

# **Inquinamento da onde elettromagnetiche**

**Prof. Giovanni Buccolieri**  
**Università del Salento**  
**e-mail: [giovanni.buccolieri@unisalento.it](mailto:giovanni.buccolieri@unisalento.it)**

# Inquinamento elettromagnetico (ELF, RF e MW)

*“Oggi viviamo in un mondo molto diverso rispetto anche a solo cento anni fa, quando ancora ci si spostava a piedi o in carrozza e l’illuminazione era basata su lampade a petrolio”*

Sulla base delle correnti elaborazioni ed assunzioni vengono messi in evidenza i cosiddetti effetti termici che i campi elettromagnetici causano nei sistemi biologici, in particolare nelle cellule, nei tessuti e negli organi del corpo umano per valori di intensità di campo relativamente elevate; mentre viene sostenuta la non evidenza di effetti non termici, effetti da correlare sostanzialmente ad esposizioni a campi di bassa intensità.

Il problema **dell’inquinamento elettromagnetico** è legato ai rischi ambientali e sanitari dovuti all’esposizione a campi elettromagnetici e a radiazioni non ionizzanti su tutta una banda di frequenze compresa fra 50 Hz e 300 GHz.

Di seguito si parlerà di campi elettrici e magnetici a bassa frequenza generati dagli impianti per il trasporto e la distribuzione dell’energia elettrica e dei campi elettromagnetici ad alta frequenza generati dai vari dispositivi per la telecomunicazione.

# La corrente elettrica

La materia è costituita da atomi (dimensioni  $10^{-10}$  m) legati tra loro da forze di natura elettrica: la carica elettrica è una proprietà fondamentale della materia.

Esistono cariche elettriche positive (protoni) e cariche elettriche negative (elettroni). Nel Sistema Internazionale (SI) la carica elettrica si misura in COULOMB (C).

In condizioni normali l'atomo è complessivamente neutro: sotto opportune condizioni l'atomo può acquistare (risp. perdere) elettroni trasformandosi in una particella dotata di carica detta ione negativo (risp. positivo). Protone ed elettrone hanno carica elettrica di uguale valore ( $1.6 \cdot 10^{-19}$  C) ma, come già detto, di segno opposto.

La **corrente elettrica** è costituita da un flusso ordinato di cariche elettriche messe in movimento da una forza. Tale forza è in genere dovuta ad una differenza di potenziale applicata tra i capi del materiale attraversato dalla corrente. Nel SI la differenza di potenziale si misura in VOLT (V).

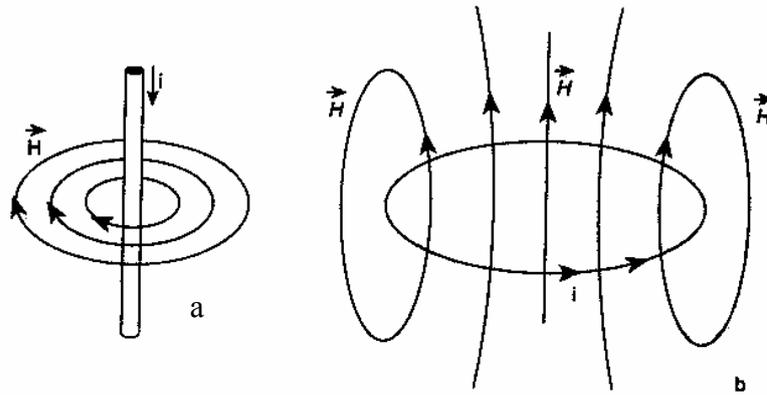
Il passaggio attraverso una superficie di 1 metro quadro di una quantità di carica pari un coulomb in un secondo definisce l'AMPERE (unità di misura della corrente elettrica nel SI ( $1A=1C/1s$ )).

# Campo elettrico e campo magnetico

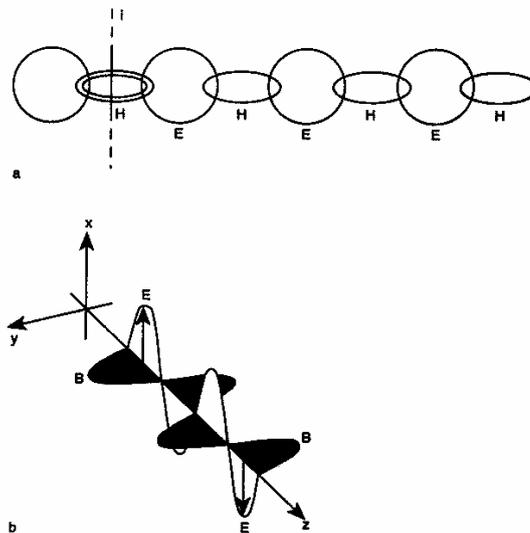
Si definisce **campo elettrico** una regione dello spazio in cui un corpo fermo ed elettricamente carico è sottoposto ad una forza proporzionale alla sua stessa carica. I campi elettrici possono essere generati da cariche elettriche. Nel SI l'unità di misura del campo elettrico è il Volt/metro (**V/m**).

Si definisce **campo magnetico** una regione dello spazio in cui una carica elettrica in moto subisce una forza proporzionale alla propria carica ed alla propria velocità istantanea. Tale forza è diretta perpendicolarmente alla velocità della carica. Un campo magnetico **H** è in generale creato da cariche elettriche in movimento ossia da correnti elettriche. Nel SI l'unità di misura del campo magnetico è l'Ampere/metro (**A/m**).

