

### 3. Campi elettromagnetici e salute: quadro delle conoscenze e delle normative

#### Riassunto

Il fatto che i campi elettromagnetici possano agire sull'organismo umano dando luogo a effetti biologici di vario tipo è quasi ovvio, dato il ruolo che tensioni e correnti elettriche interne al corpo svolgono in numerosi processi fisiologici. Ciò che è tuttora oggetto di dibattito scientifico è la possibilità che questi effetti biologici si traducano, per la loro natura ed entità, in effetti sanitari, cioè in danni per la salute. Gli interrogativi riguardano gli effetti a lungo termine (in particolare quelli cancerogeni) che sono stati suggeriti da alcuni studi epidemiologici ma sono ben lungi dall'essere provati.

Gli effetti a breve termine sono invece ben documentati e compresi e costituiscono la base per la definizione di limiti di esposizione, sui quali si registra un largo consenso della comunità scientifica. Sono infatti oltre una ventina i paesi che hanno adottato, in qualche forma, i limiti di esposizione raccomandati dalla Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti (ICNIRP). Dal canto suo, l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha avviato un'azione per l'armonizzazione delle normative nazionali e diverse nazioni hanno manifestato l'intenzione di aderire. Un passo significativo nella direzione dell'armonizzazione è stato effettuato dall'Unione Europea, il cui Consiglio ha approvato nel luglio 1999 una raccomandazione agli Stati membri per l'adozione di un quadro normativo comune, basato sulle linee guida dell'ICNIRP.

La raccomandazione è stata approvata da tutti gli Stati dell'Unione, con la sola eccezione dell'Italia, che ha motivato il suo dissenso con l'esigenza di particolari precauzioni nei confronti degli effetti a lungo termine. Questa politica cautelativa ha trovato pratica attuazione nella Legge quadro per la protezione dai campi elettromagnetici (Legge n.36 del 22 febbraio 2001), anche se un precedente decreto ministeriale (DM 381/98) aveva già fissato per i campi elettromagnetici a radiofrequenza limiti sensibilmente più bassi di quelli previsti dalle normative internazionali.

Anche la legge quadro diverge dalle raccomandazioni internazionali e dalle legislazioni di altri stati, non solo per i limiti particolarmente restrittivi ma soprattutto per l'introduzione di grandezze e concetti sconosciuti alla comunità scientifica ed a quella protezionistica del settore.

In effetti la legge quadro, presentata e salutata come la più avanzata al mondo per il suo approccio cautelativo, presenta molti aspetti discutibili dal punto di vista scientifico. Il più evidente è l'accettazione del concetto di "inquinamento elettromagnetico", termine assolutamente improprio e fuorviante che tuttavia compare più volte nel testo della legge. Né si tratta di una pura svista terminologica: il suo uso è coerente con tutta l'impostazione della legge, che tratta in modo indistinto

sorgenti diverse e campi diversi per le loro caratteristiche fisiche, prima tra tutte la frequenza.

In realtà la ricerca scientifica fornisce, non sorprendentemente, indicazioni diverse per i campi a bassa o ad alta frequenza: mentre la componente magnetica dei campi a frequenza industriale è stata recentemente classificata nella classe 2B (quella elettrica nella classe 3) dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC), l'OMS sottolinea che "una rassegna della letteratura scientifica ha portato alla conclusione che non esiste alcuna evidenza convincente che l'esposizione a campi elettromagnetici a radiofrequenza abbrevi la durata della vita umana, né che induca o favorisca il cancro".

Alla luce di queste valutazioni, si può affermare che la normativa italiana contrasta non solo con le valutazioni scientifiche delle organizzazioni più accreditate, ma anche con autorevoli raccomandazioni in tema di precauzione. Una comunicazione della Commissione Europea sulla corretta applicazione del principio di precauzione sottolinea infatti che il principio stesso non può essere non solo applicato ma neanche semplicemente invocato se un rischio grave per la salute non è stato identificato e scientificamente valutato, e certamente, almeno per i campi ad alta frequenza, nessun rischio è stato identificato dai numerosi studi sinora fatti.

La mancanza di fondamento scientifico delle norme italiane porta a diverse conseguenze negative. La prima è l'incomprensione da parte dei cittadini: i valori cautelativi (arbitrariamente scelti) definiti come "livelli di attenzione" e "obiettivi di qualità" sono, a dispetto del loro nome, percepiti come limiti di esposizione a tutti gli effetti (e quindi come soglie di pericolosità). La seconda conseguenza è la continua rincorsa, da parte di regioni, comuni e autorità locali, a limiti sempre più bassi. Una terza è l'isolamento internazionale dell'Italia (rimarcato anche in occasione di un workshop organizzato nel novembre 2001 dalla Commissione Europea). Infine, la più grave è che l'adozione di limiti particolarmente restrittivi ma che, per quanto detto, non possono essere giustificati né scientificamente né logicamente esaspera le controversie e le polemiche anziché sedarle; il caso del DM 381/98, a seguito del quale le preoccupazioni e le tensioni sociali sono notevolmente aumentate è significativo a questo riguardo.

