# *ALCUNE NOTE SULL'INQUINAMENTO ELETTROMAGNETICO*

**a cura di Massimo SCALIA e Massimo SPERINI**

***ASPETTI GENERALI***

Dal dopoguerra ai giorni nostri la diffusione dell'elettrificazione, l'incremento dei consumi energetici e l'enorme sviluppo delle telecomunicazioni hanno indotto una profonda trasformazione nell'industria, nell'economia e nel comportamento sociale.

Questo processo è stato, ed è, caratterizzato dall'esteso impiego di apparati elettronici:

? nel **sistema di distribuzione dell'energia elettrica**, tra cui elettrodotti, cabine di trasformazione, cavi conduttori, prese elettriche;
? per uso **domestico**, ovvero macchine lavatrici e lavastoviglie, forni a microonde, asciugacapelli, rasoi elettrici;
? per uso **industriale**, tra cui forni ad induzione, a radiofrequenza ed all'infrarosso, motori, videoterminali;
? per **impiego medico**, nella diagnosi (tra cui risonanza magnetica nucleare, radiografia) e nella terapia (marconiterapia, bisturi a radiofrequenza, radarterapia, magnetoterapia);
? nelle **telecomunicazioni**, ovvero telefoni cellulari, trasmissioni radio e televisive, controllo del traffico aereo, radionavigazione, radar, comunicazioni via satellite, sistemi d'allarme, sorveglianza militare.

*Tutte queste innovazioni tecnologiche immettono nell'ambiente circostante* ***radiazioni elettromagnetiche***

L'esposizione collettiva in atto, a causa dell'incremento nel settore della generazione, distribuzione ed utilizzo dell'energia elettrica, è in rapida crescita; si riscontra analogo fenomeno nel settore delle telecomunicazioni, dove si moltiplicano i dispositivi radianti, gli intervalli di **spettro elettromagnetico** utilizzati ed i tempi di esposizione all'irradiazione.

Nei paesi industrializzati, per il continuo aumento di tali apparati elettronici, attualmente alcune categorie di lavoratori e la popolazione in generale sono esposti a radiazioni elettromagnetiche ed a campi elettrici e magnetici artificiali, che possiedono un livello di intensità media di alcuni ordini di grandezza maggiori dei campi naturali: in determinate situazioni oramai si parla di **inquinamento elettromagnetico** o di **elettrosmog** dell'ambiente.

La situazione generale sopra delineata solleva in tutta Europa e nel mondo - non solo nell'opinione pubblica, ma anche negli ambienti scientifici e nelle istituzioni - una diffusa preoccupazione ed un vivo allarme per la salute, riguardante gli eventuali potenziali effetti associati ad una esposizione incontrollata a tutti i tipi di campi elettromagnetici.

*L'esposizione alle radiazioni immesse nell'ambiente dalle tecnologie elettromagnetiche determina l'**interazione tra campi elettromagnetici e sistemi viventi***

Gli studi di carattere storico, di epistemologia e di sociologia della scienza, relativi agli ultimi trenta anni hanno dimostrato che la metodologia scientifica non è qualcosa d'immutabile, ma dipende fortemente dal clima culturale - così ben espresso dal sostantivo tedesco *Zeitgeist* - in cui si sviluppa: ed è in questo contesto che vanno collocati modelli e teorie e gli stessi dati forniti dalla ricerca sperimentale.

Tutto ciò ha un riscontro nell'attuale dibattito scientifico riguardante i possibili effetti, sulla salute dell'uomo, dovuti ai campi elettromagnetici artificiali.

In questa situazione, diversamente dallo studio delle dinamiche di un microrganismo pericoloso per la salute in cui, nel conflitto uomo-natura, il "buono" (genere umano) ed il "cattivo" (microrganismo) sono chiaramente distinguibili, la materia è complicata dalla presenza di un terzo soggetto: l'industria che produce i campi elettromagnetici.

Negli U.S.A. le potenti industrie dell'energia elettrica e delle telecomunicazioni, insieme alle istituzioni militari, sono i principali responsabili dell'inquinamento elettromagnetico e, contemporaneamente, di quasi tutta la ricerca su quest'argomento.

In Italia i principali responsabili dell'inquinamento elettromagnetico sono l'ENEL (Ente Nazionale per l'Energia Elettrica), le FS (Ferrovie dello Stato), la RAI (Radiotelevisione Italiana), Mediaset, le radio e le televisioni private, TIM (Telecom Italia Mobile), Omnitel, Wind, Blutel, le installazioni militari.

Questi colossi si confrontano con una piccola, ma agguerrita, schiera di ricercatori indipendenti, alcune associazioni ambientaliste e di privati cittadini riuniti in comitati.

