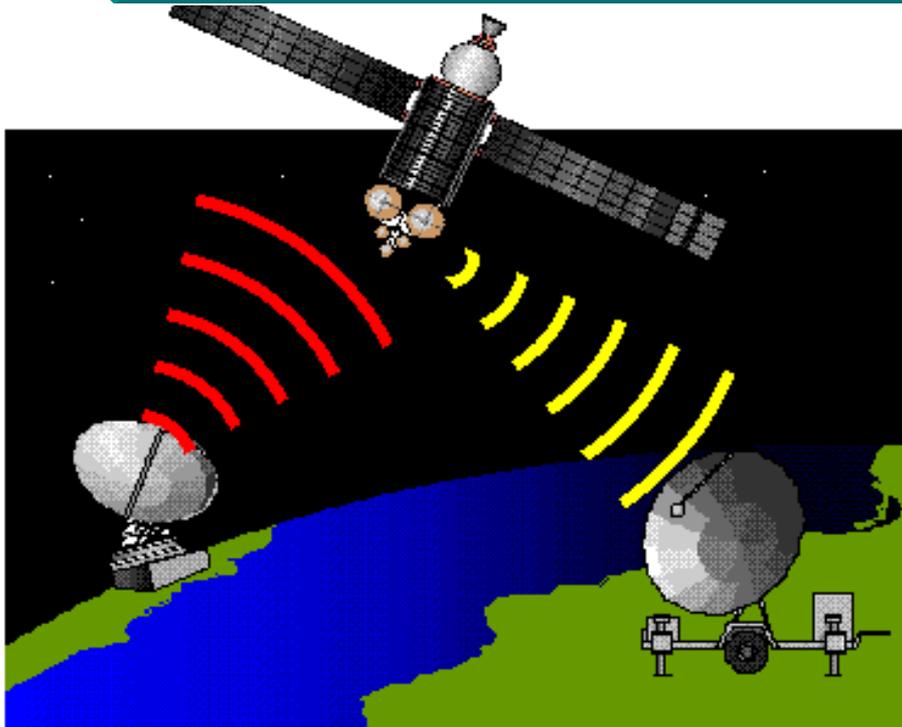


# EFFETTI SULL'ORGANISMO DELL'INQUINAMENTO ELETTROMAGNETICO E TUTELA LEGISLATIVA DA PARTE DELLO STATO

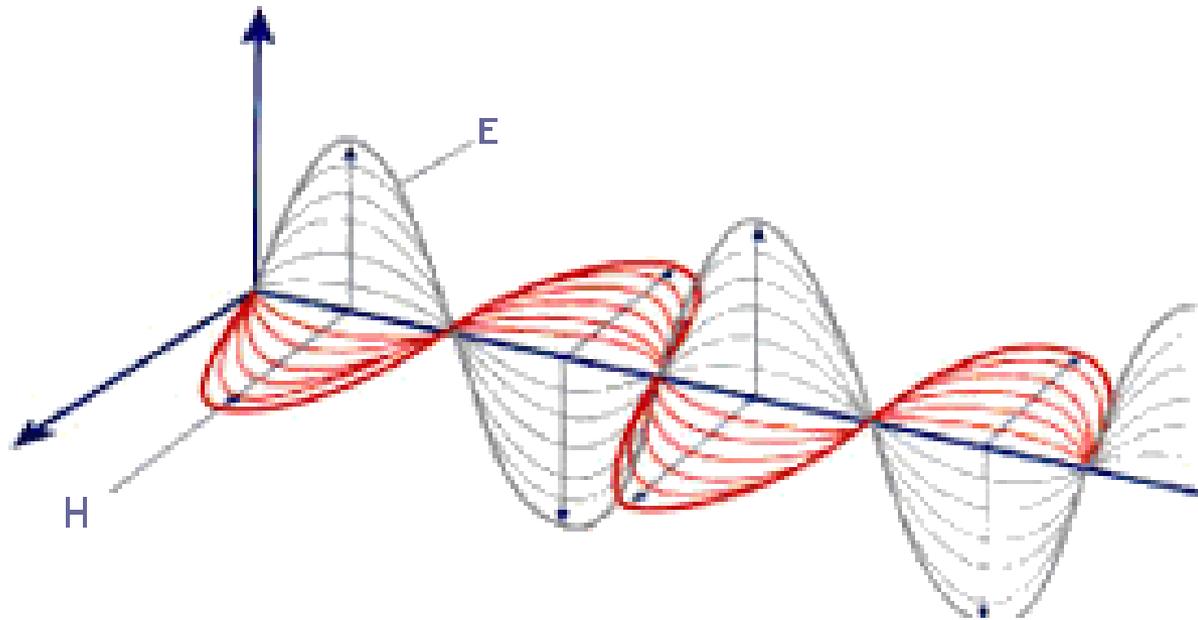


Vincenzo Alessi

Direttore del Dipartimento di Radiologia  
dell'Ospedale Civico di Palermo

Con l'inizio dell'era industriale ai campi elettromagnetici di origine naturale si sono sommati quelli artificiali, strettamente connessi allo sviluppo scientifico e tecnologico. Tra questi ci sono i radar, gli elettrodotti, ma anche oggetti di uso quotidiano come apparecchi televisivi, forni a microonde e telefoni cellulari.

All'insieme di questi campi magnetici, che insieme contribuiscono ad innalzare il fondo elettromagnetico naturale, si dà il nome di **inquinamento elettromagnetico**, altrimenti detto **elettrosmog**.



Le **onde elettromagnetiche** sono una forma di propagazione dell'energia nello spazio e, a differenza delle onde meccaniche, si possono propagare anche nel vuoto. Il campo elettrico (E) e il campo magnetico (H) sono intimamente associati ed oscillano perpendicolarmente alla direzione dell'onda.

I parametri che descrivono le caratteristiche fisiche delle onde elettromagnetiche sono :

- **la frequenza**, cioè il numero di oscillazioni compiute in un secondo, e si misura in cicli al secondo o Hertz (Hz); maggiore è la frequenza di un' onda, maggiore è l'energia che trasporta.