## Introduzione

Con il termine "radiazioni non ionizzanti" si intendono i campi elettrici e magnetici statici, i campi elettromagnetici "non ottici" (generalmente indicati semplicemente come campi elettromagnetici) e la radiazione ottica fino al limite della ionizzazione, nella regione dell'ultravioletto. Per ragioni storiche, sono inseriti tra le radiazioni non ionizzanti anche infrasuoni e ultrasuoni, la cui natura fisica è

completamente diversa. Lo spettro elettromagnetico è stato convenzionalmente diviso, ai fini dell'analisi degli effetti biologici e sanitari, in diverse regioni: campi statici, campi a frequenza estremamente bassa (ELF, Extremely Low Frequency), campi a frequenza intermedia (IF, Intermediate Frequency), campi a radiofrequenza e microonde (RF/MW, Radio Frequency and Microwaves).

Il presente documento copre solo in parte la tematica degli effetti delle radiazioni non ionizzanti e limitandosi ai soli campi elettromagnetici e, all'interno di questi, a quelli di più rilevante e attuale interesse dal punto di vista ambientale, cioè della protezione della popolazione in generale. Verranno quindi trattati da un lato i campi elettrici e magnetici a frequenza industriale (50 Hz), dall'altro i campi elettromagnetici a radiofrequenza utilizzati per le telecomunicazioni.

L'uso diffuso di termini assolutamente impropri come "inquinamento elettromagnetico" o "elettrosmog" ha generato confusione nel pubblico e alimentato pericolosi equivoci. Oltre a dare a priori una connotazione negativa al problema, queste espressioni inducono infatti i non specialisti a ritenere che tutti i tipi di campi elettromagnetici siano sostanzialmente uguali dal punto di vista delle emissioni e degli effetti sull'uomo. Essi invece differiscono, oltre che per l'intensità (che gioca un ruolo fondamentale), anche in base a varie caratteristiche fisiche dei campi come la forma d'onda, la polarizzazione e, soprattutto, la frequenza.

Da quest'ultimo punto di vista occorre quanto meno distinguere i campi elettrici e magnetici a frequenza industriale dai campi elettromagnetici a radiofrequenza. La stessa terminologia indica infatti una differenza fondamentale: a frequenze estremamente basse le componenti elettrica e magnetica sono completamente disaccoppiate e devono essere considerate come entità fisiche distinte e indipendenti, mentre nella regione delle radiofrequenze sono strettamente legate da precise relazioni di fase, di orientamento e di intensità e possono pertanto essere considerate come un'unica grandezza.

A rigore, una distinzione in base alla frequenza dovrebbe essere operata anche all'interno delle radiofrequenze e microonde, la cui frequenza varia entro 4-5 ordini di grandezza. Tuttavia, gli effetti biologici in questa regione dello spettro sono sostanzialmente simili e ciò consente la schematica suddivisione a cui si è accennato in campi ELF, frequentemente indicati come campi "a bassa frequenza", e campi a RF/MW, ovvero "ad alta frequenza".

### **Sorgenti di esposizione**

Tra le sorgenti di campi ELF, quelle che destano il massimo interesse e le massime preoccupazioni sono le linee ad alta tensione. Queste generano sia campi elettrici sia campi magnetici la cui intensità decresce rapidamente entro poche decine

di metri dai conduttori e più lentamente a distanze superiori. I valori massimi di campo elettrico misurabili al suolo immediatamente sotto la linea sono dell'ordine della decina di kilovolt al metro (kV/m) per un elettrodotto a 380 kV. Per quanto riguarda la componente magnetica, i livelli d'induzione magnetica generati da una linea di trasmissione a pieno carico (cioè in condizioni di massima corrente) possono raggiungere, immediatamente sotto le linee, valori dell'ordine dei 15 microTesla ( $\mu$ T).

Altre sorgenti di esposizione ai campi a frequenza industriale che interessano la popolazione in generale sono i circuiti interni delle abitazioni e gli elettrodomestici. Per le loro stesse caratteristiche, queste sorgenti producono quasi esclusivamente campi magnetici.

Non si possono trascurare infine alcune importanti sorgenti comparse recentemente con lo sviluppo di nuove tecnologie. Un esempio significativo, per le esposizioni che potrà comportare, è costituito dai treni ad alta velocità di cui si sta sviluppando la rete. Mentre le ferrovie tradizionali operano, almeno in Italia, in corrente continua, le nuove linee ad alta velocità sfrutteranno correnti alternate alla tensione di 25 kV e alla frequenza di 50 Hz. Ciò permette una migliore economia d'esercizio ma comporta che, mentre all'interno delle carrozze di treni tradizionali si riscontrano quasi esclusivamente campi magnetici statici, in quelle dei nuovi convogli si creeranno campi alternati la cui intensità, secondo calcoli previsionali, potrebbe essere di alcuni microTesla.

Per quello che riguarda le sorgenti di campi elettromagnetici a radiofrequenza, le più rilevanti in campo ambientale sono le emittenti radiotelevisive. Alcune possono emettere potenze complessive dell'ordine delle decine di kilowatt, anche se esistono differenze notevoli in relazione all'estensione dell'area da coprire. Per questo tipo di sorgenti si fa generalmente riferimento al campo elettrico; il campo magnetico è comunque proporzionale a quello elettrico (salvo che nelle immediate vicinanze della sorgente) cosicché la considerazione dell'uno o dell'altro è indifferente. In prossimità di impianti particolarmente potenti, o in presenza di più antenne nello stesso sito si possono riscontrare livelli di campo elettrico dell'ordine di qualche decina di volt al metro (V/m); livelli dell'ordine di qualche volt al metro possono interessare aree relativamente ampie, come un quartiere cittadino, nei casi in cui le installazioni cui si è fatto cenno siano collocate all'interno di centri abitati o nelle immediate vicinanze.