# Campo elettrico e magnetico



Campo magnetico generato da un filo percorso da corrente (a) e da una spira percorsa da corrente (b).



Un campo elettrico variabile nel tempo genera, in direzione perpendicolare a se stesso, un campo magnetico pure variabile che, a sua volta, produce un nuovo campo elettrico variabile. Questi campi concatenati determinano nello spazio la propagazione di un **campo elettromagnetico**

**B**: vettore induzione magnetica

$$[\mathbf{B}] = \text{T}, \quad 1\text{T} = 1 \frac{\text{Ns}}{\text{Cm}} = 1 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$$

**H**: vettore campo magnetico

$$[\mathbf{H}] = \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

Cominciamo con il dire che **B** ed **H** sono due grandezze magnetiche distinte. Il loro rapporto definisce la **permeabilità assoluta di un materiale**:

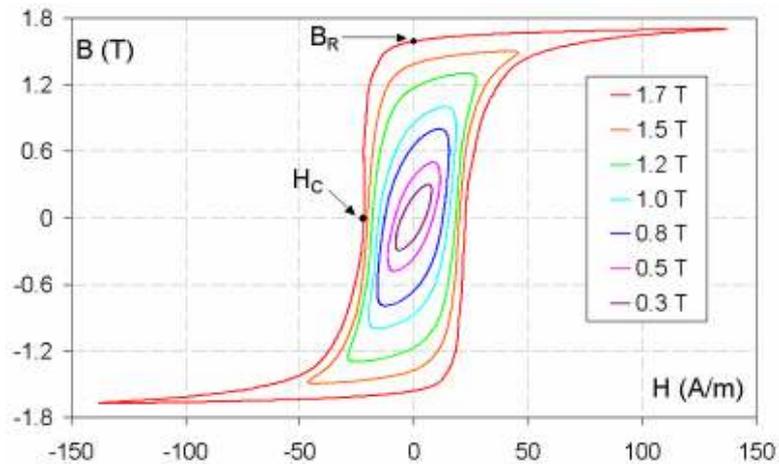
$$\frac{\mathbf{B}}{\mathbf{H}} = \text{permeabilità assoluta}$$

Se non ci fossero materiali con comportamenti diversi dal punto di vista magnetico, la distinzione tra **B** ed **H** non sarebbe di alcuna utilità. Proprio perché invece esistono, è utile distinguere l'effetto magnetico ottenuto dalla causa, almeno da un punto di vista tecnico.

Il campo **H** è **la causa**, in quanto direttamente, e solamente, dipende dalle correnti che producono il campo magnetico, che, per tale motivo, sono dette forze magnetomotrici. Il campo **B** è **l'effetto**: dal suo valore dipendono le forze elettromotrici indotte e forze elettromagnetiche.

Se in un materiale l'effetto magnetico è più intenso rispetto a quello che si ottiene con un altro materiale, a parità di causa che lo produce (**H**), il primo materiale ha una permeabilità più elevata. Il confronto tra intensità magnetica nel vuoto ed intensità magnetica in un materiale, non è un confronto tra **B** ed **H**, grandezze fisicamente diverse: un confronto ha senso se è tra grandezze omogenee.

## Ciclo d'isteresi magnetica per materiali ferromagnetici



Per un certo  $\mathbf{H}$  nel vuoto avremo un determinato valore di  $\mathbf{B}$ , che indichiamo con  $\mathbf{B}_0$ . In un materiale avremo un valore di  $\mathbf{B}$  diverso. Scriveremo allora che:

$$\mathbf{B}_0 = \mu_0 \mathbf{H} \text{ e } \mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$$

essendo  $\mathbf{H}$ , per ipotesi, sempre lo stesso.  $\mathbf{B}$  è diverso da  $\mathbf{B}_0$ , e si può scrivere:

$$\mathbf{B} - \mathbf{B}_0 = (\mu - \mu_0) \mathbf{H}$$

Dividendo tutto per  $\mathbf{B}_0$  si ha:

$$\frac{\mathbf{B}}{\mathbf{B}_0} - 1 = (\mu - \mu_0) \frac{\mathbf{H}}{\mathbf{B}_0} = \frac{\mu}{\mu_0} - 1 \Rightarrow \frac{\mathbf{B}}{\mathbf{B}_0} = \frac{\mu}{\mu_0} = \mu_r$$

Dunque il rapporto tra  $\mathbf{B}$  e  $\mathbf{B}_0$  è uguale alla permeabilità relativa del materiale,  $\mu_r$ .

# Vettore campo magnetico e vettore induzione magnetica

In alcuni materiali (tra cui l'aria)  $\mathbf{H}$  e  $\mathbf{B}$  sono tra loro proporzionali e la costante di proporzionalità è nota come **permeabilità magnetica del mezzo**:

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

Dato che per la quasi totalità dei tessuti biologici, il valore della permeabilità magnetica è uguale a quello che caratterizza l'aria, nelle valutazioni di carattere sanitario è molto più frequente l'uso dell'induzione magnetica  $\mathbf{B}$ , anche se le due grandezze  $\mathbf{H}$  e  $\mathbf{B}$  potrebbero essere usate indifferentemente in quanto nel SI sono legate dalla relazione  $\mathbf{B} = 1.257 \cdot 10^{-6} \mathbf{H}$ ,  $[\mathbf{H}] = \text{A/m}$ .