Una parte della comunità scientifica ritiene che gli unici effetti biologici dell'interazione tra i campi elettromagnetici ed i sistemi viventi, **scientificamente accertati**, sono:

- per frequenze uguali o maggiori di 10 MHz (radiofrequenze e microonde), se l'energia della radiazione è sufficiente, si ha il **riscaldamento dei tessuti biologici** (aumento di temperatura);
- per frequenze inferiori a 10 MHz, se l'energia della radiazione elettromagnetica è sufficiente, si può avere **stimolazione di cellule dei tessuti nervosi e muscolari** periferici, eccitabili elettricamente.

Il primo tipo di effetto biologico è solitamente indicato nella letteratura comune come **effetto termico**: un esempio classico è il riscaldamento dei tessuti a scopo terapeutico con la marconiterapia o la cottura dei cibi mediante forno a microonde.

Il secondo tipo di azione è indicato come **effetto non termico** ed include tutti i mutamenti dell'attività biologica non dovuti ad innalzamento di temperatura: l'azione di un campo elettrico sull'orientamento delle cellule, o sulle membrane eccitabili, rappresenta un esempio di effetto non termico.

*Queste due categorie di effetti in letteratura sono indicate come **effetti acuti** oppure a **breve termine***

Nell'ambito di questa posizione quasi tutta la letteratura riguardante gli studi *in vivo*, *in vitro* ed epidemiologici sull'esposizione a deboli campi, pertanto, non è considerata nonostante evidenzi un:

? **effetto sulle cellule in crescita, con particolare incremento del tasso di riproduzione delle cellule cancerose;**
? **incremento dell'incidenza di particolari forme di cancro;**
? **sviluppo di anormalità negli embrioni;**
? **alterazioni delle sostanze chimiche del sistema nervoso, ad esempio la concentrazione di ioni calcio;**
? **alterazioni dei cicli biologici;**
? **declino dell'efficienza del sistema immunitario;**
? **alterazioni nelle capacità di apprendimento.**

*Questi effetti sono generalmente indicati come **a lungo termine** o **cronici***

Durante gli anni '50 si stabilì che, perché si avesse il riscaldamento dei tessuti umani, la densità di potenza $S$ dell'onda elettromagnetica incidente dovesse essere di almeno 1000 W/m$^2$ ($E_{eff}$ = 614 V/m). Tenendo conto di un fattore di sicurezza uguale a 10, gli Stati Uniti adottarono un limite per l'esposizione umana di 100 W/m$^2$ ($E_{eff}$ = 194 V/m).

Nel corso degli anni successivi questo modello di partenza fu arricchito e raffinato, conducendo alla definizione, a livello macroscopico, per tutto il corpo della grandezza dosimetrica **tasso di assorbimento specifico medio** (*Specific Absorption Rate*), ***SAR***, inteso come la potenza elettromagnetica media assorbita complessivamente dalla massa corporea ed espresso in W/kg.

Sulla base di esperimenti di laboratorio su animali, di considerazioni teoriche e pratiche, che integrano anche un fattore di sicurezza, è stato adottato un *SAR* = 0,4 W/kg come limite di base per i lavoratori professionalmente esposti, che si riduce per un fattore di sicurezza 5, ovvero un *SAR* = 0,08 W/kg, per la popolazione. A tale limite corrisponde un valore massimo per la densità di potenza incidente e, quindi, per l'intensità di campo elettrico e di campo magnetico.

Con la metodologia e gli argomenti che abbiamo brevemente riportato si è pensato di **mettere i soggetti esposti al riparo da effetti biologici di tipo termico indesiderati** e su questa base si è proceduto alla stesura delle normative protezionistiche.

Per l'esposizione ai telefoni cellulari il limite per il *SAR* (mediato su 1 g di tessuto), fissato dalla FCC/IEEE nel 1996 è di 1,6 W/kg.

Per l'esposizione ai campi di bassa frequenza, in particolare quelli generati da elettrodotti ed elettrodomestici (50 Hz), come soglia di sicurezza per gli effetti non termici, sulla base di modelli fenomenologici, è stato formulato il valore di 5 kV/m per il campo elettrico e di 100 μT per quello magnetico.

Diversamente, nell'ex Unione Sovietica, si preferì dare molto maggior peso alla sperimentazione animale e all'analisi dei sintomi clinici presentati dai lavoratori professionalmente esposti a radiofrequenza e microonde; si pervenne così alla valutazione che l'esposizione per 60 minuti ad un'onda elettromagnetica di 3 GHz con densità di potenza $S$ = 10 W/m$^2$ ($E_{eff}$ = 61,4 V/m) evidenziasse variazioni fisiologiche di tipo funzionale.