Una caratteristica importante delle antenne a radiofrequenza è la loro direzionalità. La potenza è infatti irradiata in modo generalmente non uniforme, secondo un "diagramma di irradiazione" tipico di ogni antenna. Le condizioni possono variare da una distribuzione isotropa (nel piano orizzontale, ma generalmente non in verticale) a emissioni molto focalizzate. Quest'ultimo è il caso dei ponti radio ed anche delle stazioni radio base per telefonia cellulare, le cui emissioni

nel piano verticale sono essenzialmente confinate entro "fasci" conici la cui apertura angolare è dell'ordine dei 7-8 gradi. Di conseguenza, i livelli di campo elettrico in aree normalmente accessibili al pubblico sono relativamente bassi, raggiungendo al massimo livelli di 2-3 V/m nelle immediate vicinanze dell'antenna (ad esempio, sul terrazzo su cui è collocato il traliccio). A livello del suolo, o all'interno degli edifici circostanti e soprattutto di quello sul quale l'antenna è installata, i livelli di esposizione sono generalmente molto bassi, anche in rapporto a quelli di fondo dovuti alle emittenti radiotelevisive.

### Valutazione delle esposizioni

Ai fini di eventuali effetti sanitari, sia a breve sia a lungo termine, ciò che è rilevante è l'effettiva esposizione degli individui, piuttosto che i livelli massimi dei campi. Il primo passo per la valutazione delle esposizioni è ovviamente la conoscenza della distribuzione nello spazio dei campi che sono generati dalle singole sorgenti. Ciò può essere conseguito sia con calcoli teorici, sia con misure sperimentali. I primi sono particolarmente utili nei casi di sorgenti "standardizzate", come sono le linee ad alta tensione o le stazioni radio base. Nell'uno e nell'altro caso sono stati sviluppati codici di calcolo ampiamente collaudati ed attendibili che dovrebbero rendere superflue le misure sperimentali, generalmente meno affidabili. Queste possono però essere utili nel caso di particolari sorgenti con diagrammi di irradiazione complessi, e sono praticamente necessarie nel caso di più antenne presenti nello stesso sito.

Bisogna anche tenere presente che i calcoli teorici permettono di valutare i livelli di campo di uno spazio libero ed aperto, ma per stimare le esposizioni che hanno luogo all'interno di edifici o in presenza di ostacoli occorre tenere conto dell'attenuazione dei materiali: questa è praticamente nulla per la componente magnetica a frequenza industriale ma può essere molto alta per quella elettrica e per i campi elettromagnetici ad alta frequenza, anche in relazione alla natura e allo stato dei materiali (strutture in cemento armato, muri asciutti o bagnati, ecc.).

Un ulteriore elemento di variabilità è dato dalla distribuzione dei campi, che può essere più o meno omogenea, per cui le esposizioni possono interessare in modo uniforme il corpo intero o essere localizzate. Quest'ultimo è il caso dei campi a bassa frequenza prodotti da molti elettrodomestici o quello, particolarmente evidente ed importante, dei campi a radiofrequenza generati dai telefoni cellulari. Infine, un parametro particolarmente importante, soprattutto ai fini di eventuali effetti a lungo termine, è la durata dell'esposizione.

La combinazione dei molteplici fattori sopra elencati rende particolarmente complessa la valutazione delle esposizioni e praticamente impossibile la definizione di

una "dose" in qualche modo assimilabile a quella normalmente utilizzata in tossicologia, o nell'ambito delle radiazioni ionizzanti. Ad esempio, come si possano confrontare e combinare esposizioni prolungate a bassi livelli di campo (dovute ad esempio alla residenza in prossimità di linee ad alta tensione) con esposizioni brevi a campi intensi (legate ad esempio alla vicinanza ad elettrodomestici o dispositivi elettrici in funzione) costituisce un problema tuttora insoluto.

## Effetti biologici

In base alle leggi fondamentali della fisica, un campo elettromagnetico esterno provoca nella materia in generale, e nei tessuti biologici in particolare, movimenti delle cariche elettriche libere e oscillazioni delle molecole dotate di momento magnetico proprio. A livello macroscopico, queste interazioni elementari si traducono, nel corpo umano, in fenomeni ben documentati e compresi. I campi a bassa frequenza generano correnti elettriche variamente distribuite, mentre i campi a radiofrequenza trasferiscono ai tessuti energia elettromagnetica che viene dissipata sotto forma di calore. Nel primo caso, l'effetto biologico che ne consegue è la stimolazione di tessuti elettricamente eccitabili. Alle alte frequenze, invece, la produzione di calore provoca un innalzamento della temperatura corporea, generale o locale; e gli effetti biologici sono dovuti a questo innalzamento termico piuttosto che ai campi elettromagnetici in sé.

