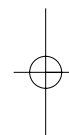


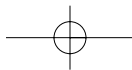
LEGA ITALIANA PER LA LOTTA CONTRO I TUMORI

**CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI STATICI
E A FREQUENZE
ESTREMAMENTE BASSE (ELF)
RISCHIO CANCEROGENO**



Commissione "Cancerogenesi ambientale"

Via A. Torlonia, 15 - 00161 Roma
Tel. 06/4425971 Fax 06/44259732
<http://www.legatumori.it>
E-mail: sede.centrale@lilt.it



COMMISSIONE “CANCEROGENESI AMBIENTALE”

Coordinatore:

P.G. BETTA

Dipartimento Oncologico, S.O.C. Anatomia ed Istologia Patologica e Citogenetica,
Azienda Sanitaria Ospedaliera, Alessandria

Componenti:

G. COLUCCI

Dipartimento di Oncologia Medica, Ospedale Oncologico, Bari

P. COMBA

Istituto Superiore di Sanità, Laboratorio di Igiene Ambientale, Roma

A. DI IORIO*

Lega Italiana per la Lotta contro i Tumori, Sede Centrale, Roma

M. GRANDOLFO

Istituto Superiore di Sanità, Laboratorio di Fisica, Roma

S. GRILLI

Dipartimento Patologia Sperimentale, Sez. di Cancerologia, Univ. Bologna

M. MARTUZZI

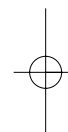
Centro Europeo Ambiente e Salute, OMS, Roma

A. SENIORI COSTANTINI

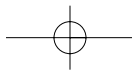
Centro per lo Studio e la Prevenzione Oncologica (Istituto Scientifico Regione
Toscana), U. O. Epidemiologia Ambientale - Occupazionale, Firenze

G. A. ZAPPONI

Istituto Superiore di Sanità, Laboratorio di Igiene Ambientale, Roma



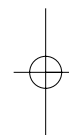
* Referente per la Segreteria scientifica e di redazione

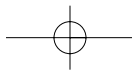


3

INDICE

PRESENTAZIONE (<i>F. Schittulli</i>)	<i>pag.</i>	5
INTRODUZIONE	<i>pag.</i>	9
Capitolo 1		
I concetti fisici di base	<i>pag.</i>	15
(<i>M. Grandolfo</i>)		
Capitolo 2		
Le sorgenti	<i>pag.</i>	29
(<i>M. Grandolfo</i>)		
Capitolo 3		
Effetti biologici e sanitari dei campi statici.....	<i>pag.</i>	41
(<i>M. Grandolfo</i>)		
Capitolo 4		
Effetti biologici e di tipo cancerogeno in vitro a livello cellulare dei campi magnetici a 50/60 Hz	<i>pag.</i>	47
(<i>P. G. Betta, S. Grilli</i>)		
Capitolo 5		
Relazioni dose-risposta in animali esposti a campi magnetici a 50/60 Hz	<i>pag.</i>	57
(<i>G. A. Zapponi</i>)		
Capitolo 6		
Effetti sull'uomo dei campi magnetici a 50/60 Hz.....	<i>pag.</i>	77
(<i>P. Comba, M. Martuzzi, G. A. Zapponi</i>)		





4

Capitolo 7

Valutazione del rischio e tutela della collettività.....pag. 89
(*M. Martuzzi, A. Seniori Costantini, M. Grandolfo*)

Capitolo 8

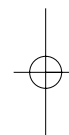
Gli aspetti normativipag. 101
(*M. Grandolfo, A. Seniori Costantini*)

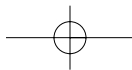
VALUTAZIONI, SUGGERIMENTI PRATICI E

RACCOMANDAZIONIpag. 119

BIBLIOGRAFIApag. 127

GLOSSARIOpag. 141





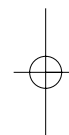
PRESENTAZIONE

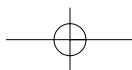
Secondo la loro frequenza ed energia, le onde elettromagnetiche possono essere classificate come “radiazioni ionizzanti” o “radiazioni non ionizzanti”. Queste ultime comprendono la radiazione ultravioletta (UV), la luce visibile, la radiazione infrarossa, i campi a radiofrequenza e le microonde, i campi a frequenza estremamente bassa (ELF) e i campi elettrici e magnetici statici.

La presenza di campi elettromagnetici artificiali è particolarmente concentrata nelle aree urbane, come conseguenza dell'utilizzo delle moderne tecnologie. Questi campi vengono prodotti da numerose sorgenti e hanno differenti caratteristiche fisiche, diverse modalità di trasmissione, particolari meccanismi di interazione con la materia ed effetti biologici a seconda della loro natura. Per questo motivo, sono sorti dubbi, nel tempo, che potessero essere pericolosi per l'uomo. Il problema è stato aggravato dal fatto che le conoscenze dei possibili effetti sulla salute umana non sono ancora del tutto noti. Negli ultimi anni, sono stati prodotti migliaia di articoli e testi scientifici che non hanno però dato risultati validati e definitivi, lasciando nel dubbio una popolazione preoccupata dei rischi sospetti.

Nella maggior parte dei Paesi industrializzati sono nati gruppi di ricerca e sono stati istituiti organi di sorveglianza con lo scopo di approfondire la conoscenza sulla pericolosità dei campi elettromagnetici e fornire un'adeguata tutela, insieme ad appropriate informazioni ai cittadini. Alcuni studi epidemiologici hanno segnalato la connessione tra esposizione a bassi livelli di campi ELF e un aumento dell'incidenza di tumori infantili, mentre altre indagini non hanno tratto le medesime conclusioni su diverse bande di frequenza, lasciando aperto il problema di possibili deboli correlazioni tra l'esposizione a campi elettromagnetici e patologie cancerogene nell'uomo. Resta chiaramente un certo grado d'incertezza scientifica in merito e purtroppo anche un alto grado di apprensione fra i cittadini, che richiede pertanto una collettiva prudenza.

Le ricerche sui possibili effetti a lungo termine legati a livelli d'esposizione ai campi elettrici e magnetici a 50/60 Hz proseguono ormai da anni.





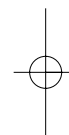
Il Progetto Internazionale “Campi elettromagnetici” (CEM), avviato nel 1996 dall’Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), si occupa degli effetti sulla salute dei campi statici, di quelli a frequenza estremamente bassa (ELF) e di quelli a radiofrequenza e microonde, cioè dei campi a frequenze comprese fra 0 e 300 GHz. Avvalendosi di autorevoli gruppi di studio, il progetto mira ad unire le conoscenze attuali e le risorse disponibili delle principali organizzazioni scientifiche internazionali e nazionali, per determinare su basi scientificamente fondate i problemi sanitari connessi all’esposizione ai campi elettromagnetici.

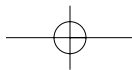
Sulla base degli studi epidemiologici relativi alla leucemia infantile i campi magnetici sono stati classificati come “possibilmente cancerogeni per l’uomo”. “Possibile cancerogeno per l’uomo” secondo la IARC significa che l’agente in esame ha mostrato una limitata evidenza di cancerogenicità per l’uomo e l’assenza di sufficienti evidenze per l’animale e non è stata dimostrata l’esistenza di una relazione causa-effetto.

Il processo si rivela, tuttavia, complesso, a causa dell’elevata quantità di pubblicazioni discordanti in merito alla questione. C’è, infatti, chi sostiene l’innocuità dei campi, chi la loro nocività. In conclusione, per quanto concerne l’esposizione prolungata nel tempo a campi di bassa intensità, non si conosce ancora il grado di pericolosità a cui le persone siano realmente sottoposte.

Esistono, ad oggi, normative internazionali, nazionali e regionali che hanno lo scopo di limitare l’esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici.

Nella dichiarazione firmata a Londra durante la “Terza Conferenza Ministeriale su Ambiente e Salute”, nel 1999, l’Organizzazione Mondiale della Sanità è stata incoraggiata a considerare “la necessità di applicare rigorosamente il principio di precauzione nella valutazione dei rischi e di adottare maggiori iniziative e un approccio più preventivo nei confronti di potenziali danni alla salute”. Si tratta di una politica di gestione del rischio che viene applicata in circostanze caratterizzate da un alto grado di incertezza scientifica, e riflette la necessità di intervenire nei confronti di un rischio potenzialmente grave senza attendere i risultati della ricerca scientifica. Il suo impiego è chiaramente mirato a fornire risposte provvisorie a minacce potenzialmente gravi alla salute, fino a quando non siano disponibili dati adeguati per azioni fondate su una maggiore consolidata base scientifica.





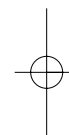
Il 22 marzo 2001 è entrata in vigore la Legge quadro sull'inquinamento elettromagnetico. E ancora l'8 luglio 2003 sono stati emanati i primi due DPCM attuativi della legge, rivolti alla protezione della popolazione. Sia la legge sia i due decreti prevedono l'adozione, in alcune situazioni, del principio di precauzione, a fronte dell'incertezza scientifica.

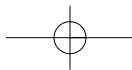
Le controversie che si sono sviluppate negli ultimi anni attorno ai campi elettromagnetici hanno evidenziato profonde divergenze tra le valutazioni scientifiche dei rischi e la percezione che di questi hanno i cittadini. Il problema dell'inquinamento elettromagnetico è sempre più avvertito dall'opinione pubblica italiana. La convinzione è che lo sviluppo di nuove tecnologie basate sui CEM dovrebbe essere accompagnato da ricerche appropriate sulle potenziali conseguenze per la salute umana. E questo è anche l'obiettivo che si propone il Progetto internazionale CEM avviato dall'OMS.

La comunicazione fra i cittadini e gli esperti risulta sempre difficile in questo contesto. Forse viziata da allarmismi prodotti dall'incertezza nell'ambito delle stesse conoscenze scientifiche, forse da informazioni poco esaustive e contrastanti l'una con l'altra.

Volendo illustrare l'attuale situazione del possibile rischio cancerogeno per l'uomo associato all'esposizione ai campi elettrici e magnetici statici e a frequenze estremamente basse, la Lega Italiana per la Lotta contro i Tumori intende fornire, attraverso questo volume, informazioni scientifiche necessarie ad una corretta comprensione da parte di tutte le persone interessate. Dando anche suggerimenti per ridurre la percezione sociale del problema tuttora in questione.

*Prof. Francesco Schittulli
Presidente Nazionale Lega Italiana
per la Lotta contro i Tumori*





INTRODUZIONE

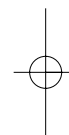
La vita si è sviluppata sulla Terra in un ambiente naturale in cui la presenza di campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici si limitava, sostanzialmente, al campo magnetico terrestre, che fa della Terra una grandissima calamita, e alle oscillazioni del campo elettrico e magnetico che accompagnavano, e continuano ad accompagnare, le manifestazioni temporalesche.

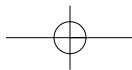
E' con la rivoluzione industriale e l'avvento sempre più rapido di nuove tecnologie che i livelli d'esposizione ai campi alternati, connessi all'utilizzo dell'energia elettrica (alla frequenza di rete di 50 Hz in Europa e nella stragrande maggioranza dei Paesi, 60 Hz negli USA, in Canada ed in parte del Giappone), hanno cominciato a raggiungere livelli tali da innescare una nutrita serie di studi e ricerche sperimentali sui loro possibili effetti sanitari, in particolare quelli a lungo termine.

Ciò spiega perché negli ultimi decenni, in diversi Paesi, si sia assistito a una fioritura di studi sui possibili effetti a lungo termine associati a livelli d'esposizione ai campi elettrici e magnetici a 50/60 Hz inferiori a quelli che provocano effetti sanitari accertati, noti anche come effetti acuti.

Questi studi, innescati da un'osservazione dei ricercatori americani Wertheimer e Leeper (1979) sulla distribuzione dei casi di tumore in età pediatrica a Denver, Colorado, in relazione alla tipologia delle abitazioni in termini delle loro linee e installazioni elettriche, sono stati condotti da diversi gruppi di ricerca in vari Paesi e hanno consentito di creare un'ampia base di dati epidemiologici che è stata oggetto di analisi e valutazioni approfondite, fra cui la più recente è quella pubblicata dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) nel 2002.

Nel nostro Paese, l'interesse per gli effetti sanitari dei campi elettromagnetici risale all'inizio degli anni '70, in relazione alle prime discussioni sorte a livello internazionale sull'allora nascente problema delle ra-



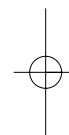


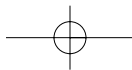
diazioni non ionizzanti (Grandolfo, 1974), mentre l'analisi critica dei dati epidemiologici e la valutazione di rischio relativa alle esposizioni ai campi che caratterizzano la produzione, la distribuzione e l'utilizzo dell'energia elettrica, risale alla metà degli anni '90 (Anversa e Coll., 1995; Comba e Coll., 1995) e continua, tuttora, in relazione ai nuovi dati scientifici accumulati (Lagorio e Salvan, 2001).

Nel corso degli anni, in Italia si è, quindi, sviluppata un'intensa attività di ricerca scientifica, di controllo, di consulenza e di supporto normativo e didattico, che ha attivamente contribuito alla nascita e alla successiva crescita di una solida cultura e di una scuola scientifica italiana nel settore, il cui ruolo è unanimemente riconosciuto e testimoniato, ad esempio, dalla presenza di numerosi ricercatori italiani ai vertici, o negli organismi direttivi, delle maggiori organizzazioni scientifiche nazionali e internazionali. Questo notevole dibattito multidisciplinare ha visto biologi, medici, fisici, ingegneri ed epidemiologi raggiungere, nell'ambito delle specifiche competenze, un livello di consenso molto elevato, anche se non totale.

Parallelamente allo sviluppo degli studi, non solo epidemiologici, ma anche sperimentali, e di validazione delle metodologie d'indagine, si è sviluppato un dibattito sull'opportunità di intraprendere misure preventive anche al di là del rispetto dei limiti di esposizione che tutelano dagli effetti avversi accertati precedentemente menzionati. Tale dibattito ha investito non solo la comunità scientifica, ma anche gli amministratori, le associazioni ambientaliste, i cittadini direttamente interessati e l'opinione pubblica in generale. La percezione del rischio da parte della popolazione è particolarmente elevata in relazione alla realizzazione di nuove opere e, più in generale, nelle situazioni in cui l'esposizione riguarda gli spazi dedicati all'infanzia come scuole, asili, nidi e parchi gioco.

Il dibattito, in anni recenti, ha tuttavia assunto i toni, per così dire, del confronto ideologico, dove sembra aver prevalso una marcata polarizzazione tra due contrapposti punti di vista, propensi a sostenere l'innocuità dei campi o la loro nocività. Questa contrapposizione tende a trascurare la complessità del problema e le numerose necessarie distinzioni. La comunità scientifica ha forse tardato a capire che il dibattito aveva luogo anche, e soprattutto, attraverso i grandi mezzi di comunicazione, o nel-



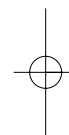


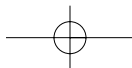
l'ambito di procedimenti giudiziari, piuttosto che mediante i canali propri della comunicazione scientifica. Queste circostanze, unite ad altri fattori (non ultimi i grandi interessi legati all'enorme sviluppo di nuove tecnologie) hanno provocato allarmismo, sfiducia verso alcune istituzioni e discredito della ricerca scientifica e dei suoi metodi. Questo distacco fra comunità scientifica e opinione pubblica ha avuto anche riflessi terminologici: i media, ad esempio, non utilizzano generalmente la terminologia usata dagli addetti ai lavori, ma fanno riferimento al concetto di "elettrosmog", che non risponde ad alcuna definizione tecnico-scientifica, ma ha un immediato impatto sull'immaginario collettivo.

L'attività di ricerca e controllo e l'acceso dibattito sviluppatosi attorno alle problematiche bioelettromagnetiche hanno finalmente portato l'Italia a dotarsi di una normativa nazionale. Il 22 marzo 2001, infatti, è entrata in vigore la Legge quadro sull'inquinamento elettromagnetico, a compimento di un lunghissimo iter il cui inizio si può storicamente datare al gennaio 1979, quando l'Istituto Superiore di Sanità (ISS), al fine di colmare il vuoto legislativo allora esistente, pubblicò una sua prima ipotesi di normativa nazionale (Campos Venuti e Coll., 1979).

L'8 luglio 2003 sono stati emanati i primi due DPCM attuativi della legge, rivolti alla protezione della popolazione, mentre è ancora in corso di definizione quello relativo alla protezione dei lavoratori. Questi decreti coprono, rispettivamente, i due campi di frequenza 0 Hz - 100 kHz e 100 kHz - 300 GHz, per cui solo il primo dei due risulta di interesse per questa Monografia. Poiché i due decreti, così come la Legge quadro, prevedono l'adozione, almeno in alcune situazioni, del *principio di precauzione*, si delinea un quadro normativo italiano del tutto peculiare.

In effetti, in tutto il mondo si è creato un crescente movimento, dentro e fuori le aree governative, per l'adozione del principio di precauzione, una politica di gestione del rischio da applicare in circostanze caratterizzate da un alto grado di incertezza nelle conoscenze scientifiche e che riflette la necessità di intervenire, nei confronti di un rischio sospettato, anche senza attendere i risultati conclusivi della ricerca scientifica. Nella dichiarazione firmata a Londra nel 1999, durante la "Terza Conferenza Ministeriale su Ambiente e Salute", l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) è stata, in particolare, incoraggiata a considerare "la necessità di applicare rigorosamente il principio di precauzione





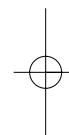
nella valutazione dei rischi e di adottare maggiori iniziative e un approccio più preventivo nei confronti di potenziali danni alla salute". E' su queste basi che l'OMS, negli ultimi anni, ha sviluppato un'approfondita riflessione su questa tematica, una cui tappa significativa è stata la Giornata di studio, tenutasi a Lussemburgo nel febbraio 2003, proprio focalizzata sulla "Applicazione del principio di precauzione ai campi elettromagnetici", organizzata dalla stessa OMS congiuntamente alla Commissione Europea. L'obiettivo dell'OMS è quello di costruire un quadro comune che definisca il principio di precauzione e ne prospetti gli ambiti applicativi rispetto alla problematica dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, assicurando un terreno di collaborazione fra ricercatori, politici, amministratori, industrie e organizzazioni ambientaliste.

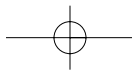
Il principio di precauzione può fornire un'utile cornice per prendere in esame possibilità che sarebbero precluse in base all'approccio utilizzato per sviluppare i tradizionali limiti di esposizione. Al tempo stesso, l'applicazione del principio di precauzione non dovrebbe mettere in discussione le basi scientifiche di questi limiti.

La decisione di adottare nella normativa italiana ben tre livelli di protezione (limiti di esposizione, valori di attenzione ed obiettivi di qualità), mutuando schemi maturati nell'ambito della tossicologia da agenti chimici, si allontana dalla tradizione della radioprotezione. Questo potrebbe rendere difficoltosa la futura applicazione pratica della legge stessa. Logicamente difficoltoso sarà anche l'adattare un tale sistema all'ambiente di lavoro.

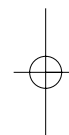
In questo contesto, la Lega Italiana per la Lotta contro i Tumori ha inteso produrre un documento aggiornato di rassegna delle evidenze scientifiche relative al possibile rischio cancerogeno per l'uomo associato ai campi elettrici e magnetici statici e a frequenze estremamente basse.

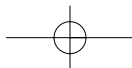
Vengono pertanto presentate, ci si augura in maniera chiara e precisa, le informazioni fondamentali necessarie alla comprensione dello stato attuale delle conoscenze, delle prese di posizione e delle varie scelte normative nei riguardi della problematica della protezione dagli effetti sanitari derivanti dalle esposizioni al tipo di campi elettrici e magnetici qui trattati. E' su tale base che questa pubblicazione può agevolare il delicato processo di trasferimento delle informazioni a tutte le persone in-





teressate. Questo contributo è reso possibile dall'impegno della Lega nel fornire un'informazione corretta e completa che, senza minimizzazioni né allarmismi ingiustificati, rifletta nel modo migliore il quadro delle conoscenze scientifiche, anche con tutte le sue incertezze. Questo processo potrà, inoltre, contribuire a meglio contestualizzare specifiche situazioni portate all'attenzione degli oncologi e di altri operatori sanitari e a fornire elementi per la valutazione e per il "counselling".





CAPITOLO 1

I CONCETTI FISICI DI BASE

(*M. Grandolfo*)

Per meglio comprendere il significato fisico delle grandezze coinvolte nella problematica oggetto di questa monografia è utile inizialmente ricordare, sia pure schematicamente e senza alcuna pretesa di completezza, le conoscenze attualmente disponibili sui due costituenti fondamentali dell'universo, cioè la materia e la radiazione.

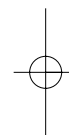
Oggi noi sappiamo che l'atomo è la più piccola parte di una sostanza capace di mantenere le sue proprietà chimiche e fisiche e, nel contempo, la principale sorgente di radiazioni, sia elettromagnetiche che corpuscolari. L'atomo è composto di un nucleo (a carica positiva) e di particelle molto più leggere, gli elettroni, di carica elettrica negativa, che gli ruotano intorno in orbite energeticamente ben definite.

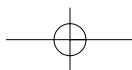
Il nucleo è costituito da protoni, aventi carica elettrica positiva, e da neutroni, elettricamente neutri. Protoni e neutroni hanno una massa all'incirca 1.835 volte maggiore di quella degli elettroni. Il numero di protoni determina l'elemento cui l'atomo appartiene: un atomo di idrogeno ha un solo protone, un atomo di carbonio, come mostrato in **Fig. 1.1**, ne ha 6, un atomo di uranio ne ha 92. Gli atomi di uno stesso elemento hanno un ugual numero di protoni e di elettroni e risultano quindi elettricamente neutri, ma possono avere, a parità di numero di protoni, un diverso numero di neutroni all'interno del nucleo, dando origine ai suoi isotopi.

Con il termine radiazione vengono abitualmente descritti fenomeni apparentemente assai diversi tra loro, quali l'emissione di luce da una lampada, di calore da una fiamma, di particelle da una sorgente radioattiva, etc. Caratteristica comune a tutti questi tipi di emissione è il trasporto di energia nello spazio e il suo possibile assorbimento da parte della materia incontrata lungo il suo cammino.

Quando la radiazione elettromagnetica interagisce con la materia possono instaurarsi due possibili scenari, come indicato in **Fig. 1.2**.

La radiazione può essere in grado di trasferire, agli elettroni presenti





nella materia investita, un'energia superiore a quella che li lega al loro atomo di appartenenza. In questo caso l'elettrone abbandona l'atomo (**Fig. 1.2a**), lasciando dietro di sé un sistema atomico che, privo di una carica elettrica negativa, non risulta più neutro ma carico positivamente. Questo processo prende il nome di ionizzazione della materia e l'atomo, divenuto positivamente carico, è ciò che viene indicato con il termine di ione (in questo caso, positivo). Sulla base di queste considerazioni, la radiazione capace di produrre ioni prende il nome di radiazione ionizzante. I raggi X ed i raggi gamma appartengono, per esempio, a questa categoria.

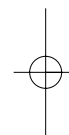
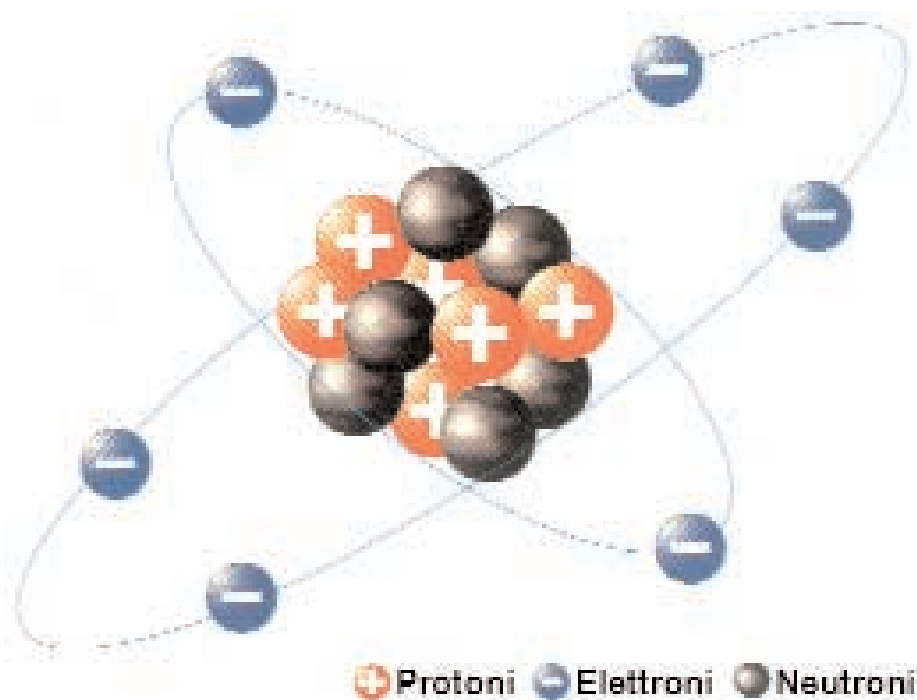
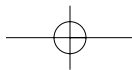


Fig. 1.1 - Rappresentazione schematica di un atomo di carbonio, C-12, con il nucleo costituito da 6 protoni e 6 neutroni attorno a cui ruotano i 6 elettroni necessari a rendere il tutto elettricamente neutro. La rappresentazione fa riferimento al vecchio modello di Bohr che, anche se superato dalle moderne teorie quantistiche, fornisce sempre la visualizzazione più suggestiva.



Anche se la radiazione elettromagnetica non risulta in grado, dal punto di vista energetico, di allontanare definitivamente un elettrone dalla sua orbita atomica (**Fig. 1.2b**), cioè di produrre ioni, è in grado, comunque, di trasferirgli una certa quantità di energia, inducendo processi di eccitazione nell'atomo, legati a moti vibrazionali e rotazionali innescati nell'elettrone stesso durante l'interazione.

Il termine di radiazione non ionizzante (indicato spesso con l'acronimo NIR, dalle iniziali delle parole inglesi Non-Ionizing Radiation) è quello adottato, di conseguenza, per individuare proprio questo secondo caso, caratterizzato da un meccanismo primario di interazione con la materia che non è quello della ionizzazione.

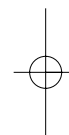
In termini operativi, le radiazioni non ionizzanti comprendono i campi elettrici e magnetici statici, quelli a frequenze estremamente basse (ELF, acronimo delle parole inglesi Extremely Low Frequencies), le radiofrequenze (RF), le microonde (MW), la radiazione infrarossa (IR), la luce (VIS) e la radiazione ultravioletta (UV).

Tra le radiazioni non ionizzanti vengono, inoltre, annoverati anche gli ultrasuoni (US), pur non essendo radiazione elettromagnetica, ma vibrazioni meccaniche a frequenze superiori a quella massima udibile, pari a circa 20 kHz.

L'azione lesiva delle radiazioni è la diretta conseguenza dei processi fisici di eccitazione e/o ionizzazione degli atomi e delle molecole che costituiscono i tessuti biologici e, quindi, l'organismo umano. Il confine fra le radiazioni ionizzanti e quelle non ionizzanti, non determinabile in termini precisi, si colloca tra la radiazione ultravioletta e i raggi X di bassa energia.

In precedenza si sono introdotti termini quali radiazione elettromagnetica, campo elettrico, campo magnetico: ma che cos'è un campo e che relazione ha con la radiazione?

Per rispondere a questa domanda conviene fare riferimento ad un'esperienza che tutti abbiamo sin dalla nascita e a cui siamo, quindi, completamente assuefatti. Ognuno di noi ha coscienza del proprio peso, cioè quella forza che, se non contrastata attraverso l'applicazione di qualche vincolo, ci attira inevitabilmente verso terra. E' noto che ciò deriva da una proprietà intrinseca della materia, che è quella di attrarsi. Noi siamo sempre soggetti ad un certo numero di forze che instaurano un'attrazione reciproca fra la nostra massa e quella di tutti gli altri oggetti nelle vi-



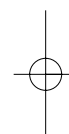
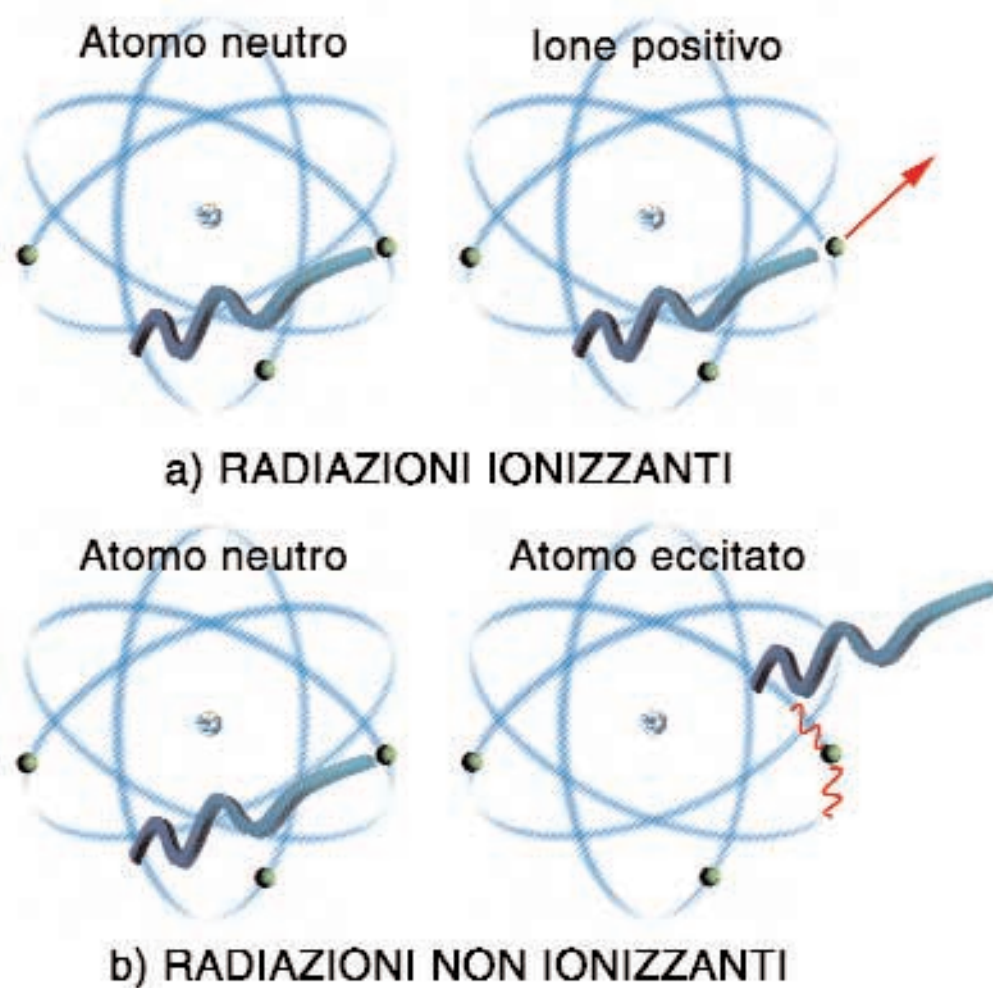
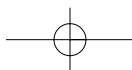
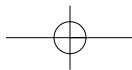


Fig. 1.2 - Le radiazioni ionizzanti (a) sono energeticamente in grado di produrre ioni nella loro interazione con la materia, al contrario delle radiazioni non ionizzanti (b), che non sono in grado di cedere agli elettroni un'energia superiore a quella di legame.



