ANGELO GINO LEVIS [*]

EFFETTI BIOLOGICI E SANITARI A BREVE E A LUNGO TERMINE DELLE RADIOFREQUENZE E DELLE MICROONDE. (**)

1. Premessa. - 2. Caratteristiche dell'azione biologica delle radiofrequenze (RF) e delle microonde (MO): possibili meccanismi d'azione. - 2.1. fattori fisici che influenzano l'attività biologica delle RF/MO. - 2.2. Effetti biologici di RF/MO di intensità molto bassa. - 2.3. Effetti termici e non termici. - 2.4. Frequenze elettromagnetiche e frequenze biologiche: biocompatibilità elettromagnetica. - 3.Valutazioni conclusive. - 3.1. Valutazione critica conclusiva dei dati scientifici relativi agli effetti biologici e sanitari delle RF/MO. - 3.2. Considerazioni di carattere generale. - 3.3. Conseguenze operative alla luce delle normative in vigore. – Bibliografia.

1. Premessa

Esistono oggi forti contrasti sull'atteggiamento da assumere a fronte dei possibili rischi per la salute umana derivanti dall'espansione, per certi versi esplosiva, delle tecnologie che producono CEM a diversa frequenza (ELF, RF, MO). Tali contrasti nascono dalla divergenza, cristallizzatasi nel tempo e condizionata dagli enormi interessi economici in gioco, tra due posizioni di principio che possiamo definire, rispettivamente, "conservativa" e "cautelativa".

La posizione conservativa, espressa a partire dal 1988-1993 da organizzazioni internazionali quali l'IRPA/INIRC e l'UNEP/OMS/IRPA e sviluppata negli anni seguenti (1996-1999) soprattutto ad opera dell'ICNIRP, dell'OMS e della CE , si basa sul presupposto che non esistano dati scientifici certi, a documentazione di effetti nocivi per la salute umana, che non siano riconducibili all'eccessivo riscaldamento dei tessuti (effetto termico) provocato dai CEM. Inoltre gli unici effetti di origine termica inequivocabilmente accertati sarebbero soltanto quelli a breve termine (effetti acuti) mentre gli effetti a lungo termine (effetti cronici), in particolare quelli genetici e cancerogenetici, non sarebbero sufficientemente confermati dalla letteratura scientifica. Infine gli effetti biologici descritti in letteratura, osservati a livelli di esposizione a CEM inferiori a quelli capaci di produrre un significativo rialzo termico, non sarebbero direttamente ricollegabili con effetti sanitari dannosi per l'uomo. Pertanto, secondo questa posizione, una volta definiti i "limiti di esposizione", cioè i valori di CEM che tutelano dagli effetti sanitari acuti dovuti ad eccessivo riscaldamento dei tessuti, e dopo aver introdotto a scopo cautelativo alcuni fattori di riduzione dei valori suddetti, non ci sarebbe più bisogno di mettere in discussione tali limiti, ma sarebbe sufficiente garantirne il rispetto. In effetti, da quando nell'88 l'IRPA/INIRC ha definito i limiti di esposizione per le RF e le MO nell'ambito di frequenze tra 100 KHz e 300 GHz , questi limiti sono rimasti immutati, essendo stati confermati dalle successive linee-guida pubblicate dall'ICNIRP nel '96 e nel '98.

La posizione cautelativa si è sviluppata, prima ancora degli anni '80, nell'Unione Sovietica e nei paesi dell'Europa orientale nei quali l'attenzione per gli effetti sanitari dei CEM si è andata affermando con largo anticipo, e successivamente ha preso piede anche nell'emisfero occidentale dove, p.es. in Italia, Svizzera, Belgio (regioni Vallone), Liechtenstein, Austria (città di Vienna), Lussemburgo, Spagna (Castiglia), Canada, e in altre nazioni (Russia, Bulgaria, Polonia, Cina), ha dato luogo a normative di legge ad essa improntate.

I sostenitori di questa posizione:

1) contestano il fatto che l'unico effetto accertato dai CEM, dal quale dipenderebbero gli unici effetti biologici documentati con sicurezza (quelli acuti, a breve termine), sia il riscaldamento dei tessuti;

2)sostengono la plausibilità di altri meccanismi d'azione, in particolare il riarrangiamento spaziale di molecole e ioni nei tessuti esposti anche a livelli molto bassi di CEM , con conseguenti modificazioni funzionali di molecole enzimatiche e di strutture cellulari come la membrana plasmatica, e/o l'interazione (con conseguenti fenomeni di interferenza, risonanza, amplificazione) di specifiche frequenze presenti nelle emissioni EM con specifiche frequenze utilizzate dal nostro organismo per il funzionamento di organi (cervello, cuore, nervi, muscoli, ecc.) e di strutture cellulari (membrana, organuli cellulari, molecole deputate all'informazione genetica) assolutamente essenziali per il benessere dell'organismo umano;

3) documentano effetti biologici, alcuni dei quali sarebbero indicatori di possibili danni alla salute,

---

[*] Già Ordinario di Mutagenesi Ambientale presso l'Università degli Studi di Padova.

(**) Il testo completo di questa relazione può essere consultato sul sito: www.applelettrosmog.it

definiti “non termici” perché indotti da esposizioni a livelli di CEM inferiori a quelli che producono eccessivo riscaldamento;

4) sostengono l’esistenza di effetti a lungo termine, anche di tipo cancerogenetico, supportati da meccanismi “genotossici” (effetti mutageni) o da altri meccanismi (promozione e co-promozione tumorale);

5) su queste basi propongono drastiche riduzioni dei limiti di esposizione, una tutela particolare mediante limiti particolarmente bassi, definiti “valori di cautela” e “obiettivi di qualità”) per i “soggetti sensibili” (bambini, malati, anziani), misure precauzionali sulla localizzazione degli impianti che emettono CEM, interventi di risanamento sugli impianti già esistenti che superino i limiti di esposizione “cautelativi”.

In pratica, la posizione cautelativa si fonda sull’applicazione, nel settore che riguarda le esposizioni a CEM, del “Principio di Precauzione”, e di altri da esso derivati (ALARA, ALATA), basata sulle seguenti considerazioni:

- la ritenuta pericolosità per la salute delle immissioni elettromagnetiche, perciò oggetto di direttive e risoluzioni europee, nonché di regolamentazione legislativa, statale e regionale;
- l’esistenza di un complesso dibattito scientifico in continua evoluzione, sulla misura della nocività dei campi elettromagnetici, con particolare riferimento, per quanto attiene all’inquinamento elettromagnetico ad alta frequenza (che è legato a più recenti tecnologie, al contrario dell’inquinamento elettromagnetico a bassa frequenza), agli effetti biologici a lungo termine delle radiofrequenze e delle microonde;
- la necessità, a tutela del primario diritto alla salute, di attenersi ai principi di precauzione e di cautela – richiamati, tra l’altro, da raccomandazioni dell’Organizzazione Mondiale della Sanità e del Consiglio della Unione Europea (cfr. raccomandazione 12/7/99) – per cui, quando sussistono incertezze riguardo all’esistenza o alla portata di rischi per la salute delle persone, possono essere adottate misure preventive senza dover attendere che siano esaurientemente dimostrate la realtà e la gravità di tali rischi;
- il rilievo per cui anche il rispetto dei limiti di esposizione fissati dalla legge 2001/36 – che in via transitoria sono ancora quelli del DM 381/98 (suscettibili di riduzione nella ricerca degli “obiettivi di qualità”) – non escluderebbe, qualora quei limiti violassero l’incomprimibile diritto alla salute (certamente preminente, nel bilanciamento dei contrapposti interessi, sul diritto di iniziativa economica), la ovvia considerazione che il diritto eventualmente compromesso, specie in relazione alla possibile entità ed effetti della lesione, non tollera dilazioni nei relativi accertamenti finalizzati alla indispensabile tutela della salute;
- la possibilità che, anche ove i limiti suddetti risultino rispettati, l’esposizione prolungata, alla luce delle attuali conoscenze scientifiche e degli studi esistenti, incida sul generale stato di benessere e induca il rischio di possibili patologie, anche future.