Al fine di descrivere efficacemente gli effetti biologici dei campi elettromagnetici sono state introdotte particolari grandezze fisiche, cosiddette "dosimetriche" in contrasto con l'intensità del campo magnetico (o l'induzione magnetica) e la densità di potenza che, in analogia con le radiazioni ionizzanti, sono dette grandezze "radiometriche". In relazione ai diversi intervalli di frequenza ed ai diversi meccanismi di interazione sono state individuate diverse grandezze dosimetriche; le più importanti, che sono legate ai meccanismi sopra descritti, sono la densità di corrente ed il tasso di assorbimento specifico o SAR (dal corrispondente termine inglese Specific Absorption Rate), rispettivamente per le basse e per le alte frequenze. La prima si misura in ampere al metro quadro ( $A/m^2$ ), la seconda in watt al kilogrammo ( $W/kg$ ). Le necessarie corrispondenze tra grandezze radiometriche esterne - praticamente misurabili - e grandezze dosimetriche interne - di più diretto significato biologico - sono stabilite da tecniche di misura sperimentale su fantocci e procedure di calcolo su modelli numerici che, nel loro complesso, costituiscono uno specifico settore nell'ambito del bioelettromagnetismo chiamato, per ragioni storiche e di analogia, "dosimetria" dei campi elettromagnetici.

In linea teorica, un'interazione dei campi esterni con le cariche elettriche degli

organismi viventi si verifica qualunque sia il livello di esposizione; tuttavia, effetti biologici evidenti (suscettibili, in qualche caso, di costituire un rischio per la salute) sono osservabili solo al di sopra di determinati livelli di soglia. Questi si situano attorno ai 10 mA/m<sup>2</sup> per la densità di corrente ed a 4 W/kg per il SAR. Diversi studi hanno, in realtà, fornito indicazioni di effetti biologici anche al di sotto (e talvolta molto al di sotto) di questi livelli, ma i risultati presentano notevoli incertezze e richiedono una conferma da parte di studi indipendenti. Bisogna inoltre tener presente che, per la natura e per l'entità degli effetti osservati, nessuno di questi prefigura rischi per la salute umana.

### **Effetti sanitari**

Gli effetti sulla salute che la ricerca scientifica ha documentato o ipotizzato possono essere schematicamente raggruppati in tre categorie: effetti acuti (o a breve termine), effetti a lungo termine, ed effetti soggettivi.

Per la loro stessa natura, gli effetti acuti, che si manifestano come risposte dirette ed immediata all'esposizione, sono quelli più facilmente identificabili. La stimolazione nervosa da parte dei campi elettrici e magnetici ELF dà luogo, al crescere dell'intensità di questi ultimi, a risposte fisiologiche che partono dalla semplice percezione e potrebbero teoricamente arrivare alla paralisi muscolare e all'arresto cardiaco, come dimostra l'esperienza della scossa elettrica. Ma i livelli di esposizione che possono riscontrarsi, anche nelle condizioni più sfavorevoli, sono comunque molto al di sotto di questi estremi. Alle alte frequenze, l'innalzamento della temperatura può dar luogo a semplici reazioni di compensazione attraverso i meccanismi di termoregolazione (vasodilatazione, sudorazione, respirazione accelerata) ma anche al collasso cardiocircolatorio nel caso di uno stress termico molto elevato e prolungato.

Fortunatamente, le soglie di innesco o di rilevazione di questi effetti sono molto al di sopra dei normali livelli di esposizione della popolazione. Situazioni suscettibili di dar luogo a qualche effetto sanitario acuto possono invece riscontrarsi in particolari ambienti di lavoro, ma il rispetto dei limiti previsti dalle normative di protezione internazionalmente accettate previene, con larghi margini di sicurezza, qualunque effetto di questo genere.

Più complesso è il problema di eventuali effetti a lungo termine. E' stato infatti ipotizzato che un'esposizione cronica a livelli di campo elettromagnetico anche molto inferiori alle soglie per gli effetti acuti possa dar luogo a patologie degenerative ed in particolare favorire lo sviluppo di tumori. Una simile possibilità non può ovviamente essere esclusa, né per i campi elettromagnetici né per nessun altro agente o attività umana. Il problema che si pone è quello di verificare quanto que-



ste ipotesi (che hanno creato molte preoccupazioni nel pubblico) trovino sostegno nella letteratura scientifica.

Nell'ambito di quest'ultima, viene data particolare importanza alle indagini epidemiologiche, che sono gli unici studi che forniscono indicazioni dirette sull'uomo. I dati epidemiologici sono però soltanto osservazioni di associazioni statistiche; per valutare se ed in qualche misura queste riflettano una relazione di causa-effetto sono fondamentali gli studi di laboratorio in vivo e in vitro, nonché le ricerche teoriche sui meccanismi di azione.

Contrariamente ad un diffuso luogo comune, la letteratura scientifica sugli effetti dei campi elettromagnetici è vastissima e le difficoltà di una loro valutazione d'insieme sono legate ad un eccesso piuttosto che ad una carenza di dati. Per di più, la problematica è tipicamente interdisciplinare ed un'analisi approfondita richiede il concorso di professionalità diverse. Per questi motivi è doveroso fare riferimento alle analisi critiche che sono state condotte da varie commissioni e gruppi di studio (anche internazionali), piuttosto che alle valutazioni di singoli ricercatori che, seppure a volte pregevoli, sono inevitabilmente soggettive.

Il quadro che emerge dalle valutazioni sopra menzionate è profondamente diverso secondoché si tratti di campi a bassa o ad alta frequenza.

