

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
FACOLTÀ DI INGEGNERIA



*Finito di scrivere il giorno 30 marzo 2011 utilizzando L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 2<sub>ε</sub>*

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

—  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL' INFORMAZIONE

—  
TESI DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA BIOMEDICA

INFLUENZA  
DELL'ELETTROMAGNETISMO SUL  
CORPO UMANO: CAMPI  
ELETTROMAGNETICI (CEM) IN  
AMBITO OSPEDALIERO

RELATORE: PROF. ALESSANDRO SONA

LAUREANDO: IDA MARONI

ANNO ACCADEMICO 2010-2011



*A mia nonna.*



# Indice

<b>Introduzione</b>	<b>3</b>
<b>1 Campi elettromagnetici</b>	<b>5</b>
1.1 Le radiazioni elettromagnetiche . . . . .	5
1.1.1 Campi elettrici . . . . .	6
1.1.2 Campi magnetici . . . . .	7
1.2 Radiazioni ionizzanti e non ionizzanti . . . . .	9
1.2.1 Radiazioni ionizzanti . . . . .	9
1.2.2 Radiazioni non ionizzanti . . . . .	11
1.3 Classificazione campi elettromagnetici . . . . .	12
<b>2 Effetto dei campi elettromagnetici sul corpo umano</b>	<b>13</b>
2.1 Effetti biologici . . . . .	13
2.2 Effetti sanitari . . . . .	16
2.2.1 Campi magnetici statici . . . . .	16
2.2.2 Campi magnetici a frequenze estremamente basse . . . . .	17
2.2.3 Campi a radiofrequenza e microonde . . . . .	19
2.3 Misure precauzionali . . . . .	20
<b>3 Normativa vigente</b>	<b>25</b>
3.1 Legge quadro: protezione dalle esposizioni a CE,CM e CEM . . . . .	25
3.1.1 Finalità della legge - Art. 1 . . . . .	25
3.1.2 Ambito di applicazione - Art. 2 . . . . .	26
3.1.3 Definizioni - Art. 3 . . . . .	26
3.1.4 Funzioni dello Stato - Art. 4 . . . . .	28

---

3.1.5	Piani di risanamento - Art. 9 . . . . .	30
3.1.6	Educazione ambientale - Art. 10 . . . . .	34
3.1.7	Apparecchiature di uso domestico, individuale o lavorativo - Art. 12 . . . . .	34
3.1.8	Accordi di programma per i servizi di trasporto pubblico - Art. 13 . . . . .	35
3.1.9	Controlli - Art. 14 . . . . .	35
<b>4</b>	<b>Campi elettromagnetici in ambito lavorativo</b>	<b>37</b>
4.1	Tipologie di lavoratori a rischio . . . . .	37
4.2	Ambiente ospedaliero . . . . .	41
4.2.1	Tipologie di sorgenti in ambito ospedaliero . . . . .	42
	<b>Conclusioni</b>	<b>47</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>49</b>





# Introduzione

Con il termine “*inquinamento elettromagnetico*”, o elettrosmog, si descrive un tipo di fenomeno elettrico che si verifica in tutto il mondo, ma che tuttavia non è molto conosciuto e può essere difficile da comprendere, dal momento che non è qualcosa che si può vedere o toccare. E' legato alla generazione di campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici artificiali, cioè non attribuibili al naturale fondo terrestre o ad eventi naturali ma prodotti da impianti realizzati per trasmettere informazioni attraverso la propagazione di onde elettromagnetiche (impianti radio-TV e per telefonia mobile), da impianti utilizzati per il trasporto e la trasformazione dell'energia elettrica dalle centrali di produzione fino all'utilizzatore in ambiente urbano (elettrorodotti), da apparati per applicazioni biomedicali, da impianti per lavorazioni industriali, nonché da tutti quei dispositivi il cui funzionamento è subordinato a un'alimentazione di rete elettrica (tipico esempio sono gli elettrodomestici).

Mentre i sistemi di teleradiocomunicazione sono appositamente progettati e costruiti per emettere onde elettromagnetiche (irradiatori intenzionali), le quali sono alla base della trasmissione delle informazioni (audio, video...), gli impianti di trasporto, di trasformazione (elettrorodotti) e gli utilizzatori di energia elettrica emettono invece nell'ambiente circostante campi elettrici e magnetici in maniera non intenzionale, ma come conseguenza diretta e inevitabile del loro funzionamento, basato sul trasporto e quindi sulla presenza e movimento di carica elettrica. Una carica elettrica infatti genera una modificazione dello spazio circostante ad essa tale che, se un'altra carica elettrica viene posta in tale spazio, risente di una forza che può essere attrattiva o repulsiva. Tale modificazione viene indicata con il termine di “*campo elettrico*”. Analogamente, una corrente elettrica, che è

generata da cariche in movimento, produce una modificazione dello spazio circostante: “*il campo magnetico*”. Quest’ultimo ha caratteristiche sostanzialmente diverse da quelle del campo elettrico. L’unità di misura del campo elettrico nel Sistema internazionale è il Volt su metro (V/m), mentre quella del campo magnetico è l’Ampere su metro (A/m).

I campi elettromagnetici si propagano sotto forma di onde elettromagnetiche, per le quali viene definito un parametro, detto frequenza, che indica il numero di oscillazioni che l’onda elettromagnetica compie in un secondo. L’unità di misura della frequenza è l’Hertz (1 Hz equivale a una oscillazione al secondo). Sulla base della frequenza viene effettuata una distinzione tra:

- *inquinamento elettromagnetico* generato da campi a *bassa frequenza* (0Hz - 10kHz), nel quale rientrano i campi generati dagli elettrodotti che emettono campi elettromagnetici a 50 Hz;
- *inquinamento elettromagnetico* generato da campi ad *alta frequenza* (10 kHz - 300 GHz) nel quale rientrano i campi generati dagli impianti radio-TV e di telefonia mobile.

Questa distinzione è necessaria in quanto le caratteristiche dei campi in prossimità delle sorgenti variano al variare della frequenza di emissione, così come variano i meccanismi di interazione di tali campi con i tessuti biologici e quindi le possibili conseguenze correlabili all’esposizione umana.

# Capitolo 1

## Campi elettromagnetici

### 1.1 Le radiazioni elettromagnetiche

La *radiazione elettromagnetica* è un fenomeno ondulatorio dato dalla propagazione nello spazio del campo elettromagnetico. Si tratta della propagazione contemporanea di un campo elettrico e di un campo magnetico, oscillanti in piani tra loro ortogonali. La radiazione elettromagnetica si propaga in direzione ortogonale ai due campi.

Il campo elettromagnetico genera una forza  $F$  su una particella carica, data dall'equazione di Lorentz:

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}), \quad (1.1)$$

dove  $q$  è la carica della particella, e  $v$  è la sua velocità.

I campi elettrici e magnetici (EMFs) sono le linee di forza invisibili associate alla produzione, trasmissione e all'uso di energia elettrica, come quelli associati alle linee di trasmissione ad alta tensione, linee elettriche secondarie e l'illuminazione per la casa. Possono essere dovuti anche a motori e batterie di riscaldamento negli apparecchi elettronici ed elettrodomestici. Molti fenomeni fisici, naturali e non, sono accompagnati dalla presenza di campi elettrici, campi magnetici o campi elettromagnetici di diversa natura ed entità.

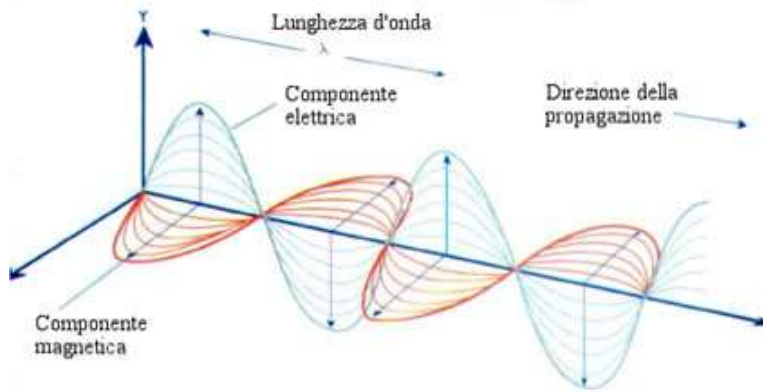


Figura 1.1: Profilo di una radiazione elettromagnetica

E' possibile classificare questi campi in base alla loro frequenza  $f$  o, indifferentemente, in base alla loro lunghezza d'onda  $\lambda$ . Queste due grandezze sono infatti legate dalla relazione:

$$f = \frac{c}{\lambda}, \quad (1.2)$$

dove  $c$  è la velocità di propagazione del campo nel mezzo in questione. Se consideriamo lo sviluppo di campi elettromagnetici nell'aria si può assumere una velocità di propagazione pari a quella che si avrebbe nel vuoto:

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}. \quad (1.3)$$

### 1.1.1 Campi elettrici

Due cariche elettriche si attraggono se sono di segno opposto, o si respingono se sono dello stesso segno, con una forza  $F$  pari a (legge di Coulomb):

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\epsilon\pi r^2}, \quad (1.4)$$

dove  $q_1$  e  $q_2$  sono le cariche elettriche,  $\epsilon$  è la costante dielettrica del mezzo e  $r$  è la distanza tra le cariche.