La variazione spaziale e temporale di questi campi (elettrico e magnetico) concatenati può essere descritta in termini di due onde: una magnetica ed una elettrica, perpendicolari tra loro che si propagano nello spazio alla velocità della luce (onde elettromagnetiche). Una delle caratteristiche principali dell'onda è la sua frequenza  $\nu$ , ossia il numero di oscillazioni complete compiute nell'unità di tempo. Nel SI la frequenza si misura in hertz ( $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$ ). **La frequenza è legata alla lunghezza d'onda  $\lambda$**  (distanza tra due massimi o tra due minimi dell'onda e si misura in metri) dalla relazione  $\lambda\nu = c$ , dove  $c$  è la velocità della luce.

# Radiazioni ionizzanti e non ionizzanti

- Si definiscono “radiazioni ionizzanti” quelle radiazioni capaci di ionizzare la materia (raggi X, raggi gamma, etc).;
- Si definiscono “radiazioni non ionizzanti”, spesso indicate con NIR (non ionizing radiation), tutte quelle radiazioni di energia tale da non produrre fenomeni di ionizzazione. Nella tabella che segue sono riportati gli intervalli convenzionali di tali radiazioni con i relativi nomi.

<b>Tipo</b>	<b>Frequenza</b>	<b>Lunghezza d'onda</b>
<b>Estremamente basse frequenze (ELF)</b>	<b>1 - 300 Hz</b>	<b><math>3 \cdot 10^8 - 1 \cdot 10^6</math> m</b>
<b>Basse frequenze (LF)</b>	<b>300 Hz – 300 kHz</b>	<b><math>10^6</math> m – 1 km</b>
<b>Radiofrequenze (RF)</b>	<b>300 kHz – 300 MHz</b>	<b>1 km – 1 m</b>
<b>Microonde (MW o MO)</b>	<b>300 MHz – 300 GHz</b>	<b>1 m – 1 mm</b>
<b>Infrarosso (IR)</b>	<b>300 GHz – 300 THz</b>	<b>1 mm – 1 <math>\mu</math>m</b>
<b>Luce visibile</b>	<b>375 THz – 750 THz</b>	<b>800 nm – 400 nm</b>
<b>Ultravioletto (UV)</b>	<b>750 THz – <math>3 \cdot 10^4</math> THz</b>	<b>400 nm – 100 nm</b>

# Campi e sistemi biologici

## Campi elettromagnetici naturali

Gli esseri viventi sono da sempre esposti a campi elettromagnetici naturali come per esempio le radiazioni solari (con frequenze che vanno dal IR ad UV), le radiazioni a larga banda prodotte durante i temporali (fulmini), le radiazioni cosmiche, ecc.

## Campi elettromagnetici e sistemi biologici

I campi elettromagnetici interagiscono con i sistemi biologici (in particolare con l'organismo umano) attraverso meccanismi che dipendono da diversi fattori quali **frequenza** e **intensità del campo** e **tempo di esposizione**.

Per i campi a bassissima frequenza, il meccanismo fondamentale d'interazione è **l'induzione di correnti elettriche** all'interno del corpo umano, mentre per quelli ad alta frequenza il meccanismo principale è **l'assorbimento di energia**.

Bisogna precisare che mentre per le radiazioni ionizzanti e ultraviolette gli effetti cancerogeni sono ormai certi, per le radiazioni non ionizzanti ad alta e bassa frequenza, gli effetti dovuti ad un'esposizione cronica sono ancora oggi poco chiari.

# Metodi di valutazione del rischio

Al fine di una valutazione del rischio per la salute provocato da un'esposizione ambientale, la ricerca biomedica considera tre diversi livelli di osservazione:

- ricerche su cellule;
- ricerche su animali da laboratorio e sull'uomo;
- ricerche epidemiologiche (direttamente sulla popolazione).

Queste ultime, che servono a stabilire le correlazioni tra particolari forme patologiche e fattori ambientali, si suddividono in due categorie:

***Studi di coorte o di causa-effetto:*** l'obiettivo è quello di considerare dei soggetti esposti e altri non esposti e di verificare che nei primi, il numero di soggetti con una determinata patologia è maggiore rispetto ai non esposti. Si parte quindi dall'esposizione (causa) e si verifica se determinate patologie (effetto) sono legate all'esposizione.

***Studi caso-controllo o di effetto-causa:*** l'obiettivo è di accertare se gli individui di una determinata popolazione che soffrono di una specifica patologia siano stati sottoposti ad un determinato agente in misura maggiore di soggetti della stessa popolazione non affetti dalla malattia in questione. Si parte quindi dalla patologia (effetto) e si indaga sulle esposizioni (causa).

# Campi a bassissima frequenza I

Si definiscono campi elettromagnetici a frequenza estremamente bassa (ELF) quei campi con frequenza inferiore a 300 Hz (con particolare riguardo alla frequenza di **50 Hz** tipica della produzione, distribuzione ed impiego dell'energia elettrica in Europa, e 60 Hz per USA e Canada). In questo caso i **campi elettrici e magnetici si comportano come agenti fisici separati**. Le principali **sorgenti** di tali campi sono le linee elettriche di trasporto e distribuzione di energia elettrica, i cablaggi elettrici e gli apparecchi di utilizzo (elettrodomestici ed affini).