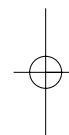
cinanze. Quello che succede, però, è che la presenza di una massa enormemente più grande di tutte le altre, cioè quella della Terra, fa sì che questa prevalga in intensità, per cui sembra che tutte le cose vengano attratte dal nostro pianeta (dando luogo al loro peso) e non si ha, invece, alcun sentore delle attrazioni reciproche fra queste in atto.

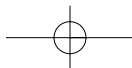
In Fisica, quando su un oggetto si esercita una forza, ma non solo in un certo istante ed in un certo punto dello spazio, come avviene per esempio quando con un martello si vuole fissare un chiodo, ma sempre ed in qualunque punto della zona di spazio in cui esso venga a trovarsi, si parla non più genericamente di una forza, ma di un campo di forze; per esempio, la forza peso viene interpretata affermando che la Terra, in quanto dotata di massa, genera nello spazio circostante un campo di forze, detto campo gravitazionale. Il campo gravitazionale è generato da una massa e solo le masse sono in grado di risentirne l'azione (**Fig. 1.3a**).

Un concetto analogo vale anche per le cariche elettriche: una carica elettrica, per la sua sola presenza nello spazio, genera in esso qualcosa, chiamato appunto campo elettrico, che solo altre cariche elettriche sono in grado di "sentire", nel senso che risentiranno di una forza direttamente legata alla presenza della prima carica.

Per definizione, ogni massa, o ogni carica, può essere intesa come sorgente, rispettivamente, di un campo gravitazionale o di un campo elettrico. Assegnare il ruolo tra chi è sorgente del campo e chi ne subisce l'azione è solo legato a una convenzione, o a forti differenze esistenti tra le masse o le cariche in gioco. Per esempio, nel caso del campo gravitazionale, i cui effetti sono più noti, a nessuno verrebbe in mente di associare il proprio peso all'attrazione esercitata dal proprio corpo sulla Terra e non al viceversa, anche se le due descrizioni sarebbero, in linea di principio, del tutto equivalenti.

Una profonda differenza caratterizza, però, il campo gravitazionale e il campo elettrico. In natura esiste un unico tipo di massa, e ciò porta al fatto che le forze gravitazionali siano sempre di un tipo, a carattere attrattivo. Al contrario, come si è visto in precedenza descrivendo la struttura atomica della materia, esistono cariche di due segni e ciò comporta, nel caso del campo elettrico, che le forze in gioco (**Fig. 1.3b**) possano essere sia di natura attrattiva (cariche di segno opposto) che repulsiva (cariche di segno uguale).





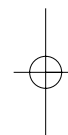
Il concetto di campo elettrico, E , è stato introdotto in Fisica per descrivere la natura e la distribuzione spaziale delle forze che, generate da cariche elettriche, fanno risentire la propria azione su altre cariche elettriche. Nel sistema internazionale delle unità di misura (SI), l'intensità del campo elettrico viene espressa in volt al metro (V/m) e suoi multipli, o sottomultipli.

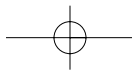
Grazie alla forza che esercita sulle cariche, il campo elettrico è in grado di provocare correnti elettriche, cioè spostamenti di carica, in tutti i materiali dotati di una conducibilità elettrica non nulla (quindi anche nei tessuti biologici). Per questo motivo è necessario distinguere due casi: quello in cui le cariche che generano il campo siano ferme e quello in cui le stesse cariche si muovano nello spazio (o in un filo conduttore), a costituire una corrente elettrica.

In linea di principio sarebbe possibile descrivere con il solo campo elettrico anche le forze che si esercitano fra cariche in movimento, cioè fra correnti elettriche, ma il loro studio risulta fortemente semplificato introducendo un nuovo tipo di campo. L'osservazione fondamentale è che anche una corrente elettrica, la cui unità di misura è l'ampere (A), fa risentire una forza su un'altra corrente che circoli nelle sue vicinanze (**Fig. 1.3c**) e il campo di forze così generato è quello che prende il nome di campo magnetico. Poiché le correnti possono fluire in un filo, o nello spazio, secondo due versi tra loro opposti, anche per il campo magnetico possono generarsi forze attrattive (correnti che fluiscono in versi opposti) o repulsive (correnti che fluiscono nello stesso verso), come indicato in **Fig. 1.3c**.

Attraverso il concetto di campo magnetico descriviamo, quindi, la perturbazione delle proprietà dello spazio determinata dalla presenza di una corrente elettrica, perturbazione che si manifesta con una forza che agisce su ogni altra corrente elettrica presente nel campo. Questo viene comunemente descritto o mediante il campo magnetico, H , che si misura in ampere al metro (A/m), oppure attraverso il vettore, B , detto densità di flusso magnetico o, più semplicemente, campo d'induzione magnetica, la cui unità di misura è il tesla (T). Una vecchia unità ancora utilizzata è il gauss (G), legato al tesla dalle relazioni $1 \text{ T} = 10.000 \text{ G}$ o $1 \text{ G} = 0,0001 \text{ T} = 100 \text{ microtesla}$ (100 μT).

Nel vuoto (e in aria) B ed H sono legati tra loro da una semplice re-





lazione di proporzionalità e, quindi, per descrivere un campo magnetico in aria, o in materiali non magnetici (comprese le sostanze biologiche di nostro interesse), è sufficiente specificare solo una di queste due grandezze fisiche.

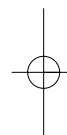
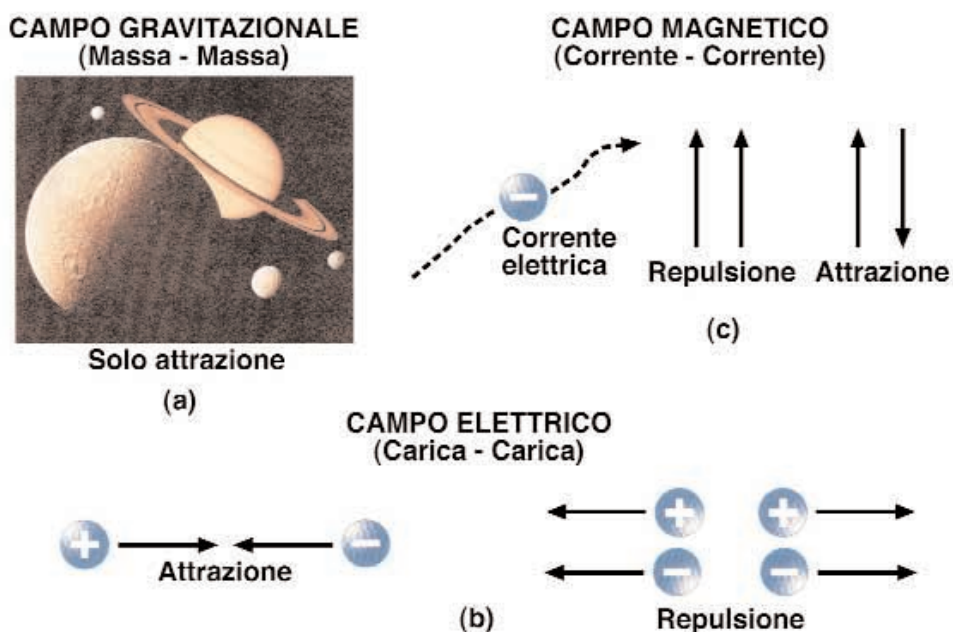
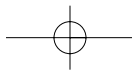


Fig. 1.3 - I campi di forza descrivono situazioni in cui su un oggetto si esercita una forza sempre e in qualunque punto della zona di spazio in cui esso venga a trovarsi. Fra i campi di forza noti in Fisica, una posizione di particolare interesse è occupata dal campo gravitazionale (a), dal campo elettrico (b) e dal campo magnetico (c). Il campo gravitazionale è caratterizzato da forze di tipo attrattivo, mentre i campi elettrici e magnetici possono dar luogo sia a forze attrattive che repulsive.

Le cariche e le correnti elettriche sono, dunque, le sorgenti materiali, rispettivamente, del campo elettrico e del campo magnetico.

Nel caso in cui tutte le cariche siano ferme nello spazio o si muovano di moto uniforme (corrente continua), cioè a velocità e direzione costanti, la quantità di carica e la corrente sono stazionarie, cioè costanti

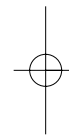


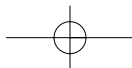
nel tempo. A cariche ferme si genera un campo elettrico la cui intensità, costante in ogni punto dello spazio, dipende dalla quantità di carica presente e dalla sua geometria. Nel caso di correnti continue si genera sia un campo elettrico (legato alla presenza delle cariche in sé) che un campo magnetico le cui intensità sono costanti nel tempo (campi statici). Un tipico caso di campo magnetico statico è quello prodotto da una calamita, generato dalle correnti atomiche presenti all'interno della sua struttura.

Cosa accade, invece, nel caso in cui le cariche non siano ferme o, muovendosi, non si muovano con velocità costante?

Il modo più semplice, ma completo, di analizzare i fenomeni variabili nel tempo è quello di considerare, come indicato in **Fig. 1.4a**, il moto di una carica che oscilla entro un segmento di materiale conduttore. Questo sistema si chiama dipolo elettrico ed è utilissimo per studiare le proprietà dei campi elettrici e magnetici variabili nel tempo.

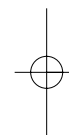
Introdotta il concetto di dipolo, ipotizziamo di effettuare due esperimenti ideali. Nel primo esperimento posizioniamo, in un certo punto dello spazio posto nelle vicinanze (ma non troppo) di quello in cui è attivo un dipolo elettrico, un misuratore ideale capace di valutare, istante per istante, l'intensità del campo elettrico (o del campo magnetico). L'andamento nel tempo dell'intensità dei campi rilevata dagli apparati di misura seguirebbe un andamento oscillatorio, come indicato in **Fig. 1.4b**. Scopriremmo anche che il tempo, T , necessario alla carica (nel dipolo) per compiere un'oscillazione completa, cioè partire da una delle sue estremità (A), raggiungere la seconda estremità (B) per poi ritornare nuovamente, attraverso il punto centrale (C), a quello di partenza, coincide con il tempo intercorrente fra due valori massimi del campo. Questo tempo prende il nome di periodo dell'onda ed è espresso in secondi (s), o suoi multipli e sottomultipli. L'inverso del suo valore corrisponde, per definizione, al numero di oscillazioni complete effettuate dalla carica in un secondo. Questa importante grandezza è detta frequenza del campo variabile nel tempo ed è espressa in hertz (Hz). Come indicato in **Fig. 1.4b**, anche nel caso della frequenza sono molto usati i suoi multipli. La frequenza di 1 Hz corrisponde a un'oscillazione completa al secondo; un battito cardiaco di 60 pulsazioni al minuto, pari a una pulsazione al secondo, ha quindi proprio la frequenza di 1 Hz.





Il secondo esperimento ideale consiste nel posizionare non più solo un misuratore, ma un loro gran numero intervallati lungo una direzione dello spazio che, partendo dalla sorgente, cioè dal dipolo stesso, se ne allontanano indefinitamente. L'ipotesi è che, anche in questo caso, tutti questi misuratori siano in grado di valutare, nei punti in cui sono stati rispettivamente collocati, l'intensità del campo elettrico (o del campo magnetico). Con grande sorpresa scopriremmo che, se fotografassimo a un certo istante i valori di campo letti dai misuratori e ne facessimo un grafico, otterremmo un andamento oscillatorio, come indicato in **Fig. 1.4c**, del tutto simile a quello in precedenza individuato al variare del tempo. In altre parole, i campi elettrici e magnetici prodotti dal dipolo presentano sia una periodicità temporale (in qualsiasi punto dello spazio), che ci ha portato a definire i concetti di periodo e di frequenza, sia una periodicità spaziale (in un qualsiasi istante preso in considerazione). La periodicità spaziale è caratterizzata, anche in questo caso, dalla distanza intercorrente fra due valori massimi che, come indicato in **Fig. 1.4c**, prende il nome di lunghezza d'onda. La lunghezza d'onda si esprime in metri (m) o, quando è più comodo, mediante i suoi multipli (o sottomultipli). È importante ricordare che la frequenza di un'onda e la sua lunghezza d'onda, rappresentando due aspetti complementari di una stessa realtà fisica, sono grandezze fra loro correlate e, come indicato in **Fig. 1.4**, nel caso della propagazione in aria o nel vuoto, nota una si può calcolare il valore dell'altra, e viceversa. Per completezza è però utile ricordare che la vera "targa" di un campo variabile nel tempo è la sua frequenza, perché la corrispondente lunghezza d'onda dipende anche dalla natura del mezzo in cui il campo stesso si propaga (aria, acqua, muscolo e così via).

Ora sappiamo che se, con qualche tecnica, riusciamo a fare oscillare una carica lungo un conduttore, siamo anche in grado di generare, nello spazio circostante, un campo elettrico e un campo magnetico entrambi caratterizzati dalla frequenza, f , uguale a quella con cui oscilla la stessa carica sorgente, e da una lunghezza d'onda, λ , a questa correlata mediante una semplice formula, che ricorda il fatto che il prodotto di λ per f deve sempre essere uguale al valore della velocità con cui si propaga la luce nel mezzo preso in considerazione (nei casi di nostro interesse quasi sempre aria, o tessuti ed organi del nostro corpo).



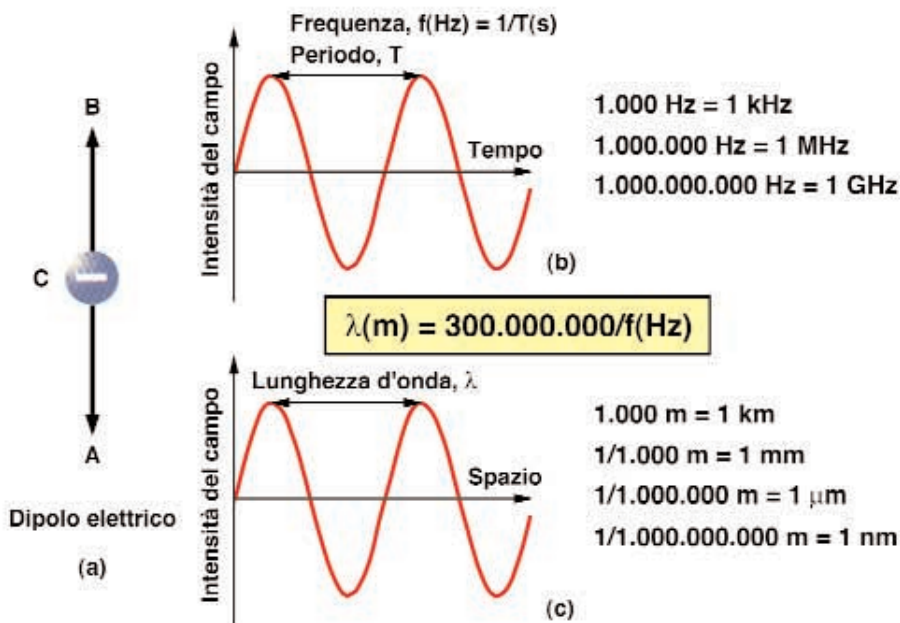
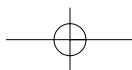
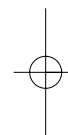
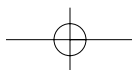


Fig. 1.4 - Una carica che oscilla entro un segmento ACB di materiale conduttore (a) prende il nome di dipolo elettrico. L'oscillazione della carica genera nello spazio circostante un campo elettrico e un campo magnetico variabili sinusoidalmente nel tempo (b) e nello spazio (c). La frequenza, f , si esprime in hertz (Hz); molto usati sono anche i suoi multipli, quali il kilohertz (kHz), il megahertz (MHz) e il gigahertz (GHz). In aria, o nel vuoto, la corrispondente lunghezza d'onda, λ , espressa in metri, vale 300.000.000 diviso il valore della frequenza espresso in hertz. Sottomultipli molto usati sono il millimetro (mm), il micrometro (μm) e il nanometro (nm).

A questo punto, lo sperimentatore ideale di questa storia ha la curiosità di studiare se, e come, quanto descritto in precedenza dipenda dalla frequenza, e ripete gli esperimenti aumentando sempre più la frequenza di oscillazione del dipolo. La caratteristica più importante che subito noterebbe è che il campo magnetico variabile nel tempo provoca un fluire di correnti elettriche all'interno di oggetti conduttori (compresi i tessuti biologici) che vengano a trovarsi nel suo raggio d'azione, correnti che non si sarebbero generate in sua assenza, o in presenza di un campo magnetico statico. Poiché le correnti elettriche sono prodotte da un campo





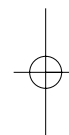
elettrico, se ne deve dedurre che un campo elettrico può essere generato non solo da una distribuzione di carica elettrica, come chiarito in precedenza, ma anche da un campo magnetico variabile nel tempo. Si dimostra poi che, analogamente, anche un campo magnetico può essere generato, oltre che da una corrente elettrica, anche da un campo elettrico variabile nel tempo. In altre parole, quando si è in regime variabile nel tempo, il campo elettrico e il campo magnetico divengono, reciprocamente, uno sorgente (cioè causa) dell'altro.

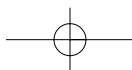
Grazie a questa mutua generazione, i campi non si mantengono più localizzati attorno alla loro sorgente, come i campi statici e quelli caratterizzati da frequenze relativamente basse, ma si propagano a distanza indefinita nello spazio, assumendo una struttura detta di tipo radiativo. Come indicato in **Fig. 1.5**, in questa situazione il campo elettrico e il campo magnetico risultano perpendicolari tra di loro e alla direzione di propagazione e tra le loro ampiezze esiste una relazione matematica che permette di determinarne una quando sia nota l'altra.

Considerata la stretta relazione esistente, in questa situazione, tra campo elettrico e campo magnetico, si introduce in questo caso una nuova grandezza, il campo elettromagnetico. In molti casi importanti, le ampiezze dei campi radiativi variano in modo sinusoidale sia nel tempo che nello spazio e, come indicato in precedenza, si parla in questo caso di onde elettromagnetiche, cioè una delle modalità più comuni e importanti con cui è possibile descrivere la propagazione di un campo elettromagnetico. Un'onda elettromagnetica è caratterizzata da grandezze quali l'intensità (legata all'ampiezza dell'onda) e, come indicato in precedenza, la frequenza e la lunghezza d'onda.

La frequenza non è solo il parametro più rappresentativo di un campo, ma è anche quello che principalmente influenza le sue modalità d'interazione con un sistema biologico e, quindi, ne condiziona gli effetti, al punto che un campo elettromagnetico di data intensità può essere pressoché innocuo, o molto pericoloso, a seconda della sua frequenza.

L'intensità indica l'effettiva entità delle forze che un campo elettromagnetico può esercitare. Qualunque fenomeno di interazione, quindi, è normalmente tanto più evidente quanto più la radiazione è intensa. L'intensità è legata anche alla densità di potenza della radiazione, ovvero la quantità d'energia che investe, nell'unità di tempo, una superficie unita-





ria posta ortogonalmente alla direzione di propagazione. La densità di potenza viene espressa in watt al metro quadrato (W/m^2) e, a grandi distanze dalla sorgente, risulta uguale al prodotto delle ampiezze del campo elettrico e del campo magnetico e decresce in misura proporzionale all'inverso del quadrato della distanza dalla sorgente.

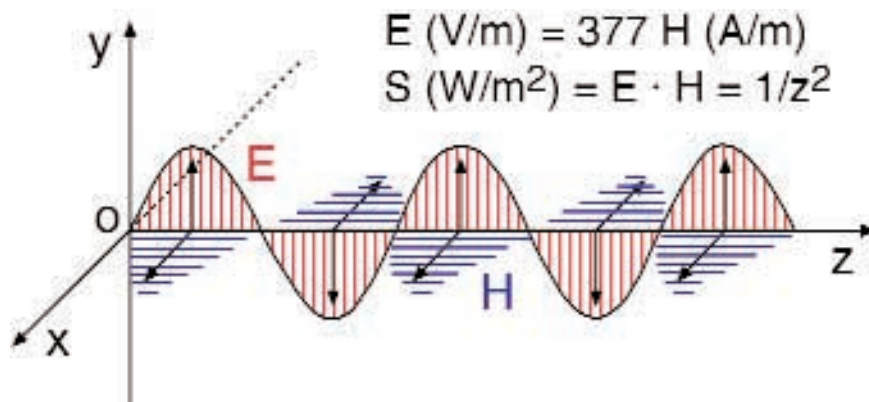
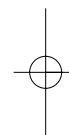


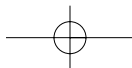
Fig. 1.5 - Quando il campo elettrico e il campo magnetico variano sinusoidalmente nel tempo divengono, reciprocamente, uno sorgente dell'altro e danno luogo a un campo elettromagnetico, una situazione in cui non è più possibile scindere la componente elettrica da quella magnetica. Il campo elettromagnetico non si mantiene più localizzato attorno alla sua sorgente, ma si propaga a distanza in teoria infinita, assumendo una struttura di tipo radiativo.

Questa Monografia si riferisce agli effetti biologici e sanitari delle due componenti a più bassa frequenza dello spettro delle radiazioni non ionizzanti, cioè i campi elettrici e magnetici statici e a frequenze estremamente basse, in particolare i campi alla frequenza (50 o 60 Hz) utilizzata per la produzione, la trasmissione e l'utilizzo dell'energia elettrica.

Nel caso dei campi statici, per definizione, si perde il concetto di variabilità nel tempo e, corrispondendo questi alla frequenza zero, non si attua, di conseguenza, alcuna oscillazione dei loro valori al trascorrere del tempo. Da un punto di vista matematico questo corrisponde a una lunghezza d'onda infinita.

In questa situazione l'elettricità e il magnetismo sono fenomeni distinti e, di conseguenza, il campo elettrico statico e il campo magnetico





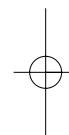
statico devono essere trattati separatamente, sia dal punto di vista delle loro proprietà fisiche che dal punto di vista degli eventuali effetti biologici e sanitari.

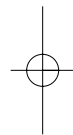
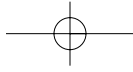
Se si applica la formula indicata in **Fig. 1.4** per calcolare la lunghezza d'onda λ (in aria o nel vuoto) che corrisponde alla frequenza di 50 Hz, si ottiene $\lambda = 300.000.000/50 \text{ m} = 6.000.000 \text{ m} = 6.000 \text{ km}$, valore non infinito ma certamente ancora enormemente più grandi delle lunghezze e distanze che caratterizzano gli ambienti in cui normalmente viviamo.

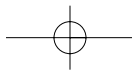
La conseguenza più diretta di questa caratteristica è che anche i campi elettrici e magnetici a 50 Hz, come i campi statici, devono essere ancora considerati separatamente, poiché a queste frequenze corrispondono lunghezze d'onda così grandi da non permettere ancora la propagazione di un campo elettromagnetico. E' questo anche il motivo per cui i campi elettrici e magnetici a 50 Hz, più in generale i campi ELF, interagiscono separatamente con i sistemi biologici.

Quando ci si interessa di campi statici o a frequenze estremamente basse, come nel caso trattato in questa Monografia, non si ha quindi mai a che fare, in termini operativi, con un campo elettromagnetico o un'onda elettromagnetica, perché viene a mancare la loro caratteristica principale, cioè il fatto che i campi si allontanino dalla loro sorgente e, formando un insieme unico e ormai inscindibile, si propaghino nello spazio, come invece fanno la luce prodotta da una lampada o le onde emesse da una stazione radio o televisiva.

Per questo motivo è fisicamente più corretto pensare che le sorgenti di campi statici e le linee ad alta tensione o gli apparati elettrici siano circondati da due nuvole di colore diverso, quindi distinguibili chiaramente nella loro natura (elettrica o magnetica) e nella loro estensione attorno alla sorgente, che può andare da pochi centimetri a qualche centinaio di metri al massimo. Nel gergo comune, o sui mezzi d'informazione non specialistici, si sente parlare di campi elettromagnetici generati, per esempio, dalle linee ad alta tensione ma ciò non corrisponde a una descrizione appropriata dei fenomeni in gioco; è più corretto parlare di campo elettrico, o campo magnetico, generati da una linea ad alta tensione o da un elettrodomestico e analizzare, separatamente, i loro diversi meccanismi d'azione per giungere a una valutazione della loro eventuale rilevanza sanitaria.







CAPITOLO 2

LE SORGENTI

(*M. Grandolfo*)

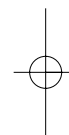
Le radiazioni elettromagnetiche ionizzanti e non ionizzanti, come indicato in **Fig. 2.1**, presentano nella società moderna una gamma di utilizzi estremamente ampia, che tocca i più svariati settori, molti dei quali di fondamentale importanza.

Non sempre, però, l'energia in gioco in tutte queste applicazioni, una volta emessa dai vari tipi di sorgente, viene completamente utilizzata nello svolgimento del compito assegnato e quindi, o per motivi intrinseci, come nelle telecomunicazioni, o per diverse altre ragioni, parte dell'energia si distribuisce nell'ambiente circostante, portando i livelli di esposizione ambientali a valori più alti di quelli riscontrabili in assenza delle sorgenti stesse.

In questo capitolo vengono presentati, per i campi statici e a frequenze estremamente basse oggetto della Monografia, le principali sorgenti e i livelli di esposizione da queste prodotti nelle loro vicinanze.

La principale causa della presenza nell'ambiente di campi elettrici statici, legata ad attività umane, è la separazione di cariche prodotte nelle azioni di strofinio fra materiali isolanti. Camminare su di un tappeto o una moquette realizzati con materiali isolanti può, per esempio, produrre nelle vicinanze del corpo campi elettrici statici compresi fra 10.000 e 500.000 V/m (pari a 10 e 500 kV/m). Altra tipica sorgente di campi elettrici statici è il monitor dei calcolatori, in grado di produrre campi compresi fra 100 e 300 kV/m a distanza di 5 cm dallo schermo, che si riducono tipicamente a valori compresi fra 10 e 20 kV/m a 30 cm. Il maneggiare o utilizzare plastiche può portare a campi elettrici statici fino a diverse centinaia di chilovolt al metro nelle vicinanze del corpo.

Dalla fine degli anni '50, in molti Paesi vengono utilizzate linee a corrente continua per un'efficiente trasmissione dell'elettricità su lunghe distanze.



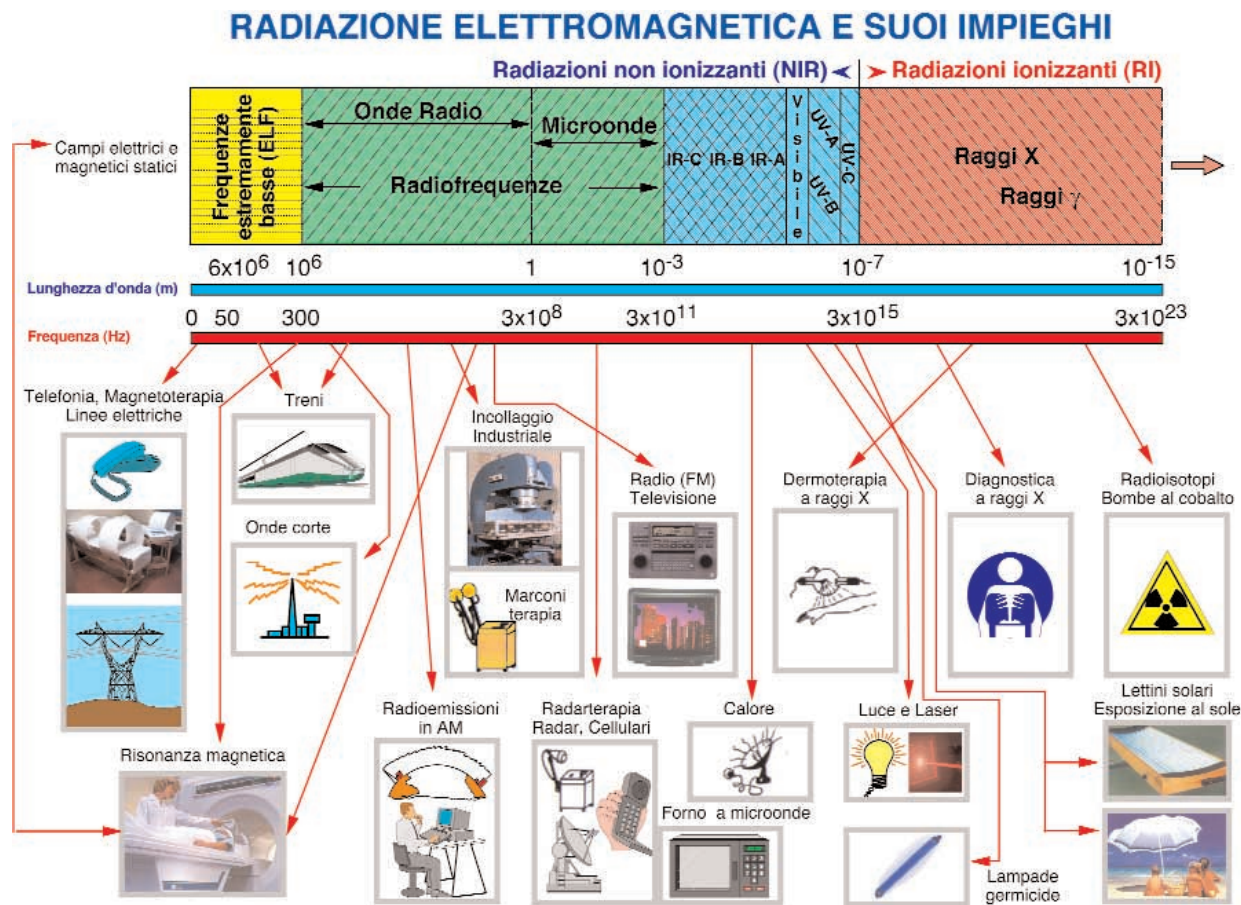
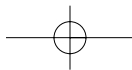


Fig. 2.1 - Spettro elettromagnetico e alcune tipiche utilizzazioni delle radiazioni ionizzanti e non ionizzanti. Oggetto di questa pubblicazione sono i campi elettrici e magnetici statici (frequenza uguale a zero) e i campi a frequenze estremamente basse (ELF, zona in giallo dello spettro). Dallo schema si evincono le principali applicazioni di questa parte dello spettro, cioè la risonanza magnetica in medicina, le linee ad alta tensione e tutti i dispositivi il cui funzionamento è basato sull'utilizzo dell'energia elettrica.