Data una carica elettrica  $q$ , si definisce campo elettrico in un punto dello spazio posto a una distanza  $r$  da tale carica la forza  $F$  che la carica elettrica  $q$  determina

sull'unità di carica elettrica positiva (un coulomb) posizionata in quel punto. Quindi il campo elettrico generato da una carica  $q$  vale:

$$E = \frac{q}{4\epsilon\pi r^2}. \quad (1.5)$$

Rappresenta la forza esercitata sull'unità di carica elettrica ed è perciò un vettore, individuato dal modulo (valore o intensità), dalla direzione (congiungente i due punti in cui si trovano le cariche elettriche) e dal verso (la carica  $q$  attrae le cariche di segno opposto e respinge quelle di segno uguale).

Se in una regione dello spazio si trovano più cariche elettriche, il campo elettrico in un punto risulta dalla somma vettoriale di tutti i campi prodotti in quel punto dalle singole cariche elettriche, ed è costante nel tempo, quindi elettrostatico.

E' così possibile sintetizzare le caratteristiche fondamentali di un campo elettrico:

- i campi elettrici derivano dalla tensione;
- la loro intensità si misura in volt al metro (V/m);
- un campo elettrico può essere presente anche se un apparecchio è spento;
- l'intensità del campo elettrico diminuisce con la distanza dalla sorgente;
- la maggior parte dei materiali schermo in qualche misura i campi elettrici.

### 1.1.2 Campi magnetici

Sono campi di forze solenoidali generati nello spazio dal moto di una carica elettrica o da un campo elettrico variabile nel tempo, che insieme ai campi elettrici costituiscono i campi elettromagnetici. Il campo magnetico agisce su un oggetto carico tramite la forza di Lorentz, nel caso di una carica elettrica in movimento, oppure nel momento torcente che agisce su un dipolo magnetico. L'evoluzione spaziale e temporale del campo magnetico è governata dalle equazioni di Maxwell, un sistema di quattro equazioni differenziali alle derivate parziali lineari che sta alla base della descrizione formale dell'interazione elettromagnetica. Gli effetti magnetici vennero scoperti grazie a magneti naturali che generano un campo

magnetico e, allo stesso tempo, ne subiscono gli effetti per via delle correnti elettriche su scala atomica. Sperimentalmente, la direzione del vettore campo è la direzione indicata dalla posizione d'equilibrio dell'ago di una bussola immersa nel campo, mentre lo strumento per la misura del campo magnetico è il magnetometro. Il campo magnetico, solitamente indicato con il vettore  $B$ , storicamente era la *densità di flusso magnetico* o *induzione magnetica*, e

$$H = \frac{B}{\mu}, \quad (1.6)$$

era il campo magnetico: questa terminologia è oggi utilizzata per distinguere tra il campo magnetico nel vuoto ( $B$ ) e quello in un materiale ( $H$ , con  $\mu$  diversa dall'unità).

Un conduttore percorso da una corrente  $I$  determina alla distanza  $r$  un campo magnetico  $H$  pari a :

$$H = \frac{I}{2\pi r}. \quad (1.7)$$

Se la corrente elettrica è costante, il campo magnetico ha sempre lo stesso valore, direzione e verso e risulta quindi essere statico.

Proprietà fondamentali di un campo magnetico:

- i campi magnetici derivano dalla corrente elettrica;
- la loro intensità si misura in amperes al metro (A/m). Generalmente, i ricercatori usano al suo posto una grandezza associata, l'induzione magnetica (di solito misurata in microtesla,  $\mu\text{T}$ , o in millitesla, mT);
- i campi magnetici esistono solo se un apparecchio è acceso e circola una corrente;
- l'intensità del campo magnetico diminuisce con la distanza dalla sorgente;
- i campi magnetici non sono schermati dalla maggior parte dei materiali.

## 1.2 Radiazioni ionizzanti e non ionizzanti

Poiché l'uso di energia elettrica è così diffusa, gli esseri umani sono costantemente esposti a campi elettrici e magnetici. Gli effetti della radiazione elettromagnetica sugli esseri viventi dipendono principalmente da due fattori: la frequenza della radiazione e le modalità di esposizione (intensità della radiazione, durata dell'esposizione, parti del corpo esposte...). Per quanto riguarda la frequenza della radiazione si usa distinguere tra radiazioni ionizzanti e radiazioni non ionizzanti (Fig. 1.2).

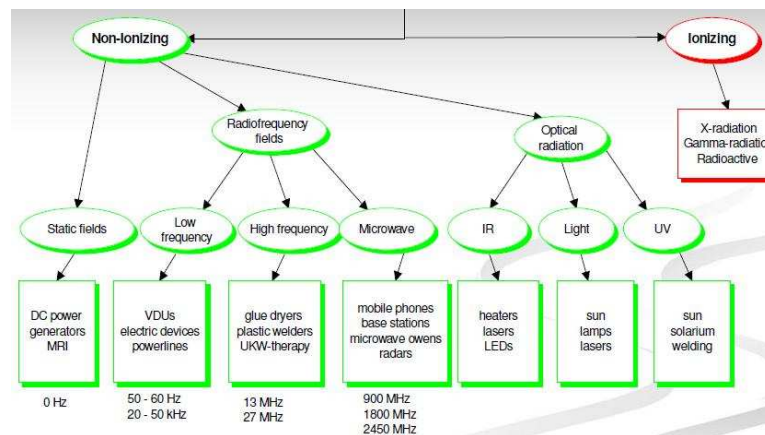


Figura 1.2: Suddivisione delle radiazioni

### 1.2.1 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. Tali radiazioni sono quindi capaci di modificare la struttura chimica delle sostanze su cui incidono e possono produrre effetti biologici a lungo termine sui viventi interagendo con il DNA delle cellule. Da sempre l'uomo è soggetto all'azione di radiazioni ionizzanti naturali, alle quali si dà il nome di *fondo di radioattività naturale*. Il fondo di radioattività naturale è dovuto sia alla radiazione terrestre (radiazione prodotta da nuclidi primordiali o da nuclidi cosmogenici in decadimento radioattivo) sia a quella extraterrestre (la radiazione cosmica).



I tipi di radiazioni ionizzanti sono:

- *raggi  $\alpha$* , particelle costituite da nuclei di elio (2 neutroni e 2 protoni) e dannosi solo se emessi entro il corpo umano. In tal caso possono creare gravi danni per la grande forza di ionizzazione posseduta;
- *raggi  $\beta$* , flussi di particelle costituite da elettroni (beta-, negativi) e da positroni (beta+, elettroni positivi) emessi da un nucleo che si disintegra e se emessi entro il corpo umano sono sempre dannosi. Se emessi da una sorgente esterna sono dannosi solo per gli organi, in pratica, a meno di 1 cm dalla cute;
- *raggi  $\gamma$* , onde elettromagnetiche, come la luce, e non di natura corpuscolare come i raggi alfa e beta e sempre pericolosi, anche se emessi da sorgenti esterne al corpo umano;
- *raggi x*, radiazioni elettromagnetiche simili ai raggi gamma, ma di frequenza minore (quindi di lunghezza d'onda maggiore) e pericolosità elevata, ma inferiore a quella dei raggi gamma; inoltre la sorgente è sempre esterna al corpo umano e cessa le sue emissioni una volta spenta;
- *raggi cosmici*, nuclei atomici, elettroni, positroni e raggi gamma (raggi cosmici primari) o sciame fotoni-elettroni (raggi cosmici secondari): la loro scarsa presenza li rende del tutto innocui;
- *radon*, gas sprigionato da minerali radioattivi presenti sulla crosta terrestre ed in alcuni materiali da costruzione. Infiltrandosi negli ambienti interrati diventa la fonte di emissione di particelle alfa e di raggi gamma. Questi elementi liberi nell'aria entrano nell'organismo tramite la respirazione, danneggiando i tessuti interni.

### 1.2.2 Radiazioni non ionizzanti

Si designano come *non ionizzanti* quelle radiazioni elettromagnetiche non in grado di produrre ionizzazione nei materiali ad esse esposti. Un esempio di radiazioni non ionizzanti sono le onde radio. Per quanto riguarda gli effetti biologici e sanitari, una certezza è data dal fatto che un'onda elettromagnetica trasferisce calore e quindi un effetto dell'interazione di un'onda con un sistema vivente è che parte dell'energia viene rilasciata, con un aumento della temperatura locale o di tutto il sistema. Per quanto riguarda gli effetti termici, occorre verificare quanto l'organismo umano è in grado di supportare un rialzo termico. 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.

