

3-Effetti biologici e sanitari indotti da campi elettromagnetici a bassa frequenza

3.1 Effetti biologici dei campi elettromagnetici

I campi elettromagnetici a bassa frequenza ELF, dall'inglese Extremely Low Frequency, sono campi elettrici (E) e magnetici (B) oscillanti a frequenze comprese tra 0 – 300Hz. Questi campi rientrano nella gamma delle radiazioni non ionizzanti, sono cioè caratterizzati da un'energia insufficiente ad indurre fenomeni di ionizzazione o rompere legami macromolecolari. I campi ELF d'origine naturale sono estremamente bassi, rispettivamente dell'ordine di 0,0001 V/m e 0,00001 μ T. L'esposizione d'esseri umani ai campi ELF artificiali (50/60 Hz) è associata alla produzione, trasmissione ed uso dell'energia elettrica.

Fino a qualche decennio fa tali radiazioni non erano considerate in grado di interagire con i sistemi biologici. Con il passare degli anni sono stati condotti diversi studi e sono state portate evidenze di molti effetti biologici dell'esposizione ai campi elettromagnetici, anche se persistono opinioni contrastanti sulle possibili conseguenze avverse per la salute. Quando un organismo biologico viene immerso in un campo elettromagnetico si ha una perturbazione dell'equilibrio elettrico a livello molecolare, in quanto tali campi generano correnti e campi elettrici variabili nel tempo che a loro volta inducono una stimolazione diretta delle cellule eccitabili, come quelle dei tessuti nervoso e muscolare.

Una prima e importante distinzione va fatta tra EFFETTI BIOLOGICI e EFFETTI SANITARI. Quest'aspetto è stato precisato dall'OMS - Organizzazione mondiale della sanità – nel Promemoria n° 182 del 1998:

- Si verifica un effetto biologico quando l'esposizione alle onde elettromagnetiche provoca qualche variazione fisiologica notevole o rilevabile in un sistema biologico

- Si ha invece un effetto sanitario (di danno alla salute) quando l'effetto biologico è tale da non poter essere compensato naturalmente dall'organismo, portando a qualche condizione di danno alla salute, intesa come stato di completo benessere fisico-mentale e socio-comportamentale.

Gli effetti biologici sono a loro volta distinti in DIRETTI e INDIRETTI: gli effetti diretti risultano dall'interazione diretta dei campi con il corpo del soggetto esposto; quelli indiretti implicano l'interazione con oggetti ad un potenziale elettrico diverso da quello del corpo. Esistono due possibili meccanismi di accoppiamento indiretto: correnti di contatto, che risultano dal contatto con un oggetto a diverso potenziale, e accoppiamento con strumentazione medica impiantata in un individuo, come pacemaker e protesi.

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

Tra gli effetti sanitari si distinguono effetti:

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

Si deduce facilmente da questa distinzione che per gli effetti con soglia di esposizione la protezione è molto semplice, basta infatti limitare l'esposizione all'agente nocivo ad un valore inferiore a quello di soglia perché l'effetto non si verifichi.

Allo stato attuale si hanno conoscenze certe solo per quanto concerne gli effetti acuti di natura deterministica, per gli effetti cronici sono necessari ulteriori studi.

Effetti acuti e cronici possono essere diversi a seconda della frequenza (f):

- effetto acuto con $f < a$ 100 Hz: abbiamo un'interferenza delle correnti indotte con i meccanismi fisiologici di attivazione muscolare e della percezione sensoriale, quindi per esposizioni sufficientemente intense si possono verificare sensazioni tattili o visive disturbate o contrazioni muscolari involontarie;
- effetto cronico con $f < a$ 100 Hz: si possono verificare sintomi soggettivi come cefalee ed insonnia e sintomi oggettivi come malattie degenerative e tumori;
- effetto acuto con $f > a$ 100 Hz: sono dovuti al riscaldamento locale dei tessuti provocati per effetto Joule delle correnti indotte;
- effetto cronico con $f > a$ 100Hz: si hanno degli effetti a livello del sistema nervoso centrale e sugli apparati circolatorio, neurovegetativo e neuroendocrino.