- **l'intensità del campo elettrico** che si misura in **volt/metro** (V/m)
- **l'intensità del campo magnetico** che si misura in **ampere/metro** (A/m).
- **l' induzione magnetica**, che è data dal prodotto dell'intensità del campo magnetico per la permeabilità magnetica del mezzo, la cui unità di misura è il **tesla** (T), misura molto grande, di cui si utilizzano spesso i sottomultipli **millitesla** (mT), **microtesla** ( $\mu$ T) e **nanotesla** (nT), rispettivamente  $10^{-3}$ ,  $10^{-6}$  e  $10^{-9}$  T.

$10^{-7}$	M	Hz	$3 \times 10^{15}$	RADIAZIONI IONIZZANTI		DIAGNOSTICA A RAGGI X RADIOISOTOPI		
$10^{-6}$			$3 \times 10^{14}$	FREQUENZE OTTICHE	UV	STERILIZZAZIONE LASER LAMPADE SORGENTI TERMICHE TELECOMANDI		
					VISIBILE			
					INFRA-ROSSO			
$10^{-3}$			$3 \times 10^{11}$	FREQUENZE NON OTTICHE	RADIOFREQUENZE	MICROONDE	IMPIANTI RADAR RADAR TERAPIA TELEFONIA CELLULARE FORNIA MICROONDE	
$10^0$			$3 \times 10^8$		RADIOFREQUENZE		EMISSIONI RADIOTELEVISIVE MARCONI TERAPIA RADIOAMATORI SALDATURA E INCOLLAGGIO RISCALDAMENTO A INDUZIONE	
$10^4$			$3 \times 10^4$		BASSE FREQUENZE		METAL DETECTOR VIDEOTERMINALI MAGNETOTERAPIA ELETTRODOMESTICI LINEE ELETTRICHE LINEE TELEFONICHE	
$\infty$			0				CAMPI STATICI	RMN ELETTROLISI



## SPETTRO ELETTROMAGNETICO

Lo **spettro elettromagnetico** è l'insieme di tutte le radiazioni con frequenza diversa, ognuna delle quali è generata da un campo elettromagnetico ad una determinata frequenza.

