



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE  
FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA

---

Corso di Laurea in Tecniche della Prevenzione nell'Ambiente  
e nei Luoghi di Lavoro

**EFFETTI DELLE RADIAZIONI NON  
IONIZZANTI A BASSA FREQUENZA  
SULLA POPOLAZIONE**

Relatore:  
Prof. Fabrizio Fiori

Tesi di Laurea di:  
Maria Giulia Pezzoli

A.A. 2019/2020

## Sommario

INTRODUZIONE.....	4
1. CAPITOLO 1: ONDE ELETTROMAGNETICHE.....	7
1.1 Campo elettrico.....	8
1.2 Campo magnetico.....	10
1.3 Campo elettromagnetico.....	11
1.4 Radiazioni ionizzanti e non ionizzanti.....	16
2. CAPITOLO 2: RADIAZIONI ELETTROMAGNETICHE NON IONIZZANTI.....	18
2.1 Generalità e classificazione.....	18
2.2 ELF.....	19
2.3 Radiofrequenze.....	22
2.4 Microonde.....	23
2.5 Radiazioni ottiche artificiali (ROA).....	25
3. CAPITOLO 3: INTERAZIONE CON LA MATERIA.....	30
3.1 Effetti biologici ed effetti sanitari.....	33
3.2 Pericolosità delle radiazioni non ionizzanti ed effetti comprovati e potenziali.....	35
3.3 Gli effetti termici (effetti acuti).....	37
3.4 Gli effetti atermici (effetti a lungo termine).....	39

3.5	Organi bersaglio e sintomatologia.....	41
3.6	Dosimetria e valori limite di esposizione.....	45
4.	CAPITOLO 4: SALUTE E SICUREZZA NELL'AMBIENTE E NEI LUOGHI DI LAVORO.....	50
4.1	Normativa di riferimento nazionale ed internazionale.....	50
4.2	Normativa per la sicurezza sul lavoro.....	57
4.3	Valutazione rischio biologico.....	58
4.4	Misure di protezione.....	60
4.5	Cartellonistica.....	62
4.6	Comunicazione del rischio.....	69
5.	CAPITOLO 5: TELEFONIA MOBILE E WIFI.....	71
5.1	Impianti per le tele-radiocomunicazioni: antenne e celle.....	74
5.2	Telefoni cellulari.....	77
5.3	Sviluppo delle varie tecnologie, fino a 4G e 5G.....	80
5.4	WiFi.....	88
5.5	Confronto fra legittimo principio di precauzione e allarmismi.....	93
	scientificamente ingiustificati	
6.	CONCLUSIONI.....	104
7.	BIBLIOGRAFIA – SITOGRAFIA.....	107

## INTRODUZIONE

L'interesse verso i campi elettromagnetici ha assunto negli ultimi anni un'importanza sempre maggiore legata sia al frenetico sviluppo e continuo avanzamento delle tecnologie sia ai cambiamenti dei comportamenti sociali.

L'umanità è sempre stata immersa in un fondo elettromagnetico naturale: onde elettromagnetiche vengono prodotte dal Sole, dalle stelle, da alcuni fenomeni meteorologici come le scariche elettrostatiche, anche la Terra stessa genera un campo magnetico. A questi campi elettromagnetici di origine naturale si sono sommati, con l'inizio dell'era industriale, quelli artificiali, strettamente connessi allo sviluppo scientifico e tecnologico, come i radar, gli elettrodotti, ma anche oggetti di uso quotidiano come apparecchi televisivi, forni a microonde e telefoni cellulari.

Insieme alla diffusione capillare e all'intensificazione di sorgenti artificiali di onde elettromagnetiche, sono cresciuti parallelamente dubbi e preoccupazioni circa la loro pericolosità ed i possibili effetti sulla salute derivanti dalla permanenza più o meno prolungata in prossimità di tali installazioni. Durante il ventesimo secolo, l'esposizione ambientale a campi elettromagnetici di origine umana è costantemente aumentata ed ognuno di noi è esposto, sia in casa sia sul posto di lavoro, ad una complessa miscela di deboli campi elettrici e magnetici dovuti alla generazione e al trasporto di elettricità, agli elettrodomestici, agli

apparati industriali, alle telecomunicazioni e all'emittenza radiotelevisiva. Il fenomeno comunemente definito "inquinamento elettromagnetico" è 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 (elettrodotti), 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). L'esposizione a questi campi può provocare diversi effetti biologici con una varietà di conseguenze per gli esseri umani. Essi interagiscono con le cariche elettriche presenti nel corpo umano (si pensi ad esempio al trasporto di ioni attraverso la membrana delle cellule nervose, che è all'origine della capacità di queste ultime di trasportare informazioni), esercitando forze su di esse e provocando quindi in qualche misura una risposta, che può potenzialmente tradursi in un effetto biologico. Questo non implica necessariamente un effetto di danno alla salute. Alcuni effetti biologici possono non avere alcuna conseguenza nota, nociva o benefica; altri possono portare a malattie, altri ancora avere conseguenze benefiche. Gli

effetti di disturbo o di disagio possono non essere patologici di per sé ma, se accertati, possono compromettere il benessere fisico e mentale di una persona e l'effetto che ne risulta deve essere considerato come un potenziale danno per la salute. Nonostante i potenziali effetti dei campi elettromagnetici artificiali siano argomento di interesse scientifico sin dalla fine dell'800 essi hanno ricevuto particolare interesse negli ultimi 40 anni. In risposta ai crescenti interrogativi su possibili effetti sanitari delle sorgenti di campi elettromagnetici, il cui numero e la cui varietà vanno continuamente aumentando, sono richiesti sempre più studi volti a migliorare le conoscenze in questo ambito. Per questo motivo istituti di ricerca, enti privati e pubblici, Università, organizzazioni governative e non governative di tutto il mondo svolgono attività di ricerca in questo settore, al fine di concretizzare risultati affidabili sugli effetti biologici dei campi elettromagnetici come prerogativa fondamentale per la protezione della salute umana.

## CAPITOLO1

### ONDE ELETTROMAGNETICHE

Tutti i fenomeni elettrici e magnetici hanno origine da cariche elettriche. Per comprendere a fondo la definizione di carica elettrica occorre risalire alla struttura degli atomi. L'atomo più semplice che conosciamo è quello di idrogeno, costituito da un protone ed un elettrone che vi "gravita" attorno. Questo può succedere solo perché protone ed elettrone sono vicendevolmente attratti fra loro da una forza, grazie al fatto che entrambi sono dotati di una proprietà denominata appunto carica elettrica. Quest'ultima esiste in due stati, che convenzionalmente vengono contraddistinti con il segno positivo o negativo, ed in particolare al protone viene assegnato quello positivo e all'elettrone quello negativo. L'esperienza ci mostra che corpi contraddistinti da cariche di segno concordante si respingono, mentre corpi con segno opposto si attraggono. Nell'esempio appena citato, protone ed elettrone hanno la stessa carica in valore assoluto ( $1.6 \times 10^{-19}$  C, in cui "C" sta per "Coulomb" che è l'unità di misura utilizzata nel Sistema Internazionale), ma con segno opposto. Normalmente in un atomo si hanno elettroni e protoni in numero uguale e di conseguenza l'atomo stesso risulta neutro. Quando un atomo acquista o perde elettroni diventa una particella carica elettricamente chiamata ione, nel primo caso si parla di ione negativo nel secondo di ione positivo.

La presenza di una o più cariche elettriche provoca nello spazio circostante una perturbazione che si propaga alla velocità della luce. A tale perturbazione si dà il nome di campo elettrico.

Il movimento, invece, di cariche elettriche o la presenza di un campo elettrico variabile nel tempo, genera il campo magnetico.

Se si considerano, quindi, campi elettrici e magnetici variabili nel tempo, si nota che una variazione di campo elettrico dà origine ad un campo magnetico e che, viceversa, ad una variazione di quest'ultimo corrisponde la comparsa di un campo elettrico.

## 1.1 - CAMPO ELETTRICO

Come detto, il campo elettrico è una perturbazione dello spazio generata dalla presenza di una o più cariche elettriche. Ogni modificazione di tale campo si propaga nello spazio alla velocità della luce, ovvero  $3 \cdot 10^8$  m/s. La situazione si può quindi descrivere nel modo seguente: una carica  $Q$  sorgente di un campo modifica le proprietà fisiche dello spazio circostante ed un'altra carica  $q$ , che possiamo chiamare “di prova”, posta in un punto qualsiasi dello spazio circostante, risente della presenza del campo risultando così soggetta ad una forza. Sulla base di ciò, data una carica di prova  $q$  posta in una regione dello spazio in cui vi è un campo elettrico  $\vec{E}$  generato da una carica  $Q$ , si definisce



campo elettrico il rapporto tra la forza elettrica che agisce su  $q$  e la carica di prova stessa:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (1)$$

Essendo il campo elettrico un rapporto fra una forza e una carica elettrica, la sua unità di misura nel Sistema Internazionale è il Newton/Coulomb [N/C], che è anche equivalente al Volt/metro [V/m]. Generalmente, e sicuramente nei casi pratici, l'intensità dei campi elettrici è massima vicino ad una carica o ad un conduttore carico e diminuisce più o meno rapidamente allontanandosi da questi. Ad esempio, il campo elettrico generato da una carica puntiforme diminuisce proporzionalmente all'inverso del quadrato della distanza, e lo stesso vale per le distribuzioni sferiche di cariche. Inoltre, questa "legge del quadrato della distanza" si può considerare approssimativamente valida anche per distribuzioni di carica non puntiformi o sferiche, nel caso in cui ci si trovi a distanze grandi rispetto alle loro dimensioni.

In conclusione, campi elettrici esistono ovunque sia presente una carica elettrica, positiva o negativa, e vengono generati da ogni conduttore elettrico carico, anche se non vi circola corrente. Essi esercitano delle forze su altre cariche presenti entro il campo.

## 1.2 - CAMPO MAGNETICO

Il campo magnetico, generalmente denominato con  $\vec{H}$  può essere definito come una proprietà o perturbazione dello spazio prodotta dal movimento delle cariche elettriche, ossia dalla presenza di correnti elettriche oppure da magneti permanenti (cioè ad esempio le comuni calamite, le cui proprietà macroscopiche che ben conosciamo sono anche in questo caso legate alla presenza di microcorrenti al loro interno).

Riferendoci al moto di cariche in un conduttore (ad esempio un filo di rame) la corrente elettrica è definita come la carica che attraversa la sezione del filo nell'unità di tempo, e la sua unità di misura è quindi il C/s, che nel S.I. prende il nome di Ampère (A).

La perturbazione generata dalla corrente elettrica si può verificare constatando che ponendo un corpo magnetizzato nella regione perturbata, questo risulta soggetto ad una forza.

L'intensità del campo magnetico si esprime in Ampère per metro (A/m), anche se solitamente si preferisce riferirsi ad una grandezza correlata, la densità di flusso magnetico o induzione magnetica  $B$ , misurata in Tesla (T). Tra le due unità di misura vale la seguente relazione:  $1 \text{ T} = 7,958 \times 10^5 \text{ A/m}$ .

Nei casi pratici comuni, un campo magnetico viene generato quando viene messo in funzione un qualsiasi circuito elettrico nel quale scorre corrente. La sua

intensità dipende proporzionalmente dall'intensità della corrente elettrica (legge di Biot-Savart). Più alta è la corrente, maggiore è l'intensità del campo magnetico.

I campi magnetici sono più intensi in prossimità della sorgente e diminuiscono rapidamente all'aumentare della distanza (nel caso di un filo rettilineo percorso da corrente elettrica l'intensità del campo magnetico diminuisce proporzionalmente all'inverso della distanza dall'asse del filo). Inoltre essi, al contrario dei campi elettrici, non sono schermati dai materiali comuni, come le pareti degli edifici.

### 1.3 - CAMPO ELETTROMAGNETICO

Considerando le proprietà dei campi elettrici e magnetici nel loro complesso, possiamo osservare che un campo elettrico variabile nel tempo genera un campo magnetico anch'esso variabile nel tempo, e che vale anche il viceversa, come è espresso dalle leggi di Ampère-Maxwell e di Faraday-Neumann:

$$\vec{B}(t) = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\Delta(\vec{E})}{\Delta t} + \mu_0 i \quad (2)$$

$$\vec{E}(t) = \frac{-\Delta(\vec{B})}{\Delta t} \quad (3)$$

In cui  $\epsilon_0$  e  $\mu_0$  sono rispettivamente la costante dielettrica e la permeabilità magnetica del vuoto,  $\Phi$  è il flusso attraverso una superficie del vettore campo elettrico o induzione magnetica,  $i$  è la corrente elettrica.

Queste due equazioni, unite alle due che esprimono la legge di Gauss per il campo elettrico e per quello magnetico, costituiscono le cosiddette equazioni di Maxwell.

A metà dell'800, lo stesso Maxwell dimostrò che i fenomeni elettrici e quelli magnetici sono in realtà due manifestazioni di un unico tipo di interazione, chiamata campo elettromagnetico. Un'immediata conseguenza di ciò fu la dimostrazione del fatto che i campi elettromagnetici si propagano nello spazio sotto forma di onde, costituite da una sovrapposizione di campi elettrici e magnetici che oscillano nello spazio e nel tempo su piani mutuamente perpendicolari, indipendentemente dalle cariche e correnti che le hanno generate.

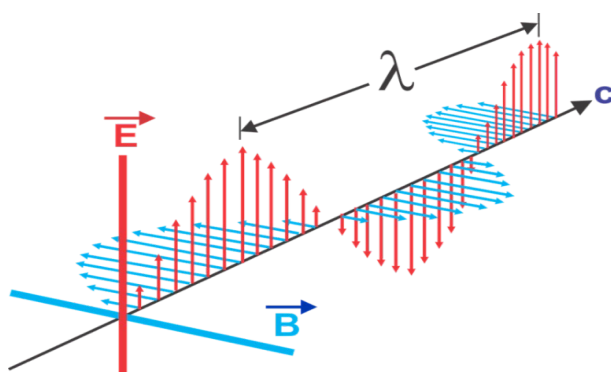


Fig. 1 - Rappresentazione schematica di un'onda elettromagnetica; il campo elettrico e il campo magnetico si propagano alla velocità  $c$ , oscillando su piani mutuamente perpendicolari.

Tutto questo corrisponde a quanto si può verificare sperimentalmente in fenomeni tipici della propagazione per onde, quali l'interferenza, la diffrazione, la riflessione e la rifrazione.

Un'onda è una struttura ripetitiva (periodica) tanto nello spazio che nel tempo. Considerando la sua periodicità spaziale, si può introdurre la distanza che intercorre tra due suoi massimi (o minimi) consecutivi, che viene chiamata appunto lunghezza d'onda, solitamente indicata con la lettera greca  $\lambda$  e misurata in metri. La frequenza è invece una misura della ripetitività temporale (periodicità) di un'onda: quante volte nell'unità di tempo, per esempio in un secondo, si ripetono in una posizione fissa i punti di massimo (o minimo) dell'onda. La frequenza, che rappresenta quindi quante oscillazioni al secondo fa un'onda, si indica in genere con la lettera greca  $\nu$ , e si misura in Hertz (Hz), dove 1 Hz indica un'oscillazione al secondo.

Le due grandezze sono tra loro legate in maniera inversamente proporzionale attraverso la seguente relazione:

$$\nu = c/\lambda \quad (2)$$

dove  $c$  è la velocità di propagazione dell'onda. Nel caso delle onde elettromagnetiche nel vuoto,  $c = 3 \times 10^8$  m/s.

Fra la fine dell'800 e i primi del '900 l'osservazione di alcuni fenomeni, come l'effetto fotoelettrico e l'effetto Compton, che vedevano coinvolti campi

elettromagnetici ma che era impossibile spiegare trattando questi ultimi come onde, portò alla definizione del cosiddetto “dualismo onda- corpuscolo”, secondo il quale alcuni fenomeni, come quelli sopra citati, sono ben descritti trattando i campi elettromagnetici come onde, ma in altri casi è necessario considerare questi ultimi come costituiti da un fascio di particelle, chiamate fotoni, che hanno sia massa che carica elettrica nulle e che si muovono sempre alla velocità  $c$ . Da questo punto di vista, quindi, si può dire che la radiazione elettromagnetica è quantizzata, e il fotone ne costituisce il quanto fondamentale. Questo costituì una delle basi per il successivo sviluppo della Meccanica Quantistica, oltre a portare Albert Einstein al premio Nobel per la Fisica nel 1921, proprio per essere stato in grado di spiegare in questi termini l'effetto fotoelettrico.

Ovviamente, il comportamento ondulatorio e quello corpuscolare devono essere legati fra loro. Infatti, frequenza e lunghezza d'onda dell'onda elettromagnetica sono a loro volta connesse con l'energia cinetica  $E$  dei corrispondenti fotoni, che si misura in Joule (J) o in elettronVolt (eV) ( $1 \text{ J} = 6,24 \times 10^{18} \text{ eV}$ ). L'energia associata alla radiazione elettromagnetica è direttamente proporzionale alla frequenza dell'onda stessa attraverso la relazione:

$$E = h \nu \quad (3)$$

dove  $h$  è una costante fondamentale detta Costante di Planck, pari a:

$$6,626 \times 10^{-34} \text{ Js.}$$

Pertanto, maggiore è la frequenza, maggiore è l'energia trasportata dall'onda.

