

Effetti biologici derivanti dalla esposizione ai campi elettromagnetici

QUESTO articolo nasce dall'esigenza di diffondere quanto più possibile tra i radioamatori, informazioni utili in merito alla presunta pericolosità delle radiazioni elettromagnetiche emesse dagli apparati e dagli impianti che normalmente utilizziamo per il nostro passatempo preferito, questo allo scopo di poter correttamente interpretare le prescrizioni che sempre più spesso vengono inserite all'interno dei manuali d'uso degli apparati e per poterci difendere dai "cacciatori di streghe" i quali, spesso suggestionati da trasmissioni televisive popolari che mandano in onda servizi in cui si vedono telecomandi e termometri che impazziscono a causa di pericolosi trasmettitori non bene identificati, accusano il malcapitato radioamatore (a volte anche il povero SWL) di attentare alla loro salute.

Gli effetti biologici derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici, in particolare quelli prodotti da onde a radiofrequenza, possono essere classificati in varie maniere; il metodo più diffuso distingue gli effetti biologici in "termici" e "non termici"; la figura che segue illustra il complesso meccanismo causa - effetto che può essere prodotto da un'onda elettromagnetica.

Effetti termici

Gli effetti dovuti allo sviluppo localizzato di calore nei materiali biologici, compreso quindi l'organismo umano, causato dal campo elettromagnetico a radiofrequenza sono

gli unici effetti sulla salute umana che sono stati scientificamente provati. Le conseguenze per la salute dovute allo sviluppo di calore nelle cellule, negli organi e, più in generale, nell'organismo umano sono state oggetto di studi recenti e non, le conclusioni di tali studi riportano, più o meno uniformemente, che in caso di totale esposizione di un corpo ad una radiazione elettromagnetica di intensità tale da provocare un assorbimento (Specific Absorption Rate - SAR) inferiore a 4 W/kg, nessun effetto evidente si manifesta sui tessuti, quindi nessun problema di salute per l'uomo.

Un altro tipo di studi, effettuati "in vivo" sugli animali ha riscontrato evidenti cambiamenti di comportamento negli animali quando l'intensità della radiazione elettromagnetica irradiata è tale da superare la soglia dei 4 W/kg.

L'indicatore SAR utilizzato è il tasso di assorbimento specifico di energia ed è ormai l'unità di misura di riferimento in molte analisi dei rischi da esposizione a radiazioni elettromagnetiche, lo troverete in futuro nei manuali d'uso dei vostri apparati radio, lo trovate già in quelli dei telefonini o nei siti Web della maggior parte dei produttori di telefoni cellulari; si tratta del valore mediato su tutto il corpo o su alcune parti di esso, del tasso di assorbimento di energia per unità di massa di tessuto corporeo ed è espresso in watt per chilogrammo (W/kg). Il SAR a corpo intero è una misura ampiamente accettata per porre in rapporto gli effetti termici nocivi del-



Figura 1 • Una potenziale fonte di radiazioni elettromagnetiche dannose per la salute

l'esposizione a radiofrequenze. Oltre al valore del SAR mediato su tutto il corpo, sono necessari anche valori locali del SAR per valutare e limitare la deposizione eccessiva di energia in parti piccole del corpo conseguenti a particolari condizioni di esposizione, quali ad esempio il caso di un individuo in contatto con la terra, esposto a RF dell'ordine di pochi MHz e di individui esposti nel campo vicino di un'antenna.

Sull'argomento esistono poi dei valori limite di esposizione, fissati dalle Autorità competenti, che sono gli unici valori da considerare nella valutazione del rischio; a titolo di esempio, la tabella riporta i valori limite di esposizione alle radiazioni elettromagnetiche negli ambienti di lavoro, prescritti dalla Direttiva 2004/40/CE, che dovrà essere recepita dagli Stati membri dell'Unione Europea entro il 30 aprile 2008.

Per la popolazione i valori raccomandati sono molto più bassi (raccomandazione 1999/519/CE):

- 1 SAR mediato su tutto il corpo 0,08 W/kg
- 2 SAR localizzato su capo e tronco 2 W/kg
- 3 SAR localizzato sugli arti 4 W/kg

Per comprendere il significato dei dati sopra riportati è necessario sapere che:

- 161 Tutti i valori di SAR devono essere ottenuti come media su un qualsiasi periodo di 6 minuti di esposizione.
- 162 La massa adottata per mediare il SAR localizzato è pari a 10 g di tessuto contiguo.
- 163 Il SAR massimo ottenuto in tal modo costituisce il valore impiegato per la stima dell'esposizione.
- 164 Si intende che i suddetti 10 g di tessuto devono essere una massa di tessuto contiguo con proprietà elettriche quasi omogenee.
- 165 Nello specificare una massa contigua di tessuto, si riconosce che tale concetto può essere utilizzato nella dosimetria numerica ma che può presentare difficoltà per le misurazioni fisiche dirette.