Lo spettro può essere diviso in due sezioni, a seconda che le onde siano dotate o meno di energia sufficiente a ionizzare gli atomi della materia con la quale interagiscono: **radiazioni ionizzanti e non ionizzanti(NIR)**

$10^{-7}$	M	Hz	$3 \times 10^{15}$	RADIATIONI IONIZZANTI		DIAGNOSTICA A RAGGI X RADIOISOTOPI	
$10^{-6}$			$3 \times 10^{14}$	RADIATIONI NON IONIZZANTI	FREQUENZE OTTICHE	UV	STERILIZZAZIONE LASER LAMPADE SORGENTI TERMICHE TELECOMANDI
					FREQUENZE NON OTTICHE	VISIBILE	
						INFRAROSSO	
$10^{-3}$			$3 \times 10^{11}$	FREQUENZE NON OTTICHE	RADIOFREQUENZE	MICROONDE	IMPIANTI RADAR RADAR TERAPIA TELEFONIA CELLULARE FORNIA MICROONDE
$10^0$		$3 \times 10^8$	RADIOFREQUENZE		EMMISSIONI RADIOTELEVISIVE MARCONI TERAPIA RADIOAMATORI SALDATURA E INCOLLAGGIO RISCALDAMENTO A INDUZIONE		
$10^4$		$3 \times 10^4$			BASSE FREQUENZE	METAL DETECTOR VIDEOTERMINALI MAGNETOTERAPIA ELETTRODOMESTICI LINEE ELETTRICHE LINEE TELEFONICHE	
$\infty$			0	CAMPI STATICI		RMN ELETTROLISI	

effetto fotochimico



All'interno delle NIR distinguiamo quelle cosiddette ottiche, cioè dotate di effetto fotochimico, da quelle non ottiche, che sono quelle potenzialmente responsabili dell'inquinamento elettromagnetico, che possiamo distinguere in :

**Frequenze estremamente basse** (ELF - Extra Low Frequency) pari a 50-60 Hz., caratteristiche degli elettrodotti;

**Radiofrequenze** caratteristiche dei ripetitori radio/Tv e della telefonia cellulare

# EFFETTI DELLE NIR SULLA MATERIA VIVENTE

- Quando un organismo biologico (per esempio un individuo) si trova in un campo elettrico o in un campo magnetico, ha inevitabilmente luogo una *interazione* tra le forze dei campi e le cariche e le correnti elettriche presenti nei tessuti dell'organismo che, in particolare alle basse frequenze, sono in linea di massima dei buoni conduttori.
- Gli effetti della radiazione elettromagnetica sugli esseri viventi dipendono principalmente da due fattori: la **frequenza** della radiazione e le **modalità d'esposizione** (intensità della radiazione, durata dell'esposizione, parti del corpo esposte, distanza dalla sorgente di emissione)
- L'interazione delle NIR non ottiche con la materia biologica può portare a due effetti :
  - 1) la produzione di calore con effetto termico
  - 2) l'induzione di correnti elettriche

## EFFETTI TERMICI

- Sono normalmente dati da esposizioni brevi ma intense (**effetti acuti**).
- Rappresentano gli unici effetti scientificamente provati, quindi misurabili e riproducibili.
- Consistono nell'innalzamento della temperatura dei tessuti biologici attraversati , soprattutto quelli più ricchi di acqua, dove, se il calore non viene smaltito tramite i meccanismi naturali di termoregolazione , possono provocarsi danni con meccanismi diretti o indiretti.
- Hanno una corrispondenza diretta con l'energia assorbita nel corso dell'esposizione elettromagnetica.