L'estrapolazione di tale valore di soglia ad una giornata di lavoro di 10 ore determina la riduzione a $S$ = 1 W/m$^2$ ($E_{eff}$ = 19,4 V/m), valore 10 volte inferiore al limite americano degli anni '50. Considerando, inoltre, la diversificazione della risposta biologica[1], dovuta allo stato di salute dell'individuo, si introdusse un'ulteriore fattore di cautela uguale a 10, determinando la scelta del valore limite di sicurezza $S$ = 0,1 W/m$^2$ ($E_{eff}$ = 6 V/m).

La filosofia protezionistica dell'Unione Sovietica fu rapidamente adottata dai paesi dell'Est.

Gli effetti a lungo termine dei campi elettromagnetici sono stati oggetto di un cospicuo numero di lavori scientifici, basati sia su indagini epidemiologiche sia su ricerche di laboratorio in *vivo* e in *vitro*, a partire dagli anni '70: tali studi riguardano principalmente la **correlazione dose/effetto oncogeno** di questi campi, con i conseguenti rischi per la salute di quanti a tali campi sono inconsapevolmente esposti per la localizzazione di

[1] Elemento mai preso in considerazione nelle normative "occidentali".

abitazioni, scuole, luoghi di lavoro e simili, prossimi alle linee elettriche o agli impianti di alta frequenza.

Le ricerche epidemiologiche sono state svolte in USA, Canada e in Europa, in tempi successivi, in aree nelle quali la popolazione residente era rimasta esposta per lungo tempo e con continuità alle emissioni elettromagnetiche dei citati impianti.

In particolare, per i **campi elettromagnetici a 50-60 Hz** gli **studi epidemiologici** evidenziano un'associazione significativa fra esposizione residenziale a campi magnetici di 50-60 Hz e alcuni tipi di tumore, in particolare le leucemie infantili, i linfomi e i tumori cerebrali in corrispondenza di esposizioni a induzioni magnetiche da 0,2 μT (mT=microTesla, cioè un milionesimo di Tesla).

*L'esposizione a questi campi, con il consenso **quasi** unanime della comunità scientifica internazionale, implica un aumento di rischio cancerogeno per le popolazioni residenti vicino agli elettrodotti.*

Gli studi di laboratorio non hanno però dimostrato un'azione diretta di tali campi sul materiale genetico cellulare, inducendo a ipotizzare che il campo magnetico, a queste frequenze, possa svolgere un ruolo promozionale nell'oncogenesi.

La non conoscenza del meccanismo biologico d'azione di questi campi nell'induzione di neoplasie, ha indotto una parte dei ricercatori a considerare questi campi come "**probabilmente**" e non "**certamente**" cancerogeni.

| **Standard** | **Campo elettrico *E* (V/m) valore efficace** | **Induzione magnetica *B* (mT) valore efficace** |
|---|---|---|
| IRPA/INIRC (1990)<br>ICNIRP (1998)<br>Germania (1997) | 5000 | 100 |
| Italia DPCM 1992 | 5000 | 100 |
| CENELEC (1995) | 10 000 | 640 |
| ISPESL (1998) | - | 0,5 - 0,6 |
| Regione Lazio 1995 | - | 0,2 |
| Regione Veneto 1993 | 500 | 0,2 |

**Tab. 2:** Confronto tra diversi standard per l'esposizione della popolazione a campi elettrici e magnetici di frequenza 50 Hz

Per i **campi elettromagnetici a radiofrequenza e microonde**, compresi tra 100 kHz e 300 GHz, le indagini epidemiologiche sono meno numerose di quelle relative ai 50-60 Hz; tuttavia i risultati evidenziano un incremento dell'incidenza di leucemia tra gli esposti,

per motivi professionali e/o ambientali, a fasci elettromagnetici generati dagli impianti per l'emittenza radiotelevisiva.

Dalle tabb. 2 e 3 si evince che i diversi **standard**[2] sinora proposti presentano una differenza di tre ordini di grandezza.