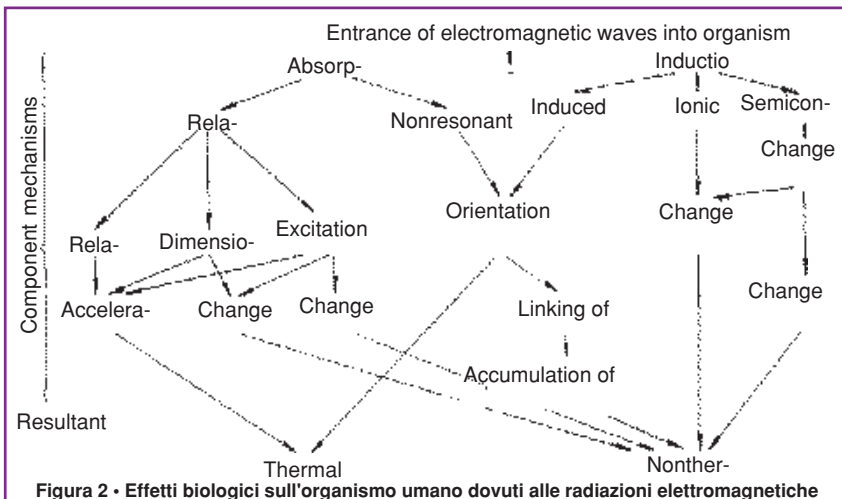


Figura 2 • Effetti biologici sull'organismo umano dovuti alle radiazioni elettromagnetiche

Tabella 1 • Valori limite di esposizione riportati nella Direttiva 2004/40/CE

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

166 Può essere utilizzata una geometria semplice quale una massa cubica di tessuto, purché le grandezze dosimetriche calcolate assumano valori conservativi rispetto alle linee guida in materia di esposizione.

La **tabella 2** elenca alcuni degli effetti biologici tipici che si manifestano in seguito ad un innalzamento localizzato della temperatura; i valori limite di SAR sono stati calcolati prevedendo un innalzamento massimo di 1°C della temperatura dei tessuti.

Effetti non termici

Dopo aver stabilito che solo gli effetti termici precedentemente descritti sono gli unici effetti delle radiazioni elettromagnetiche a radiofrequenza sulla salute umana che sono stati scientificamente provati, è opportuno riportare alcuni degli effetti di tipo non termico tuttora oggetto di studi e ricerche:

- 161 Effetti sulle membrane di tipo cellulare.
- 162 Genotossicità e Carcinogenesi.
- 163 Effetti sulle funzioni cerebrali.
- 164 Effetti psicosomatici.

Conclusioni

Come premesso, le informazioni contenute in questo articolo non vi consentiranno di calcolare il tasso di assorbimento specifico di energia per un individuo che passeggia nei dintorni della vostra stazione radio, una stima del SAR è senz'altro possibile mediante opportuni modelli matematici che però sono stati omessi per non appesantire la trattazione, gli algoritmi derivati dai modelli matematici si ritrovano in molti dei software di simulazione utilizzati dai ricercatori e reperibili, spesso gratuitamente, sulla rete Internet.

Per quanto riguarda la misura del SAR è necessaria della strumentazione abbastanza sofisticata, come ad esempio il cosiddetto "fantasma" che riproduce fedelmente il corpo umano, o parti di esso, indispensabile per effettuare misure del tasso di assorbimento in vitro. In fondo a questo articolo è riportato l'indirizzo URL di un produttore di

tale strumentazione, le immagini incluse nel sito spiegano molto più delle parole la metodologia di misura.

Tutto ciò che avete letto fin qui vi sarà pertanto utile per interpretare i dati e le misure effettuate da chi, come i fabbricanti di telefoni cellulari, dispone dei laboratori adeguati, e per utilizzare questi dati cercando di adattarli alla propria situazione.

Se per esempio, un produttore di telefoni dichiara che per il suo apparato, che mediamente è in grado di generare 1 W a 900 MHz, il valore massimo del SAR localiz-

nelle onde elettromagnetiche nello spazio libero, la radiazione elettromagnetica emessa da un'antenna, supposta questa come una sorgente puntiforme, subisce un'attenuazione che nel migliore dei casi (lo spazio libero per l'appunto) è direttamente proporzionale al quadrato della distanza dall'antenna ed inversamente proporzionale al qua-

drato della lunghezza d'onda; in termini pratici questo sta a significare che, l'effetto sul SAR prodotto da un trasmettitore da 100 W collegato ad un elemento radiante verticale di guadagno unitario (0 dB), rilevato ad una distanza di 10 m dall'antenna, equivale all'effetto di un trasmettitore da 1 W la cui antenna è posta in prossimità dell'osservatore, quindi paragonabile all'effetto prodotto da un telefono cellulare. Ragionamento analogo può essere fatto per valutare l'effetto sul SAR localizzato di un ricetrasmittitore portatile che opera sulla banda dei 70 cm, essendo questa lunghezza d'onda pari a circa il doppio di quella utilizzata dai telefoni cellulari GSM, gli stessi effetti, a parità di distanza, si avranno a potenze inferiori rispetto a quella emessa dal telefonino.