L'energia elettromagnetica trasportata dall'onda nell'unità di tempo per unità di superficie si definisce intensità o densità di potenza  $S$  dell'onda e si esprime in Watt su metro quadro ( $\text{W}/\text{m}^2$ ). Se consideriamo ad esempio una sorgente puntiforme che emette radiazioni e.m. con una potenza  $P$  (energia per unità di tempo, misurata in Watt) avremo che, ad una certa distanza  $r$ , questa potenza è distribuita uniformemente sulla sfera di raggio  $r$  centrata nella sorgente, e pertanto la densità di potenza a quella distanza sarà:

$$S = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (4)$$

L'insieme di tutte le possibili onde elettromagnetiche, in funzione della frequenza e della lunghezza d'onda, costituisce lo spettro elettromagnetico. Nello spettro elettromagnetico (fig. 2) i vari tipi di radiazione sono classificati in base alla frequenza, a partire da quelle più basse (campi statici) fino ai raggi gamma ( $10^{22}$  Hz e oltre):

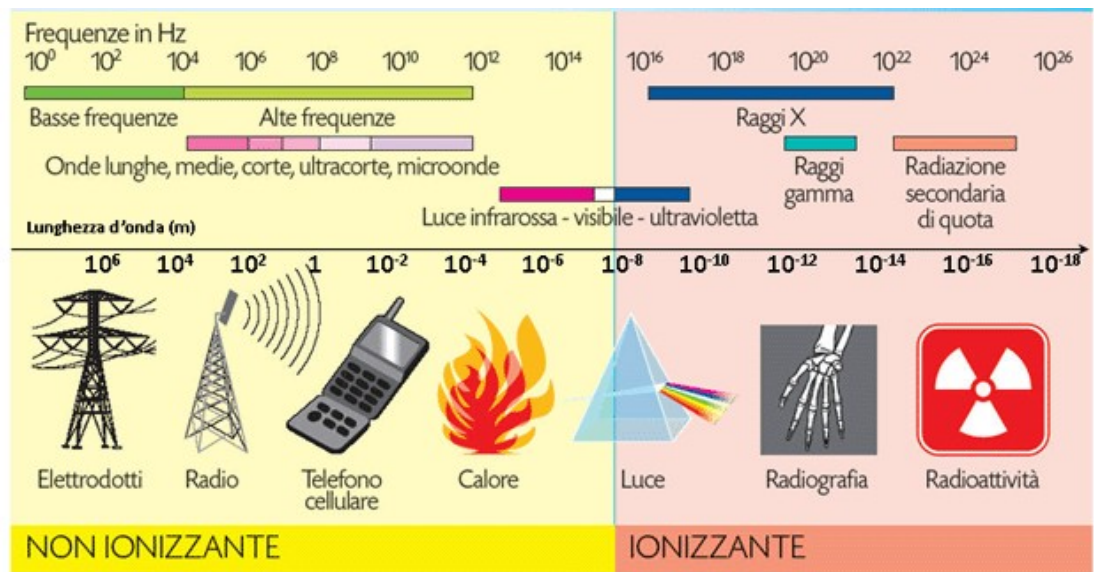


Fig. 2 - Spettro delle radiazioni elettromagnetiche

#### 1.4 - RADIAZIONI IONIZZANTI E NON IONIZZANTI

Di particolare rilevanza per la nostra salute è la suddivisione delle radiazioni in ionizzanti e non ionizzanti.

La linea di demarcazione tra i due tipi di radiazioni, per quanto non netta, si può collocare all'interno delle frequenze dell'ultravioletto, che corrisponde, per convenzione, al valore di 12,6 eV, sicché le radiazioni infrarosse, la luce visibile e parte dell'ultravioletto rientrano nelle radiazioni non ionizzanti, mentre la componente superiore della radiazione ultravioletta fa già parte di quelle ionizzanti. Fra i due tipi di radiazione c'è una differenza fondamentale, poiché si differenziano tra loro per la diversa capacità che hanno di interagire con gli atomi e le molecole che compongono la materia. I fotoni di frequenza più



elevata, e quindi di lunghezza d'onda minore, trasportano più energia di quelli di frequenza più bassa e lunghezza d'onda maggiore. Alcune onde elettromagnetiche trasportano un'energia tale da essere in grado di rompere i legami tra molecole. Nello spettro elettromagnetico, i raggi gamma emessi da materiale radioattivo ed i raggi X come quelli emessi da un apparato radiografico hanno questa proprietà e fanno quindi parte di quelle che vengono chiamate radiazioni ionizzanti. Le radiazioni e.m. i cui fotoni invece non hanno energia sufficiente per rompere i legami molecolari vengono chiamate radiazioni non ionizzanti. I campi elettromagnetici prodotti da sorgenti artificiali, che svolgono un ruolo di primo piano nel mondo industrializzato (elettricità, microonde, campi a radiofrequenza) si trovano nella regione dello spettro elettromagnetico a lunghezze d'onda relativamente grandi e frequenze relativamente basse, ed i loro fotoni non sono in grado di rompere i legami chimici.

## CAPITOLO 2

### RADIAZIONI ELETTROMAGNETICHE NON IONIZZANTI

Le radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti, al contrario di quelle ionizzanti, non possiedono l'energia sufficiente per modificare le componenti della materia e degli esseri viventi (atomi, molecole), in quanto caratterizzate da fotoni aventi energia molto bassa, inferiore a circa 12 eV.

#### 2.1 – GENERALITA' E CLASSIFICAZIONE

Le radiazioni non ionizzanti costituiscono quella parte dello spettro elettromagnetico che va da 0 Hz a  $3 \times 10^6$  GHz, caratterizzato dai seguenti sottointervalli da cui dipendono anche i conseguenti effetti biologici ad esse associati (Tab. I):

- Campi elettromagnetici a frequenze estremamente basse (ELF): linee elettriche
- Radiofrequenze (RF): Telefoni cellulari, televisione, FM, AM, onde corte, CB, telefoni cordless
- Microonde (MO): Telefoni PCS, alcuni telefoni cellulari, forni a microonde, telefono cordless, onde millimetriche, scanner millimetri da aeroporto, rilevatori di movimento, telecomunicazioni a lunga distanza, radar, Wi-Fi, 5G
- Infrarosso (IR): luce del sole, radiazione termica, lampadina a

incandescenza, Laser, telecomando

- Luce visibile

Tab. I – Tipi di radiazioni non ionizzanti e relativi intervalli di frequenza.

Frequenze Estremamente Basse (ELF)	1 Hz - 300 KHz
Radiofrequenze (RF)	300 KHz - 300 MHz
Microonde (MW)	300 MHz - 300 GHz
Radiazione Ottica (IR – VIS – UV)	300 GHz - $3 \times 10^6$ GHz

## 2.2 - ELF

Fanno parte di questa categoria, secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), i campi con frequenza fino a 300 Hz. Data la bassa frequenza, la componente radiativa dei campi elettrici e magnetici si può considerare quasi nulla e sicuramente non ha energia sufficiente a rompere i complessi legami macromolecolari. La più nota applicazione di questi campi è la generazione, la distribuzione e l'uso dell'elettricità, alla frequenza di 50 Hz (60 Hz nel nord America). L'energia elettrica, generata nelle centrali, è distribuita alle utenze domestiche ed industriali attraverso le linee di distribuzione ad alta tensione. Stazioni di trasformazione sono utilizzate per abbassare la tensione e per l'utilizzo finale dell'energia stessa. La lunghezza d'onda collegata alla frequenza di 50 Hz è pari a 6000 km, e poiché a questi valori di frequenza e lunghezza

d'onda non è possibile stabilire una relazione matematica fra i due campi (elettrico e magnetico), trasportati dall'onda stessa, che risultano quindi indipendenti fra loro, per caratterizzare l'esposizione ad un campo ELF è necessario misurare entrambi i valori: quello del campo elettrico  $\vec{E}$  e quello del campo magnetico  $\vec{H}$ . Pertanto le due componenti di questi campi, quella elettrica e quella magnetica, devono essere considerate separatamente: le intensità relative delle componenti possono variare enormemente, a seconda della tipologia dell'impianto considerato. In relazione alle sorgenti dei campi a bassa frequenza, si può considerare la seguente semplice regola:

- Un campo elettrico è sempre presente quando c'è una differenza di potenziale, cioè una tensione (ad esempio un qualunque apparecchio elettrico collegato alla rete, anche se spento);
- Un campo magnetico è prodotto dalla presenza di una corrente (ad esempio lo stesso apparecchio, collegato alla rete ed acceso), in quest'ultimo caso il campo magnetico si aggiunge al campo elettrico.

Un'importante differenza fra il campo elettrico e quello magnetico è inoltre rappresentata dal fatto che il campo elettrico può essere facilmente schermato, e quindi ridotto, dalla presenza di oggetti conduttori, come edifici, veicoli e la stessa cute umana. Questo vuol dire che il campo elettrico all'interno di un oggetto può essere di intensità di parecchi ordini di grandezza inferiore rispetto

al campo elettrico esterno, in cui lo stesso oggetto è immerso. Il campo magnetico invece può attraversare diversi oggetti senza subire una sensibile riduzione. Questo avviene generalmente con l'organismo umano, che può essere facilmente penetrato dal campo magnetico e per questa ragione esso viene considerato potenzialmente molto più pericoloso del campo elettrico. Il meccanismo possibile di interazione dei campi ELF con gli organismi biologici è quello dell'induzione di correnti spurie indesiderate. Generalmente, il valore delle correnti endogene, che sono normalmente presenti all'interno dell'organismo per i propri processi vitali, dovrebbe essere comparabile a quello delle correnti indotte dai campi elettrici e magnetici esterni nell'intervallo di queste frequenze al fine di stabilire se gli effetti sulla salute sono possibili o meno. I risultati di ricerche, studi e valutazioni dei campi generati dalle linee ad alta tensione hanno dimostrato però che i livelli di questi campi presenti nell'ambiente sono generalmente così bassi che il meccanismo della corrente indotta non è sufficiente a spiegare la possibilità dell'insorgenza dei tumori o di altri effetti dannosi e pertanto sono stati proposti altri possibili meccanismi di interazione, che sono tuttora in fase di studio e i risultati attualmente disponibili non confermano la loro esistenza.

### 2.3 - RADIOFREQUENZE

Anche in questo caso l'energia dei campi radiativi è molto bassa per rompere qualsiasi tipo di legame biologico. Ma questo non vuol dire che non ci siano interazioni biologiche, in quanto essendo l'energia collegata a questi campi via via crescente, in funzione della frequenza, i meccanismi di interazione, sono strettamente connessi con l'energia che il campo porta con sé all'interno dell'organismo e quanta di questa energia viene ceduta all'organismo stesso. Pertanto, diversi sono gli effetti che si possono generare per interazione di questi campi con la materia vivente, a seconda delle caratteristiche sia della radiazione considerata, sia del soggetto esposto, sia del tipo di sorgente, sia del punto in cui avviene l'esposizione, ecc. Fra gli effetti più noti, quello ad oggi sicuramente accertato e per il quale è stato anche determinato un valore soglia di energia assorbita, almeno nel range da 10 MHz in su, è l'effetto termico, cioè l'innalzamento della temperatura del tessuto. E proprio per questo motivo i cosiddetti effetti termici sono stati presi come base di quasi tutti gli standard di sicurezza a tutt'oggi raccomandati. Naturalmente l'aumento di temperatura nella zona biologica interessata può essere più o meno dannoso a seconda del tempo in cui tale innalzamento rimane in loco, se la zona interessata può o non smaltire il calore accumulato e con quale velocità e così via. Comunque non sono stati

esclusi effetti di altra natura, cioè i cosiddetti effetti non termici che sono a tutt'oggi in fase di studio.

## 2.4 - MICROONDE

Le microonde sono radiazioni comprese tra le onde radio e l'infrarosso (lunghezza d'onda compresa tra qualche decina di centimetri e il millimetro). Sono utilizzate principalmente nelle telecomunicazioni, per radio-trasmissioni direzionali che comportano l'invio di segnali in una data direzione. Le microonde si possono ottenere mediante alcuni tipi di dispositivi a stato solido (speciali transistor o diodi) o mediante tubi a vuoto (klyostron, magnetron) in cui si sfruttano le interazioni tra un fascio elettronico e l'onda elettromagnetica emessa da un generatore.

Tra le principali applicazioni in telecomunicazione ricordiamo il radar, la televisione e i servizi telegrafici e telefonici. In questo caso i dispositivi che originano le microonde sono parte integrante di un'antenna (fig. 3), in cui gli elettroni vengono sottoposti a campi elettrici oscillanti, originando così a loro volta una corrente oscillante, e quindi anche un campo magnetico ugualmente oscillante. Ne risulta l'emissione di un'onda elettromagnetica (fig. 4)



Fig. 3 – Antenna per telefonia cellulare.

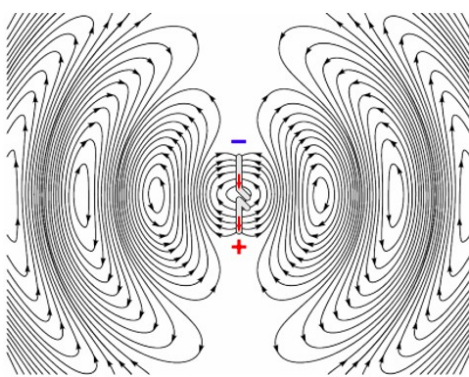


Fig. 4 – Schematizzazione del campo magnetico emesso da un'antenna.

Nei forni a microonde (fig. 5) la radiazione elettromagnetica agisce sulle molecole d'acqua contenute negli alimenti, e si sfrutta l'effetto termico che essa ha sulla materia attraversata: il campo elettrico oscillante della radiazione agisce sulle cariche elettriche di queste molecole, mettendole a loro volta in oscillazione. Le forze intermolecolari si oppongono al moto delle molecole, agendo come una forza di attrito viscoso e quindi dissipando sotto forma di calore parte dell'energia fornita dalle microonde all'alimento, che così si riscalda.



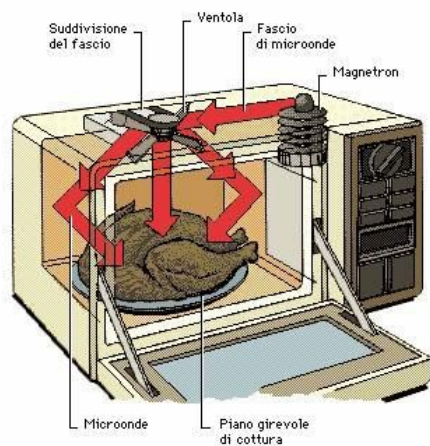


Fig. 5 – Il forno a microonde.

## 2.5 - RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI (ROA)

Si definiscono radiazioni ottiche tutte le radiazioni elettromagnetiche nella gamma di lunghezza d'onda compresa tra 100 nm e 1 mm. Queste, ai fini protezionistici, sono a loro volta suddivise in:

- Radiazioni ultraviolette (Tab II): radiazioni ottiche di lunghezza d'onda compresa tra 100 e 400 nm. La banda degli ultravioletti è suddivisa in UVA (315-400 nm), UVB (280-315 nm) e UVC (100-280 nm);
- Radiazioni visibili: radiazioni ottiche di lunghezza d'onda compresa tra 380 e 780 nm;
- Radiazioni infrarosse (Tab. III) : radiazioni ottiche di lunghezza d'onda compresa tra 780 nm e 1 mm. La regione degli infrarossi è suddivisa in IRA

(780-1400 nm), IRB (1400-3000 nm) e IRC (3000 nm – 1 mm).

Tab. II – Bande delle radiazioni ultraviolette

UVA	400 – 315 nm	3,10 – 3,94 eV	Onde lunghe UV, luce nera
UVB	315 – 280 nm	3,94 – 4,43 eV	Onde medie UV
UVC	280 – 100 nm	4,43 – 12,4 eV	Onde corte UV, germicida

Tab. III – Bande delle radiazioni infrarosse

IR-A	780 – 1400 nm	1,4 $\mu\text{m}$ - 214 THz
IR-B	1400 – 3000 nm	3 $\mu\text{m}$ - 100 THz
IR-C	3000nm – 1 mm	1000 $\mu\text{m}$ (1 mm) - 300 GHz

Qualora si consideri l'effetto dei raggi UV sulla salute umana, sappiamo che il Sole emette fotoni in una vasta gamma di frequenze, coprendo quelle della luce

ultravioletta in tutte e tre le bande UV-A, UV-B e UV-C, ma a causa dell'assorbimento da parte dell'ozonosfera circa il 99% degli ultravioletti che raggiungono la superficie terrestre sono UV-A. Infatti quasi il 100% degli UV-C e il 95% degli UV-B sono assorbiti dall'atmosfera terrestre (Standard ISO sulla determinazione dell'irradiazione solare ISO-21348).

Le radiazioni ottiche possono essere prodotte sia da fonti naturali che artificiali. La sorgente naturale per eccellenza è il Sole che, come è noto, emette in tutto lo spettro elettromagnetico. Le sorgenti artificiali, invece, possono essere di diversi tipi: oltre all'ampia gamma di lampade per l'illuminazione che emettono principalmente nel visibile, esistono lampade ad UVC per la sterilizzazione (fig. 6), ad UVB-UVA per l'abbronzatura o la fototerapia, ad UVA per la polimerizzazione o ad IRA-IRB per il riscaldamento (fig. 7).



Fig. 6 – Lampada ad UVC per la sanificazione di indumenti.



Fig. 7 – Lampada riscaldante a raggi infrarossi.

