



paolo carlizza (paolo.carlizza)

INTERAZIONE DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI CON LA MATERIA VIVENTE

15 May 2013

Generalità

Anche se non le vediamo o non le sentiamo quasi sempre, tranne nei casi dove si utilizza la loro energia in maniera sensibile e concentrata, le onde elettromagnetiche vivono accanto a noi come amiche-nemiche silenziose e condizionano la nostra esistenza piu' di quanto non si creda.

Questi campi elettromagnetici, viaggianti a velocita' della luce furono scoperti sperimentalmente a fine '800 da Hertz, al termine di una campagna di esperimenti, provanti la loro esistenza, mediante un dipolo irradiante. Erano supposti reali, prima della loro scoperta, grazie alla famosa correzione della quarta equazione di Maxwell, che esprimeva la comparsa di un campo magnetico allorché in una regione di spazio esisteva un movimento di cariche accelerate (corrente), la cosiddetta corrente impressa J .

Mancava in questa equazione un qualcosa che chiudesse la simmetria con la terza equazione di Maxwell, che mostrava nei casi statici ed a bassa frequenza o quasi statici (o meglio per lunghezze d'onda molto piu' grandi delle dimensioni degli oggetti vicino al campo elettrico), l'esistenza su una linea chiusa di un campo elettrico variabile, causante una differenza di potenziale lungo il circuito chiuso immaginario, già detto: ovvero, un campo magnetico variabile produceva un campo elettrico quasi-statico (Legge di Faraday-Lenz-Neumann).

Ed appunto, nella quarta equazione mancava il fenomeno simmetrico, cioè l'esistenza di un campo elettrico variabile, che doveva produrre un campo magnetico variabile. Se ne suppose l'esistenza, introducendo all'ultima equazione di Maxwell una derivata temporale prima del vettore induzione magnetica D , valida anche nel vuoto, in modo che esprimesse l'azione di un campo magnetico variabile, come effetto della variazione del campo elettrico.

Questo termine aggiuntivo che metteva a posto le cose, fu chiamato corrente di spostamento, provocata dalle rapide oscillazioni delle cariche elettriche, presente in un dielettrico e dalla presenza di campi elettrici variabili nel vuoto. Questa corrente di spostamento produce un campo magnetico variabile nello spazio vicinore (la parte alternata del rotore di H , campo magnetico nell'equazione stessa) e la sua intensità è tanto più marcata, quanto più è alta la frequenza. Ma questo campo

magnetico variabile a sua volta per la legge di Neimann produce un nuovo campo elettrico variabile e così via, sempre allontanandoci dalla sorgente primaria, data dalle cariche elettriche accelerate e dai campi elettrici variabili nel vuoto.

E così fu l'onda elettromagnetica: un campo elettrico-magnetico viaggiante nello spazio che si allontana sempre di più dalla sorgente e ne diviene indipendente, in quanto continua a propagarsi, anche rimuovendo la sorgente primaria, come è ben dimostrato dalla equazione delle onde omogenea.

Quindi la presenza di queste onde fu rilevata da studi matematici e poi provata con l'esperienza. E questo non ci deve meravigliare, essendo tipico del XX secolo, il grande numero di scoperte a livello atomico, anticipate da calcoli matematici, come è avvenuto nella meccanica quantistica.

Quanto detto è servito come introduzione all'argomento di natura tecnico-medica, che noi affronteremo subito: gli effetti delle onde elettromagnetiche sulla nostra salute. Si eviterà di introdurre formule e passaggi noiosi, perché altrimenti dovremmo rifare i procedimenti matematici, che portano all'equazione delle onde, che usano le quattro equazioni di Maxwell. Qualcosa di utile, per il proseguo della lettura, si può trovare nel mio precedente articolo sul comportamento dei dielettrici con la frequenza.

Sarà probabilmente su un successivo mio articolo, che potremo affrontare tutta la procedura di calcolo per arrivare alla equazione delle onde e alle formule del campo elettromagnetico prodotto nello spazio vicino e lontano da una configurazione di cariche in movimento (correnti impresse).

Premesse

Per questioni di completezza si introducono le quattro equazioni fondamentali di Maxwell e l'equazione delle onde generale.

Equazioni di Maxwell

$$\begin{aligned}
 & \bullet \nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon} \\
 & \bullet \nabla \cdot B = -\frac{\rho_m}{\mu} \\
 & \bullet \nabla \times E = -J_m - \frac{\partial B}{\partial t} \\
 & \bullet \nabla \times H = J + \sigma E + \frac{\partial D}{\partial t}
 \end{aligned}$$

dove E è il campo elettrico, B l'induzione magnetica, ρ la densità spaziale di carica, ρ_m la densità spaziale di carica magnetica, σ la conducibilità elettrica, J e J_m le densità di corrente impresse elettrica e magnetica rispettivamente. ϵ e μ , sono le

costanti dielettrica e la permeabilita' magnetica in un mezzo materiale, che non sia il vuoto: per il vuoto hanno il pedice 0.

Si ricorda che: $D = \epsilon E$ e $B = \mu H$.

Equazione delle onde

$$\nabla^2 \phi + \omega^2 \mu \epsilon_c \frac{\partial \phi}{\partial t} = \pm J_{imp}$$

dove ϕ e' il campo elettrico o magnetico, ω la pulsazione, ed ϵ_c , la costante dielettrica complessa che comprende le perdite dielettriche ed ohmiche, come visto nell'articolo sul comportamento dell'indice di rifrazione con la frequenza. Il termine noto dell'equazione differenziale di secondo ordine rispetto allo spazio ed al tempo e' costituito dalla sorgente che ha creato il campo elettromagnetico, ossia le densita' di corrente elettrica o magnetica impresse. Il segno dipende se consideriamo il campo elettrico o il campo magnetico. Ma quest'ultimo e' un altro discorso che approfondiremo un'altra volta, con lo sviluppo dell'equazione di Maxwell e l'introduzione dei potenziali vettore e scalare elettrodinamici e la funzione di Green.

NR.