L'esposizione a campi ELF provoca, sulla superficie dell'organismo esposto, una **distribuzione di carica elettrica variabile nel tempo** alla frequenza del campo stesso generando **correnti elettriche** all'interno dell'organismo. L'esposizione a campi di elevata intensità può indurre fenomeni percepibili direttamente dall'esposto quali vibrazioni della peluria e complicazioni cardiache come l'extrasistole e la fibrillazione ventricolare. **Nessun effetto**, neanche di percezione, è stato invece evidenziato per esposizioni a campi paragonabili a quelli riscontrati in prossimità di elettrodotti o di apparecchi elettrici.

Gli effetti a **lungo termine** si possono studiare sia con esperimenti da laboratorio sia con indagini epidemiologiche. Nella maggior parte dei casi gli studi sono indirizzati soprattutto **sugli effetti del campo magnetico** per il fatto che il campo elettrico risulta spesso insignificante all'interno di edifici in quanto **schermato** dalle pareti.

Poco si conosce sulle modalità d'interazione delle deboli correnti indotte da campi ELF: gli studi su cellule in coltura hanno dimostrato un alterato metabolismo del calcio in presenza di campi magnetici. Secondo alcuni autori l'azione di campi ELF a 50-60 Hz porta in alcuni animali da laboratorio una riduzione della secrezione notturna della **melatonina epifisaria**: molecola antiossidante e anticancerogena.

# Campi a bassissima frequenza II

In rapporti pubblicati dall'Istituto Superiore di Sanità (rapporto ISTISAN 95/29) si osserva che *“il quadro che emerge dalla letteratura scientifica esaminata fino ad oggi depone nel suo complesso a favore di un'associazione fra esposizione cronica a campi a 50-60 Hz e leucemia infantile”*. Quindi, se la letteratura scientifica tende ad affermare una probabile associazione tra esposizione a campi ELF e l'insorgenza di tumori, non si conosce ancora il possibile meccanismo biologico d'azione dei campi elettromagnetici.

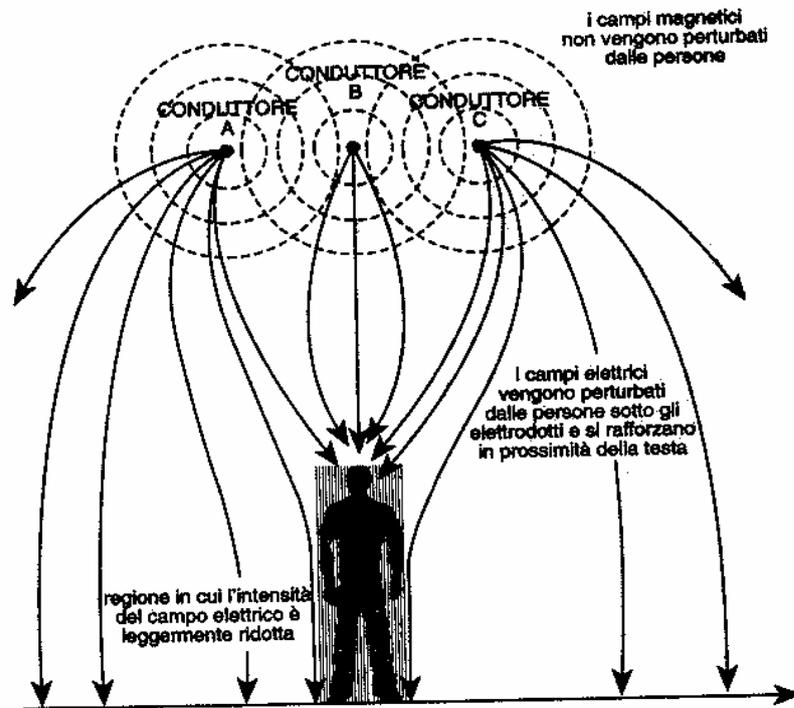
Gli studi su persone adulte sono più complessi in quanto per un adulto, i fattori legati a professione, stili di vita, ecc. sono molteplici. Studi condotti in passato in Unione Sovietica hanno evidenziato, in lavoratori esposti, un aumento di casi di cefalea, disturbi del sonno, irritabilità e diminuzione del libido anche se tentativi di replica hanno fornito risultati nel complesso contraddittori.

## Linee elettriche a bassa frequenza

Le linee elettriche si distinguono in: linee di distribuzione ad altissima tensione (AAT 220-380 kV), linee di distribuzione ad alta tensione (AT 132-150 kV), linee di distribuzione a media tensione (MT 15-20 kV) e linea di distribuzione a bassa tensione (BT 220-380 V).

Il campo elettrico e magnetico, in modo schematico, si possono rappresentare mediante linee di forza, il cui andamento è riportato nella figura che segue.

# Linee di forza dei campi



Per il campo elettrico le linee di forza hanno inizio nel cavo elettrico e terminano al suolo mentre per il campo magnetico sono delle linee chiuse aventi come asse il conduttore.

**L'intensità del campo elettrico** dipende ovviamente dalla tensione elettrica, dalla distanza dalla linea elettrica e dalla disposizione dei conduttori. Il suo valore al suolo è spesso ridotto a causa dell'effetto schermante dovuto agli oggetti presenti nelle vicinanze quali alberi, edifici, tralicci metallici, ecc.

Per quanto riguarda il **campo magnetico** generato da una linea elettrica, la sua intensità dipende principalmente dall'intensità delle correnti che circolano nei conduttori (quindi varia in funzione della richiesta di energia) e dalla distanza dalla linea e al contrario del campo elettrico non è schermabile da oggetti o edifici.