Tutte le precedenti lampade emettono luce di tipo incoerente, mentre, nel caso dei laser (fig. 8), si è in presenza di sorgenti monocromatiche (una sola ben precisa lunghezza d'onda), con fasci di elevata densità di energia, altamente direzionali e, appunto, coerenti (la fase di ciascun fotone viene mantenuta nel tempo e nello spazio). L'altissima focalizzazione del fascio laser, che concentra l'energia in regioni molto limitate anche a grandi distanze, impone una certa cautela nei suoi utilizzi e, in molti casi, l'obbligo di adeguate misure di protezione per coloro che possono in qualche modo interagire con il fascio stesso. Da qui la necessità di suddividere i laser in 4 classi, che vanno dalla classe 1, in cui non è pericolosa l'osservazione prolungata e diretta del fascio, alla classe 4, in cui è pericolosa anche l'osservazione della luce diffusa da uno schermo.

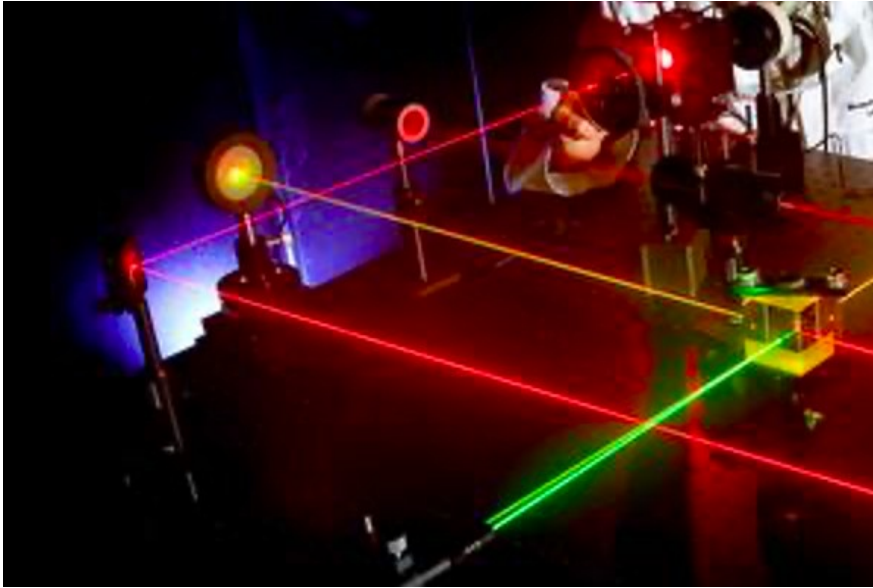


Fig.8 Esempi di fasci laser.

## CAPITOLO 3

### INTERAZIONE CON LA MATERIA

Nel maggio 1996, in risposta alle crescenti preoccupazioni per i possibili effetti sanitari dell'esposizione a sorgenti di campi elettromagnetici, l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha avviato un progetto internazionale per valutare gli effetti sanitari ed ambientali dell'esposizione a campi elettrici e magnetici, che è noto come Progetto Internazionale CEM. Questo progetto intende unificare le conoscenze e le risorse disponibili delle principali organizzazioni e istituzioni scientifiche internazionali, allo scopo di arrivare a raccomandazioni scientificamente fondate per la definizione dei rischi sanitari dell'esposizione ai campi elettromagnetici variabili nell'intervallo 0-300 GHz. Gli studi sugli effetti biologici e sanitari dei campi elettromagnetici devono essere svolti da più punti di vista in aree di ricerca diverse al fine di avere una visione complessiva del problema in esame. I differenti tipi di studio indagano diversi aspetti del problema:

- le ricerche di laboratorio su sistemi cellulari, che mirano a chiarire i meccanismi molecolari sottostanti ad un eventuale collegamento tra esposizione a campi elettromagnetici ed effetti biologici;
- gli studi su animali, che sono più strettamente collegati a situazioni di vita reale e forniscono dati di più diretta rilevanza per poter stabilire dei livelli di

esposizione sicura per l'uomo;

- gli studi epidemiologici, ovvero gli studi sull'uomo che indagano cause di distribuzioni delle patologie in situazioni di vita reale, entro date comunità e gruppi professionali.

Per queste ragioni, quando devono essere prese decisioni su eventuali rischi per la salute, gli scienziati e i rispettivi governi cui fanno riferimento devono valutare tutti i dati significativi, sia quelli derivanti da studi su cellule che quelli su animali ed integrare i suddetti con gli studi epidemiologici svolti sull'uomo. Tuttavia, trovare una correlazione di tipo statistico tra un certo agente e una specifica patologia non significa necessariamente che il primo abbia causato la seconda. L'ipotesi di una relazione causa-effetto è rafforzata se esiste una forte associazione tra esposizione ed effetto, una chiara relazione dose-risposta o il sostegno di pertinenti studi e la coerenza tra loro (per esempio, ove sia possibile, gli studi in doppio cieco). Tali fattori sono in genere risultati assenti negli studi che riguardavano i campi elettromagnetici. Questa è una delle ragioni più forti per le quali la maggioranza degli scienziati sia al momento generalmente incline a escludere che deboli campi elettromagnetici provochino degli effetti sanitari.

Ma perché la ricerca dovrebbe continuare ancora oggi se gli studi portati avanti finora, dopo alcuni decenni, non hanno in definitiva dimostrato effetti rilevanti? La risposta a questo interrogativo risulta piuttosto semplice: gli studi sull'uomo

sono ottimi per identificare grandi effetti, come l'evidenza di una diretta connessione tra fumo e cancro, ma sono molto meno in grado di distinguere un piccolo effetto dalla mancanza di effetti. Se i campi elettromagnetici, ai tipici livelli ambientali, fossero potenti cancerogeni, sarebbe stato molto facile dimostrarlo. È però molto più difficile dimostrare se i campi elettromagnetici di bassa intensità sono un debole cancerogeno, o anche se sono un potente cancerogeno ma solo per un piccolo gruppo di persone all'interno di una comunità più vasta. Infatti, anche nel caso in cui uno studio di ampie proporzioni non mostri alcuna associazione, non potremo mai essere del tutto sicuri che non esista nessuna relazione. L'assenza di un effetto potrebbe significare che effettivamente non ne esiste alcuno, ma potrebbe altrettanto significare che l'effetto è semplicemente non rivelabile con quel particolare metodo di misura o in quel particolare contesto. Quindi, i risultati negativi non sono generalmente tanto esaustivi quanto quelli fortemente positivi. Per questo motivo la ricerca scientifica va avanti quotidianamente in questo campo di studi, al fine di ottimizzare i criteri di analisi, produrre dati di sempre maggiore attendibilità e sviluppare linee guida per la protezione della popolazione basate su una sempre più robusta rilevanza scientifica.



### 3.1 - EFFETTI BIOLOGICI ED EFFETTI SANITARI

Quando un organismo biologico viene immerso in un campo elettromagnetico si ha una perturbazione dell'equilibrio elettrico a livello molecolare, in quanto tali campi generano correnti e campi elettrici variabili nel tempo che a loro volta inducono una stimolazione diretta delle cellule eccitabili, come quelle dei tessuti nervoso e muscolare.

Una prima e importante distinzione va fatta tra **effetti biologici** e **effetti sanitari**. Quest'aspetto è stato precisato dall'OMS nel Promemoria n. 182 del 1998:

- Si verifica un effetto biologico quando l'esposizione alle onde elettromagnetiche provoca qualche variazione fisiologica notevole o rilevabile in un sistema biologico
- Si ha invece un effetto sanitario (di danno alla salute) quando l'effetto biologico è tale da non poter essere compensato naturalmente dall'organismo, portando a una qualche condizione di danno alla salute, essendo quest'ultima intesa come stato di completo benessere psico-fisico e socio-comportamentale.

Gli effetti biologici sono a loro volta distinti in **diretti** e **indiretti**: gli effetti diretti risultano dall'interazione diretta fra i CEM ed il soggetto esposto; quelli indiretti implicano l'interazione con oggetti ad un potenziale elettrico diverso da quello del corpo.

Il termine “effetto biologico” viene utilizzato in modo neutro sia per indicare effetti positivi, come la stimolazione tissutale che si applica per migliorare ad esempio la guarigione di fratture ossee, sia per effetti negativi, come l’induzione di tumori o la produzione di danni ai sistemi nervoso, immunitario, cardiovascolare e riproduttivo. Gli effetti sanitari si distinguono in:

- a breve termine o immediati, di natura acuta o deterministica, effetto con presenza di soglia di esposizione;
- a lungo termine o stocastici, di natura cronica, senza la presenza di soglia (classico esempio è l’insorgenza di tumori).

Si deduce facilmente da questa distinzione che per gli effetti con soglia di esposizione la protezione è molto semplice, basta infatti limitare l’esposizione all’agente nocivo ad un valore inferiore a quello di soglia perché l’effetto non si verifichi. Allo stato attuale si hanno conoscenze certe solo per quanto concerne gli effetti acuti di natura deterministica, per gli effetti cronici sono necessari ulteriori studi. Effetti acuti e cronici possono essere diversi a seconda della frequenza  $\nu$  (Ahlbom et al. 2004):

- effetti acuti con  $\nu < 100$  Hz: abbiamo un’interferenza delle correnti indotte con i meccanismi fisiologici di attivazione muscolare e della percezione sensoriale, quindi per esposizioni sufficientemente intense si possono verificare sensazioni tattili o visive disturbate o contrazioni muscolari involontarie

- effetti cronici con  $\nu < 100$  Hz: si possono verificare sintomi soggettivi come cefalee ed insonnia e sintomi oggettivi come malattie degenerative e tumori;
- effetti acuti con  $\nu > 100$  Hz: sono dovuti al riscaldamento locale dei tessuti provocati per effetto Joule delle correnti indotte;
- effetti cronici con  $\nu > 100$  Hz: si hanno degli effetti a livello del sistema nervoso centrale e sugli apparati circolatorio, neurovegetativo e neuroendocrino.

### 3.2 - PERICOLOSITA' DELLE RADIAZIONI NON IONIZZANTI ED EFFETTI COMPROVATI E POTENZIALI

L'interazione delle radiazioni non ionizzanti con la materia è dovuta essenzialmente alla polarizzazione delle molecole del mezzo, ed al loro successivo rilassamento. Come già accennato, l'intensità  $I$  dell'onda incidente decresce esponenzialmente con la distanza dalla sorgente:

$$I(x) = I_0 e^{-x/L} \quad (5)$$

In cui  $I_0$  è l'intensità incidente ed  $L$  è definita come la lunghezza di penetrazione nel materiale, cioè la profondità raggiunta dall'onda in quel materiale quando l'intensità incidente è ridotta del fattore  $e$ .

La lunghezza di penetrazione delle radiazioni non ionizzanti dipende dalla conducibilità elettrica e dalla costante dielettrica del mezzo, e dalla frequenza

dell'onda incidente, in maniera inversamente proporzionale a quest'ultima, di modo che la maggior parte dell'energia trasportata dalle onde e.m. di alta frequenza viene dissipata negli strati superficiali del corpo umano; le differenze fra le costanti dielettriche dei diversi tipi di tessuti che l'onda incontra lungo il suo percorso di propagazione portano a diversi valori di assorbimento e riflessione, con diversi tipi di conseguenze.

In ogni caso, l'interazione con la radiazione comporta fenomeni termici dovuti all'assorbimento dell'onda (fenomeni che possono innalzare la temperatura dei tessuti), e fenomeni "non termici" dovuti al rilassamento dei dipoli indotti ed alla conseguente ricombinazione delle strutture interessate: il campo elettrico dell'onda incidente può ad esempio interagire con la membrana cellulare, alterando il potenziale di membrana e la sua funzione nella conduzione degli impulsi nervosi.

Nel caso di radiazioni non ionizzanti l'effetto del trasferimento dell'energia della radiazione al sistema biologico con cui interagisce è rappresentato principalmente dalla produzione di calore, fenomeno di notevole importanza in quanto può comportare un possibile incremento significativo della temperatura corporea e quindi un possibile danno a livello cellulare e subcellulare. Inoltre, si possono ipotizzare anche altri effetti indesiderati, che non si spiegano con il solo riscaldamento dei tessuti e che per questo sono detti atermici. Un'osservazione

fondamentale è che dal punto di vista delle radiofrequenze e microonde il principale mezzo assorbitore nel corpo umano è costituito dall'acqua, pertanto, per un campo elettromagnetico, l'uomo è assimilabile ad un contenitore d'acqua. Occorre quindi fare distinzione fra i tessuti ricchi di acqua, i quali assorbono energia in misura maggiore, e quelli che non contengono acqua o ne contengono solo in minima parte, come per esempio il tessuto adiposo, nei quali l'assorbimento è inferiore.

### 3.3 - GLI EFFETTI TERMICI (EFFETTI ACUTI)

Gli effetti riconosciuti dei campi ad alta frequenza sono connessi all'assorbimento di energia ed 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 per unità di tempo e per unità di massa si utilizza il cosiddetto SAR (acronimo di Specific Absorption Rate) espresso in watt per chilogrammo di massa corporea (W/kg). Il valore di base del SAR ha una corrispondenza diretta con gli effetti biologici dell'esposizione elettromagnetica.

Alcune ricerche condotte su cavie animali (Aja, Radiofrequency electromagnetic fields 300 Hz- 300 GHz, 1997) hanno dimostrato che l'esposizione può causare effetti di vario genere (come 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 (Progetto Allievi, ARPA e AUSL di Piacenza).

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 i testicoli. Essi si riscaldano più velocemente e sono quindi più esposti al rischio rispetto ad altre zone del corpo.

Nella tabella seguente (Tab. IV) sono riportate le soglie per i principali effetti acuti: tra parentesi è indicata la banda di frequenza interessata; i termini "minimo" e "tipico" si riferiscono alla variazione da individuo ad individuo; per l'effetto termico, è riportato il valore di SAR universalmente considerato "sicuro".

Tab. IV - Soglie di densità di corrente e SAR per i principali effetti acuti

Densità di corrente e SAR	Frequenza	Principali effetti acuti
10 mA/m <sup>2</sup>	(20 Hz)	Valore minimo per la generazione di fosfeni (allucinazioni ottiche).
100 mA/m <sup>2</sup>	(10÷400 Hz)	Valore minimo per la stimolazione dei recettori nervosi periferici (percezione di formicolii e sensazioni analoghe).
0.5 A/m <sup>2</sup>	(10÷100 Hz)	Valore tipico per la stimolazione di contrazioni nella muscolatura scheletrica.
0.8 A/m <sup>2</sup>	(10÷100 Hz)	Valore minimo per l'eccitazione di extrasistole ventricolari.
2 A/m <sup>2</sup>	(10÷100 Hz)	Soglia minima di innesco della fibrillazione ventricolare con tempi di stimolazione di almeno 1 secondo.
0.4 W/kg	(>100 kHz)	Soglia "termica".

### 3.4 - GLI EFFETTI ATERMICI (EFFETTI A LUNGO TERMINE)

Oltre agli effetti termici prima descritti, le radiazioni elettromagnetiche possono in generale determinare nell'uomo degli effetti biologici associati a valori di SAR molto più bassi (< 0,01 W/kg). 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 (ISDE, Rapporto indipendente sui campi elettromagnetici 2019). Dai vari studi eseguiti emergono alcuni possibili effetti (EpiCentro ISS, Studi e

Pubblicazioni), fra i quali:

- alterazioni dell'attività enzimatica della ornitine decarbossilasi (un enzima che, quando è attivo, è associato all'insorgenza di tumori)
- modifica del tenore di calcio nelle cellule e delle proteine della membrana cellulare, con conseguente possibile alterazione del meccanismo di trasporto degli ioni attraverso la membrana stessa (fenomeno essenziale per le cellule cerebrali).

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 come 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 (Static and Extremely Low-Frequency Electric and Magnetic Fields, IARC, 2001).

Fino ad oggi non si possono ancora valutare con certezza gli effetti sulla salute



prodotti dagli effetti atermici delle radiazioni ad alta frequenza o a bassissima frequenza, né si possono stabilire dei limiti di legge “assolutamente sicuri”. Ad oggi, 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. A livello internazionale si raccomanda un monitoraggio scientifico costante e qualificato dei possibili rischi per la salute prodotti dalla telefonia mobile, accompagnato da una valutazione continua e sistematica dei risultati. Anche per questo, è sempre consigliabile adottare tutte le misure cautelative possibili.

### 3.5 - ORGANI BERSAGLIO E SINTOMATOLOGIA

- Per le microonde e le radiofrequenze:

Gli effetti biologici dovuti ad esposizione a queste radiazioni sono soprattutto di natura termica ma, come sottolineato sopra, non si escludono effetti atermici legati alla potenziale capacità della radiazione elettromagnetica di alterare il contenuto di informazione di segnali bioelettromagnetici intra ed intercellulari.

Il corpo umano assorbe l'energia elettromagnetica con particolare efficacia alle frequenze di risonanza, che per l'uomo cadono fra 30 e 300 MHz, con un picco di assorbimento fra 60 e 80 MHz. In termini di rischio l'OMS distingue tre fasce di valori di densità di potenza: superiore a 10 mW/cm<sup>2</sup>, inferiore a 1 mW/cm<sup>2</sup>,

ed una fascia intermedia.

Per quanto riguarda i possibili effetti termici per il personale professionalmente esposto, il campo è ristretto a due bersagli critici, gli occhi e le gonadi:

- il cristallino, privo di vasi, può andare incontro ad opacizzazione dopo ripetute esposizioni a valori di densità di potenza oltre  $10 \text{ mW/cm}^2$ ;
- le gonadi si ritengono organi critici in base agli effetti osservati su animali esposti a potenze superiori a  $50 \text{ mW/cm}^2$ : degenerazione, atrofia e fibrosi dei testicoli; alterazioni del ciclo ed aumento della percentuale di aborti.