Per dovere di trasparenza, si rende noto che le Figg. 1,2,3 che sono state inserite nel successivo testo provengono dall'ottimo sito http://roma2.rm.ingv.it/it/tematiche/39/elettromagnetismo_ambient, ed inoltre, per rendere piu' completo ed esauriente questo articolo, alcune piccole parti scritte (stesura parziale dei Campi ELF e stesura totale sulla spiegazione del forno a microonde) sono riprese dallo stesso sito, che consiglio assolutamente di consultare. Infine ci si e' avvalsi del sito <http://www.naturmedica.com>, per rendere noti i rischi che si possono incontrare per chi usa incondizionatamente e con fiducia il forno a microonde..

Introduzione

Cominciamo col dire che la propagazione dei campo em. nei materiali, nelle cose della natura e nei tessuti animali ed umani e' influenzata dalle proprieta' atomiche e molecolari di questi mezzi che il campo attraversa durante la sua propagazione, ovverossia il comportamento puntuale e temporale della radiazione e' determinato anche dalla natura del dielettrico, caratterizzato da una costante ϵ , data dal prodotto di $\epsilon_0 \epsilon_r$, dove la prima e' detta costante dielettrica assoluta nel vuoto, l'altra costante dielettrica relativa di un materiale. Il dielettrico, oltre a tanti fenomeni elettromagnetici, e' anche cio' che causa la diminuzione della velocita' di propagazione delle onde, in quanto esse perdono energia per alimentare il

movimento delle cariche elettriche del mezzo attraversato. E' come se ci fosse una forza di attrito che si oppone all'avanzare dell'onda.

Avendo gia' cominciato a parlare di perdite provocate dal dielettrico, possiamo aggiungere anche quelle dovute all'effetto Joule, per il passaggio di correnti dissipative, per la presenza dei campi elettrici nel mezzo.

Questo ci dice che la costante relativa del mezzo ϵ_r non e' un numero reale, bensì complesso. Alla fine di qualche piccolo calcolo che deriva da equivalenze algebriche sul secondo membro della quarta equazione di Maxwell (creazione di una costante dielettrica complessa, che si ripercuote sul termine di fase spaziale dell'espressione del fasore del campo elettrico (k , vettore costante di propagazione ed r il vettore distanza da un punto di riferimento e $k \cdot r$, prodotto scalare) $E_0 e^{-jk \cdot r}$, la cui parte immaginaria diventa un coefficiente di attenuazione), si ottiene che:

$\epsilon_r = \epsilon - j\left(\epsilon^* + \frac{\sigma}{\omega\epsilon_0}\right)$ in cui ω e' la pulsazione, proporzionale a meno di pigreco della frequenza, σ la conducibilita' del mezzo ed ϵ_0 la costante dielettrica nel vuoto.

Abbiamo anche:

$$\epsilon = 1 + \chi \cos(\psi)$$

$$\epsilon^* = \chi \sin(\psi)$$

con χ , suscettivita' elettrica complessa del mezzo in modulo, e ψ il suo argomento.

Caratteristiche elettriche dei tessuti biologici

Si considerano anche altri elementi di misura come:

- il fattore di perdita, $\epsilon'' = \frac{\sigma}{\omega\epsilon_0}$
- la tangente di perdita $\tan \alpha = \frac{\sigma}{\omega\epsilon_0\epsilon_r}$
- per la dosimetria il SAR, che e' la potenza assorbita da un kg di tessuto umano.

In genere di questa grandezza si prende un valore medio sul volume e per questo la formula matematica del SAR e' la seguente:

$$SAR = \frac{1}{V} \int \frac{\sigma(x, y, z)}{2\rho(x, y, z)} E^2 dV$$

dove E e' il valore di campo elettrico nel tessuto σ la sua conducibilita' e ρ la sua densita'.

Ma il SAR oltre essere mediato nel volume, lo si ritrova mediato anche per un tempo di 6 minuti.

Il SAR dipende da:

- i parametri del campo incidente (intensità, frequenza, polarizzazione e configurazione del soggetto irradiato rispetto al campo - condizioni di campo vicino o lontano);
- le caratteristiche del corpo esposto (dimensioni, geometria interna ed esterna, proprietà dielettriche dei vari spessori di tessuto attraversati);
- gli effetti di terra e di riflessione di altri oggetti presenti nel campo di irradiazione, come superfici metalliche vicino al corpo esposto.

Ad un minor valore di assorbimento specifico SAR corrisponde un minor riscaldamento dei tessuti ed un potenziale minor rischio per la salute.

Alcuni cellulari prevedono l'opzione flight mode, che permette di usare il telefonino con la sezione radio spenta, senza la possibilità di effettuare o ricevere chiamate. È progettato per i viaggi in aereo: si possono scrivere messaggi, salvarli e inviarli non appena a terra. Utile anche in montagna: quando il segnale ricevuto dal telefono è debole quest'ultimo emette a potenza più elevata per cercarlo, consumando più batteria.

Per i telefoni cellulari, ed altri dispositivi portatili, il limite del SAR è 2 W/kg mediato rispetto a 10 g di tessuto.[3]. Per le risonanze magnetiche tomografiche (Magnetic Resonance Imaging) i limiti sono leggermente più complicati, come si vede in Tabella 1.

Tempo medio	6 minuti					
	SAR corpo (intero)	SAR corpo (parziale)	SAR solo testa	SAR locale ^(a)		
Regione del corpo:	corpo intero	parte del corpo esposta	testa	testa	tronco	estremità
Modalità operativa ↓	(W/kg)	(W/kg)	(W/kg)	(W/kg)	(W/kg)	(W/kg)
Normale	2	2 - 10 ^(b)	3.2	10 ^(c)	10	20
1° Livello controllato	4	4 - 10 ^(b)	3.2	10 ^(c)	10	20
2° Livello controllato	>4	>(4 - 10) ^(b)	>3.2	>10 ^(c)	>10	>20
SAR di breve termine	Il limite SAR ogni intervallo di 10s non deve eccedere 3 volte i valori determinati					

Tabella 1. Valori limite del SAR nel caso di MRI.

Purtroppo il SAR non dipende dalla densita' di potenza incidente e non e' possibile trovare una relazione tra energia incidente e quella assorbita ed inoltre le sperimentazioni animali non danno risultati comparativi per l'uomo, in quanto il SAR stesso dipende dalle geometrie e le forme dei soggetti considerati. La ricerca per poter dare dei risultati quanto piu' realistici sta usando la metodologia di costruire modelli sintetici, che simulano i tessuti biologici e desumere conclusioni sull'assorbimento energetico, in base al loro comportamento sotto stimolo elettromagnetico.