Nel caso dei campi magnetici a 50 Hz, un certo numero di indagini epidemiologiche ha, soprattutto in passato, indicato associazioni tra l'esposizione residenziale (in particolare legata all'abitazione in prossimità di elettrodotti) e lo sviluppo di alcune forme di tumori. I dati sparsi di numerose ricerche sono stati di recente riesaminati in modo globale, aggregandoli in un unico insieme dopo averli resi omogenei. Due gruppi di ricerca distinti hanno effettuato indipendentemente questo tipo di analisi "pooled", giungendo sostanzialmente alle stesse conclusioni, che ridimensionano in parte i timori espressi in un primo tempo per la possibilità di diverse patologie tumorali. Gli autori concordano infatti che l'unica forma di cancro per la quale si registra una limitata evidenza di associazione statistica è la leucemia infantile; tale associazione si osserva solo in una piccola percentuale (meno dell'1%) dei soggetti, che sono quelli esposti a livelli relativamente alti di induzione magnetica (oltre 0,4  $\mu$ T). Questi dati non possono però essere interpretati in termini di una relazione di causa-effetto perché né gli studi su animali né quelli su sistemi cellulari forniscono elementi che possano suggerire un ruolo diretto o indiretto dei campi magnetici nella cancerogenesi; inoltre, manca l'evidenza di una correlazione dose-effetto, che costituisce uno dei criteri generalmente adottati per il giudizio di causalità (criteri di Hill).

Il quadro delle conoscenze è ben sintetizzato nella più recente analisi della letteratura relativa ai campi ELF, condotta da un gruppo di esperti britannici coordinato dall'epidemiologo Sir Richard Doll. Questa conclude che "in assenza di una chiara evidenza di un effetto cancerogeno negli adulti, o di chiare spiegazioni di



parte di studi su animali o cellule isolate, l'attuale evidenza epidemiologica non è abbastanza forte da giustificare una salda conclusione che i campi magnetici ELF provochino la leucemia infantile. Tuttavia, a meno che ulteriori ricerche non indichino che i risultati [epidemiologici] siano dovuti al caso o ad altri artefatti al momento non identificati, rimane l'eventualità che esposizioni interne e prolungate ai campi magnetici possano aumentare il rischio di leucemia infantile".

Del tutto coerente con queste conclusioni è la valutazione di un gruppo di esperti convocati dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) per la preparazione di una monografia sui campi elettrici e magnetici a frequenza estremamente bassa. Secondo le informazioni fornite dalla stessa IARC in un comunicato stampa (<http://www.iarc.fr>), il gruppo ha inserito i campi magnetici nella classe 2B sulla base di una limitata evidenza di cancerogenicità nell'uomo e di un'evidenza inadeguata negli animali da laboratorio.

In precedenza, alla stessa classificazione era giunto un diverso gruppo di esperti convocato dal National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS) degli Stati Uniti. Ancor prima, un comitato del National Research Council, sempre degli Stati Uniti, aveva prodotto un ampio rapporto che perveniva a conclusioni analoghe, pur senza classificare formalmente i campi magnetici dal punto di vista dei potenziali effetti cancerogeni.

La recente valutazione della IARC ha formato l'oggetto di un documento di informazione al pubblico prodotto dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), che si sofferma in particolare sul significato delle categorie 2B nell'ambito della classificazione. L'OMS fa notare che questa è "la più debole tra le tre usate dalla IARC per classificare i potenziali cancerogeni in base all'evidenza scientifica", ed è normalmente scelta "sulla base di un'evidenza nell'uomo che è considerata credibile, ma per la quale non si possono escludere altre cause". Come termini di paragone, si osservi che tra gli agenti del gruppo 2B vi sono sostanze familiari, come il caffè.

Come già sottolineato, il quadro delle conoscenze scientifiche in merito agli effetti dei campi a radiofrequenze si presenta sostanzialmente diverso. Infatti, sia le indagini epidemiologiche che quelle biologiche, concordemente, non indicano né effetti sanitari a lungo termine, né effetti biologici suscettibili di favorire lo sviluppo di tumori o di altre patologie degenerative. Significativo in proposito è il giudizio dell'OMS che, in un Promemoria del 1998, sottolineava che "una revisione dei dati scientifici svolta dall'OMS nell'ambito del Progetto internazionale CEM ha concluso che, sulla base della letteratura attuale, non c'è nessuna evidenza convincente che l'esposizione a campi a radiofrequenza abbrevi la durata della vita umana, né che induca o favorisca il cancro".

Alle stesse conclusioni sono pervenute tutte le commissioni che, in diversi paesi (Canada, Gran Bretagna, Paesi Bassi, Francia) sono state incaricate dai rispettivi

governi di esaminare la problematica. Il mandato di queste commissioni riguardava in realtà la telefonia cellulare, che in questi ultimi anni ha costituito il motivo di maggior apprensione per il pubblico; in tutti i casi, però, gli esperti hanno inquadrato questo problema specifico in quello più ampio degli effetti dei campi elettromagnetici a radiofrequenza, indipendentemente dalla sorgente. Anche l'OMS ha pubblicato nel 2000 un Promemoria dedicato in modo specifico alla telefonia mobile, ma con la stessa impostazione ad ampio raggio dei rapporti sopra citati; per quanto riguarda specificamente i tumori, il nuovo documento ribadisce, con una maggiore ricchezza di argomenti, il giudizio già espresso nel Promemoria del 1998.

### **Linee guida internazionali per la protezione dai campi elettromagnetici**

Le prime raccomandazioni riguardanti l'esposizione a campi elettromagnetici (in particolare a microonde) furono emanate negli Stati Uniti nell'immediato dopoguerra, motivate soprattutto da preoccupazioni per esposizioni degli operatori ai radar.