Per quanto riguarda gli effetti atermici le condizioni di esposizione necessarie per la comparsa di questi effetti (bassa densità di potenza e lunghi tempi di esposizione) riguardano soprattutto le fasce professionalmente esposte. Si tratta di un tema controverso con posizioni più o meno pessimistiche, ma in linea generale possiamo parlare di danni a carico del sistema nervoso, con sintomi simili a quelli dovuti allo stress.

- Per raggi infrarossi:

- effetti dannosi di tipo termico a carico dell'occhio (retina e cristallino) e della pelle

I raggi infrarossi penetrano nei tessuti organici e possono provocare danni. Maggiore è la lunghezza d'onda, minore è la profondità di penetrazione nei

tessuti. Come già accennato, la radiazione infrarossa si suddivide in tre categorie.

- IR-A è la radiazione con la profondità di penetrazione più elevata e può colpire la retina e il tessuto adiposo.
- IR-B non colpisce la retina e penetra solo nei vasi sanguigni sfiorando appena il tessuto adiposo.
- IR-C non oltrepassa lo strato superficiale della pelle e della cornea.

I danni termici si verificano in seguito all'aumento della temperatura del tessuto. Esporre la pelle a una fonte di radiazioni infrarosse di intensità molto elevata può causare ustioni. Di fatto, però, si tratta di un'eventualità decisamente remota, poiché la sensazione di dolore si manifesta già prima che la pelle subisca dannose scottature e permette di allontanarsi in tempo dalla fonte di calore.

Per quanto riguarda gli effetti dannosi a carico dell'occhio, la ripetuta esposizione del cristallino al calore delle radiazioni infrarosse può favorire lo sviluppo della cataratta (Sergi, 2010).

La retina subisce un danno irreversibile se il tessuto, esposto al calore, supera una certa temperatura critica (Sergi, 2010).

• Per raggi UV:

Lo spettro delle radiazioni UV è piuttosto ampio (da 100 a 400 nm). La luce

solare ad esempio è ricca di radiazioni a grande lunghezza d'onda (UV vicino, superiore ai 280 nm) capaci di penetrare in profondità nello strato cutaneo e responsabili di una pigmentazione cutanea intensa e duratura. Molto diversa è la radiazione delle lampade a vapori di mercurio, in cui si ha uno spettro discontinuo a righe, spostato verso le lunghezze d'onda brevi (UV lontano, 250 nm), poco penetranti nell'epidermide, ad azione più infiammante (eritema e congiuntivite) che pigmentante. Aumentando la frequenza (cioè per lunghezze d'onda di circa 125 nm) gli UV sono già ionizzanti (energia 10 eV). L'UV lontano, inoltre, interagisce con il DNA, provocando gravi danni (effetti mutageni).

Tra gli effetti biologici si distinguono quelli a lungo e a breve termine:

- effetti acuti a breve termine: azione infiammatoria a livello di cute e congiuntiva. Alcune lunghezze d'onda (250- 295 nm) sono più eritemogene di altre.
- patologia a lungo termine: possibile induzione di neoplasie cutanee. In questi casi la pelle del viso è discromica, discheratosica, infiammata; come ogni tessuto cronicamente infiammato può andare incontro alla trasformazione cancerosa. Non esiste, tuttavia, una statistica sufficiente per la correlazione tra tumori della pelle ed esposizione ad UV non ionizzanti.

### 3.6 - DOSIMETRIA E VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE

Per quanto riguarda i vari tipi di tessuti (muscolo, pelle, ossa, ecc.) si conoscono abbastanza bene i parametri fisici attraverso i quali è possibile valutare, in via del tutto teorica, il relativo deposito di energia ed è quindi possibile fare una valutazione dosimetrica.

Pertanto, dal punto di vista protezionistico, non è fondamentale conoscere la potenza dell'onda che investe un corpo, cioè l'esposizione, ma è molto più importante sapere quanta energia è stata assorbita dal corpo stesso, in quanto è proprio quest'ultima che può innescare dei meccanismi che possono portare a danni biologici: per esempio il riscaldamento indotto può provocare risposte fisiologiche legate alla termoregolazione e/o influenzare (per aumenti della temperatura di 1-2 °C/ora) lo sviluppo fetale, la fertilità maschile e indurre opacità oculari.

I modelli dosimetrici, dunque, costituiscono gli strumenti fisico-matematici che permettono di risalire alle grandezze di campo elettrico e magnetico, e a quelle di corrente indotta e distribuzione superficiale di carica (per campi con frequenza fino a 50 Hz), una volta note le condizioni di esposizione e le caratteristiche del campo. L'IRPA-INIRC ha definito dei limiti primari, espressi cioè da una grandezza dosimetrica, direttamente correlabile agli effetti biologici osservabili. Tali grandezze sono il SAR, per esposizione a campi

elettromagnetici ad alta frequenza, e la densità di corrente  $J(\text{A}/\text{m}^2)$  indotta nel corpo umano, per campi a bassa frequenza.

La densità di corrente indotta, dall'esposizione ad un CEM di bassissima frequenza, è la grandezza fisica maggiormente correlata all'effetto biologico di tipo acuto. Essendo però interna ai tessuti non è possibile misurarla nell'uomo, in condizioni reali, pertanto, è necessario sviluppare dei modelli fisici e numerici attraverso i quali tale grandezza possa essere correlata al campo elettrico e magnetico, che, essendo esterni al corpo umano risultano, direttamente misurabili. Si parla di limiti secondari facendo riferimento quindi a valori limite di campo elettrico  $E(\text{V}/\text{m})$ , campo magnetico  $H(\text{A}/\text{m})$  e densità di potenza incidente ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).

Per quanto riguarda il campo elettromagnetico non ionizzante ad alta frequenza, cioè a frequenze superiori ai 100Hz, il meccanismo d'interazione CEM – materia consiste principalmente nell'assorbimento dell'energia elettromagnetica incidente. Il modello più semplice per lo studio dei meccanismi d'accoppiamento alle alte frequenze sfrutta l'ipotesi che le dimensioni del soggetto esposto siano molto maggiori della lunghezza d'onda. Si ha quindi che una parte della radiazione in arrivo viene riflessa ed un'altra parte penetra nel materiale biologico, depositandovi potenza e attenuandosi quindi esponenzialmente. La profondità di penetrazione è inversamente proporzionale

alla frequenza del campo e alla conducibilità elettrica del tessuto esaminato. Più alta è la frequenza meno profondamente penetra nel corpo, depositando tutta l'energia negli strati superficiali. La grandezza dosimetrica che meglio descrive lo scambio energetico tra radiazioni elettromagnetiche e materia vivente è il SAR.

L'energia elettromagnetica viene dissipata nel corpo sotto forma di calore ed è proprio il riscaldamento dei tessuti a provocare effetti nocivi per la salute nel caso di CEM ad alta frequenza. I valori di SAR indicati dall'ICNIRP come limiti sono:

- 0,4 W/Kg per lavoratori (10 volte inferiore al limite oltre il quale si manifestano danni irreversibili)
- 0,08 W/Kg per la popolazione (50 volte inferiore al limite oltre il quale si manifestano danni irreversibili).

Nel caso invece dell'esposizione ad un campo elettromagnetico non ionizzante a bassa frequenza, essa implica un assorbimento trascurabile di energia elettromagnetica con, di conseguenza, un aumento non apprezzabile della temperatura corporea. In questo caso l'unico effetto da considerare è l'induzione di correnti all'interno del corpo. L'approssimazione adottata comunemente è quella statica, che ci permette di considerare i campi elettrico e magnetico disaccoppiati. Le condizioni che consentono di affrontare il problema dei due

campi separatamente, applicabili fino a 50-100 kHz, devono essere:

- dimensioni dell'oggetto esposto molto minori della lunghezza d'onda (facilmente soddisfatta essendo, per  $\nu = 100$  kHz,  $\lambda = c/\nu = 3$  Km) e della profondità di penetrazione;
- i tessuti biologici devono poter essere considerati buoni conduttori.

Per quanto riguarda il campo elettrico, poiché in realtà quello dovuto ad un CEM non è costante, ma varia nel tempo in modo sinusoidale, si generano delle correnti indotte, che costituiscono la primaria conseguenza dell'esposizione. La loro intensità è proporzionale alla frequenza e all'ampiezza del campo elettrico.

Per quanto riguarda il campo magnetico, nel caso di fenomeni statici, si può dire che un organismo non risente in modo significativo della presenza di un campo magnetico. La situazione cambia notevolmente per campi oscillanti: per la legge d'induzione di Faraday, ogni campo magnetico variabile nel tempo induce in un conduttore delle correnti interne. A loro volta, tali correnti sono sorgenti di un campo magnetico secondario in grado di perturbare il campo originario. È possibile dimostrare che la perturbazione (dipendente dalla frequenza, dalla conducibilità dei tessuti e dalle dimensioni del soggetto esposto) nel caso dell'uomo è trascurabile per frequenze fino ai 100 kHz (ARPAE).

La permeabilità magnetica della maggior parte dei tessuti biologici ha valori prossimi a quella del vuoto. La distribuzione di campo magnetico è pressoché



uguale a quella che si avrebbe in assenza dell'individuo esposto, ed il campo al suo interno è pari a quello esterno.

Le correnti indotte attraversano completamente l'individuo, interessando anche gli organi interni e scegliendo i percorsi a minore resistenza (cioè i tessuti a più alta conducibilità), fino a scaricarsi a terra attraverso le piante dei piedi. Queste correnti, fortunatamente, non hanno mai intensità troppo elevate, e ciò garantisce una limitazione degli effetti anche nel caso di campi molto intensi.

## CAPITOLO 4

### SALUTE E SICUREZZA NELL'AMBIENTE E NEI LUOGHI DI LAVORO

Al variare della frequenza dei campi elettromagnetici, cambiano i rischi potenziali per la salute e quindi anche i corrispondenti limiti di esposizione. Gli organismi internazionali e nazionali, che hanno il compito della protezione della salute e dell'ambiente, hanno sviluppato ricerche che hanno consentito l'elaborazione di una serie di raccomandazioni e normative.

#### 4.1 - NORMATIVA DI RIFERIMENTO NAZIONALE ED INTERNAZIONALE

Per quanto riguarda le radiazioni non ionizzanti, a livello internazionale, ricordiamo: “Le linee guida sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici magnetici ed elettromagnetici con frequenze tra 1 Hz e 300 GHz”, che è il principale riferimento mondiale in tema di protezione dagli effetti da campi elettromagnetici emanato nel 1998 dalla Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti (ICNIRP).

I criteri adottati dall'ICNIRP sono chiaramente esplicitati nelle linee guida:

1) i limiti di esposizione sono definiti in base al consenso scientifico, dopo un esame critico dell'intero corpo della letteratura che viene vagliata in base alla

qualità dei lavori, alla loro coerenza e alla riproducibilità dei risultati;

2) si possono razionalmente definire limiti di esposizione solamente nei confronti degli effetti che siano stati chiaramente identificati dalla ricerca (“established” nella terminologia anglosassone);

3) i limiti devono contenere adeguati margini di sicurezza per tener conto dell’incertezza dei dati;

4) le linee guida devono essere revisionate nel tempo, aggiornandole ai più recenti risultati della ricerca.

Per quanto riguarda la Normativa Comunitaria (UE) in vigore, vi è la direttiva 2013/35/UE che riguarda le disposizioni minime di sicurezza e di salute delle persone esposte. Per quanto riguarda, inoltre, la Normativa Nazionale ricordiamo la prima legge organica che regola la materia (“Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici” del 22/02/2001 n.36), che si basa su un approccio precauzionale nei confronti dei possibili effetti a lungo termine. Tale legge indica:

- Limiti 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 ...”;

- Valori 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 [...]. 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”;

- Obiettivi di qualità: “i criteri localizzativi, gli standard urbanistici, le prescrizioni e le incentivazioni per l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili, ...”.

Vengono, quindi, definiti tre livelli di indicatori in funzione delle diverse esigenze di protezione. La fissazione dei diversi limiti viene demandata a decreti successivi. Il DPCM 08/07/2003 “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.”, fissa i limiti di esposizione di 100  $\mu\text{T}$  per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci. Nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10  $\mu\text{T}$ , da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio. Nella progettazione di nuovi insediamenti o aree adibite a permanenze non inferiori a quattro ore, in prossimità di linee ed installazioni elettriche già

presenti nel territorio, è fissato l'obiettivo di qualità di 3  $\mu\text{T}$  per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio (Tab. V).

Tab. V - Limiti di esposizione, valori di attenzione e obiettivi di qualità per i campi elettromagnetici alla frequenza di rete generati dagli elettrodotti

	Intensità campo elettrico E (kV/m)	Intensità induzione magnetica B ( $\mu\text{T}$ )
Limiti esposizione	5	100
Limiti attenzione	5	10
Obiettivi di qualità	/	3

Il DPCM del 08/07/2003 “Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz” fissa i limiti per il campo elettrico, il campo magnetico e la densità di potenza per le sorgenti a radiofrequenza, riprendendo le prescrizioni del DM 381/98 (Tab. VI):

Tab. VI - Limiti di esposizione, valori di attenzione e obiettivi di qualità per i campi elettromagnetici con frequenze comprese fra 100 kHz e 300 GHz

	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo Magnetico H (A/m)	Densità di Potenza D (W/m <sup>2</sup> )
Limiti di esposizione			
0,1 < f ≤ 3 MHz	60	0,2	-
3 < f ≤ 3000 MHz	20	0,05	1
3 < f ≤ 300 GHz	40	0,01	4

	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Densità di Potenza D (W/m <sup>2</sup> )
Valori di attenzione			
0,1 MHz < f ≤ 300 GHz	6	0,016	0,10 (3 MHz-300 GHz)

	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Densità di Potenza D (W/m <sup>2</sup> )
Obiettivi di qualità			
0,1 MHz < f ≤ 300 GHz	6	0,016	0,10 (3 MHz-300 GHz)

In corrispondenza di edifici adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore, i limiti suddetti vengono ulteriormente ridotti, indipendentemente dalla frequenza, a 6 V/m per il campo elettrico, a 0,016 A/m per il campo magnetico e, solo per le frequenze comprese tra 3 MHz e 300 GHz, a 0,1 W/m<sup>2</sup> per la densità di potenza. Gli stessi valori vengono fissati come obiettivi di qualità da raggiungersi all'aperto nelle aree intensamente frequentate.

In attuazione dei principi della Legge quadro 36/01 la Regione Marche ha emanato infine la Legge n. 25 del 13 novembre 2001 “Disciplina Regionale in materia di impianti fissi di radiocomunicazione al fine della tutela ambientale e

sanitaria della popolazione” che fra le altre:

- prevede il rilascio di una concessione edilizia per l’installazione di nuovi impianti o per la modifica di impianti preesistenti sia per emittenti radiofoniche e televisive sia per stazioni radio base per telefonia mobile;
- prevede che i Comuni adottino dei regolamenti per assicurare il corretto insediamento urbanistico e territoriale degli impianti;
- vieta l'installazione dei sistemi radianti relativi agli impianti di radiodiffusione su: o edifici destinati ad abitazioni, a luoghi di lavoro o ad attività diverse da quelle specificatamente connesse all'esercizio degli impianti stessi; o ospedali, case di cura e di riposo, edifici adibiti al culto, scuole ed asili nido, parchi pubblici, parchi gioco, aree verdi attrezzate e impianti sportivi; o in zone classificate dagli strumenti urbanistici come zone di interesse paesaggistico-ambientale, storico architettonico, monumentale ed archeologico.
- vieta l'installazione di impianti per telefonia mobile su: o immobili vincolati o individuati dai Comuni come edifici di pregio storico-architettonico; o ospedali, case di cura e di riposo, edifici adibiti al culto, scuole ed asili nido, parchi pubblici, parchi gioco, aree, verdi attrezzate e impianti sportivi.

Prendendo in esame le raccomandazioni internazionali, esse escludono esplicitamente dal loro ambito effetti a lungo termine, come lo sviluppo di tumori, che sono stati suggeriti da alcuni studi isolati ma dei quali non esiste

un'evidenza scientifica chiara e coerente. Vale la pena di sottolineare in proposito che rispetto al caso degli effetti acuti che si possono completamente prevenire mediante adeguati limiti di esposizione, la protezione da eventuali effetti a lungo termine richiede un approccio concettualmente diverso. Data la natura stocastica di tali effetti, qualunque limite potrebbe permettere una mitigazione, ma non un'eliminazione del rischio. Qualunque limite sarebbe dunque arbitrario da un punto di vista scientifico e dovrebbe tenere conto di altri elementi. Esemplare è in questo senso l'approccio universalmente adottato per le radiazioni ionizzanti (riconosciute come un cancerogeno certo) e noto come principio ALARA (As Low As Reasonably Achievable). Secondo tale principio le esposizioni dovrebbero essere mantenute "al più basso livello ragionevolmente raggiungibile, tenendo in considerazione fattori economici e sociali". Per questi motivi diverse istituzioni, tra cui l'OMS e la Commissione Europea, nel raccomandare l'adozione delle normative internazionali, notano che la riduzione arbitraria di limiti scientificamente fondati mina la fiducia nella ricerca e nelle istituzioni e può portare, come è stato provato, ad un aumento piuttosto che a una riduzione delle preoccupazioni e delle tensioni sociali.