I tessuti biologici

Si puo' dire certamente che la sostanza in maggiore quantita' nei tessuti biologici e' l'acqua (circa il 70% nel corpo umano). Nel corpo umano ci sono:

- Tessuti ad altissimo contenuto d'acqua (90% circa), come il sangue, liquidi cerebrospinale ed altri liquidi organici.
- Tessuti ad alto contenuto di acqua (circa l'80%), come pelle, muscolo, cervello e organi interni, quali reni, fegato e milza.
- Tessuti a basso contenuto di acqua (circa il 50%), come grasso, tendini ed ossa.

Per esempio nel tessuto muscolare a parita' di frequenza l'andamento di ϵ_r e di σ e' all'incirca un ordine di grandezza piu' alto, rispetto per esempio ad un tessuto adiposo. Questo fatto e' dovuto che i fenomeni di polarizzazione delle cariche elettriche del materiale di cui e' costituito il tessuto e quelli di conduzione elettrica sono determinati dalla presenza di acqua ed ecco perche' e' importante questo elemento. In Figura 1 gli andamenti delle costante dielettrica relativa e della conducibilita' nel caso del sangue, di un tessuto muscoloso e di uno adiposo e di un tessuto generalizzato (nella quarta sottofigura).

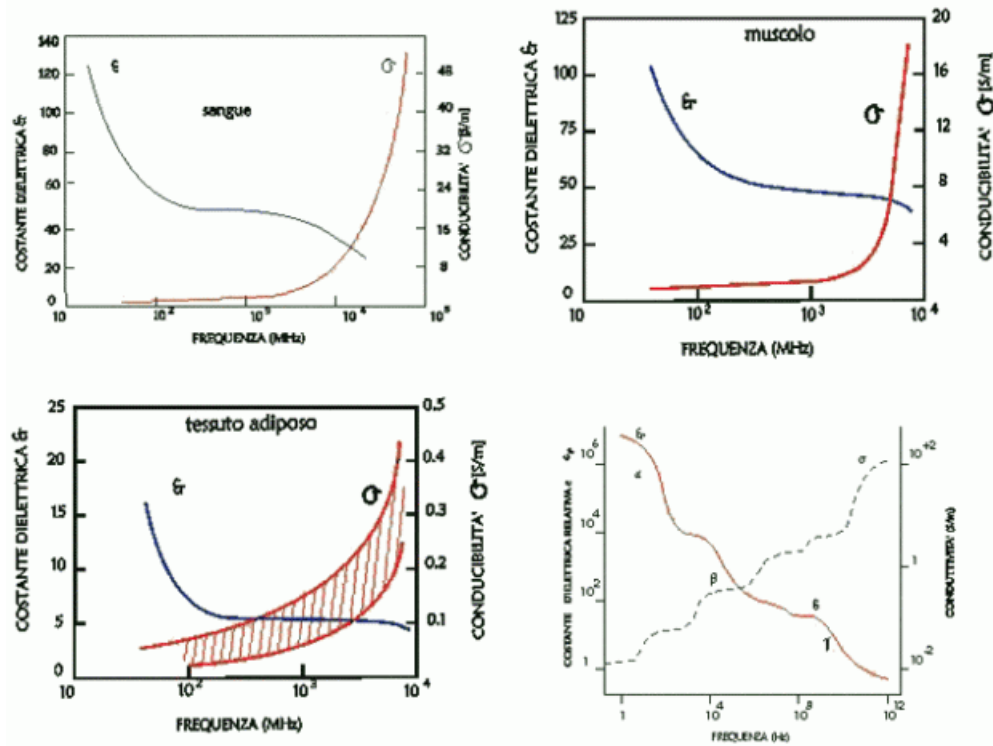
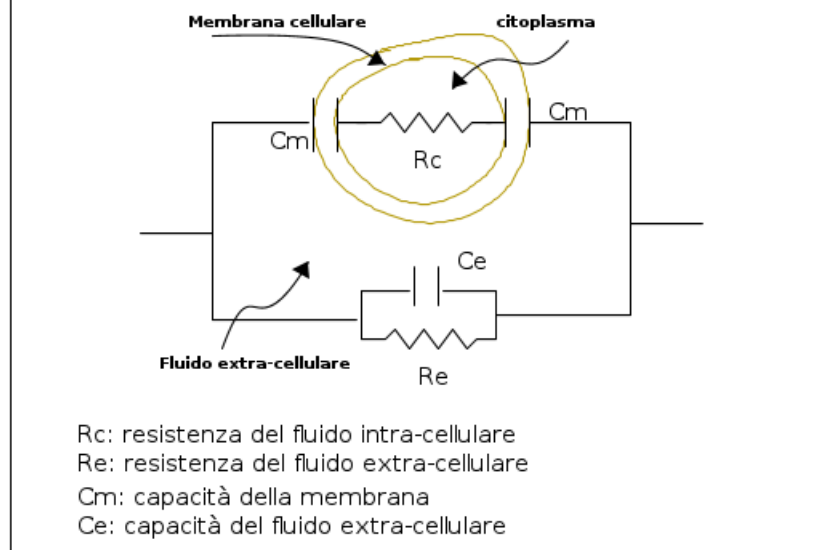


Figura 1. Andamento della conducibilita' e della costante dielettrica con la frequenza per tre tipi di tessuto (sangue, muscolo ed adiposo) e per tessuto in generale

È interessante notare che per frequenze basse il tessuto biologico esibisce valori di ϵ_r dell'ordine di $10^6 - 10^7$. Questo vuol dire che un campo elettrico esterno che penetra il tessuto si riduce dello stesso fattore. Per esempio un campo esterno di un 10 kV/m all'interno del tessuto si abbatta fino a circa 10 mV/m. Questa peculiarità che è conferita a tutti gli organismi viventi dalle membrane cellulari è una specie di difesa naturale. È proprio in virtù di questa proprietà che, per esempio, gli uccelli si possono posare su una linea ad alta tensione senza riportare danni. In Figura 2 il circuito equivalente elettrico di una membrana cellulare sottoposta ad un campo elettrico magnetico di una certa intensità'.

fig. 2 - Rappresentazione circuitale di una cellula



Prima di procedere oltre, facciamo ancora alcune considerazioni.

Quando l'onda em entra nel tessuto una parte viene trasmessa attraverso di esso, l'altra si attenua, se il materiale è tipico con perdite.