In Europa sono stati misurati livelli di campo elettrico statico fino a 20 kV/m direttamente sotto una linea di trasmissione di questo tipo operante a 500 kV, con livelli di campo che diminuiscono solo lentamente con la distanza, fino a raggiungere circa 2 kV/m a 400 m e 1 kV/m a 800 m dalla linea.

Campi elettrici statici sono anche prodotti da molti sistemi ferroviari convenzionali e metropolitane leggere che si basano sull'utilizzo di correnti continue. Campi elettrici statici di circa 30 V/m sono stati misurati a 5 m da linee tranviarie o di metropolitane a 600 V. Campi fino a 300 V/m sono stati misurati all'interno di treni operanti con linee da 1,5 a 6 kV.

Per confronto, ricordiamo che, in vicinanza della superficie terrestre, in una giornata di bel tempo è presente un campo elettrico statico naturale di circa 130 V/m, valore che può arrivare fino a 40 kV/m durante tempeste e uragani (Dolezalek, 1979).

Com'è noto, la Terra genera un campo magnetico statico la cui componente verticale è massima ai poli magnetici (70 μ T) ed è praticamente zero all'equatore. La componente orizzontale è, invece, praticamente nulla ai poli mentre raggiunge il suo valore massimo (30 μ T) all'equatore.

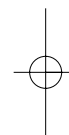
Per quanto riguarda le sorgenti artificiali, a livello della superficie di un telefono è possibile misurare valori di induzione magnetica compresi fra 0,3 e 1 millitesla (mT).

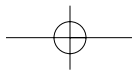
I campi magnetici statici generati da tutti i dispositivi che incorporano pile e batterie risultano sempre molto più piccoli del fondo naturale.

L'uso di coperte e materassi riscaldanti genera campi magnetici statici di circa 50 mT, valori che entro pochi millimetri di distanza si riducono molto velocemente.

Le linee di trasmissione ad alta tensione in continua, relativamente poco diffuse, possono produrre campi magnetici statici di intensità fino a qualche decina di microtesla.

In generale, i valori massimi di campo magnetico statico cui può essere esposta la popolazione derivano dai sistemi ferroviari. Valori di induzione magnetica fino a 1 mT sono stati misurati, per esempio, in treni ad alta velocità (250 km/h) operanti a 30 kV (Grandolfo e Coll., 1989).





I moderni sistemi ferroviari a levitazione magnetica sono in grado di produrre campi di circa 1 T in corrispondenza dei binari, mentre all'interno dei treni il campo varia fra 50 μ T e 10 mT.

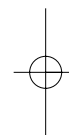
Poche attività o situazioni sono, comunque, associate a esposizioni a intensi campi magnetici statici, a eccezione di quelle svolte nell'utilizzo di apparati a risonanza magnetica per uso medico, in cui si possono raggiungere livelli di esposizione, per il paziente, fino a valori di qualche tesla. Campi intensi vengono anche prodotti nelle tecnologie delle alte energie, in sistemi magnetoidrodinamici e generatori superconduttivi, nonché nella generazione e distribuzione dell'energia elettrica in corrente continua. I centri di ricerca che impiegano camere a bolle, acceleratori di particelle, spettrometri superconduttivi e impianti per la separazione isotopica hanno anch'essi aree, attorno a questi apparati, caratterizzate da un'elevata induzione magnetica. Altre attività in cui si verificano esposizioni a forti campi magnetici statici sono quelle che comportano processi elettrolitici, come la produzione di alluminio, e quelle per la produzione di magneti e di materiali magnetici. Tipici livelli di esposizione incontrati nei processi di elettrolisi e di produzione dell'alluminio sono compresi fra 15 e 50 mT.

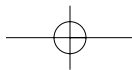
In relazione ai campi variabili nel tempo, i livelli d'esposizione risultano, nella maggior parte delle situazioni espositive prodotte dall'attività umana, molto più elevati di quelli che caratterizzano, a parità di frequenza, il fondo naturale.

L'esposizione dominante è normalmente quella associata alla generazione, trasmissione e utilizzo dell'elettricità, che in Italia e in Europa avviene alla frequenza nominale di 50 Hz, nota anche come frequenza industriale. In USA, Canada e in parte del Giappone la frequenza industriale è, invece, di 60 Hz.

Le linee ad alta tensione, unitamente ai vari dispositivi e apparati elettrici presenti negli ambienti di vita e di lavoro, sono quindi le principali sorgenti di campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50/60 Hz.

La descrizione accurata dei livelli di campo elettrico e magnetico presenti in ogni punto della zona interessata da un elettrodotto è, in genere, operazione alquanto complicata. Problemi si pongono in particolare in prossimità dei piloni, sia per la loro struttura metallica che per le complicazioni geometriche introdotte dalle variazioni di orientamento dei





conduttori. Sia le valutazioni teoriche che le misure sperimentali mostrano, però, che tanto i valori del campo elettrico quanto quelli del campo magnetico diminuiscono sensibilmente, a parità degli altri parametri, all'aumentare dell'altezza dei conduttori dal suolo. Ciò comporta che le zone di maggiore interesse, ai fini della protezione, siano quelle al centro delle campate, dove i conduttori presentano la minima altezza dal suolo e i livelli di campo raggiungono i valori più alti. In questi punti i cavi possono essere considerati, in prima approssimazione, come conduttori rettilinei di lunghezza infinita e danno luogo a campi calcolabili analiticamente in base alle leggi fondamentali dell'elettricità e del magnetismo.

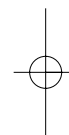
La validità di queste approssimazioni e la correttezza dei codici di calcolo adottati sono state ripetutamente confermate dalle misure. Un'ampia serie di dati, relativi a linee a diversa tensione e con varie configurazioni, mostra infatti un ottimo accordo tra i valori di campo elettrico e magnetico misurati sperimentalmente e quelli calcolati sulla base dei modelli teorici.

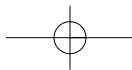
Un dato importante che emerge dall'analisi degli andamenti del campo elettrico e di quello magnetico è la loro rapida diminuzione all'aumentare della distanza laterale dai conduttori. Questo comporta che la zona rilevante ai fini dell'esposizione sia limitata a una fascia che si estende, su entrambi i lati dal centro della linea, solo fino a distanze pari a due o tre volte l'altezza dei conduttori.

Il campo elettrico prodotto dalle linee ad alta tensione dipende essenzialmente dalla tensione (ovviamente esso aumenta con questa) e dalla distanza del punto di misura dalla linea stessa (l'intensità del campo elettrico presenta il suo valore massimo nell'area sottostante la linea e diminuisce rapidamente quando ci si allontana dalla linea stessa). Le altezze dal suolo dei conduttori e la loro configurazione sono altri importanti fattori che influenzano l'intensità del campo elettrico.

In **Fig. 2.2** è riportato l'andamento del campo elettrico calcolato per alcuni tipi di linee tipiche della situazione italiana.

Il campo elettrico è praticamente verticale al di sotto dei conduttori, mentre la componente sul piano orizzontale perpendicolare alla linea diventa percentualmente apprezzabile solo a distanze laterali dal centro dei conduttori dell'ordine del doppio della loro altezza, dove peraltro





l'intensità complessiva è notevolmente ridotta rispetto al valore massimo. La componente orizzontale parallela alla linea è praticamente trascurabile.

L'andamento del campo con la distanza laterale, con due massimi in corrispondenza dei conduttori esterni, è tipico delle linee trifase ed è dovuto appunto alla diversa composizione, in punti diversi dello spazio, di campi sinusoidalmente variabili e sfasati tra loro.

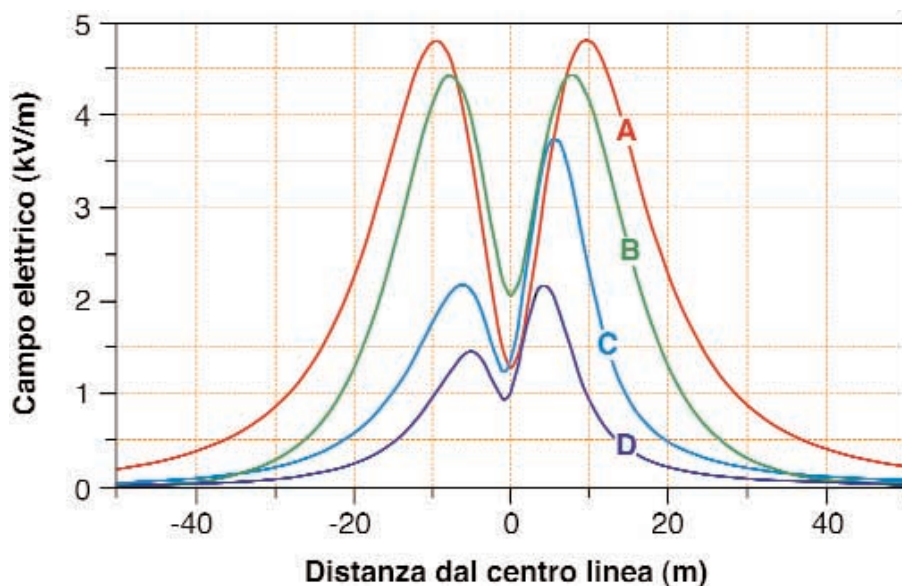
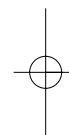
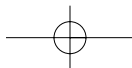


Fig. 2.2 - Profili laterali del campo elettrico (valori efficaci) calcolati, a livello del suolo, per quattro tipi di linee ad alta tensione nella sezione trasversa corrispondente alla minima distanza cavo-terreno (A: linea a 380 kV a semplice terna; B: linea a 380 kV a doppia terna; C: linea a 220 kV a semplice terna; D: linea a 132 kV a semplice terna).

Come conclusione generale si può affermare che, in prossimità di una tipica linea ad alta tensione, in Italia si riscontrano livelli massimi di campo elettrico dell'ordine di 5 kV/m.

Le altre sorgenti più comuni di campi elettrici a 50/60 Hz, in particolare quelle per usi domestici, producono generalmente campi elettrici in-



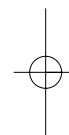


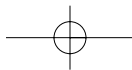
feriori a quelli generati dalle linee ad alta tensione. L'intensità del campo elettrico nelle immediate vicinanze di alcuni tipici elettrodomestici (cucine, congelatori, asciugacapelli, ecc.) risulta infatti di qualche decina di volt al metro e, solo in pochi casi, per esempio le coperte elettriche, può raggiungere il valore di 250 V/m. Inoltre, l'intensità del campo elettrico diminuisce molto rapidamente con la distanza da questo tipo di sorgenti e assume valori trascurabili a distanze di 1-2 m.

In **Tabella 2.1** è possibile confrontare i livelli di campo elettrico presenti nelle vicinanze di una linea ad alta tensione con quelli riscontrabili in alcune condizioni di esposizione tipiche della vita quotidiana (Grandolfo e Vecchia, 1985).

Tabella 2.1 - Livelli di campo elettrico riscontrabili in diverse condizioni di esposizione.

Condizioni di esposizione	Campo elettrico (V/m)
Sotto una linea a 380 kV	5000
Entro una tipica abitazione	0 – 10
In aree urbane	0 – 50
In aree rurali	0 – 0.05
A 30 cm da una coperta elettrica	250
A 30 cm da un bollitore	130
A 30 cm da uno stereo	90
A 30 cm da un frigorifero	60
A 30 cm da un ferro da stiro	60
A 30 cm da un frullatore	50
A 30 cm da un tostapane	40
A 30 cm da un asciugacapelli	40
A 30 cm da un fonografo	40
A 30 cm da un televisore a colori	30
A 30 cm da un aspirapolvere	16
A 30 cm da un orologio elettrico	15
A 30 cm da un fornello elettrico	4
A 30 cm da una lampada ad incandescenza	2





L'intensità del campo magnetico prodotto dalle linee ad alta tensione dipende, invece, essenzialmente dalla corrente che fluisce nei conduttori e dalla loro distanza dal punto di misura. E' da notare che, a differenza della tensione, in relazione alla richiesta d'energia la corrente può variare considerevolmente nel tempo e, di conseguenza, il campo magnetico generato dalle linee varia fortemente nel tempo e raggiunge il suo valore massimo in corrispondenza della massima presenza di utilizzatori, fortemente dipendente sia dall'ora del giorno che dalla stagione.

In **Fig. 2.3** è riportato l'andamento del campo magnetico calcolato per alcune linee tipiche della situazione italiana.

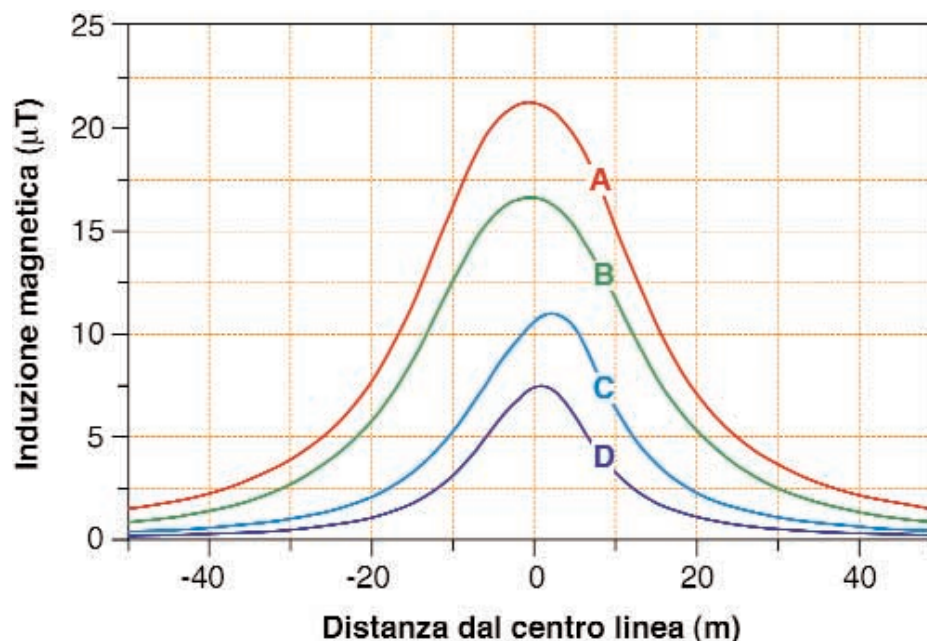
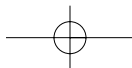


Fig. 2.3 - Profili laterali del campo d'induzione magnetica (valori efficaci) calcolati, a livello del suolo, per quattro tipi di linee ad alta tensione nella sezione trasversale corrispondente alla minima distanza cavo-terreno e alle massime condizioni di carico (A: linea a 380 kV e 1,5 kA a semplice terna; B: linea a 380 kV e 1,5 kA a doppia terna; C: linea a 220 kV e 550 A a semplice terna; D: linea a 132 kV e 375 A a semplice terna).



Anche il campo magnetico può presentare, in generale, un andamento spaziale complesso, dovuto ai diversi contributi forniti in punti diversi da ciascuna delle fasi. A differenza del campo elettrico, all'intensità complessiva contribuiscono in misura significativa le due componenti (orizzontale e verticale) ortogonali alla linea, mentre la seconda componente orizzontale (parallela alla linea) è anche in questo caso trascurabile.

Come conclusione generale si può valutare che, in prossimità di una tipica linea ad alta tensione, in Italia si riscontrano livelli massimi d'induzione magnetica dell'ordine di 15 μT per ogni mille ampere (kA) circolanti nella linea. Tenendo conto che, nelle tipiche condizioni di carico, fluisce entro i conduttori una corrente di 1-2 kA, si arriva alla conclusione che i livelli massimi d'induzione magnetica misurabili in Italia siano dell'ordine di qualche decina di microtesla.

In **Tabella 2.2** è possibile confrontare i livelli d'induzione magnetica presenti nelle vicinanze di una linea ad alta tensione con quelli riscontrabili in alcune condizioni di esposizione tipiche della vita quotidiana (Krause, 1986).

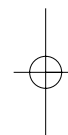
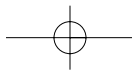


Tabella 2.2 - Livelli di campo magnetico riscontrabili in diverse condizioni di esposizione.

Condizioni di esposizione	Induzione magnetica (μT)
Sotto una linea a 380 kV	20
Entro una tipica abitazione	0 – 1
In aree urbane	0 – 0.1
In aree rurali	-
A 30 cm da un frigorifero	0.1 – 1
A 30 cm da un frullatore	100 – 500
A 30 cm da un televisore a colori	100 – 500
A 30 cm da un aspirapolvere	10 – 100
A 30 cm da un fornello elettrico	50 – 100
A 30 cm da un asciugacapelli	1000 – 2500
A 30 cm da un trapano elettrico	100 - 500



I dati riportati in **Tabella 2.2** mostrano che, in relazione al campo magnetico esistono numerose applicazioni domestiche in grado di comportare, in vicinanza della sorgente, valori d'esposizione ben più elevati di quelli riscontrabili nei pressi di una linea ad alta tensione.

In termini di effetti biologici e sanitari, è la corrente indotta all'interno del corpo, piuttosto che il valore dei campi esterni, il parametro correlabile alla possibile rilevanza sanitaria delle esposizioni. Come indicato in **Fig. 2.4**, le correnti indotte dalla componente elettrica e da quella magnetica seguono percorsi diversi. Nel caso del campo elettrico le correnti si svolgono lungo la stessa direzione del campo, mentre le correnti indotte dal campo magnetico si sviluppano secondo cerchi posti in piani perpendicolari alla sua direzione.

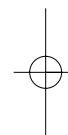
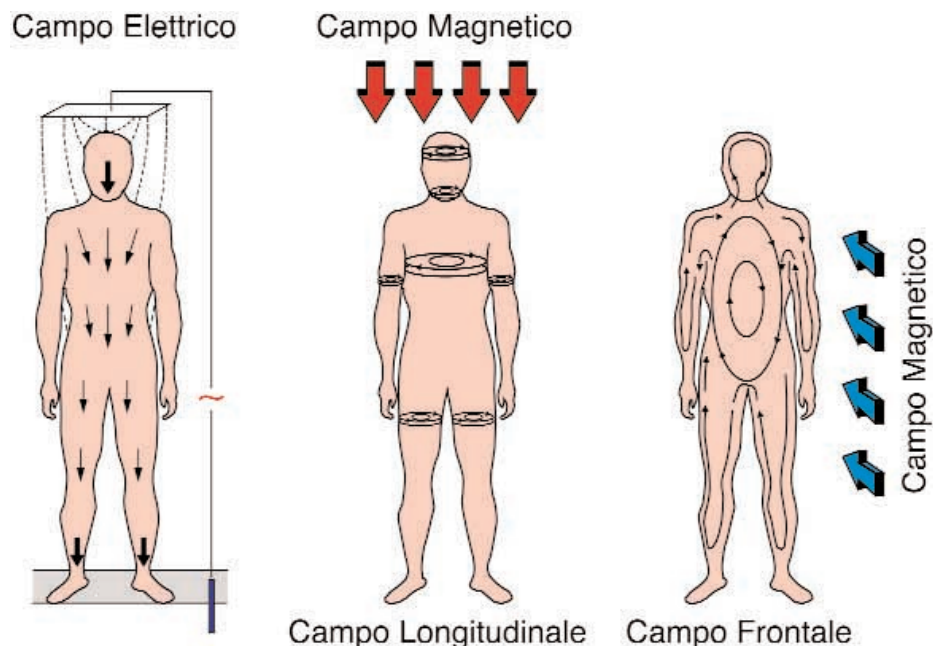
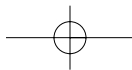


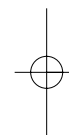
Fig. 2.4 - Le correnti indotte nel corpo dal campo elettrico seguono percorsi diversi da quelle indotte dal campo magnetico. Nel primo caso le correnti si svolgono lungo la stessa direzione del campo, mentre nel secondo si sviluppano lungo cerchi posti in piani perpendicolari alla sua direzione.

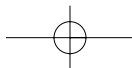


Le differenti modalità d'esposizione fanno sì che l'intensità della corrente che circola in un individuo che si trovi al di sotto di una linea sia confrontabile con quelle indotte a causa della sua vicinanza a un elettrodomestico, o dal contatto con un apparato non perfettamente isolato dal punto di vista elettrico (**Tabella 2.3**).

Tabella 2.3 - Valori tipici di correnti circolanti nel corpo umano (microampere).

Correnti indotte	
Sotto una linea a 380 kV	120
Coperta elettrica	5 – 30
Cuscino termico	20
Correnti di perdita	
Macinacaffè	350
Frigorifero	50
Macchina da cucire	35
Caffettiera elettrica	5
Valori di riferimento	
Soglia di sensibilità	1.000
Istinto al rilascio	10.000
Fibrillazione	100.000





CAPITOLO 3

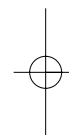
EFFETTI BIOLOGICI E SANITARI DEI CAMPI STATICI

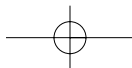
(M. Grandolfo)

Il campo elettrico statico è sempre perpendicolare alla superficie del corpo umano e non è in grado di penetrare al suo interno, ma induce sulla sua superficie una certa quantità di carica elettrica. Una densità di carica superficiale abbastanza elevata può essere percepita attraverso il movimento indotto nella peluria presente sulla superficie corporea. Gli effetti associati a queste cariche indotte (effetti indiretti) sono ben noti e vanno dalla semplice percezione, al dolore, a bruciatore causate da un contatto diretto o dall'innesco di scariche elettriche.

Uno studio su volontari esposti a campi elettrici statici fino a 40 kV/m ha indicato in circa 20 kV/m la soglia di percezione, mentre valori superiori ai 25 kV/m sono in grado di produrre sensazioni di fastidio (Clairmont e Coll., 1989). L'induzione di cariche superficiali su oggetti conduttori causa il passaggio di correnti attraverso il corpo di individui che, collegati a terra, vengano in contatto con questi oggetti. In questo contesto, campi elettrici statici con intensità dell'ordine di 5-7 kV/m possono produrre un largo spettro di effetti sanitari, fra cui reazioni di shock associate alla scarica elettrica e correnti di contatto da conduttori non a massa investiti dal campo. Di conseguenza, in presenza di sorgenti intense, bisogna esercitare molta cura nell'eliminare oggetti metallici non a massa, o assicurarsi la loro connessione a una buona presa di terra.

A tensioni sufficientemente elevate, l'aria si ionizza e permette l'innesco di una scarica fra un corpo carico e una persona messa a terra. Il corrispondente valore di tensione dipende da numerosi fattori, fra cui la forma dell'oggetto carico e le condizioni atmosferiche. I valori tipici delle corrispondenti intensità di campo elettrico sono compresi fra circa 500.000 V/m (500 kV/m) e 1.200.000 V/m, pari a 1,2 megavolt al metro (1,2 MV/m).





Vi sono poche informazioni sugli effetti sanitari diretti delle esposizioni a campi elettrici statici, cioè quelli che permangono una volta eliminati gli effetti indiretti precedentemente descritti (che agiscono come fattori confondenti). Gli studi su animali da laboratorio non hanno evidenziato effetti genetici, né effetti sui sistemi endocrino e cardiovascolare, né sulla crescita tumorale. Sono stati studiati gli effetti dell'esposizione a un campo elettrico statico sui ritmi circadiani, isolando volontari sani di sesso maschile per un periodo compreso fra tre e otto settimane in una camera espositiva sotterranea; il ciclo di attività quotidiana e la temperatura corporea non risultarono influenzati per esposizioni a campi elettrici statici fino a 600 V/m.

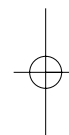
Esiste una qualche evidenza, di natura però aneddotica e non confermata da appropriati studi epidemiologici, che l'esposizione all'intenso campo elettrico statico che caratterizza il lavoro ai videoterminali possa, in condizioni di scarsa umidità ambientale, causare problemi dermatologici in persone predisposte, o aggravare quelli già esistenti al momento dell'esposizione (AGNIR, 1994).

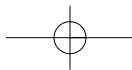
In conclusione, i dati sperimentali oggi a disposizione non forniscono alcuna base per suggerire l'esistenza di effetti negativi per la salute dell'uomo legati all'esposizione a campi elettrici statici (IARC, 2002).

Gli effetti del campo magnetico statico sono stati studiati molto più di quanto non sia stato fatto per il campo elettrico, specialmente dopo l'introduzione in diagnostica medica delle tecniche basate sulla risonanza magnetica. Nel 1999, Ueno e Iwasaka hanno pubblicato un'ampia rassegna critica sui principali meccanismi d'interazione dei campi magnetici statici con i sistemi biologici.

Tre sono i meccanismi fisici accertati attraverso cui i campi magnetici statici interagiscono con la materia vivente: l'induzione magnetica, le interazioni magnetomeccaniche e quelle elettroniche.

Attraverso l'induzione magnetica, i campi statici esercitano forze (note come forze di Lorentz) sui portatori di cariche ioniche in movimento e danno quindi luogo a campi elettrici e correnti indotte. Questa interazione è alla base dei potenziali indotti magneticamente nel flusso sanguigno, che sono stati studiati sia con campi statici che con campi variabili a frequenza estremamente bassa. Questo effetto può verificarsi,





nel caso di campi statici, anche a causa dei movimenti degli individui in aree in cui è presente questo tipo di campi.

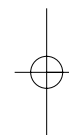
Le interazioni magnetomeccaniche sono quelle che generano il cosiddetto magnetoorientamento (su molecole diamagnetiche e paramagnetiche) e la traslazione magnetomeccanica (su materiali paramagnetici e ferromagnetici).

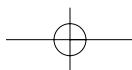
A causa delle interazioni elettroniche, in alcune reazioni chimiche che coinvolgono stati intermedi degli elettroni dei radicali, un campo magnetico statico di bassa intensità può produrre un effetto sugli stati di spin elettronico (effetto Zeeman).

Sulla base degli studi a oggi noti, si può escludere l'esistenza di effetti diretti acuti legati ad esposizioni di breve durata a campi d'induzione magnetica inferiori a 2 T. La maggior parte degli studi indica l'assenza di un qualsiasi effetto sulla temperatura corporea, sulla frequenza del battito cardiaco, sulla pressione arteriosa e sull'attività mentale di volontari esposti fino a circa 60 minuti. Anche in pazienti esposti brevemente fino a 2,5 T, in quanto sottoposti a indagini diagnostiche a risonanza magnetica, non è stata mai rilevata alcuna risposta acuta negativa direttamente collegabile al campo. Conclusioni di questo tipo sono anche state confermate dai risultati ottenuti in esperimenti con animali da laboratorio.

Sulla base di considerazioni teoriche non è però possibile escludere che, a campi molto più elevati, non si possano evidenziare effetti sull'attività cardiaca (Tenforde, 1992) e sul comportamento. Per esempio, alcuni calcoli (Kinouchi e Coll., 1996) suggeriscono che, in campi di induzione magnetica superiori a 5 T, potrebbe essere ridotto il flusso sanguigno aortico, ma attualmente nessun esperimento ha confermato queste previsioni teoriche (Kangarlu e Coll., 1999). Da questo punto di vista, particolare attenzione dovrà essere rivolta agli sviluppi della spettroscopia a risonanza magnetica, che prevede l'utilizzo di campi fino a 6 – 7 T.

I pochi studi epidemiologici disponibili in letteratura si riferiscono a lavoratori professionalmente esposti a campi magnetici statici di intensità relativamente alte e alla loro prole. Questi studi, recentemente analizzati criticamente dalla IARC (2002), non indicano particolari rischi di cancerogenicità, anche se occorre sottolineare il loro piccolo numero, il





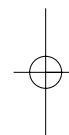
numero molto basso di casi coinvolti e le poche informazioni a disposizione sui livelli d'esposizione individuali. Tra questi, lo studio più dettagliato è quello di Ronneberg e Coll. (1999), che hanno utilizzato matrici mansione-esposizione per ricavare la stima dei livelli d'esposizione in coorti di lavoratori impegnati nella produzione d'alluminio. Questi Autori non hanno evidenziato alcuna associazione fra l'esposizione al campo magnetico statico e il rischio di tumori cerebrali o tumori del tessuto linfatico ed ematopoietico.

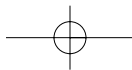
L'unico studio in cui è stata posta particolare attenzione alla valutazione dei livelli d'esposizione, anche se relativo a un piccolo numero d'esposti, è quello effettuato da Barregard e Coll. (1985), che non hanno trovato aumenti del livello di rischio cancerogeno in lavoratori esposti, fino a 30 mT, in un impianto per la produzione di cloroalcali.