# Tipici valori

Nella tabella che segue sono riportati i valori di campo elettrico e magnetico tipicamente riscontrabili in prossimità di una linea elettrica a terna semplice in condizioni di campo imperturbato.

<b>Tipo linea elettrica</b>	<b>Campo elettrico (V/m)</b>	<b>Campo magnetico (<math>\mu</math>T)</b>
380 kV (AAT)	5000÷6000	20÷22
220 kV (AAT)	2000÷4000	16÷18
132-150 kV (AT)	1500÷3000	14÷16
15 kV (MT)	100÷300	1÷4

# Normativa vigente (campi ELF)

Il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri (DPCM) del 23 aprile 1992 fissa i limiti di esposizione ai campi ELF, limiti che per altro riguardano i soli campi elettrici e magnetici generati alla normale frequenza di trasmissione dell'energia elettrica (50 Hz).

DPCM 29 settembre 1995: norme tecniche procedurali del DPCM del 23 aprile 1992.

Questi limiti fanno riferimento ai **solì effetti acuti** (a breve termine) ma non a quelli cronici (a lungo termine) e vanno intesi come valori efficaci. I limiti di esposizione, fissati nell'articolo 4, sono pari a **5000 V/m** per il campo elettrico e **100  $\mu$ T** per il campo magnetico in aree o ambienti in cui si possa ragionevolmente aspettare che individui della popolazione trascorrono una parte significativa della giornata. Se l'esposizione è limitata a poche ore al giorno, il decreto stabilisce che tali valori possono essere portati a 10 kV/m e 1 mT rispettivamente. L'articolo 5 determina le distanze di rispetto tra elettrodotti e fabbricati.

Esperti del settore ritengono che i valori fissati sono eccessivamente elevati e ne chiedono un abbassamento a 500 V/m per il campo elettrico e 0.2  $\mu$ T per quello magnetico.

# Campi ad alta frequenza

Per campi elettromagnetici ad alta frequenza si intendono quei campi il cui spettro di frequenze è compreso tra 100 kHz e 300 GHz: in questo gamma si trovano i campi a radiofrequenza (RF) tra 100 kHz e 300 MHz, e i campi a microonde (MW o MO) con frequenza compresa tra 300 MHz e 300 GHz.

Il settore delle telecomunicazioni è quello che più di ogni altro contribuisce ad elevare il livello di inquinamento elettromagnetico ambientale, anche se particolari attività industriali e applicazioni domestiche possono dare un sostenuto contributo, almeno localmente. Nella tabella che segue sono indicate le frequenze delle principali sorgenti utilizzate per telecomunicazioni.

<b>Frequenza (MHz)</b>	<b>Uso</b>
0-2	Comunicazioni VLF e trasmissioni AM
57-88	Televisione VHF (banda I e II)
22-108	Trasmissioni FM
144-162	Comunicazioni mobili VHF e radioamatori
174-223	Televisione VHF (banda III)
450-470	Comunicazioni mobili UHF
470-590	Televisione UHF (banda IV)
614-838	Televisione UHF (banda V)
890-915	Telefonia cellulare
>1000	Ponti radio, satelliti

# Effetti di campi ad alta frequenza

Gli effetti dovuti all'esposizione a campi elettromagnetici ad alta frequenza si possono dividere in quattro diverse tipologie:

**effetti indiretti:** interessano soprattutto i portatori di pacemaker il cui funzionamento può manifestare anomalie in prossimità di sorgenti ad alta frequenza;

**effetti di natura termica:** si manifestano con un innalzamento della temperatura all'interno dell'organismo umano a causa dell'assorbimento di energia elettromagnetica;

**effetti di natura non termica:** l'esistenza di tali effetti non-termici è postulata per l'impossibilità o la difficoltà di spiegare la natura dei fenomeni non conseguenti al surriscaldamento. Secondo alcuni ricercatori, l'effetto più importante di tale interazione è rappresentato dalla possibile azione del campo elettrico sulla membrana cellulare;

**effetti a lungo termine:** anche se in maniera minore rispetto alle basse frequenze, sono state sviluppate indagini epidemiologiche anche nel caso di esposizioni ad alte frequenze. In particolare sono stati condotti studi **su soggetti fortemente esposti** quali radioamatori, operatori delle telecomunicazioni e radar **evidenziando un accresciuto rischio di leucemia e tumori cerebrali**. Sussistono tuttavia molti dubbi sull'esistenza o meno di effetti a lungo termine per esposizioni croniche dato l'elevato numero di parametri da controllare (intensità, tempo di esposizione, frequenza, forma d'onda, modalità di emissione, polarizzazione, ecc.) al fine di valutare i meccanismi d'interazione con tessuti biologici.

# Sorgenti ad alta frequenza I

Apparati per telecomunicazioni sia in comunicazione diretta (ponti-radio, telecomunicazioni spaziali) che in sistemi di diffusione (antenne radiotelevisive, telefonia cellulare, servizi per la radionavigazione).

I **ponti radio**: collegano due punti distanti tra i quali non siano interposti ostacoli. Operano con frequenze comprese tra 0.5 e 10 GHz e con potenze in antenna che vanno da 1 a 10 watt.