Pertanto con tale relazione ci si propone di contribuire alle considerazioni e alle esigenze sopra esposte eseguendo, nell’ordine:

1) una preliminare disamina critica delle posizioni conservative;
2) una revisione dei rapporti scientifici delle principali organizzazioni internazionali e dei contributi presentati ai principali convegni internazionali sui potenziali rischi sanitari e sugli effetti biologici dei CEM, in particolare nel settore delle RF impiegato nella telefonia mobile cellulare (MO: da 400 MHz a più di 2000 MHz);
3) un aggiornamento sulle più recenti acquisizioni scientifiche relative agli effetti biologici e ai danni sanitari a breve e a lungo termine provocati dalle RF/MO, soprattutto per quanto riguarda i dati ottenuti a livelli di esposizione inferiori a quelli capaci di produrre un significativo rialzo termico (limiti di esposizione) o, addirittura, inferiori ai valori di cautela.

Ci si propone, in sostanza, di legittimare, sulla base dei dati biologici e sanitari forniti dalla letteratura, il perseguimento di obiettivi di qualità, finalizzati alla minimizzazione dei livelli di CEM, quindi alla riduzione delle esposizioni e dei rischi per la popolazione, così come previsto e definito dalle normative nazionali in vigore.

2. Caratteristiche dell’azione biologica delle radiofrequenze e delle microonde (RF/MO) : possibili meccanismi d’azione

2.1. fattori fisici che influenzano l’attivita’ biologica delle RF/MO

La complessità dei fattori che influenzano la capacità dei CEM prodotti da RF/MO di indurre effetti biologici e sanitari sull’uomo è stata messa a fuoco da vari Autori, soprattutto da LAI e da HYLAND . Restringendo la discussione alle MO impiegate nella telefonia mobile, bisogna prima di

tutto considerare che la stretta contiguità con l'antenna durante l'uso dei telefoni cellulari provoca la deposizione di una quantità relativamente considerevole di energia EM nella testa degli utenti, dando luogo all'irradiazione ripetuta di una parte più o meno fissa di tessuto. Si tratta in questo caso di una esposizione a breve termine, di carattere ripetitivo e ad una intensità relativamente elevata. Al contrario, l'esposizione alle MO emesse dalle antenne di una stazione radio-base è in genere di lunga durata, ma ad una intensità molto ridotta.

L'intensità delle MO nell'ambiente si misura in unità quali il mW/cm^2 (e relativi multipli o sottomultipli) o il V/m. Tuttavia l'intensità fornisce un'informazione limitata in vista della valutazione dei possibili effetti biologici, che richiede anche la conoscenza della quantità di energia assorbita dal tessuto o organo irradiato. Questa è espressa generalmente come "tasso di assorbimento specifico" (Specific Absorption Rate, SAR), che definisce la quantità di energia assorbita per unità di massa (p.es. 1 kg) di tessuto, ed è generalmente espressa in W/kg. Nel caso di un farmaco quello che conta come determinante principale dell'effetto terapeutico non è soltanto la quantità di principio attivo in ogni pastiglia o fiala o numero di gocce, ma soprattutto la quantità che di tale principio viene assorbita per unità di peso corporeo. Sfortunatamente le MO non si comportano semplicemente come un farmaco: il tasso di assorbimento e la distribuzione dell'energia EM nell'organismo umano dipendono da molti fattori: p.es. la composizione dielettrica (cioè la capacità di fare da conduttori elettrici) dei diversi tessuti (p.es. le ossa, che hanno un basso contenuto di acqua, assorbono meno energia dei muscoli, i cui tessuti sono abbondantemente idratati); le dimensioni del tessuto o organo rispetto alla lunghezza d'onda delle MO utilizzate, e quindi rispetto alla loro frequenza vista la correlazione (inversa) tra le due proprietà delle onde EM; la forma, la geometria e l'orientazione dell'oggetto irradiato e la sua distanza dalla sorgente EM. Questi fattori fanno sì che la distribuzione dell'energia assorbita da un organismo irradiato sia estremamente complessa e non uniforme, e possa dar luogo alla formazione dei cosiddetti "punti caldi" (hot spots), in corrispondenza dei quali l'energia può essere particolarmente concentrata. P. es., da misure del SAR in diverse aree del cervello di ratti irradiati con MO risulta che due regioni distanti fra di loro meno di un millimetro possono avere una differenza di SAR di più del doppio l'una rispetto all'altra, e questo spiega perché diverse aree del cervello del ratto mostrino diversa sensibilità alle MO emesse da un cellulare. In questo caso, poi, l'animale è tenuto fermo durante l'esposizione, ma la situazione è ancora più complicata se il soggetto irradiato è in movimento: a seconda della maggiore o minore intensità del movimento, la distribuzione del SAR nelle varie parti del corpo può essere più complessa, più uniforme, o addirittura impossibile da definire. Invece, la distribuzione dell'energia emessa da un telefono cellulare nella testa dell'utilizzatore è meglio definita a causa della posizione relativamente stabile del telefono in rapporto alla testa. Ma anche in questo caso si possono comunque formare alcuni "punti caldi" in certe zone del capo (e del cervello), nelle quali i valori di SAR possono raggiungere anche gli 8 W/kg.

Oltre all'intensità e al SAR, anche la frequenza costituisce un parametro importante ai fini dell'attività biologica delle MO impiegate: la questione della frequenza è vitale perché condiziona, p.es., la possibilità di estrapolare i dati ottenuti con le RF alla situazione che si verifica nel caso della telefonia mobile (MO). Infatti la maggior parte delle ricerche condotte fino a una decina di anni fa impiegavano frequenze diverse (molto più basse, come sono le RF) di quelle usate nella telefonia mobile. Nel complesso, i dati che mettono in evidenza effetti biologici diversi da parte di frequenze diverse, o effetti che si osservano solo a una data frequenza, sono piuttosto scarsi nella letteratura. Sono molti di più gli studi che dimostrano che diverse frequenze producono lo stesso effetto, p.es. cambiamenti della permeabilità della barriera emato-encefalica del ratto sono stati descritti dopo irradiazione con un ampio spettro di frequenze (915, 1.200, 1.300, 2.450 e 2.800 MHz), ed effetti sull'efflusso del Calcio sono stati osservati entro uno spettro di frequenze ancora più ampio (50, 147, 450 e 915 MHz). Se c'è una differenza nell'effetto di diverse frequenze, si tratta di una differenza quantitativa piuttosto che qualitativa. Per di più, alcuni studi mettono in evidenza effetti biologici solo entro un intervallo più o meno ristretto ("windows", finestre) di frequenze, e non a frequenze maggiori o minori di questo intervallo. Tutti questi dati dimostrano che, in ogni caso, la frequenza può essere un fattore importante nel determinare l'azione biologica delle RF/MO.

Un aspetto importante che riguarda gli effetti biologici delle RF/MO è se questi effetti sono o no cumulativi, cioè se, dopo ripetute esposizioni, l'organismo si adatta o meno alla perturbazione EM prodotta e quando, dopo una esposizione continuativa e cumulativa, l'omeostasi (cioè la capacità di mantenere un equilibrio anche in presenza di influenze esterne) viene eventualmente rotta, dando luogo ad effetti irreversibili. La possibilità che un effetto sia cumulativo nel tempo, in seguito ad esposizioni ripetute o continuative, è particolarmente importante nella telefonia mobile, che comporta esposizioni ripetute, di durata più o meno breve, ma ad alta intensità EM (telefonate) ed esposizioni continuative a

bassa intensità per periodo lunghi (anni, decenni) di tempo (stazioni radio-base). I dati della letteratura mettono in evidenza cambiamenti nel tempo delle risposte caratteristiche del sistema nervoso alle MO, il che suggerisce che gli effetti non vengono "dimenticati" (annullati) dopo ogni singola esposizione. In realtà, a seconda della risposta presa in esame, si osservano le seguenti situazioni: 1) l'effetto si manifesta solo dopo un'esposizione prolungata o ripetuta, ma non dopo un solo periodo di esposizione; 2) l'effetto sparisce dopo un'esposizione prolungata, il che suggerisce che c'è una capacità di adattamento; 3) effetti diversi si manifestano dopo esposizioni di diversa durata. Lai ha dimostrato che il danno al DNA prodotto da MO della telefonia cellulare sul cervello di ratti è cumulativo ed ha le caratteristiche di una risposta da stress. Ed è noto che gli effetti da stress si accumulano nel tempo, con una prima fase di adattamento seguita da una rottura dei processi omeostatici quando lo stress persiste, dando luogo ad effetti che possono diventare irreversibili.