Diversi studi (Mur e Coll., 1998; Kanal e Coll., 1993; Irgens e Coll., 1999) hanno esaminato anche gli effetti sulla riproduzione in lavoratori addetti alla produzione industriale d'alluminio o a procedure diagnostiche con apparati di risonanza magnetica, non mostrando comunque particolari livelli di rischio.

A tutt'oggi si hanno pochissime informazioni relative a possibili effetti di esposizioni croniche, sia in volontari che da studi su animali. L'unico studio effettuato su volontari ha escluso la presenza di effetti sui ritmi circadiani legati a una prolungata esposizione a campi di 150 mT. L'esposizione cronica di animali da laboratorio, fino a campi di 2 T, non ha mostrato alcun effetto riproducibile e statisticamente significativo sul peso corporeo, sulla formula ematica o sulle poche risposte immunologiche prese in esame.

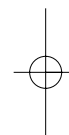
Gli esperimenti su animali hanno anche mostrato come sia altamente improbabile che esposizioni a campi fino a 1 T, per l'intera durata della gestazione, influenzino negativamente l'impianto e lo sviluppo dell'embrione e del feto (Kowalczyk e Coll., 1991; Tablado e Coll., 2000; High e Coll., 2000). Esposizioni della stessa entità non sembrano essere mutagene e, quindi, non danno luogo a effetti somatici o ereditari. La mancanza di mutagenicità suggerisce anche che queste esposizioni non siano in grado di iniziare il processo della cancerogenesi, ma questo non è stato a tutt'oggi confermato sperimentalmente. La progressione tumorale e, potenzialmente, la promozione non sembrano, tuttavia, influenzate

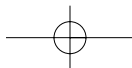




da esposizioni a campi magnetici statici fino a 1 T (Bellossi e Toujas, 1982; Bellossi, 1984, 1986).

In numerosi esperimenti, effettuati indipendentemente in diversi laboratori, è stato invece chiaramente dimostrato che campi d'induzione magnetica di moderata intensità, dell'ordine dei millitesla, possono influenzare *in vitro* lo svolgimento di alcuni tipi di reazioni chimiche. Alcuni autori ne hanno dedotto che, di conseguenza, negli esseri umani alcune reazioni del metabolismo cellulare potrebbero essere significativamente influenzate da una prolungata esposizione a bassi livelli di campo. Simili risultati potrebbero avere una rilevanza sanitaria, specialmente nel caso di esposizioni professionali, ma tutta la materia necessita di ulteriori e approfonditi studi.





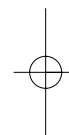
CAPITOLO 4

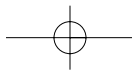
**EFFETTI BIOLOGICI E DI TIPO CANCEROGENO
IN VITRO A LIVELLO CELLULARE
DEI CAMPI MAGNETICI A 50/60 Hz***(P.G. Betta, S. Grilli)*

A partire dal lavoro pionieristico di Wertheimer e Leeper (1979), che evidenziò una mortalità fino a tre volte più elevata per neoplasie infantili in bambini residenti in abitazioni con impianti elettrici caratterizzati da elevate correnti, una pletera di studi sperimentali *in vitro* ha cercato di verificare se i campi elettrici e magnetici a frequenze estremamente basse (ELF) sono in grado di produrre effetti biologici rilevanti e connessi al processo di cancerogenesi. Questo capitolo non vuole essere una rassegna completa della copiosa attività di ricerca, ma si rivolgerà ad alcuni argomenti che hanno ricevuto più attenzione e includerà le conclusioni a cui, negli ultimi anni, sono pervenuti gruppi di lavoro operanti per enti e istituzioni di rilevanza internazionale, quali l'Istituto Nazionale della Salute e delle Scienze Ambientali (NIEHS) statunitense, l'Ente Nazionale Inglese per la Protezione Radiologica (NRPB) e l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS).

Occorre premettere che un effetto biologico è il cambiamento di un parametro fisiologico significativo che avviene in un sistema biologico, mentre un effetto tossicologico (avverso) si verifica quando l'organismo non riesce a compensare l'effetto biologico. Il confine non è sempre facilmente definibile. Gli effetti tossici sono acuti (per singole esposizioni a campi intensi) e cronici (per esposizioni a intensità di campi anche più limitate, ma per lungo periodo) con latenze, rispettivamente, brevi e lunghe.

Storicamente la valutazione di sostanze potenzialmente dannose per la salute umana si è basata sull'uso di sistemi sperimentali *in vitro* rigorosamente controllati. Nel tentativo di identificare possibili effetti biolesivi di una determinata sostanza, questi studi hanno tipicamente comportato l'esposizione iniziale delle cellule a una serie scalare di dosi della sostanza in esame, anche superiori a quelle di solito presenti nell'am-





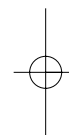
biente, e la successiva rilevazione di parametri cellulari capaci di rivelare eventuali alterazioni in processi quali il differenziamento, la proliferazione, l'espressione genica e la trasmissione dei segnali biologici. Questo approccio di tipo tossicologico è stato applicato anche allo studio dei campi ELF attraverso l'esposizione di cellule coltivate *in vitro* a determinate intensità e configurazioni di campi ELF. Poiché la conoscenza dei meccanismi d'azione dei campi ELF sui parametri biologici non è finora conclusiva, molta attenzione deve essere riservata all'ambito entro il quale i livelli sperimentali di esposizione ai campi ELF oscillano. L'extrapolazione alle intensità di campo più basse degli effetti biologici osservati *in vitro* può essere inappropriata, perché i campi ELF, a differenza di molte sostanze chimiche, possono avere differenti meccanismi di azione in rapporto a differenti livelli di intensità di campo e possibili soglie di esposizione.

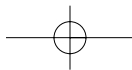
Gli studi finora pubblicati non tentano di dimostrare una diretta trasformazione delle cellule normali in cellule neoplastiche, ma tendono ad identificare possibili effetti su componenti e processi cellulari normali che, qualora compromessi o difettosi, potrebbero contribuire allo sviluppo del cancro. Gli effetti biologici possono essere di considerevole interesse scientifico, ma occorre cautela prima di concludere che sono promotori di modificazioni patologiche di tipo neoplastico.

Il gruppo di esperti riuniti dal NIEHS è giunto alle seguenti conclusioni, contenute nel Rapporto pubblicato nel maggio 1999 (NIEHS, 1999):

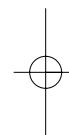
- *Un limitato numero di studi correttamente eseguiti fornisce una moderata evidenza di effetti meccanicisticamente plausibili da parte di $B > 0,1$ mT in vitro su parametri generalmente considerati capaci di riflettere l'azione di agenti tossici.*
- *Esiste una debole evidenza per un effetto a $B < 0,1$ mT.*

Sempre nel 1999, un Gruppo di Consulenza fu invitato dal NRPB a condurre una rassegna completa degli studi epidemiologici e sperimentali apparsi dopo il 1992, data di pubblicazione di un suo primo rapporto. I lavori di questo Gruppo di Consulenza hanno prodotto un documento (NRPB, 2001) nel quale, per quanto concerne l'evidenza prodotta dagli studi sperimentali in vitro, oltre a ribadire i summenzionati punti del rapporto NIEHS, si conclude che:



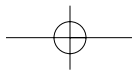


- *A livello cellulare non esiste una chiara evidenza che l'esposizione ai campi ELF, ad intensità che si possono incontrare nella normale vita quotidiana, possono interferire con i processi biologici. Gli studi sono spesso contraddittori e i risultati positivi mancano di riproducibilità interlaboratoristica. Non esiste una convincente evidenza che l'esposizione a questi campi sia direttamente genotossica, né trasformante le cellule in cultura per cui è improbabile che possa iniziare il processo di cancerogenesi.*
- *L'evidenza più allusiva a un effetto dell'esposizione ai campi ELF sui sistemi biologici proviene da tre differenti ambiti:*
 - *possibile incremento delle modificazioni genetiche causate da agenti genotossici noti;*
 - *effetti sui meccanismi di trasmissione di segnali intracellulari, in particolare il flusso di ioni calcio;*
 - *effetti sulla espressione di specifici geni.*
- *Quei risultati, a cui si attribuisce l'evidenza di un effetto positivo dell'esposizione ai campi ELF, tendono a mostrare soltanto modificazioni di piccola entità, le cui conseguenze biologiche non sono chiare.*
- *Molti degli effetti positivi segnalati risultano dall'esposizione a $B > 100$ mT, improbabile in ambito domestico, dove le esposizioni tipiche generalmente sono comprese tra 10 e 200 nanotesla (nT). Le sostanze cancerogene sono solitamente testate a dosi di gran lunga superiori a quelle di normale esposizione per dimostrare il loro potenziale oncogeno, e ciò è fatto muovendo dall'assunto di una relazione dose-risposta lineare senza soglia nell'ambito delle basse dosi. Tuttavia, questo assunto può non valere in presenza di agenti non genotossici e la valutazione del rischio è allora più utilmente focalizzata su livelli di esposizione realistici.*



Infine, nella recente monografia IARC (IARC, 2002) sui campi ELF, nella sezione dedicata agli effetti genetici e biologici si afferma che:

- *Alcuni studi sugli effetti genetici hanno riportato un'aumentata frequenza di aberrazioni cromosomiche e micronuclei nei linfociti di lavoratori esposti ai campi ELF. Questi studi sono però difficili da interpretare, considerando il ruolo confondente svolto da agenti geno-*



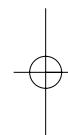
tossici (tabacco, solventi) e la difficoltà di confronto tra esposti e gruppi di controllo.

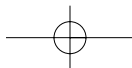
- *Molti studi hanno indagato gli effetti dei campi magnetici ELF su diversi parametri genetici. Sebbene un aumento delle rotture dei filamenti di DNA sia stato rilevato in cellule cerebrali di roditori esposti, questi risultati non sono conclusivi; la maggior parte degli studi non dimostra effetti in cellule di mammifero esposte solo a induzione magnetica < 50 mT. Tuttavia, secondo alcune indagini i campi magnetici ELF molto elevati hanno prodotto effetti genetici sfavorevoli. Inoltre, numerosi lavori hanno segnalato che i campi magnetici ELF rafforzano gli effetti di noti agenti genotossici quali le radiazioni ionizzanti.*
- *I risultati degli effetti sulla proliferazione e sulla trasformazione maligna delle cellule coltivate in vitro non sono univoci, ma alcuni studi suggeriscono che i campi magnetici ELF interferiscono con la proliferazione cellulare e modificano le risposte cellulari ad altre sostanze, quali la melatonina. Un incremento della apoptosi dopo esposizione di varie linee cellulari ai campi ELF è riferito in numerosi studi con differenti condizioni di esposizione. Numerosi studi hanno indagato gli effetti dei campi magnetici ELF su aspetti della biologia cellulare associati alla trasmissione intracellulare dei segnali, ma i risultati non sono univoci.*

Un'evidenza di effetti biologici cellulari meccanicisticamente plausibili è disponibile solo per campi d'induzione magnetica > 0,1 mT o per campi elettrici nell'organismo >1 mV/m. Ad oggi non esiste alcun meccanismo biofisico accettato capace di spiegare l'azione delle esposizioni ai campi ELF di intensità inferiore, comprese quelle esposizioni riportate "potenzialmente pericolose" dalle indagini epidemiologiche.

Genotossicità

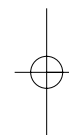
Rilevanti sforzi sono stati dedicati a verificare se l'azione dei campi ELF, analogamente ai tradizionali agenti cancerogeni ambientali, può danneggiare il DNA o indurre mutazioni. Si ritiene che l'energia associata ai campi ELF sia troppo bassa per causare un danno diretto al DNA; tuttavia potrebbero verificarsi effetti indiretti da parte dei campi

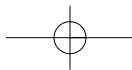




ELF, attraverso modificazioni dei processi intracellulari, che in seguito potrebbero sia condurre ad alterazioni della struttura del DNA (ad esempio, da produzione di radicali liberi), sia interferire con i meccanismi di riparazione del DNA o di replicazione e segregazione dei cromosomi. Numerose ricerche hanno esaminato l'azione dei campi ELF sul meccanismo di riparazione delle rotture dei filamenti di DNA causate da perossido di idrogeno o da radiazioni, ma senza evidenza di alcun effetto (IARC, 2002). Il quadro di eventuale danno al DNA resta controverso in quanto un recente studio di Robinson e Coll. (2002) ha rivelato una compromissione della capacità di riparazione del danno al DNA, peraltro solo in alcune linee cellulari (HL60 e HL60 R) e non in altre (Raji), dopo esposizione per 24 ore a campi magnetici sinusoidali (0,15 mT, 60 Hz), seguita dal trattamento con H₂O₂. A dati recenti negativi (Ansari e Hei, 2000; Harada e Coll., 2001) si contrappone il risultato di Ivanctis e Coll. (2002), i quali hanno dimostrato che l'applicazione di campi ELF sinusoidali (1 mT, 50 Hz) produce, contrariamente ai campi statici, un significativo aumento dei livelli di rottura dei filamenti di DNA, soprattutto dei doppi filamenti (DSB), in fibroblasti umani diploidi. L'incremento del danno ossidativo al DNA da campi ELF potrebbe essere attribuito alla diminuita concentrazione dell'antiossidante melatonina. La dimostrazione di questo effetto biologico però richiede ulteriori ricerche prima che questa evidenza *in vitro* possa essere estrapolata *in vivo*.

Le ricerche (IARC, 2002) hanno preso in esame potenziali effetti citogenetici dei campi ELF, utilizzando cellule umane isolate direttamente dal sangue periferico e dal liquido amniotico oppure linfociti e cellule leucemiche coltivate *in vitro*. Anche se gli studi sono stati molto eterogenei per modalità di esecuzione, non esiste per lo più evidenza di danno cromosomico (valutato sia direttamente sia attraverso la formazione dei micronuclei), anche da esposizione delle cellule a campi magnetici relativamente intensi. Un unico studio ha segnalato aberrazioni cromosomiche da campi magnetici pulsati; le esposizioni, tuttavia, erano nell'ambito di livelli che, secondo altre ricerche, non avevano effetti biologici. Uno studio più recente, citato in IARC (2002), suggerisce invece che differenti linee cellulari possano rispondere in modo diverso all'esposizione ai campi ELF: un significativo aumento nella frequenza dei micronuclei dopo esposizione continua per 48 e 72 ore a campi di 50



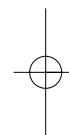


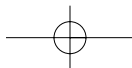
Hz, 0,8 mT e 1,0 mT è stato osservato in cellule di carcinoma squamoso umano, ma non in cellule di liquido amniotico.

Per quanto riguarda gli studi sulla possibile azione mutagena a livello genico dei campi ELF (IARC, 2002; McCann e Coll., 1998), ricerche con uso di batteri o di lieviti (Ager e Coll., 1992) non hanno evidenziato nessun danno mutageno da esposizione ai campi ELF a livelli < 1 mT. Tuttavia, a livelli più elevati (400 mT, 50 Hz), ben superiori alle intensità di campo ambientali, è stata osservata una aumentata mutagenicità in due linee cellulari (Miyakoshi e Coll., 1996, 1998).

Complessivamente, esiste però una considerevole variabilità nel disegno e nella esecuzione delle sperimentazioni, per cui non è finora disponibile alcuna evidenza conclusiva su un possibile effetto genotossico da esposizione ai campi ELF, anche se alcuni lavori suggeriscono che possano aumentare gli effetti genotossici delle radiazioni ionizzanti. Gli studi futuri dovrebbero quindi focalizzarsi sul verificare se l'esposizione contemporanea o sequenziale ai campi ELF incrementi l'effetto genotossico di noti agenti mutageni e cancerogeni. Controversa rimane, quindi, l'eventuale azione mutagena dei campi ELF.

L'ipotesi che i campi ELF possano svolgere azione oncogena attraverso effetti sul processo di trascrizione di parecchi geni coinvolti nel processo di cancerogenesi è stata stimolata da una larga serie di studi sulle cellule leucemiche umane (Goodman e Coll., 1989; IARC, 2002). L'esposizione ai campi ELF di elevata intensità, secondo le prime osservazioni, sembrava capace di aumentarne l'espressione. Questo effetto fu successivamente segnalato ad una intensità di campo propria dei livelli ambientali (Goodman e Coll., 1992) e in tre tipi di cellule umane (Gold e Coll., 1994; IARC, 2002). Poiché alcuni di questi geni possono avere un ruolo centrale nel controllo dello sviluppo del cancro, questi dati suscitavano grande interesse, ma non furono successivamente confermati (Desjobert e Coll., 1995; IARC, 2002; Morehouse e Owen, 2000; Owen, 1998). Zhou e Coll. (2002) hanno invece rilevato che l'esposizione a campi magnetici ELF (0,1 mT, 50 Hz) di cellule HL60 induce un'attivazione del legame al DNA del fattore di trascrizione CREB (cyclic-AMP responsive element binding protein), con formazione del complesso CREB-DNA poco dopo 10 minuti dall'esposizione, un picco dopo 1 ora e un ritorno alle condizioni originali dopo 4 ore: questi risul-





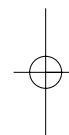
tati indicano che l'esposizione sperimentale a campi ELF attiva il legame CREB-DNA attraverso la via di trasduzione del segnale correlata agli ioni calcio (Ca^{++}).

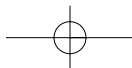
Anche l'effetto sulla trasmissione del segnale biologico (es. proteina chinasi C) è controverso, con dati positivi (Dibirdik e Coll., 1998; IARC, 2002) seguiti da dati opposti (Miller e Furniss, 1998).

L'ornitina decarbossilasi (ODC) è un enzima attivato durante il processo di cancerogenesi e un primo studio, citato in IARC (2002), riferì un aumento di attività in tre linee cellulari in risposta a campi elettrici sinusoidali a 60 Hz (10 mV/cm). Successive ricerche confermarono effetti dei campi magnetici ELF (100 μT) su ODC, sebbene le condizioni sperimentali (linee cellulari, intensità di campo, tempo di esposizione) variassero tra i laboratori (IARC, 2002).

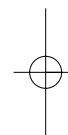
La proliferazione cellulare incontrollata è la caratteristica saliente del processo neoplastico e alcuni laboratori hanno indagato questo aspetto ai fini della valutazione *in vitro* degli effetti dei campi ELF. Modificazioni dell'attività proliferativa sono state osservate in numerosi studi, usando una varietà di condizioni di esposizione (campi di induzione magnetica da 1 a 5 mT) delle linee cellulari (IARC, 2002). Due studi (IARC, 2002; Snawder, 1999) non confermarono l'iniziale segnalazione di un'accresciuta crescita delle colonie per cellule esposte a campi magnetici a 60 Hz, sebbene lo studio di Snawder (1999) avesse usato un uguale protocollo sperimentale. Un altro studio, basato su diversi metodi di valutazione della proliferazione, riportò un'augmentata crescita per ambiti di esposizione da 50 a 100 Hz e da 100 a 700 μT (Katsie e Coll., 1998). All'opposto, uno studio più recente (Olsson e Coll., 2001) ha riportato che i campi magnetici ELF hanno un'azione non solo di stimolo, ma anche di inibizione, della crescita di cellule SPD8 di Hamster cinese V79, in rapporto alle condizioni delle cellule coinvolte.

Una correlazione positiva tra intensità dei campi elettrici e stadio di differenziazione cellulare fu osservata studiando le alterazioni nella produzione della matrice proteica (Fitzsimmons e Coll., 1986; IARC, 2002). Altri studi (Belyaev e Coll., 1998; Shcheglov e Coll., 2002) hanno dimostrato un'influenza dei campi ELF sulla comunicazione intercellulare di E. coli, causata da una reazione secondaria piuttosto che pri-





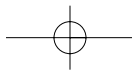
maria, coinvolgente alcuni composti instabili, quali i radicali. Un'azione inibitoria del 50-60% sulla comunicazione intercellulare a livello di "gap junction" (GJIC) è stata di recente osservata (Hu e Coll., 2001) nella linea cellulare NIH3T3 esposta a campi magnetici ELF (50 Hz, 0,8 mT, 24 hr), ai quali viene attribuita l'induzione di una iperfosforilazione della proteina connessina 43. Questa azione inibitoria, che appare altresì dose-dipendente, è stata confermata successivamente (Yamaguchi e Coll., 2002) anche a livello di linee cellulari di osteoblasti poco differenziati e di pre-osteoblasti durante la loro fase proliferativa di sviluppo. I dati sulle comunicazioni intercellulari inibite fanno ritenere che la possibile azione in senso oncogeno dei campi ELF sia da attribuire alla capacità promotiva - noti promotori inibiscono le GJIC - di questi agenti fisici. Relativamente a tali agenti non sono state ottenute prove convincenti della loro capacità di trasformare in vitro linee cellulari in senso neoplastico (Grilli, 1997; IARC, 2002); la trasformazione cellulare in vitro, rilevabile con metodiche altamente standardizzate e predittive della cancerogenicità nell'animale, è fenomeno analogo alla cancerogenesi multifasica in vivo.



Meccanismi d'azione

Vari meccanismi sono stati proposti per spiegare gli effetti dei campi ELF sui sistemi biologici. Alcune teorie interpretano gli effetti dei campi ELF sulle reazioni chimiche in termini di risonanza di ciclotrone, che dipende dalle complesse interazioni tra campi magnetici statici ed oscillanti. Il supporto sperimentale a queste teorie è tuttavia limitato e la validità delle loro premesse è messa in discussione. Modificazioni del trasferimento di elettroni da una molecola all'altra, quale possibile meccanismo teorico per gli effetti dei campi ELF, fanno parte di una teoria difficilmente accettabile.

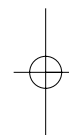
I processi biochimici e biomeccanici sono generalmente dinamici. È stato suggerito da studi sia teorici che biologici che i campi ELF, piuttosto che provocare modificazioni di stato del sistema, possano indurre modificazioni della frequenza degli eventi che innescano altri processi, specialmente per gli effetti sulle sostanze chimiche che oscillano all'interno delle cellule e tra le cellule e il loro ambiente. E' tuttora oggetto di

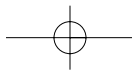


Effetti biologici e di tipo cancerogeno in vitro a livello cellulare dei campi magnetici a 50/60 Hz _____ 55

discussione se questo fenomeno è valido per le esposizioni ai campi ELF generalmente presenti nell'ambiente.

In conclusione, al momento attuale, non esiste ancora un meccanismo di azione ben documentato e credibile per spiegare effetti di incremento dell'azione di promozione determinata da altri fattori cancerogeni (co-promozione).





CAPITOLO 5

RELAZIONI DOSE-RISPOSTA IN ANIMALI ESPOSTI A CAMPI MAGNETICI A 50/60 Hz

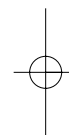
(G. A. Zapponi)

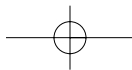
I numerosi studi su roditori effettuati negli ultimi anni con esposizione a campi magnetici a frequenza di rete hanno portato a risultati variabili, tra i quali alcuni positivi. Ad esempio, alcuni esperimenti su ratto, basati su un disegno sperimentale con iniziazione (per azione di cancerogeno chimico iniziatore) e promozione (esposizione a campi magnetici) (Benjiashvili e Coll., 1991; Mevissen e Coll., 1993; Loescher e Coll., 1993; Loescher e Mevissen, 1995) hanno indicato un incremento dei tumori mammari. Un'associazione tra incidenza di tumori della mammella ed esposizione professionale a campi magnetici è stata peraltro anche suggerita da alcuni studi epidemiologici (Matanoski e Coll., 1991; Stevens, 1993; Coogan e Coll., 1996), anche se non confermati da lavori successivi della stessa Matanoski.

Studi di "iniziazione-promozione" su topo hanno indicato un incremento di tumori della pelle negli animali trattati con campi magnetici rispetto al controllo (identici trattamenti chimici, assenza di campi magnetici), con qualche variabilità dei risultati (McLean e Coll., 1991; 1995; 1997). Uno studio su topi SENCAR già pre-trattati con cancerogeno chimico iniziatore (DMBA) ha messo in evidenza un trend statisticamente significativo del numero di tumori per animale in rapporto all'esposizione a campi magnetici a 50 Hz intermittenti (Rannug e Coll., 1994).

Un incremento di leucemia (l'effetto per il quale esistono dati epidemiologici consistenti), sia pure non statisticamente significativo, è stato rilevato da Rannug e Coll. (1993) nel gruppo sperimentale di topi trattati con 0,5 mT rispetto al controllo (8/30 rispetto a 4/30).

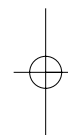
McCann e Coll. (1997), a seguito di un approfondito esame congiunto di 19 studi sperimentali, inclusi quelli degli Autori citati, osservano che la maggior parte di essi ha fornito risultati negativi. Gli stessi Auto-

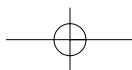




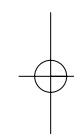
ri rilevano peraltro che deboli risultati positivi o risultati 'equivoci' sono stati comunque ottenuti con vari sistemi sperimentali, i quali suggeriscono che i campi magnetici a bassi livelli possono stimolare gli stadi finali del processo di cancerogenesi (in particolare i risultati positivi ottenuti in sistemi sperimentali di cancerogenesi mammaria e dermica). A considerazioni simili giunge anche la IARC (2002), che classifica come "inadeguata" l'evidenza di cancerogenicità sulla base degli studi disponibili su animali sperimentali. La IARC riporta in una tabella riassuntiva i risultati statisticamente significativi ($p < 0,05$) ottenuti con esperimenti su roditori della durata di uno - due anni. Nell'analisi relativa allo studio dell'US National Toxicology Program (NTP, 1999), la IARC cita incrementi significativi nel ratto maschio per il carcinoma della ghiandola prepuziale (esposizione a 200 μT), del tricoepitelioma della pelle (1000 μT), dei tumori delle cellule C della tiroide (2 μT e 200 μT), del carcinoma delle cellule C della tiroide (2 μT) insieme ad un decremento significativo delle leucemia (ratti maschi) e dell'adenoma della corteccia surrenale (ratti femmine) per esposizione a campi magnetici intermittenti (1000 μT), e per quanto concerne i topi, un decremento significativo di tumori polmonari (maschi e femmine) e dei tumori maligni in tutti gli organi (200 e 1000 μT), mentre nei maschi è osservato per gli stessi un limitato incremento non significativo (l'insieme dei dati cumulati dei topi maschi e femmine non indica variazioni significative). Dalla stessa analisi risulta che l'esperimento del NTP è attualmente quello che ha portato all'identificazione di un considerevole numero di incrementi positivi. Di conseguenza questo studio è di seguito esaminato in maggior dettaglio.

Nelle sue conclusioni, l'NTP sottolinea un'evidenza equivoca ("equivocal evidence") di attività cancerogena dei campi elettrici a 60 Hz nei ratti maschi F344/N sulla base di un incremento dell'incidenza di neoplasmi delle cellule C della tiroide, ed assenza di evidenza di attività cancerogena nei ratti F344/N femmina o nei topi B6C3F1 di entrambi i sessi, esposti a 0, 2, 200 e 1000 μT . Commentando questi dati, l'NTP sottolinea anche l'assenza di un trend tra l'incidenza dei tumori della tiroide nel ratto maschio e l'intensità del campo magnetico (l'incidenza più elevata, con incremento altamente significativo rispetto al controllo, è stata osservata nel gruppo sperimentale trattato a 2 μT e nel contempo



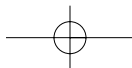


non è emerso alcun incremento statisticamente significativo all'esposizione più elevata di trattamento, 1000 μ T). Ancora, l'NTP osserva che nello stesso gruppo sperimentale (ratti maschi) l'effetto cancerogeno sulle cellule C della tiroide non appare supportato da una correlata evidenza di un incremento di iperplasia delle stesse cellule, in linea di principio prevedibile, poiché gli agenti che causano neoplasie incrementano anche le lesioni pre-neoplastiche (nei ratti maschi l'incidenza di iperplasia delle cellule C della tiroide è risultata più elevata nel gruppo di controllo). Un ulteriore commento è che non è improbabile che alla variabilità tra le incidenze nei gruppi di trattamento possano aver contribuito incertezze diagnostiche, in quanto piccole lesioni focali possono essere diagnosticate come iperplasia delle cellule C, mentre lesioni più grandi possono essere diagnosticate come adenomi e, infine, lesioni invasive come carcinomi delle stesse cellule. Infine, l'NTP riporta che le cellule C sono un sito in cui una risposta cancerogena è poco frequente e che questo effetto non è avvalorato da altri studi e, inoltre, che a causa dell'elevato numero di siti considerati (circa 40) e dell'elevato numero di animali (2 specie con i 2 sessi e 100 animali per ogni gruppo) non possa essere scartata l'ipotesi di un risultato dovuto a fluttuazione statistica (NTP, 1999, pag. 49-50).



Per quanto concerne altre tipologie di tumori, è comunque da osservare che, oltre al significativo incremento di incidenza del tricoepitelioma nel ratto maschio (citato anche dalla IARC), il National Toxicology Program riporta anche (NTP, 1999, Tabella A2) una relazione dose-risposta statisticamente significativa per il tricoepitelioma ($p = 0,002$), per il tricoepitelioma o l'adenoma delle cellule basali, considerati insieme ($p = 0,008$), e, infine per il tricoepitelioma, l'adenoma delle cellule basali, il cheratoacantoma, o il carcinoma delle cellule squamose, considerati insieme ($p = 0,018$). E' anche riportato un incremento statisticamente significativo del carcinoma della ghiandola prepuziale (ghiandola di Tyson) nei ratti maschi trattati a 200 μ T, con assenza di risposta agli altri livelli.

Infine, nella Tabella C2 (NTP, 1999) è riportata la valutazione statistica di una relazione dose-risposta che, per gli adenomi della corteccia surrenale nel topo maschio, risulta statisticamente significativa ($p = 0,032$).