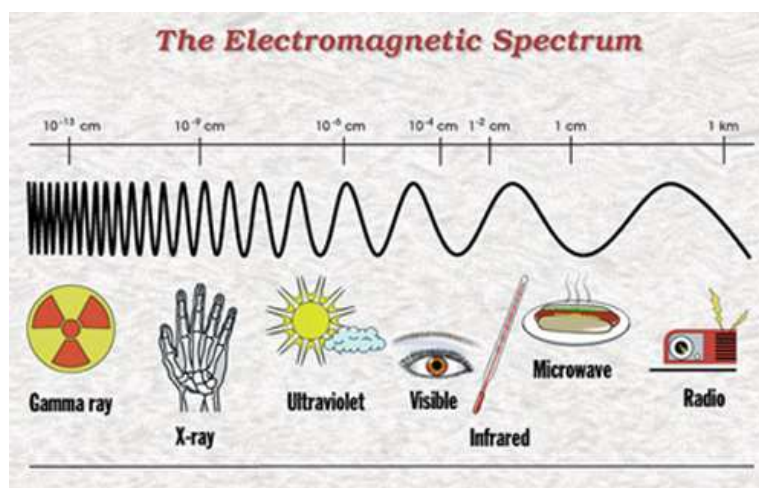


Figura 1.3: Spettro elettromagnetico

### 1.3 Classificazione campi elettromagnetici

Come abbiamo già detto, i campi elettromagnetici interagiscono con le cariche elettriche presenti nel corpo umano, esercitando forze su di esse, e quindi provocano sempre in qualche misura una risposta, che può tradursi in un effetto biologico, anche se questo non implica necessariamente un effetto di danno alla salute. Come espresso dall'Organizzazione Mondiale della Sanità *“un effetto biologico si verifica quando l'esposizione alle onde elettromagnetiche provoca qualche variazione fisiologica notevole o rilevabile in un sistema biologico”*, mentre *“un effetto di danno alla salute si verifica quando l'effetto biologico è al di fuori dell'intervallo in cui l'organismo può normalmente compensarlo, e ciò porta a qualche condizione di detrimento della salute”*.

Gli effetti biologici e sanitari sono diversi a seconda della frequenza dei campi esterni che li inducono. L'importanza relativa di ciascun effetto cambia gradualmente all'aumentare della frequenza e in alcune zone dello spettro elettromagnetico coesistono effetti diversi. Si possono comunque schematicamente individuare intervalli caratterizzati da meccanismi di interazione, e quindi effetti biologici e sanitari, specifici.

Ai fini della protezione si distinguono solitamente i seguenti tipi di campi: *campi elettrici e magnetici statici (0 Hz)*, *campi elettrici e magnetici a frequenza intermedia (300 Hz - 10 MHz)* e *campi elettromagnetici a radiofrequenza e microonde (10 MHz - 300 GHz)*. Gli unici effetti sanitari accertati sono di natura acuta, cioè immediati, e si verificano solo al di sopra di determinati livelli, o soglie, di esposizione. Su questi effetti si basano i limiti di esposizione raccomandati dalle più autorevoli organizzazioni internazionali. Sono stati anche ipotizzati effetti a lungo termine che potrebbero derivare da esposizioni croniche a livelli di campo inferiori ai limiti, ma di questi effetti la ricerca non ha ancora trovato indicazioni convincenti.

# Capitolo 2

## Effetto dei campi elettromagnetici sul corpo umano

### 2.1 Effetti biologici

Le risposte dell'organismo umano ai campi elettromagnetici dipendono in modo determinante dalla frequenza di questi ultimi. I meccanismi di interazione con i tessuti biologici e con gli organi variano sostanzialmente nelle diverse regioni dello spettro elettromagnetico.

Si possono distinguere quattro regioni: campi elettrici e magnetici statici, a frequenza estremamente bassa (ELF), a frequenza intermedia (IF) e a radiofrequenza e microonde (RF/MW).

I *campi magnetici statici* possono provocare l'allineamento di molecole dotate di particolare struttura (magneticamente polarizzate o polarizzabili) mentre i *campi elettrici statici*, efficacemente schermati dalle cariche elettriche che si dispongono sulla superficie del corpo per effetto dei campi stessi, non

penetrano nel corpo e provocano al più sensazioni superficiali.

I *campi elettrici e magnetici ELF* inducono all'interno del corpo campi elettrici e correnti elettriche che possono stimolare tessuti elettricamente eccitabili, in particolare quelli del sistema nervoso e i tessuti muscolari. Tali effetti di stimolazione sono possibili perché i campi e le correnti indotti all'interno del corpo, a causa di meccanismi di polarizzazione del materiale biologico attivi alle frequenze più basse, non penetrano all'interno delle cellule, creando delle consistenti differenze di potenziale elettrico attraverso le membrane che racchiudono le cellule. All'aumentare della frequenza, i campi e le correnti elettriche tendono a penetrare sempre più all'interno delle cellule, nel citoplasma, impedendo il crearsi delle differenze di potenziale aggiuntive attraverso le membrane cellulari, rendendo così sempre più improbabile il verificarsi degli effetti di stimolazione, che sono praticamente impossibili alle radiofrequenze e microonde.

I *campi elettromagnetici a radiofrequenza e microonde* trasportano energia elettromagnetica che viene assorbita dai tessuti corporei e trasformata in calore provocando, in definitiva, un aumento di temperatura dell'intero corpo o di sue parti, secondo le modalità di esposizione. Gli effetti di questo processo sono legati all'aumento di temperatura piuttosto che all'azione dei campi elettromagnetici di per sé; per questo motivo, sono comunemente indicati come effetti termici.

Nel caso dei *campi elettromagnetici a frequenza intermedia* possono essere attivi entrambi i meccanismi di stimolazione e di riscaldamento.

I *campi elettromagnetici generati da sorgenti esterne* interagiscono con le cariche e le correnti elettriche interne al corpo a qualunque livello di in-

tensità; teoricamente, quindi, qualunque esposizione provoca delle risposte che possono tradursi in effetti biologici. Occorre tuttavia tenere presente che esistono correnti elettriche endogene connesse a funzioni vitali; è quindi plausibile attendersi risposte biologiche soltanto se le correnti indotte sono dello stesso ordine di grandezza, o superiori, rispetto a quelle fisiologiche. Analoghe considerazioni valgono per gli effetti termici, osservabili solo se l'aumento di temperatura è superiore alle variazioni normalmente provocate da processi fisiologici (come l'attività fisica) o da altri agenti esterni, comprese le condizioni climatiche.

Esistono quindi delle soglie di osservabilità per gli effetti biologici, che tuttavia non sono ben definite. A bassi livelli di esposizione è infatti difficile discriminare i contributi endogeni da quelli dei campi esterni e le relative ricerche forniscono risultati incerti e contraddittori. Dal punto di vista della protezione, comunque, si assume che variazioni dei parametri fisici sopra elencati che siano confrontabili con quelle associate ai normali processi fisiologici non costituiscano un danno per la salute.

## 2.2 Effetti sanitari

Gli effetti biologici chiaramente documentati non sono necessariamente nocivi: alcuni possono essere benefici, altri non avere conseguenze ed altri infine provocare danni alla salute, traducendosi così in effetti sanitari.

### 2.2.1 Campi magnetici statici

Tutti sono esposti al campo magnetico terrestre, che è un campo statico la cui intensità, in termini di induzione magnetica varia, a seconda della posizione geografica, tra 30 e 70  $\mu\text{T}$ . Non c'è nessuna evidenza scientifica che negli esseri umani, a differenza di alcune specie animali, questo campo magnetico abbia influenza sui processi fisiologici. Al contrario, vi sono poche occasioni di esposizione del pubblico a campi magnetici statici di origine artificiale. Anche nei luoghi di lavoro la presenza di intensi campi magnetici statici è rara e ciò limita le conoscenze su possibili effetti sanitari.

Su base teorica sono stati ipotizzati alcuni meccanismi attraverso i quali i campi magnetici statici potrebbero interagire con l'organismo umano. Questi consistono in effetti magnetoidrodinamici, azioni su radicali liberi e orientamento di microscopici cristalli di magnetite eventualmente presenti nel cervello. I calcoli indicano però che questi meccanismi potrebbero dar luogo a effetti osservabili solamente a intensità di campo molto elevate, superiori a quelle generate dalle sorgenti oggi disponibili. Queste previsioni sono confermate dalle osservazioni sui lavoratori più esposti, nonché sui pazienti sottoposti a esami diagnostici a risonanza magnetica mediante apparecchiature al cui interno si creano campi magnetici dell'ordine di qualche tesla.

In nessuna di queste situazioni si sono riscontrati effetti nocivi per la salute attribuibili ai campi magnetici statici di per sé; tuttavia, sono stati segnalati

disturbi dovuti al movimento del corpo o di sue parti (testa, occhi) all'interno di campi magnetici particolarmente intensi. Questi disturbi, che comprendono stimoli visivi (magnetofosfeni), vertigini e senso di nausea sono stati osservati a partire da circa 2T. La gravità del disturbo non dipende solo dall'intensità del campo, ma anche dalla rapidità del movimento; inoltre, la risposta biologica varia molto da un individuo all'altro.

Mancano indicazioni di eventuali effetti a lungo termine, perché l'esposizione è rara e molto variabile, inoltre i più elevati livelli di campo magnetico statico si riscontrano in particolari ambienti lavorativi dove sono presenti altri agenti nocivi, detti anche "confondenti": queste circostanze limitano molto la possibilità di ricavare utili informazioni dagli studi epidemiologici. È stato comunque raccomandato un monitoraggio dello stato di salute di alcune categorie di lavoratori, tra cui il personale medico e paramedico impegnato negli esami di risonanza magnetica.

### 2.2.2 Campi magnetici a frequenze estremamente basse

I campi elettrici e magnetici a frequenza estremamente bassa o campi ELF (Extremely Low Frequency), tra cui rientrano quelli generati da linee ad alta tensione, circuiti domestici e apparecchiature elettriche, inducono all'interno del corpo umano correnti elettriche e campi. Queste correnti e questi campi sono variamente distribuiti, secondo la struttura e la composizione dei diversi organi, e possono provocare la stimolazione dei tessuti elettricamente eccitabili, come nervi e muscoli. I conseguenti effetti variano dalla semplice percezione del campo fino alla paralisi cardiaca, secondo l'intensità delle correnti e dei campi indotti.