| **Standard** | **Sistema GSM 900** | | | **Sistema DCS 1800** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Campo elettrico *E* (V/m) valore efficace** | **Campo magnetico *H* (A/m) valore efficace** | **Densità di potenza *S* (W/m²)** | **Campo elettrico *E* (V/m) valore efficace** | **Campo magnetico *H* (A/m) valore efficace** | **Densità di potenza *S* (W/m²)** |
| ANSI (1974) ACGIH (1979) | 200 | 0,5 | 100 | 200 | 0,5 | 100 |
| ANSI (1979, 1981, 1982) | 110 | 0,27 | 30 | 155 | 0,39 | 50 |
| Canada (1979) | 60 | 0,16 | 10 | 60 | 0,16 | 10 |
| U.R.S.S. (1982) | 6 | 0,016 | 0,1 | 6 | 0,016 | 0,1 |
| Italia D.M. 04/08/1982 | 20 | 0,05 | 1 | 20 | 0,05 | 1 |
| IRPA (1984) IRPA/INIRC (1988) | 41,25 | 0,11 | 4,5 | 58,34 | 0,16 | 9 |
| Australia (1985) | 27,5 | 0,073 | 2 | 27,5 | 0,073 | 2 |
| Gran Bretagna (1993) | 112,5 | 0,3 | 33,2 | 194 | 0,52 | 100 |
| CENELEC 50166-2 (1995) | 41,1 | 0,11 | 4,5 | 58,1 | 0,15 | 9 |
| IEEE/ANSI (1991, 1998) | 48 | 0,125 | 6 | 61 | 0,16 | 10 |
| FCC (1996) | 48 | 0,125 | 6 | 61 | 0,16 | 10 |
| Germania (1997) | 41,25 | 0,11 | 4,5 | 58,34 | 0,16 | 9 |
| ICNIRP (1998) | 41,25 | 0,11 | 4,5 | 58,34 | 0,16 | 9 |
| D.M. 381/98 | 6 | 0,016 | 0,1 | 6 | 0,016 | 0,1 |
| Proposta ISPESL (1998) | 6 | 0,016 | 0,1 | 6 | 0,016 | 0,1 |
| Regione Lazio (2000) | 3 | 0,008 | 0,025 | 3 | 0,008 | 0,025 |
| Proposta Salisburgo (2001) | 0,6 | 0,0016 | 0,001 | 0,6 | 0,0016 | 0,001 |
| Svizzera (2001) | 4 | 0,011 | 0,042 | 4 | 0,0011 | 0,042 |
| Cina (2001) | 5 | 0,013 | 0,066 | 5 | 0,013 | 0,066 |

[2] Con il termine standard si intende l'insieme delle leggi vere e proprie, delle disposizioni applicabili per legge e delle raccomandazioni (linee guida). In Canada, in Russia e negli Stati dell'Europa Orientale gli standard hanno valore di legge. Negli stati Uniti gli standard hanno valore di raccomandazione.

**Tab. 3:** Confronto tra diversi standard per l'esposizione della popolazione al campo elettromagnetico emesso dai sistemi radiomobili

La differenza tra limiti di esposizione (cfr. tabb. 2, 3), adottati nei diversi Stati o proposti dagli scienziati che si occupano dell'argomento, si estende per tre ordini di grandezza. Tale differenza riflette due diverse posizioni presenti nella comunità scientifica rispetto all'interpretazione e alla valutazione dei risultati sperimentali.

La prima posizione raggruppa ricercatori i quali, seppure con sfumature diverse, sostengono che:

? i soli effetti biologici dovuti all'esposizione ai campi elettromagnetici sono esclusivamente di tipo acuto;

e ritengono i problemi ambientali sollevati dall'inquinamento elettromagnetico:

? tutte ubbie degli ambientalisti, dettate da smarrimento, misto a paura, che sembra aver colpito anche gran parte della popolazione;
? che non vi è alcuna evidenza scientifica la quale sottolinei il rischio per la salute associato all'esposizione ai campi elettromagnetici, e pertanto l'applicazione del **principio di precauzione** è un nonsenso;
? che non esistono, a tutt'oggi, teorie scientifiche in grado di affrontare ed offrire risposte al problema dell'interazione tra campi elettromagnetici e sistemi biologici, in particolare tra quelle che giustificano i temuti effetti sanitari a lungo termine.

Questa prima concezione affronta lo studio delle interazioni tra i campi elettromagnetici naturali ed artificiali e i sistemi viventi, ovvero il **bioelettromagnetismo**, ritenendo valida la relazione lineare dose-risposta. Si assume, inoltre, che è possibile descrivere l'interazione a livello macroscopico, di tutto l'organismo, mediante la conoscenza dei meccanismi biofisici di microscala, ovvero delle strutture di livello gerarchico inferiore, quali cellule, tessuti ed organi. Si tratta di una visione essenzialmente deterministica e riduzionistica, che scompone i sistemi materiali nelle loro minime parti (ciò che molti chiamano "modello meccanicistico"), ritenendo di poter prevedere, in una fase successiva, il comportamento del sistema sulla base delle formulazioni di leggi semplici e generali.