Se c'è assorbimento dell'onda la potenza dell'onda attraversante il tessuto diminuisce con la distanza come:

$$P(z) = P_0 \cdot \exp\left(-2\frac{z}{\delta}\right)$$

dove P_0 è la potenza all'interfaccia con il tessuto, z la distanza e δ , profondità di penetrazione pari a

$$\delta = \frac{c}{\omega \sqrt{\frac{\epsilon}{2}(1 + q)}}$$

con

$$q = \sqrt{\left(\frac{\sigma^2}{\omega^2 \epsilon_0^2 \epsilon_r^2} - 1\right)}$$

Effetti del campo elettromagnetico sui tessuti del corpo umano

Gli effetti del c.e. si possono riassumere in:

- biologici, dove c'è una variazione fisiologica pronunciata della parte esposta.
- dannosi, che comportano una condizione di detrimento per la salute

Possiamo dire inoltre che i tessuti biologici a seconda della frequenza possono comportarsi come conduttori e dielettrici.

Campi elettromagnetici

Campo magnetico statico

Si è trovato che non ci sono effetti nocivi alla salute sino al valore di 2 Tesla nei casi generali. I limiti sono 200 mT per esposizioni professionali.

Campi a bassissima frequenza o campi ELF

L'interazione dei campi elettrici e magnetici alle basse frequenze si deve ai campi elettrici e magnetici che generano correnti nei tessuti. Questi, non avendo in generale proprietà magnetiche, sono pressoché trasparenti ai campi magnetici. I campi elettrici e magnetici agiscono indipendentemente se le frequenze sono relativamente basse. Inoltre si è quasi sempre in condizioni di campo cosiddetto "vicino". Tali condizioni si realizzano quando la distanza della sorgente dei campi è inferiore a qualche lunghezza d'onda. Il campo magnetico terrestre, di circa 40 micro Tesla, un campo di tutto rispetto, non interagisce significativamente con i tessuti. Per un breve periodo di tempo gli organismi viventi possono sopportare, per quel che se ne sa, fino a diversi Tesla, se il campo di induzione magnetica è statico. Infatti nella risonanza magnetica nucleare (NMR) si arriva fino a qualche Tesla, senza che il paziente sotto esame se ne avveda. Per i campi magnetici variabili il discorso cambia completamente. Tali campi, non interagiscono direttamente con i tessuti che, ovviamente, sono trasparenti anche ai campi magnetici variabili nel tempo. I campi magnetici variabili, però, generano nello spazio, e quindi anche nei tessuti, campi elettrici variabili alla stessa frequenza. Sono poi questi campi elettrici a interagire con le cariche come è stato mostrato. Un paziente sotto esame NMR non sarebbe altrettanto in sicurezza se mancasse l'alimentazione della bobina che produce tale campo. La variazione nel tempo del campo magnetico genererebbe un campo elettrico molto intenso. I campi elettrici esterni all'interno dei tessuti sono ridotti di un fattore ϵ_r . Riassumendo, l'interazione dei campi elettrici e magnetici alle basse frequenze, in particolare alla frequenza di 50 Hz, è caratterizzata dai seguenti aspetti fondamentali:

- l'induzione magnetica B interna ai tessuti viene assunta uguale a quella esterna B_0 poiché μ non varia rispetto al suo valore nel vuoto ($\mu = \mu_0 = 4 \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$);

- il campo magnetico esterno di induzione B_0 , alla frequenza f , genera per induzione e.m. un campo elettrico interno ai tessuti, alla stessa frequenza f , di intensità proporzionale ad f ;
- il campo elettrico esterno E_0 , alla frequenza f , genera un campo elettrico interno ai tessuti alla stessa frequenza f ridotto di un fattore ϵ_r ;

i due campi elettrici interni danno luogo a densità di corrente J esprimibili attraverso le seguenti espressioni:

- $J = K f E_0 [A/m^2]$ (densità di corrente prodotta dal campo elettrico E_0)
- $J = \sigma \pi r f B_0 [A/m^2]$ (densità di corrente prodotta dall'induzione esterna B_0)

essendo K un fattore di forma espresso in $[S/Hz \cdot m]$ e r il raggio della spira con la quale si concatena il flusso di induzione B_0 .

Gli effetti di questi campi ELF consistono nella stimolazione delle cellule nervose e muscolari, tipo:

per bassi livelli di esposizione

- interferenze nella percezione sensoriale dell'occhio (si percepiscono lampi luminosi e colorati, detti fosfeni)
- sensazione di pizzicore

per livelli di esposizioni più elevati, le correnti indotte possono causare:

- extrasistole cardiache
- contrazioni muscolari
- fibrillazione ventricolare
- sensazione di calore

Le sorgenti comuni di campi em ELF sono:

- Campo elettrico terrestre di frequenza di 10^{-3} Hz., $E = 130$ V/m, $B = 40 - 70$ μT
- Trazione elettrica ferroviaria
- Trasporto energia elettrica ad alta tensione con $f = 50$ Hz
- Elettrodomestici per la casa
- Computer

Inoltre si è scoperto che il campo magnetico variabile influisce negativamente sulla produzione della melatonina, che è un ormone che anti-tumorale. Comunque nel range da 4 Hz a 1 kHz si è visto che per valori di campo magnetico H , inferiori a 10 mA/m, non si hanno effetti controproducenti sulla salute. Questo valore è stato

assunto come limite di sicurezza nei casi generali, ma e' diviso per 10, per le persone esposte professionalmente.

Campi a bassa frequenza

Fino a 100 kHz il tessuto biologico si comporta generalmente come conduttore e sulle superfici sono indotte distribuzioni di cariche elettriche. Al variare nel tempo di queste distribuzioni si generano delle correnti all'interno del corpo umano, proporzionali alla frequenza e all'ampiezza del campo elettrico. La quantita' e la distribuzione dell'energia em nel tessuto dipendono soprattutto da:

- le caratteristiche del campo em (intensita', potenza, polarizzazione)
- orientamento e dimensioni geometriche del corpo
- proprieta' dei tessuti investiti.