Un altro aspetto fondamentale, che verrà sviluppato più sotto, e che molti studi hanno messo in evidenza, riguarda il fatto che RF/MO modulate o pulsate sono particolarmente efficaci nel produrre determinati effetti biologici, spesso diversi (quantitativamente, ma soprattutto qualitativamente) da quelli prodotti da radiazioni EM della stessa frequenza, ma continue. Questa conclusione è importante perché le MO usate nella telefonia mobile sono pulsate o modulate a frequenze estremamente basse (ELF), e questo solleva il problema di quanto i CEM ELF così prodotti contribuiscono agli effetti biologici e sanitari delle radiazioni EM impiegate nella telefonia mobile.

2.2. Effetti biologici di RF/MO di intensità molto bassa

A quanti mettono in dubbio la possibilità di effetti biologici e sanitari prodotti dall'esposizione continuativa a MO di bassa intensità, come si verifica nelle vicinanze di una stazione radio-base per la telefonia mobile, vanno ricordati i risultati di tanti studi che hanno messo in evidenza effetti biologici, anche molto rilevanti per le possibili conseguenze sulla salute umana, dopo esposizione a MO di intensità anche estremamente bassa. Ad es. cambiamenti dell'attività proliferativa delle cellule a valori di SAR di 0,000021-0,0021 W/kg; diminuzione della capacità riproduttiva in topi esposti a 160-1053 nanoW (10^{-6} W)/cm^2, pari a 0,6-2V/m (i corrispondenti valori di SAR non sono stati calcolati); diminuzione della capacità di assumere cibo e di abbeverarsi in ratti esposti a un SAR di 0,0317 W/kg; cambiamenti del metabolismo del Calcio a SAR di 0,05-0,005 W/kg; danni al DNA a valori di SAR di 0,024-0,0024 WkKg. La maggior parte di questi dati sono stati ottenuti, per di più, dopo una singola esposizione a MO, mentre l'esposizione alle MO emesse da una stazione radio-base è un'esposizione cronica, e questo assume un'importanza particolare.
Infine, intensità e durata di una data esposizione possono interagire tra loro nel determinarne l'attività biologica, e ci sono dati che dimostrano che "minore intensità per più lunga durata di esposizione" può produrre lo stesso effetto di "alta intensità per minore durata di esposizione".

2.3. Effetti termici e non termici

Quando l'energia EM delle RF/MO è assorbita dal corpo essa viene convertita in calore: questo è provocato dall'aumento di agitazione delle molecole dipolari (in particolare l'acqua) ad opera dei campi EM rapidamente alternati. Essendo ormai ben stabilito che le funzioni svolte dai sistemi biologici vengono alterate in seguito all'innalzamento della temperatura, gli standard di sicurezza attualmente in vigore (limiti di esposizione) sono rivolti alla prevenzione degli effetti termici. Tuttavia è ormai riconosciuto che anche effetti biologici "non termici" possono essere indotti dall'esposizione a RF/MO a intensità inferiori a quelle che provocano effetti termici.

Il termine di effetto "non termico" può avere due significati diversi: 1) l'effetto biologico si verifica in condizioni nelle quali non si è in grado di riscontrare un aumento di temperatura significativo nell'animale o nel tessuto esposto, il che fa supporre che i processi fisiologici vengano mantenuti, nonostante l'azione delle RF/MO, ad una temperatura costante; 2) le RF/MO sono in grado di provocare effetti biologici senza l'intervento di energia termica e quindi indipendentemente da un innalzamento anche minimo della temperatura ("effetti a-termici"). In realtà la distinzione ha poco senso dato che è molto difficile escludere che un effetto biologico sia di natura termica dato che, quando l'energia delle RF/MO viene assorbita, inevitabilmente viene attivata un'energia termica.

In alcuni esperimenti, a dire il vero, "controlli termici" (cioè campioni di controllo soggetti a riscaldamento senza irradiazione con RF/MO) non mostrano gli stessi effetti biologici dei campioni irradiati, il che ha fatto pensare ad effetti non termici (o a-termici). Tuttavia, come si è detto sopra, è praticamente impossibile riprodurre la stessa distribuzione di energia assorbita ad opera delle RF/MO

con un sistema di riscaldamento dall'esterno (infatti un cibo cotto in un forno tradizionale è ben diverso dallo stesso cibo cotto in un forno a MO). E, come si è visto, la distribuzione dell'energia dovuta all'irradiazione con RF/MO nel corpo umano o in un animale da esperimento è importante nel determinare il tipo di effetti biologici prodotti. Tutto questo per dire che il fatto che un "controllo termico" non riproduca lo stesso effetto dell'irradiazione con RF/MO non dimostra inequivocabilmente l'esistenza di effetti non termici. E, d'altra parte, anche se non c'è modo di mettere in evidenza un significativo aumento di temperatura dopo irradiazione con RF/MO, ciò non esclude che si possa verificare un effetto termico: la fisiologia dei sistemi di regolazione della temperatura è particolarmente complicata e può coinvolgere diversi organi o tessuti: p.es. Lai ha dimostrato che, anche irradiando un ratto con MO a un livello di SAR di 0,6 W/kg che non dovrebbe produrre effetto termico, l'animale disperde attivamente l'energia assorbita, il che fa pensare che il sistema di controllo della temperatura corporea da parte del cervello sia stato comunque attivato.
Un altro motivo per non escludere la possibilità di un contributo termico agli effetti biologici osservati a valori di SAR inferiori a quelli fissati per evitare un eccessivo riscaldamento del corpo è che questi effetti potrebbero benissimo essere "micro-termici". Ci sono infatti alcuni esempi di effetti di questo tipo: uno è l'effetto uditivo che permette di percepire MO pulsate, che è dovuto all'espansione termoelastica della testa del soggetto irradiato. Anche a valori di SAR considerati "non termici" la pulsazione delle MO viene percepita sotto forma di "suono" perché una minuscola onda pressoria viene indotta nella testa e viene convertita dalla coclea in energia "microtermica": la soglia per la percezione uditiva è stata determinata approssimativamente in 10 microjoule/gm per ogni pulsazione EM, il che determina nella testa un aumento di temperatura di un milionesimo di grado centigrado! Un altro esempio abbastanza simile di effetto microtermico delle MO si verifica a carico dell'apparato vestibolo-cocleare, che è quella parte dell'orecchio interno responsabile del senso dell'equilibrio e del movimento: si è visto che la distribuzione non omogenea dell'assorbimento delle MO nella testa dell'uomo può dare luogo a un microgradiente termico nei canali semicircolari dell'orecchio, che altera la funzionalità del sistema vestibolare.