La seconda posizione, risalente agli inizi degli anni '60, introduce metodi e linguaggi adatti allo studio di sistemi, ad esempio quelli viventi, caratterizzati da una complessità strutturale e funzionale che impedisce di spiegarli solo attraverso la conoscenza delle loro parti. Questo approccio, talvolta indicato come **visione sistemica**, rifiuta di riconoscere il riduzionismo come unica procedura scientifica valida.

I ricercatori che adottano questo secondo approccio ritengono che gli effetti di tipo non acuto osservati in laboratorio, pur in assenza di un chiaro meccanismo biofisico che li

interpreta, siano rilevanti dal punto di vista sanitario e devono essere presi in considerazione quando si fissano dei limiti di esposizione.

L'altro aspetto, evidente nei dati presentati dalla ricerca sperimentale, è che molti degli effetti osservati sono di tipo non lineare, ovvero caratterizzati da “finestre” nella frequenza e nella densità di potenza del campo elettromagnetico applicato; infine, vengono rilevati effetti anche quando, in determinate circostanze, l'energia implicata nei fenomeni è irrisoria, addirittura di molto inferiore al rumore termico presente nel sistema biologico!

## *EFFETTI DI LUNGO TERMINE: ALCUNI ESPERIMENTI (DA ADEY A ZHADIN)*

Nel corso degli anni ’50 si affermò ciò che in letteratura è definito il “modello termico”. Gli elementi fondamentali del modello, tuttora considerato valido da una parte della comunità scientifica, erano:

- l’unico modo di influenza biologica dell’energia elettromagnetica su di un organismo vivente è mediante il sovraccarico del suo sistema di termoregolazione;
- l’azione di un campo a microonde pulsato, oppure ad onda continua, era equivalente, ovvero la presenza della modulazione era considerata ininfluente;
- un campo di bassa intensità (< 100 V/m) non è in grado di influenzare il sistema nervoso.

Ricerche svolte a partire dalla fine degli anni ’60 ben presto confutarono sperimentalmente queste affermazioni.

Nel 1968 si scoprì che campi ELF di debole intensità (5-15 Hz, 2-10 V/m) erano in grado di modificare il tempo di reazione di soggetti umani. Un ciclo di esperimenti effettuati nel periodo 1970-1976 con scimmie rivelò che campi ELF (7-75 Hz, 1-100 V/m) determinavano cambiamenti nel tempo di reazione e nell’EEG (Elettroencefalogramma) dei primati.

Nel 1974 W. Ross Adey, uno dei ricercatori più autorevoli a livello mondiale per il suo lavoro all’avanguardia nel campo della neuroscienza, analizzò *in vitro* il flusso dello ione calcio nel cervello di pulcino esposto ad un campo elettrico sinusoidale (5-56 V/m). Gli esperimenti indicavano una variazione significativa dell’efflusso di calcio solamente per determinate frequenze (6 e 16 Hz) e per particolari valori del campo (10 e 56 V/m). L’effetto di non linearità, denominato “a finestra”, divenne ancora più evidente quando furono utilizzati campi di alta frequenza (147 e 450 MHz), modulati con segnali di bassa

frequenza (1-30 Hz). L'effetto "finestra" presentava un andamento a campana, con il picco di massimo efflusso dello ione calcio per frequenza di modulazione di 16 Hz e per densità di potenza dell'onda incidente di 10-20 W/m$^2$. L'effetto non si manifestava applicando campi di alta frequenza non modulati (ad onda continua).

Negli anni '80 l'effetto finestra fu confermato con esperimenti riguardanti l'esposizione *in vivo* della corteccia cerebrale intatta di gatto e *in vitro* delle fibre nervose terminali del cervello di ratto.

Altri gruppi di ricerca, in differenti località geografiche, replicarono l'esperimento di Adey, confermandolo; vi era, tuttavia, disaccordo sulla finestra di frequenza, che differiva in valore.

La questione fu brillantemente risolta da Carl F. Blackman, dell'EPA (*Environmental Protection Agency*), il quale pervenne nel 1982 alle seguenti conclusioni:

- nel rilascio degli ioni calcio del tessuto cerebrale dei pulcini è implicata la debolissima componente magnetica del campo elettrico (usato singolarmente, o come segnale modulante) nell'intervallo di frequenza ELF;
- le finestre in frequenza che determinano la risposta biologica dipendono dall'intensità del campo geomagnetico locale statico.

Ad esempio, un campo magnetico sinusoidale ($B_{ac}$) di frequenza 16 Hz era efficace nel determinare un aumento dell'efflusso di ioni calcio, presentando due finestre con valore dell'induzione magnetica $B_{ac}$ rispettivamente di 0,01 e 0,1 μT solamente se l'intensità del campo geomagnetico statico $B_0$ era uguale a 38 μT, ma inefficace se l'intensità del campo geomagnetico era ridotta a 19 μT.