Nei ratti femmine (NTP, 1999, Tabella B2) non sono osservate relazioni dose-risposta statisticamente significative. L'incremento di risposta con livello di significatività più elevato rispetto al controllo è relativo al carcinoma mammario per il gruppo esposto a 2 μT ($p = 0,098$).

L'NTP presenta anche un'ampia serie di dati relativi ad effetti non neoplastici, che aggiungono informazioni di notevole interesse. Nell'analisi che segue si è ritenuto di esaminare congiuntamente gli effetti neoplastici e non neoplastici, quantomeno per quegli organi o tessuti per i quali l'NTP indica risposte significative a carattere neoplastico.

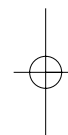
I metodi statistici utilizzati nella rianalisi dello studio dell'NTP sono stati, per la valutazione della significatività delle relazioni dose-risposta, il test di Mantel-Haenszel (Mantel, 1963; Haseman, 1984), citato anche dalla IARC e, per l'analisi di significatività delle differenze tra gruppi, i classici test per le frequenze, il test "Esatto" di Fisher, in particolare per numero di casi pari o inferiore a 5 o, altrimenti, il test del Chi-Quadro (a due code).

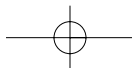
L'analisi dose-risposta è stata anche effettuata per i primi tre livelli di esposizione, più vicini alle condizioni reali dell'esposizione di popolazioni umane, trascurando quello più elevato.

La stima di esposizioni di riferimento (*benchmark doses*) è stata effettuata utilizzando il modello *multistage*.

Sono di seguito riportate le tabelle riassuntive dei risultati dello studio dell'NTP. In particolare:

- La colonna "Esposizione" riporta i livelli con cui i diversi gruppi sperimentali sono stati trattati (espressi in microtesla).
- La colonna "Risposta" riporta il numero di animali per cui è stato evidenziato l'effetto in questione, in rapporto al numero di animali esaminati per tale effetto e in relazione allo specifico livello di esposizione.
- Le indicazioni "p=..." a fianco delle risposte alle relative esposizioni specificano il livello di significatività statistica del confronto di tali risposte con quella del gruppo di controllo (non trattato, "0 μT ").
- L'indicazione "Trend: p=..." si riferisce al livello di significatività statistica dell'andamento della relazione dose-risposta (trend). Tra parentesi è indicato, per maggiore informazione, il livello di significatività statistica del trend limitatamente ai primi tre livelli di trattamento (0 μT , 2 μT e 200 μT , omettendo il livello più elevato, 1000 μT).





- I dati in neretto sono quelli per cui il livello di significatività statistica (per il confronto con il controllo o il trend) è più elevato o confrontabile con quello standard ($p \leq 0,05$).
- I livelli di significatività indicati “in corsivo” sono quelli presentati dall’NTP mentre gli altri sono quelli stimati nel presente studio.

Effetti neoplastici e non neoplastici nel sistema endocrino dei ratti

ADENOMI O CARCINOMI DELLE CELLULE C DELLA TIROIDE

Maschi			Femmine		
Esposizione	Risposta		Esposizione	Risposta	
0 μT	16/99		0 μT	19/100	
2 μT	31/100 (<i>$p = 0,005$</i>)		2 μT	22/100	(<i>$p = 0,422$</i>)
200 μT	30/100 (<i>$p = 0,009$</i>)		200 μT	22/100	(<i>$p = 0,401$</i>)
1000 μT	25/100 (<i>$p = 0,055$</i>)		1000 μT	23/100	(<i>$p = 0,283$</i>)
Trend: <i>$p = 0,438$</i>			Trend: <i>$p = 0,305$</i>		
(Prime 3 dosi: <i>$p = 0,089$</i>)					

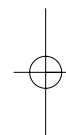
Esiste un incremento dell’incidenza anche per i ratti femmine, sebbene non significativo. Cumulando i dati dei ratti maschi e femmine permane la significatività rilevata nei maschi.

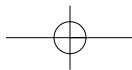
ADENOMI O CARCINOMI DELLE CELLULE C DELLA TIROIDE

Maschi e Femmine

Esposizione	Risposta
0 μT	35/199
2 μT	53/200 (<i>$p \cong 0,040$</i>)
200 μT	52/200 (<i>$p \cong 0,052$</i>)
1000 μT	48/200 (<i>$p \cong 0,14$</i>)
Trend: non significativo (n.s.)	

Tenendo presente quanto riportato dall’NTP sul rilievo da dare alle iperplasie rilevate negli stessi tessuti e, in particolare, l’osservazione che l’iperplasia diffusa e focale possono progredire a neoplasia e, inoltre, che i criteri di separazione tra iperplasia e neoplasia hanno carattere soggettivo (NTP, 1999, pag. 34), è stata qui analizzata la relazione dose-risposta per le iperplasie focali nei ratti femmine.





Questa analisi ha messo in evidenza incrementi altamente significativi dell'incidenza di iperplasie, alle stesse esposizioni a cui risultano incrementi di carcinomi o adenomi nei ratti maschi.

ADENOMI E CARCINOMI CELLULE C
DELLA TIROIDE

Maschi

<i>Esposizione</i>	<i>Risposta</i>
0 μT	16/99
2 μT	31/100 ($p = 0,005$)
200 μT	30/100 ($p = 0,009$)
1000 μT	25/100
Trend:	$p = 0,438$
(Prime 3 dosi)	$p = 0,089$

IPERPLASIA FOCALE CELLULE C
DELLA TIROIDE

Femmine

<i>Esposizione</i>	<i>Risposta</i>
0 μT	20/100
2 μT	39/99 ($p < 0,005$)
200 μT	52/98 ($p < 0,001$)
1000 μT	24/98
Trend:	n.s.
(Prime 3 dosi)	$p < 0,001$

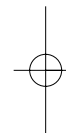
In sostanza, laddove non è osservato un incremento di tumori delle cellule C della tiroide, è osservato un incremento di iperplasie delle stesse cellule e viceversa. Si ritiene che questo risultato sia di notevole interesse e suggerisca che non sia possibile affermare che gli effetti sui ratti femmine siano del tutto negativi.

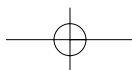
CISTI ULTIMOBRANCHIALE DELLA TIROIDE

<i>Esposizione</i>	<i>Risposta</i>		
	Maschi	Femmine	Totale
0 μT	1/99	2/100	3/199
2 μT	1/100	4/100	5/200
200 μT	4/100	7/100	11/200 ($p = 0,027$)
1000 μT	7/100 ($p \cong 0,033$)	3/100	10/200 ($p = 0,05$)
Trend:	$p = 0,004$	n.s.	$p = 0,056$
(Prime 3 dosi)	$p = 0,055$	$p = 0,055$	$p = 0,011$

CISTI DELLA PARS DISTALIS DELL' IPOFISI

<i>Esposizione</i>	<i>Risposta</i>		
	Maschi	Femmine	Totale
0 μT	8/98	21/99	29/198
2 μT	6/95	21/99	27/194
200 μT	6/97	19/98	25/195
1000 μT	16/100 ($p \cong 0,075$)	28/98	44/198 ($p = 0,07$)
Trend:	$p = 0,005$	$p = 0,063$	$p = 0,004$





ANGIECTASIA FOCALE DELLA PARS DISTALIS DELL' IPOFISI

<i>Esposizione</i>	<i>Risposta</i>		
	Maschi	Femmine	Totale
0 μT	3/98	1/100	4/198
2 μT	2/95	9/99 (p \cong 0,01)	11/194 (p = 0,055)
200 μT	4/97	5/98	9/195
1000 μT	2/100	3/98	5/188
Trend:	n.s.	n.s.	n.s.

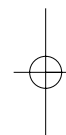
PROLIFERAZIONE DELLE CELLULE EMATOPOIETICHE DELLA CORTECCIA SURRENALE

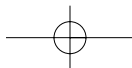
<i>Esposizione</i>	<i>Risposta</i>		
	Maschi	Femmine	Totale
0 μT	1/99	0/100	1/199
2 μT	4/100	1/100	5/200
200 μT	3/100	2/100	5/200
1000 μT	2/100	4/100	6/200 (p = 0,061)
Trend:	n.s.	p = 0,02	n.s.

IPERPLASIA FOCALE DELLA CORTECCIA SURRENALE

<i>Esposizione</i>	<i>Risposta</i>		
	Maschi	Femmine	Totale
0 μT	11/99	11/100	22/199
2 μT	15/100	23/100 (p \cong 0,038)	38/200 (p = 0,036)
200 μT	9/100	12/100	21/200
1000 μT	11/100	8/100	18/200
Trend:	n.s.	n.s.	n.s.

Questi dati indicano “esposizioni con effetto” (Lowest Observed Adverse Effect Levels - LOAEL o Lowest Observed Effect Levels - LOEL, in rapporto all’assumere o meno gli effetti come “avversi”) dell’ordine di 2 μT e 200 μT (ovvero allo stesso livello al quale l’esperimento ha indicato un incremento di adenomi o carcinomi delle cellule C).





Effetti neoplastici rilevati nel sistema endocrino dei topi

Per quanto concerne la sperimentazione sui topi, l'NTP riporta una relazione dose-risposta per effetti neoplastici significativa nei maschi, relativamente agli adenomi della corteccia surrenale (per quanto concerne i topi femmine, è riportata unicamente un'incidenza di 2 su 99 per gli adenomi della capsula).

ADENOMA DELLA CORTECCIA SURRENALE

Esposizione	Risposta		
	Maschi	Femmine	Totale
0 μ T	3/99	0/92	3/191
2 μ T	0/96	0/98	0/194
200 μ T	1/99	2/99	3/192
1000 μ T	5/94	0/99	5/193
Trend:	$p = 0,032$	n.s.	$p = 0,046$

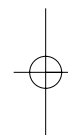
Può essere utile citare una relazione dose-risposta per gli adenomi delle isolette pancreatiche che mostra nei topi femmina un sensibile incremento d'incidenza all'esposizione di 200 μ T; si osserva che, mentre la relazione dose-risposta per i topi femmine non è significativa sulle 4 dosi, essa diventa tuttavia altamente significativa se si considerano solo le prime 3 dosi:

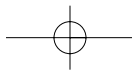
ADENOMA DELLE ISOLETTE PANCREATICHE

Esposizione	Risposta		
	Maschi	Femmine	Totale
0 μ T	1/99	2/87	3/186
2 μ T	3/99	0/95	3/194
200 μ T	1/98	7/94 ($p = 0.101$)	8/192
1000 μ T	0/97	2/94	2/191
Trend:	n.s.	n.s.	n.s.
	(Prime 3 dosi: $p < 0,005$)	(Prime 3 dosi: $p = 0,03$)	

Effetti neoplastici e non neoplastici nel sistema tegumentario e nella ghiandola mammaria dei ratti

I dati dell'NTP sul sistema tegumentario e relativi ai ratti maschi includono, per gli effetti neoplastici, una relazione dose-risposta statistica-





mente significativa per il tricoepitelioma (nell'ambito dei tumori della pelle). Nei ratti femmine è unicamente osservata un'incidenza di 2 su 100 per l'esposizione a 200 μT . Unendo i dati relativi ai due sessi, la relazione dose-risposta resta altamente significativa.

TRICOEPITELIOMA

Esposizione	Risposta		
	Maschi	Femmine	Totale
0 μT	0/100	0/100	0/200
2 μT	1/100	0/100	1/200
200 μT	0/100	2/100	2/200
1000 μT	5/100 ($p = 0,029$)	0/100	5/200 ($p = 0,03$)
Trend:	$p = 0,002$	n.s.	$p = 0,005$

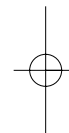
L'NTP riporta inoltre una relazione dose-risposta altamente significativa per i ratti maschi per l'insieme di papilloma delle cellule squamose, cheratoacantoma, tricoepitelioma, adenoma a cellule basali o carcinoma delle cellule squamose.

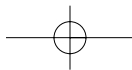
PAPILLOMI DELLE CELLULE SQUAMOSE, CHEROTOACANTOMA, TRICOEPITELIOMA, ADENOMA A CELLULE BASALI O CARCINOMA DELLE CELLULE SQUAMOSE

Esposizione	Risposta		
	Maschi	Femmine	Totale
0 μT	14/100	1/100	15/200
2 μT	8/100	2/100	10/200
200 μT	14/100	6/100 ($p = 0,064$)	20/200
1000 μT	20/100	1/100	21/200
Trend:	$p = 0,018$	n.s.	$p = 0,05$
	(Prime 3 dosi: $p = 0,016$)	(Prime 3 dosi: $p = 0,052$)	

Si può osservare che la relazione dose-risposta risulta significativa anche per i ratti femmine, se si considerano solo i primi 3 livelli di esposizione. Unendo i dati relativi ai due sessi, la significatività statistica decresce, pur restando prossima al livello del 5%.

Per quanto concerne gli effetti non neoplastici inclusi in questa categoria, è identificabile una relazione dose-risposta statisticamente significativa, di possibile interesse, relativa alle cisti della ghiandola mammaria.





CISTI DELLA GHIANDOLA MAMMARIA

Femmine

<i>Esposizione</i>	<i>Risposta</i>
0 μT	47/100
2 μT	54/100
200 μT	56/100
1000 μT	61/100 ($p \cong 0,07$)
Trend:	p = 0,049

Questi dati suggeriscono un qualche effetto non neoplastico sulla ghiandola mammaria, organo per il quale è stato osservato un effetto cancerogeno in alcuni studi.

I dati relativi ai topi indicano un'incidenza di 1/99 e 2/99 per gli adenomi della ghiandola mammaria nelle femmine alle due esposizioni più alte, a fronte di assenza di risposta nel controllo e nel gruppo con esposizione più bassa. Sempre nei topi femmine, l'incidenza di iperplasia della ghiandola mammaria è 3/94, 3/98, 5/99 e 2/99 per i quattro livelli d'esposizione.

Effetti neoplastici e non neoplastici nel sistema genitale dei ratti

Nei ratti maschi risulta un incremento significativo del carcinoma della ghiandola prepuziale solo per 200 μT con assenza di risposta alle altre esposizioni.

SISTEMA GENITALE, CARCINOMA DELLA GHIANDOLA PREPUZIALE

Maschi

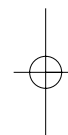
<i>Esposizione</i>	<i>Risposta</i>
0 μT	0/100
2 μT	0/100
200 μT	5/100 ($p = 0,032$)
1000 μT	0/100
Trend:	n.s.

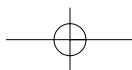
Per lo stesso organo, l'unico effetto non neoplastico con qualche significatività statistica è l'infiammazione cronica.

SISTEMA GENITALE, INFIAMMAZIONE CRONICA DELLA GHIANDOLA PREPUZIALE

Maschi

<i>Esposizione</i>	<i>Risposta</i>
0 μT	18/100
2 μT	19/100
200 μT	25/100
1000 μT	31/100 ($p = 0,049$)
Trend:	p = 0,01





Effetti neoplastici e non neoplastici nel sistema ematopoietico

Per gli effetti sul sistema ematopoietico i dati dell'NTP non includono relazioni dose-risposta significative per effetti neoplastici, sia per i ratti che per i topi.

Per quanto concerne gli effetti non neoplastici e, in particolare, l'iperplasia e la proliferazione cellulare, esistono alcuni risultati significativi, di seguito presentati. E' da notare che in tre tipi di patologie su quattro i maggiori incrementi d'incidenza degli effetti si hanno per i livelli intermedi di trattamento (2 e 200 μT).

IPERPLASIA DELLE CELLULE EPITELIALI DEL TIMO NEI RATTI

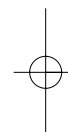
Esposizione	Risposta		
	Maschi	Femmine	Totale
0 μT	2/97	3/95	5/192
2 μT	3/94	1/95	4/189
200 μT	3/95	3/92	6/187
1000 μT	6/90	4/91	10/181
Trend:	$p \cong 0,045$	n.s.	$p = 0,026$

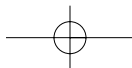
IPERPLASIA DEI LINFONODI MESENERICI NEI TOPI

Esposizione	Risposta		
	Maschi	Femmine	Totale
0 μT	0/87	5/83	5/170
2 μT	7/90 ($p = 0,008$)	8/88	15/178 ($p = 0,049$)
200 μT	5/96 ($p = 0,038$)	17/89 ($p = 0,019$)	22/185 ($p = 0,003$)
1000 μT	1/85	8/91	9/176
Trend:	n.s.	n.s.	n.s.
	(Prime 3 dosi: $p = 0,003$)	(Prime 3 dosi: $p = 0,006$)	

PROLIFERAZIONE DI CELLULE EMATOPOIETICHE DELLA MILZA NEI TOPI

Esposizione	Risposta		
	Maschi	Femmine	Totale
0 μT	37/99	74/91	111/190
2 μT	43/98	77/93	120/191
200 μT	52/98 ($p = 0,039$)	87/95 ($p = 0,066$)	139/193 ($p < 0,01$)
1000 μT	36/93	83/93	119/186
Trend:	n.s.	n.s.	n.s.
(Prime 3 dosi: $p = 0,033$)	(Prime 3 dosi: $p = 0,017$)	(Prime 3 dosi: $p < 0,01$)	





ATROFIA DEI LINFONODI MESENERICI NEI TOPI

<i>Esposizione</i>	<i>Risposta</i>		
	Maschi	Femmine	Totale
0 μ T	6/87	12/83	18/170
2 μ T	12/90	10/88	22/178
200 μT	14/96	24/89 (p = 0,068)	38/185 (p = 0,015)
1000 μ T	7/85	21/92	28/177
Trend:	n.s.	n.s. n.s.	
(Prime 3 dosi: p = 0,0025)		(Prime 3 dosi: p = 0,0025)	

I dati relativi all'incidenza di leucemia mononucleare indicano per il ratto maschio incidenze elevate per tutte le esposizioni (dell'ordine del 50%) senza differenze tra i vari trattamenti. I dati relativi ai ratti femmina indicano un'incidenza del 20% nel gruppo di controllo, che aumenta sino a 25% per il livello di trattamento più elevato, con un trend crescente in modo sostanzialmente lineare. Per la leucemia granulocitica è indicato dal NTP un solo caso, per l'esposizione più elevata. Questo singolo caso è stato di seguito considerato insieme ai dati relativi alla leucemia mononucleare (con lieve incremento della significatività del trend).

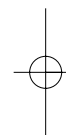
LEUCEMIA MONONUCLEARE
NEI RATTI

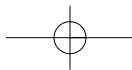
Femmine	
<i>Esposizione</i>	<i>Risposta</i>
0 μ T	20/100
2 μ T	18/100
200 μ T	24/100
1000 μ T	25/100
Trend:	p = 0,121

LEUCEMIA MONONUCLEARE E MIELOIDE
NEI RATTI

Femmine	
<i>Esposizione</i>	<i>Risposta</i>
0 μ T	20/100
2 μ T	18/100
200 μ T	24/100
1000 μ T	26/100
Trend:	p = 0,10

A titolo puramente indicativo, si può osservare che il livello di esposizione associabile a un incremento di risposta dell'1% ("Benchmark Dose" 1%) risulta dell'ordine di 137 μ T (limite inferiore dell'intervallo di confidenza al 95% pari a 53 μ T), sulla base di una stima basata su un semplice modello "Multistage Lineare" [P(d) = 1 - exp (- 0,224 - 7,27 10⁻⁵ x d)], che risulta appropriato sulla base della "maximum likelihood".





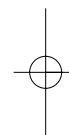
Al fine di un'analisi parallela a quella presentata per i dati del NTP, è di seguito presentata la relazione dose-risposta dell'esperimento di Ran-nug e Coll. (1993) su topi femmina (NMRI/HAN), relativa a linfosarcoma timico e non timico e linfoma composito, ottenuta per esposizione al solvente e ai campi magnetici (tralasciando i dati ottenuti anche con uso di cancerogeno iniziatore e, quindi, non confrontabili).

Gli Autori concludono che i loro dati non rivelano una differenza significativa tra i controlli e i gruppi trattati con campi elettromagnetici; pur con questo limite, essi citano espressamente un incremento, statisticamente non significativo, della frequenza di lesioni neoplastiche ematopoietiche (indicate complessivamente come leucemia) osservata nel gruppo esposto ad acetone e campi magnetici, pari a 8/30 per 500 μ T di esposizione, rispetto a quanto osservato nel gruppo trattato con il solo acetone (controllo) (4/30).

LESIONI NEOPLASTICHE EMATOPOIETICHE (LINFOSARCOMA TIMICO E NON TIMICO E LINFOMA COMPOSTO) NEI TOPI

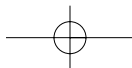
Femmine

<i>Esposizione</i>	<i>Risposta</i>
Acetone	4/30
Acetone + 50 μ T	0/30
Acetone + 500 μ T	8/30



L'analisi statistica indica un trend statisticamente significativo; può tuttavia permanere qualche dubbio su questo risultato statistico, a causa della limitatezza dei dati.

A titolo puramente indicativo si può osservare che il livello di esposizione associabile a un incremento di risposta dell'1% risulta dell'ordine di 103 μ T (limite inferiore dell'intervallo di confidenza al 95% pari a 74 μ T), sulla base di una stima basata su un semplice modello "Multi-stage Quadratico" [$P(d) = 1 - \exp(-0,069 - 9,49 \cdot 10^{-7} \times d^2)$], più appropriato sulla base della "maximum likelihood". Un modello "Multistage Lineare" [$P(d) = 1 - \exp(-0,073 - 4,1 \cdot 10^{-4} \times d)$] porta invece a stimare un'esposizione dell'ordine di 24 μ T (limite inferiore di confidenza 95% pari a 12 μ T).

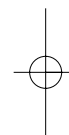


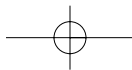
Pur nei limiti intrinseci di una valutazione come questa, si può osservare che il livello di esposizione associato a un incremento di rischio dell'1% e il relativo limite inferiore dell'intervallo di confidenza al 95% sono dello stesso ordine di grandezza di quelli corrispondenti ai dati del NTP per le leucemie nei ratti femmine.

Criteria di estrapolazione dall'animale da esperimento all'uomo

Se gli effetti biologici dei campi magnetici a bassa frequenza sono da attribuirsi alla corrente indotta nei tessuti coinvolti, piuttosto che ai campi stessi, il fattore di conversione tra ratto e uomo risulta dell'ordine di 5 - 7 (Dan Bracken, 1992; Loescher e Mevissen, 1994). Ad esempio, Loescher e Mevissen (1995) riportano che in tal caso un'esposizione per il ratto a 100 μT corrisponderebbe a un'esposizione per l'uomo dell'ordine di 10 - 20 μT . L'NTP assume un analogo criterio e specifica che, poiché il volume e la forma del corpo determinano in esso a parità di condizioni la densità di corrente, le esposizioni dei roditori debbono essere incrementate per ottenere livelli di densità di corrente confrontabili con quelle corrispondenti nell'uomo e che, di conseguenza, la più bassa intensità di campo impiegata nello studio (0,02 G, ovvero 2 μT) induce nei roditori un'esposizione che può essere considerata non di molto più elevata dell'esposizione residenziale umana.

In conclusione, la considerazione congiunta dei dati relativi agli effetti neoplastici e non neoplastici rilevati dall'NTP indica che l'incremento degli adenomi e dei carcinomi delle cellule C della tiroide nei ratti maschi, altamente significativo ai livelli intermedi di trattamento (2 μT e 200 μT , ovvero, 0,02 G e 2 G, con significatività pari a $p = 0,005$ e $p = 0,009$), si accompagna nei ratti femmine a un parallelo incremento, anch'esso altamente significativo ($p < 0,005$ e $p < 0,001$, stima effettuata nel presente studio) dell'iperplasia nelle stesse cellule per gli stessi livelli di esposizione. Considerando che lo stesso NTP osserva che le lesioni possono progredire da iperplasia diffusa e focale a neoplasia e che i criteri di separazione tra queste due lesioni hanno carattere soggettivo (NTP, 1999, pag. 34), questo aspetto merita una dovuta attenzione. E' anche da osservare che per i ratti femmine l'NTP presenta una relazione dose-risposta leggermente crescente e tale che, cumulata a quella



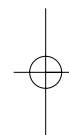


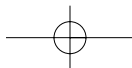
dei ratti maschi, porta a una relazione dose-risposta complessiva nella quale permangono gli incrementi statisticamente significativi rilevati nei maschi alle due esposizioni intermedie.

Sempre per quanto concerne il sistema endocrino, l’NTP riporta una relazione dose-risposta significativa ($p = 0,032$) per gli adenomi della corteccia surrenale nel topo (NTP, 1999, pag. 108). Considerando insieme i dati dei topi dei due sessi (nel caso dei topi femmine l’unica risposta non nulla è 2/99 per 200 μT), la relazione dose-risposta complessiva risulta ancora significativa ($p = 0,046$, stima effettuata nel presente studio).

I dati dell’NTP includono anche relazioni dose-risposta, che lo stesso ente valuta statisticamente significative, relative a tumori della pelle nei ratti maschi (tricoepitelioma e un insieme di 5 categorie di tumori, includenti anche il tricoepitelioma) (NTP, 1999, pag. 71). Questi risultati sono qui considerati importanti, in quanto attestano effetti neoplastici significativi nell’ambito dei tumori della pelle (sistema tegumentario), per i quali altri Autori (ad esempio, McLean e Coll., 1991; 1995; Rannug e Coll., 1994) hanno ottenuto risultati positivi in studi di promozione tumorale, come anche citato dall’NTP (1999, pag. 15).

Per quanto concerne la leucemia (mononucleare o mieloide) la relazione dose-risposta nel ratto femmina è caratterizzata da una limitata significatività ($p = 0,10$), con un andamento sostanzialmente lineare e un incremento del 6% nel passare da 0 a 1000 μT . Da questi dati, come sopra discusso, si può stimare in 137 μT il livello di esposizione (con un limite inferiore dell’intervallo di confidenza al 95% di 53 μT) associabile a un incremento di rischio dell’1% per gli animali sperimentali. Utilizzando i criteri di “default” proposti dall’EPA (1996), questa esposizione può costituire il punto di partenza per un’extrapolazione a basse dosi. Sulla base di una semplice proporzione, ne consegue che un livello di rischio di circa 1,4 casi in eccesso su 10.000 risulterebbe associabile, ad esempio, al livello di esposizione degli animali sperimentali di 2 μT , che l’NTP indica come corrispondente a un livello non molto più elevato dell’esposizione umana statunitense negli ambienti di residenza. Sia pure a livello semplicemente indicativo, si può osservare che questo livello non appare in disaccordo con le risultanze degli studi epidemiologici disponibili per la leucemia infantile, quando si tenga conto del fattore di scala dosimetrico.





Per quanto concerne gli effetti non neoplastici rilevati nel sistema endocrino del ratto, emergono incrementi di risposta significativi e/o relazioni dose-risposta significative per cisti della tiroide (esposizione minima con effetto significativo: 200 μ T) e dell'ipofisi -pars distalis-, angiectasia focale dell'ipofisi (esposizione minima con effetto significativo: 2 μ T) e, per quanto concerne la corteccia surrenale, proliferazione delle cellule ematopoietiche, iperplasia focale (esposizione minima con effetto significativo: 2 μ T) e ipertrofia focale.

Per quanto concerne il sistema tegumentario del ratto, emerge nelle femmine l'indicazione di una relazione dose-risposta significativa per la cisti della ghiandola mammaria.

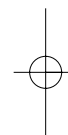
Per quanto concerne il sistema genitale nel ratto maschio, si può osservare che gli effetti rilevati sulla ghiandola prepuziale nel ratto maschio includono, oltre a un incremento significativo di incidenza di carcinoma a 200 μ T, un incremento di infiammazione cronica a 200 e 1000 μ T e un trend dose-risposta significativo per quest'ultimo effetto.

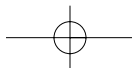
Per quanto concerne il sistema ematopoietico, è identificabile una relazione dose-risposta significativa nel ratto per iperplasia delle cellule epiteliali del timo. Gli incrementi significativi e/o le relazioni dose-risposta significative, che emergono per il topo, includono iperplasia dei linfonodi mesenterici (esposizione minima con effetto significativo: 2 μ T), proliferazione delle cellule ematopoietiche della milza (esposizione minima con effetto significativo: 200 μ T), atrofia dei linfonodi mesenterici (esposizione minima con effetto significativo: 200 μ T).

L'evidenza di molti effetti, statisticamente significativi, di stimolo dell'iperplasia e proliferazione cellulare in vari organi e tessuti può avere un qualche interesse ai fini delle ipotesi sui meccanismi di azione dei campi magnetici.

L'insieme di questi dati indica il livello di 2 μ T come un possibile LOAEL (esposizione minima con effetto avverso) per vari "end point", inclusi i tumori delle cellule C della tiroide. Questo risultato, considerando i criteri già citati sull'estrapolazione dell'esposizione da roditori a uomo non è in disaccordo con il livello "di confine" tra effetti significativi e non significativi indicato dai dati epidemiologici relativi alle leucemie infantili.

Un'ultima considerazione è che le caratteristiche della relazione do-





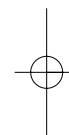
se-risposta rilevata per i tumori delle cellule C della tiroide nel ratto maschio nella sperimentazione dell’NTP (sulla quale si basa la classificazione di cancerogenicità dell’NTP), dalla quale emerge un effetto significativo ai livelli intermedi di trattamento (2 e 200 μT) e non al livello più elevato di trattamento (1000 μT), appaiono comuni ad altre categorie di dati, prodotti nello stesso studio. Inoltre, in molti casi, l’analisi del trend limitata al gruppo di controllo e alle esposizioni a 2 e 200 μT , mette in evidenza un livello di significatività che scompare considerando anche l’esposizione più elevata (1000 μT).

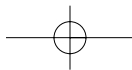
In sostanza, i dati citati suggeriscono in qualche modo che questi aspetti del trend non siano un risultato casuale sporadico e unicamente limitato ai tumori delle cellule C della tiroide nel ratto maschio, quanto, piuttosto, costituiscano una caratteristica comune a varie relazioni dose-risposta tra quelle rilevate nello studio del NTP.