3.2 Proprietà elettromagnetiche dei tessuti biologici

In ambito elettromagnetico i tessuti biologici sono caratterizzati, alla stregua di altri materiali, dalle grandezze macroscopiche quali la conducibilità elettrica (σ), la permittività elettrica (ϵ) e la permeabilità magnetica (μ) che dipendono dalla frequenza.

Nei meccanismi d'interazione sono rilevanti i fenomeni di cessione dell'energia del campo elettromagnetico al tessuto. L'energia del campo è ceduta alle cariche elettriche (elettroni, ioni, molecole dipolari e unipolari) che sono poste in movimento. Durante il loro moto le cariche collidono con le altre molecole del tessuto trasformando così la loro energia meccanica in calore. Le cariche elettriche, a seconda della loro massa, reagiscono più o meno rapidamente alle variazioni del campo, dando così luogo a diversi fenomeni che dipendono dalla frequenza. In generale i tessuti biologici sono materiali non ferromagnetici, la loro permeabilità magnetica (μ) è praticamente uguale a quella dell'aria. La permittività elettrica (ϵ) varia invece con la frequenza e con il tipo di tessuto umano. Al di sotto del MHz il tessuto umano ha un comportamento

anisotropico, la conduttività varia cioè da una direzione all'altra. Generalmente la permittività decresce all'aumentare della frequenza. In generale i tessuti biologici non presentano proprietà magnetiche e possono quindi essere considerati "trasparenti" al campo magnetico. Un buon conduttore riflette quasi completamente le onde elettromagnetiche e dissipa energia a causa delle correnti indotte che in esso si producono. Al contrario, un dielettrico è quasi completamente trasparente alle onde elettromagnetiche, ma può immagazzinare una parte di energia. Il corpo umano, in una certa misura, può fare entrambe le cose. Il suo comportamento, conduttore o dielettrico, è descritto da due grandezze fondamentali:

- Conducibilità elettrica σ [$(\Omega \cdot m)^{-1} = S/m$]
- Costante dielettrica assoluta ϵ ($c^2/N \cdot m^2$)

Viene definito fattore di dispersione, o tangente di perdita ($\tan\alpha$), per valutare se un tessuto è più o meno un buon conduttore, la quantità

$$\tan \alpha = \frac{\sigma}{2\pi \cdot \epsilon \cdot f}$$

dove f è la frequenza dell'onda.

Un tessuto si comporta tanto più da buon conduttore quanto più è elevato il valore di $\tan\alpha$; alle basse frequenze, quindi possiamo assimilare tali tessuti a buoni conduttori.

I modelli dosimetrici costituiscono gli strumenti fisico matematici che permettono di risalire dalle grandezze derivate, campo elettrico e magnetico, a quelle primarie, densità di corrente indotta e distribuzione superficiale di carica (per campi con frequenza fino a 50 Hz), una volta note le condizioni di esposizione e le caratteristiche del campo.

L'IRPA-INIRC ha definito dei limiti primari, espressi cioè da una grandezza dosimetrica, direttamente correlabile agli effetti biologici osservabili. Tali grandezze sono il SAR (Specific Absorption Rate) (W/Kg), per esposizione a campi elettromagnetici ad alta frequenza, e la densità di corrente $J(A/m^2)$ indotta nel corpo umano, per campi a bassa frequenza.

La densità di corrente indotta, dall'esposizione ad un CEM di bassissima frequenza, è la grandezza fisica maggiormente correlata all'effetto biologico di tipo acuto. Essendo però interna ai tessuti non è possibile misurare nell'uomo, in condizioni reali di esposizione, il valore di tale grandezza primaria se non con metodi invasivi, è stato pertanto necessario sviluppare dei modelli fisici e numerici attraverso i quali tale grandezza possa essere correlata al campo elettrico e magnetico, che essendo esterni al corpo umano risultano direttamente misurabili.

Si parla di limiti secondari facendo riferimento quindi a valori limite di campo elettrico $E(V/m)$, campo magnetico $H(A/m)$ e densità di potenza incidente (W/m^2).

3.2.1 Campo elettromagnetico ad alta frequenza

A frequenze superiori ai 100Hz, il meccanismo d'interazione CEM – materia, consiste principalmente nell'assorbimento dell'energia elettromagnetica incidente.