Gli esperimenti di laboratorio permisero di determinare una relazione che legava la frequenza del campo magnetico alternato con la cosiddetta "frequenza di ciclotrone" $f_c$ dello ione calcio, ovvero

(1) $f_c = q \cdot B_0 / 2\pi m$ [Hz]

in cui $q$ e $m$ sono rispettivamente la carica e la massa dello ione calcio, e $B_0$ è l'intensità del campo geomagnetico statico.

Nel periodo 1990-1996 furono effettuate 25 ricerche sperimentali sull'argomento, le quali indicavano che per alcuni tipi di cellule, in determinate condizioni di ampiezza e di frequenza dei campi elettromagnetici applicati, era alterato il comportamento dello ione calcio libero della cellula.

Negli anni ’80 e ’90 altri esperimenti evidenziarono importanti effetti non termici dei campi elettromagnetici; tra i più significativi:

- gli accurati studi di W. Grundler che, con debolissimi fasci di microonde, energia 200 volte inferiore al rumore termico presente nel sistema biologico, modificava il tasso di crescita di cellule di lievito;
- gli studi del Premio Nobel J. Delgado sulle malformazioni negli embrioni di pollo, conseguenza dell’esposizione a campi magnetici di intensità 0,2-0,4 μT.

L’insieme degli studi sugli effetti di deboli campi e sul fenomeno finestra sono stati contestati da una parte del mondo scientifico; le principali argomentazioni alla base delle critiche sono le seguenti:

- si tratta di artefatti sperimentali;
- il fenomeno è ancora controverso, poiché non sempre riproducibile;
- l’effetto è impossibile, poiché il “rumore termico” presente nel sistema biologico è maggiore dell’intensità del campo.

Mikhail N. Zhadin e Vadim V. Novikov, del *Laboratory of Neurocybernetics of Cell Biophysic, Pushchino, Russia*, pensarono di superare i problemi connessi alla difficile riproducibilità degli esperimenti legati all’azione combinata del campo magnetico statico e di quello alternato, servendosi di un sistema non biologico molto semplice e di un apparato sperimentale facilmente riproducibile.

Una prima serie di esperimenti fu effettuata, presumibilmente, nel periodo 1992-93 e pubblicata nel 1994 su una rivista russa (V.V. Novikov e M.N. Zhadin, 1994). Si impiegarono soluzioni acquose di aminoacidi (acido glutammico, asparagina, arginina o tirosina), in cui, mediante una tensione continua ed il processo di elettrolisi era fatta scorrere una corrente ionica. Alla soluzione erano applicati simultaneamente un campo magnetico statico $B_0$ uguale a 25 ?T, confrontabile con il campo geomagnetico, ed un campo alternato $B_{ac}$, parallelo al precedente, con frequenza variata nell’intervallo 0,1-40 Hz; la corrente ionica nella soluzione era rilevata in funzione della frequenza del campo magnetico alternato.

Si osservarono impulsi di corrente netti e ben definiti in corrispondenza della cosiddetta “frequenza di ciclotrone” per le molecole ionizzate dei vari aminoacidi; l’effetto, tuttavia, non si manifestava quando i due campi magnetici erano ortogonali tra loro, oppure in assenza del campo statico. Il fenomeno era osservabile per un’ampiezza debolissima del campo magnetico variabile ($B_{ac}$ ? 0,05 ?T) e svaniva per valori del campo relativamente maggiori, ovvero oltre 5 ?T.

Zhadin e Novikov, per accreditare la loro scoperta a livello internazionale, effettuarono una seconda serie di esperimenti presumibilmente nel 1993 in collaborazione con Frank S. Barnes e Nicholas F. Pergola, del *Department of Electrical and Computer Engineering, University of Colorado, Boulder, Colorado* (M.N. Zhadin ed altri, 1998).

Nella prima serie di prove l'ampiezza del campo magnetico alternato è mantenuta costante, al valore di $B_{ac}$ = 0,025 ?T), per valori fissati del campo magnetico statico ($B_0$ = 20, 30, 40 ?T); la frequenza del campo magnetico alternato era variata tra 1 e 10 Hz, con velocità di variazione 0,05 Hz/s.

Furono osservati sperimentalmente alcuni impulsi di corrente, rispetto alla corrente stabile, per frequenze del campo magnetico alternato corrispondenti alla frequenza di ciclotrone $f_c$ dello ione acido glutammico.