L'esistenza di "finestre" di intensità o di frequenza delle MO entro le quali la produzione di effetti biologici può essere limitata, il fatto che onde EM modulate o pulsate possano produrre effetti più forti o diversi rispetto a onde continue, e la dimostrazione di effetti biologici che si verificano a valori di SAR (e quindi a intensità di emissione EM) estremamente bassi, potrebbero far pensare all'esistenza di effetti non termici (o a-termici). Tuttavia l'impossibilità di escludere, in tutti questi casi, la produzione da parte delle MO di un riscaldamento anche minimo e difficilmente misurabile, rende poco pratico continuare a distinguere gli effetti termici da quelli non termici. Per questi ultimi Lai propone di usare il termine di "effetti prodotti a bassa intensità", dove la "bassa intensità" è definita in rapporto al livello minimo di esposizione capace di produrre l'effetto indesiderato e preso come riferimento dalle linee guida suggerite da un particolare organismo (ICNIRP, OMS, Congresso di Salisburgo, ecc.) o adottate da una particolare Nazione. Qualsiasi esperimento, eseguito a livelli di esposizione inferiori a tale livello minimo di esposizione sarà considerato un esperimento a "bassa intensità" e gli effetti eventualmente prodotti in queste condizioni saranno "effetti a bassa intensità". Per esempio, se il livello minimo di SAR al quale si ritiene venga prodotto un effetto dannoso (in questo caso l'effetto termico) è di 4 W/kg[1], e se le linee-guida suggeriscono di introdurre un fattore di sicurezza di 50 fissando dunque un valore limite di SAR di 0,08 W/kg, qualsiasi effetto biologico dannoso per l'organismo osservato a valori di SAR inferiori a 4 W/kg dovrà essere considerato un "effetto a bassa intensità" e potrà spingere a rivedere le linee-guida, stabilendo nuovi valori-limite di esposizione.

A conclusione possiamo dire che la risposta biologica a una esposizione con RF/MO non è in relazione lineare con l'intensità della radiazione: vari altri parametri espositivi, quali la frequenza, la durata, la forma dell'onda (continua, pulsata, modulata in frequenza o in ampiezza), la ripetitività, ecc., sono importanti nel determinare le risposte biologiche e nell'influenzare la forma (non lineare) del rapporto tra dose (intensità) e risposte. Per capire i possibili effetti sanitari dell'esposizione alle MO della telefonia cellulare è necessario conoscere il contributo di ciascuno di questi parametri e il modo in cui essi interagiscono l'uno con l'altro.

2.4. Frequenze elettromagnetiche e frequenze biologiche: biocompatibilità elettromagnetica

[1] In realtà, secondo le linee-guida dell'ICNIRP, l'intervallo di SAR entro il quale verrebbero prodotti effetti sanitari indesiderati, di nat termica, è di 1-4 W/kg, quindi il limite minimo, in base al quale calcolare i valori-limite di esposizione dovrebbe essere 1 W/kg .

I comuni telefoni cellulari GSM emettono MO a frequenze comprese nell'intervallo di 800-900 MHz o in quello di 1.600-2.000 MHz. I telefonini analogici funzionano con un sistema di modulazione della frequenza, mentre quelli digitali emettono MO pulsate. In pratica, la radiazione usata nel sistema GSM (oggi il più comune, in attesa dell'entrata in funzione del sistema UMTS che utilizza frequenze superiori ai 2.000 MHz) consiste di un'onda portante ad alta frequenza (negli intervalli sopra indicati), che tuttavia "pulsa" periodicamente con frequenze anche bassissime. Più precisamente l'onda portante è "modulata", cioè organizzata in "treni" (serie) di impulsi: ciascun treno "è lungo" (sarebbe meglio dire "dura"), 120 millisecondi, ed è formato da 26 impulsi ("vagoni del treno") uno dei quali è lungo (dura) 4.6 millisecondi.
Questi due periodi introducono nello spettro della radiazione rispettivamente le frequenze di 8,3 Hz e di 217 Hz. Altre modulazioni, dovute al modo di funzionamento di altri apparecchi cellulari, introducono frequenze di 2 Hz e di 17,6 Hz. Tutte queste sono frequenze estremamente basse (ELF), e alcune di esse sono vicine o coincidono con frequenze biologiche e sono pertanto "bioattive", cioè vengono riconosciute dai sofisticati circuiti EM presenti nel corpo umano (ad es. nel cervello, nell'ippocampo, nel cuore, ecc.), con le conseguenze qui sotto indicate.

Gli organismi viventi scambiano continuamente energia con l'ambiente circostante, tramite la loro attività metabolica: semplicemente per il fatto di essere vivi essi hanno un contenuto significativo di energia e sono lontani dall'equilibrio termico. Per questo motivo l'aggiunta anche di piccole quantità di energia può comportare conseguenze significative per la stabilità energetica dell'organismo vivente. Una parte dell'energia dei sistemi viventi serve a mantenere attività elettriche oscillatorie di vario tipo, nelle quali vengono immagazzinate determinate quantità di energia. Esempi di tali attività sono i circuiti neuronali del cervello, che emettono onde EM di diversa frequenza a seconda dello stato del cervello (veglia, sonno: fase REM e non-REM, ecc.), oppure i circuiti cardiaci, quelli neuromuscolari, oppure quelli che sovrintendono ai ritmi circadiani e così via. Questi sono solo gli esempi più familiari, che la medicina riconosce ed utilizza ormai da tempo, p. es. a scopi diagnostici (elettrocardiogramma, elettroencefalogramma, elettromiogramma, per citare le tecniche diagnostiche più comuni). Forse meno familiari sono i campi EM a bassissima frequenza (ELF) associati all'elettrochimica del cervello, all'efflusso del Calcio e ai sistemi neurorecettori, e i campi EM ad alta frequenza (MO) presenti a livello cellulare e subcellulare, che presiedono a processi fondamentali, p.es. alla divisione delle cellule. Tutte queste attività sono caratterizzate da varie frequenze, alcune delle quali sono molto ben definite (scientificamente si dice che costituiscono eccitazioni EM estremamente "coerenti"), che vengono definite "frequenze biologiche".

Come un circuito radio può sintonizzarsi su una frequenza esterna, cioè riconoscerla e ricevere energia da un'onda EM caratterizzata da quella frequenza specifica amplificandola ad un livello di intensità più potente, così i circuiti EM biologici possono sintonizzasi e ricevere energia da radiazioni esterne. In particolare, se la frequenza esterna eguaglia o è molto prossima a quella di una bioattività, quest'ultima può essere influenzata in vario modo, con meccanismi "non termici" o "a bassa intensità" quali:

1) "amplificazione risonante", che può portare a raggiungere un livello energetico inaccettabilmente alto da un punto di vista biologico;
2) "interferenza", risultante in un degrado o nell'inibizione di alcune attività essenziali, p.es. il rilascio di melatonina;
3) "forzatura" di una biofrequenza, magari ad un valore incompatibile con l'omeostasi;
4) "accensione" in tempi minimi di qualche processo per il quale la sola fornitura di energia endogena è inadeguata.

Per capire questi fenomeni basta considerare che il corpo di un uomo "vivo" è un sofisticatissimo strumento elettronico per il cui funzionamento deve essere mantenuto un equilibrio omeostatico, frutto di una serie innumerevole di processi cellulari e molecolari. Questo equilibrio non rappresenta una condizione stabile, ma è piuttosto una configurazione energetica di minimo relativo, separata, tramite una debolissima barriera energetica, da configurazioni energetiche ben più rilevanti, che rappresentano spesso abissi senza ritorno per la funzione biologica in causa. Si capisce così come una pur minima interferenza energetica proveniente dall'esterno possa provocare, col suo pur minimo trasferimento di energia, effetti drammatici di allontanamento dall'equilibrio omeostatico, in maniera affatto graduale (tecnicamente si parla di effetti o fenomeni "non lineari", spesso "altamente non lineari").

E' con questo meccanismo "frequenza-specifico" che un organismo vivente è capace di "riconoscere" un CEM esterno oscillante o modulato. Questa abilità di riconoscere un CEM esterno, e

di esserne influenzato nei modi sopra indicati, attraverso la sua frequenza piuttosto che semplicemente dalla sua intensità, cioè dall'energia che esso contiene, viene definita come una "influenza informazionale". Per esempio, negli epilettici foto-sensitivi si possono provocare convulsioni mediante esposizione a luce resa intermittente tramite modulazione che produce frequenze tra 15 e 20 Hz: la provocazione della convulsione è dovuta, non tanto all'intensità della luce, quanto alla frequenza con la quale essa pulsa. Tale frequenza, essendo molto prossima a quella che caratterizza l'attività elettrica del cervello di un epilettico durante una convulsione, permette al cervello di "riconoscerla", cioè di ricevere informazione (energia EM) e di reagire di conseguenza. Secondo Hyland, la possibilità di provocare crisi epilettiche negli animali di laboratorio (ratti) esposti a MO pulsanti, che comprendono anche la frequenza di 17,6 Hz, e la segnalazione di un aumento della frequenza di crisi convulsive in bambini epilettici che vivono in prossimità di stazioni radio-base per la telefonia mobile si basano proprio sul meccanismo di interferenza sopra descritto.