Il modello più semplice per lo studio dei meccanismi d'accoppiamento alle alte frequenze sfrutta l'ipotesi che le dimensioni del soggetto esposto siano molto maggiori della lunghezza d'onda. Si ha quindi che una parte della radiazione in arrivo viene riflessa ed un'altra parte penetra nel materiale biologico, depositandovi potenza e attenuandosi quindi esponenzialmente.

La profondità di penetrazione è inversamente proporzionale alla frequenza del campo e alla conducibilità elettrica del tessuto esaminato. Più alta è la frequenza meno profondamente penetra nel corpo, depositando tutta l'energia negli strati superficiali.

La grandezza dosimetrica che meglio descrive lo scambio energetico che c'è tra radiazioni elettromagnetiche e materia vivente è il SAR, cioè la quantità di energia ceduta nell'unità di tempo divisa per la massa corporea (W/Kg).

$$SAR = \frac{\sigma \cdot E^2 \text{ int}}{\rho} \quad (3.1)$$

σ = conducibilità del tessuto (S/m)

E_{int} = campo elettrico indotto internamente (V/m)

P = densità del tessuto (Kg/m³)

L'energia elettromagnetica viene dissipata nel corpo sotto forma di calore: ed è proprio il riscaldamento dei tessuti a provocare effetti nocivi per la salute nel caso di CEM ad alta frequenza.

I valori di SAR indicati dall'ICNIRP come limiti sono 0,4 W/Kg per lavoratori e 0,08 W/Kg per la popolazione.

3.2.2 Campo elettromagnetico a bassa frequenza

L'esposizione a campi elettrici e magnetici di bassa frequenza implica un assorbimento trascurabile di energia elettromagnetica con, di conseguenza, un aumento non apprezzabile della temperatura corporea. In questo caso l'unico effetto da considerare è l'induzione di correnti all'interno del corpo. L'approssimazione adottata comunemente è quella statica, che ci permette di considerare i campi elettrico e magnetico disaccoppiati. Le condizioni applicabili fino a 50-100 kHz che consentono di affrontare il problema dei due campi separatamente devono essere:

- dimensioni dell'oggetto esposto molto minori della lunghezza d'onda
- dimensioni e distanza piccole rispetto alla lunghezza d'onda o alla profondità di penetrazione
- i tessuti biologici devono poter essere considerati buoni conduttori

Vediamo come si procede.

3.2.2.1 Accoppiamento ai campi elettrico e magnetico

- Campo elettrico

Consideriamo un corpo immerso in un campo elettrico, vogliamo calcolare il valore del campo internamente al corpo; a tale scopo bisogna distinguere il campo nella sua componente tangenziale (E_t) e

nella sua componente normale (E_n) alla superficie di separazione dei due mezzi.

Per le componenti tangenziali sarà valida la seguente uguaglianza nei due mezzi:

$$E_{t1}=E_{t2} \quad (3.2)$$

e per le componenti normali risulterà:

$$\sigma_1 \cdot E_{n1} = \sigma_2 \cdot E_{n2} \quad (3.3)$$

Considerando i valori di σ nell'aria e nel tessuto biologico ($\sigma_{\text{aria}}=10^{-13}$, $\sigma_{\text{biologico}}=10^{-1}$), la componente delle linee di forza che risulta predominante sarà quella perpendicolare alla superficie di separazione tra l'interno e l'esterno del corpo.

Per i campi statici il rapporto tra i valori esterno ed interno, in queste condizioni, di E è circa 10^{-12} . a 50 Hz diventa dell'ordine di 10^{-8} .

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

$$J_{\text{ind}} = A_E f E \quad (3.4)$$

La costante A_E dipende dalla dimensione e dall'orientamento del corpo, ma soprattutto dal particolare tessuto considerato, vale circa $3 \cdot 10^{-9}$ As/Vm in zone come la testa o la regione cardiaca.

I risultati agli studi attualmente disponibili mostrano che gli effetti per esposizioni fino a 20 kV/m sono pochi ed innocui.