Nel 1977, l'Associazione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni (IRPA) creò al suo interno un Comitato Internazionale per le Radiazioni Non Ionizzanti (INIRC), che si trasformò nel 1992 in una organizzazione indipendente, la Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti (ICNIRP). L'ICNIRP è un'organizzazione di riconosciuto prestigio scientifico, formalmente accreditata da istituzioni come l'OMS, l'Ufficio Internazionale del Lavoro (ILO) e la Commissione Europea, con le quali collabora attivamente. Il suo scopo fondamentale è fornire ai governi nazionali indicazioni, su rigorose basi scientifiche, per la protezione dalle radiazioni non ionizzanti.

L'ICNIRP basa la propria attività su alcuni principi fondamentali, chiaramente descritti in un proprio documento programmatico: fondamento scientifico, trasparenza delle scelte, indipendenza da considerazioni economiche e sociali, criteri definiti a priori.

Nel corso di oltre mezzo secolo, per iniziativa dell'IRPA/INIRC prima e dell'ICNIRP poi - nonché di altre autorevoli organizzazioni come l'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) e il National Radiological Protection Board (NRPB) della Gran Bretagna - è stato sviluppato un vero e proprio "sistema" di protezione dai campi elettromagnetici. Questo si articola su due livelli: da un lato, si stabiliscono dei limiti di esposizione in termini delle grandezze "dosimetriche", cioè la densità di corrente e il SAR rispettivamente per i campi a bassa e ad alta frequenza; dall'altro, si ricavano dei cosiddetti "livelli di riferimento" in termini di grandezze fisiche direttamente misurabili come il campo elettrico, il campo

magnetico o la densità di potenza. I livelli di riferimento, introdotti per ovvii motivi di praticità, sono dedotti dai limiti di base ipotizzando, per ciascuno dei numerosi fattori che caratterizzano l'esposizione, l'ipotesi del caso peggiore: ciò rende le linee guida dell'ICNIRP flessibili (adattabili cioè a qualsiasi sorgente e modalità di esposizione) e, nello stesso tempo, molto cautelative.

L'ICNIRP (come del resto le altre organizzazioni già citate) ha più volte ribadito che i propri limiti di esposizione sono basati esclusivamente su effetti biologici e sanitari scientificamente accertati, cioè descritti da studi scientifici criticamente convalidati (attraverso il processo di "peer review") e riprodotti in modo coerente. A giudizio dell'ICNIRP, gli unici effetti a tutt'oggi documentati in questo modo sono quelli acuti; gli studi epidemiologici sugli effetti a lungo termine, per le loro incertezze e per la mancanza di un adeguato supporto da parte di altre ricerche, non possono costituire la base per la definizione di limiti numerici ma, al più, possono essere motivo per l'adozione di misure di precauzione non fondate su basi scientifiche e pertanto non di competenza della Commissione.

La più recente revisione delle linee guida dell'ICNIRP è stata pubblicata nel 1998 e copre l'intero spettro dei campi elettromagnetici non ottici, fino alla frequenza di 300 GHz. Attorno alle indicazioni dell'ICNIRP si è creato un vasto consenso, ed oltre 20 paesi hanno fatto proprie le linee guida adottandole come proprie norme nazionali. L'OMS, dal canto suo, ha deciso di favorire ulteriormente questo consenso ed ha avviato, nell'ambito del Progetto Internazionale CEM, un'azione per l'armonizzazione delle normative a livello mondiale.

L'esigenza di un quadro comune di riferimento è stata avvertita anche dall'Unione Europea, che ha emanato nel luglio 1999 una raccomandazione agli Stati membri in questo senso, suggerendo in particolare di recepire le indicazioni dell'ICNIRP. La Raccomandazione è stata approvata da tutti i paesi dell'Unione, con la sola eccezione dell'Italia.

## **Normative nazionali**

Anche se l'esigenza di regolamentare l'esposizione ai campi elettromagnetici è riconosciuta quasi universalmente, il numero di Paesi che ha effettivamente approvato delle normative in materia è relativamente limitato; per di più, solo una parte di queste hanno carattere coercitivo, mentre molti governi si sono limitati ad emanare semplici raccomandazioni.

Schematicamente, il quadro delle varie normative nazionali può essere rappresentato dividendo le nazioni in tre gruppi: quelle che hanno adottato normative su basi scientifiche in accordo con l'ICNIRP, quelle che si basano anch'esse sulle conoscenze scientifiche ma fanno riferimento a studi diversi da quelli considerati

dall'ICNIRP e infine le nazioni che si ispirano a un atteggiamento di cautela, al di là dei dati scientifici consolidati.

Del primo gruppo fanno parte, come già accennato, una ventina di paesi, ma il loro numero è in crescita: diversi governi hanno infatti manifestato l'intenzione di recepire le linee guida dell'ICNIRP.

Il secondo gruppo è costituito essenzialmente dai paesi dell'Europa Orientale i quali, in base a studi condotti prevalentemente al loro interno, ritengono che esistano effetti sanitari (soprattutto di tipo soggettivo) non adeguatamente considerati dall'ICNIRP. In effetti, il confronto tra la linea di pensiero "occidentale" e quella "orientale" ha animato il mondo scientifico per quasi tre decenni, tra gli anni '70 e '90; i cambiamenti politici intervenuti negli ultimi anni, consentendo un confronto diretto e la collaborazione tra i ricercatori, hanno favorito un riavvicinamento delle posizioni, dovuto in larga misura a un ridimensionamento degli studi dei Paesi dell'Europa orientale. Questo si è riflesso in cambiamenti di indirizzo della politica sanitaria: esempi significativi sono quelli della Repubblica Ceca, che dal 2000 ha abbandonato la sua normativa molto restrittiva per adottarne una conforme alle linee guida dell'ICNIRP; della Polonia che ha modificato in parte i propri limiti nella stessa direzione; di Russia, Cina e Ungheria che hanno manifestato l'intenzione di ravvicinare, sia pure con gradualità, i propri standard a quelli internazionali.