Altre frequenze bio-attive sono:

1) le frequenze portanti (MO) usate nella telefonia GSM (900-1.800 MHz), che interferiscono con processi biologici fondamentali come la divisione delle cellule e l'oscillazione degli ioni Calcio e Magnesio attraverso le membrane cellulari;
2) le frequenze ELF di 2 Hz e di 8,3 Hz presenti nel sistema utilizzato per "pulsare" le MO dei cellulari, che coincidono rispettivamente con gli intervalli di frequenza tipici delle onde alfa e delta dei ritmi elettroencefalografici;
3) la frequenza ELF di 17,6 Hz, anch'essa presente in uno dei sistemi di pulsazione delle MO dei cellulari, che è prossima alla frequenza fotoepilettica, ed anche molto vicina alla frequenza di 16 Hz alla quale l'efflusso del Calcio dalle cellule del cervello mostra un picco drammatico, ed i neurorecettori eccitatori ed inibitori presenti nel cervello vengono più intensamente influenzati[1]
4) La frequenza di rete elettrica di 50–60 Hz, che è prossima alle frequenze di ciclotrone di ioni, ad esempio Sodio, Potassio, Magnesio e Litio, che si trovano comunemente nei sistemi biologici dove svolgono ruoli essenziali in molteplici funzioni cellulari.

E' importante ricordare che la possibilità di interferenze di questo tipo è ben nota nel contesto della compatibilità elettromagnetica, tanto che vengono prese misure estreme per evitarla, come la proibizione dell'uso dei telefoni cellulari sugli aerei, negli ospedali e, più in generale, in presenza di strumentazione elettronica particolarmente delicata. La stessa preoccupazione, purtroppo, non viene ancora estesa all'organismo umano vivente, una situazione che tradisce una ignoranza colpevole del fatto che un organismo vivente è uno strumento EM per eccellenza e che, come tale, esso è particolarmente vulnerabile da una interferenza EM esterna!

In questo contesto occorre sottolineare che, poiché i CEM endogeni sono coinvolti nel controllo di processi biologici essenziali, è proprio questa funzione di controllo quella con cui interferisce l'esposizione a CEM esogeni di debole intensità, in opposizione a quanto si verifica con CEM esogeni di intensità molto maggiore, che producono danno alle cellule o ai tessuti. Ci sono molti esempi di ripercussioni funzionali importanti da parte di CEM deboli, p.es.:

1) l'inibizione del processo di riparazione dei danni al DNA che si producono, sotto forma di rotture dei filamenti, durante il normale processo di replicazione, ma che in condizioni fisiologiche vengono immediatamente riparati; questa inibizione può spiegare l'aumento osservato nella frammentazione del DNA, a dispetto del fatto che l'energia in un quanto di MO è di fatto insufficiente a causare rotture;
2) effetti sull'efficienza del sistema immunitario, che è il principale meccanismo di difesa contro l'invasione di agenti patogeni e contro lo sviluppo dei tumori;
3) l'inibizione della sintesi dell'ormone oncostatico melatonina;
4) i cambiamenti dell'attività proliferativa delle cellule, del metabolismo del Calcio, ecc.

[1] Per questi motivi nel 2001, su richiesta del Governo Inglese, l'NRPB (156), il Ministero Nazionale per la Protezione dalle Radi attraverso il proprio Gruppo di Studio sulle Radiazioni non-Ionizzanti, ha deciso di accogliere la raccomandazione già avanzata ne dall'IEGMP (Gruppo Indipendente di Esperti della Telefonia Mobile) affinché "come misura precauzionale, la modulazione di am attorno ai 16 Hz venga eliminata, se possibile, nei futuri sviluppi usati per la codificazione dei segnali della telefonia mobil raccomandazione si basa sulla dimostrazione che a questa frequenza è massima la velocità di efflusso (perdita) del Calcio dal cervel altri tessuti, e sul fatto che una frequenza molto vicina (17,6 Hz) viene emessa nella modulazione di ampiezza usata per produrre i s pulsanti in alcune tecnologie di telefonia cellulare.

In tutti questi casi l'effetto dei CEM di debole intensità è quello di interferire negativamente su un processo naturale che è essenziale per la prevenzione di effetti dannosi per la salute, piuttosto che di danneggiare cellule o tessuti con effetti diretti sulla salute stessa.

3.Valutazioni conclusive.

Viene prima formulata una valutazione critica conclusiva sugli effetti biologici e sanitari delle RF/MO sulla base del riesame pressoché esaustivo della letteratura scientifica effettuato nei precedenti capitoli, quindi vengono sottolineati alcuni aspetti importanti e di carattere generale che emergono da questo riesame.

3.1. Valutazione critica conclusiva dei dati scientifici relativi agli effetti biologici e sanitari delle rf/mo.

La valutazione conclusiva degli effetti biologici e sanitari delle RF/MO può essere così schematizzata con riferimento ai dati scientifici illustrati nei precedenti capitoli.

1) Trattamenti sperimentali di animali da laboratorio e di volontari umani con MO alle frequenze tipiche della telefonia cellulare (400, 950, 1.800, 2.450 MHz) dimostrano l'induzione di una varietà di effetti biologici, tra i quali i più significativi sono i seguenti.

- Alterazioni della permeabilità della barriera emato-encefalica; della funzionalità dei recettori e dei neurotrasmettitori cerebrali; della morfologia e della biochimica dei neuroni centrali; del flusso sanguigno cerebrale;
- modificazioni della conduzione nervosa nel cranio; dell'attività bioelettrica del cervello;
- cambiamenti della risposta ai farmaci che agiscono sul sistema nervoso; delle risposte a condizioni di stress; dell'apprendimento e della memoria;
- induzione di danni al DNA, accumulo di radicali liberi, accelerazione del processo di apoptosi (morte cellulare programmata) nelle cellule cerebrali;
- effetti sulla moltiplicazione cellulare;
- inibizione della sintesi della melatonina.

2) E' stato dimostrato che gli effetti sopra indicati:

- possono essere indotti specificatamente da determinate frequenze nell'ambito delle MO usate nella telefonia cellulare;
- più in generale, variano quantitativamente col variare delle frequenze di irradiazione EM;
- sono cumulativi, permangono per un certo tempo anche cessata l'irradiazione; e, dopo irradiazioni ripetute, possono diventare irreversibili;
- possono essere indotti a intensità EM estremamente basse, inferiori anche di 2-3 ordini di grandezza ai valori di SAR suggeriti dall'ICNIRP/OMS/CE (0.08 W/Kg, corrispondenti a 27, 41 e 58 V/m rispettivamente a 400, 950 e 1.800 MHz), e inferiori anche 1-2 ordini di grandezza ai limiti di esposizione (20 V/m) e ai valori di cautela (6 V/m) previsti dalla legislazione italiana;
- comunque sono dimostrabili a intensità EM talmente basse da non indurre alcun rialzo termico misurabile nei tessuti irradiati;
- risentono della "forma" dell'onda EM, in particolare della modulazione o pulsazione dei segnali (frequenze) usati nella telefonia cellulare, perché queste generano, accanto alle MO "portanti", frequenze estremamente basse (ELF), alcune delle quali sono particolarmente "bioattive" perché sono coincidenti o estremamente simili alle frequenze biologiche che svolgono ruoli essenziali a livello del cervello, del sistema nervoso centrale e periferico, del cuore, dei muscoli, delle membrane cellulari, dell'equilibrio ionico, del metabolismo cellulare, in definitiva dell'equilibrio omeostatico di ciascun essere vivente.