Campi a media frequenza

I campi a MF e RF fanno si' che il tessuto umano si comporti come un dielettrico con perdite. Infatti gli atomi e le molecole, che posseggono un momento di dipolo elettrico e magnetico tendono ad orientarsi come i campi E ed H. In questo caso molecole ed atomi vibrano e ruotano e questa energia roto-vibrazionale si dissipa in calore a causa delle forze attrattive, che hanno la funzione di attrito: se la frequenza di risonanza dei dipoli e' uguale alla frequenza del campo em, si ha la massima energia ed il massimo assorbimento. Questo aspetto e' un po' spiegato a caratteri generali nel mio precedente articolo sul comportamento dei dielettrici con la frequenza, che si trova ovviamente sul mio blog di "Electroyou".

Vi sono quattro bande di frequenza, dove si osservano i seguenti comportamenti:

- zona di subrisonanza **$f < 30$ MHz**.

Vi sono assorbimenti lungo la parte centrale del corpo, escludendo gli arti. Il SAR cresce con una legge quadratica rispetto alla frequenza.

- zona di risonanza **$30 \text{ MHz} < f < 400 \text{ MHz}$**

Si hanno assorbimenti pronunciati per il corpo intero e all'estremo superiore della banda anche la testa e' coinvolta.

- zona dei punti caldi **$400 \text{ MHz} < f < 2 \text{ GHz}$**

Si hanno assorbimenti ovunque localizzati per densita' di potenza incidenti di 100 W/m^2 ; l'assorbimento e' inversamente proporzionale, con l'uomo parallelo alla direzione di propagazione dell'onda, alla frequenza.

- zona di assorbimento superficiale $f > 2 \text{ GHz}$

I riscaldamenti sono solamente superficiali.

In generale per campi abbastanza variabili con la frequenza, l'interazione del campo em con i tessuti umani al variare della frequenza da 1 MHz a 10 GHz e' basata sul solo assorbimento dell'energia elettromagnetica, che e' dissipata sotto forma di calore. Cio' puo' portare a:

- Riduzione delle capacita' mentali o fisiche
- Influenza negativa sullo sviluppo fetale e sulla fertilita' maschile
- insorgere di cataratte oculari.

L'energia assorbita puo' dipendere dall'orientamento del vettore E rispetto all'asse del corpo umano: e' massima in caso di orientamenti paralleli. L'andamento con la frequenza del SAR e' riportato in tre casi dove l'uomo assume posizioni diverse rispetto ai campo E ed H. Nella Figura 3 sono riportati andamenti del SAR tre posizioni dell'uomo risspetto ai vettori elettrico e magnetico: uomo parallelo ad E, parallelo ad H e parallelo lungo la direzione di propagazione K.

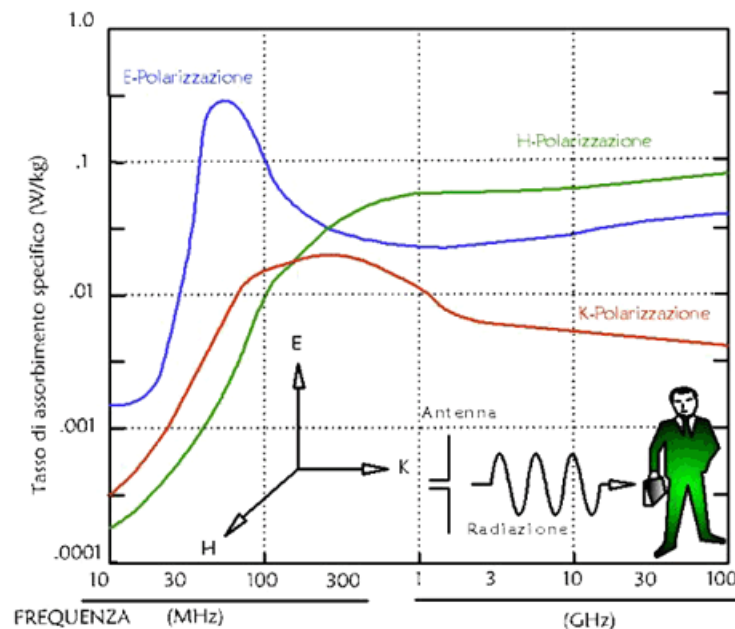


Figura 3. Andamento del SAR con la frequenza.

Quindi sintetizzando l'assorbimento di energia elettromagnetica dipende da:

fattori legati alla natura dell'onda

- frequenza
- polarizzazione
- Densita' di potenza
- campo vicino o lontano
- potenza

fattori biologici

- eta' e sesso
- condizioni generali di salute
- proprieta' dielettriche del tessuto
- dimensioni

fattori ambientali

- durata di esposizione
- esposizione parziale del corpo o intera
- superfici riflettenti circostanti

Le **sorgenti elettromagnetiche** comuni per alta frequenza sono:

- macchine per riscaldamento industriale (energia elettrica che si trasforma in calore)
- apparati per telecomunicazioni (ponti radio, radio e televisione)
- sistemi radiomobili: ricetrasmittenti veicolari, telefono cellulari
- sorgenti domestiche (forni a microonde, televisori, telefoni mobili cordless, sistemi di allarme)
- applicazioni biomedicali (diagnostiche, terapeutiche).

Le normative

Dalle normative scritte in documenti dell'istituto ICNIRP, si possono desumere i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici, per la popolazione e per ambienti di lavoro. Le normative stesse sono armonizzate con la legge italiana ed il contesto europeo.

Limiti base

**LIVELLI DI RIFERIMENTO PER L'ESPOSIZIONE DELLA POPOLAZIONE
A CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI VARIABILI NEL TEMPO
(Valori efficaci dei campi non perturbati)**

Intervallo di frequenza	Intensità del campo elettrico (V/m)	Intensità del campo magnetico (A/m)	Induzione magnetica (μT)	Densità di potenza dell'onda piana equivalente P_{eq} (W/m^2)
fino a 1 Hz	-	3.2×10^4	4×10^4	-
1-8 Hz	10.000	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	-
8-25 Hz	10.000	$4000 / f$	$5000 / f$	-
0.025-0.8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	-
0.8-3 kHz	$250 / f$	5	6.25	-
3-150 kHz	87	5	6.25	-
0.15-1 MHz	87	$0.73 / f$	$0.92 / f$	-
1-10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0.73 / f$	$0.92 / f$	-
10-400 MHz	28	0.073	0.092	2
400-2000 MHz	$1.375 f^{1/2}$	$0.0037 f^{1/2}$	$0.0046 f^{1/2}$	$f / 200$
2-300 GHz	61	0.16	0.20	10