Nella seconda serie di prove il campo magnetico statico è stato mantenuto costante, ovvero $B_0$ = 40 ?T, e quello variabile $B_{ac}$ assumeva i valori di 0,01 ?T, 0,02 ?T, 0,04 ?T, 0,08 ?T. I due campi erano sempre paralleli tra loro e la frequenza del campo alternato è stata variata tra 1 e 10 Hz; furono rilevati impulsi di corrente più ampi per i valori di 0,02 ?T e 0,04 ?T.

I dati confermavano ed approfondivano la prima serie di esperimenti ed i ricercatori russi ed americani inviarono insieme il 11 luglio 1994 alla rivista internazionale di riferimento per il settore, *Bioelectromagnetics,* il manoscritto, per sottoporlo ai revisori; fu necessario quasi un anno per apportare le modifiche richieste dai revisori stessi, ed infine il 22 aprile 1995 fu accettato l'articolo in versione definitiva.

Generalmente, quando accettato, l'articolo è pubblicato sul successivo numero della rivista; in questo caso il comitato di redazione preferì attendere.

Il dato sconcertante di tali esperimenti era che, nonostante il buon accordo tra i parametri sperimentali e la formula della frequenza di ciclotrone degli ioni, il verificarsi della risonanza di ciclotrone in una soluzione acquosa è considerata impossibile, a causa della presenza del "rumore termico", che non può essere contrastato dalla debole energia associata al campo magnetico applicato.

Zhadin era consapevole di questo problema, e negli anni successivi elaborò un modello che descriveva il moto dello ione considerando tutte le energie coinvolte, compresa quella termica. In questo modello l'azione del campo con determinate frequenze è un fenomeno di risonanza.

Zhadin inviò, sempre alla rivista *Bioelectromagnetics*, il manoscritto contenente la sua teoria il 25 settembre 1997, e la versione finale fu questa volta prontamente accettata, il 9

ottobre, dai revisori; in questo scritto Zhadin lamentava che, a distanza di 4 anni dalla pubblicazione del primo articolo in lingua russa, nessun gruppo di ricerca aveva tentato di ripetere la sua esperienza.

Nel 1998, finalmente, il comitato di redazione pubblica, rispettivamente, la seconda serie di esperimenti descritta nelle precedenti pagine (M.N. Zhadin ed altri, 1998) ed il modello teorico di Zhadin (1998). Il ritardo nella pubblicazione di tali articoli da parte del comitato di redazione è certo indenne da sospetti: basti osservare le seguenti conseguenze, che si potevano determinare ove l'articolo fosse stato pubblicato nel '95:

a)avrebbe fornito un sostegno notevole agli studi epidemiologici sui campi di bassa frequenza generati dagli elettrodotti, pubblicati nel 1993, e condotti in Svezia, Danimarca e Finlandia, facendo oltretutto cadere una delle critiche mosse al rapporto dell'EPA del 1991 (ovvero l'assenza di studi di laboratorio a sostegno delle rilevazioni epidemiologiche);

b) i dati dell'esperimento, non pubblicato, non hanno potuto essere oggetto di dibattito al Convegno Internazionale di Bologna del 1997;

c) Blackman, lo scopritore dell'effetto combinato del campo magnetico statico e di quello alternato, è stato nel frattempo destinato ad altro incarico e i laboratori dell'EPA non hanno riprodotto l'esperimento.

Consapevoli dell'importanza dei risultati sperimentali di Zhadin e Novikov, gli autori di questa nota sono stati i primi a renderli pubblici in varie occasioni.
Spetta a da due ricercatori italiani, E. Del Giudice e L. Giuliani, il merito di aver riprodotto con successo l'esperimento nel 2002.

## *ALCUNE OSSERVAZIONI SULLA TELEFONIA CELLULARE*

I dati forniti dalle misure indicano che **il telefono cellulare è probabilmente la tecnologia elettromagnetica più inquinante** attualmente in uso. La sua potenziale

pericolosità è dovuta eminentemente alla vicinanza della testa con l'apparecchio di emissione; inoltre le stazioni radio base comportano un'ulteriore esposizione aggiuntiva nella popolazione.

Il Prof. W. Ross Adey, aprendo il Congresso Internazionale sui Campi Elettromagnetici di Bologna, nel 1997, dichiarò che dai suoi studi risultava che il 40% del segnale emesso da un telefono cellulare è assorbito dalla testa, e quindi, eseguendo qualche rapido calcolo, si comprende che una telefonata può fare assorbire dalla testa mediamente 0,04 $W/m^2$ (assumendo $S$ = 0,1 $W/m^2$). Confrontando questi dati con il limite attuale di legge, che è tra i limiti di legge più cautelativi in occidente, ma non così protettivo come può sembrare, siamo a livello di circa 6 V/m, che corrispondono a circa 0,01 $W/m^2$: ne consegue che il telefono è uno strumento che può far assorbire alle cellule cerebrali una radiazione quattro volte maggiore del limite dato dal decreto 381/98, nel quale è fissato un limite è 0,01 $W/m^2$.