Per la protezione del pubblico e dei lavoratori sono stati stabiliti a livello internazionale dei limiti di esposizione tali da prevenire anche la semplice percezione del campo che, seppure non nociva, potrebbe costituire un dis-



turbo se prolungata nel tempo. I livelli di esposizione del pubblico sono molto inferiori alle soglie minime per gli effetti acuti, con la sola eccezione della sensazione epidermica provocata da campi elettrici intensi e dovuta alla vibrazione dei peli cutanei. Questo fastidio può essere avvertito da alcuni soggetti qualora si trovino immediatamente al di sotto di linee ad alta tensione. In uno studio epidemiologico condotto negli Stati Uniti venne evidenziato un eccesso di mortalità per tumori in bambini residenti nei pressi di linee elettriche che avevano caratteristiche tali da produrre probabilmente all'interno delle abitazioni campi magnetici ELF più elevati del normale. Da allora sono state effettuate numerose ricerche, sia di tipo osservazionale sull'essere umano che di tipo sperimentale in vivo su animali o in vitro su campioni cellulari, allo scopo di indagare la possibilità di effetti a lungo termine dei campi elettrici e magnetici ELF.

L'Agencia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha esaminato tutte queste evidenze scientifiche relative alla cancerogenicità dei campi elettrici e magnetici alle frequenze ELF. Le evidenze di cancerogenicità relative ai campi elettrici ELF, per tutte le patologie tumorali, e quelle relative ai campi magnetici ELF, per tutte le patologie tumorali negli adulti e tutte quelle differenti dalla leucemia nei bambini, sono state giudicate "inadeguata". Nel caso invece degli studi epidemiologici che hanno evidenziato un'associazione tra la leucemia infantile e le esposizioni residenziali ai campi magnetici, l'evidenza scientifica è stata giudicata "limitata", giudizio intermedio tra quello di evidenza "inadeguata" ed evidenza "sufficiente". In altre parole un'interpretazione causale dell'associazione riportata dagli studi epidemiologici può essere ritenuta credibile, ma non è possibile escludere con ragionevole certezza che sia invece dovuta al caso, a distorsioni o a fattori di confondimento.

### 2.2.3 Campi a radiofrequenza e microonde

L'energia elettromagnetica associata ai campi ad alta frequenza viene assorbita dai tessuti biologici e convertita in calore. Questo meccanismo di interazione, ben documentato e compreso, è alla base dei cosiddetti "effetti termici" dei campi elettromagnetici. Gli effetti termici sono legati all'aumento di temperatura del corpo intero o di sue parti, a seconda che l'esposizione sia generale o localizzata, piuttosto che ai campi elettromagnetici in sè stessi. L'aumento di temperatura è contrastato da meccanismi di termoregolazione, come l'aumento della circolazione sanguigna, la sudorazione o la respirazione accelerata. Queste reazioni biologiche rallentano il processo di riscaldamento e riducono la temperatura a cui si stabilisce l'equilibrio termico.

## 2.3 Misure precauzionali

Per la protezione del pubblico e dei lavoratori sono stati stabiliti a livello internazionale dei limiti di esposizione tali da limitare, anche nei soggetti più sensibili, l'aumento stabile della temperatura ben al di sotto di 1° C, una variazione inferiore a quelle associate ai normali processi fisiologici e quindi tollerabile dall'organismo anche per tempi prolungati. Il tempo richiesto per raggiungere l'equilibrio termico è di qualche decina di minuti. Per questa ragione i limiti di esposizione non debbono essere intesi come istantanei, bensì come valori da non superare in media entro un arco di tempo definito. I possibili effetti a lungo termine dell'esposizione a livelli "sub-termici" di campi elettromagnetici a radiofrequenza e microonde, cioè a livelli tali da non dare luogo ad aumenti di temperatura dell'intero corpo esposto, o di sue parti, sono stati oggetto di numerose ricerche sia di tipo sperimentale, sia di tipo epidemiologico, incentrate in gran parte sulla loro eventuale cancerogenicità.

In ambito sperimentale sono disponibili i risultati di studi a lungo termine su roditori, finalizzati a valutare eventuali effetti diretti di cancerogenesi per esposizioni controllate dell'intero animale, tutti negativi. Sono stati anche indagati eventuali effetti di promozione della cancerogenesi o di co-cancerogenesi (ovvero di un eventuale effetto cancerogeno dei campi a radiofrequenza e microonde non da soli, ma in combinazione con cancerogeni noti) e la maggior parte di questi studi è risultata negativa. Anche gli studi di genotossicità, condotti su cellule umane o animali dopo esposizione ai campi in vivo o in vitro, si sono dimostrati per la maggior parte negativi, cioè non hanno dimostrato incrementi nella frequenza di rotture del DNA a singolo filamento, né di altri indicatori di danno genotossico, quali aberrazioni cromosomiche, scambi tra cromatidi fratelli o micronuclei nei campioni esposti rispetto alla frequenza osservata nei campioni non esposti.

Alcuni studi sperimentali avevano segnalato la possibilità che l'esposizione a livelli sub-termici di radiofrequenza potesse aumentare la permeabilità della barriera emato-encefalica, facilitando così il passaggio di eventuali composti cancerogeni dal sangue al cervello, ma molti studi successivi non hanno confermato questo sospetto.

Per quanto riguarda gli studi epidemiologici sugli effetti a lungo termine dei campi elettromagnetici a radiofrequenza e microonde, sono state effettuate soprattutto indagini sull'incidenza di tumori in gruppi di popolazione esposti in ambito professionale o residenziale e studi sugli utilizzatori di telefoni cellulari. Alcuni studi su lavoratori professionalmente esposti hanno indicato un aumento di alcune neoplasie, ma altri non hanno indicato alcuna associazione tra esposizione e patologie.

Le notevoli disomogeneità tra gli studi e le differenze nell'esposizione non consentono di effettuare meta-analisi per sintetizzare quantitativamente l'evidenza fornita da questi studi. Inoltre nessuno di questi studi fornisce indicazioni quantitative adeguate sull'intensità d'esposizione. La mancanza di utili indicazioni quantitative sull'intensità d'esposizione costituisce il limite fondamentale anche di alcuni studi geografici che sono stati condotti sulla frequenza di neoplasie tra i residenti in prossimità di antenne radiotelevisive.

Un significativo esempio delle incertezze che caratterizzano queste ricerche e della necessità di valutarne con prudenza i risultati è fornito dagli studi di alcuni autori britannici, che hanno in un primo tempo confermato un segnalato aumento di leucemie e linfomi intorno ad un'antenna televisiva, ma non hanno trovato alcun aumento di rischio quando l'indagine è stata estesa alle 20 maggiori antenne televisive del paese, aumentando la popolazione in studio e quindi la potenza statistica dell'indagine. Nell'insieme, le indagini condotte fino ad ora non forniscono indicazioni coerenti di

un'associazione tra forme tumorali e esposizioni ai campi elettromagnetici generati da trasmettitori radiotelevisivi. Per i limiti intrinseci a tutte le analisi ecologiche ,cioè basate su dati aggregati e non su dati individuali, non è ragionevole attendersi risultati più conclusivi da ulteriori indagini di questo tipo se non verranno almeno migliorati i metodi di stima dell'esposizione, al momento basati sulla distanza dall'emittente.

Numerosi paesi hanno adottato leggi o regolamenti basati sui risultati di numerosi studi scientifici. Nelle grande maggioranza dei casi, i governi hanno fatto proprie le raccomandazioni della Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti (ICNIRP), un gruppo indipendente di esperti formalmente riconosciuto dai massimi organismi internazionali tra cui l'OMS e l'Unione Europea. Quest'ultima ha raccomandato a tutti gli stati membri di adottare un quadro comune e coerente di norme, basate sui limiti dell'ICNIRP, che garantiscono la piena protezione da tutti gli effetti accertati di danno alla salute. In Italia è stata invece adottata una legge, la LEGGE QUADRO del 22 febbraio 2001, che, in nome del principio di precauzione, prevede ulteriori limiti da non superare in corrispondenza di luoghi abitati o intensamente frequentati. I decreti applicativi di questa legge hanno stabilito per questi limiti valori sensibilmente inferiori a quelli raccomandati internazionalmente. Ha come scopo principale quello di dettare i principi fondamentali diretti a:

- a) assicurare la tutela della salute dei lavoratori, delle lavoratrici e della popolazione dagli effetti dell'esposizione a determinati livelli di campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici ai sensi e nel rispetto dell'articolo 32 della Costituzione;
- b) promuovere la ricerca scientifica per la valutazione degli effetti a lungo termine e attivare misure di cautela da adottare in applicazione del principio di precauzione di cui all'articolo 174, paragrafo 2, del trattato istitutivo dell'Unione Europea;

c) assicurare la tutela dell'ambiente e del paesaggio e promuovere l'innovazione tecnologica e le azioni di risanamento volte a minimizzare l'intensità e gli effetti dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici secondo le migliori tecnologie disponibili.

I limiti attualmente in vigore sono fissati da un decreto, il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri dell'8 luglio 2003, emanato ai fini della protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati da sorgenti fisse operanti ad alta frequenza, comprendenti, ad esempio, gli impianti per telefonia mobile o per radiodiffusione televisiva o radiofonica. In esso vengono fissati nell'ordine limiti di esposizione, valori di attenzione ed obiettivi di qualità:

- per **limite di esposizione** si intende il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, definito ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione.