Note

- 1) f è la frequenza in *hertz*.
- 2) A causa della disomogeneità elettrica del corpo, le densità di corrente dovrebbero essere mediate su una sezione di 1 cm^2 perpendicolare alla direzione della corrente.
- 3) Per frequenze fino a 100 kHz , i valori di picco della densità di corrente possono essere ottenuti moltiplicando il valore efficace per $\sqrt{2}$ (~ 1.414). Per impulsi di durata t , la frequenza equivalente da applicare nei limiti di base dovrebbe essere calcolata come $f = 1/(2tp)$.
- 4) Per frequenze fino a 100 kHz e per campi magnetici pulsati, la densità di corrente massima associata con gli impulsi può essere calcolata dai tempi di salita/discesa e dalla massima derivata temporale dell'induzione magnetica. La densità di corrente indotta può, quindi, essere confrontata con l'appropriato limite di base.
- 5) Tutti i valori di SAR devono essere mediate su un qualunque intervallo di 6 minuti .
- 6) Il SAR locale va mediato su una qualunque massa di 10 g di tessuto contiguo; il SAR massimo ottenuto in tal modo dovrebbe essere il valore usato per la stima dell'esposizione.
- 7) Per impulsi di durata t , la frequenza equivalente da applicare nei limiti di base dovrebbe essere calcolata come $f = 1/(2tp)$. Inoltre, per esposizioni pulsate, l'assorbimento specifico (SA) non dovrebbe eccedere 10 mJ/kg per i lavoratori e 2 mJ/kg per la popolazione.

Tabella 2. Limiti base di esposizione

Limiti per la popolazione

Nella tabella sono riportati limiti piu' accurati.

**LIVELLI DI RIFERIMENTO PER L'ESPOSIZIONE DELLA POPOLAZIONE
A CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI VARIABILI NEL TEMPO
(Valori efficaci dei campi non perturbati)**

Intervallo di frequenza	Intensità del campo elettrico (V/m)	Intensità del campo magnetico (A/m)	Induzione magnetica (μT)	Densità di potenza dell'onda piana equivalente P_{eq} (W/m ²)
fino a 1 Hz	-	3.2×10^4	4×10^4	-
1-8 Hz	10.000	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	-
8-25 Hz	10.000	$4000 / f$	$5000 / f$	-
0.025-0.8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	-
0.8-3 kHz	$250 / f$	5	6.25	-
3-150 kHz	87	5	6.25	-
0.15-1 MHz	87	$0.73 / f$	$0.92 / f$	-
1-10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0.73 / f$	$0.92 / f$	-
10-400 MHz	28	0.073	0.092	2
400-2000 MHz	$1.375 f^{1/2}$	$0.0037 f^{1/2}$	$0.0046 f^{1/2}$	$f / 200$
2-300 GHz	61	0.16	0.20	10

Note

- 1) f come indicato nella colonna relativa all'intervallo di frequenza.
- 2) Se i limiti di base sono rispettati e possono essere esclusi effetti avversi indiretti, i valori di intensità di campo possono essere superati.
- 3) Per frequenze comprese tra 100 kHz e 10 GHz, P_{eq} , E , H , e B , devono essere mediati su qualsiasi intervallo di 6 minuti.
- 4) Per valori di picco fino a 100 kHz, si veda la *tabella 2, nota 3*).
- 5) Tra 100 kHz e 10 MHz, i valori di picco per le intensità di campo sono ottenuti per mezzo di un fattore moltiplicativo ricavato per interpolazione dal fattore 1.5 a 100 kHz al fattore 32 a 10 MHz. Per frequenze superiori a 10 MHz, si suggerisce che il valore di picco della densità di potenza dell'onda piana equivalente, mediato sulla durata dell'impulso, non ecceda più di 1000 volte i limiti su P_{eq} o che l'intensità di campo non ecceda più di 32 volte i livelli di esposizione relativi all'intensità di campo dati in tabella. Per frequenze comprese tra 0.3 e parecchi GHz, effetti di tipo uditivo attraverso espansione termoelastica sono limitati da questa procedura.
- 6) Per frequenze superiori a 10 GHz, P_{eq} , E , H , e B , devono essere mediati su qualsiasi intervallo pari a $68 / f^{1.05}$ minuti (f in GHz).
- 7) Nessun valore del campo elettrico è indicato per frequenze <1Hz, trattandosi praticamente di campi elettrici *statici*. Scosse elettriche da sorgenti di bassa impedenza sono prevenute da procedure di sicurezza elettrica stabilite per tali apparati.

Tabella 3. Limiti di esposizione della popolazione.

Limiti ambienti di lavoro.

Nella tabella sono riportati limiti piu' accurati.

**LIVELLI DI RIFERIMENTO PER L'ESPOSIZIONE LAVORATIVA
A CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI VARIABILI NEL TEMPO
(Valori efficaci dei campi non perturbati)**

Intervallo di frequenza	Intensità del campo elettrico (V/m)	Intensità del campo magnetico (A/m)	Induzione magnetica (μT)	Densità di potenza dell'onda piana equivalente P_{eq} (W/m^2)
fino a 1 Hz	-	1.63×10^5	2×10^5	-
1-8 Hz	20.000	$1.63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	-
8-25 Hz	20.000	$2 \times 10^4 / f$	$2.5 \times 10^4 / f$	-
0.025-0.82 kHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$	-
0.82-65 kHz	610	24.4	30.7	-
0.065-1 MHz	610	$1.6 / f$	$2.0 / f$	-
1-10 MHz	$610 / f$	$1.6 / f$	$2.0 / f$	-
10-400 MHz	61	0.16	0.2	10
400-2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$0.01f^{1/2}$	$f/40$
2-300 GHz	137	0.36	0.45	50