## 4.2 - NORMATIVA PER LA SICUREZZA SUL LAVORO

L'obbligo di misure di protezione dei lavoratori dai rischi da esposizione a CEM è espressamente previsto nel Titolo VIII sugli Agenti Fisici del Decreto legislativo 81/2008. Va rilevato che, anche in questo caso, le misure previste sono mirate alla protezione dagli effetti a breve termine, mentre quelli a lungo termine non sono presi in considerazione in quanto ritenuti non dimostrati. Sulla base di una valutazione del rischio da CEM, da ripetere almeno ogni 4 anni, il Datore di Lavoro (DDL) deve definire le misure necessarie per eliminare o ridurre al minimo il rischio. Il D.Lgs 81/2008 stabilisce anche dei Valori Limite di Esposizione (VLE) differenziati tra effetti sanitari (riscaldamento, stimolazione dei tessuti nervoso o muscolare) ed effetti sensoriali (vertigini, sapore metallico, magnetofosfene, ecc.), oltre che dei valori di azione (VA), ovvero dei limiti operativi il cui rispetto implica un rispetto anche dei VLE. I limiti, variabili in funzione delle frequenze, derivano dalle indicazioni dell'ICNIRP. Altri limiti di esposizione professionale, non del tutto sovrapponibili, sono stati proposti dall'American Conference of Industrial Hygienists (ACGIH). Le misure da attuare devono tenere conto anche dei lavoratori appartenenti a gruppi con particolare sensibilità al rischio (es. i portatori di dispositivi medici), oltre che delle donne in stato di gravidanza e di eventuali minori. Per un'efficace prevenzione è di particolare importanza che

tutti i lavoratori siano adeguatamente informati sui possibili rischi della esposizione, incluse le condizioni di maggiore suscettibilità e le controindicazioni all'esposizione, sui risultati della valutazione del rischio effettuata, sulle procedure per ridurre al minimo i rischi, sulle modalità per individuare e segnalare eventuali gli effetti avversi e sulle circostanze nelle quali è opportuno richiedere una sorveglianza sanitaria (SS).

#### 4.3 - VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Il 29 giugno 2013 è stata pubblicata la Direttiva europea 2013/35/UE sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dai campi elettromagnetici. La direttiva è stata poi recepita in Italia con il Decreto legislativo del 01 agosto 2016, n. 159, un utile supporto per i datori di lavoro soprattutto delle piccole e medie imprese (PMI) è fornito dalla Guida pratica in tre volumi della Commissione europea "Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della Direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici".

In particolare il primo e il secondo volume della Guida forniscono un approccio metodologico e consigli di buona pratica utilizzabili da ogni datore di lavoro per la gestione dei rischi associati all'esposizione ai campi elettromagnetici. Ed è spiegata l'applicazione pratica dell'approccio alla valutazione del rischio e i vari

passi da seguire nel processo di valutazione.

Generalmente i criteri per valutare il rischio di esposizione a qualsiasi tipo di agente nocivo, sia esso fisico, chimico, biologico, etc. e quindi stabilire le possibili azioni di protezione, prevedono:

- lo studio e l'esame dei possibili effetti a livello della salute, come si ricavano da ricerche in vivo, in vitro, da studi epidemiologici, e le possibili relazioni dose-effetto;
- la fissazione dei valori limiti di esposizione o di assorbimento dell'agente di rischio;
- la misura dello stesso nell'ambiente o nell'organismo, a seconda delle caratteristiche dell'agente di rischio e delle sue modalità di interazione con la materia in generale e con gli organismi biologici in particolare;
- confronto dei valori misurati con quelli limite;
- eventuale bonifica dell'ambiente dall'agente valutato, al fine di ridurre al minimo tecnologicamente ottenibile il rischio per il lavoratore, la popolazione e l'ambiente;
- controlli periodici nel tempo, così da verificare la permanenza delle condizioni di sicurezza stabilite o l'eventuale miglioramento delle stesse sulla base del progresso tecnologico e delle conoscenze scientifiche;
- formazione ed informazione del lavoratore sull'agente di rischio, sulle

modalità operative dei mezzi di sicurezza predisposti, sulle modalità di lavoro più sicure, sull'azione di protezione effettuata dai sistemi di sicurezza attuati.

#### 4.4 - MISURE DI PROTEZIONE

Uno standard di sicurezza è un termine generale, che ingloba sia la legislazione in materia, che le linee guida, ed è definito come l'insieme delle specifiche o delle regole per promuovere la sicurezza di un individuo o di un gruppo di individui. Per quanto riguarda le radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti in generale ed i campi magnetici in particolare, le misure di protezione dei lavoratori, nell'uso scientifico ed industriale di dette sorgenti sono i controlli ingegneristici (quali ad esempio la corretta progettazione delle apparecchiature e dell'ambiente di lavoro, l'uso di idonei dispositivi di interlock) ed amministrativi, programmi di protezione del personale, la sorveglianza medica. Un'altra categoria generale di misure per il controllo dei rischi è costituita dai dispositivi di protezione individuali (DPI) come ad esempio maschere e indumenti protettivi, che però non esistono per i campi magnetici. In particolare le tecniche per minimizzare l'esposizione ad alte intensità di campo magnetico vicino a grandi impianti industriali e/o di ricerca sono in generale di quattro tipi:

- la distanza ed il tempo (che devono essere rispettivamente la massima possibile dalla sorgente ed il minimo necessario per l'attività). Infatti, poiché l'intensità

del campo magnetico diminuisce in funzione della distanza dalla sorgente, aumentare la distanza da questa è una fondamentale misura di protezione;

- la schermatura del campo: l'uso di materiali ferromagnetici restringe l'estensione spaziale delle linee di flusso esterne, provenienti da un dispositivo magnetico. Il rivestimento esterno con un materiale ferromagnetico può anche "catturare" le linee di flusso e ridurre la densità di flusso esterno. Comunque la schermatura di un campo magnetico rappresenta una misura protettiva molto costosa e spesso non facilmente utilizzabile per gli strumenti scientifici;
- il controllo dell'interferenza e della compatibilità elettromagnetica;
- le misure di natura amministrativa, fra cui si ricorda l'uso di idonea segnaletica acustica e visiva, la delimitazione delle zone di rischio, il controllo degli accessi in dette zone, la stesura di norme di comportamento corretto per lo svolgimento dell'attività lavorativa in sicurezza, etc.

Le stesse misure di protezione che si adottano per i lavoratori, possono essere applicate alla protezione della popolazione, qualora si verifichi un superamento dei limiti stabiliti per il pubblico, o comunque perché questi siano rispettati. Una misura generale di protezione è sicuramente quella di stabilire i valori limite di esposizione sia per i lavoratori che per la popolazione.

Nella definizione dei limiti per i lavoratori e la popolazione si tiene conto generalmente delle diverse caratteristiche esistenti fra le due categorie di esposti.

La popolazione esposta per ragioni professionali è costituita da individui adulti, che sono generalmente esposti a situazioni note e controllate, sono preparati al rischio cui possono essere esposti ed usano adeguate protezioni. La popolazione nel suo insieme comprende invece individui di tutte le età e con diversi stati di salute e può includere gruppi o individui singoli di particolare sensibilità. In molti casi poi la popolazione può ignorare di essere esposta ai campi elettromagnetici. Inoltre, generalmente non ci si aspetta che i membri della popolazione possano prendere le dovute precauzioni per minimizzare od evitare i rischi, legati all'esposizione. E' sulla base di queste generali considerazioni, che i limiti stabiliti e/o raccomandati per la popolazione nel suo insieme sono più restrittivi rispetto a quelli stabiliti per i lavoratori.

#### 4.5 - CARTELLONISTICA

La cartellonistica utilizzata nella prevenzione e protezione dalle radiazioni elettromagnetiche segue le linee guida stabilite dall'ICNIRP nel 1998 per la salute pubblica e il Testo Unico della sicurezza dei lavoratori, emanato in Italia il 9 aprile 2008.



Fig. 9 - Pericolo campo magnetico

La fig. 9 mostra un cartello di avvertimento per la presenza di forti campi magnetici, quale ad esempio quello generato da un'apparecchiatura diagnostica per l'imaging a risonanza magnetica. I principali pericoli sono legati all'induzione di correnti attraverso il corpo, oltre a problemi per i portatori di protesi metalliche.



Fig. 10 - Pericolo radiazioni non ionizzanti

In fig. 10 è mostrato un altro cartello di avvertimento che indica la presenza di radiazioni non ionizzanti, e che viene solitamente utilizzato in caso di radiazioni elettromagnetiche che superano il valore d'azione per la popolazione. Può anche

significare “pericolo radiazioni ad alta frequenza” o “forte campo elettromagnetico”, ma deve essere accompagnato da una didascalia.



Fig. 11 - Divieto di accesso ai non autorizzati

La fig. 11 mostra un generico segnale di divieto d'accesso. Accompagnato da didascalie differenti può svolgere compiti diversi: può negare l'accesso a chiunque, (nell'ambito che stiamo trattando si parla di campi elettromagnetici che superano costantemente i valori limite anche per i lavoratori), o può negare l'accesso solo ai non autorizzati. Nel nostro caso questo potrebbe riguardare un'area lavorativa dove l'esposizione elettromagnetica è intensa e per lavorarci bisogna aver seguito una formazione specialistica.



Fig. 12 - Divieto di accesso a portatori di pacemaker



In caso di campi elettromagnetici particolarmente intensi (anche se al di sotto dei limiti per i lavoratori), in soggetti con pacemaker le correnti indotte possono essere pericolose (fig.12) in quanto possono provocare un malfunzionamento o un blocco dell'apparecchio.



Fig. 13 - Divieto di accesso a portatori di protesi metalliche

Pur non essendo un dispositivo atto a garantire qualche funzione vitale, per soggetti con protesi metalliche, l'accesso a particolari aree con livelli di campo magnetico particolarmente elevati, potrebbe essere vietato (fig. 13). Infatti in esse possono circolare correnti potenzialmente dannose per il corpo, sia nel breve periodo, sia a lungo termine.

Qualora, dopo aver applicato le misure di prevenzione e protezione collettive, permangano pericoli evitabili grazie all'utilizzo di dispositivi di protezione individuale (DPI), essi sono obbligatori per i lavoratori, e devono garantire loro la sicurezza ma anche una certa comodità di utilizzo, nonché l'impossibilità che

il loro utilizzo sia causa di altri pericoli oltre quelli già presenti nell'ambiente di lavoro.

I segnali d'obbligo più comuni che indicano questa necessità, sono mostrati nelle figure seguenti:



Fig. 14 - Obbligo di indossare calzature di sicurezza

In presenza di forti campi elettromagnetici, essi possono far scorrere correnti elettriche attraverso il corpo. Delle calzature isolanti lo impediscono (fig. 14).



Fig. 15 - Obbligo di indossare i guanti di sicurezza

Per la protezione delle mani (fig. 15) valgono le stesse considerazioni fatte per le calzature, con cui i guanti vengono spesso usati in accoppiata per evitare che le correnti indotte possano passare attraverso il corpo. Solitamente sono usati più specificatamente in presenza di rischio elettrico, e sono divisi in classi isolanti



Fig. 16 - Obbligo di indossare gli occhiali protettivi

Gli occhiali protettivi (fig. 16) possono proteggere gli organi visivi da molteplici fattori. Sia dalle radiazioni non ionizzanti di cui stiamo trattando, ma, in ambito di campi e radiazioni, essi proteggono soprattutto dalle radiazioni ionizzanti e direttamente dannose per l'occhio.



Fig. 17 - Obbligo generale (è accompagnato da una didascalia)

Un cartello d'obbligo usato in ambito di campi elettromagnetici importanti è il segnale d'obbligo generale (fig. 17), che però va accompagnato dal testo, e quindi dall'istruzione specifica da eseguire.

#### 4.6 - COMUNICAZIONE DEL RISCHIO

Le valutazioni di rischio effettuate dalle più autorevoli organizzazioni scientifiche dimostrano che le preoccupazioni e le tensioni sociali sono, se non infondate, quanto meno esagerate rispetto al quadro delle conoscenze sopra delineato. Ciò riflette una distorta percezione del rischio da parte dei cittadini, in larga misura imputabile a un'informazione non corretta o incompleta. D'altra parte, comunicare i risultati di questo genere di ricerche al pubblico è complicato per diversi motivi. In primo luogo, è difficile sintetizzare le pubblicazioni scientifiche disponibili, molto numerose ed eterogenee in termini di linee di evidenza (studi sull'uomo, sugli animali, su sistemi cellulari) e relazioni esposizione-effetto esaminate. Bisogna fornire una guida all'interpretazione dei risultati degli studi sia epidemiologici che sperimentali. Occorre spiegare la necessità di valutazioni dei rischi basate su revisioni sistematiche della letteratura scientifica e criteri predefiniti di analisi della qualità delle singole osservazioni e di classificazione delle evidenze. Una seconda difficoltà consiste nel rendere comprensibili le stime di rischio, le classificazioni del peso delle evidenze e i livelli d'incertezza ad esse associate. Le implicazioni delle valutazioni di rischio rivestono una particolare criticità nella comunicazione sugli effetti a lungo termine dell'esposizione a livelli ambientali di campi elettromagnetici. In questo ambito, allo stato attuale delle

conoscenze, l'incertezza riguarda la presenza stessa di rischi per la salute piuttosto che la loro entità. Si tratta di una situazione in cui è ancora opportuno investire risorse in approfondimenti scientifici, mentre è inappropriata l'adozione di limiti di esposizione cautelativi.

## CAPITOLO 5

### TELEFONIA MOBILE E WI-FI

L'uso crescente del telefonino è associato ad una sempre maggiore diffusione sul territorio degli impianti per la trasmissione dei segnali elettromagnetici a radiofrequenza necessari al funzionamento delle comunicazioni mobili, le cosiddette stazioni radio base. L'incremento delle stazioni radio base non è determinato solo dall'aumento di utenti ma anche dallo sviluppo delle tecnologie. A partire dalla metà degli anni '80 del secolo scorso, quando iniziava l'introduzione sul mercato dei telefoni cellulari per le utenze di massa, si è assistito allo sviluppo di ben quattro generazioni di sistemi di comunicazione mobile: dalla prima generazione dei sistemi TACS (1G), basati su segnali analogici, alla seconda generazione dei sistemi GSM (2G) con tecnologia digitale, introdotti agli inizi degli anni '90, ed ai successivi sviluppi del sistema UMTS (3G), di terza generazione, avvenuto intorno al 2000, e di quello LTE (4G), di quarta generazione, ad oggi in fase di implementazione. L'aumento della domanda di servizi per comunicazioni mobili, associato ad un continuo e rapido sviluppo delle tecnologie, ha portato ad una crescita impetuosa delle stazioni radio base installate sul territorio. La presenza sempre più pervasiva di stazioni radio base sul territorio ha provocato nei cittadini una crescita di attenzione e allarme verso i possibili effetti sulla salute derivanti

dall'esposizione a campi elettromagnetici. Avere una stazione radio base installata nelle vicinanze della propria abitazione è vissuta, in molti casi, come una situazione di pericolo per il quale si richiede ad Arpa una valutazione tramite misure ambientali dei livelli di esposizione al campo elettromagnetico. Questa condizione di esposizione a radiazione elettromagnetica emessa da una stazione radio base e ricevuta all'interno della propria abitazione è, spesso, causa di maggiore preoccupazione rispetto all'esposizione personale alla radiazione emessa da un telefonino nel corso di una chiamata. Si tratta di comportamenti legati alla percezione del rischio che sono spiegabili su un piano psicologico e sociologico ma che possono non avere una giustificazione razionale.

La presunta nocività per la salute umana dell'esposizione a campi elettromagnetici (CEM) a radiofrequenza (RF) è da diversi anni oggetto di dibattito sia nella comunità scientifica che, soprattutto, al di fuori di essa. I risultati di alcune indagini scientifiche sono stati spesso oggetto di informazioni riportate dai media in modo parziale e non corretto, in modo tale che rischi ipotetici e da verificare sono stati comunicati come certi e scientificamente dimostrati. In realtà, non esistono ad oggi evidenze scientifiche che attestino effetti nocivi dovuti all'esposizione a CEM a RF ai livelli tipici presenti in ambienti comunemente frequentati dalla popolazione. Gli unici effetti certi sono quelli che si manifestano a causa del riscaldamento indotto nei tessuti umani



dall'esposizione a radiazione RF, i cosiddetti effetti termici. Ma questa tipologia di effetti si può manifestare solo a livelli molto elevati di intensità del campo elettromagnetico, non riscontrabili nelle comuni situazioni di esposizione della popolazione. Al fine di poter meglio comprendere questo aspetto, è utile sapere che gli effetti termici si possono manifestare per campi elettromagnetici a RF di intensità superiore a diverse decine di V/m, mentre i livelli di esposizione tipici della popolazione, dovuti ad impianti per telecomunicazione installati nell'ambiente urbano, sono dell'ordine di qualche decimo di V/m per raggiungere, nelle situazioni di più elevata esposizione, valori dell'ordine di qualche V/m.

Gli studi epidemiologici sugli effetti a lungo termine, invece, sono ancora insufficienti per stabilire un collegamento di tipo causa-effetto fra questo tipo di radiazioni e l'insorgere di patologie tumorali. Secondo l'OMS (OMS, maggio 1998, Promemoria n. 183):

- L'esposizione a campi RF e MO può causare riscaldamento o indurre correnti elettriche nei tessuti corporei. Il riscaldamento costituisce la principale interazione dei campi al di sopra di circa 1 MHz. Al di sotto di circa 1 MHz, l'azione dominante è l'induzione di correnti elettriche nel corpo.
- Sulla base della letteratura attuale, non c'è nessuna evidenza convincente che l'esposizione a RF e MO abbrevi la durata della vita umana, né che induca o

favorisca il cancro.