Queste ultime considerazioni, con i dovuti aggiustamenti del caso, dovrebbero bastare a tranquillizzare noi radioamatori ed anche i "cacciatori di streghe" sopra citati.

Per saperne di più

- Direttiva 2004/40/CE del 29 aprile 2004, "sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (diciottesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE)" - pubblicata sulla G.U.C.E 24 maggio 2004, n. L 184.

- Raccomandazione n. 99/519/CE del 12 luglio 1999, "Raccomandazione del Consi-



Figura 3 • Il rischio più frequente per la salute dovuto all'utilizzo di apparecchiature a radiofrequenza

zato riscontrato per l'utilizzo in prossimità o in corrispondenza dell'orecchio è pari a 0,63 W/kg, allora si può dedurre che, per non superare la soglia raccomandata di 2 W/kg con un ricetrasmittitore portatile, è opportuno fare passaggi brevi, operare a potenza ridotta, evitare di tenerlo troppo vicino alla bocca, o collegarlo con un'antenna esterna. Con lo stesso ragionamento si può dedurre che è quantomeno inopportuno operare in portatile con un ricetrasmittitore HF da 100 W stando seduti davanti all'antenna o, peggio, tenendo il tutto all'interno di uno zaino indossato sulle spalle.

E' opportuno però ricordare che, applicando la ben nota equazione della propagazione

Figura 4 • Un software gratuito per la valutazione del SAR (<http://www.radhaz.com/SARcalc.htm>)

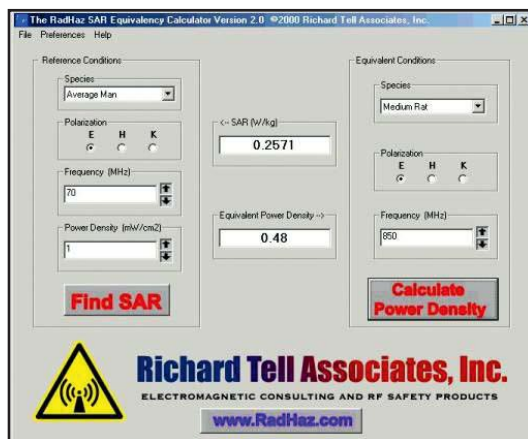


Tabella 2 • Alcuni effetti biologici dovuti all'innalzamento localizzato della temperatura

Parte del corpo	Variazione di temperatura	Effetto biologico
Cervello	$\Delta T > 4.5 \text{ }^\circ\text{C}$	danneggiamento termico dei neuroni
Occhio	$\Delta T > 3 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$	opacizzazione del cristallino (cataratta)
Pelle	$\Delta T > 10 - 20 \text{ }^\circ\text{C}$	danneggiamento termico dell'epidermide

glio relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz" - pubblicata sulla G.U.C.E 30 luglio 1999, n. L 199.

- Direttiva n. 1999/5/CE del 9 marzo 1999, "Direttiva riguardante le apparecchiature radio e le apparecchiature terminali di telecomunicazione e il reciproco riconoscimento della loro conformità" - pubblicata sulla G.U.C.E 07 aprile 1999, n. L 091.

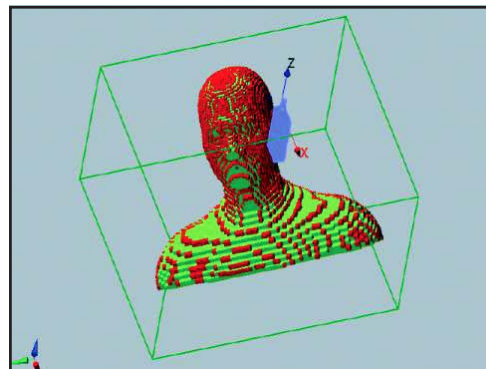
- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2003, "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elet-

trici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz" - pubblicato sulla G.U.R.I. 28 agosto 2003, n. 199.

- Legge 22 febbraio 2001, n. 36, "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici" - pubblicata sulla G.U.R.I. 7 marzo 2001, n. 55.

- Decreto 10 settembre 1998, n. 381, "Regolamento recante norme per la determinazione dei tetti di radiofrequenza compatibili con la salute umana" - pubblicato sulla G.U.R.I. 3 novembre 1998, n. 257.

Figura 5 • Simulazione realizzata implementando i modelli matematici per la valutazione del SAR



- Documento "What are electromagnetic fields?" prelevabile sul sito dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO) all'indirizzo: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/en/index1.html>

- <http://www.speag.com> sito di un produttore di strumentazione per la valutazione degli effetti biologici derivanti dalla esposizione ai campi elettromagnetici.