- per **valore di attenzione** si intende il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, che non deve essere superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate. Esso costituisce misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine.

- per **obiettivi di qualità** si intendono i valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, definiti dallo Stato, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi medesimi. Tali valori sono da ritenersi non superabili all'aperto nelle aree intensamente frequentate, quali ad esempio strutture di carattere ricreativo.

Ci sono condizioni di esposizione per le quali il decreto non si applica e sono quelle dovute a scopi diagnostici o terapeutici e quelle dovute a ragioni professionali.



# Capitolo 3

## Normativa vigente

### 3.1 Legge quadro: protezione dalle esposizioni a CE,CM e CEM

#### 3.1.1 Finalità della legge - Art. 1

1. La presente legge ha lo scopo di dettare i principi fondamentali diretti a:

a) assicurare la tutela della salute dei lavoratori, delle lavoratrici e della popolazione dagli effetti dell'esposizione a determinati livelli di campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici ai sensi e nel rispetto dell'articolo 32 della Costituzione;

b) promuovere la ricerca scientifica per la valutazione degli effetti a lungo termine e attivare misure di cautela da adottare in applicazione del principio di precauzione di cui all'articolo 174, paragrafo 2, del trattato istitutivo dell'Unione Europea; c) assicurare la tutela dell'ambiente e del paesaggio e promuovere l'innovazione tecnologica e le azioni di risanamento volte a minimizzare l'intensità e gli effetti dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici secondo le migliori tecnologie disponibili.

2. Le regioni a statuto speciale e le province autonome di Trento e di Bolzano provvedono alle finalità della presente legge nell'ambito delle competenze



ad esse spettanti ai sensi degli statuti e delle relative norme di attuazione e secondo quanto disposto dai rispettivi ordinamenti.

### **3.1.2 Ambito di applicazione - Art. 2**

1. La presente legge ha per oggetto gli impianti, i sistemi e le apparecchiature per usi civili, militari e delle forze di polizia, che possano comportare l'esposizione dei lavoratori, delle lavoratrici e della popolazione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici con frequenze comprese tra 0 Hz e 300 GHz. In particolare, la presente legge si applica agli elettrodotti ed agli impianti radioelettrici, compresi gli impianti per telefonia mobile, i radar e gli impianti per radiodiffusione.

2. Le disposizioni della presente legge non si applicano nei casi di esposizione intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici. Agli apparecchi ed ai dispositivi di uso domestico, individuale e lavorativo si applicano esclusivamente le disposizioni di cui agli articoli 10 e 12 della presente legge.

3. Nei riguardi delle Forze armate e delle Forze di polizia le norme della presente legge sono applicate tenendo conto delle particolari esigenze al servizio espletato, individuate con il decreto di cui all'articolo 4, comma 2, lettera a).

4. Restano ferme le competenze in materia di sicurezza e salute dei lavoratori attribuite dalle disposizioni vigenti ai servizi sanitari e tecnici istituiti per le Forze armate e per le Forze di polizia; i predetti servizi sono competenti altresì per le aree riservate od operative e per quelle che presentano analoghe esigenze individuate con il decreto di cui al comma 3.

### **3.1.3 Definizioni - Art. 3**

Ai fini dell'applicazione della presente legge si assumono le seguenti definizioni:

### 3.1. LEGGE QUADRO: PROTEZIONE DALLE ESPOSIZIONI A CE, CM E CEM27

- a) *esposizione*: è la condizione di una persona soggetta a campi elettrici, magnetici, elettromagnetici, o a correnti di contatto, di origine artificiale;
- b) *limite di esposizione*: è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, definito ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori per le finalità di cui all'articolo 1, comma 1, lettera a);
- c) *valore di attenzione*: è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, che non deve essere superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate per le finalità di cui all'articolo 1, comma 1, lettere b) e c). Esso costituisce misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine e deve essere raggiunto nei tempi e nei modi previsti dalla legge;
- d) *obiettivi di qualità* sono: 1) i criteri localizzativi, gli standard urbanistici, le prescrizioni e le incentivazioni per l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili, indicati dalle leggi regionali secondo le competenze definite dall'articolo 8; 2) i valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, definiti dallo Stato secondo le previsioni di cui all'articolo 4, comma 1, lettera a), ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi medesimi;
- e) *elettrodotto*: è l'insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione;
- f) *esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici*: è ogni tipo di esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici che, per la loro specifica attività lavorativa, sono esposti a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici; v g) *esposizione della popolazione*: è ogni tipo di esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, ad eccezione dell'esposizione di cui alla lettera f) e di quella intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici;

h) *stazioni e sistemi o impianti radioelettrici*: sono uno o più trasmettitori, nonchè ricevitori, o un insieme di trasmettitori e ricevitori, ivi comprese le apparecchiature accessorie, necessari in una data postazione ad assicurare un servizio di radiodiffusione, radiocomunicazione o radioastronomia;

i) *impianto per telefonia mobile*: è la stazione radio di terra del servizio di telefonia mobile, destinata al collegamento radio dei terminali mobili con la rete del servizio di telefonia mobile;

l) *impianto fisso per radiodiffusione*: è la stazione di terra per il servizio di radiodiffusione televisiva o radiofonica.

#### **3.1.4 Funzioni dello Stato - Art. 4**

1. Lo Stato esercita le funzioni relative: a) alla determinazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità, in quanto valori di campo come definiti dall'articolo 3, comma 1, lettera d), numero 2), in considerazione del preminente interesse nazionale alla definizione di criteri unitari e di normative omogenee in relazione alle finalità di cui all'articolo 1; b) alla promozione di attività di ricerca e di sperimentazione tecnico-scientifica, nonché al coordinamento dell'attività di raccolta, di elaborazione e di diffusione dei dati, informando annualmente il Parlamento su tale attività; in particolare il Ministro della sanità promuove, avvalendosi di istituzioni pubbliche e private senza fini di lucro, aventi comprovata esperienza nel campo scientifico, un programma pluriennale di ricerca epidemiologica e di cancerogenesi sperimentale, al fine di approfondire i rischi connessi all'esposizione a campi elettromagnetici a bassa e alta frequenza; c) all'istituzione del catasto nazionale delle sorgenti fisse e mobili dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici e delle zone territoriali interessate, al fine di rilevare i livelli di campo presenti nell'ambiente; d) alla determinazione dei criteri di elaborazione dei piani di risanamento di cui all'articolo 9, comma 2, con particolare riferimento alle priorità di intervento, ai tempi di attuazione ed alle modalità di coordinamento delle attività riguardanti

### 3.1. LEGGE QUADRO: PROTEZIONE DALLE ESPOSIZIONI A CE, CM E CEM29

più regioni nonché alle migliori tecnologie disponibili per quanto attiene alle implicazioni di carattere economico ed impiantistico; e) all'individuazione delle tecniche di misurazione e di rilevamento dell'inquinamento elettromagnetico; f) alla realizzazione di accordi di programma con i gestori di elettrodotti ovvero con i proprietari degli stessi o delle reti di trasmissione o con coloro che ne abbiano comunque la disponibilità nonché con gli esercenti di impianti per emittenza radiotelevisiva e telefonia mobile, al fine di promuovere tecnologie e tecniche di costruzione degli impianti che consentano di minimizzare le emissioni nell'ambiente e di tutelare il paesaggio; g) alla definizione dei tracciati degli elettrodotti con tensione superiore a 150 kV; h) alla determinazione dei parametri per la previsione di fasce di rispetto per gli elettrodotti; all'interno di tali fasce di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario ovvero ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore.

2. I limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità, le tecniche di misurazione e rilevamento dell'inquinamento elettromagnetico e i parametri per la previsione di fasce di rispetto per gli elettrodotti, di cui al comma 1, lettere a), e) e h), sono stabiliti, entro sessanta giorni dalla data di entrata in vigore della presente legge: a) per la popolazione, con decreto del Presidente del Consiglio dei ministri, su proposta del Ministro dell'ambiente, di concerto con il Ministro della sanità, sentiti il Comitato di cui all'articolo 6 e le competenti Commissioni parlamentari, previa intesa in sede di Conferenza unificata di cui all'articolo 8 del decreto legislativo 28 agosto 1997, n. 281, di seguito denominata "Conferenza unificata"; b) per i lavoratori e le lavoratrici, ferme restando le disposizioni previste dal decreto legislativo 19 settembre 1994, n. 626, e successive modificazioni, con decreto del Presidente del Consiglio dei ministri, su proposta del Ministro della sanità, sentiti i Ministri dell'ambiente e del lavoro e della previdenza sociale, il Comitato di cui all'articolo 6 e le competenti Commissioni parlamentari, previa intesa in sede di Conferenza unificata. Il medesimo decreto disciplina, altresì, il regime di sorveglianza medica sulle lavoratrici e sui lavoratori professionalmente esposti.

3. Qualora entro il termine previsto dal comma 2 non siano state raggiunte le intese in sede di Conferenza unificata, il Presidente del Consiglio dei ministri entro i trenta giorni successivi adotta i decreti di cui al comma 2, lettere a) e b).

4. Alla determinazione dei criteri di elaborazione dei piani di risanamento, ai sensi del comma 1, lettera d), si provvede, entro centoventi giorni dalla data di entrata in vigore della presente legge, con decreto del Presidente del Consiglio dei ministri, su proposta del Ministro dell'ambiente, sentito il Comitato di cui all'articolo 6 e la Conferenza unificata.