3) Gli effetti molecolari, biochimici, cellulari e fisiologici sopra riportati possono essere alla base di molte delle manifestazioni acute, correlate all'esposizione a RF/MO, che caratterizzano la cosiddetta "sindrome da elettrosensibilità". Tale sindrome:

- è caratterizzata da una varietà di sintomi a carico: a) del sistema nervoso (astenia psicologica anche intensa, apatia, difficoltà nell'elaborazione del pensiero e nella capacità di concentrazione, perdita della memoria, irritabilità, ansietà, instabilità dell'umore, depressione, cefalea, vertigini, disturbi del sonno e del ritmo sonno-veglia); b) del sistema cardio-circolatorio (aritmie, tachicardia, palpitazioni, modificazioni della pressione arteriosa e del flusso sanguigno periferico); c) del sistema muscolare (astenia muscolare, disestesie di vario tipo specie alle estremità, mialgie

agli arti); d) della cute (eritemi, prurito, dolore di tipo puntorio, bruciori, alterazioni della termoregolazione spesso con sudorazione diffusa); e) dell'udito, della vista, dell'olfatto, dell'apparato digerente;

- sulla base di dati epidemiologici recenti risulta correlata, con rapporto causa-effetto, all'esposizione alle emissioni EM dei telefoni cellulari e delle relative antenne e stazioni radio-base: in quest'ultimo caso, molte delle sintomatologie descritte persistono nelle persone residenti anche a distanze considerevoli (fino a 200 metri) dalle antenne.

4) Per quanto riguarda la capacità delle RF/MO di indurre danni genetici, diverse ricerche hanno dimostrato che:

- MO delle frequenze usate nella telefonia cellulare (UMTS: 2.450 MHz) inducono rotture del singolo o del doppio filamento del DNA in cellule di mammifero coltivate in vitro e in cellule cerebrali di ratti irradiate in vivo, probabilmente come conseguenza dell'inibizione dei meccanismi di riparazione dei danni e della produzione di radicali liberi;
- anche la funzionalità del DNA viene alterata: diversi "proto-oncogeni" e "oncogeni" tumorali vengono infatti attivati dopo irradiazione con MO (800-1.000 MHz), in condizioni che non producono alcun rialzo termico, in cellule di mammifero coltivate in vitro;
- aberrazioni cromosomiche classiche, dello stesso tipo di quelle indotte da radiazioni ionizzanti, e anche "micro-nuclei" (conseguenti a rotture cromosomiche o anomalie nella migrazione mitotica di interi cromosomi) e "scambi tra cromatidi fratelli" (segno di riparazione anomala dei danni cromosomici), vengono indotti da MO (950, 1.350, 2.450 MHz) in cellule di mammifero e in linfociti umani coltivati in vitro, in condizioni costanti di temperatura;
- effetti sinergici (moltiplicativi) a livello cromosomico vengono indotti irradiando le cellule con MO, in presenza di vari cancerogeni chimici genotossici;
- un aumento significativo di aberrazioni cromosomiche si verifica in linfociti del sangue periferico di soggetti umani, professionalmente esposti a MO (radar), in eritrociti periferici di bovini allevati in prossimità di una stazione a RF (160 MHz), e in cellule vegetali esposte "in situ" alle RF emesse da una stazione radiotrasmittente, a intensità particolarmente basse (1-3 V/m) e in assenza di rialzo termico;
- grossi danni cromosomici vengono indotti in topi irradiati con MO (2.450 MHz), come dimostrato dall'aumento di "letali dominanti" e di anomalie dello sperma.

5) Per quanto riguarda gli effetti cancerogeni delle RF/MO su sistemi sperimentali in vitro e in vivo è stato dimostrato che:

- MO delle frequenze usate nella telefonia cellulare (2.450 MHz), oltre che attivare "proto-oncogeni" e "oncogeni tumorali" (v. punto 4 qui sopra), stimolano la proliferazione di cellule cancerose e sono in grado di aumentare la frequenza di trasformazione neoplastica in vitro: quest'ultimo effetto risulta particolarmente evidente in presenza di "promotori" tumorali di natura chimica, ed è additivo dell'effetto provocato da cancerogeni genotossici, segno che, in queste condizioni le MO funzionano, oltre che da "iniziatori", anche come agenti "co-promotori" e "co-cancerogeni";
- MO (1.840 MHz) inducono e promuovono tumori cerebrali in ratti adulti, ed anche in embrioni di ratti "in utero", cronicamente irradiati;
- un effetto di promozione si verifica nel topo anche per quanto riguarda tumori della pelle, della mammella e linfomi;
- MO pulsate emesse da un telefono digitale GSM provocano un aumento significativo di linfomi in topi transgenici che esprimono un "oncogene" attivato nelle cellule linfoidi, anche se l'irradiazione (cronica) avviene "in campo lontano", cioè a distanze maggiori rispetto a quelle tra la testa e il cellulare durante una conversazione telefonica.

6) Una revisione particolarmente accurata e critica dei risultati delle indagini epidemiologiche sugli effetti cancerogeni di RF e MO in popolazioni umane esposte, nonostante i molti limiti metodologici che caratterizzano questo tipo di ricerche, permette di stabilire che:

- vari studi mettono in evidenza correlazioni statisticamente significative tra esposizioni occupazionali a RF e MO (radar) e aumento di incidenza di vari tipi di tumori, soprattutto leucemie e tumori del sistema linfatico, ma anche tumori del cervello, dell'occhio, del testicolo, della mammella e dell'utero;

- alcuni studi su esposizioni residenziali a RF (impianti per telecomunicazioni militari, stazioni radio-TV) mettono in evidenza aumenti statisticamente significativi della frequenza di leucemie infantili, leucemie e linfomi in adulti, e "trends" positivi per melanoma, tumore alla vescica e tumori cerebrali negli adulti;
- due unici studi epidemiologici "indipendenti" (finanziati da Enti statali) su utilizzatori di telefoni cellulari suggeriscono incrementi statisticamente significativi di tumori cerebrali "ipsilaterali", cioè sullo stesso lato usato per le telefonate, e di un raro tipo di tumore nell'uomo, il melanoma uveale dell'occhio;
- nessuna indagine epidemiologica è stata condotta finora per quanto riguarda la possibile correlazione tra esposizione alle MO emesse da antenne e stazioni radio-base per la telefonia cellulare e tumori nelle popolazioni residenti nelle prossimità di queste; su questo tema esistono solo segnalazioni aneddotiche.