Il terzo gruppo è formato da due paesi, l'Italia e la Svizzera, che hanno recentemente adottato norme che differiscono totalmente dalle linee guida internazionali non solo nel valore numerico dei limiti, ma nel loro stesso impianto. Le due normative vengono spesso considerate equivalenti, e citate l'una a sostegno dell'altra; in realtà, a parte l'aspetto comune di limiti particolarmente restrittivi, differiscono profondamente nelle motivazioni, nell'impianto e nel significato stesso dei limiti.

L'ordinanza elvetica (entrata in vigore nel 2000) trova infatti la sua giustificazione in una legge generale del 1983, la Legge di Protezione dell'Ambiente, che richiede che le emissioni di un agente, da parte di qualunque sorgente, siano mantenute al più basso livello tecnicamente, economicamente e ragionevolmente raggiungibile, anche senza che ne sia stato provato un effetto negativo sull'ambiente e sulla salute. In pratica, questo principio si traduce in vincoli sulle singole sorgenti piuttosto che sulle esposizioni dei soggetti, per le quali si riconosce la validità delle indicazioni internazionali. La normativa svizzera sembra quindi rispondere a una politica ben diversa da quella di precauzione verso specifici rischi dei campi elettromagnetici; la limitazione di questi ultimi non viene considerata come una priorità o un'emergenza sanitaria, ma come una fase di attuazione di un principio generale valido per qualunque agente o attività umana.

## Normativa italiana

Con l'emanazione della Legge 36/01 (Legge quadro per la protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici e elettromagnetici) l'Italia si è dotata di un proprio sistema di protezione. La volontà di predisposizione di una legge presenta diversi aspetti positivi, primo tra tutti quello di colmare un vuoto legislativo che aveva contribuito ad aumentare le preoccupazioni della popolazione, creava incertezza negli operatori e nei gestori, favoriva sentenze spesso discordanti della magistratura e induceva le autorità regionali e locali ad emanare propri provvedimenti che, con le loro differenze, alimentavano ulteriormente polemiche e controversie.

La legge quadro, però, differisce totalmente, nella sua impostazione, dalle linee guida internazionali. Essa non adotta infatti l'articolazione su due livelli (limiti di esposizione e livello di riferimento) mentre introduce concetti nuovi e sconosciuti in campo internazionale, come i livelli di attenzione e gli obiettivi di qualità. Il livello di attenzione è definito come un valore del campo che non deve essere superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate; viene anche precisato che esso rappresenta una misura di cautela ai fini della protezione della salute dei possibili effetti conseguenti ad esposizioni a lungo termine. L'obiettivo di qualità è definito, tra l'altro, come un valore di campo elettrico, magnetico o elettromagnetico definito dallo Stato ai fini di una progressiva riduzione delle esposizioni.

La legge quadro non stabilisce i valori numerici di queste grandezze per le diverse categorie (lavoratori e popolazione) e per i diversi tipi di campi (particolarmente in relazione alla frequenza), ma prevede che questi siano definiti da decreti applicativi che non sono stati ancora emanati, nonostante la Legge quadro prevedesse per questo scadenze precise. Da un punto di vista operativo quindi, permane una carenza legislativa colmata solo in parte da due decreti preesistenti.

Il primo è un decreto del Ministero dell'Ambiente del 23 aprile 1992 che riguarda l'esposizione della popolazione ai campi elettrici e magnetici a frequenza industriale. Il decreto non è ispirato a quell'atteggiamento di cautela verso il quale le autorità italiane si sono orientate negli ultimi anni: esso prevede infatti soltanto limiti di esposizione, per di più uguali a quelli all'epoca raccomandati dall'IRPA/INIRC. E' vero che, per il solo caso degli elettrodomesti, un'ulteriore restrizione prevede distanze minime degli edifici residenziali dai conduttori elettrici e che a queste distanze corrispondono livelli di campo nettamente inferiori ai limiti previsti nello stesso decreto; tuttavia, questa norma è stata più volte giustificata dal Ministero dell'Ambiente come una soluzione di carattere pratico e non come una misura di cautela sanitaria.

Il secondo decreto (DM 381/98) è stato emanato dal Ministro dell'ambiente (d'in-

tesa con il Ministro della sanità e con il Ministro delle comunicazioni) in osservanza di quanto previsto da un comma che era stato curiosamente inserito nell'articolo della legge istitutiva dell'Autorità garante per le telecomunicazioni. Il decreto è stato emanato mentre era in corso l'elaborazione della legge quadro e ne riflette quindi gli orientamenti, anche se non attua compiutamente ciò che essa ha successivamente previsto. Nel decreto si individuano infatti, accanto a limiti di esposizione da non superare in nessuna circostanza, anche dei livelli da non superare in corrispondenza di edifici adibiti ad esposizioni prolungate come abitazioni, scuole, ospedali, aree ricreative, ecc. Queste ulteriori restrizioni vengono indicate come "misure di cautela" nei confronti di possibili, ma non specificati, effetti a lungo termine: in termini di campo elettrico e di campo magnetico questi corrispondono rispettivamente a  $6 \text{ V/m}$  e a  $0,016 \text{ A/m}$ .<sup>1</sup> A differenza dei limiti di esposizione, i livelli di attenzione sono indipendenti dalla frequenza, con un'evidente ma non motivata contraddizione logica e scientifica.