5. Le regioni adeguano la propria legislazione ai limiti di esposizione, ai valori di attenzione e, limitatamente alla definizione di cui all'articolo 3, comma 1, lettera d), numero 2), agli obiettivi di qualità previsti dai decreti di cui al comma 2 del presente articolo. 6. Per le finalità di cui al presente articolo è autorizzata la spesa di lire 8.000 milioni per ciascuno degli anni 2001, 2002 e 2003 per le attività di cui al comma 1, lettera b), di lire 2.000 milioni annue a decorrere dall'anno 2001 per le attività di cui al comma 1, lettera c), e di lire 5.000 milioni per ciascuno degli anni 2001, 2002 e 2003 per la realizzazione degli accordi di programma di cui al comma 1, lettera f), nonché per gli ulteriori accordi di programma di cui agli articoli 12 e 13.

### **3.1.5 Piani di risanamento - Art. 9**

1. Entro dodici mesi dalla data di entrata in vigore del decreto di cui all'articolo 4, comma 2, lettera a), la regione adotta, su proposta dei soggetti gestori e sentiti i comuni interessati, un piano di risanamento al fine di adeguare, in modo graduale, e comunque entro il termine di ventiquattro mesi, gli impianti radioelettrici già esistenti ai limiti di esposizione, ai valori di attenzione ed agli obiettivi di qualità stabiliti secondo le norme della presente legge. Trascorsi dodici mesi dalla data di entrata in vigore del decreto di cui all'articolo 4, comma 2, lettera a), in caso di inerzia o inadempienza dei gestori, il piano di risanamento è adottato dalle regioni, sentiti i comuni

### 3.1. LEGGE QUADRO: PROTEZIONE DALLE ESPOSIZIONI A CE, CM E CEM<sup>31</sup>

e gli enti interessati, entro i successivi tre mesi. Il piano, la cui realizzazione è controllata dalle regioni, può prevedere anche la delocalizzazione degli impianti di radiodiffusione in siti conformi alla pianificazione in materia, e degli impianti di diversa tipologia in siti idonei. Il risanamento è effettuato con onere a carico dei titolari degli impianti.

2. Entro dodici mesi dalla data di entrata in vigore del decreto di cui all'articolo 4, comma 4, i gestori degli elettrodotti presentano una proposta di piano di risanamento, al fine di assicurare la tutela della salute e dell'ambiente. I proprietari di porzioni della rete di trasmissione nazionale, o coloro che comunque ne abbiano la disponibilità, sono tenuti a fornire tempestivamente al gestore della rete di trasmissione nazionale, entro sei mesi dalla data di entrata in vigore del decreto di cui all'articolo 4, comma 2, lettera a), le proposte degli interventi di risanamento delle linee di competenza, nonché tutte le informazioni necessarie ai fini della presentazione della proposta di piano di risanamento. Il piano deve prevedere i progetti che si intendono attuare allo scopo di rispettare i limiti di esposizione e i valori di attenzione, nonché di raggiungere gli obiettivi di qualità stabiliti dal decreto di cui all'articolo 4, comma 2, lettera a). Esso deve indicare il programma cronologico di attuazione, adeguandosi alle priorità stabilite dal citato decreto, considerando comunque come prioritarie le situazioni sottoposte a più elevati livelli di inquinamento elettromagnetico, in prossimità di destinazioni residenziali, scolastiche, sanitarie, o comunque di edifici adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore, con particolare riferimento alla tutela della popolazione infantile. Trascorsi dodici mesi dalla data di entrata in vigore del decreto di cui all'articolo 4, comma 2, lettera a), in caso di inerzia o inadempienza dei gestori, il piano di risanamento di cui al primo periodo del comma 3 è proposto dalla regione entro i successivi tre mesi.

3. Per gli elettrodotti con tensione superiore a 150 kV, la proposta di piano di risanamento è presentata al Ministero dell'ambiente. Il piano è approvato, con eventuali modifiche, integrazioni e prescrizioni, entro sessanta giorni, dal Ministro dell'ambiente, di concerto con i Ministri dell'industria, del com-

mercio e dell'artigianato e dei lavori pubblici, sentiti il Ministro della sanità e le regioni ed i comuni interessati. Per gli elettrodotti con tensione non superiore a 150 kV, la proposta di piano di risanamento é presentata alla regione, che approva il piano, con eventuali modifiche, integrazioni e prescrizioni, entro sessanta giorni, sentiti i comuni interessati. Trascorsi dodici mesi dalla data di entrata in vigore del decreto di cui all'articolo 4, comma 2, lettera a), in caso di inerzia o inadempienza dei gestori, il piano di risanamento per gli elettrodotti con tensione non superiore a 150 kV è adottato dalla regione, nei termini di cui al terzo periodo del presente comma.

4. Il risanamento degli elettrodotti deve essere completato entro dieci anni dalla data di entrata in vigore della presente legge. Entro il 31 dicembre 2004 ed entro il 31 dicembre 2008, deve essere comunque completato il risanamento degli elettrodotti che non risultano conformi, rispettivamente, ai limiti di cui all'articolo 4 ed alle condizioni di cui all'articolo 5 del decreto del Presidente del Consiglio dei ministri 23 aprile 1992, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 104 del 6 maggio 1992, al fine dell'adeguamento ai limiti di esposizione, ai valori di attenzione e agli obiettivi di qualità stabiliti ai sensi dell'articolo 4, comma 2, lettera a), della presente legge. Il risanamento é effettuato con onere a carico dei proprietari degli elettrodotti, come definito ai sensi del decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79. L'Autorità per l'energia elettrica ed il gas, ai sensi dell'articolo 2, comma 12, della legge 14 novembre 1995, n. 481, determina, entro sessanta giorni dall'approvazione del piano di risanamento, la valutazione dei costi strettamente connessi all'attuazione degli interventi di risanamento nonché i criteri, le modalità e le condizioni per il loro eventuale recupero.

5. Ai fini della concessione di contributi alle regioni per l'elaborazione dei piani di risanamento, la realizzazione dei catasti regionali e l'esercizio delle attività di controllo e di monitoraggio, é autorizzata la spesa massima di lire 2.000 milioni annue a decorrere dall'anno 2001. Le somme derivanti dall'applicazione delle sanzioni previste dall'articolo 15, versate all'entrata del bilancio dello Stato, sono riassegnate nella misura del 100 per cento,

### 3.1. LEGGE QUADRO: PROTEZIONE DALLE ESPOSIZIONI A CE, CM E CEM33

con decreto del Ministro del tesoro, del bilancio e della programmazione economica, ad apposite unità previsionali di base dello stato di previsione del Ministero dell'ambiente; tali somme sono destinate, sulla base di criteri determinati dalla Conferenza unificata, alla concessione di contributi alle regioni, ad integrazione delle risorse ad esse assegnate ai sensi del primo periodo del presente comma, ai fini dell'elaborazione dei piani di risanamento, della realizzazione dei catasti regionali e dell'esercizio delle attività di controllo e di monitoraggio.

6. Il mancato risanamento degli elettrodotti, delle stazioni e dei sistemi radioelettrici, degli impianti per telefonia mobile e degli impianti per radiodiffusione, secondo le prescrizioni del piano, dovuto ad inerzia o inadempienza dei proprietari degli elettrodotti o di coloro che ne abbiano comunque la disponibilità, fermo restando quanto previsto dall'articolo 15, comporta il mancato riconoscimento da parte del gestore della rete di trasmissione nazionale del canone di utilizzo relativo alla linea non risanata e la disattivazione dei suddetti impianti per un periodo fino a sei mesi, garantendo comunque i diritti degli utenti all'erogazione del servizio di pubblica utilità. La disattivazione è disposta: a) con provvedimento del Ministro dell'ambiente, di concerto con il Ministro dell'industria, del commercio e dell'artigianato, sentiti il Ministro della sanità e del lavoro e della previdenza sociale nonché le regioni interessate, per quanto riguarda gli elettrodotti con tensione superiore a 150 kV; b) con provvedimento del presidente della giunta regionale per quanto riguarda gli elettrodotti con tensione inferiore a 150 kV ed i sistemi radioelettrici, con esclusione degli impianti per telefonia mobile e per radiodiffusione e degli impianti per telefonia fissa nonché delle stazioni radioelettriche per trasmissione di dati, la cui disattivazione è disposta con provvedimento del Ministro delle comunicazioni che assicura l'uniforme applicazione della disciplina sul territorio nazionale.

7. Entro centottanta giorni dalla data di entrata in vigore della presente legge, su ciascuna struttura di cui alle lettere e), h) ed l) del comma 1 dell'articolo 3 deve essere applicata una etichetta informativa ben visibile,



riportante la tensione prodotta, i valori di esposizione rintracciabili nella documentazione autorizzativa, i limiti di esposizione ed i valori di attenzione prescritti dalle leggi nazionali e regionali e le distanze di rispetto.

### **3.1.6 Educazione ambientale - Art. 10**

1. Il Ministro dell'ambiente, di concerto con i Ministri della sanità, dell'università e della ricerca scientifica e tecnologica e della pubblica istruzione, promuove lo svolgimento di campagne di informazione e di educazione ambientale ai sensi della legge 8 luglio 1986, n. 349. A tale fine è autorizzata la spesa di lire 2.000 milioni annue a decorrere dall'anno 2001.