A questa considerazione si accompagna l’osservazione che, per la leucemia nei ratti maschi e l’adenoma della corteccia surrenale nei ratti femmine, emerge un decremento significativo di incidenza (limitato a uno solo dei sessi) per il livello di esposizione (intermittente) di 1000 μT . Inoltre, come già citato in precedenza, è anche riportato dall’NTP un decremento significativo di incidenza dei tumori polmonari nei topi maschi e femmine. Per i topi femmine è anche riportato un decremento significativo dei tumori maligni in tutti gli organi a 200 e 1000 μT , in parte spiegabile dal decremento dei tumori polmonari; al contrario, per i topi maschi l’incidenza dei tumori maligni in tutti gli organi è, nei gruppi esposti, più elevata che nel controllo, sia pure a livello non significativo e i dati cumulati dei topi maschi e femmine non indicano variazioni significative tra i vari gruppi sperimentali. Infine, per i topi maschi e femmine l’incidenza dei tumori benigni o maligni in tutti gli organi è più elevata, anche se non a livello significativo, nel gruppo trattato a 2 μT rispetto agli altri gruppi.

Merita comunque attenzione l’osservazione che i “paradigmi” validi per la valutazione del rischio chimico (tra i quali, in particolare, l’assunzione di una relazione esposizione-rischio sempre a carattere monotono crescente) possano non essere del tutto validi per i campi magnetici (L. Tomatis, comunicazione personale).

Infine, si può osservare che le valutazioni della IARC, i dati prodotti





dall’NTP e i risultati degli studi epidemiologici più recenti indicano in modo sufficientemente chiaro la non ragionevolezza sia dell’ipotesi dell’assenza di qualsiasi effetto e rischio cancerogeno attribuibile ai campi magnetici ELF, sia dell’ipotesi contrapposta di effetti vistosi degli stessi campi. Piuttosto, le attuali conoscenze suggeriscono un rischio relativamente limitato, il che non significa un rischio nullo, come anche riportato nelle conclusioni del Capitolo 6 sugli studi epidemiologici. In questo ambito, lo studio dell’NTP ha rappresentato un considerevole passo in avanti, offrendo alla discussione scientifica un’esauriente quantità di dati che mettono bene in luce la complessità della materia e suggeriscono ipotesi su possibili effetti di vario tipo e ulteriori spunti per ricerche future.

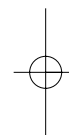
Effetti riproduttivi

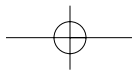
Nel 1985, Rivas e Coll. riportavano un leggero decremento, non significativo, del numero di nascite vitali per figliata e del peso medio alla nascita in topi Swiss esposti a campi magnetici a 50 Hz intermittenti, a 83 μT e 2,3 mT.

In due studi coordinati su femmine di topi CBA/Ca esposte a campo magnetico a 50 Hz, 13 μT e 130 μT , e a campi a 20 kHz (15 μT picco-picco) dal primo al diciottesimo giorno di gestazione sono stati osservati incrementi di variazioni scheletriche nella prole in tutti i gruppi di trattamento, indicativi di una diminuita ossificazione; l’incidenza di feti con almeno 3 variazioni scheletriche nei gruppi trattati risultava statisticamente più elevata rispetto al controllo (Huuskonen e Coll., 1988).

Huuskonen e Coll. (1993) hanno effettuato un simile studio anche su ratti Wistar femmine, con esposizione a campi magnetici a 50 Hz, 35,6 μT e a 20 kHz, 15 μT (picco-picco) nel periodo di gestazione dall’inizio a 20 giorni, osservando un significativo incremento del numero di feti con lievi anomalie scheletriche in entrambi i gruppi di trattamento. Il numero di impianti e di feti vitali per figliata risultava accresciuto a seguito dell’esposizione a campo magnetico a 50 Hz, mentre non venivano osservati effetti sull’incidenza di anomalie esterne e viscerali e sui riassorbimenti.

Huuskonen e Coll. (2001) hanno studiato su ratti Wistar femmine gli effetti di campi magnetici a 50 Hz (13 e 130 μT) sull’impianto degli em-





brioni, le concentrazioni di estradiolo, progesterone, testosterone e melatonina nel siero materni e altri parametri prima dell'impianto e durante l'impianto. Non sono stati osservati effetti sul numero totale di impianti. Erano invece osservate, in alcuni siti, differenze significative nelle densità dei recettori ormonali nell'utero.

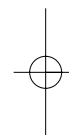
In uno studio su femmine di topo CD-1 (Kowalczyk e Coll., 1994), esposte dall'inizio al diciassettesimo giorno di gestazione a campo magnetico a 50 Hz, 20 mT, è stato osservato un incremento sia della lunghezza che del peso dei feti. L'incidenza di feti con una o più costole cervicali soprannumerarie risultava incrementata, con una significatività dubbia; le anomalie esterne e interne e i riassorbimenti apparivano non modificati.

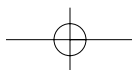
Zecca e Coll. (1985), in un esperimento su 10 ratti Sprague-Dawley femmine esposte, nel periodo di gestazione, a campo magnetico a 50 Hz, 5,8 mT per 3 ore al giorno durante l'organogenesi non osservavano malformazioni, mentre risultava raddoppiata la frequenza di perdite post-impianto e dei riassorbimenti, con un incremento peraltro non significativo (secondo la IARC la numerosità degli animali era troppo limitata per raggiungere una potenza statistica appropriata per rilevare gli effetti).

Mevissen e Coll. (1994) osservavano un incremento significativo di anomalie (incrementata ossificazione, costole soprannumerarie extratoraciche) a seguito di esposizione continuativa di ratti Wistar femmine durante la gestazione (dal primo giorno al ventesimo giorno) a campo magnetico a 50 Hz, 30 mT; l'osservazione che nel gruppo trattato era minore il numero di feti con ossificazione ridotta delle ossa pelviche indicava un'ossificazione accelerata nei feti trattati.

Il trattamento di ratti femmine Sprague-Dawley con campo d'induzione magnetica a 50 Hz, 1000 μ T e, mediamente, 0,6 μ T (0,33 – 1,2 μ T), 20 ore al giorno durante la gestazione, induceva un decremento del numero di feti per figliata, non confermato nella replicazione dell'esperimento; le incidenze di malformazioni e variazioni esterne, viscerali e scheletriche e i pesi dei feti erano comparabili in tutti i gruppi, e non erano rilevabili effetti di tossicità materna (Rommereim e Coll., 1996).

In uno studio con esposizione di ratti Sprague-Dawley femmine (Ryan e Coll., 1996), durante la gestazione (dal sesto al diciannovesimo giorno), a campo magnetico a 60 Hz, a 2, 200 e 1000 μ T, sinusoidale o





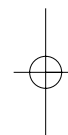
intermittente (1 h acceso, 1 h spento) non sono stati osservati effetti avversi sullo sviluppo fetale (sono state rilevate alcune differenze significative tra gruppo di controllo e gruppi esposti, senza tuttavia relazioni dose-risposta o indicazioni consistenti di effetti negativi).

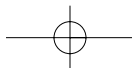
L'esposizione a campo magnetico a 180 Hz (terza armonica di 60 Hz, 0,2 mT) e allo stesso campo insieme a un campo magnetico a 60 Hz (0,2 mT totale) non ha portato a effetti sulla salute materna, sul numero e il peso dei nati e sullo sviluppo dei feti (Ryan e Coll., 2000). Nell'ambito delle anomalie fetali, l'unico effetto rilevato è stato un incremento dell'incidenza di costole soprannumerarie nei due gruppi esposti, significativo per l'esposizione all'insieme di campi a 60 e 180 Hz; questa incidenza era comunque compresa nella variabilità dei controlli storici.

In uno studio *in vitro* su embrioni di ratto (a 10, 5 giorni) esposti per 48 h a campi magnetici pulsati a frequenze di 20, 50 e 70 Hz, è stato osservato un ritardo dello sviluppo degli embrioni e, per i campi a 50 e 70 Hz, un incremento di incidenza di embrioni malformati. Nell'ambito dello stesso studio, l'esposizione *in vivo* delle femmine gravide agli stessi campi non ha dato adito a malformazioni, con effetti nella prole limitati a variazioni di peso e ritardo nell'apertura degli occhi. In questo studio non è peraltro riportata l'entità dell'esposizione a campi magnetici (è citato il solo campo elettrico, 6 V/m) rendendone difficile l'interpretazione (Zusman e Coll., 1990).

Successivamente o contemporaneamente alla stampa della monografia della IARC, sono stati pubblicati due lavori sulla stessa tematica che indicano assenza di evidenze di tossicità materna e dello sviluppo su ratto Sprague-Dawley (Chung e Coll., 2003), a seguito di esposizione materna a campo magnetico a 60 Hz, a 5, 83,3 e 500 μ T, dal sesto al ventesimo giorno di gestazione, e assenza di effetti sulla fertilità e la riproduzione su topi Swiss (Elbetieha e Coll., 2002), a seguito di esposizione a lungo termine (90 giorni, maschi e femmine) a campo magnetico a 50 Hz a 25 μ T.

L'insieme di questi studi indica un quadro complesso, che non consente di giungere a conclusioni definitive. Peraltro, ferma restando l'incertezza delle possibili valutazioni, si può in ogni caso osservare che laddove sono stati rilevati effetti sulla riproduzione (sia su base epidemiologica che sperimentale) questi si sono avuti a livelli dell'ordine di o superiori a quelli in cui sono stati rilevati incrementi di leucemia infantile.





CAPITOLO 6

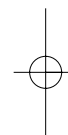
EFFETTI SULL'UOMO DEI CAMPI MAGNETICI A 50/60 Hz

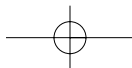
(P. Comba, M. Martuzzi, G. A. Zapponi)

Studi sugli effetti cancerogeni

Diversi documenti negli scorsi anni hanno passato in rassegna le evidenze scientifiche relative ai possibili effetti a lungo termine associati all'esposizione a campi elettrici e magnetici a 50 Hz; in questa sede vengono considerati solo quelli più recenti. Il documento del NIEHS (National Institute for Environmental Health Sciences) effettua una valutazione di tali evidenze (Portier & Wolfe, 1998), utilizzando i criteri proposti dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro di Lione. Emerge da tale approccio che vi è un'evidenza limitata di cancerogenicità per la leucemia infantile in relazione all'esposizione residenziale a campi magnetici ELF e per la leucemia linfatica cronica in relazione alle esposizioni professionali. Per la maggior parte delle altre associazioni menzionate dalla letteratura, l'evidenza è inadeguata. Sulla base di queste valutazioni, i campi magnetici ELF vengono inclusi nella categoria dei "possibili cancerogeni" (Gruppo 2B).

Successivamente al documento del NIEHS sono stati pubblicati alcuni ulteriori studi sulla leucemia infantile ed è stata effettuata una rianalisi dei dati dei nove studi più importanti, caratterizzati dall'essere studi caso-controllo di popolazione che includevano misure del campo magnetico di 24-48 ore o stime dell'esposizione basate sulla distanza dell'abitazione dalle linee elettriche e sul carico delle linee (Ahlbom e Coll., 2000). L'esposizione veniva stimata con riferimento all'anno precedente la diagnosi e veniva usata, come indicatore, la media geometrica del campo magnetico. I nove studi inclusi nel progetto erano stati svolti in Canada, Danimarca, Finlandia, Germania, Nuova Zelanda, Norvegia, Svezia, USA, e Regno Unito e comprendevano complessivamente 3.247 casi e 10.400 controlli. La stima del rischio relativo associato a esposizioni uguali a (o maggiori di) $0,4 \mu\text{T}$ è risultata di 2,00 (In-





tervallo di Confidenza, I.C. 95%: 1,24-3,13), sulla base di 44 casi e 62 controlli esposti.

Una rianalisi condotta da Greenland e Coll. (2000) su 15 studi caso-controllo, 8 dei quali compresi anche nella rianalisi di Ahlbom, mostra risultati nel complesso analoghi (rischio relativo per esposizioni superiori a 0,3 μT pari a 1,7 con I.C. 95%: 1,2-2,3; stima della frazione attribuibile: 3%).

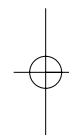
In Germania, uno studio policentrico che rappresenta l'estensione del precedente studio tedesco incluso nella rianalisi di Ahlbom, sulla base di 514 casi e 1301 controlli, trova una significativa relazione fra leucemia infantile e esposizione notturna a campi superiori a 0,2 μT (Odds Ratio, OR: 3,21 e I.C. 95%: 1,33-7,80); l'esposizione notturna a più di 0,4 μT era associata a un OR di 5,53 (I.C. 95%: 1,15-26,6) (Schüz e Coll., 2001).

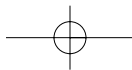
Esiste dunque un'associazione fra residenza in abitazioni con livelli di induzione magnetica superiore a 0,4 μT e incidenza di leucemia infantile, e tale associazione non è imputabile alla variabilità casuale né a fattori di confondimento noti. Una certa quota di questo incremento potrebbe però essere spiegabile in base al bias di selezione (una distorsione dei risultati dovuta a meccanismi legati alla non rispondenza di una quota dei soggetti dei gruppi in studio), come affermato dallo stesso Ahlbom e sostenuto in uno studio di Hatch e Coll. (2000). Il nesso di causa-effetto non è dimostrato, anche se i risultati delle rianalisi di Ahlbom e di Greenland corroborano, nel loro complesso, la credibilità della natura causale dell'associazione fra campi ELF e leucemia infantile. Entrambi i lavori formulano inoltre una analoga raccomandazione: concentrare gli studi futuri su popolazioni esposte a livelli elevati di campo magnetico.

Le evidenze epidemiologiche sulla leucemia infantile e l'esposizione residenziale a campi magnetici a 50/60 Hz sono state recentemente anche sintetizzate da Lagorio e Salvan (2001).

I risultati di queste rianalisi sono stati discussi in un documento del National Radiological Protection Board inglese (NRPB, 2001), insieme a tutti i principali studi sperimentali ed epidemiologici sui campi a 50/60 Hz pubblicati a partire dal 1992 (anno di pubblicazione del precedente documento del NRPB).

La conclusione del Rapporto è la seguente: *Gli esperimenti di labo-*





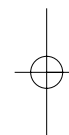
ratorio non hanno fornito buone prove che i campi elettromagnetici a frequenza estremamente bassa siano capaci di produrre il cancro, né gli studi epidemiologici suggeriscono che essi producano il cancro in generale. Ci sono comunque alcune evidenze epidemiologiche che l'esposizione prolungata ai più elevati livelli di campi a frequenza industriale sia associata a un piccolo rischio di leucemia infantile. Nella pratica, tali livelli di esposizione vengono raramente incontrati da parte della popolazione del Regno Unito. In assenza di una chiara evidenza di un effetto cancerogeno negli adulti, o di una spiegazione plausibile della sperimentazione su animali o su cellule isolate, l'evidenza epidemiologica non è a tutt'oggi abbastanza forte da giustificare la ferma conclusione che tali campi causino la leucemia infantile. Tuttavia, a meno che futuri studi indichino che questo riscontro sia dovuto al caso o a qualche artefatto al momento ignoto, rimane la possibilità che esposizioni intense e prolungate ai campi magnetici possano accrescere il rischio di leucemia infantile.

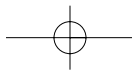
Nel giugno 2001, la IARC ha classificato il campo magnetico ELF come "possibile cancerogeno".

Data la particolare rilevanza della Monografia IARC, si ritiene opportuno presentarne integralmente le conclusioni per quanto riguarda la cancerogenicità (IARC, 2002).

Dati di cancerogenicità per l'uomo **Effetti nei bambini**

Da quando nel 1979 fu pubblicato il primo rapporto che suggeriva un'associazione fra esposizione residenziale a campi elettrici e magnetici ELF e leucemia infantile, dozzine di studi sempre più sofisticati hanno esaminato questa associazione. Inoltre ci sono state numerose rassegne esaustive, meta-analisi e due recenti analisi "pooled". In un'analisi pooled basata su nove studi ben condotti, non si è osservato alcun eccesso di rischio in relazione all'esposizione a campi ELF al di sotto di $0,4 \mu\text{T}$, ed è stato visto un eccesso di rischio di due volte per esposizione al di sopra di $0,4 \mu\text{T}$. L'altra analisi pooled ha incluso 15 studi basandosi su criteri di inclusione meno restrittivi e ha usato $0,3 \mu\text{T}$ come cut-point più elevato. E' stato riportato un rischio relativo di 1,7 per esposizioni al di sopra di $0,3 \mu\text{T}$. I due studi sono altamente coeren-



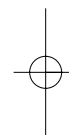


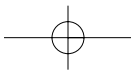
ti. Contrariamente a questi risultati relativi ai campi magnetici ELF, l'evidenza che i campi elettrici siano associati con la leucemia infantile è inadeguata per una valutazione.

Non è stata osservata alcuna relazione coerente negli studi sui tumori encefalici in età pediatrica o su tumori in altre sedi e campi elettrici e magnetici ELF nell'ambiente residenziale. Questi studi, tuttavia, sono stati generalmente di dimensioni minori e di qualità più bassa.

E' improbabile che l'associazione fra la leucemia infantile e gli alti livelli di campo magnetico sia dovuta al caso, ma potrebbe essere affetta da distorsioni. In particolare, una distorsione della selezione potrebbe spiegare parte dell'associazione. Gli studi caso-controllo basati sulle misure nelle case sono particolarmente vulnerabili nei confronti di questo bias, a causa del basso tasso di rispondenza in molti studi. Studi condotti nei paesi nordici basati sul calcolo dei campi magnetici storici non sono soggetti al bias di selezione, ma soffrono di una bassa numerosità dei soggetti esposti. Ci sono stati grandi progressi nel corso del tempo nella valutazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici, tuttavia tutti gli studi sono soggetti a misclassificazioni. La misclassificazione non differenziale dell'esposizione (livelli simili di misclassificazione nei casi e nei controlli) dà luogo verosimilmente a una distorsione verso il valore nullo. La distorsione dovuta a fattori di confondimento sconosciuti molto difficilmente può spiegare l'intero effetto osservato. Tuttavia un qualche bias dovuto al confondimento è del tutto possibile, e potrebbe operare in entrambe le direzioni. Non si può escludere che una combinazione di distorsione della selezione, qualche grado di confondimento e variabilità casuale possa spiegare i risultati. Se la relazione osservata fosse di natura causale, il rischio associato all'esposizione potrebbe anche essere maggiore di quanto riportato.

Sono stati pubblicati numerosi studi sulla relazione fra uso di elettrodomestici e varie neoplasie in età pediatrica. In linea generale questi studi non forniscono alcuna indicazione apprezzabile di un incremento di rischio associato all'aumento della durata e della frequenza d'uso degli elettrodomestici in esame. Poiché molti di questi studi raccoglievano l'informazione attraverso interviste che avvenivano molti anni dopo il periodo di interesse, sul piano eziologico l'errore sistematico del ricordo potrebbe costituire un notevole problema.





Gli studi sull'esposizione parentale a campi elettrici e magnetici ELF nel periodo preconcezionale o durante la gravidanza sono deboli sul piano metodologico e i risultati non sono riproducibili.

Effetti negli adulti

Esposizioni residenziali

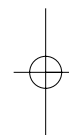
Sebbene si disponga di un discreto numero di studi, i dati affidabili sui tumori negli adulti e l'esposizione residenziale a campi elettrici e magnetici ELF, compreso l'uso di elettrodomestici, sono scarsi e presentano limitazioni sul piano metodologico. Nessuno degli studi sinora riportati comprende misure prolungate o misure personali. Sebbene vi sia un notevole numero di studi, non è stata stabilita un'associazione riproducibile fra esposizione residenziale e leucemia e tumore cerebrale negli adulti.

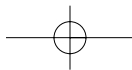
Per i tumori della mammella e per altre neoplasie, i dati esistenti non sono adeguati per saggiare un'associazione con i campi elettrici o magnetici.

Esposizioni lavorative

Studi condotti negli anni '80 e nei primi anni '90 indicavano un possibile incremento di rischio di leucemia, tumore cerebrale e tumore della mammella nell'uomo in attività lavorative con presunta esposizione a campi ELF elettrici e magnetici al di sopra dei livelli medi. L'interpretazione di questi studi è stata difficile soprattutto per le loro limitazioni metodologiche e per la mancanza di misure appropriate. Inoltre, non si è potuto escludere un bias nella pubblicazione di risultati positivi.

Alcuni grandi studi condotti negli anni '90 relativi sia alla leucemia sia ai tumori cerebrali hanno utilizzato metodi migliorati per la valutazione su base individuale dell'esposizione professionale a campi magnetici e a potenziali fattori di confondimento legati all'ambiente di lavoro, in particolare attraverso l'uso combinato di misurazioni sistematiche nei luoghi di lavoro, anamnesi lavorative individuali e lo sviluppo delle corrispondenti matrici mansione-esposizione. Tuttavia, poiché l'esposizione all'interno dei gruppi lavorativi è molto variabile, le matrici mansione-esposizione non eliminano tutte le incertezze relative ai livel-





li di esposizione dei lavoratori. Alcuni studi hanno segnalato un aumento del rischio di cancro nelle categorie di esposizione elevata o intermedia. Non c'erano risultati riproducibili nei vari studi per quanto riguarda la relazione esposizione-risposta, e non c'era riproducibilità nell'associazione con specifici sottotipi di leucemia o di tumore cerebrale. Le evidenze per altre sedi tumorali non erano adeguate per una valutazione.

Sebbene la valutazione dell'esposizione al campo elettrico sia difficoltosa, tale campo è stato misurato a livello individuale in alcune occasioni in popolazioni lavorative. Non sono state osservate associazioni riproducibili, nei diversi studi, fra l'intensità del campo elettrico ed alcun tipo di neoplasia.

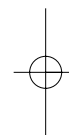
Sulla base di queste evidenze, la IARC valuta che ci sia limitata evidenza di cancerogenicità nell'uomo per i campi magnetici ELF in relazione alla leucemia infantile, e che vi sia evidenza inadeguata di cancerogenicità per i campi magnetici ELF in relazione a tutti gli altri tipi di tumore.

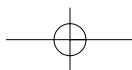
I campi magnetici ELF vengono allocati alla categoria dei possibili cancerogeni per l'uomo.

Successivamente alla Monografia IARC sono stati pubblicati alcuni ulteriori studi epidemiologici relativi alle popolazioni esposte a campi ELF per motivi lavorativi o residenziali.

Uno studio di coorte, relativo ai 138.000 dipendenti di cinque compagnie elettriche americane in servizio fra il 1950 e il 1986, ha mostrato un incremento della mortalità per tumore dell'encefalo (Rischio Relativo, RR: 1,7 con I.C. 95%: 1,0-3,0; 17 osservati) fra gli elettricisti. Lo studio non contiene dati relativi all'esposizione a campi ELF (van Wijngaarden e Coll., 2001).

Uno studio caso-controllo svolto in Nuova Zelanda ha preso in esame 110 casi di leucemie e 199 controlli di popolazione, stimando la progressiva esposizione a campi ELF attraverso una matrice mansione-esposizione. Per l'insieme dei lavoratori elettrici la odds ratio era 1,9 (I.C. 95%: 1,0-3,8; 26 osservati); il rischio era più elevato per i saldatori (OR: 2,8 con I.C. 95%: 1,2-6,8; 14 osservati) e gli addetti alle linee telefoniche (OR: 5,8 con I.C. 95%: 1,2-27,8; 6 osservati). La leucemia acuta non





linfocitica era significativamente associata ai livelli di esposizione al campo magnetico attuali e pregressi (Bethwaite e Coll., 2001).

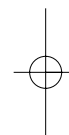
In Gran Bretagna uno studio di coorte relativo alla mortalità di circa 80.000 dipendenti dell'ente elettrico nazionale seguiti dal 1973 al 1997 non ha mostrato alcun incremento della mortalità per tumori cerebrali (Rapporto Standardizzato di Mortalità, SMR: 108 con I.C. 95%: 92-126; 158 osservati), né alcuna relazione dose-risposta con i livelli di esposizione al campo magnetico (Sorahan e Coll., 2001).

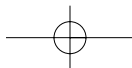
In Canada, è stato effettuato uno studio caso-controllo su 543 casi di neoplasia maligna dell'encefalo confermata istologicamente nel periodo 1994-1997 e 543 controlli di popolazione. L'esposizione a campo magnetico fu ricostruita per ogni soggetto. Lo studio mostrò un significativo incremento del glioblastoma multiforme (OR: 5,36 con I.C. 95%: 1,16-24,78; 18 osservati) per coloro che erano stati esposti a livelli di induzione magnetica superiori a 0,6 μT ; per questo istotipo si osservava una significativa relazione dose-risposta con l'esposizione cumulativa (Villeneuve e Coll., 2002).

In Svezia è stato effettuato uno studio di coorte sull'incidenza dei tumori fra gli addetti alle industrie in cui si utilizza la saldatura a resistenza; si tratta di circa 530.000 uomini e 180.000 donne attivi fra il 1985 e il 1994. L'esposizione a campi ELF è stata valutata attraverso una matrice mansione-esposizione. Fra gli uomini esposti a più di 0,53 μT si sono osservati incrementi significativi dell'incidenza di tumore del rene (RR: 1,4 con I.C. 95%: 1,0-2,0; 62 osservati); fra le donne esposte a oltre 0,53 μT si sono osservati significativi incrementi degli astrocitomi (RR: 3,0 con I.C. 95%: 1,1-8,6; 5 osservati) in particolare degli astrocitomi di grado III-IV (RR: 4,6 con I.C. 95%: 1,3-15,9; 4 osservati). L'aumento degli astrocitomi si evidenziava (Håkansson e Coll., 2002) anche nella categoria di esposizione 0,25-0,53 μT (RR: 2,3 con I.C. 95%: 1,1-4,4; 19 osservati).

Uno studio caso-controllo svolto a Seattle (1992-1995) in relazione a 813 casi di cancro della mammella e 793 controlli di popolazione non ha mostrato alcuna associazione con i livelli di esposizione a campo magnetico nelle abitazioni degli ultimi 10 anni (Davis e Coll., 2002).

Uno studio caso-controllo svolto in Svezia non ha rilevato, su 726 casi, un aumento di rischio di leucemia infantile nei nati fra il 1973 e il





1989 e un ugual numero di controlli di popolazione associato all'esposizione a campi di induzione magnetica generati dalle incubatrici: RR 0,9 con I.C. 95% 0,5-1,5 su 26 osservati caratterizzati da esposizioni inferiori a 0,6 μ T e RR 0,9 con I.C. 95% 0,5-1,7 su 21 osservati caratterizzati da esposizioni superiori a 0,6 μ T (Söderberg e Coll., 2002).

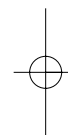
Uno studio caso-controllo (Tynes e Coll., 2003) innestato nella coorte della popolazione residente in un corridoio ubicato intorno alle linee dell'alta tensione in Norvegia (1990-1996) ha mostrato un incremento del rischio di melanoma in corrispondenza di livelli di esposizione superiori a 0,2 μ T (OR: 1,87 con I.C. 95%: 1,23-2,83; 44 casi).

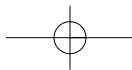
Negli Stati Uniti, uno studio caso-controllo innestato in una coorte di lavoratori elettrici (Charles e Coll., 2003) ha mostrato una relazione fra esposizione al campo magnetico e mortalità per tumore maligno della prostata (OR: 1,60 con I.C. 95%: 1,07 – 2,40; 47 casi).

Gli studi epidemiologici, qui sinteticamente esaminati, comparsi dopo la pubblicazione della Monografia IARC, non modificano il quadro delle conoscenze in modo apprezzabile, pur fornendo numerosi elementi conoscitivi di indubbio interesse.

L'indicazione di concentrare gli studi sulle popolazioni caratterizzate dai più elevati livelli di esposizione, formulata sia da Ahlbom che da Greenland nei lavori precedentemente citati, è giustificata oltre che dai risultati relativi alla leucemia infantile, anche da alcune osservazioni provenienti da studi su soggetti adulti. Anche se queste evidenze, nel loro complesso, sono valutate come "inadeguate" dalla IARC, i deboli effetti descritti sembrano concentrarsi nelle fasce più esposte della popolazione.

Negli Stati Uniti, Milham (1996) ha studiato un gruppo di 410 impiegati che lavoravano in un ufficio ubicato sopra un locale nel quale si trovava una sottostazione con tre trasformatori da 12 kV. Questo determinava un livello di esposizione di circa 19 μ T a livello del pavimento. Fra i soggetti che avevano lavorato almeno due anni in questo ufficio si verificarono complessivamente 7 casi di tumori in sedi diverse contro 1,8 attesi (Rapporto Standardizzato d'Incidenza, RSI: 389 con I.C. al 95%: 156-801). In Francia, Bonhomme-Faivre e Coll. (1998) hanno studiato un gruppo di lavoratori che si trovavano in un laboratorio situato al di sopra di alcuni trasformatori, di cavi ad alta tensione (13.000 V) e





di un generatore di corrente. Il campo di induzione magnetica era compreso, a livello del pavimento, fra 1,2 μT e 6,6 μT . Confrontando i 13 lavoratori di questo laboratorio con 13 soggetti che lavoravano in locali adiacenti, si osservò fra gli esposti un aumento significativo di alcuni disturbi neurovegetativi, una diminuzione significativa di alcune popolazioni linfocitarie e un aumento delle cellule natural killer. Questi effetti sembrano essere reversibili, cioè terminano al cessare dell'esposizione (Bonhomme-Faivre e Coll., 2000).

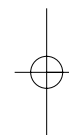
Seguendo quanto suggerito nella Monografia della IARC, sia per quanto riguarda la cancerogenesi che per i possibili effetti avversi sulla riproduzione, sembra quindi ragionevole concentrare l'attività di studio e gli interventi preventivi a carattere cautelativo fra i soggetti compresi nelle fasce con i maggiori livelli di esposizione, indicativamente quelli esposti a più di 0,5 μT .

