dainese	
Resp.Serv.Prev.Protezione	Giulia Guidolin	
Rappr. dei Lav. per la Sicurezza		
Medico Competente		

Elenco delle figure

1.1	Spettro delle frequenze delle onde elettromagnetiche e principali tipi di sorgenti	2
1.2	Linee di forza campo elettrico	5
1.3	Linee di forza campo magnetico	7
3.1	Elettrodo-sonda isolato da terra.	22
3.2	Elettrodo centrale isolato	23
3.3	Strumento elettro-ottica.	23
4.1	Correnti di soglia degli effetti indireti valide per bambini, donne e uomini.	29
5.1	Segnaletica emissione campo magnetico ed elettrico	42
5.2	Valori limite d'esposizione (art. 188, comma 1) - Tutte le condizioni devono essere rispettate)	44
6.1	Segnali di sicurezza	51
6.2	segnali di divieto	52
7.1	Elettrobisturi a, b, c	56
7.2	Valori usati di potenza dell'elettrobisturi	57
7.3	Effetti della corrente elettrochirurgica a, b, c	60
7.4	Curve di sensibilità dell'energia elettrica nel corpo al variare della frequenza. (1) Soglia di fibrillazione ventricolare tra 10 e 300 Hz (2) Soglia di percezione	61
9.1	Dati generali dell'azienda	74

ELENCO DELLE FIGURE

9.2	Dati lavoratori	75
11.1	step per valutazione rischi	83
11.2	Scaletta delle Probabilità	84
11.3	Scala dell'Entità del Danno	85
11.4	Matrice di rischio	86
11.5	misurazioni	88

Bibliografia

- [1] **Paolo Mazzoldi, Massimo Nigro, Cesare Voci:** *“Elementi di fisica - elettromagnetismo”*, 2008.
- [2] **Antonio Guerriero:** *“Campi elettromagnetici”*, 2003.
- [3] **Giorgio Franceschetti, Daniele Riccio, Maria Rosaria Sarfí, Bartolomeo Sciammimanicca:** *“Esposizione ai campi elettromagnetici”*, 2000.
- [4] **Fabio Garzia, Giuseppe Maria Veca:** *“L’inquinamento elettromagnetico - Fondamenti tecnici e principi normativi.”*, 2002.
- [5] **Paolo Bevitori, Stefano R.De Donato:** *“La valutazione dell’inquinamento elettromagnetico”*, 2003.
- [6] *“DECRETO LEGISLATIVO 9 aprile 2008 , n. 81 Attuazione dell’articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro. (GU n. 101 del 30-4-2008 - Suppl. Ordinario n.108)”*, 2008.
- [7] **D. Dainese:** *“I campi elettromagnetici nelle installazioni di media e di bassa tensione: rischi, norme, rimedi e obblighi dopo la pubblicazione del D.Lgs. 257/07”*, 2008.
- [8] **Commissione Internazionale sulla Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti:** *“Linee guida sui limiti di esposizione a campi magnetici statici”*, 2009.
- [9] **G. Guidolin, D. Dainese :** *“DVR - Laboratorio EMC”*, Dept. of Information Engineering, Padova, July 2011.