3.2. Considerazioni di carattere generale.

1. La telefonia cellulare è una tecnologia importante che, sviluppatasi in maniera tumultuosa soprattutto negli ultimi 10 anni, ha ancora enormi possibilità di espansione: basti pensare all'imminente avvio della terza generazione di cellulari (UMTS), che prevede l'utilizzo di nuove antenne e stazioni radio-base e di nuove frequenze finora non presenti nell'ambiente, e all'ingresso nel mercato mondiale di nuovi gestori e di nuovi utenti. Solo negli Stati Uniti circa 80 milioni di persone utilizzavano nel 2000 il cellulare, con un ritmo di entrata di decine di migliaia di nuovi utenti ogni giorno, mentre in Italia ci sono oggi più di 30 milioni di cellulari serviti da circa 25.000 stazioni radio-base, e un raddoppio di questi numeri è atteso entro il prossimo biennio. Se l'esposizione alle MO usate per la telefonia cellulare risultasse associata ad un aumento anche lieve di qualche tipo di effetto dannoso per la salute dell'uomo, anche non particolarmente rilevante, l'enorme numero degli utenti e la presenza ormai ubiquitaria di emissioni EM di significativa intensità, caratterizzate da una larga gamma di frequenze comprendenti quelle estremamente basse, ELF, prodotte dai sistemi di modulazione in uso, e particolarmente "bioattive", potrebbero dar luogo a un problema sanitario potenzialmente molto grave.
2. Come sempre avviene quando la scienza comincia ad indagare i possibili effetti dannosi dovuti all'uso di prodotti dietro ai quali si nascondono interessi economici enormi e planetari (si pensi al tabacco, all'amianto, al cloruro di vinile e, più in generale, al settore della plastica), anche nel caso delle RF/MO la letteratura scientifica sull'argomento risente dei condizionamenti esercitati dai produttori mediante finanziamenti mirati, controllo dei risultati, influenze politiche e altre pratiche ormai ben collaudate, quali regalie, campagne mediatiche, informazioni riservate, ecc.. Non è certo un caso che gli studi finanziati dai gestori o dai produttori abbiano dato risultati sistematicamente negativi anche per quanto riguarda i possibili danni alla salute umana prodotti dall'esposizione a RF/MO. Anche se tali studi si rivelano inconsistenti ad un esame approfondito, essi finiscono col rendere confuso e contraddittorio il quadro complessivo, pure in presenza di una sovrabbondanza di dati positivi prodotti tramite ricerche "indipendenti". Esempi illuminanti di "risultati condizionati e condizionanti" sono, per quanto riguarda la telefonia cellulare, parte dei dati sui tumori indotti sull'uomo, sugli effetti genetici e sulla elettrosensibilità.
3. A fronte di una massa veramente considerevole di dati sperimentali che mettono in evidenza effetti biologici e sanitari e possibili meccanismi d'azione a livello molecolare, cellulare e fisiologico delle RF/MO accumulatisi negli ultimi anni, appare oggi insostenibile e assolutamente ingiustificata la posizione dell'OMS fondata sui rapporti scientifici dell'ICNIRP del '96 e del '98, ma di fatto ferma a linee-guida fissate alla fine degli anni '80. Tali linee-guida, infatti, si basano, ai fini della definizione dei limiti di esposizione: a) solo sugli effetti sanitari, ignorando quindi i dati biologici che li sottendono e che ne chiariscono i meccanismi di induzione; b) solo sugli effetti definitivamente accertati, in deroga a quanto previsto dal Principio di Precauzione, che avrebbe invece dovuto essere proprio il fondamento della politica cautelativa dell'OMS e della Comunità Europea; c) solo sugli effetti di natura termica, mentre ormai sono ben documentati effetti "non termici" o "a intensità particolarmente basse"; d) solo sugli effetti acuti, a breve termine, a dispetto dei dati documentati nella letteratura, relativi ad effetti cronici, a lungo termine, in particolare genetici e cancerogenetici.
4. Questa posizione dell'OMS/ICNIRP/CE rigida, antistorica, che rifiuta persino il confronto scientifico, appare condizionata non tanto dalla prudenza quanto dalla conservazione di interessi ben identificabili. Tuttavia questa posizione non ha impedito a molte Nazioni di rivedere

criticamente le linee guida dell'ICNIRP e di adottare, in nome del Principio di Precauzione, limiti di esposizione sensibilmente più bassi di quelli proposti dall'OMS/CE, e addirittura di introdurre valori di cautela e obiettivi di qualità ancora più cautelativi, in vista di una minimizzazione delle esposizioni EM largamente giustificata dai dati scientifici. Al punto che, dopo alcuni Congressi Internazionali preparatori, nel Dicembre 2002 la comunità scientifica "indipendente" ha sentito il bisogno di fondare una Commissione Internazionale per la Sicurezza Elettromagnetica (ICEMS) che, richiamandosi al Principio di Precauzione, si pone come alternativa all'ICNIRP, con l'obiettivo di rivedere le basi scientifiche e le strategie operative in vista di una diversa definizione e una migliore prevenzione dei rischi da esposizioni EM.

5. Il Principio di Precauzione, nato all'interno di tematiche strettamente ambientali (Rio de Janeiro, 1992) ed entrato a far parte del Trattato Costitutivo dell'Unione Europea (Maastricht, 1994), nella sua estensione agli aspetti sanitari risponde a una politica di gestione del rischio che si applica in circostanze con un grado elevato di incertezza nei dati scientifici, e riflette la necessità di intraprendere iniziative atte a limitare un rischio potenziale serio, senza dover aspettare il risultato delle ricerche scientifiche. In sostanza esso suggerisce di adottare misure per prevenire un danno, anche quando non si è del tutto certi che tale danno si verificherà.
6. Il Principio di Precauzione si è posto dunque come causa di trasformazione del cosiddetto "diritto positivo", che aveva sempre recepito le scoperte scientifiche man mano che queste andavano affermandosi. L'esperienza del diritto positivo, in costante e sempre successivo inseguimento delle scoperte scientifiche, dovrebbe essere ormai finita. L'ordinamento ha cambiato tecnica di tutela e protezione a causa della parossistica accelerazione delle scoperte scientifiche, soprattutto in campo biomedico. Non più la creazione di norme ad hoc per ogni scoperta, norme che necessariamente arrivano dopo la scoperta, quando i danni sono già prodotti, ma la creazione di un principio unico, quello di precauzione appunto, che consente all'ordinamento nel suo complesso di garantire, ed ai singoli soggetti giuridici di ottenere una protezione in via preventiva e sostanziale.
7. Aderendo a questa impostazione, il Principio di Precauzione è stato ben incorporato nelle nostre normative nazionale e regionali sulle esposizioni a onde EM, in particolare alle RF e alle MO. Da ciò è derivata anche la necessità di tutelare la salute, soprattutto dei soggetti più sensibili (bambini, anziani, malati) mediante il perseguimento di "obiettivi di qualità" che minimizzino le esposizioni, anche a valori inferiori a quelli raggiungibili in base ai limiti di esposizione e ai valori di cautela. Inoltre, coerentemente con i principi suesposti, la Magistratura Italiana di ogni ordine e grado ha ritenuto, anche in merito a situazioni riguardanti l'inquinamento EM, di dover tutelare preventivamente il diritto prioritario alla salute e all'integrità fisica dei cittadini a fronte della documentazione scientifica di possibili incrementi di rischio, anche quando non siano superati i limiti fissati dalle leggi in quel momento in vigore.

3.3. Conseguenze operative alla luce delle normative in vigore.

Le considerazioni conclusive e la valutazione critica dei risultati scientifici relativi agli effetti biologici e sanitari delle RF/MO supportano alcune conseguenze operative basate sulla corretta applicazione delle normative in vigore.

I limiti fissati dal D.M. 381/1998 (art.4), confermati dalla legge 36/2001 e richiamati anche dal D.LGS. 198/2002 (art.1, comma d) sono rappresentati, "in corrispondenza di edifici adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere" dal "valore di cautela" o "di attenzione" pari a 6 V/m per il campo elettrico, e dagli "obiettivi di qualità". Mentre il valore di cautela, o di attenzione, rappresenta un limite ben definito sulla base di un preciso valore numerico di intensità di campo elettrico dell'emissione EM, gli obiettivi di qualità (art.2 delle "Linee Guida Applicative del D.M. 381/1998", Luglio/Settembre 1999) sono "valori entro cui contenere il campo EM per tutelare la popolazione nel breve, medio e lungo periodo, valori che possono essere raggiunti utilizzando innovazioni tecnologiche. E' fondamentale sottolineare l'importanza di tale definizione, che può comportare l'introduzione di misure che portano a ridurre ulteriormente l'esposizione della popolazione anche nel caso in cui siano già rispettati i limiti e le misure di cautela definite nel decreto. L'obiettivo di qualità è, in altri termini, uno strumento che concorre all'attuazione del principio di minimizzazione delle esposizioni indebite della popolazione ed in generale di ottimizzazione dell'inserimento dell'opera nell'ambiente, tenuta sempre presente la necessità di garantire la funzionalità dei servizi di radiocomunicazione". Secondo l'art.3, comma d) della Legge 36/2001, gli "obiettivi di qualità sono: 1) i criteri localizzativi, gli standard urbanistici, le prescrizioni e le incentivazioni per l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili, indicati dalle leggi regionali secondo

le competenze definite dall'art.8; 2) i valori di campo elettrico, magnetico ed EM, definiti dallo Stato secondo le prescrizioni di cui all'art.4, comma 1, lettera a, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi medesimi".