Il problema consiste nel determinare quali siano i possibili danni sanitari non termici derivanti dall'utilizzo intenso e prolungato nel tempo del telefono cellulare.

In generale, poiché gli studi degli effetti cronici sulla salute dovuti ai telefoni cellulari sono ancora all'inizio, le indicazioni fornite dai diversi enti sono improntate alla cautela[3].

L'Istituto Superiore di Sanità (ISS) fornisce il seguente suggerimento: "*…particolarmente interessante è il caso di telefoni ad antenna estensibile: quando non è estratta, questa viene a trovarsi vicinissima alla testa e l'assorbimento aumenta di molto. L'effetto è ancor più evidente nel caso dei telefoni cellulari (GSM) che regolano automaticamente la loro potenza in funzione della qualità della trasmissione: nel caso di antenna interna, il livello è innalzato per compensare l'energia dispersa nel cranio, con conseguente ulteriore aumento dell'assorbimento (oltre ad un più rapido consumo delle batterie).*

*Pur in assenza di qualunque indicazione di pericolosità, ragioni di elementare cautela e buon senso suggeriscono quindi di utilizzare sempre il telefono con l'antenna estesa…*" (P. Vecchia, 1994; Laboratorio di Fisica ISS).

Secondo l'ISPESL, tenendo conto dell'attuale stato delle conoscenze scientifiche, è opportuno assumere un atteggiamento di cautela, teso a minimizzare, per la popolazione,

l’esposizione a radiofrequenza e ad evitare quella non necessaria (A. Moccaldi, 1997; Direttore ISPESL).

Il Ministero delle Poste e delle Telecomunicazioni con il decreto[4] 20 gugno 1995 n° 485, all'art. 1 fornisce la seguente raccomandazione di sicurezza per i telefoni cellulari "*… gli utenti sono avvisati che per un uso soddisfacente dell'apparato e per la sicurezza personale, si raccomanda che nessuna parte del corpo deve trovarsi ad una distanza inferiore a 20 cm dall'antenna durante il funzionamento dell'apparato…*".

L'inconveniente di questa raccomandazione è che a 20 cm di distanza la conversazione telefonica è impossibile!

Prolungate esposizioni a campi emessi da telefoni cellulari sono state provate come possibili promotori del cancro in modelli di ratti. Sulla scia di queste considerazioni, il 17 maggio 2000 Sir William Stuart, biologo e coordinatore del *UK's Microbiological Research Authority*, presentando un’ interpellanza al governo inglese sulla sicurezza della telefonia mobile ha fornito le prime testimonianze di "effetti sottili" sulle funzioni cerebrali ed ha invitato ad un approccio prudente al problema, da concretizzare nella dichiarazione da parte delle ditte produttrici della potenza di emissione dei vari apparecchi e nella interdizione della loro vendita ai minori di 16 anni (limite della maggiore età in Inghilterra).

Le motivazioni per tale richiesta risiederebbero rispettivamente nella maggiore sottigliezza del cranio, nelle minori dimensioni del capo e nello sviluppo del sistema nervoso ancora incompleto nei più giovani, che li espone a maggiori rischi.

Un recente studio condotto da F. Marinelli, del CNR di Bologna, evidenzia che cellule leucemiche esposte per 48 ore ad un campo elettromagnetico di 900 MHz vanno incontro a morte programmata più rapidamente rispetto ai controlli; inoltre nelle cellule sopravvissute si osserva una riproduzione più elevata rispetto a quelle non esposte (Televideo RAI, pag. 169, 23 ottobre 2002; CITY-ROMA, pag. 6, giovedì 24 ottobre 2002).

Queste note sono state estratte e sintetizzate da un lavoro di prossima pubblicazione, del quale verranno anticipati on line (certamente nel sito http://www.yoyoba.it/ ) alcuni recentissimi risultati di misure relative ai telefoni cellulari

[4] D.M. 20/06/1995 n° 458, "*Rettifica al regolamento recante norme per la trasposizione di una specifica tecnica in regola tecnica valida per l'omologazione in ambito nazionale delle apparecchiature dei terminali mobili d'utente del sistema radiomobile analogico pubblico di comunicazione operante nella banda dei 900 MHz, adottato con D.M. 05/01/1995 n° 71 (G.U. del 04/11/1995 n° 258)*".