Le **antenne radiotelevisive**: la potenza può variare da qualche decina di watt a **centinaia di chilowatt** in relazione all'area da coprire e al tipo di propagazione utilizzata. Lo spettro di frequenza va da 0.5 MHz fino ad 1 GHz (televisioni pubbliche e private). La loro pericolosità deriva inoltre dal fatto che utilizzano antenne con fasci di irradiazione ampi in verticale e molto spesso caratterizzati da una non perfetta costruzione. Tuttavia, poiché nel caso delle antenne radiotelevisive, le onde vengono irradiate volutamente entro angoli ampi, e poiché la potenza emessa per unità di superficie diminuisce rapidamente allontanandosi dalla sorgente, l'esposizione per la popolazione può acquistare rilevanza sanitaria solo nelle immediate vicinanze della sorgente stessa.

Altre sorgenti sono gli **apparati di radiotrasmissione** ad uso privato (CB) che emettono a 27 MHz (banda cittadina) e i ricetrasmittitori per comunicazione aerea e navale che utilizzano frequenze inferiori a 30 MHz. Infine, a frequenze superiori a 30 MHz operano le radio della forze dell'ordine.

# Sorgenti ad alta frequenza II

Sia per scopi militari che civili esistono i **sistemi radar**: in generale le antenne per questi sistemi sono progettate per avere il massimo di irraggiamento in direzione di alcuni gradi sopra l'orizzonte e il minimo d'irraggiamento verso il suolo. Esistono sistemi radar operanti tra 30 e 300 MHz quindi entranti nella gamma delle radiofrequenze, radar per scopi meteorologici (operanti tra 300 MHz e 3 GHz) e per il controllo del traffico aereo e marino (3 e 30 GHz). Le potenze degli emettitori varia da alcuni chilowatt (radar militari) ad alcuni megawatt (radar a impulsi) anche se, molto spesso, i dati tecnici precisi sono segreti (soprattutto per quelli militari).

Le **antenne per telefonia cellulare** coprono il territorio mediante una rete di ricetrasmittenti fisse (stazione radio-base): esse sono costituite da una serie di antenne direzionali a dipolo operanti normalmente a 900 MHz con potenze molto basse dell'ordine dei 50 watt.

Altra sorgente di radiazioni elettromagnetica è il **telefono cellulare** che in Italia opera secondo due diversi sistemi: il TACS (*Total Access Communication System*) e il GSM (*Global System for Mobile Communication*). Le frequenze impiegate sono comprese tra 890 e 960 MHz e le potenze irradiate vanno da 250 mW a 2 W: durante l'utilizzo del telefonini, una frazione di tale potenza (stimata dal 30% al 50%) viene assorbita dalla testa dell'utente con conseguente innalzamento della temperatura della stessa. Sulla base delle conoscenze attuali, non sono però ipotizzabili effetti sanitari immediati. Le maggiori preoccupazioni sono legate a possibili effetti cronici dovuti ad esposizioni prolungate anche se non esiste, attualmente, una chiara evidenza scientifica che associ in qualche modo, l'utilizzo di telefoni cellulari, a forme tumorali.

# Telefonia mobile

Gli impianti per telefonia mobile si possono distinguere in GSM, DCS e UMTS. Il GSM è diventato il sistema radiomobile più utilizzato nel mondo. Utilizza le frequenze di 900 MHz e 1800 MHz in Europa, in Asia ed in Australia e le frequenze di 1900 MHz negli US e in America Latina.

Le bande di frequenze utilizzate per il GSM sono:

- trasmissione (down-link: dal fisso al mobile): 935-960 MHz
- ricezione (up-link: dal mobile al fisso): 890-915 MHz

Le bande di frequenze utilizzate per il DCS sono:

- trasmissione (down-link: dal fisso al mobile): 1850-1880 MHz
- ricezione (up-link: dal mobile al fisso): 1710-1785 MHz.

Il sistema **UMTS** (Universal Mobile Telecommunications Service) di terza generazione prevede trasmissione di testo, voce, video, multimedia e dati a banda larga basata sulla trasmissione a pacchetti.

Le bande di frequenze utilizzate per il UMTS sono:

- trasmissione (down-link: dal fisso al mobile): 2110-2170 MHz
- ricezione (up-link: dal mobile al fisso): 1920-1980 MHz

Il sistema UMTS ha portato ad un aumento della quantità e della velocità di trasmissione delle informazioni. In questo modo l'utente può disporre anche di nuovi servizi multimediali caratterizzati dalla convergenza tra il mondo della telefonia mobile e quello di internet. Ogni gestore per le varie tecnologie ha a disposizione una banda limitata di frequenze.

# Densità di potenza elettromagnetica

**Densità di potenza elettromagnetica S:** è la potenza elettromagnetica che fluisce attraverso una superficie unitaria normale alla direzione di propagazione. Nel SI si misura in  $W/m^2$ .

In condizioni di campo lontano (vedi regione di campo lontano) valgono le seguenti relazioni:

$$S = \frac{E_{\text{eff}}^2}{\eta} = \eta \cdot H_{\text{eff}}^2$$

dove  $\eta$  rappresenta l'impedenza dello spazio ( $\eta=377$  ohm) e il pedice **eff** indica che si tratta del valore efficace della grandezza.

**Si definisce valore efficace** di una grandezza periodica  $a(t)$ , la seguente quantità:

$$A_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_t^{t+T} a^2(t) dt}$$

Si definisce **regione di campo lontano** dalla sorgente, quella regione dello spazio che dista da essa di una quantità  $r$  maggiore del più grande tra  $\lambda$  e  $D^2/\lambda$ , dove  $\lambda$  è la lunghezza d'onda della radiazione considerata, e  $D$  rappresenta la dimensione lineare dell'elemento raggiante.