– Sono necessari ulteriori studi, per delineare un quadro più completo dei rischi sanitari, specialmente per quanto concerne un possibile rischio di cancro connesso all'esposizione a bassi livelli di campi RF e MO.

## 5.1 - IMPIANTI PER LE TELE-RADIOCOMUNICAZIONI: ANTENNE E CELLE

Un tema di particolare interesse nel campo dell'esposizione umana a campi elettromagnetici non ionizzanti è rappresentato, dunque, dall'utilizzo dei telefoni cellulari, soprattutto in ragione della loro larga diffusione. A tale riguardo, come detto sopra, generalmente le preoccupazioni dei cittadini nascono molto più dalle antenne fisse per il servizio (tecnicamente indicate come Stazioni Radio Base o SRB) che dall'utilizzo del telefono in sé, nonostante quest'ultimo, in quanto molto più vicino all'utente, lo esponga a campi molto più intensi rispetto a quelli ai quali è esposto chi vive vicino ad una SRB (OMS, maggio 1998, Promemoria n. 193).

Ogni SRB serve una porzione limitata del territorio, detta "cella", in funzione del numero di telefonate che è in grado di gestire contemporaneamente e le cui dimensioni dipendono dalla densità degli utenti da servire nell'area, dall'altezza delle installazioni, dalla potenza impiegata e dalla tipologia dell'antenna

utilizzata (Fig. 18; Fig. 19). Per questo motivo, a seconda del numero di utenti serviti, le SRB sono distanziate tra loro di poche centinaia di metri nelle grandi città fino a diversi chilometri nelle aree rurali, di conseguenza maggiore è il numero di utenti da servire, maggiore sarà il numero di antenne installate sullo stesso territorio e minore sarà però la potenza emessa da ciascuna antenna.

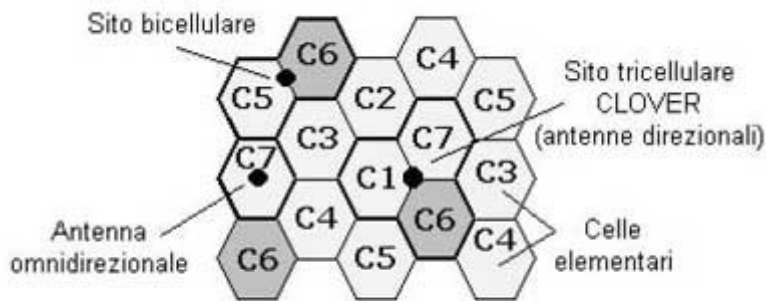


Fig. 18 – Schematizzazione della disposizione delle “celle”.

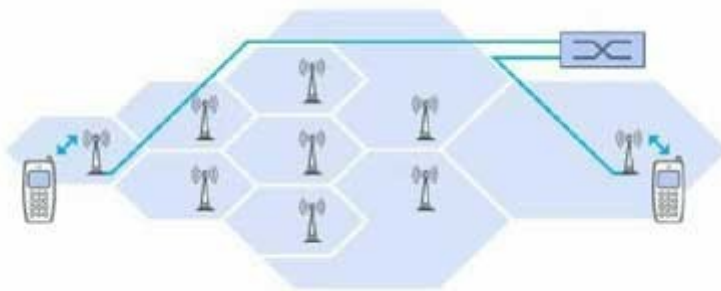


Fig. 19 – Schematizzazione della disposizione delle antenne all'interno delle “celle”.

Le dimensioni limitate delle celle, che corrispondono ad un raggio di copertura di 300-400 m nelle aree densamente popolate, spiegano i bassi valori di potenza

degli impianti per telefonia mobile che raggiungono al massimo qualche decina di watt.

Le potenze irradiate non variano molto da impianto a impianto e generalmente non superano i 200 W per le antenne GSM Dual Band e possono scendere fino a 50 W per le antenne UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Con queste potenze, la zona di spazio nella quale si possono trovare livelli di campo superiori ai valori di tutela dell'attuale normativa (6 V/m) si estende per 40-80 metri davanti alle antenne, normalmente al di sopra dei tetti dei palazzi vicini, in quanto le antenne sono progettate per ottenere un'irradiazione sul piano orizzontale piuttosto che su quello verticale. Un altro tipo di impianti per telecomunicazioni presenti sul territorio riguarda quelli preposti alla diffusione dei segnali radio-televisivi. Essi ricevono il segnale da amplificare dagli studi di trasmissione tramite impianti molto direttivi e di piccola potenza, in quanto sono comunemente posti in posizione sopraelevata al di fuori dei centri abitati, in maniera da poter diffondere il segnale su aree abbastanza vaste per raggiungere il maggior numero di utenti possibile. Per questo motivo, essi vengono generalmente alimentati con un segnale elettrico di elevata potenza ed irradiano in maniera poco direttiva, generando un livello di campo elettromagnetico fra i più elevati. Vi sono infine i cosiddetti "ponti radio", antenne dedicate alla trasmissione del segnale da un punto all'altro (e quindi non alla "diffusione")

verso gli utenti) che irradiano l'energia elettromagnetica in fasci molto stretti, sia orizzontalmente che verticalmente, con potenze molto basse. Questo tipo di impianti generalmente non comporta situazioni sensibili di inquinamento elettromagnetico.

Un ulteriore elemento che influenza in modo rilevante l'esposizione della popolazione alle radiazioni a radiofrequenza è la schermatura di tali radiazioni dovuta ai materiali che costituiscono gli edifici: solo una parte della radiazione elettromagnetica presente nell'ambiente esterno potrà penetrare all'interno degli edifici e dare luogo ad un'esposizione dei residenti. Ciò significa che livelli di esposizione anche relativamente elevati in ambiente esterno si possono tradurre in livelli non significativi all'interno delle abitazioni.

## 5.2 - TELEFONI CELLULARI

Il telefono cellulare è entrato nelle nostre vite già da tanti anni e ormai tutti sanno come adoperarlo nella vita quotidiana, tuttavia pochi conoscono la tecnologia che ne rende possibile l'utilizzo.

Si chiama telefono cellulare perché sfrutta la rete cellulare, ovvero una efficiente rete di antenne disposte secondo uno schema a celle: dividendo così il territorio e affidando ogni porzione ad un'antenna (SRB). È possibile restare agganciati alla rete con il proprio telefono nonostante si sia in movimento.

Le celle della rete cellulare, in realtà, possono avere diverse grandezze a seconda delle caratteristiche del territorio, la sua orografia e la densità abitativa. Nella configurazione monocellulare, la stazione radio base è posta al centro e presiede la singola cellula, ma vi sono anche configurazioni dette tricellulari dove la SRB è posta all'incrocio di tre piccole celle. È una soluzione spesso più efficiente nelle aree ad alta densità di popolazione.

Qualunque sia la configurazione della rete cellulare, si può immaginare come un alveare, perché, allo stesso modo, una rete cellulare è fatta di celle contigue, ognuna presieduta da una specifica stazione radio, che gestisce le connessioni di tutti i telefonini presenti entro una certa distanza.

Gruppi di stazioni radio base di una stessa zona sono poi collegati grazie a una rete in fibra ottica al Mobile Switching Center (MSC). Quest'ultimo è come un centralino, il centro di smistamento delle chiamate.

Quando qualcuno avvia una chiamata dal proprio telefonino, la SRB di competenza invia la chiamata al MSC, il quale la commuta e la rinvia a sua volta alla Rete Telefonica Nazionale (RTN) a cui è direttamente collegato.

La Rete Telefonica Nazionale, che è anche detta rete telefonica generale o PSTN (Public Switched Telephone Network) è in altre parole l'autostrada delle nostre telefonate, mentre la rete cellulare è un intricato sistema di strade statali e provinciali.

Tornando alla distanza tra il nostro telefonino e la SRB a cui è agganciato, le tacche che appaiono sullo schermo sono un'indicazione di questa distanza: più si è vicini, più tacche abbiamo e migliore sarà la qualità del segnale.

Allontanandosi da essa oltre una certa misura si entra in un'altra cella e il telefono stabilirà un collegamento con l'antenna competente in quella porzione di territorio, senza tuttavia perdere la linea nel passare da una all'altra. Teoricamente il telefonino si connette alla stazione radio base più vicina. Esistono però alcuni casi in cui questo non avviene: per esempio in caso di sovrappollamento di utenti collegati oppure in presenza di ostacoli naturali o artificiali che impediscono la connessione. Il telefonino preferirà allora appoggiarsi ad un'altra SRB, più distante, però sgombra di ostacoli.

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).

Utilizzando un cellulare, l'assorbimento energetico nel capo è inferiore a 2 W/kg (dose soglia), 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 frequenze. Inoltre, la soglia di tolleranza termica solitamente riscontrabile nelle persone sane può essere notevolmente ridotta negli anziani, nei malati o in chi assume

alcuni tipi di farmaci e nei bambini.

Tuttavia, come detto sopra, svariate ricerche su questo problema non hanno potuto avvalorare l'ipotesi di un possibile rischio per la salute.

### 5.3 - SVILUPPO DELLE VARIE TECNOLOGIE, FINO A 4G E 5G

La comunicazione mobile si è evoluta moltissimo in pochi decenni, nei quali si sono avvicendate le varie generazioni di dispositivi e reti compatibili con i nuovi standard di telecomunicazione.

I sistemi di prima generazione, apparsi negli anni '80 sotto la sigla **1G** (*TACS, Total Access Communication System*), trasmettevano in modalità analogica ed erano in grado di gestire solo il traffico voce.

La qualità della comunicazione offerta dai telefoni cellulari di prima generazione presentava evidenti limiti legati alla tipologia di segnale, come la scarsa qualità audio e le frequenti interruzioni.

Allo scopo di migliorare la qualità di trasmissione, la capacità di sistema e la copertura del segnale, la seconda generazione di reti mobili 2G (Fig. 20) ha segnato un punto di rottura con la tecnologia precedente, puntando tutto sul passaggio al digitale introdotto dallo standard GSM (*Global System for Mobile communications*), nato in Europa nei primi anni '90.

L'uso del digitale ha sancito la nascita dei primi servizi di trasmissione dati,



sotto forma di messaggi di testo SMS (Short Message Service), messaggi multimediali MMS (Multimedia Message Service) e WAP (Wireless Application Protocol), lo standard che ha consentito l'accesso a appalti contenuti Internet da telefonino.



Fig. 20 – 2G

Successivamente, nei primi anni 2000, vengono lanciate in tutto il mondo le tecnologie di terza generazione; i nuovi standard internazionali di telefonia mobile 3G (Fig. 21) seguono le specifiche tecniche IMT-2000 definite dal ITU, Unione Internazionale delle Telecomunicazioni, ovvero l'agenzia Onu che stabilisce le politiche internazionali sullo spettro radio. Tra queste specifiche tecniche, lo standard UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) è un'evoluzione del GSM. Esso ha consentito di offrire un'ulteriore velocizzazione del trasferimento dati, ha favorito l'ampliamento e una maggiore

qualità dei servizi multimediali fruibili da rete mobile, permettendo ad esempio di effettuare videochiamate fluide e navigare su Internet. Con il 3G le frequenze utilizzate iniziano a moltiplicarsi occupando anche bande di frequenza più elevate: 850, 900, 1800 e 2100 MHz.



Fig. 21 – 3G

La sigla 4G (Fig. 22) identifica la quarta, ed attuale, generazione dei servizi di telefonia mobile. La tecnologia LTE (Long Term Evolution), e la sua più recente evoluzione LTE Advanced (LTE-A), sono state sviluppate alla fine degli anni 2000 per incrementare le prestazioni delle reti cellulari 4G, inviando e ricevendo dati ad una velocità di connessione in grado di competere con la velocità delle connessioni domestiche. Grazie ad una copertura rete sempre maggiore e

all'aumento di dispositivi in grado di supportarla, sempre più numerosi smartphone e tablet possono navigare e accedere a servizi di streaming e video in alta definizione senza rallentamenti o interruzioni, resi possibili dalla connessione veloce e dalla riduzione dei tempi di latenza.



Fig. 22 – 4G

Con l'acronimo 5G (5th Generation) (Fig. 23) si fa riferimento alle tecnologie e agli standard di quinta generazione per la telefonia mobile che supererà l'attuale 4G.

I requisiti minimi per definire le caratteristiche tecniche del 5G sono descritti nel documento "Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface" (ITU, 2017).

Il Ministero dello Sviluppo economico (Mise) ha recepito il 5G Action Plan della Commissione europea, lanciato il 14 settembre 2016, per promuovere uno sviluppo di questa tecnologia quanto più possibile armonico tra i diversi Stati. L'obiettivo era far sì che il 5G diventasse realtà entro il 2020 e che abbia una copertura totale entro il 2025.



Fig. 23 – 5G

Le frequenze di trasmissione del segnale previste per la tecnologia 5G sono: 700 MHz (quella attualmente utilizzate dalle TV), 3600-3800 MHz e 26 GHz.

Le nuove frequenze attribuite al 5G per la telecomunicazione mobile si situano nella stessa gamma di quelle per il 4G. Le principali differenze tra 4G e 5G sono:

- Velocità: la velocità di trasmissione dei dati del 5G è fino a 100 volte superiore di quella del 4G. La velocità potenziale massima di 20 Gbps (Giga bit per secondo) permette di scaricare rapidamente grandi quantità di dati.
- Consumo energetico: le celle 5G dovranno avere un consumo energetico molto limitato anche quando saranno sotto carico e dovranno essere dotate di una modalità di risparmio energetico quando non saranno utilizzate.
- Capacità: il 5G aumenta la capacità di trasmissione dati, il cui traffico raddoppia ogni anno.
- Latenza: il 5G ha un tempo di intervallo tra l'invio del segnale e la sua ricezione da 30 a 50 volte inferiore al 4G. Ciò permette di comandare a distanza e in tempo reale dispositivi e apparecchi (veicoli a guida autonoma, operazioni chirurgiche a distanza, gestione del traffico di strade, porti e aeroporti, ecc.) e di monitorare in tempo reale lo stato delle infrastrutture (IoT, Internet of things o Internet delle cose).
- Densità: il 5G permette di collegare fino a un milione di oggetti per km<sup>2</sup>, 100 volte di più che il 4G, senza impattare sulla velocità di connessione. In particolare, quest'ultima caratteristica è quella che dovrebbe consentire lo sviluppo dell'Internet delle cose. In futuro le reti non saranno più

quindi a servizio dei soli dispositivi mobili (quali smartphone o telefoni cellulari), ma anche della comunicazione tra oggetti, come ad esempio la possibilità di “dialogo” con numerosi elettrodomestici di uso comune, o tra dispositivi e sensori di vario tipo.

Entro la fine del 2024 si stima che il 5G raggiungerà oltre il 40% della popolazione globale e che ci saranno 1,5 miliardi di abbonamenti alla nuova tecnologia. Ci saranno più antenne ma con potenze di emissione più basse. Questo aumento degli impianti non significherà necessariamente un aumento di emissioni elettromagnetiche.

È vero che nelle prime fasi di implementazione del 5G le antenne andranno ad aggiungersi agli altri sistemi (2G, 3G, 4G), già presenti, aumentando di fatto le emissioni complessive; tuttavia se il 5G soppianderà in parte o del tutto le altre tecnologie, si avrà una progressiva diminuzione dei livelli di campo elettromagnetico, in quanto l'uso di particolari antenne adattative fa sì che le emissioni derivanti dal sistema 5G siano inferiori e ottimizzate nello spazio.

Si avranno celle di copertura di dimensioni più piccole di quelle attualmente utilizzate per la telefonia cellulare, pertanto saranno necessarie potenze di emissione più basse di quelle attuali.

In ogni caso tutto ciò non potrà mai portare ad una crescita indiscriminata dei livelli di campo elettromagnetico, perché le Arpa verificano sempre che i

progetti dei nuovi impianti, o di modifica di quelli esistenti, siano compatibili con i limiti normativi.

Per soddisfare i requisiti, in particolare dell'incremento di velocità di trasmissione e di capacità, della bassa latenza, e dell'elevata densità di dispositivi simultaneamente connessi, la rete 5G sarà basata su alcuni elementi tecnologici innovativi:

- Larghezze di banda di 100 MHz e superiori per il trasferimento dati.
- Si farà ampio utilizzo del “beamforming” (Fig. 24), ossia della tecnologia per direzionare e concentrare il segnale verso la posizione fisica dei dispositivi utenti. Questo nuovo approccio si otterrà facendo ricorso ad antenne adattative mMIMO (massive Multiple-Input Multiple-Output) dell'Active Antenna System che trasmettono le informazioni in modo mirato in direzione dell'utente per assicurargli la migliore velocità e allo stesso tempo ridurre le emissioni nelle altre direzioni. La loro emissione è quindi “adattativa” in base al numero di utenze da servire, dalla loro posizione e dal tipo di servizio. Per queste ragioni, spesso ci si riferisce alla tipica antenna 5G col nome di “smart antenna” (antenna intelligente).

Il beamforming per ottimizzare la possibilità di invio e ricezione simultanea dei dati verso un maggior numero di dispositivi connessi.