### **3.1.7 Apparecchiature di uso domestico, individuale o lavorativo - Art. 12**

1. Con decreto del Ministro dell'ambiente, di concerto con il Ministro della sanità, previo parere del Comitato e sentite le competenti Commissioni parlamentari, sono stabilite, entro centoventi giorni dalla data di entrata in vigore della presente legge, tenendo conto anche degli orientamenti e degli atti dell'Unione europea in materia di inquinamento elettromagnetico, tutela dei consumatori e istruzioni per l'uso dei prodotti, le informazioni che i fabbricanti di apparecchi e dispositivi, in particolare di uso domestico, individuale o lavorativo, generanti campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, sono tenuti a fornire agli utenti, ai lavoratori e alle lavoratrici, mediante apposite etichettature o schede informative. Le informazioni devono riguardare, in particolare, i livelli di esposizione prodotti dall'apparecchio o dal dispositivo, la distanza di utilizzo consigliata per ridurre l'esposizione al campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico e le principali prescrizioni di sicurezza. Con lo stesso decreto sono individuate le tipologie di apparecchi e dispositivi per i quali non vi è emissione di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, o per i quali tali emissioni sono da ritenersi così basse da non richiedere alcuna precauzione.

### 3.1. LEGGE QUADRO: PROTEZIONE DALLE ESPOSIZIONI A CE,CM E CEM<sup>35</sup>

2. Il Comitato promuove la realizzazione di intese ed accordi di programma con le imprese produttrici di apparecchiature di uso domestico, individuale o lavorativo, che producono campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, al fine di favorire e sviluppare tecnologie che consentano di minimizzare le emissioni.

#### **3.1.8 Accordi di programma per i servizi di trasporto pubblico - Art. 13**

1. Il Ministro dell'ambiente, su proposta del Comitato, promuove la realizzazione di intese ed accordi di programma con i gestori di servizi di trasporto pubblico che producono campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, al fine di favorire e sviluppare tecnologie che consentano di minimizzare le emissioni.

#### **3.1.9 Controlli - Art. 14**

1. Le amministrazioni provinciali e comunali, al fine di esercitare le funzioni di controllo e di vigilanza sanitaria e ambientale per l'attuazione della presente legge, utilizzano le strutture delle Agenzie regionali per la protezione dell'ambiente, di cui al decreto-legge 4 dicembre 1993, n. 496, convertito, con modificazioni, dalla legge 21 gennaio 1994, n. 61. Restano ferme le competenze in materia di vigilanza nei luoghi di lavoro attribuite dalle disposizioni vigenti.

2. Nelle regioni in cui le Agenzie regionali per la protezione dell'ambiente non sono ancora operanti, ai fini di cui al comma 1, le amministrazioni provinciali e comunali si avvalgono del supporto tecnico dell'Agenzia nazionale per la protezione dell'ambiente, dei presidi multizonali di prevenzione (PMP), dell'Istituto superiore per la prevenzione e la sicurezza sul lavoro (ISPESL) e degli ispettori territoriali del Ministero delle comunicazioni, nel rispetto delle specifiche competenze attribuite dalle disposizioni vigenti.

3. Il controllo all'interno degli impianti fissi o mobili destinati alle attività istituzionali delle Forze armate, delle Forze di polizia e dei Vigili del fuoco è disciplinato dalla specifica normativa di settore. Resta fermo in particolare, quanto previsto per le forze armate e di polizia dagli articoli 1, comma 2, e 23, comma 4, del decreto legislativo 19 settembre 1994, n. 626, e successive modificazioni.

4. Il personale incaricato dei controlli, nell'esercizio delle funzioni di vigilanza e di controllo, può accedere agli impianti che costituiscono fonte di emissioni elettromagnetiche e richiedere, in conformità alle disposizioni della legge 7 agosto 1990, n. 241, e successive modificazioni, i dati, le informazioni e i documenti necessari per l'espletamento delle proprie funzioni. Tale personale è munito di documento di riconoscimento dell'ente di appartenenza.

# Capitolo 4

## Campi elettromagnetici in ambito lavorativo

### 4.1 Tipologie di lavoratori a rischio

Sono diverse le attività lavorative che possono comportare esposizioni a campi elettromagnetici, cioè nell'intervallo di frequenza da 0 Hz fino a 300 GHz (a livelli di campo sensibilmente più elevati di quelli in gioco nelle tipiche esposizioni della popolazione), ad esempio possiamo avere:

- *sorgenti di campi elettrici e magnetici statici*: praticamente ovunque vi siano apparecchiature alimentate da tensione continua o linee percorse da elevate correnti continue. Concentrando l'attenzione sul solo campo magnetico, possono risultare esposti a livelli di gran lunga superiori al fondo naturale (in media circa  $50 \mu\text{T}$  di induzione magnetica) quei lavoratori addetti a processi di elettrolisi e coloro che operano nel comparto ferroviario su trasporti alimentati in corrente continua. Ma elevati livelli di campi statici sono riscontrabili anche presso macchinari per la produzione di grandi elettrodi per archi voltaici e in prossimità dei tomografi a Risonanza Magnetica Nucleare;

- *campi elettrici e magnetici ELF negli ambienti industriali*: l'esposizione degli addetti alle centrali elettriche, è stata stimata attorno a  $40 \mu\text{T}$  come

valore medio, con picchi sensibilmente più elevati, specie per gli addetti alla manutenzione delle linee. Molti sono peraltro gli impianti industriali dotati di sottostazione autonoma per l'alimentazione elettrica, con esposizioni parimenti significative. Anche in relazione ai diversi processi industriali, ogni apparecchiatura alimentata con correnti elevate costituisce una potenziale sorgente. Nei vari tipi di forni elettrici e nelle fonderie (fusione e trattamento dell'acciaio e altri metalli) i lavoratori possono risultare esposti con continuità a campi magnetici tra  $100 \mu\text{T}$  e  $10 \text{ mT}$ , con picchi superiori ai  $100 \text{ mT}$  nel caso dei saldatori, che sembrano costituire la categoria potenzialmente esposta ai livelli più elevati. Esposizioni significative sono inoltre riscontrabili nei processi di smerigliatura a mano (fino  $300 \mu\text{T}$ ), e nella produzione di magneti permanenti ( $500 \mu\text{T}$ );

- *riscaldatori industriali a radiofrequenza e microonde*: queste macchine, che si basano sulla trasformazione in calore dell'energia elettromagnetica assorbita dal materiale oggetto di trattamento, sono tradizionalmente suddivisi in tre categorie in base al principio e alle modalità di funzionamento: a perdite dielettriche, a induzione magnetica e a microonde. Nel caso degli apparecchi per riscaldamento a perdite dielettriche, che vengono impiegati nell'industria del legno (incollaggio e piegatura), per la saldatura e stampaggio di manufatti in plastica (PVC in primo luogo) e nell'industria tessile (essiccamento delle fibre), l'esposizione degli operatori avviene in zona di campo vicino, e quindi è necessario misurare separatamente i campi elettrico e magnetico, anche se la sola misura del campo elettrico si dimostra conservativa in molti casi, in considerazione del principio di funzionamento dell'applicatore, che è in pratica un condensatore a facce piane e parallele in grado di generare intensi campi elettrici al suo interno (decine di  $\text{kV/m}$ ). Gli apparecchi per riscaldamento a induzione sono usati invece nel trattamento dei materiali metallici (saldatura, indurimento, tempera, fusione..), e nell'industria elettronica. Come per i riscaldatori a perdite dielettriche, l'esposizione degli operatori avviene in zona di campo vicino, e quindi è necessario misurare separatamente i campi elettrico e magnetico, ma il maggior interesse è naturalmente questa volta concentrato sulla componente mag-

netica. I livelli di esposizione possono risultare tra i più elevati, con campi magnetici fino a 20 A/m e campi elettrici fino a 8 kV/m, in assenza delle opportune misure di protezione e contenimento, dipendendo sempre in modo critico, oltre che dalla potenza della macchina, dal tipo e configurazione degli induttori, dalla posizione del lavoratore rispetto ad essi, dalla presenza di altri oggetti metallici, e dalle procedure di impiego della macchina;

- *apparecchiature biomediche*: in numerose indagini sperimentali effettuate nelle strutture sanitarie presso apparecchiature emittenti radiazioni non ionizzanti si sono evidenziate situazioni di esposizione rilevante e talvolta elevati rischi per la salute e la sicurezza di operatori e pazienti, con notevoli carenze strutturali, organizzative e procedurali, dovute anche all'assenza di specifiche normative di prevenzione e protezione in materia, eccezion fatta per la Risonanza Magnetica Nucleare.

- *apparati per telecomunicazioni*: rappresentano il contributo più significativo per l'esposizione della popolazione alle radiofrequenze e microonde, ma numerose categorie professionali possono comunque risultare esposte a livelli notevolmente elevati. Ad esempio gli operatori la cui mansione comporta l'ascesa su torri e tralicci, per l'installazione o la manutenzione di sistemi radio FM o televisivi possono essere esposti a campi elettrici fino a 1000 V/m e magnetici fino a 5 A/m. Esposizioni più contenute e non superiori a  $0,1 \text{ W/m}^2$ , sono in genere associate alla vicinanza a sistemi radar per il controllo del traffico aereo;

- *varchi magnetici e sistemi antitaccheggio*: queste apparecchiature sono sorgenti di esposizione per la popolazione e per i lavoratori di largo e crescente impiego presso centri commerciali, supermercati, negozi, banche e aeroporti. Tali sistemi possono produrre esposizioni croniche per i lavoratori con postazioni di lavoro fisse in prossimità dei varchi, come è il caso degli addetti alle casse nei supermercati, che possono risultare esposti continuativamente per l'intero turno lavorativo a livelli di campo non trascurabili;

- *sistemi di identificazione a radiofrequenza (RFID)*: sono dispositivi che

consentono la rapida identificazione di persone o merci mediante la lettura a distanza di apposite etichette magnetizzate. I problemi posti da questi sistemi sono simili a quelli dei varchi elettromagnetici o dei dispositivi antitaccheggio.