Sul decreto 381/98 sono state espresse valutazioni contrastanti, e non sono mancate critiche sia sulla sua efficacia, sia sulle sue stesse motivazioni. In particolare, si è osservato che le "misure di cautela" (che possono a posteriori essere riguardate come livelli di attenzione, secondo la definizione della legge quadro) sono interpretate dalla popolazione come veri e propri limiti di esposizione invalicabili, ai quali è spontaneo annettere un significato di soglia di rischio. Questo rischio è percepito come tanto più grave quanto più rigidi e stringenti sono i criteri per il rispetto delle misure di cautela.

Per quanto riguarda l'impostazione e le motivazioni, l'obiezione fondamentale è che il decreto - come la legge quadro - appare ispirato al "principio di precauzione", ma i criteri con cui è stato sviluppato appaiono in contrasto con quelli raccomandati, particolarmente dall'Unione Europea, per la messa in pratica del principio.

## Il principio di precauzione

L'esigenza che le politiche ambientali siano orientate da un atteggiamento di cautela in considerazione di possibili rischi connessi allo sviluppo tecnologico è riconosciuta da tempo nel diritto internazionale ed in quello nazionale di diversi paesi, come indica il caso già citato della Svizzera. Diversi trattati internazionali, compresi quelli che istituiscono e regolamentano le Comunità Europee, invocano

<sup>1</sup> Mentre nel caso di campi a bassa frequenza è invalso ormai l'uso di esprimere l'intensità della componente magnetica in termini di induzione magnetica (e quindi in microtesla), per le alte frequenze si fa riferimento - anche nella normativa internazionale - all'intensità del campo magnetico, misurata in ampere al metro.

a tal fine un “principio di precauzione”, senza però definirlo esplicitamente. La Commissione Europea (CE), con due suoi documenti, ha portato notevoli elementi di chiarezza su questo principio, la cui adozione è oggi raccomandata non solo per le politiche ambientali, ma anche per quelle sanitarie.

La Commissione definisce il principio di precauzione come “un approccio alla gestione dei rischi in una situazione di incertezza scientifica, che esprime l’esigenza di un’azione a fronte di un rischio potenzialmente grave senza attendere i risultati della ricerca scientifica”. E’ immediatamente evidente l’inapplicabilità, o ancor peggio l’arbitrarietà nell’applicazione, di un principio così vago e generale: l’incertezza non è infatti la caratteristica momentanea di un particolare settore della ricerca (ad esempio, oggi, i campi elettromagnetici), bensì l’essenza stessa della scienza. Per questo motivo, la Commissione fornisce dei criteri per la messa in atto del principio di precauzione.

Il primo di questi criteri costituisce una vera e propria condizione pregiudiziale: il principio di precauzione non può essere non solo applicato ma neanche invocato se un rischio per la salute non è stato chiaramente identificato e scientificamente valutato. Per quello che riguarda i campi elettromagnetici, in base alle attuali conoscenze scientifiche, il principio di precauzione potrebbe quindi essere invocato, al più, per i primi ma non per i secondi, ed una corretta politica ispirata al principio dovrebbe quanto meno operare una distinzione tra i due casi. Comunque, la considerazione degli altri criteri indicati dalla Commissione Europea dovrebbe indurre (secondo il titolo di un editoriale di una famosa rivista scientifica) alla “precauzione nell’uso del principio di precauzione”. Questi criteri richiedono infatti che le misure adottate in nome del principio siano proporzionate al livello di protezione scelto, non discriminatorie nella loro applicazione, coerenti con provvedimenti simili già adottati, basate su un esame dei costi e dei benefici potenziali dell’azione o dell’assenza di azione, oggetto di revisione alla luce di nuovi dati scientifici, in grado di definire responsabilità ai fini della produzione dei riscontri scientifici necessari per una valutazione più completa del rischio.

Le organizzazioni internazionali riconoscono che le politiche sanitarie sono compito e responsabilità dei singoli governi, i quali possono adottare qualunque misura di precauzione ritengano opportuna. Le stesse organizzazioni raccomandano però che le misure adottate per venire incontro alle preoccupazioni del pubblico non vengano confuse con quelle fondate su dati scientifici e non vengano impropriamente giustificate in nome di questi ultimi. A tale proposito l’ICNIRP “sottolinea la necessità di assicurare che la pratica attuazione di questi approcci non minacci o danneggi le linee guida di esposizione fondate su basi scientifiche”; in perfetta sintonia, l’OMS fa notare che “un requisito di principio è che [le politiche cautelative] siano adottate solo a condizione che valutazioni



di rischio e limiti di esposizione fondati su basi scientifiche non siano minati dall'adozione di approcci cautelativi arbitrari. Ciò si verificherebbe, ad esempio, se i valori limite venissero abbassati fino a livelli tali da non avere alcuna relazione con i rischi accertati, o se fossero modificati in modo improprio ed arbitrario per tener conto delle incertezze scientifiche”.