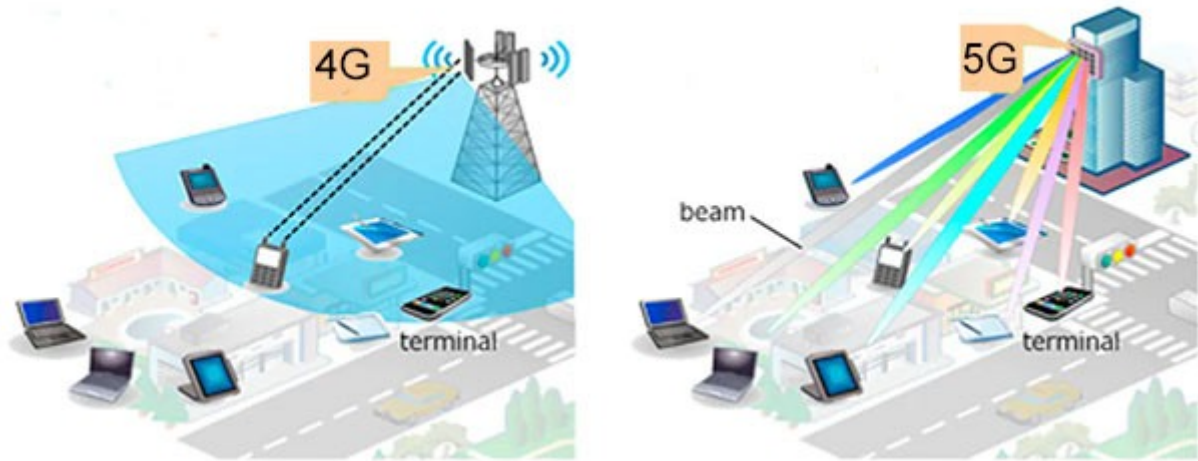


Fig. 24 – Beamforming

#### 5.4 – WIFI

Comunemente si pensa che Wireless e Wi-Fi indicano la stessa cosa, ma non è così.

Con il termine Wireless, che significa senza fili, si indica una tecnologia di comunicazione senza fili che permette a più dispositivi di collegarsi tra di loro senza necessariamente usare un cablaggio. I sistemi tradizionali basati su connessioni cablate sono invece detti wired.

Per cui il Wi-Fi è un protocollo della rete Wireless ed è una tecnologia che consente agli apparati di collegarsi tra loro attraverso una rete locale WLAN in modalità wireless. Una rete locale WLAN connessa ad internet permette ai



dispositivi ad essa connessi di poter usufruire di tutti i servizi di connettività offerti da un ISP (internet service provider).

Il termine Wi-Fi, ideato dall'azienda Interbrand, fece la sua comparsa nel 1999.

La sigla Wi-Fi non ha alcun significato specifico, ma semplicemente rappresenta il marchio commerciale utilizzato per indicare la famiglia di protocolli IEEE 802.11, un insieme di standard di trasmissione per le reti WLAN, e identifica l'appartenenza del dispositivo stesso alla WiFi Alliance, un gruppo cospicuo di costruttori di elettronica.

Il mercato del Wi-Fi è esploso con l'introduzione di dispositivi intelligenti tra cui smartphone, tablet ed elettrodomestici e col tempo è aumentata la domanda del Wi-Fi nelle case e nelle aziende.

Ogni dispositivo Wi-Fi invia o riceve segnali attraverso una porzione dello spettro radio, il cui uso è strettamente disciplinato da accordi internazionali (specifiche 802.11 IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers).

La rete Wi-Fi estende la sua copertura mediante l'utilizzo di due tipologie di antenne: omnidirezionali e direttive.

I dispositivi che usano antenne omnidirezionali (come ad esempio un router) vengono utilizzati per distribuire la connettività all'interno di un'abitazione privata, all'interno di uffici o comunque in zone private relativamente piccole.

Aumentando il raggio d'azione con antenne omnidirezionali più potenti, si

possono coprire aree pubbliche più ampie, come aeroporti o centri commerciali.

Questa tipologia di copertura ampia prende il nome di Hot Spot Wi-Fi.

Il WiFi, nell'intento di coprire e servire aree sempre più vaste, grazie all'utilizzo di antenne direttive è oggi in grado di lanciare il segnale radio per chilometri e chilometri. Sono proprio questi collegamenti a portare la banda larga nei territori scoperti dalla rete cablata. In questo caso, è possibile aggregare più reti in un'unica grande rete, portando la banda in zone altrimenti scollegate.

Le principali classi Wi-Fi rappresentano ed indicano diverse tipologie di prestazioni in termini di stabilità, di velocità di trasmissione dati e di bande di frequenza utilizzate. Le principali sono:

- classe a – 54 Mb/s (5 GHz)
- classe b – 11 Mb/s (2,4 GHz)
- classe g – 54 Mb/s (2,4 GHz)
- classe n – 450 Mb/s (2,4 GHz e 5 GHz)
- classe ac – 3 Gb/s (5 GHz)

La classe n, che opera sia nella gamma di frequenze a 2,4 GHz dello spettro radio che nella gamma di frequenze a 5 GHz, è congestionata da molti dispositivi che sfruttano la medesima ampiezza di banda e la connessione a Internet rallenta per tutti, per cui utilizzando il Wi-Fi, che opera soltanto sulla banda a 5 GHz meno congestionata, la velocità di trasmissione aumenta di quasi

tre volte.

Il prossimo standard, essendo la sesta generazione ufficiale della tecnologia Wi-Fi, è noto come Wi-Fi 6, avrà una velocità di trasmissione di 10 Gb/s ed opererà nella banda 2.4/5 GHz.

La tecnologia Wi-Fi, per rendere la linea internet accessibile senza fili, sfrutta esclusivamente la propagazione di onde radio tra il modem ed i dispositivi ad esso connessi. Navigando con un PC collegato ad un modem o ad un router via cavo la velocità di navigazione risulterà certamente maggiore rispetto a navigare con un Pc collegato ad internet tramite WiFi. Questo per una questione di interferenze e di ostacoli fisici.

Le onde radio emesse dal nostro modem sono spesso ostacolate da mura, mobilia, oggetti metallici o qualsiasi altra cosa si interponga tra il modem e il dispositivo Wi-Fi. Inoltre, anche le apparecchiature elettroniche domestiche interferiscono con il segnale senza fili, come ad esempio: telefoni cordless, trasmettitori wireless audio e video, forni a microonde, casse musicali wireless, controller di gioco senza fili delle consolle, ecc.

Ovviamente se su uno stesso modem sono collegati più dispositivi Wi-Fi, o anche dispositivi connessi via cavo, la linea internet verrà divisa tra essi rallentando, quindi, le prestazioni e la velocità di navigazione di ogni singolo dispositivo connesso.

Il Wi-Fi è dunque una tipologia di trasmissione wireless ad altissima velocità, che utilizza delle bande di frequenza ed opera attraverso un router, che permette di collegare tra loro più dispositivi senza dover utilizzare dei cavi di collegamento.

Questa tecnologia permette di trasmettere dati anche a distanze notevoli, e dipende dal tipo di antenna e dagli ostacoli presenti, esistono router e antenne che possono coprire una distanza di qualche centinaio di metri fino a diversi chilometri.

Va subito precisato che l'emissione di onde elettromagnetiche dei router o degli access point wireless è da considerarsi talmente contenuto da essere sostanzialmente insignificante.

La stessa Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) afferma che, ad oggi, non ci sono evidenze scientifiche di possibili danni al nostro organismo in seguito all'esposizione a campi elettromagnetici a radiofrequenza generati da sistemi di comunicazione Wi-Fi.

L'Istituto Superiore di Sanità (ISS) precisa inoltre che i livelli di esposizione ai comuni router o Wi-Fi installati in ufficio o a casa sono di molto inferiori ai limiti raccomandati a livello internazionale e a quelli in vigore in Italia. Tali livelli sono, infatti, molto più bassi di quelli dovuti alle stazioni radio base o ai telefoni cellulari (fino a 10 volte inferiori), infatti, via a via che ci si allontana

dal router o dal dispositivo WiFi la potenza del segnale decresce rapidamente: basti pensare che se un router trasmette con una potenza pari a 100 mW (0,1 W), a distanza di due metri si assorbiranno appena 0,025 Watt; a quattro metri 0,00625 Watt e così via.

Quella che viene seguita è infatti la legge dell'inverso del quadrato (così come nel caso della luce, del suono, della gravità). La formula da applicare è molto semplice:  $1/d^2$  dove  $d$  è la distanza dal router o dell'access point WiFi.

## 5.5 - CONFRONTO FRA LEGITTIMO PRINCIPIO DI PRECAUZIONE E ALLARMISMI SCIENTIFICAMENTE INGIUSTIFICATI

La questione della possibile pericolosità dei CEM non ionizzanti è emersa nel secondo dopoguerra, come conseguenza dello sviluppo delle applicazioni di questo agente fisico, all'inizio soprattutto in ambito militare (radar e telecomunicazioni). Successivamente, la diffusione nei Paesi industrializzati delle applicazioni civili dei CEM (telecomunicazioni, controllo del traffico aereo, processi industriali, diagnosi e terapia medica, per citarne solo alcune) e l'utilizzo di tecnologie che in qualche modo li producono e diffondono nell'ambiente (trasmissione dell'energia elettrica, per esempio) hanno determinato un significativo aumento della loro presenza sul territorio,

provocando ben presto una reazione di preoccupazione, quando non di vero e proprio allarme, nella popolazione esposta, non più limitata alle categorie dei militari e degli addetti all'industria.

A partire dalla fine degli anni '70, in Italia sono intervenute in questa situazione prima la comunità scientifica e successivamente organi di sorveglianza sanitaria ed ambientale appositamente istituiti con lo scopo di individuare ed applicare norme di sicurezza e procedure di valutazione del rischio sempre di più al passo coi tempi, fino ad arrivare alla situazione odierna.

«Con tutta questa tecnologia, saremo bombardati da onde elettromagnetiche dannose per la salute?». Oppure: «Cosa potrà accadere quando saremo circondati da antenne e ripetitori?». Le domande sono tra le più frequenti poste da coloro che guardano con preoccupazione all'avvento del 5G, la tecnologia di nuova generazione per la comunicazione mobile che garantirà una trasmissione del segnale più veloce e di migliore qualità. La sempre maggiore efficienza dei dispositivi tecnologici è un desiderio di tutti. Ma quello che si vuole evitare è che il progresso intacchi la tutela della salute.

L'acronimo 5G sta per “quinta generazione” e indica l'ultimo standard tecnologico disponibile per la comunicazione mobile. Grazie all'impiego di onde elettromagnetiche ad alta frequenza differenti da quelle finora utilizzate, i nostri dispositivi si conetteranno alla rete in maniera più veloce. Ma, soprattutto,

potranno dialogare tra loro. Un aspetto che sintetizza la vera novità del 5G, in un'epoca in cui abbiamo l'esigenza che tutti i device (smartphone, tablet, pc, smartwatch, elettrodomestici ed e-reader) siano tra loro sempre connessi indipendentemente dalla distanza che li separa. La sua introduzione determinerà importanti cambiamenti nell'architettura della rete, le cui ricadute non sono ancora del tutto immaginabili. La capillarità degli impianti potrebbe aumentare, anche se ogni progresso compiuto nell'ambito delle telecomunicazioni ha sempre fatto registrare un calo dell'intensità dei segnali trasmessi. Lo stesso potrebbe avvenire con il 5G, anche se il fatto che il cellulare sia la maggiore fonte di radiofrequenze lascia intendere quanto variabile possa essere l'esposizione da un individuo all'altro. E, di conseguenza, il rischio di ricadute sulla salute.

I più preoccupati rispetto a questo tema tengono bene a mente le conclusioni a cui è giunta l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (Iarc) nel 2011. Non potendo escludere qualsivoglia ripercussione sulla salute, gli esperti del centro di Lione hanno concluso che «le radiofrequenze sono dei possibili cancerogeni per gli esseri umani» e inserito i campi elettromagnetici da esse derivati nel gruppo 2B (Fig. 25). A questo elenco - lo stesso di cui fanno parte le onde a bassa frequenza (che fanno funzionare la rete elettrica e dunque tutti i nostri elettrodomestici), l'aloè vera, il bitume, la benzina e il gasolio -

appartengono gli agenti per i quali vi è una «limitata prova di cancerogenicità negli esseri umani e un insufficiente riscontro negli animali di laboratorio» e che non possono essere iscritte all'elenco delle sostanze non classificabili come cancerogene per l'uomo (gruppo 3).

Livelli cancerogeni uomo	Categorie cancerogeni					
	UE	CCTN	EPA	IARC	NTP <sup>(*)</sup>	ACGIH
Cangerogeno riconosciuto	1A	1	A	1	clear evidence	A1
Cangerogeno probabile	1B	2	B1/B2	2A	some evidence	A2
Cangerogeno sospetto	2	3	C	2B	equivocal evidence	A3
Non classificabile come cancerogeno		4	D	3	no evidence	A4
Non cancerogeno		5	E	4	studio inadeguato	A5

Fig. 25 – Gruppi di cancerogenicità dello IARC

Per quanto le evidenze scientifiche circa la capacità di queste onde di indurre la trasformazione delle cellule in chiave neoplastica siano contrastanti, il timore è che un aumento di esposizione possa mettere maggiormente a rischio uomini, donne e soprattutto bambini.

Negli ultimi anni, diversi gruppi di ricerca hanno provato a fare una sintesi delle evidenze disponibili: a livello epidemiologico (in questo ambito gli studi di questo tipo sono considerati i più solidi) e tossicologico (condotti su modelli animali). Nel caso delle onde ad alta frequenza, le maggiori attenzioni sono



puntate sui tumori cerebrali. Ma per il momento non ci sono conclusioni definitive. Secondo l'Istituto Superiore di Sanità, che ha diffuso un parere per chiarire le evidenze scientifiche riguardanti il possibile rischio oncologico determinato dalle radiofrequenze, «la validità dei risultati degli studi su cellulari e tumori rimane incerta». Nel documento - firmato anche da ricercatori di Cnr, Enea e Arpa Piemonte - si puntualizza che «alcuni studi riportano notevoli incrementi di rischio per i neuromi acustici (tumori cerebrali benigni) e per i gliomi (maligni) per modeste durate e intensità cumulative d'uso», con una maggiore probabilità che la malattia si manifesti sullo stesso lato in cui si è registrata l'esposizione più elevata alle radiofrequenze. Ma queste osservazioni «non sono coerenti con l'andamento dei tassi d'incidenza dei tumori cerebrali, i cui numeri non sono cresciuti di pari passo con la diffusione dei cellulari». Sintesi che non è però stata condivisa da una parte della comunità scientifica, più orientata ad applicare il principio di precauzione. «Il rapporto dell'Istituto Superiore di Sanità non valuta tutti i rischi sanitari da esposizione a radiofrequenze, sottovaluta evidenze di un verosimile rischio di cancerogenicità e non elabora proposte di prevenzione primaria», ha ribattuto Agostino Di Ciaula, presidente del comitato scientifico dell'Associazione Medici per l'Ambiente (Isde).

Secondo l'Isde, inoltre, il documento «ignora completamente il documentato

rischio di malattie non-oncologiche da esposizione a radiofrequenze e l'ipersensibilità a esse». Sulla base di diversi studi, in effetti, le ripercussioni sulla salute potrebbero essere anche differenti dalla comparsa di un tumore e riguardare la sfera neurologica, l'apparato riproduttore e il complesso sistema di regolazione ormonale interno all'organismo. Anche in questo caso, i riscontri sono ancora incompleti per trarre conclusioni definitive. «Dal momento che lo scenario è in evoluzione e che molte informazioni non sono ancora disponibili, occorre essere cauti», dichiara Lucia Miligi, dirigente della struttura complessa di epidemiologia dei fattori di rischio e degli stili di vita dell'Istituto per lo Studio, la Prevenzione e la Rete oncologica (Ispro) di Firenze. Tra i limiti principali di tutte le ricerche finora condotte, ci sono l'impossibilità di prevedere i livelli di radiofrequenze associate al 5G, i continui aggiornamenti tecnologici e le difficoltà nello studiare l'esposizione ai telefoni cellulari. Nel dubbio, dunque, meglio prevenire. Già, ma come? Di seguito alcuni semplici consigli utili per evitare le radiazioni dei cellulari:

- Se non si devono chiamate urgenti e se per qualche ora l'uso del cellulare non è necessario, spegnerlo o impostare la modalità di utilizzo in aereo in modo da interrompere le trasmissioni wireless evitando così una inutile esposizione alle radiazioni.

- Quando bisogna telefonare, utilizzare sempre gli auricolari con cavo e non quelli wireless: si limiteranno così le radiazioni provenienti dal telefono. Se non si hanno gli auricolari, utilizzare il vivavoce.
- Non far usare i cellulari ai bambini se non in caso di emergenza, soprattutto se molto piccoli. In tal caso evitare anche di farli giocare con il telefono.
- Se sul display si nota che nel posto in cui ci si trova in quel momento c'è poca rete non effettuare chiamate, se non strettamente necessarie. Quando c'è poco campo, per chiamare servirà più potenza radiante: la conseguenza è un numero maggiore di radiazioni.
- Non mettere il cellulare nel taschino della camicia o della giacca e non addormentatevi con il cellulare acceso accanto a voi, magari vicino alla testa.
- Se possibile cercare di ridurre il numero di chiamate oppure scegliere la linea telefonica fissa o i servizi online che permettono di effettuare chiamate gratis.
- Non addormentarsi con il cellulare sul comodino e non usarlo come sveglia: tra l'altro può peggiorare la qualità del sonno aumentando l'ansia.