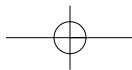
Studi sugli effetti riproduttivi

Sempre per quanto concerne gli effetti su soggetti umani, gli studi epidemiologici relativi all'uso di coperte elettriche indicano, secondo la IARC, una scarsa evidenza ("little evidence") in supporto all'associazione di campi elettrici e magnetici ELF con effetti avversi sulla riproduzione (Wertheimer e Leeper, 1986; Dlugosz e Coll., 1992; Juutilainen e Coll., 1993; Bracken e Coll., 1995; Li e Coll., 1995; Belanger e Coll., 1998).

Lo studio di Wertheimer e Leeper (1986), peraltro criticato per alcuni aspetti metodologici, ha suggerito un incremento di aborti spontanei e di nascite con crescita fetale inferiore alla media associato al periodo invernale e quindi a un incremento dell'uso di coperte elettriche. L'uso di coperte elettriche è stato associato a un rischio elevato (1,8; I.C. 95%: 1,1 – 3,1) di aborti spontanei in un altro studio (Belanger e Coll., 1998), mentre non sono emerse evidenze di ritardi nella crescita fetale e nel peso alla nascita dovuti all'uso di coperte elettriche e di letti con acqua riscaldata elettricamente (Bracken e Coll., 1995).

Non sono stati rilevati incrementi di alcune malformazioni (palatoschisi, labbro leporino, spina bifida, anencefalia) in uno studio caso-controllo sulla prole di donne esposte a ELF attraverso l'uso di coperte elet-





triche e di letti riscaldati elettricamente (Dlugosz e Coll., 1992). In uno studio di coorte su 23.491 donne non è stata osservata evidenza di associazione tra uso di coperte elettriche e esiti negativi sulla gravidanza (Milunsky e Coll., 1992).

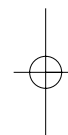
Wertheimer e Leeper (1989), in uno studio sugli effetti dell'esposizione negli ambienti di residenza hanno indicato un'associazione tra abortività spontanea ed esposizione elevata a campi magnetici ELF (circa 1 μT) in case riscaldate elettricamente. Juutilainen e Coll. (1993) hanno riportato una correlazione tra livelli più elevati di induzione magnetica ELF misurata nelle residenze (mediamente maggiori di 0,6 μT alla porta d'ingresso) e aborti spontanei all'inizio della gravidanza. Al contrario, Savitz e Ananth (1994) non hanno rilevato alcuna associazione tra campi magnetici ELF superiori a 0,2 μT misurati nelle abitazioni ed effetti negativi sulla gravidanza. Bracken e Coll. (1995) riportano un'assenza di associazione tra esposizione a campi magnetici ELF (> 0,2 μT) e riduzione del peso alla nascita o della crescita fetale.

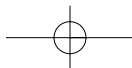
Uno studio prospettico di coorte sull'esposizione professionale femminile ha indicato una lieve associazione non significativa tra aborti spontanei e livelli superiori a 0,2 μT TWA (esposizione media pesata con il tempo), e un'associazione significativa (incremento di circa 3 volte) per livelli sopra 1,6 μT TWA (Li e Coll., 2001), mentre non è stato osservato alcun incremento di rischio di aborti spontanei in lavoratrici esposte ai campi magnetici più elevati ($\geq 0,9 \mu\text{T}$) (Swan e Coll., 1995).

Nordstroem e Coll. (1983) riportavano un significativo incremento di malformazioni congenite e problemi nella fertilità nelle mogli di lavoratori operanti in cabine di commutazione ad alto voltaggio e Buiatti e Coll. (1984) indicavano un incremento di infertilità maschile nei lavoratori esposti a campo elettrico rispetto ai controlli (OR: 5,89 con I.C. 95%: 0,86 – 40,18; 5 casi osservati).

In epoca successiva, peraltro, è stata rilevata un'assenza di associazione tra attività lavorativa in campo elettrico e anormalità seminale (Lundsberg e Coll., 1995) e un'assenza di incrementi significativi di nascite anormali nella prole di lavoratori di centrali elettriche (Toernqvist, 1998).

La Monografia IARC precedentemente citata, per quanto attiene gli effetti avversi sulla riproduzione, afferma: *Nel loro complesso, i risulta-*





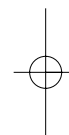
ti degli studi sull'uomo non consentono di stabilire alcuna associazione fra esiti riproduttivi avversi ed esposizione a campi elettrici e magnetici ELF.

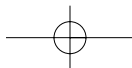
Tali effetti sono stati riportati in pochi studi, in particolare ai livelli di intensità maggiore e in relazione alle durate più elevate.

L'indicazione fornita dalla Monografia IARC, secondo la quale gli effetti avversi sulla riproduzione sono da associarsi ai livelli di intensità maggiore, è stata rinforzata da due recenti studi svolti in California.

Li e Coll. (2002) effettuarono uno studio di coorte prospettico relativo alle donne seguite dal Kaiser Permanente Medical Care Program della California del nord che erano risultate positive al test di gravidanza nel biennio ottobre 1996 - ottobre 1998. Su 2.729 donne eleggibili, 1.063 (39%) completarono l'intervista e permisero le misure del livello d'esposizione al campo magnetico (dosimetro personale indossato per 24 ore); ulteriori misure furono effettuate nella casa. Per 1.058 delle 1.063 partecipanti (99,5%) fu accertato l'esito della gravidanza. L'analisi finale riguardò le 969 donne per le quali erano disponibili tutti i dati. Il rischio relativo associato a un livello del campo magnetico mediato sulle 24 ore di 0,3 μT o più risultò 1,2 (I.C. 95%: 0,7-2,2). Il rischio di aborto spontaneo aumentava con il crescere del massimo valore del campo magnetico nelle 24 ore, a partire da 1,2-1,8 μT . Per un valore del campo magnetico massimo maggiore di 1,6 μT , RR: 1,8 (I.C. 95%: 1,2-2,7). Il rischio relativo era più elevato per gli aborti entro 10 settimane di gestazione e fra le donne definite "suscettibili", cioè quelle che avevano avuto ripetute perdite fetali o ridotta fertilità.

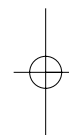
Lee e Coll. (2002) effettuarono uno studio caso-controllo innestato in una coorte di 3.403 donne in gravidanza seguite dal Kaiser Permanente Medical Care System della California del nord nel periodo 1990-91. Vennero identificati 328 casi di aborto spontaneo e un campione di 806 gravidanze di controllo; 167 casi (51%) e 384 controlli (48%) accettarono che si effettuassero misure del campo magnetico alla 30^a settimana. Un sottogruppo della coorte fu contattato alla 12^a e alla 30^a settimana per valutare la predittività delle misure alla 30^a settimana rispetto al primo trimestre di gravidanza. Da questa sub-coorte furono espressi altri 18 casi (10 accettarono di entrare nello studio) e 201 controlli (166 aderirono). Dei 177 casi e 550 controlli così reclutati, furono inclusi nell'analisi.

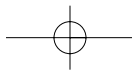




si i 155 casi e 509 controlli che non avevano cambiato domicilio nelle prime 30 settimane di gestazione. Furono effettuate misure del campo magnetico nelle 24 ore con dosimetri personali e furono monitorate le abitazioni. Sia il tasso di variazione del campo magnetico, sia il suo valore massimo mostrarono una significativa relazione dose-risposta con il rischio di aborto spontaneo. In particolare, per il valore massimo di più di $3,5 \mu\text{T}$, l'OR era 2,3 (I.C. 95%: 1,2-4,4), per valori compresi fra 2,3 e $3,5 \mu\text{T}$, l'OR era 1,9 (I.C. 95%: 1,0-3,5) e per valori fra 1,4 e $2,3 \mu\text{T}$, l'OR è risultato 1,4 (I.C. 95%: 0,7-2,8). Questi due lavori, nel loro complesso, corroborano l'ipotesi di una relazione fra campo magnetico ELF e rischio di aborto spontaneo e, più in particolare, tra il massimo valore del campo magnetico nelle 24 ore ed il rischio, mentre indeboliscono l'ipotesi di una relazione col valore medio del campo.

Naturalmente è necessario sottolineare che un'interpretazione in termini di nesso casuale tra esposizione a campi magnetici ELF e abortività è tuttora prematura (Savitz, 2002a; Savitz, 2002b; Li e Neutra, 2002; Savitz, 2003) e che, a questo fine, sono necessarie sia validazioni della metrica dell'esposizione che repliche dei risultati epidemiologici. Tuttavia, i dati certamente rafforzano l'ipotesi di una possibile relazione e giustificano la necessità di un'adeguata attenzione a questo problema.





CAPITOLO 7

VALUTAZIONE DEL RISCHIO E TUTELA DELLA COLLETTIVITA'

(M. Martuzzi, A. Seniori Costantini, M. Grandolfo)

E' un processo difficile e complesso quello di stabilire se esista un rischio per la salute in relazione all'esposizione a un fattore ambientale e, quindi, decidere se intervenire e prendere provvedimenti per evitarne il supposto effetto nocivo.

A livello individuale con il termine "rischio" si intende la probabilità che una persona possa essere danneggiata da una singola esposizione o da un insieme di circostanze potenzialmente in grado di danneggiare la salute.

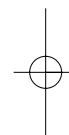
Nell'ambito degli studi epidemiologici sugli effetti di esposizioni ambientali sulla salute, valutare il rischio significa stabilire se esistano diverse frequenze delle malattie in sottogruppi di popolazione soggetti a diversi livelli di esposizione.

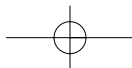
Il rischio è sempre presente in ogni attività umana, perché il rischio zero è, in linea di principio, irraggiungibile così com'è scientificamente indimostrabile l'innocuità di qualsiasi agente si prenda in considerazione.

In genere, le persone percepiscono i rischi secondo una scala di valori fortemente legata all'età, al sesso, al grado d'istruzione, alle conoscenze scientifiche a disposizione nel particolare momento storico e al confronto con i benefici attesi. Per rispondere alle preoccupazioni espresse in un ambito d'incertezza scientifica, negli anni sono state sviluppate diverse politiche di cautela. Tra queste vengono spesso citate:

- Il principio di precauzione
- La *prudent avoidance*
- Il principio ALARA

Come già illustrato in precedenza e come discusso più avanti, il principio di precauzione è una politica orientata dalla necessità di agire in presenza di sostanziale incertezza sul rischio, qualora siano presenti minacce





potenzialmente gravi alla salute. Questo principio richiede una valutazione del rischio e una serie di considerazioni sui rapporti costi/benefici.

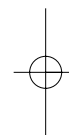
La *prudent avoidance* è stata inizialmente sviluppata per la gestione del rischio da campi elettrici e magnetici a frequenza industriale, attraverso l'adozione di provvedimenti atti a minimizzare i livelli di campo ambientali, ridisegnando il tracciato degli impianti ed eventualmente riprogettando sistemi e dispositivi elettrici. La *prudent avoidance* ha successivamente assunto il significato di provvedimenti semplici, con l'adozione di misure a basso costo per ridurre i livelli d'esposizione anche in assenza di una qualunque previsione, basata su dati scientifici, che tali provvedimenti, generalmente sotto forma di raccomandazioni volontarie piuttosto che di limiti o leggi, siano in grado di ridurre effettivamente il rischio.

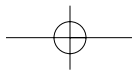
ALARA è l'acronimo delle parole inglesi **As Low As Reasonably Achievable** (il più basso ragionevolmente raggiungibile). E' una politica atta a minimizzare rischi conosciuti, mantenendo l'esposizione ai livelli più bassi ragionevolmente possibili tenendo in considerazione i costi, la tecnologia, i benefici accertati per la salute pubblica e altri fattori socio-economici. Il principio ALARA trova oggi la sua principale applicazione nella protezione dalle radiazioni ionizzanti, disciplina basata sul concetto di *rischio accettabile* piuttosto che su limiti stabiliti sulla base di valori di soglia. Questo principio, per sua natura, non rappresenta una politica valida per i campi elettromagnetici (indipendentemente dalla loro frequenza) data l'assenza, nel caso delle radiazioni non ionizzanti, di qualunque valore di rischio accertato (relazione causale) a bassi livelli d'esposizione e data l'ubiquità dell'esposizione stessa.

La difficoltà è maggiore quando l'evidenza dell'effetto nocivo non è certa, i risultati della ricerca scientifica sono poco chiari e la comunità scientifica è divisa nel giudizio. Inoltre, se gli interventi sono costosi, inevitabilmente si pone il problema se i costi siano troppo alti in relazione a quanto emerge dalle valutazioni del rischio.

Il processo di valutazione del rischio

Nel processo di valutazione dell'esistenza di un rischio ambientale, cioè quel processo che ha l'obiettivo di definire se esiste un rischio per





la salute in relazione all'esistenza di un "pericolo" nell'ambiente si possono distinguere in sequenza tre momenti:

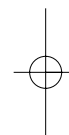
- 1) l'identificazione del pericolo;
- 2) la valutazione quali/quantitativa dell'esposizione;
- 3) la valutazione del rischio in senso stretto, cioè la valutazione quali/quantitativa di quali effetti sanitari ci si può aspettare in relazione all'esistenza del pericolo, date le condizioni di esposizione.

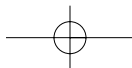
Sia i ricercatori, ma anche la collettività, i singoli individui e le istituzioni possono essere attori della prima fase del processo. I dati di partenza possono essere molteplici e di diversa natura: segnalazioni di casi ripetuti, dati ambientali anomali, studi sperimentali, ecc.

Il secondo punto consiste nella valutazione delle condizioni di esposizione umana ai fattori in questione. Ad esempio, se si studiano i possibili effetti sulla salute legati alla vicinanza di elettrodotti o di antenne radiotelevisive che emettono onde elettromagnetiche, occorre valutare la reale esposizione dei residenti ai campi elettromagnetici emessi dalle sorgenti, cioè se e quanto gli individui siano investiti da tali radiazioni. La valutazione dell'esposizione è un procedimento da svolgersi sempre secondo le norme di buona pratica sviluppate da diverse istituzioni competenti in materia; in tale processo devono essere tenute in considerazione sia rilevazioni tecniche strumentali, sia informazioni derivanti dalle conoscenze e testimonianze dei soggetti cui il processo si riferisce.

Il terzo punto consiste nel valutare se, dati certi livelli di esposizione a un agente, si ritiene che possano verificarsi effetti nocivi per la salute e di quale entità. Parlando di tumori, si deve valutare se esista un'aumentata probabilità di ammalarsi a seguito dell'esposizione a un certo fattore ambientale. Più dettagliatamente significa: 1) conoscere approfonditamente i risultati della ricerca scientifica sull'argomento, cioè conoscere se gli studi abbiano evidenziato, o no, un'associazione causale tra l'esposizione all'agente (e a quali livelli) e lo sviluppo del tumore; 2) valutare quali siano le condizioni che possano determinare tale maggiore probabilità.

Va detto che in alcuni casi gli studi indicano con chiarezza l'esistenza di un'associazione tra l'esposizione all'agente e lo sviluppo di tumo-

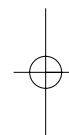




ri (vedi ad esempio l'associazione tra esposizione ad amianto e induzione di tumori del polmone e della pleura); in molte situazioni invece i risultati degli studi non sono chiari, i dati di studi diversi possono non essere concordi, vi è discordanza tra dati epidemiologici e sperimentali.

La valutazione del grado di "evidenza di cancerogenicità" che emerge dagli studi è effettuata da organismi scientifici nazionali e internazionali deputati a formulare tali giudizi. Il principale organismo con compiti di valutazione del rischio cancerogeno (da agenti fisici, chimici e biologici), come già indicato nei precedenti capitoli, è l'Agenzia Internazionale di Ricerca sul Cancro (IARC). La IARC organizza periodicamente incontri di esperti e, sulla base dei dati disponibili (si prendono in esame solo i dati pubblicati su riviste scientifiche) esprime un giudizio sull'evidenza di cancerogenicità che emerge sia dagli studi epidemiologici (evidenza sufficiente, limitata, inadeguata, assente) sia da quelli sull'animale (evidenza sufficiente, limitata, inadeguata, assente). A seguito di questi giudizi, la IARC produce una valutazione del rischio per l'uomo (cioè dell'aumentata probabilità di contrarre un tumore a seguito dell'esposizione) classificando gli agenti studiati in 5 gruppi di evidenza di cancerogenicità, come indicato in **Tabella 7.1**. La IARC pubblica le proprie valutazioni nella collana "Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans" e, quando necessario, aggiorna i propri giudizi.

Analoghe valutazioni di rischio cancerogeno sono effettuate da altri organismi, per esempio la Commissione Europea (CE) e, in Italia, la Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale (CCTN). I criteri su cui sono basati i giudizi sono molto simili a quelli utilizzati dalla IARC e le classificazioni prodotte sono confrontabili. I giudizi espressi dalla CE si basano, oltre che sulla letteratura scientifica anche su altro materiale non disponibile sulle riviste scientifiche, come, ad esempio, rapporti delle industrie, ecc. Nella **Tabella 7.2** sono illustrati i criteri e la classificazione della CE, prodotti nell'ambito della direttiva sul rischio cancerogeno da agenti chimici.



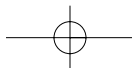


Tabella 7.1 - Criteri di interpretazione e classificazione delle evidenze di cancerogenicità adottati dalla IARC (adattamento da IARC, 2002).

GRUPPO 1 - Cancerogeni certi per l'uomo

AGENTI CON EVIDENZA SUFFICIENTE DI CANCEROGENICITÀ PER L'UOMO E CON QUALSIASI LIVELLO DI EVIDENZA PER L'ANIMALE

GRUPPO 2 A - Probabili cancerogeni per l'uomo

AGENTI CON LIMITATA EVIDENZA DI CANCEROGENICITÀ PER L'UOMO (in taluni casi anche inadeguata, se però il meccanismo di cancerogenicità dell'animale è plausibile per l'uomo) E CON EVIDENZA SUFFICIENTE PER L'ANIMALE

GRUPPO 2B - Possibili cancerogeni per l'uomo

AGENTI CON EVIDENZA DI CANCEROGENICITÀ PER L'UOMO LIMITATA IN ASSENZA DI EVIDENZE SUFFICIENTI PER L'ANIMALE

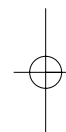
AGENTI CON EVIDENZA SUFFICIENTE PER L'ANIMALE (e raramente inadeguata in presenza di altri dati rilevanti) ANCHE CON EVIDENZE INADEGuate O ASSENTI PER L'UOMO

GRUPPO 3 - Agenti non classificabili per la cancerogenicità per l'uomo

AGENTI CON EVIDENZA LIMITATA, INADEGuate O ASSENTE PER L'ANIMALE E CON EVIDENZE INADEGuate O ASSENTI PER L'UOMO

GRUPPO 4 - Agenti probabilmente non cancerogeni per l'uomo

EVIDENZA DI ASSENZA DI EFFETTI CANCEROGENI PER L'UOMO



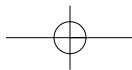


Tabella 7.2 Criteri di interpretazione e classificazione delle evidenze di cancerogenicità adottati dalla CE (Direttiva 2001/59/CE, 2001).

CATEGORIA 1 - Sostanze note per gli effetti cancerogeni per l'uomo

ESISTONO PROVE SUFFICIENTI PER STABILIRE UN NESSO CAUSALE TRA L'ESPOSIZIONE E LO SVILUPPO DI TUMORI NELL'UOMO

FRASE DI RISCHIO R 45 "PUÒ PROVOCARE IL CANCRO"

FRASE DI RISCHIO R 49 "PUÒ PROVOCARE IL CANCRO PER INALAZIONE"

SIMBOLO T

CATEGORIA 2 - Sostanze che dovrebbero considerarsi cancerogene per l'uomo

ESISTONO ELEMENTI SUFFICIENTI PER RITENERE VEROSIMILE CHE L'ESPOSIZIONE A UNA SOSTANZA POSSA PROVOCARE LO SVILUPPO DI TUMORI NELL'UOMO, IN GENERE SULLA BASE DI:

- ADEGUATI STUDI A LUNGO TERMINE EFFETTUATI SU ANIMALI
- ALTRE INFORMAZIONI SPECIFICHE

FRASE DI RISCHIO R 45 "PUÒ PROVOCARE IL CANCRO"

FRASE DI RISCHIO R 49 "PUÒ PROVOCARE IL CANCRO PER INALAZIONE"

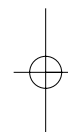
SIMBOLO T

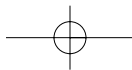
CATEGORIA 3 - Sostanze da considerare con sospetto per i possibili effetti cancerogeni

SOSTANZE PER LE QUALI NON SONO DISPONIBILI INFORMAZIONI SUFFICIENTI PER PROCEDERE AD UNA VALUTAZIONE COMPLETA. ALCUNE PROVE SONO STATE OTTENUTE CON ADEGUATI STUDI SUGLI ANIMALI, NON BASTANO PERÒ PER CLASSIFICARE LA SOSTANZA NELLA CATEGORIA 2

FRASE DI RISCHIO R 40 "POSSIBILITÀ DI EFFETTI CANCEROGENI: PROVE INSUFFICIENTI"

SIMBOLO X_{nb}

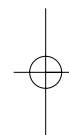




La gestione del rischio

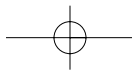
Una volta che sia stato chiarito che è certo, probabile o possibile che una certa esposizione produca determinati effetti, si deve decidere (sia sulla base di tale evidenze, che sulla base di considerazioni quali il numero di esposti, la possibilità tecnica di ridurre o eliminare le esposizioni, il malessere della collettività derivante dal subire esposizioni non volontarie) se, quando e come intervenire per eliminare o ridurre le esposizioni. Prendere decisioni per la salute della collettività è un atto “politico”, dunque un compito della società civile, non dei tecnici e dei ricercatori. D'altra parte il primo elemento su cui si basa il processo decisionale è proprio il giudizio della comunità scientifica. Generalmente non sussistono problemi di accordo tra i ricercatori quando i risultati degli studi sono inequivocabili; tanto più chiari sono i risultati, tanto più elevati i rischi e tanto più sicuri e precisi statisticamente sono i risultati, tanto più in accordo saranno i giudizi dei tecnici. In queste circostanze i decisori si potranno basare su valutazioni nette e concordi.

Più difficile è il consenso sull'esistenza di un rischio quando i risultati degli studi sono meno chiari. Può succedere, in tali circostanze, che diversi soggetti facciano valutazioni diverse, non tanto e non soltanto sull'evidenza del rischio, quanto sull'opportunità di proseguire e svolgere studi più complessi, più articolati, per sopperire alle lacune di conoscenza. Se gruppi di ricercatori e organismi scientifici decidono che vale la pena di approfondire il problema e continuare a indagare, daranno ai decisori il messaggio che il problema è rilevante per la salute pubblica; se invece decidono che non vale la pena spendere altro tempo e soldi per saperne di più, manderanno il messaggio che il problema è irrilevante (su tale decisione di natura tecnica influiscono anche le opinioni individuali, ideologie, ecc. dei singoli ricercatori). I “decisori” si troveranno, in ogni caso, a dovere prendere una decisione in presenza di incertezza scientifica.



Il rischio associato all'esposizione a campi elettrici e magnetici statici e a frequenze estremamente basse (ELF)

Come già indicato nel capitolo precedente, il gruppo di lavoro formato da esperti nominati dalla IARC ha concluso la revisione della let-



teratura sugli effetti dei campi magnetici statici e ELF e ha classificato i campi magnetici ELF come “possibili cancerogeni per l’uomo”, collocandoli nel gruppo 2B, sulla base di dati epidemiologici che fornivano un’evidenza “limitata” e in assenza di prove sufficienti sull’animale (IARC, 2002). La IARC, in particolare, valuta che vi sia una limitata evidenza di rischio di leucemia per i bambini con esposizioni a campi d’induzione magnetica superiori a $0,4 \mu\text{T}$; esclude che vi sia un rischio per esposizioni inferiori a $0,4 \mu\text{T}$ e che vi sia rischio per altri tumori diversi dalla leucemia. La IARC ritiene che i dati riguardanti la popolazione adulta non siano adeguati a dimostrare un aumento di rischio.

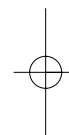
La IARC ha in tal modo confermato, relativamente ai campi magnetici ELF, la valutazione effettuata nel 1998 dal National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS, 1999) statunitense che, adottando i criteri della IARC, aveva classificato sia i campi elettrici che magnetici ELF come “possibili cancerogeni”.

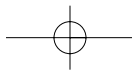
Le valutazioni della IARC sono state, e sono tuttora, il riferimento più autorevole per quanto riguarda la classificazione del rischio cancerogeno; pertanto tale giudizio è importante e resta una base e un riferimento per i ricercatori e per quanti siano impegnati nella prevenzione e nella sorveglianza dei rischi oncogeni.

Come detto in precedenza, la valutazione della IARC è in sostanziale accordo anche con le conclusioni espresse dal National Radiological Protection Board (NRPB, 2001) inglese.

Prevenzione e principio di precauzione

Per prevenzione (primaria) s’intende l’attuazione di strategie sanitarie e non, atte a ostacolare l’insorgenza delle malattie. Quando si tratta di malattie associate all’esposizione a fattori presenti nell’ambiente, fare prevenzione significa eliminare o quanto meno ridurre l’esposizione a quei fattori per cui si sia dimostrato il nesso di causalità con la malattia o per cui esista un forte sospetto che questo nesso esista. E’ più difficile salvaguardare la salute quando le conoscenze sono scarse e quando i giudizi sulla nocività di un certo fattore sono molto incerti e le valutazioni contrastanti. E’ infatti poco chiaro se sia opportuno adottare strategie di abbattimento di esposizioni quando ancora non si sa se sono o no





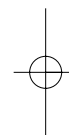
dannose. Si discute molto su questo argomento, cioè sull'opportunità di adottare un principio cautelativo, il *principio di precauzione*, che viene invocato appunto di fronte a rischi non dimostrati, ma che non si possono neanche escludere con certezza (Foster e Coll., 2000).

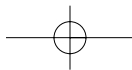
Il principio di precauzione riassume molti dei principi e dei valori etici della sanità pubblica, della prevenzione primaria e delle scienze ambientali. Non è facile stabilire quando sia stato introdotto o definito per la prima volta, ma è certo che dagli anni '80 il principio di precauzione ha fatto la sua comparsa in molti trattati internazionali ed è stato oggetto di intenso dibattito. Non esiste una definizione univoca del principio di precauzione; alcuni Autori sollevano anche dubbi sul fatto che il principio di precauzione sia un "principio", o se, applicato nel campo della sanità pubblica, non sia piuttosto una nuova formulazione dei fondamenti ippocratici in medicina (Weed, in corso di stampa). Fra le numerose definizioni, viene spesso citata la dichiarazione di Rio del 1992: *Qualora esista la possibilità di danno importante o irreversibile, la mancanza di conoscenze scientifiche certe non dovrà essere utilizzata per rimandare misure efficaci per la prevenzione del deterioramento ambientale.*

Sono disponibili anche numerose altre definizioni, che quasi sempre condividono alcuni elementi caratteristici e che in qualche modo identificano il principio di precauzione. Fra questi elementi, degni di nota sono, per esempio:

- la necessità di prendere decisioni in circostanze di incertezza scientifica, e di intraprendere azioni di contenimento o rimozione dei possibili rischi;
- la considerazione del possibile rovesciamento dell'onere della prova: non sono necessariamente i destinatari di una tecnologia a doverne dimostrare la nocività, ma i proponenti a doverne dimostrare la non nocività;
- la necessità di condurre il processo di valutazione e decisione in modo trasparente e partecipativo;
- l'opportunità, quando si valuti la possibile pericolosità di un agente, di prenderne in considerazione le possibili alternative.

Il principio di precauzione rappresenta uno degli strumenti di rilievo nel campo dello sviluppo di politiche e nel processo decisionale in tema





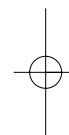
di ambiente e salute. Come tale, il principio di precauzione riveste anche grande importanza dal punto di vista legale, ad esempio appare nell'articolo 174 del Trattato della Comunità Europea, che ha importanti conseguenze legislative. Ci limiteremo qui, tuttavia, a un cenno su come il dibattito intorno al principio di precauzione possa fornire elementi utili nella valutazione di quali misure protettive adottare nel caso dei campi elettromagnetici.

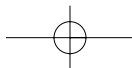
Un importante contributo in merito all'applicazione del principio di precauzione è stato fornito dalla Commissione Europea. In una comunicazione del 2000 la Commissione identifica alcuni criteri da considerare per valutare se il principio di precauzione possa essere invocato in casi concreti. Questi criteri includono: 1) proporzionalità tra misure adottate ed entità del rischio; 2) consistenza tra misure protettive in casi differenti; 3) esame dei potenziali benefici e costi (inclusi quelli economici) del prendere decisioni o del non prenderle; 4) riconoscimento della natura provvisoria delle misure; 5) indicazione delle responsabilità della produzione delle conoscenze necessarie per giungere a una valutazione di rischio più solida.

Queste indicazioni, molto citate in Europa, vanno nella direzione auspicata da molti, cioè di stabilire in modo chiaro se e quando il principio di precauzione sia applicabile; in altre parole, intendono dotare il legislatore di uno strumento per affrontare in concreto i casi controversi in tema di ambiente e salute. È comunque da sottolineare l'impossibilità, concettuale e pratica, di sviluppare un sistema univoco e "automatico" che stabilisca se il principio di precauzione è applicabile. In effetti, il problema è quello di definire quale sia il livello di evidenza scientifica necessario per dare il via a scelte di politica socio-sanitaria e ambientale con determinati costi economici e sociali. Si tratta di una valutazione la cui complessità non può essere ridotta a un algoritmo, per quanto raffinato.

Il principio di precauzione nel caso del rischio da campi elettrici e magnetici ELF

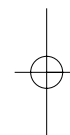
Qual è dunque il ruolo del principio di precauzione nel caso degli effetti sulla salute dei campi ELF? La domanda se il principio di precau-

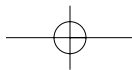




zione è applicabile nel caso dei campi ELF è, come discusso sopra, problematica e certamente non a risposta dicotomica. Infatti sono da considerare molti elementi quali la natura del rischio, la sua entità e verosimiglianza, la gamma delle possibili azioni protettive, la percezione del rischio e la valutazione del rapporto costi/benefici. Se si adotta il punto di vista della Commissione Europea, alla luce di quanto detto in precedenza, l'applicazione del principio di precauzione non è priva di difficoltà. Al tempo stesso, la presenza di rischi potenziali, sebbene non dimostrati, richiede l'esercizio di un approccio di cautela, che alcuni Autori hanno cercato anche di definire in termini generali.