## EFFETTI TERMICI

- per misurare l'energia radiante assorbita dal corpo umano si utilizza come grandezza "dosimetrica" di base quella costituita dall'assorbimento di energia per unità di massa e di tempo, ossia il tasso di assorbimento specifico (Specific Absorption Rate, **SAR**), espresso in **watt al chilogrammo (W/Kg)**.
- **Il valore del SAR ha una corrispondenza diretta con gli effetti biologici dell'esposizione elettromagnetica.**



## EFFETTI TERMICI

- un assorbimento esteso a tutto il corpo fra 1 e 4W/Kg comporta una sopraelevazione della temperatura inferiore a 1°C.
- L'esposizione prolungata con SAR >4 W/Kg provoca aumenti di temperatura interna superiori a 1-2°C e può risultare in danni irreversibili , che includono l'emolisi, danni al sistema endocrino (in particolare la tiroide), e soprattutto danni nei confronti di tessuti particolarmente sensibili al calore ( ai testicoli con sterilità) o poco irrorati (al cristallino con cataratta). Tale valore è dunque da considerare come **dose soglia per la comparsa dei danni irrversibili.**

Il Comitato Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti (**ICNIRP**), a cui fa riferimento l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), ha quindi stabilito nel 1998 i seguenti **limiti di esposizione** :

- per le persone professionalmente esposte un valore massimo 1/10 del valore soglia minima per i danni alla salute umana (4W/Kg), ossia pari a 0.4 W/Kg.
- per il pubblico tale limite è stato fissato a 1/50 della dose soglia, pari a 0.08 W/Kg.

**Nel caso dei telefoni cellulari, in cui viene esposta una parte limitata del corpo (la testa) i valori sono aumentati a 2W/Kg tenendo conto del fatto che: 1) l'esposizione non è continua; 2) il metabolismo del cervello è più elevato di quello del corpo e di conseguenza le sue capacità di termoregolazione sono superiori. Il riscaldamento prodotto è comunque di poche frazioni di grado, quasi interamente localizzato nella testa dell'utente, inferiore comunque all'effetto di una esposizione alla radiazione solare di pari durata.**

## EFFETTI ATERMICI

- A differenza degli effetti termici, che vengono determinati da esposizioni brevi ma intense, gli effetti atermici sono **sono determinati da esposizioni di lunga durata e bassa intensità**, essendo associati a bassi valori di SAR (circa 0,01 W/Kg), che non sono in grado di determinare riscaldamento dei tessuti.

## EFFETTI ATERMICI

Dai vari studi eseguiti emergono i seguenti effetti:

- Alterazioni dell'attività enzimatica della ornitine decarbossilasi (un enzima che, quando è presente, è associato all'insorgenza di tumori)
- Modifica del tenore di calcio nelle cellule (alterazioni del trasporto degli ioni dentro e fuori le cellule)
- Alterazioni delle proteine della membrana cellulare e del trasporto degli ioni a livello della membrana ematoencefalica.

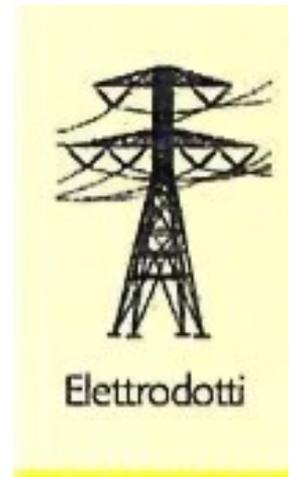
## EFFETTI ATERMICI

Gli studi si sono sviluppati tenendo conto dei diversi possibili effetti biologici dei campi a bassissima frequenza e di quelli ad alta frequenza.