- In ogni caso, mai usare il cellulare (senza auricolare), anche solo per una conversazione breve o per un sms, durante la guida. E mai parlare o scambiare messaggi con il telefonino mentre si attraversa la strada.

Inoltre, proprio per arrivare a risposte certe riguardo alla domanda se il cellulare sia o meno dannoso per la salute, l'Unione europea ha finanziato lo studio Cosmos ([www.ukcosmos.org](http://www.ukcosmos.org)) che, avviato nel 2012, seguirà per vent'anni 300mila utilizzatori di cellulari e fornirà una risposta più attendibile su rischi e relazioni tra tumori cerebrali ed esposizione alle radiofrequenze da cellulari.

Sono in atto anche altri studi come lo studio INTERPHONE (<http://interphone.iarc.fr>), un progetto di ricerca coordinato dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC), che consiste in una serie di studi caso-controllo realizzati in 13 Paesi del mondo. Il progetto è finalizzato a valutare se l'uso del telefono cellulare comporti un incremento del rischio di alcuni tumori e, in particolare, se i campi elettromagnetici a radiofrequenza (RF) utilizzati nella telefonia mobile abbiano effetti cancerogeni. A questo scopo, Interphone ha incentrato l'attenzione su quattro neoplasie localizzate nelle sedi anatomiche più interessate dall'esposizione a RF durante l'uso del telefono cellulare: i due tipi di tumori intracranici più frequenti tra gli adulti (gliomi e meningiomi), i tumori del nervo acustico (schwannomi) ed i tumori della

parotide.

Esiste un'altra problematica che la ricerca scientifica non ha finora potuto dirimere definitivamente, anch'essa di vecchia data, ma che recentemente ha riscosso molto interesse nei media e nell'opinione pubblica: si tratta della possibilità che le esposizioni croniche ai CEM anche di basso livello possano favorire l'insorgere di alcune patologie tumorali nei bambini; la più dibattuta, perché supportata da un grande numero di indagini epidemiologiche più o meno controverse, è l'associazione tra esposizione al campo magnetico a 50 Hz (generato per esempio da elettrodotti ed elettrodomestici) e l'incidenza di alcune forme di leucemia infantile (Ahlbom et al, 2000).

La situazione sopra descritta ha finito col generare nella popolazione una notevole apprensione per tutto quello che riguarda i campi elettromagnetici, riconducibile ad almeno quattro diverse concause:

- Esiste in alcuni casi un notevole differenziale tra i limiti di sicurezza previsti dalle normative vigenti e le soglie a cui sono associati alcuni effetti (gravi ma non del tutto accertati) legati alle esposizioni croniche; ciò genera evidentemente una sensazione di scarsa tutela. Infatti: 1) le norme di sicurezza sono basate sugli effetti accertati dei campi elettromagnetici, cioè attualmente solo gli effetti acuti; 2) alcuni controversi studi di tipo epidemiologico evidenzerebbero l'esistenza di

un rischio cancerogenico legato alle esposizioni croniche anche a livelli molto bassi, soprattutto per quel che concerne il campo magnetico a 50 Hz.

- Il campo elettromagnetico non può essere percepito sensorialmente; l'impossibilità di avvertire coscientemente l'esposizione genera un senso di disagio ed insicurezza.

- Benché si riconoscano i vantaggi sociali delle applicazioni dei campi elettromagnetici, i soggetti esposti hanno l'impressione che si sia di fronte ad un caso di socializzazione del beneficio e distribuzione disuniforme del rischio.

- Talvolta l'aspetto sanitario è chiamato in causa per rafforzare una avversione ad una sorgente di campi elettromagnetici (radar, elettrodotti, impianti per telecomunicazioni) innescata inizialmente ad altri fattori (tutela del paesaggio o altro).

In tutti i Paesi industrializzati sono all'opera gruppi di ricerca e sono stati istituiti organi di sorveglianza con lo scopo di approfondire la conoscenza sulla pericolosità dei CEM e tutelare la popolazione dalle esposizioni potenzialmente nocive.

In Italia, specialisti operano in vari organismi pubblici: sedi universitarie (dipartimenti di fisica, ingegneria e medicina), enti pubblici di ricerca (CNR, ENEA), Istituto Superiore di Sanità (ISS), Istituto Superiore per la Prevenzione

E la Sicurezza del Lavoro (ISPESL), Agenzie Nazionale e Regionali per la Protezione dell'Ambiente (ANPA, ARPA), servizi ospedalieri di fisica sanitaria e servizi di base (igiene pubblica, medicina del lavoro) di alcune Aziende Sanitarie Locali.

L'attività delle istituzioni che operano nel campo della protezione dei CEM copre un ampio ventaglio di settori: sviluppo di strumentazione, di procedure di misura e calibrazione, di codici di calcolo per valutazioni teoriche; sorveglianza fisica (esecuzione di campagne di misura) sul territorio e nelle aziende; studio dei modelli dosimetrici; analisi ed elaborazione di standard di esposizione; sviluppo e messa in opera di tecniche di risanamento; ideazione ed applicazione di metodologie per la sorveglianza sanitaria; formazione professionale a vari gradi e livelli.

## CONCLUSIONI

Il problema dell'interazione dei campi elettromagnetici non ionizzanti a basse frequenze assume aspetti diversi in funzione dell'intervallo di frequenza nel quale viene fissato l'interesse. Tuttavia, mentre gli studi sugli effetti acuti dei CEM, in tutto il loro intervallo di frequenze, risultano essere ragionevolmente coerenti e scientificamente attendibili, la stessa cosa non si può asserire per quanto attiene agli effetti cronici, ovvero dovuti ad esposizioni prolungate (anche se a campi di ridotta intensità). L'assenza di un quadro coerente di indicazioni epidemiologiche nell'ambito di questi effetti a lungo termine, insieme alla mancanza di adeguate prove biologiche in grado di dimostrare il meccanismo di azione dei CEM in tali condizioni operative, non consente di stabilire in modo chiaro e scientifico una relazione di causa – effetto tra nessun tipo di esposizione e nessuna forma di tumore. La situazione è ulteriormente complicata nel caso dei campi a radiofrequenza, laddove la letteratura epidemiologica, oltre ad essere incoerente, è anche relativamente ridotta.

Sulla base di quanto riscontrato in un recente studio, il National Institute for Environmental Sciences ha redatto un documento (Report on Health effects from exposure to Power line Frequency Electric and Magnetic fields, 1999), nel quale l'Ente suggerisce dei principi per indirizzare le iniziative di tipo preventivo in condizioni di incertezza:



1. Il principio di precauzione: definizione di politiche di riduzione dell'esposizione in presenza di rischi di cui non si conosce l'effettiva entità.
2. Il principio di riduzione prudenziale dell'esposizione per cui si raccomanda di ridurre l'esposizione individuale quando non sia necessaria o possa essere ridotta con misure a costo limitato.

L'OMS tuttavia non raccomanda assolutamente l'imposizione di provvedimenti restrittivi in modo generalizzato. Di fatto, questi principi sono ben presenti nella normativa nazionale (come più volte sottolineato in precedenza) al punto tale da creare dei presupposti per un ingiustificato allarmismo, dettato dalla eccessiva prudenza con cui il Ministero dell'Ambiente ha voluto fissare degli obiettivi di qualità. A tal proposito, risulta fondamentale creare le basi per una corretta e capillare informazione, che sia in grado di fornire in modo chiaro e tempestivo le motivazioni di scelte puramente cautelative (o di natura non esclusivamente sanitaria), come l'eventuale rimozione di antenne dai centri abitati o l'adozione di limiti di legge inferiori a quelli dettati dalle conoscenze scientifiche (caso del DM n. 381). In un clima di totale incertezza, bisogna, in sostanza, evitare sia di lasciarsi andare a facili allarmismi sia di essere troppo ottimisti sull'argomento, soprattutto nell'ambito degli addetti al settore. Anzi, compito della Scienza nel prossimo futuro sarà proprio quello di aumentare i suoi sforzi nella ricerca sull'argomento e fornire i risultati nel modo più perentorio possibile. In tal modo

si eviterà di incorrere in false e immotivate percezioni di rischio, che molto spesso, nel recente passato, hanno condotto l'opinione pubblica a fidarsi della spinta emotiva. Anche se in forma ridotta, si è cercato nella presente relazione di fornire un quadro della normativa di settore; e da questo è emersa la presenza di lacune indotte proprio da questo clima di incertezza. Per questo motivo, si aspetta con notevole interesse la emissione di una legge quadro in tema di protezione dai campi elettromagnetici non ionizzanti a basse frequenze, che per vari motivi ancora tarda ad arrivare.

In attesa di maggiori certezze scientifiche nell'ambito dell'inquinamento elettromagnetico e di un quadro normativo più coerente, esistono ampi spazi di intervento attraverso le opere di risanamento basate sui criteri di bonifica precedentemente illustrati. Peraltro, la normativa italiana è certamente una delle più restrittive tra quelle europee, il che, in un tale contesto di incertezza, potrebbe essere senza dubbio considerato un vantaggio a favore della salute dei cittadini. Nello stesso tempo, l'interesse dell'opinione pubblica verso questa problematica costituirà sicuramente un incentivo alle Autorità Competenti (politiche e scientifiche) per meglio focalizzare gli sforzi verso una soluzione.

## BIBLIOGRAFIA – SITOGRAFIA

### Letteratura scientifica

[1] Adda S., Anglesio L., Benedetto A., Caputo E., Mantovan M., Polesel M., Esposizione Umana A Radiofrequenze. Studio Sull’impatto Della Telefonia Cellulare E Sulle Modalità Di Utilizzo Del Telefonino Per La Riduzione Dei Rischi, ARPA Piemonte, 2014

[2] Ahlbom A., Day N., Feychting M., Roman E., Skinner J., Dockerty J., Linet M., McBride M., Michaelis J., Olsen J.H., Tynes T., Verkasalo P.K., A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia, *Br. J. Cancer* 83:692-698, 2000

[3] Ahlbom A., Green A., Kheifets L., Savitz D., Swerdlow A., Epidemiology of Health Effects of Radiofrequency Exposure, *Environ Health Perspect.* 2004 Dec; 112(17): 1741–1754.

[4] Comba P., Fazzo L., Pasetto R., Studio epidemiologico di popolazioni esposte a elevati livelli di campi magnetici a 50 Hz, ARPA Umbria, 2004

[5] Health Council of The Netherlands: Radiofrequency Radiation Committee, Radiofrequency electromagnetic fields (300 Hz-300 GHz) summary of an advisory report. 1998 Jul;75(1):51-5.

[6] IARC, Static and Extremely Low-Frequency Electric and Magnetic Fields, Vol. 80, 2001

[7] Lagorio S., Anglesio L., D'Amore G., Marino C., Scarfi M. R., Radiazioni a radiofrequenze e tumori: sintesi delle evidenze scientifiche, Roma: ISS; 2019, (Rapporti ISTISAN 19/11)

[8] National Institute for Environmental Sciences – National Institute of Health (NIESH), Report on Health effects from exposure to Power line Frequency Electric and Magnetic fields, NIH Publ. N.99-4493, 1999

[9] Russo A., Delia R., Campanella F., Guarino P., Le Radiazioni Elettromagnetiche Non Ionizzanti, Elementi Per La Valutazione Del Rischio-Beneficio, ([http://www.isticom.it/documenti/rivista/2001\\_123.pdf](http://www.isticom.it/documenti/rivista/2001_123.pdf)), 2001

[10] Stievano B. M., Erna M., Rassegna degli effetti derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici, ANPA, RTI CTN\_AGF 2/2000

[11] Wertheimer N., Leeper E., Electrical wiring configurations and childhood cancer, 1979 Mar;109(3):273-84

### **Normative e guide**

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

[13] Commissione europea – Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici, Vol. 1: Guida pratica, Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione Europea, 2015.

[14] Commissione europea – Guida non vincolante di buone prassi per l’attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici, Vol. 2: Studi di casi, Ufficio delle pubblicazioni dell’Unione Europea, 2015.

[15] D.lgs. 1 agosto 2016, n. 159, Attuazione della direttiva 2013/35/UE sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all’esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici)

[16] D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81, Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro.

[17] Direttiva 2004/40/CE – Prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all’esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici)

[18] Direttiva 2013/35/UE – Disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all’esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici)

[19] ICNIRP, 1998 – guide lines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 Ghz).

[20] OMS, maggio1998, Promemoria n. 183

[21] OMS, maggio1998, Promemoria n. 193

### **Sitografia**

[22] Approccio Generale alla Protezione,  
<http://old.iss.it/binary/elet/cont/Approccio%20generale%20ICNIRP.1204709284.pdf>

[23] Aspetti normativi, <http://www.ceinorme.it/it/lavori-normativi-it/vim.html>

[24] Campi elettromagnetici artificiali, [http://roma2.rm.ingv.it/it/tematiche/39/elettromagnetismo\\_ambientale/39/fondo\\_elettromagnetico\\_artificiale](http://roma2.rm.ingv.it/it/tematiche/39/elettromagnetismo_ambientale/39/fondo_elettromagnetico_artificiale)

[25] Commissione Nazionale Permanente di Igiene e Sicurezza sul Lavoro Formazione in materia di sicurezza Seminario Di Studio In Materia Di Igiene E Sicurezza per i rappresentanti per la sicurezza dei lavoratori e gli addetti ai servizi di prevenzione e protezione presso le Strutture dell'INFN, 2001, <https://www.ac.infn.it/sicurezza/rel/RNI.pdf>

[26] Effetti biologici e sanitari indotti da campi elettromagnetici a bassa frequenza (ARPAE), [https://www.arpae.it/Rimini/download/Novelli\\_Tesi\\_SSA/Novelli\\_Tesi\\_CapIII.pdf](https://www.arpae.it/Rimini/download/Novelli_Tesi_SSA/Novelli_Tesi_CapIII.pdf)

[27] Elettromagnetismo, innovazione tecnologica e salute, 2018, <http://www.ottimistierazionali.it/wp-content/uploads/2018/12/Ricerca-Elettromagnetismo.pdf>

[28] EpiCentro ISS, Studi e Pubblicazioni, <https://www.epicentro.iss.it/campi-elettromagnetici/studi>

[29] Gli effetti biologici delle onde elettromagnetiche, capitolo 5, <https://www.amedeolucente.it/pdf/Radiazioni.pdf>

[30] Impianti per la telefonia mobile (Stazioni radio base), [https://www.arpae.it/dettaglio\\_generale.asp?id=78&idlivello=189](https://www.arpae.it/dettaglio_generale.asp?id=78&idlivello=189)

[31] Indicazioni di protezione, <http://www.icnirp.org/>

[32] Interazione tra CEM e corpo umano, <http://www.arpa.marche.it/index.php/effetti-sanitari-dei-campi-elettromagnetici>

[33] L'esposizione a Radiazioni Non Ionizzanti, <https://www.iarc.fr/research-groups-env-researchtopics/>

[34] Linee guida per la valutazione del rischio, [http://www.portaleagentifisici.it/fo\\_campi\\_elettromagnetici\\_valutazione.php?lg=IT](http://www.portaleagentifisici.it/fo_campi_elettromagnetici_valutazione.php?lg=IT)

[35] Lo standard 5G, [https://www.arpae.it/dettaglio\\_generale.asp?id=4149&idlivello=2145](https://www.arpae.it/dettaglio_generale.asp?id=4149&idlivello=2145)

[36] Normative europee, <http://eur-lex.europa.eu/homepage.html>

[37] Progetto Allievi, ARPA e AUSL di Piacenza, [http://old.isii.it/ProgettiAllievi/2006-07/5I1/TelefoniaCellulare/rischi\\_2.html](http://old.isii.it/ProgettiAllievi/2006-07/5I1/TelefoniaCellulare/rischi_2.html)

[38] Radiazioni ionizzanti e non ionizzanti, capitolo 10, [http://www.provincia.ancona.it/ecologia/Engine/RAServeFile.php/f/Agenda21Download/RSA\\_rf\\_cap10.pdf](http://www.provincia.ancona.it/ecologia/Engine/RAServeFile.php/f/Agenda21Download/RSA_rf_cap10.pdf) [ ]Rapporto indipendente sui campi elettromagnetici e diffusione del 5 G, 2019  
[https://www.isde.it/wp-content/uploads/2019/09/Rapporto-indipendente-isde\\_ec-sui-campi-elettromagnetici-1.pdf](https://www.isde.it/wp-content/uploads/2019/09/Rapporto-indipendente-isde_ec-sui-campi-elettromagnetici-1.pdf)

[39] Le Radiazioni Ottiche Artificiali: Effetti biologici e sanitari a breve e lungo termine e la sorveglianza sanitaria,

[http://www.ausl.pc.it/sanita\\_pubblica/materiale\\_informativo/medicina\\_lavoro\\_2010/02\\_01\\_radiazioni\\_Ottiche\\_Artificiali.pdf](http://www.ausl.pc.it/sanita_pubblica/materiale_informativo/medicina_lavoro_2010/02_01_radiazioni_Ottiche_Artificiali.pdf)

[40] Ricerche e dati sulla correlazione CEM e malattie, <http://www.iarc.fr/en/research-groups/ENV/current-topics.php>

[41] Studio Cosmos, <http://www.ukcosmos.org/index.html>

[42] Studio INTERPHONE, <http://interphone.iarc.fr>

[43] Telefonia mobile, <http://www.cvsperoni.it/index.php/telefonia-mobile/>

[44] Wi-Fi, <https://www.seofarming.it/wi-fi/>

[45] World Health Organization, <http://www.who.int>