Note

- 1) f come indicato nella colonna relativa all'intervallo di frequenza.
- 2) Se i limiti di base sono rispettati e possono essere esclusi effetti avversi indiretti, i valori di intensità di campo possono essere superati.
- 3) Per frequenze comprese tra 100 kHz e 10 GHz, P_{eq} , E , H , e B , devono essere mediati su qualsiasi intervallo di 6 minuti.
- 4) Per valori di picco fino a 100 kHz, si veda la *tabella 2, nota 3*).
- 5) Tra 100 kHz e 10 MHz, i valori di picco per le intensità di campo sono ottenuti per mezzo di un fattore moltiplicativo ricavato per interpolazione dal fattore 1.5 a 100 kHz al fattore 32 a 10 MHz. Per frequenze superiori a 10 MHz, si suggerisce che il valore di picco della densità di potenza dell'onda piana equivalente, mediato sulla durata dell'impulso, non ecceda più di 1000 volte i limiti su P_{eq} o che l'intensità di campo non ecceda più di 32 volte i livelli di esposizione relativi all'intensità di campo dati in tabella. Per frequenze comprese tra 0.3 e parecchi GHz, effetti di tipo uditivo attraverso espansione termoelastica sono limitati da questa procedura.
- 6) Per frequenze superiori a 10 GHz, P_{eq} , E , H , e B , devono essere mediati su qualsiasi intervallo pari a $68/f^{1.05}$ minuti (f in GHz).
- 7) Nessun valore del campo elettrico è indicato per frequenze <1Hz, trattandosi praticamente di campi elettrici *statici*. Scosse elettriche da sorgenti di bassa impedenza sono prevenute da procedure di sicurezza elettrica stabilite per tali apparati.

Tabella 4. Limiti di esposizione per i lavoratori.

Meccanismi di interazione ad alta frequenza. Un esempio: il forno a microonde

Per concludere vediamo il comportamento elettromagnetico di un forno a microonde. Un piatto di patate all'interno del forno a microonde ci aiuta a capire i principi dell'interazione dei campi elettromagnetici alle alte frequenze. Il piatto fatto di materiale dielettrico (non conduttore) non assorbe energia e, se non fosse per il contatto diretto con le patate, rimarrebbe freddo. In quanto al contenuto del piatto, le cose vanno un po' diversamente. I campi elettrici delle microonde interagiscono principalmente con le molecole polari d'acqua costringendole a seguire le sue vibrazioni (circa 1 miliardo di vibrazioni al secondo alla frequenza di funzionamento del magnetron). Nel seguire queste oscillazioni le molecole sono anche sottoposte a un attrito molecolare che in definitiva riscalda le patate. Le pareti del forno di ottimo materiale conduttore sono poco scaldate dalle microonde in quanto la profondità di penetrazione interessa solo gli strati molto superficiali del conduttore stesso. Se inavvedutamente mettessimo un pezzo di metallo all'interno del forno in breve tempo questo si scalderebbe a causa delle correnti a radio frequenza indotte nel materiale conduttore. Questo spiega grossolanamente il comportamento dei dielettrici (piatto), dielettrico dissipativo (patate) e conduttore (metallo). La parte della radiazione che si trasmette subisce una attenuazione, e quest'ultima è funzione del fattore di perdita ϵ'' o della conducibilità σ che a sua volta dipende dalla frequenza. La profondità di penetrazione, cioè la profondità alla quale il campo si riduce circa al 37% del suo valore, è data dal parametro δ , che abbiamo visto quando abbiamo parlato dell'attenuazione di un'onda em, che penetra in un tessuto. Dalla profondità di penetrazione, si evince che all'aumentare della frequenza, cioè di ω , le onde hanno sempre più difficoltà nel penetrare il mezzo. Si noti che la lunghezza d'onda nel tessuto, al pari della velocità, si riduce di un fattore $\sqrt{\epsilon_r}$.

I pericoli del forno a microonde

Questa oggi è una delle più importanti cause di malattia. Sicuramente è una delle meno conosciute. Lo scopo di questo rapporto è quello di portare delle prove che la cottura nel forno a microonde non è naturale e nemmeno salutare.

È possibile che milioni di persone stiano sacrificando la loro salute per ignoranza (non informati) in cambio della convenienza e della comodità del forno a microonde? Chi lo ha inventato? Perché in Unione Sovietica il suo uso è stato bandito fin dal 1976? Chi dice che può far male alla salute? Credo che le risposte potrebbero farti decidere di buttare il forno nella spazzatura. Se hai degli amici che utilizzano questo elettrodomestico, spediscigli questo articolo.

- Come funziona?

Le microonde sono una forma di energia elettromagnetica come quelle della luce o della radio. La moderna tecnologia le utilizza per trasmettere a grandi distanze messaggi telefonici, programmi televisivi, informazioni da e per i satelliti, ecc. L'energia delle onde cambia di polarità, dal positivo al negativo, per un dato numero di volte durante ogni ciclo. Ogni forno produce una radiazione di frequenza di circa 2450 megahertz (MHz) che interagisce con le molecole dei cibi. Mentre nei forni tradizionali il calore passa dall'esterno verso l'interno dei cibi, in quelli a microonde avviene il processo opposto. Le microonde bombardano il cibo all'interno, a livello cellulare, facendo cambiare la polarità delle molecole ad una frequenza di circa 100 milioni di volte al secondo. Questo movimento provoca una frizione fra le cellule che provoca il calore che "riscalda" il cibo. Purtroppo questa forza violenta deforma e danneggia la struttura delle molecole. Non è più cibo, ne ha conservato solo la forma esteriore.

- Chi dice che può far male alla salute?

L'Università del Minnesota ha fatto pubblicare nel 1989 un avvertimento alle famiglie riguardo al riscaldamento del latte per i neonati. Il riscaldamento nei forni a microonde provoca la perdita di vitamine e nel caso del latte materno vengono distrutte alcune sue proprietà protettive.

La dott. Lita Lee, su Lancet del 9 dic. 1989 ha scritto: "Le microonde nel latte per bambini convertono alcuni trans-aminoacidi nei loro cis-isomeri sintetici, questi non sono biologicamente attivi. Inoltre, uno degli aminoacidi, L-prolina, è stato trasformato nel suo d-isomero, di cui si conoscono le sue caratteristiche neurotossiche (nocive al sistema nervoso) e nefrotossiche (nocive ai reni)."

Il seguente è un breve resoconto degli studi eseguiti in Russia e pubblicati sull'Atlantis Raising Educational Center di Portland, Oregon. In quasi tutti i cibi testati sono stati trovati composti cancerogeni. I tempi di esposizione dei cibi alle microonde non sono stati maggiori di quelli necessari per gli scopi prescelti, cioè cottura, scongelamento o riscaldamento.