- Campo magnetico

Nel caso di fenomeni statici si può dire che un organismo non risente in modo significativo della presenza di un campo magnetico. La situazione cambia notevolmente per campi oscillanti: per la legge d'induzione di Faraday, ogni campo magnetico variabile nel tempo induce in un conduttore delle correnti interne. A loro volta, tali correnti sono sorgenti di un campo magnetico secondario in grado di perturbare il campo originario. È possibile dimostrare che la

perturbazione (dipendente dalla frequenza, dalla conducibilità dei tessuti e dalle dimensioni del soggetto esposto) nel caso dell'uomo è trascurabile per frequenze fino ai 100 kHz.

Le condizioni di raccordo tra i due mezzi per il campo magnetico sono:

$$B_{n1}=B_{n2} \quad (3.5)$$

$$H_{t1}=H_{t2} \quad (3.6)$$

con $B = \mu H$

La permeabilità magnetica della maggior parte dei tessuti biologici ha valori prossimi a quello dello spazio libero: $\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m.

La distribuzione di campo magnetico è uguale a quella che si avrebbe in assenza dell'individuo esposto; il campo al suo interno è pari a quello esterno.

La relazione che lega la densità di corrente indotta all'ampiezza del campo magnetico è data da:

$$J_{ind}=\pi (L/2)\sigma f B \quad (3.7)$$

Le correnti indotte attraversano completamente l'individuo, interessando anche gli organi interni e scegliendo i percorsi a minore resistenza (cioè i tessuti a più alta conducibilità), fino a scaricarsi a terra attraverso le piante dei piedi. Queste correnti, fortunatamente, non hanno mai intensità troppo elevate, perché le costanti che troviamo nelle formule (3.4) e (3.7) sono molto minori di 1; ciò garantisce una limitazione degli effetti anche nel caso di campi molto intensi. Infine, nel caso di un'esposizione a corpo intero ad un campo sinusoidale a 50 Hz si giunge ai valori riportati in tabella:

Induzione magnetica (mT)	Densità di corrente (mA/m ²)	Effetti biologici
< 0,5	< 1	Nessun effetto rilevabile
0,5 – 5	1 – 10	Effetti minimi
5 – 50	100 – 1000	Stimolazione dei tessuti eccitabili. Possibilità di effetti sanitari
> 500	> 1000	Extrasistole e fibrillazione ventricolare. Effetti acuti

Tabella 3.1- Effetti biologici per esposizioni a corpo intero

3.3 Studi sull'esposizione a campi magnetici

Gli strumenti per valutare il rischio per la salute sono diversi ed esistono vari criteri per analizzare gli svariati risultati. Quelli di maggior rilevanza sono:

- Gli studi in vitro: riguardano gli effetti sulle cellule, tra i quali alterazione dell'attività enzimatica, sintesi proteica, omeostasi del calcio, ecc... In letteratura sono riportati numerosi studi in vitro riguardanti differenti parametri biologici, che potrebbero risultare alterati, in seguito ad un'esposizione ai campi elettromagnetici. Ad oggi la risposta ad un basso livello di esposizione ai campi elettromagnetici meglio documentata è l'induzione di proteine dette dello "Shock Termico" (heat-shock). Tali proteine sono preposte alla difesa dell'organismo a seguito di aumenti di temperatura o condizioni tossiche che possono portare alla denaturazione di proteine vitali per le cellule. Alcuni dati indicano che esposizioni ai CEM stimolano le cellule a produrre queste proteine e che una preesposizione ai campi elettromagnetici potrebbe indurre una protezione delle cellule contro agenti di stress, come per esempio il calore, il perossido di idrogeno (H_2O_2), ecc... Da queste osservazioni Di Carlo e collaboratori hanno dedotto che esposizioni lunghe o quotidianamente ripetute a CEM potrebbero diminuire i livelli di proteine di heat-shock, portando ad un abbassamento delle difese dell'organismo contro un successivo attacco da parte di un agente nocivo.
- Gli studi in vivo su animali, finalizzati a verificare alcuni endpoints biologici, tra cui proliferazione cellulare, promozione, copromozione e progressione tumorale, sintesi della melatonina, ecc... Emerge con sufficiente evidenza l'azione dei campi sulla produzione della melatonina. Molti degli effetti biologici osservati negli animali appaiono essere direttamente o indirettamente associati al sistema nervoso, in particolare nei mammiferi, alla ghiandola pineale. Tale ghiandola è una struttura

neurale in stretto collegamento con il sistema visivo. Infatti, la produzione circadiana della melatonina da parte dell'epifisi è determinata dal foto-periodo ambientale in cui l'animale vive. La luce determina la cessazione di produzione della melatonina, mentre durante le ore notturne la produzione di questo ormone sale ad alti livelli. Numerosi studi dimostrano che l'aumentata secrezione di melatonina durante la notte appare notevolmente attenuata dall'esposizione ai CEM a bassa frequenza, tale secrezione risulta inoltre ritardata di circa due ore. Il meccanismo attraverso cui i campi alterano il ritmo di secrezione, però, non è stato ancora definito.