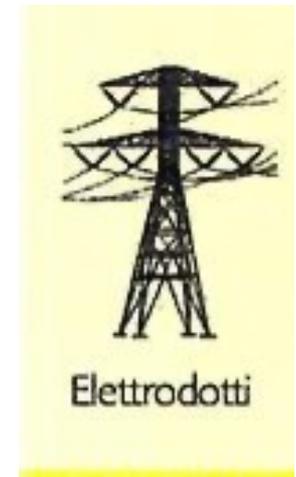
Attualmente le ricerche stanno cercando di chiarire sempre più l'eventuale rapporto questi campi ed alcuni tipi di tumori, i disturbi della funzione riproduttiva, alcune malformazioni congenite, l'epilessia, le cefalee ed altri disturbi neurofisiologici (come amnesie e depressioni), disturbi del sistema immunitario, degenerazioni del tessuto oculare, aumento del rischio dell'insorgenza di effetti negativi in alcuni soggetti come i bambini, le gestanti o gli anziani.

# 1. Effetti atermici per esposizione a campi ELF (bassa frequenza)

- Gli ultimi studi, caratterizzati da un'accurata valutazione dell'esposizione a campi ELF, indicano in modo coerente un **incremento di rischio di leucemia infantile** in relazione ad esposizione a livelli di induzione magnetica superiori a 0,2 micro Tesla
- Il rischio relativo è stimato attorno a 1.5, ossia i soggetti esposti avrebbero il 50 per cento di probabilità in più rispetto ai non esposti di contrarre la malattia
- Non vi sono invece in atto elementi per prospettare la possibilità che a causa di queste radiazioni possano provocarsi nelle generazioni future mutazioni genetiche.



## 2. Effetti atermici per esposizione a campi ELF



L'ipotesi di un ruolo causale dei campi ELF nell'insorgenza della leucemia e di altri tumori è stata saggiata anche in alcuni studi relativi ad esposizioni professionali, con valori medi giornalieri della induzione magnetica pari a 0,2 micro Tesla , con i seguenti risultati :

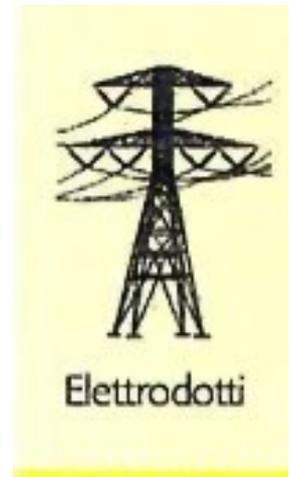
- **maggiore incidenza della leucemia**
- **incremento di tumori ipofisari e cerebrali**

l'eccesso di rischio complessivamente identificato per i professionalmente esposti varierebbe dal 10 al 20 per cento (rischio relativo 1.1 - 1.2).

### 3. Effetti atermici per esposizione a campi ELF

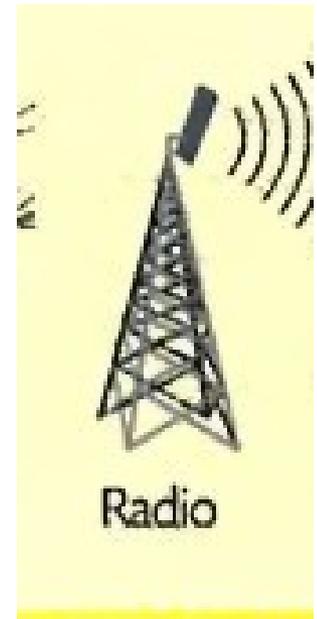
- L'ultimo rapporto prodotto dall'Istituto Superiore della Sanità nel 1995 cita testualmente: *"il quadro che emerge dalla letteratura scientifica esaminata depone nel complesso a favore di una associazione positiva fra esposizione a campi a 50/60 Hz e leucemia infantile"*, e viene inoltre individuato nel valore 0.2 m T il limite oltre il quale si determina.