Nel forno a microonde: nella carne riscaldata si formano d-nitrosodientanoline, note per essere cancerogene. Inoltre avviene anche una degradazione delle proteine, latte e cereali trasformano alcuni dei loro aminoacidi in sostanze cancerogene, anche esposizioni molto brevi di verdure crude, cotte o surgelate trasformano i loro alcaloidi in cancerogeni, lo scongelamento di frutta trasforma il contenuto di glucosidi e di galattosidi in sostanze cancerogene, formazione di radicali liberi cancerogeni in verdure, specialmente radici (barbabietole, rape, ecc.), diminuzione del valore nutritivo dal 60 al 90% in tutti gli alimenti testati; diminuzione della biodisponibilità del complesso delle vitamine B, C ed E, dei minerali essenziali e dei fattori lipotropi (sostanze che sono capaci di modificare il metabolismo dei grassi). È sorprendente

constatare che fino ad ora siano stati eseguiti pochissimi studi scientifici sugli effetti delle microonde sui cibi, considerando la progressiva diffusione di questi apparecchi.

Nel 1991 ci fu una causa civile per una donna deceduta dopo una trasfusione di sangue che era stato pre-riscaldato in un forno a microonde.

- Il caso Hertel - Svizzera.

Il dott. Hans Hertel (ora in pensione) ha lavorato per diversi anni come ricercatore presso una delle più grandi aziende alimentari svizzere. Fu licenziato dopo aver indagato su alcune procedure di cottura che denaturavano il cibo. Assieme al professor Blanc dell'Istituto Federale di Biochimica all'Università di Losanna, aveva pubblicato una ricerca sugli effetti che i cibi riscaldati con microonde avevano sul sangue e sulla fisiologia del corpo umano. Lo studio coinvolse otto individui. Vennero presi dei campioni di sangue subito dopo aver mangiato alimenti riscaldati con microonde. Scoprirono immediatamente una diminuzione dell'emoglobina (tendenza all'anemia), il peggioramento dei parametri dell'HDL (colesterolo buono) e LDL (colesterolo cattivo). Trovarono anche un aumento del numero di leucociti, qualcosa che gli ematologi prendono in seria considerazione, perché è un segno di stati patologici come intossicazione o danno cellulare.

In aggiunta agli effetti del violento riscaldamento per frizione, chiamato effetto termico, c'è un altro fenomeno, chiamato effetto atermico che è stato raramente preso in considerazione. Questo provoca una deformazione della struttura delle molecole portando conseguenze di ordine qualitativo. L'indebolimento delle membrane cellulari che ne deriva può provocare una maggiore predisposizione all'attacco di virus, batteri e altri microrganismi. La stessa violenta deformazione capita alle cellule del nostro organismo quando siamo esposti a radar o microonde. Le microonde provocano anche la formazione di nuovi composti chiamati "composti radiolitici", sconosciuti nel mondo naturale. Questi sono creati dalla decomposizione molecolare, o decadimento, un risultato delle radiazioni.

I risultati dello studio di Hertel sono stati pubblicati nella primavera del 1992. Immediata è stata la reazione delle associazioni dei rivenditori e degli industriali coinvolti. Un tribunale ha vietato al dott. Hertel la pubblicazione di ulteriori scritti sotto la minaccia della reclusione fino ad un anno. L'opposizione del dott. Hertel all'ingiunzione del tribunale svizzero ha portato nel 1998 la Corte Europea dei Diritti Umani ad annullare la sentenza contro il dott. Hertel, riconoscendogli fra l'altro un risarcimento.

Come sicuramente si sarà intuito, anche rimanere per alcuni minuti accanto ad un forno a microonde può essere estremamente pericoloso. Sappiamo che le cellule "esplodono dentro al forno", prova a friggervi un uovo. Noi siamo composti di miliardi di cellule, immagina quante potrebbero essere danneggiate dalla vicinanza ad un

forno per 5-10 minuti. Da alcuni esponenti che lavorano nel campo della salute umana, il forno a microonde 'stato testato e si e' appurata ad apparecchio acceso, una notevole emissione di microonde a più di mezzo metro di distanza. Inoltre una prova radiestesica eseguita su un campione di acqua prima e dopo il passaggio nel forno ha evidenziato la totale scomparsa di vitalità dopo il riscaldamento con le microonde. L'acqua era bioenergeticamente morta.

I vari studi scientifici, svizzeri, tedeschi e russi, ecc. hanno portato tutti alle stesse conclusioni. Alimentarsi continuamente con cibi cotti o comunque trattati nel forno a microonde provoca o può provocare:

- 1. danni cerebrali derivati dagli impulsi elettrici nel cervello in "corto circuito",
- 2. la produzione degli ormoni maschili e femminili è interrotta e/o alterata,
- 3. i minerali, le vitamine e i nutrienti dei cibi sono ridotti o alterati, in questo modo l'organismo riceve poco o nessun beneficio,
- 4. i minerali nei vegetali sono trasformati in radicali liberi cancerogeni,
- 5. crescita di tumori intestinali e dello stomaco,
- 6. aumento di cellule cancerogene nel sangue,
- 7. deficienze immunitarie dovute ad alterazioni delle ghiandole linfatiche e del siero ematico,
- 8. perdita di memoria e di capacità di concentrazione, instabilità emotiva e diminuzione dell'intelligenza.

Ci sono interessanti testimonianze di persone che nonostante non utilizzassero personalmente alcun forno a microonde, in occasione di tests chinesologici richiesti per cercare la causa di malesseri diffusi (mal di testa, mal di schiena, instabilità emotiva, ecc.) sono stati trovati sensibili ai cibi trattati con microonde. Ulteriori indagini hanno rivelato che quasi tutti i ristoranti di cui si servivano utilizzavano per la cottura ed il riscaldamento dei cibi proprio dei forni a microonde. Forse sarà utile indagare su come riscalda gli alimenti il nostro ristorante preferito. Concludendo, da queste righe si evince che non usarlo e' meglio, ma ognuno ha il diritto di valutare con una certa autocoscienza tutte le situazioni che possono crearsi e/o derivare dall'uso di questo dispositivo elettromagnetico.

Paolo Carlizza, il 21 maggio 2013. (ultimo aggiornamento).

Estratto da "<http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Paolo.carlizza:interazione-dei-campi-elettromagnetici-con-la-materia-vivente>"