# Calcoli

**Esempio:** calcoliamo la distanza  $r$  che determina la regione di campo lontano per una antenna radio di 4 m che trasmette a 100 MHz. La frequenza  $\nu$  è legata alla lunghezza d'onda  $\lambda$  dalla relazione  $\lambda \nu = c$ , dove  $c$  rappresenta la velocità della luce nel vuoto ( $c=3 \cdot 10^8$  m/s).

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{100 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}} \cong 3 \text{ m} , \quad \frac{D^2}{\lambda} = \frac{16 \text{ m}^2}{3 \text{ m}} \cong 5.33 \text{ m}$$

Quindi, è sufficiente posizionarsi ad una distanza superiore a 5.3 m dall'antenna per realizzare la condizione di campo lontano.

# Limiti per E, H ed S

In condizioni di campo lontano, campo elettrico, magnetico e densità di potenza sono legate dalle relazioni riportate precedentemente e la verifica del rispetto del valore limite per una qualsiasi delle grandezze è sufficiente ad assicurare il rispetto dei limiti di esposizione. Nella regione di campo vicino è necessario verificare il rispetto contemporaneo dei limiti di esposizione delle tre grandezze.

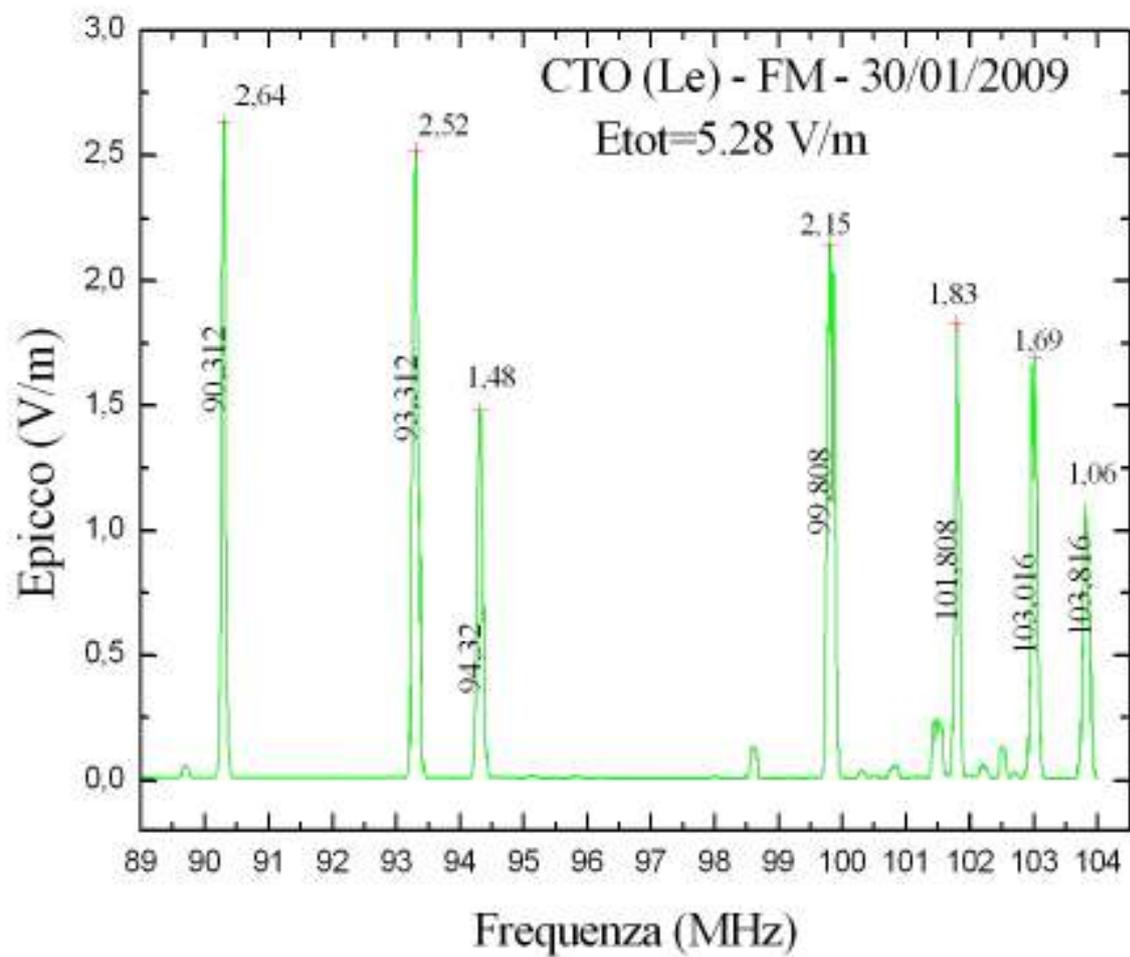
I livelli di **E**, **H** ed **S** devono essere mediati (media spaziale) su un'area equivalente alla sezione verticale del corpo umano (ad 1.10, 1.50 e 1.90 cm da terra) e su un qualsiasi intervallo temporale di sei minuti. Il punto d'indagine viene individuato attraverso una prima serie di misure nell'area in esame al fine di rilevare il punto di massima esposizione.