- L'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) comunque, non ha sinora valutato la cancerogenicità dei campi elettromagnetici, ed attribuisce un carattere di probabilità, e non di certezza, al ruolo eziologico dei campi magnetici nell'induzione dei tumori, dal momento che non vi sia tuttora accordo sul possibile meccanismo biologico d'azione dei campi stessi



## Effetti per esposizione a radiofrequenze

Ricerche di laboratorio hanno dimostrato come effetto delle radiofrequenze, con valori di SAR in grado di produrre effetti termici variazioni del trasporto di ioni calcio attraverso la membrana cellulare, variazioni del tasso di crescita di colture cellulari, modificazioni della bioluminescenza di alcuni batteri, modificazioni della permeabilità della barriera ematoencefalica.



**Il riscontro di un aumento dell'incidenza di alcune forme tumorali, quali le leucemie, in gruppi di lavoratori o di popolazione esposti a emissioni radar, radiotelevisive o amatoriali, non è facilmente interpretabile.**

## Esposizione connessa alla telefonia mobile

Studi su animali hanno messo in evidenza che campi elettromagnetici della telefonia mobile, in relazione a variabili quali la frequenza, la durata dell'esposizione sono in grado di influenzare aspetti della biochimica e della fisiologia delle cellule, quali :

- il trasporto di ioni attraverso la membrana (in particolare lo ione calcio),
- la mitosi e la motilità cellulare
- l'espressione di proteine e antigeni di superficie, o anche la respirazione mitocondriale



## Esposizione connessa alla telefonia mobile

Un esteso studio prospettico, riguardante oltre 250 000 utenti di telefono cellulare, è stato avviato negli Stati Uniti:

- **dopo tre anni dall'inizio lo studio non ha messo in evidenza differenze significative tra i tassi di mortalità della coorte e quelli della popolazione generale.**



# Tutela legislativa da parte dello Stato

Con riferimento agli effetti atermici l'Italia ha adottato il principio cautelativo per la tutela della salute dei cittadini di fronte al rischio per la salute prodotto dalle onde elettromagnetiche.

Questo principio discende dalle raccomandazioni dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), e si sintetizza nell'acronimo **ALARA** ( **As Low As Reasonably Achievable** ), secondo il quale, fatta una scelta tecnologica, l'esposizione alle radiazioni deve essere la piú bassa possibile, compatibilmente con i fattori economici e sociali, in modo da minimizzare il rischio.

La legislazione Italiana si è sviluppata con riferimento alla normativa Europea, che è stata emanata non come legge da imporre agli stati membri, ma come una serie di **raccomandazioni** a legiferare in questo campo. Una di queste ad es. è :

**Raccomandazione n. 99/519/CE del 12 luglio 1999:**

Raccomandazione del Consiglio relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz (G.U.C.E. 30.07.1999, n. L 199).

## Legislazione Italiana

Le principali leggi in ordine cronologico sono :

**D.P.C.M. del 23 aprile 1992** - Limiti massimi di esposizione ai campi elettrico e magnetico generati alla frequenza industriale nominale (50 Hz) negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno.  
(*pubblicato sulla G.U. n. 104 del 6 maggio 1992*)

**Decreto Legislativo del Governo n° 626 del 19/09/1994**

(pubblicato su : Gazz. Uff. Suppl. Ordin. n° 265 del 12/11/1994) Attuazione delle direttive 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/655/CEE, 89/656/CEE, 90/269/CEE, 90/270/CEE, 90/394/CEE e 90/679/CEE riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro.

**DECRETO Ministero dell'Ambiente n. 381 del 10 settembre 1998** - Regolamento recante norme per la determinazione dei tetti di radiofrequenza compatibili con la salute umana.  
(*pubblicato sulla G.U. n. 257 del 3 novembre 1998*).

# Legislazione Italiana

**Legge 22 febbraio 2001, n. 36** : **Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici.** (G.U., parte I, n. 55 del 7 marzo 2001).

**Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2003**: **Fissazione dei limiti di esposizione**, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità **per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti.** (GU n. 200 del 29-8-2003)

**Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2003**: **Fissazione dei limiti di esposizione**, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità **per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz.** (GU n. 199 del 28-8-2003)

## Tutela legislativa da parte delle Regioni

- Nel nostro Paese tre consigli regionali (Abruzzo, Lazio, Veneto) hanno approvato leggi regionali che diminuiscono di circa cinquecento volte il limite inferiore per le esposizioni di campi magnetici stabilito dalla normativa nazionale per gli elettrodotti.

Legge 22 febbraio 2001, n. 36 : Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici. (G.U., parte I, n. 55 del 7 marzo 2001).

Art. 1. (Finalità della legge)

Art. 2. (Ambito di applicazione)

Art. 4. (Funzioni dello Stato)

Art. 8. (Competenze delle regioni, delle province e dei comuni)

Art. 9. (Piani di risanamento)

Art. 10. ( Campagne di educazione ambientale)

Art. 14. (Controlli)

Art. 15. (Sanzioni)

Legge 22 febbraio 2001, n. 36 : Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici. (G.U., parte I, n. 55 del 7 marzo 2001).

Art. 1. (Finalità della legge)

- a) assicurare la **tutela della salute** dei lavoratori, delle lavoratrici e della popolazione
- b) promuovere la **ricerca scientifica** per la valutazione degli effetti a lungo termine e attivare misure di cautela da adottare in applicazione del principio di precauzione

Legge 22 febbraio 2001, n. 36 : Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici. (G.U., parte I, n. 55 del 7 marzo 2001).

Art. 2. (Ambito di applicazione)

- si applica agli **impianti con frequenze comprese tra 0 Hz e 300 GHz**. In particolare, gli elettrodotti ed gli impianti radioelettrici, compresi gli impianti per telefonia mobile, i radar e gli impianti per radiodiffusione.
- non si applica nei casi di esposizione intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici

Legge 22 febbraio 2001, n. 36 : Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici. (G.U., parte I, n. 55 del 7 marzo 2001).

Art. 4. (Funzioni dello Stato)

- a) alla determinazione dei **limiti di esposizione**, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità ( da stabilire con apposito decreto)
- b) alla promozione di attività di **ricerca** e di sperimentazione tecnico-scientifica,
- c) alla determinazione dei criteri di **elaborazione dei piani di risanamento**
- d) all'individuazione delle **tecniche di misurazione** e di rilevamento dell'inquinamento elettromagnetico;
- e) alla definizione dei **tracciati degli elettrodotti** con tensione superiore a 150 kV;

## Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio

**2003:** Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti. (GU n. 200 del 29-8-2003)

### Art. 3. Limiti di esposizione e valori di attenzione

- Nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di 100  $\mu\text{T}$  per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.
- A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione a campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10  $\mu\text{T}$ , da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

# CONCLUSIONI

- La prevenzione dagli **effetti acuti** è da considerare l'obiettivo minimo irrinunciabile, a cui far seguire ulteriori azioni volte a limitare e ridurre, a scopo cautelativo, le esposizioni.
- Sebbene il complesso delle indagini sinora svolte non abbia fornito conferma di un nesso causale tra l'esposizione ai campi ed **effetti a lungo termine**, il loro numero e la loro consistenza sono ormai tali da non poter essere ignorati. Di conseguenza, in ambito sia scientifico sia istituzionale, si va facendo strada l'idea che per operare in senso preventivo non sia sufficiente limitarsi al rispetto dei limiti per la prevenzione dagli effetti acuti, ma si debba tendere a *obiettivi di qualità*, ossia mirare, utilizzando l'innovazione tecnologica ed una differente gestione delle fonti di emissione, a una progressiva riduzione dell'esposizione a campi elettromagnetici nell'ambiente di vita e di lavoro.