Diverse ricerche hanno utilizzato test in vivo per studiare l'azione epigenetica dei campi magnetici a bassa frequenza nel caso di tumori della pelle, al fegato, al cervello e alla mammella nei roditori. Tre studi sulla promozione del tumore della pelle (Mc Lean et al. 1991, Rannurg et al. 1994) non hanno provato alcun effetto di promozione di tumori indotti chimicamente legato all'esposizione continua o intermittente a campi magnetici a frequenza industriale. Studi sul tumore della mammella sviluppato in roditori trattati con cancerogeni chimici hanno indicato un effetto promotore dei campi magnetici ELF nel range 0,01 – 30 mT (Beniashvilli et al. 1991; Loscher et al. 1993; Mevissen et al. 1993, 1995; Baum et al. 1995; Loscher e Mevissen 1995). L'ipotesi che è stata fatta è che l'incremento dei tumori sui topi esposti ai campi elettromagnetici sia dovuto alla soppressione della melatonina (Stevans et al. 1987, 1992). Sono però necessarie ulteriori conferme.

- Studi su volontari: diversi studi hanno mostrato che la maggioranza delle persone può percepire campi elettrici alla frequenza di 50/60Hz più intensi di 20kV/m; la percezione è il risultato delle cariche alternativamente indotte sulla superficie del corpo, che causano la vibrazione dei peli. Nei soggetti esposti ai campi elettrici e magnetici combinati, ad una frequenza di 60Hz

(9kV/m;20μT) sono state osservate piccole variazioni del battito cardiaco (Cook et al. 1992, Graham et al. 1994). Il battito a riposo è risultato ridotto (3-5 battiti al minuto) durante e immediatamente dopo l'esposizione. Questo risultato non si è presentato per campi più o meno intensi e si è ridotto nel caso in cui i soggetti siano stati mentalmente attenti. Recenti studi volti a dimostrare l'effetto dell'esposizione ai campi elettromagnetici sul livello di melatonina nel sangue sono falliti (Graham et al. 1996, 1997; Selmaoui et al. 1996).

- Studi epidemiologici: riguardano l'incidenza di tumori e di altre malattie croniche e verranno analizzate nel prossimo paragrafo.

3.3.1 Studi epidemiologici

L'epidemiologia studia la distribuzione e i determinanti dello stato di salute nelle popolazioni. L'epidemiologia analitica ha lo scopo di identificare e/o descrivere relazioni tra esposizioni ad agenti (fisici, chimici, biologici) ed effetti sulla salute. I principali metodi si basano su:

- Studi descrittivi
- Studi osservazionali
- Studi sperimentali

Nel 1979 Wertheimer e Leeper pubblicarono una ricerca relativa alla morte di 344 bambini tra il 1946 e il 1973 per leucemia e tumore al cervello nella zona di Denver, in Colorado: in essa si ipotizzava una connessione tra l'insorgenza di neoplasie e la vicinanza delle abitazioni alle linee elettriche. Da allora si sono susseguite molte altre indagini volte a verificare questa correlazione.

Uno studio molto citato a sostegno dell'atteggiamento normativo restrittivo è quello pubblicato nel 1992 da Feychting ed Ahlbom (Stoccolma) che individua una tendenza alla correlazione tra campi magnetici dovuti alle linee elettriche ed un incremento dei casi di leucemia infantile (0-14 anni): riguarda 39 casi complessivi di leucemia infantile nell'arco di 25 anni su una popolazione di circa

450.000 abitanti (i casi complessivi di leucemia comprendenti anche gli adulti per la stessa popolazione e nello stesso arco di tempo sono 364). Inoltre, dall'analisi dei dati dello studio in questione, risulta che l'incidenza dei casi di leucemia infantile causati dagli elettrodotti sarebbe stato di alcuni casi in 25 anni su 450.000 persone. Il numero ridotto dei casi fa comprendere l'errore di valutazione possibile.