frequenza (MHz)	$E_{\text{eff}}$ (V/m)	$H_{\text{eff}}$ (A/m)	S (W/m <sup>2</sup> )
0.1 ÷ 3	60	0.2	-
3 ÷ 3000	20	0.05	1
3000 ÷ 300000	40	0.1	4

**Limiti sanciti dal Decreto del Ministero dell'Ambiente 10 settembre 1998 n°381**

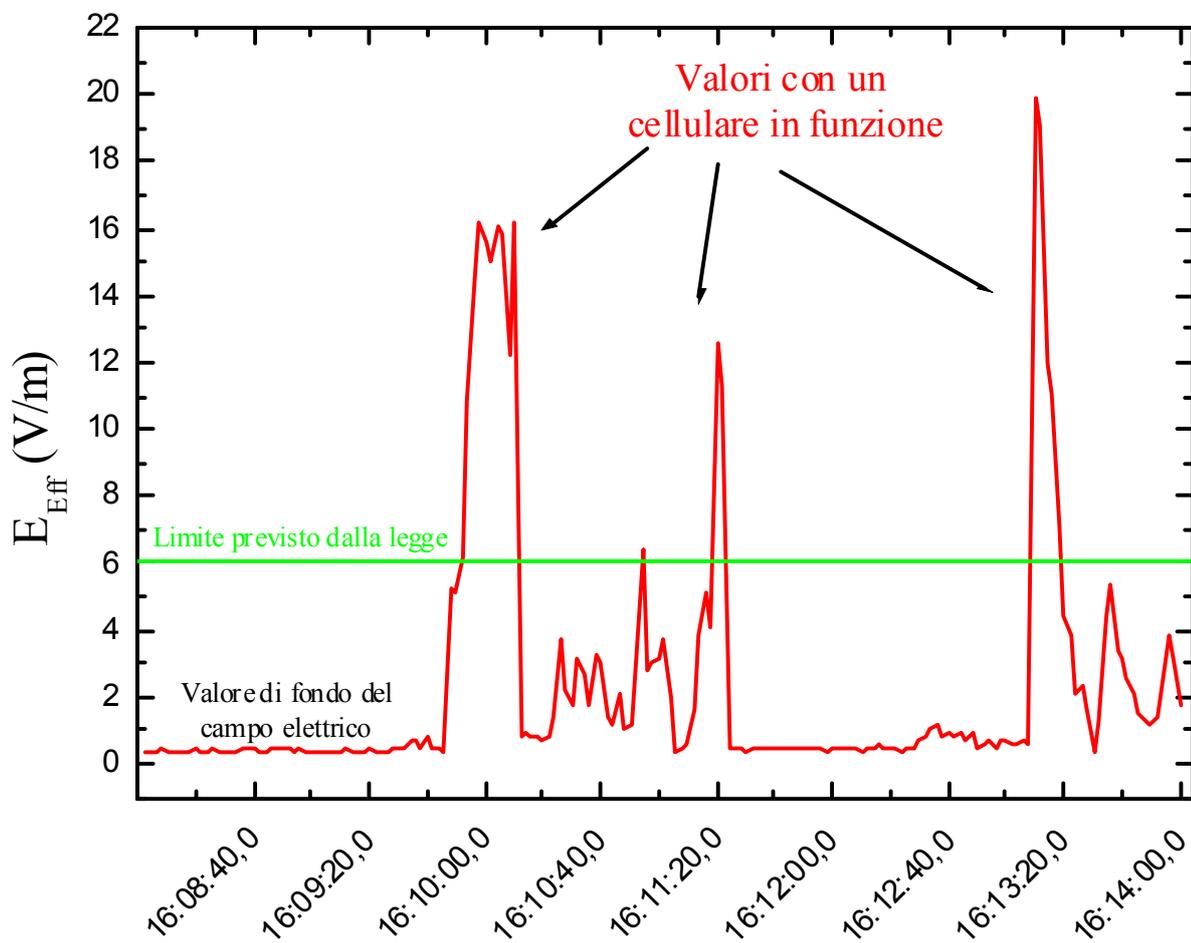
In base a considerazioni protezionistiche si introducono misure più restrittive: *“in corrispondenza di edifici adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore (abitazioni, sedi di attività lavorative, scuole, ospedali, ecc.)”* i limiti sono stati ulteriormente ridotti, indipendentemente dalla frequenza, a 6 V/m per **E** e 0.016 A/m per **H** e solo per frequenze comprese tra 3 MHz e 300 GHz a 0.1 W/m<sup>2</sup> per **S**.

# Esempio di misura



# Misure di campo elettrico eseguite su campo

Aula seminari (II piano), Liceo "De Giorgi", Lecce, in data 21/02/2011



# Conclusioni

La presenza nell'ambiente di radiazioni elettromagnetiche create artificialmente dall'uomo per soddisfare i propri bisogni, costituisce ormai un problema di grande impatto sociale. Se da una parte l'aumento del numero di sorgenti di radiazioni non ionizzanti rappresenta un segnale dell'enorme sviluppo tecnologico proprio dei paesi a più elevato sviluppo industriale, dall'altra gli scienziati si trovano davanti alla necessità di valutare l'eventuale rischio sanitario a cui si sottopone la popolazione.

Di fronte a dati scientifici ancora incerti, ma comunque tali da non escludere effetti sulla salute, sono sempre più giustificati gli interventi di risanamento e, in particolare, gli interventi preventivi tali da ridurre al minimo il carico elettromagnetico nell'ambiente.