Appare dunque chiaro che già il legislatore, "ritenuta la necessità di riservare misure più cautelative, perlomeno nei casi in cui si possono verificare esposizioni a CEM per tempi prolungati, da parte di recettori sensibili non esposti per ragioni professionali " (5° capoverso della Premessa al D.M. 381/98), ha deciso, sulla base della documentazione scientifica già allora disponibile circa gli effetti biologici e sanitari delle RF/MO, di perseguire, tramite gli obiettivi di qualità, il risultato di "produrre i valori di CEM più bassi possibile, compatibilmente con la qualità del servizio svolto dal sistema stesso, al fine di minimizzare l'esposizione della popolazione" (art.4, comma 1, del D.M. 381/98).

A questo proposito va sottolineato che le conoscenze scientifiche sugli effetti biologici e sanitari prodotti dalle RF/MO sono enormemente progredite dal 1998 ad oggi, col risultato di rendere ancora più pressante l'obiettivo della minimizzazione delle esposizioni indebite. Infatti i dati mettono in evidenza che:

1. effetti dannosi, particolarmente rilevanti, delle RF/MO vengono indotti a livello molecolare, biochimico, cellulare e funzionale su cellule di mammifero (anche umane) coltivate in vitro, su animali da esperimento e su volontari umani, anche ad intensità di campo elettrico estremamente basse, inferiori di 1-2 ordini di grandezza rispetto al valore di cautela di 6 V/m;
2. tali effetti costituiscono la base di molte delle manifestazioni patologiche acute, correlate all'esposizione a RF/MO anche di bassa intensità. Tali patologie trovano spiegazione anche nella particolare composizione delle onde EM usate nella telefonia mobile, che comprende frequenze particolarmente "bioattive", e costituiscono manifestazioni tipiche della cosiddetta "sindrome da elettrosensibilità", presente in soggetti che abitano o che lavorano anche a distanze considerevoli (fino a 100-200 metri) dalle stazioni radio-base per la telefonia cellulare;
3. per quanto riguarda il "rischio di possibili patologie, anche future", la possibilità di effetti a lungo termine, ritardati, di tipo genetico da parte delle RF/MO è largamente documentata in sistemi sperimentali (cellule di mammifero esposte "in vitro", animali trattati in laboratorio), in animali esposti "in loco" e in soggetti umani esposti professionalmente;
4. effetti cancerogenetici sono documentati su animali da esperimento, su lavoratori esposti professionalmente a RF/MO e su persone residenti in prossimità di ripetitori radio-TV, mentre i dati relativi a tumori indotti dall'uso di telefoni cellulari appaiono ancora troppo scarsi per trarre indicazioni conclusive, e per quanto riguarda la possibile insorgenza di tumori in popolazioni residenti in prossimità di stazioni radio-base per la telefonia mobile manca qualsiasi indagine epidemiologica in merito e sono presenti solo segnalazioni aneddotiche;
5. sia gli effetti acuti che quelli a lungo termine delle RF e della MO possono essere potenziati, mediante meccanismi di "promozione", "co-promozione" e "co-cancerogenesi" in presenza di agenti chimici tossici o di cancerogeni genotossici, tra i quali anche alcuni comuni inquinanti delle aree urbane a grande traffico autoveicolare, quali gli idrocarburi aromatici policiclici.

Esiste dunque sicuramente una probabilità di rischio sanitario come conseguenza delle esposizioni a RF e MO il cui grado però è difficilmente quantificabile per quanto riguarda le possibili patologie a lungo termine (genetiche e cancerogenetiche), soprattutto nelle condizioni di esposizione che caratterizzano le emissioni prodotte da antenne e stazioni radio-base per la telefonia mobile, mentre il rischio è sicuramente elevato per quanto concerne le patologie acute, che in genere persistono e si aggravano col perdurare dell'esposizione, con conseguenze gravi sia sul piano organico che su quello psicologico, fino ad incidere pesantemente sulla qualità della vita.

A questo proposito mi sia consentito di ricordare il parere di tre illustri scienziati.

Secondo A. FIRSTENBERG "mai nella storia dell'umanità milioni di persone sono state sottoposte a CEM ad altissima frequenza (MO) di tale intensità, per 24 ore al giorno e per 365 giorni all'anno, senza alcuna tregua", e "questa tecnologia (la telefonia cellulare n.d.a.) è più invasiva di ogni altra virtuale innovazione, ed ha la potenzialità di provocare una catastrofe di dimensioni mondiali".

Dal canto suo, A. FREY, a conclusione di una rassegna sull'uso di studi inappropriati e di informazioni fuorvianti, sui conflitti di interesse ed i condizionamenti che caratterizzano gran parte delle ricerche sugli effetti biologici e sanitari delle MO usate nella telefonia mobile, così conclude: "I precedenti sono solo piccoli esempi, tra quanti se ne possono ricordare, di conflitti di interesse, di assunzioni implicite e di ricerche inappropriate, tutti ben documentati, che compromettono la ricerca biologica necessaria per determinare se i CEM costituiscono un rischio per la salute. Come conseguenza, i responsabili politici non hanno a portata di mano i dati biologici necessari per stabilire

se c'è un rischio, e la popolazione è confusa. E così, centinaia di milioni di utilizzatori di telefoni cellulari, che non hanno potuto esprimere un consenso basato su una corretta informazione circa l'uso di questa tecnologia, sono le cavie inconsapevoli di un enorme esperimento biologico".

E infine, secondo G. HYLAND "di particolare timore per il pubblico, e ciò che genera maggiore scandalo, è la sottomissione di certi gruppi della popolazione, per 24 ore al giorno e per 7 giorni alla settimana, alle emissioni delle stazioni radio-base destinate al sistema GSM, quando queste vengono collocate, senza alcun senso di responsabilità, vicino alle abitazioni, alle scuole, agli ospedali. L'ambiente in cui vivono questi gruppi di persone è permanentemente e inevitabilmente contaminato. Ciò è del tutto inaccettabile e pone seri problemi etici contravvenendo indiscutibilmente al "Codice di Norimberga", in quanto questi gruppi di persone, che potrebbero un giorno manifestare qualche tipo di danno alla salute dovuto a tale esposizione cronica, non hanno a disposizione alcuna informazione precisa circa i rischi che corrono. In altre parole, queste persone sono, a tutti gli effetti, i soggetti involontari di un esperimento di massa".

Secondo questi ed altri autori l'intensità massima del campo elettrico in corrispondenza delle zone di permanenza prolungata della popolazione, in particolare dove sono presenti bambini i quali, per i motivi già illustrati, sono particolarmente sensibili ai danni alla salute provocati dalle MO della telefonia mobile, non dovrebbe superare 0,6 V/m o addirittura 0,2 V/m. Questi sono anche gli obiettivi di qualità proposti dalle risoluzioni conclusive espresse in occasione di alcuni importanti Congressi Internazionali sulla telefonia mobile e sono già stati adottati da alcune città o Nazioni estere e dalla Regione Toscana.

Per quanto riguarda le eventuali misure idonee a ridurre le immissioni e/o i loro effetti, la risposta è implicita nella definizione degli obiettivi di qualità datane dalle norme vigenti, laddove si specifica che tali obiettivi, e tramite essi la minimizzazione delle esposizioni e dei rischi per la popolazione, si persegue mediante "le migliori tecnologie disponibili" e "i criteri localizzativi".

Gli accorgimenti tecnologici rivolti alla minimizzazione delle esposizioni possono consistere nella riduzione della potenza di emissione delle antenne montate sulla stazione radio-base, in un diverso orientamento dei fasci principali di emissione delle onde EM dalle antenne, nell'eliminazione delle frequenze "bioattive" eventualmente presenti, ma soprattutto nella sostituzione del sistema "a macrocella" proprio di una stazione radio-base di notevole potenza, con un sistema a più "microcelle" di potenza molto ridotta (2 W, o anche meno). Il risultato è illustrato nella figura qui sotto riportata, che rappresenta l'andamento dei valori di campo elettrico nella sezione di una "macrocella", cioè dell'area di pertinenza di una stazione radio-base di potenza medio-alta (40-70 W), e mette in risalto l'abbattimento di tali valori che si può ottenere mediante la copertura della stessa area con più "microcelle" di bassa potenza.