Dall'analisi dei maggiori studi epidemiologici condotti fino ad oggi è possibile concludere che c'è una associazione statisticamente significativa tra la vicinanza di abitazioni a linee elettriche e leucemia infantile, ma solo per un piccolo numero di bambini soggetti ad esposizioni caratterizzate da un livello medio di campo magnetico maggiore di 0.3-0.4 μ T.

Studi che hanno esaminato tumori negli adulti in relazione all'uso di apparecchiature elettriche sono stati largamente negativi. Un gran numero di indagini epidemiologiche si sono occupate di soggetti professionalmente esposti: sebbene sia stato osservato un elevato rischio di cancro per i soggetti esposti a valori di campo molto elevati (lavoratori in centrali di produzione dell'energia elettrica, elettricisti, saldatori...), i tipi di tumore differivano da uno studio all'altro. Inoltre in molti di questi studi non sono stati tenuti in appropriata considerazione i fattori di confondimento, come ad esempio l'esposizione ad agenti chimici presenti negli ambienti di lavoro.

È stato riportato anche un elevato rischio di insorgenza del morbo di Alzheimer in lavoratori soggetti ad alti livelli di esposizione. In generale, però, la mancanza di uniformità dei risultati non permette conclusioni univoche.

Nei confronti dell'esposizione di donne a campi magnetici ELF in ambienti domestici, sono stati condotti studi di diversa natura, legati all'aumento di rischio di tumore alla mammella, di aborto o di malformazione del feto, ma anche qui le evidenze di una qualche correlazione sono poche e contraddittorie.

I limiti di questo tipo di studio sono diversi: molti di essi risultano carenti sul piano della significatività statistica (a causa della

bassissima incidenza delle patologie considerate o per la scelta dei gruppi di piccole dimensioni); sono assai frequenti discordanze nei risultati tra indagini simili; non mancano (anche se sono in minoranza) lavori con risultati completamente negativi; esiste, solo in pochi casi, una relazione dose/risposta; le evidenze di laboratorio sono del tutto insufficienti; non è stato finora possibile suggerire un meccanismo biologico plausibile per spiegare i risultati degli studi.

Perché un'indagine abbia valore, ovvero per accertare l'esistenza di un rapporto causa/effetto tra esposizione e malattia ed eventualmente individuare un valore di soglia, bisogna invece che siano verificate alcune condizioni:

- deve esistere una relazione dose/risposta
- devono aversi dei riscontri di laboratorio
- deve essere identificato un meccanismo biologico plausibile che spieghi i risultati epidemiologici.

Queste condizioni corrispondono in parte ai cosiddetti “criteri di Hill” (1965), che giudicano la qualità di uno studio epidemiologico prendendo appunto in considerazione la significatività statistica, la consistenza tra studi diversi (replicabilità), l'esistenza di una relazione dose/risposta, l'evidenza di laboratorio (esperimenti in vitro e in vivo) e la plausibilità biologica.

Nel settore delle onde elettromagnetiche non ionizzanti si ha quindi certezza scientifica sugli effetti acuti di natura deterministica, dovuti all'esposizione in ogni range di frequenza, ma non si hanno purtroppo dati certi sugli effetti di natura stocastica ed a lungo termine, almeno nel settore delle basse frequenze.

Tutti i dati ottenuti sono raccolti in un database sotto il controllo dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) e dell'Agenzia Nazionale per la Ricerca sul cancro (IARC).

Lo stesso IARC ha classificato i campi ELF quali “possibile cancerogeno”, cioè la più bassa delle tre categorie per classificare l'evidenza scientifica dell'associazione tra agente ed insorgenza del cancro.

La posizione dell'OMS, espressa in una conferenza del 2000, è che, pur non essendovi ancora nessuna prova convincente che l'esposizione agli ELF provochi danni al DNA e che quindi possano iniziare il processo di cancerogenesi, può essere comunque giustificabile applicare rigorosi principi precauzionali e adottare sempre misure di sicurezza.