## 4.2 Ambiente ospedaliero

L'aumento delle fonti di campi elettromagnetici in ambienti molto frequentati, come ad esempio gli ospedali, ha portato i ricercatori a cercare di quantificare i potenziali rischi di interferenze elettromagnetiche dovute ad apparecchiature mediche. Per ridurre i rischi di queste attrezzature, è importante conoscere l'ambiente del campo elettromagnetico che si può trovare negli ospedali e nelle cliniche.

Fin dagli anni '70, c'è stata una preoccupazione per gli effetti delle interferenze elettromagnetiche negli ospedali. Nel 1979, la Food and Drug Administration ha emesso una regola detta "Standard di compatibilità elettromagnetica per dispositivi medici". Questa regola tratta gli aspetti generali dell'interazione dei campi elettromagnetici, tenendo in considerazione sia le emissioni condotte che quelle irradiate, e effettuando test di sensibilità a campi elettrici, campi magnetici e transitori.

Da allora, numerosi studi hanno iniziato a trattare i problemi di interferenze elettromagnetiche e attrezzature mediche. La maggior parte degli studi hanno misurato i campi elettrici ad alta frequenza e identificato la possibile influenza di fonti al di fuori dell'ospedale, in particolare quella relativa ai sistemi di comunicazione come la radio, le emittenti TV e la telefonia mobile.

L'alimentatore elettrico dell'ospedale è una fonte interna di campi magnetici. L'impianto elettrico è infatti progettato per fornire energia a tutti i dispositivi, tra cui troviamo le attrezzature mediche. Un filo elettrico attraverso il quale scorre una corrente genera un campo magnetico intorno ad esso proporzionale alla quantità di corrente che vi fluisce. In un grande ospedale, il numero dei dispositivi medici aumenta velocemente, e contemporaneamente aumenta la domanda di elettricità. Ciò significa che un aumento della quantità di corrente produce un aumento della forza del campo magnetico all'interno dell'ospedale. Un livello di campo elettrico o magnetico particolarmente elevato potrebbe compromettere l'adeguato funzionamen-



to delle apparecchiature mediche e danneggiare il personale medico addetto.

Per garantire condizioni di sicurezza e di tutela della salute dei lavoratori l'Azienda quindi provvede alla:

- sorveglianza fisica affidata agli esperti qualificati, che sulla base della valutazione del rischio predispongono la delimitazione delle zone lavorative a rischio, il controllo e l'esame dei mezzi di protezione e la valutazione delle esposizioni.
- sorveglianza medica affidata al Medico Autorizzato (categoria A e B) per l'esecuzione di visite mediche, indagini specialistiche e di laboratorio, provvedimenti e disposizioni sanitarie e al Medico Competente (categoria B). Sono classificati in categoria A i lavoratori esposti che, sono suscettibili di un'esposizione superiore, in un anno solare, ad uno dei seguenti valori: - 6 mSv per esposizione globale o di equivalente di dose efficace - 3/10 di uno qualsiasi dei limiti di dose fissati per il cristallino, la pelle, le mani e gli avambracci, piedi e caviglie

Sono invece classificati in categoria B i lavoratori esposti non classificati in categoria A.

#### **4.2.1 Tipologie di sorgenti in ambito ospedaliero**

Non tutti gli apparecchi elettromedicali sono fonti di radiazioni pericolose per la salute dell'uomo. Alcuni infatti rientrano nelle cosiddette "*situazioni giustificabili*", ovvero quelle situazioni in cui la natura e l'entità dei rischi non rendono necessaria un'analisi più dettagliata. Nelle "*situazioni da valutare*" invece troviamo tutti quelli apparecchi medicali per applicazioni intenzionali di radiazioni elettromagnetiche o di corrente tra cui l'elettrobisturi, gli stimolatori elettrici intracranici, gli apparati per magnetoterapia e i tomografi RM.

Apparecchiature per

Marconiterapia: utilizzano onde corte a frequenze di emissione 6.78, 13.56, 27.12 e 40.68 MHz. Le potenze erogate variano da alcune decine di Watt fino a 500 W. L'emissione è di tipo continua sinusoidale.



Figura 4.1: Marconiterapia: impiegata in caso di diatermia

- Radarterapia: utilizzano microonde a 915 e 2450 MHz. Le potenze erogate in genere sono regolabili da 50 a 200 W. L'emissione è di tipo continua sinusoidale. In genere i valori di azione non vengono superati se le apparecchiature sono in buono stato (cavi, antenne..) e se impiegate in spazi non ristretti.



Figura 4.2: Radarterapia: impiegata in caso di diatermia

- Ipertermia: utilizzano campi elettromagnetici con frequenze da 13 a 432 MHz. L'emissione può essere continua, modulata e/o pulsata. Queste ap-

parecchiature generano un campo elettrico molto localizzato tramite l'impiego di antenne speciali. Possono comunque essere superati i valori di azione.



Figura 4.3: Ipertermia di tessuti neoplastici

- Magnetoterapia: utilizzano campi magnetici a bassa frequenza (da 1 a 100 Hz) generati da bobine a solenoide all'interno delle quali viene posizionato il paziente per la terapia o bobine per applicazioni locali. L'intensità del campo magnetico può arrivare sino a 5 mT(50 Gauss); la modalità di emissione e di attenuazione del campo magnetico è tale da non costituire per i lavoratori addetti una fonte di rischio diretto.



Figura 4.4: Magnetoterapia: riabilitazione, terapia antalgica, patologie articolari e ossee





Figura 4.6: Ablatore: necrotizzazione dei tessuti

# Conclusioni

In questa tesi si sono sviluppati gli effetti, le implicazioni e le conseguenze dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici sul corpo umano e su ciò che ci circonda, tenendo presente, come prima cosa, i diversi ambiti lavorativi. Si evince come questi campi fisici si possano rivelare, allo stesso tempo, sia benefici che dannosi per la nostra persona. La disputa scientifica sugli effetti sanitari delle onde elettromagnetiche è un'alternanza di allarmi e smentite. Ci si chiede ancora quale sia il limite oltre il quale i campi generati da elettrodotti, antenne radio, tv e per la telefonia mobile, cellulari, cordless, dispositivi wi-fi e bluetooth siano nocivi e quale quello oltre il quale danni riparabili, come il mal di testa o le nausee della cosiddetta elettrosensibilità, diventino irreparabili. Una cosa però è certa: l'eccessiva esposizione alle onde elettromagnetiche provoca danni. L'esposizione continua a uno o più tipi di onde elettromagnetiche infatti può provocare leucemie e tumori cerebrali, patologie neurodegenerative come l'Alzheimer e la sclerosi laterale amiotrofica o comunque, nel caso meno grave, la cosiddetta sindrome dell'elettrosensibilità, condizione che comporta mal di testa, vertigini, disturbi del sonno, irritazioni della pelle e dolori più o meno localizzati. Cosa fare dunque? Le ricerche in questi campi stanno compiendo grossi sviluppi. Basti pensare, uscendo addirittura dalla nostra atmosfera, all'esperimento Matroshka utilizzato sulla Stazione Spaziale Internazionale (ISS). È stato posto un manichino all'esterno di essa per simulare il comportamento del corpo umano in condizioni di esposizione a diversi tipi di radiazioni e quantificare i danni che esse provocano. Sfruttando le ultime tecnologie disponibili è stato possibile ricreare la struttura fisica

e chimica di diversi tessuti biologici, in modo da poter rendere i risultati ancora più attendibili. In contrasto con i danni che questi campi provocano, a causa di un uso sempre più smodato di tecnologie quali cellulari e computer, di cui ormai usufruiamo quotidianamente, troviamo invece tutti i vantaggi che queste apparecchiature ci hanno offerto. Ed è probabilmente in ambito medico che danno il loro maggior contributo. Per cui il monitoraggio dei potenziali effetti negativi nell'ambiente ospedaliero dev'essere il più scrupoloso possibile, considerato anche l'elevato numero di persone implicate.

# Bibliografia

- [1] [www.pubmed.it](http://www.pubmed.it)
- [2] [www.wikipedia.it](http://www.wikipedia.it)
- [3] [www.tim.it](http://www.tim.it)
- [4] [www.epicentro.iss.it](http://www.epicentro.iss.it)
- [5] [www.elettra2000.it](http://www.elettra2000.it)
- [6] [www.who.int](http://www.who.int)
- [7] [www.iss.it](http://www.iss.it)
- [8] [www.cesnir.com](http://www.cesnir.com)
- [9] [www.arpa.emr.com](http://www.arpa.emr.com)
- [10] [www.abitarebio.org](http://www.abitarebio.org)
- [11] [www.apat.gov.it](http://www.apat.gov.it)
- [12] [www.aslcn2.it](http://www.aslcn2.it)