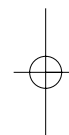
La maggior parte del dibattito si è concentrata sul possibile ruolo delle esposizioni a campi magnetici a 50/60 Hz nell'insorgenza di leucemia infantile. Un approccio di natura cautelativa suggerisce di adottare un punto di vista "pessimistico", e considerare l'associazione, osservata in numerosi studi, di natura causale, pur in assenza di un meccanismo biologico conosciuto. Anche così facendo, l'impatto complessivo sulla salute, dato dal numero di casi di leucemia infantile attribuibili, è modesto (Lagorio e Comba, 1998; Polichetti, 2000). Sembra pertanto poco auspicabile intraprendere campagne di "bonifica" sistematica su larga scala, dai costi assai elevati. Un aspetto preponderante del problema, tuttavia, è la distribuzione delle esposizioni, che risulta essere generalmente poco uniforme: nonostante l'esposizione residenziale media sia per lo più trascurabile, o molto contenuta, esiste una ristretta minoranza di individui residenzialmente esposti a valori elevati. Considerando l'associazione come causale, questa piccola minoranza risulta interessata da rischi elevati rispetto al resto della popolazione. Infatti, nonostante che l'esiguità numerica della popolazione infantile esposta produca pochissimi casi di leucemia, in tale popolazione il rischio di contrarre questa malattia assume invece un certo rilievo. In questo particolare sottogruppo di popolazione esposta, infatti, la probabilità che, dato un caso di leucemia, questo sia dovuto ai campi ELF, è molto alta. Il quadro che emerge, pertanto, accettando l'ipotesi di causalità, è quello di un'iniqua distribuzione sociale del rischio, a fronte di un impatto sanitario limitato in termini assoluti. Oltre all'incerta causalità, le stime numeriche di tale fenomeno, che è pur possibile effettuare, sono molto incerte. Sarebbe, comunque, opportuno mirare a interventi di informazione e di

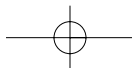




100 Campi elettrici e magnetici statici e a frequenze estremamente basse (ELF) - Rischio cancerogeno

contenimento delle esposizioni ai gruppi di popolazione maggiormente esposti. L'identificazione di tali gruppi non è priva di interrogativi, ma è importante, come passo iniziale, valutare l'entità delle disuguaglianze nell'esposizione. Raffinare e/o aggiornare i dati sul profilo di esposizione della popolazione, che attualmente si basa su vecchie stime effettuate su campioni esigui, consentirebbe infatti una più precisa valutazione dell'efficacia e del rapporto costo-benefici. Si noti in ogni caso che questo modo di procedere, pur improntato alla cautela, allontana in qualche modo il dibattito dal terreno proprio del principio di precauzione, che è tendenzialmente di natura qualitativa.





CAPITOLO 8

GLI ASPETTI NORMATIVI

(M. Grandolfo, A. Seniori Costantini)

La normativa internazionale

L'ampio dibattito sui possibili effetti sanitari dell'esposizione a campi elettromagnetici ha portato varie Istituzioni internazionali (Organizzazione Mondiale della Sanità - OMS, Unione Europea - UE, Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti - ICNIRP), a svolgere un'analisi critica dei dati scientifici a disposizione e a formulare raccomandazioni e linee guida circa i limiti di esposizione da adottare per la salvaguardia della salute.

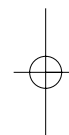
Al di là di alcune differenze nei valori numerici di alcuni limiti e di qualche aspetto metodologico di un certo rilievo, le normative internazionali presentano importanti aspetti in comune dal punto di vista delle basi scientifiche e razionali. In particolare, esse: 1) sono basate sulla stessa letteratura scientifica; 2) prendono in considerazione soltanto effetti chiaramente documentati dalla letteratura scientifica; 3) prevedono ampi margini di sicurezza rispetto ai livelli di soglia che caratterizzano gli effetti sanitari accertati.

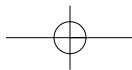
In particolare, l'ICNIRP (1994) ha pubblicato linee guida sulla protezione dalle esposizioni a campi magnetici statici (applicabili nell'intervallo di frequenze 0-1 Hz) e a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici con frequenze comprese tra 1 Hz e 300 GHz (ICNIRP, 1998).

Attorno a queste normative si è creato un vasto consenso e già una trentina di Paesi hanno, per esempio, adottato a livello nazionale, come leggi o regolamenti, le raccomandazioni dell'ICNIRP.

Per quanto riguarda i campi statici, non esistono oggi dati sperimentali affidabili su cui basare la scelta di limiti di esposizione al campo elettrico, per cui l'ICNIRP non ha ritenuto, ad oggi, di definire linee guida per il campo elettrico statico.

Limiti d'esposizione per il campo elettrico statico sono stati, invece, raccomandati dall'American Conference of Governmental Industrial





Hygienists (ACGIH), dal National Radiological Protection Board (NRPB, Gran Bretagna) ed in Germania.

Secondo l'ACGIH, nei posti di lavoro l'intensità del campo elettrico statico non dovrebbe superare il valore di 25 kV/m e dovrebbe essere eliminata la presenza di oggetti non a massa. Per prudenza, comunque, vengono raccomandati sia l'uso di mezzi protettivi (per esempio guanti isolanti) in presenza di campi maggiori di 15 kV/m, che la limitazione a campi inferiori a 1 kV/m per i portatori di pacemaker o di altri dispositivi medici impiantati. Lo stesso valore limite di 25 kV/m è raccomandato in Gran Bretagna, mentre in Germania lo standard DIN prevede il valore limite di 40 kV/m.

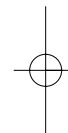
I limiti raccomandati dall'ICNIRP per le esposizioni professionali e della popolazione a campi magnetici statici sono riassunti nella **Tabella 8.1**.

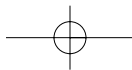
Tabella 8.1 - Limiti di esposizione a campi magnetici statici.

Caratteristiche dell'esposizione	Induzione magnetica
<i>Lavoratori</i>	
Giornata lavorativa (media pesata nel tempo)	200 mT
Valore mai superabile	2 T
Estremità	5 T
<i>Popolazione</i>	
Esposizione continua	40 mT

La maggior parte degli stimolatori cardiaci sono difficilmente influenzati dall'esposizione a campi di 0,5 mT. Quando l'induzione magnetica supera 3 mT, si devono prendere precauzioni per prevenire rischi dovuti a oggetti metallici messi dal campo in rapido movimento.

Orologi metallici, carte di credito, nastri magnetici, dischi per calcolatori, ecc. possono essere danneggiati da esposizioni a 1 mT, ma ciò non è motivo di preoccupazione per la sicurezza degli individui. L'accesso occasionale di individui della popolazione a particolari locali in cui l'induzione magnetica superi i 40 mT può essere consentito in condizioni





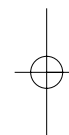
opportunamente controllate, purché non vengano superati i limiti prescritti per i lavoratori.

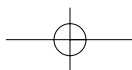
La considerazione dei potenziali rischi dovuti all'interferenza di campi magnetici con dispositivi elettronici porta a raccomandare che, nei luoghi con induzione magnetica superiore a 0,5 T, siano affissi dei segnali di avvertimento. Si dovrebbe evitare che persone con pacemaker impiantati possano inavvertitamente entrare in aree con campi di livello tanto elevato da far sì che la maggior parte del torace dell'individuo possa trovarsi esposto a induzioni magnetiche superiori a 0,5 mT.

Considerazioni sui potenziali rischi dovuti al movimento o allo spostamento di dispositivi o materiali ferromagnetici impiantati (specialmente se l'oggetto è in un'area potenzialmente pericolosa del corpo, come vicino a una struttura vitale neurale, vascolare o a un tessuto molle, o all'occhio), o sui rischi di schegge (proiettili) metalliche, hanno portato l'ICNIRP a raccomandare che le aree caratterizzate da livelli d'induzione magnetica al di sopra di 3 mT debbano essere indicate da specifici segnali di avvertimento. Persone con stimolatori cardiaci, impianti ferromagnetici e dispositivi medicali impiantati potrebbero, quindi, non essere protette dai limiti riportati nella **Tabella 8.1**. Le persone con impianti ferromagnetici dovrebbero chiedere consiglio al proprio medico e, in particolare, persone con pinze per aneurismi che non siano con certezza non magnetiche non dovrebbero essere esposte a campi magnetici superiori a pochi millitesla, per evitare il pericolo di torsioni o spostamenti.

Per frequenze comprese fra 1 Hz e 300 GHz, la definizione dei limiti di esposizione prevede invece, secondo l'ICNIRP, due fasi distinte. La prima prende in considerazione gli effetti sanitari che si intende prevenire, la loro entità ed il loro andamento con la frequenza. I cosiddetti *limiti di base*, che sono gli unici veri limiti per la salvaguardia della salute, vengono espressi mediante grandezze fisiche (*grandezze dosimetriche*) il cui valore, strettamente correlato agli effetti sanitari, è quello presente all'interno del corpo e non è, quindi, valutabile se non mediante esperimenti di laboratorio o simulazioni al computer ottenute con l'applicazione di opportuni modelli matematici.

Il limite raccomandato viene determinato in base ai livelli di soglia relativi alle risposte acute che si evidenziano nei vari intervalli di frequen-





za presi in considerazione (stress indotto dall'aumento della temperatura corporea, effetti comportamentali, stimolazione di strutture e tessuti eccitabili) e ai valori dei fattori di sicurezza che si è deciso di adottare.

La scelta dei *livelli di riferimento* costituisce la seconda fase, più operativa, del processo di protezione dalle esposizioni. I livelli di riferimento sono espressi in termini di grandezze, note come *grandezze radiometriche*, che caratterizzano l'ambiente in cui avviene l'esposizione in assenza del soggetto esposto. Si tratta perciò di grandezze *esterne*, facilmente misurabili con una strumentazione relativamente poco costosa e largamente diffusa sul mercato.

Nella **Fig. 8.1** sono indicate le grandezze radiometriche, utili a valutare l'entità dell'esposizione cui è sottoposto nell'ambiente un individuo e in termini delle quali sono espressi i livelli di riferimento, e le grandezze dosimetriche, da valutarsi all'interno dell'organismo e dalla cui limitazione discende effettivamente la protezione dai possibili effetti sanitari dell'esposizione stessa.

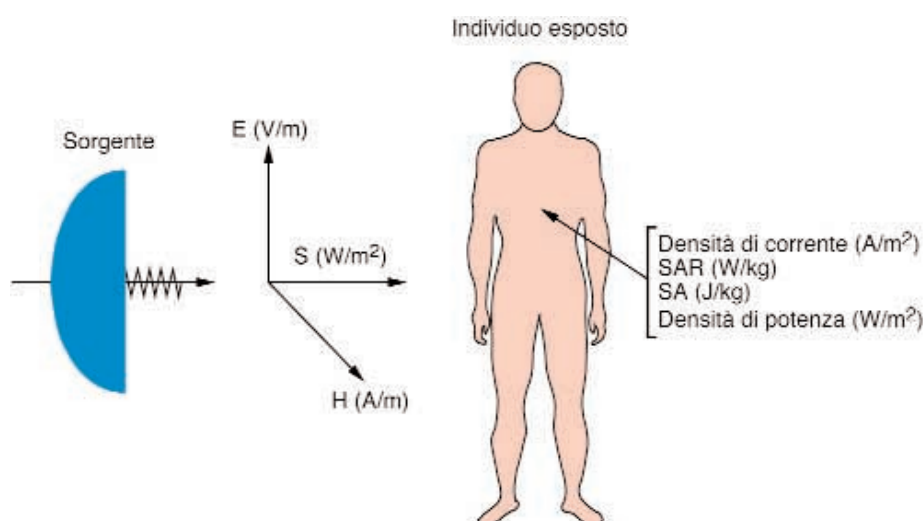
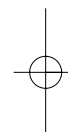
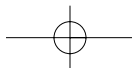


Fig. 8.1 - I livelli d'esposizione vengono espressi attraverso le grandezze radiometriche campo elettrico, E , campo magnetico, H , e densità di potenza, S . Sono però le grandezze dosimetriche quelle che, valutate all'interno del corpo, permettono di misurare l'energia effettivamente assorbita e, quindi, stabilire la rilevanza sanitaria dell'esposizione.





L'idea alla base della filosofia di protezione dell'ICNIRP è che, se in un ambiente si misurano valori inferiori ai livelli di riferimento raccomandati alle frequenze di interesse, in nessuna circostanza l'esposizione determinerà il superamento dei limiti di base. Non è però categoricamente vero il contrario. Infatti, in molte situazioni espositive può accadere che, anche in presenza di valori di campo elettromagnetico superiori ai livelli di riferimento, i limiti di base non vengano, invece, superati. Nel caso di superamento dei livelli di riferimento sono, quindi, necessarie analisi più approfondite e complesse per verificare il rispetto, o meno, dei limiti di base che, come già detto, costituiscono i veri limiti di esposizione.

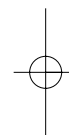
I limiti proposti dall'ICNIRP sono basati, al variare della frequenza, su effetti sperimentalmente accertati quali la stimolazione di muscoli e nervi periferici, scosse e ustioni derivanti dal contatto con conduttori e un aumento della temperatura dei tessuti dovuto all'assorbimento di energia.

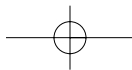
Nello specifico, per il campo magnetico statico (0-1 Hz) i limiti di base coincidono con i livelli di riferimento e sono espressi in termini di induzione magnetica (misurata in tesla), mentre fra 1 Hz e 10 MHz sono definiti in termini di densità di corrente indotta, allo scopo di prevenire effetti sulle funzioni muscolari e del sistema nervoso, e fra 100 kHz e 10 GHz sono definiti in termini di rateo di assorbimento specifico (SAR), espresso in watt a chilogrammo (W/kg), per prevenire sia stress termici in grado di interessare l'intero organismo che eccessivi depositi localizzati di calore nei tessuti. È importante notare che fra 100 kHz e 10 MHz i limiti di base limitano contemporaneamente sia la densità di corrente indotta che il SAR.

Fra 10 e 300 GHz i limiti di base, dato il piccolo spessore di penetrazione delle microonde a queste frequenze, sono definiti in termini di densità di potenza (W/m^2), una grandezza che alle frequenze più basse è utilizzata come grandezza radiometrica. Questa limitazione tende a prevenire l'eccessivo riscaldamento della pelle e dei tessuti superficiali del corpo.

Nella **Fig. 8.2** sono evidenziate, in funzione della frequenza, le diverse grandezze di base (grandezze dosimetriche) adottate nelle linee guida ICNIRP.

Rimandando alla lettura delle pubblicazioni originali per una chiara comprensione del rationale scientifico che è stato alla base delle scelte effettuate, nelle **Tabelle 8.2** e **8.3** sono mostrati i limiti di base proposti.





I livelli di riferimento raccomandati dall'ICNIRP sono stati definiti assumendo condizioni di massimo accoppiamento del campo con gli individui esposti, in modo da fornire il massimo grado di protezione, e sono indicati, per le varie tipologie di esposizione, nelle **Tabelle 8.4 e 8.5**.

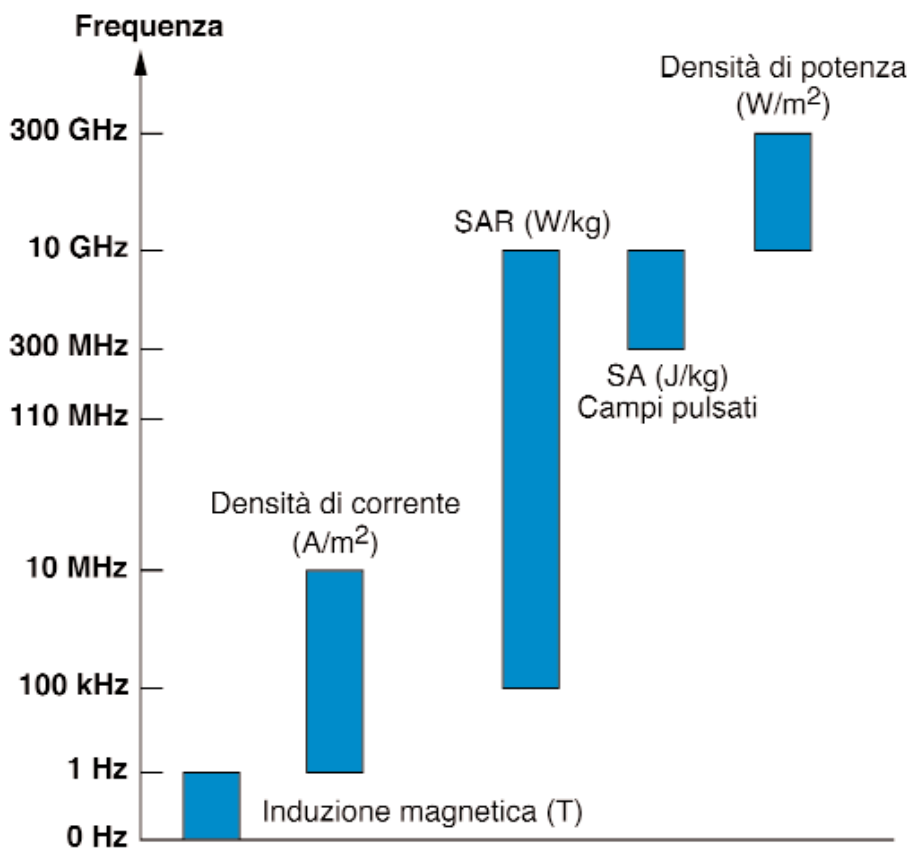
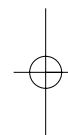
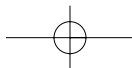


Fig. 8.2 - Grandezze dosimetriche utilizzate nelle linee guida ICNIRP e a cui è possibile correlare i principali effetti accertati dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici nell'intervallo di frequenze comprese fra 0 Hz (campi statici) e 300 GHz.

Per completezza di informazione si fa presente che l'ICNIRP, indipendentemente dalla limitazione vera e propria dei livelli d'esposizione, raccomanda anche l'adozione di ulteriori misure protettive a carattere amministrativo, oltre che tecnico, per prevenire:





1. l'interferenza con apparati elettronici medicali e dispositivi impiantati, in particolare i pacemaker;
2. il possibile innesco di elettrodetonatori;
3. possibili incendi e detonazioni causati da scintille prodotte da campi indotti e da correnti di contatto.

Poiché questa Monografia si riferisce ai campi elettrici e magnetici statici e ai campi ELF, si ritiene utile specificare, in conclusione, quanto espressamente raccomandato dall'ICNIRP per le frequenze di 0 Hz e 50/60 Hz.

Nei riguardi della componente elettrica statica ($f=0$) l'ICNIRP non ha prodotto, come già detto in precedenza, alcuna raccomandazione o linee guida, mentre per la componente magnetica vale quanto già indicato in **Tabella 8.1**.

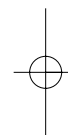
In **Tabella 8.6** sono riportati, per comodità del lettore, i limiti di base e i livelli di riferimento raccomandati dall'ICNIRP per le frequenze di 50 e 60 Hz, come è possibile dedurli dalle precedenti **Tabelle 8.2, 8.4 e 8.5**.

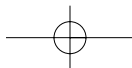
Tabella 8.2 - Limiti di base raccomandati dall'ICNIRP per campi elettrici e magnetici variabili nel tempo con frequenze fino a 10 GHz.

Tipo di esposizione	Intervallo di frequenza	Densità di corrente per la testa e il torace (mA/m^2) (valore efficace)	SAR mediato sul corpo intero (W/kg)	SAR locale (testa e torace) (W/kg)	SAR locale (arti) (W/kg)
Esposizione lavorativa	fino a 1 Hz	40	-	-	-
	1 - 4 Hz	$40/f$	-	-	-
	4 Hz - 1 kHz	10	-	-	-
	1 - 100 kHz	$f/100$	-	-	-
	100 kHz - 10 MHz	$f/100$	0,4	10	20
	10 MHz - 10 GHz	-	0,4	10	20
Esposizione della popolazione	fino a 1 Hz	8	-	-	-
	1 - 4 Hz	$8/f$	-	-	-
	4 Hz - 1 kHz	2	-	-	-
	1 - 100 kHz	$f/500$	-	-	-
	100 kHz - 10 MHz	$f/500$	0,08	2	4
	10 MHz - 10 GHz	-	0,08	2	4

Note:

1. f è la frequenza in hertz.
2. Tutti i valori di SAR devono essere mediati su un qualunque intervallo di 6 minuti.





108 Campi elettrici e magnetici statici e a frequenze estremamente basse (ELF) - Rischio cancerogeno

Tabella 8.3 - Limiti di base ICNIRP per la densità di potenza per frequenze comprese tra 10 e 300 GHz.

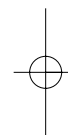
Tipo di esposizione	Densità di potenza (W/m ²)
Lavoratori	50
Popolazione	10

Tabella 8.4 - Livelli di riferimento ICNIRP per l'esposizione lavorativa a campi elettrici e magnetici variabili nel tempo (valori efficaci dei campi non perturbati).

Intervallo di frequenza	Intensità del campo elettrico (V/m)	Intensità del campo magnetico (A/m)	Induzione magnetica (microtesla)	Densità di potenza dell'onda piana equivalente Peq (W/m ²)
fino a 1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	2×10^5	-
1 - 8 Hz	20000	$1,63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	-
8 - 25 Hz	20000	$2 \times 10^4 / f$	$2,5 \times 10^4 / f$	-
0,025 - 0,82 kHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$	-
0,82 - 65 kHz	610	24,4	30,7	-
0,065 - 1 MHz	610	$1,6 / f$	$2,0 / f$	-
1 - 10 MHz	$610 / f$	$1,6 / f$	$2,0 / f$	-
10 - 400 MHz	61	0,16	0,2	10
400 - 2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$0,01f^{1/2}$	$f/40$
2 - 300 GHz	137	0,36	0,45	50

Note:

1. f come indicato nella colonna relativa all'intervallo di frequenza.
2. Se i limiti di base sono rispettati e possono essere esclusi effetti avversi indiretti, i valori di intensità di campo possono essere superati.
3. Per frequenze comprese tra 100 kHz e 10 GHz, Peq, E², H², e B² devono essere mediati su qualsiasi intervallo di 6 minuti.



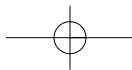


Tabella 8.5 - Livelli di riferimento ICNIRP per l'esposizione della popolazione a campi elettrici e magnetici variabili nel tempo (valori efficaci dei campi non perturbati).

Intervallo di frequenza	Intensità del campo elettrico (V/m)	Intensità del campo magnetico (A/m)	Induzione magnetica (microtesla)	Densità di potenza dell'onda piana equivalente P_{eq} (W/m ²)
fino a 1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	-
1 - 8 Hz	10000	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	-
8 - 25 Hz	10000	4000/f	5000/f	-
0,025 - 0,82 kHz	250/f	4/f	5/f	-
0,8 - 3 kHz	250/f	5	6,25	-
3 - 150 kHz	87	5	6,28	-
0,15 - 1 MHz	87	0,73/f	0,92/f	-
1 - 10 MHz	$87/f^{1/2}$	0,73/f	0,92/f	-
10-400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 - 2000 MHz	$1,375f^{1/2}$	$0,0037f^{1/2}$	$0,0046f^{1/2}$	f/200
2 - 300 GHz	61	0,16	0,20	10

Note: Le stesse della Tabella 8.4.

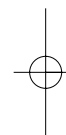
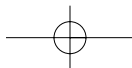


Tabella 8.6 - Limiti di base e livelli di riferimento raccomandati dall'ICNIRP per i campi elettrici e magnetici a 50 e 60 Hz.

Tipo d'esposizione	50 Hz	60 Hz
Lavoratori		
Limite di base	10 mA/ m ²	10 mA/ m ²
Livello di riferimento, E	10 kV/m	8,33 kV/m
Livello di riferimento, H	400 A/m	333 A/m
Livello di riferimento, B	500 μT	417 μT
Popolazione		
Limite di base	2 mA/ m ²	2 mA/ m ²
Livello di riferimento, E	5 kV/m	4,17 kV/m
Livello di riferimento, H	80 A/m	67 A/m
Livello di riferimento, B	100 μT	83 μT



La normativa comunitaria

A livello sovranazionale, la Commissione Europea (CE) ha seguito con interesse, fin dagli anni '70, la problematica della protezione dalle radiazioni non ionizzanti, intraprendendo a varie riprese azioni per giungere all'emanazione di raccomandazioni o direttive in questo settore.

Nel 1989, la CE avviò un programma per uno statuto dei diritti sociali fondamentali dei lavoratori, nel cui ambito incluse la presentazione di una proposta di direttiva per la sicurezza e la protezione sanitaria dei lavoratori dall'esposizione agli agenti fisici (COM - 89 - 568 final, action 10), cioè il rumore, le vibrazioni meccaniche e le radiazioni non ionizzanti (come è noto, le radiazioni ionizzanti sono oggetto di una diversa normativa comunitaria).

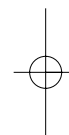
Per quanto riguarda i campi elettromagnetici, la Commissione decise di invitare un gruppo di esperti di tre istituzioni di altrettanti paesi dell'Unione europea (il Bundesamt für Strahlenschutz in Germania, il National Radiological Protection Board in Gran Bretagna, e l'Istituto Superiore di Sanità in Italia) a formulare proposte per i limiti primari di esposizione. Il lavoro del gruppo di esperti si concluse con un rapporto (Allen e Coll., 1991) che ha costituito la base per un allegato tecnico alla direttiva, ancora in corso di definizione.

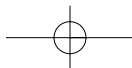
Il Consiglio dell'Unione Europea ha emanato nel 1999 una Raccomandazione agli Stati membri (UE, 1999) che ha fatto proprie le indicazioni fornite dall'ICNIRP per la protezione della popolazione. La Raccomandazione è stata approvata da tutti i Paesi dell'Unione, a esclusione dell'Italia, coerentemente con l'adozione, nel nostro Paese, come si vedrà più avanti, di normative più restrittive/precauzionali.

I dati presentati nelle tabelle precedenti, limitatamente a quanto raccomandato per la popolazione, rappresentano quindi anche quanto attualmente raccomandato dall'UE. Per quanto riguarda i lavoratori è in corso di discussione una Direttiva che, per sua natura, una volta approvata dovrà essere recepita dagli Stati membri.

La legislazione italiana

In Italia, la legislazione per la protezione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici a 50 Hz si è basata, fino al 1992, sul rispetto delle





distanze dagli elettrodotti di edifici adibiti ad abitazione o a qualunque altra attività. Il criterio su cui tali distanze erano fissate era sostanzialmente quello di evitare il rischio di scariche elettriche. Il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri (GU, 1992) ha costituito un'importante evoluzione delle basi normative, in quanto con tale decreto sono stati stabiliti i *“limiti massimi di esposizione ai campi elettrici e magnetici generati alla frequenza industriale nominale (50 Hz) negli ambienti abitativi e negli ambienti esterni”*. Sono state cioè fissate le intensità di campo elettrico e magnetico che non devono essere superate *“in aree in cui si possa ragionevolmente attendere che individui della popolazione trascorrono una parte significativa della propria giornata”* con lo scopo di evitare possibili effetti avversi alla salute della popolazione. Tali limiti, conformemente con le raccomandazioni ICNIRP, erano fissati in:

- Campo elettrico 5 kV/m
- Induzione magnetica 100 μ T

Nel caso di aree in cui l'esposizione fosse *“ragionevolmente limitata a poche ore al giorno”* i limiti erano fissati in:

- Campo elettrico 10 kV/m
- Induzione magnetica 1 mT

Il DPCM del 1992 fissava anche nuove distanze dagli edifici potenzialmente caratterizzati da tempi di permanenza prolungati:

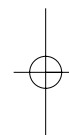
- per le linee a 132 kV \geq 10 m
- per le linee a 220 kV \geq 18 m
- per le linee a 380 kV \geq 28 m

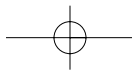
Un successivo decreto (GU, 1995) ha poi stabilito i tempi per la presentazione di progetti di risanamento al Ministero dell'Ambiente e i tempi per il completamento delle azioni di risanamento.

Il 14 febbraio 2001 è stata approvata dal Parlamento la *“Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici”* n. 36 che, con la sua pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale (GU, 2001) è diventata il 7 marzo del 2001 legge dello Stato.

Questa legge stabilisce i principi fondamentali diretti:

a) ad assicurare la tutela della salute dei lavoratori, delle lavoratrici, e della popolazione dagli effetti dell'esposizione a determinati livelli di





campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, ai sensi e nel rispetto dell'articolo 32 della Costituzione;

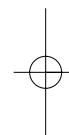
b) a promuovere la ricerca scientifica per la valutazione degli effetti a lungo termine e attivare misure di cautela da adottare in applicazione del principio di precauzione di cui all'articolo 174, paragrafo 2, del Trattato istitutivo dell'Unione Europea;

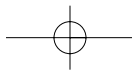
c) ad assicurare la tutela dell'ambiente e del paesaggio e promuovere l'innovazione tecnologica e le azioni di risanamento volte a minimizzare l'intensità e gli effetti dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici secondo le migliori tecnologie disponibili.

L'ambito della legge comprende tutte le applicazioni civili e militari, con l'unica eccezione dell'esposizione intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici. Vengono stabilite le definizioni di limite d'esposizione, valore di attenzione, e obiettivo di qualità, quali strumenti per realizzare le finalità relative ai tre ambiti (a-c) di cui sopra: 1) il *limite d'esposizione* è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, definito ai fini di tutela della salute da effetti acuti, che non deve essere superato in alcuna condizione d'esposizione della popolazione e dei lavoratori; 2) il *valore di attenzione* è il valore di immissione che non deve essere superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate. Esso costituisce misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine e deve essere raggiunto nei tempi e nei modi previsti dalla legge; 3) gli *obiettivi di qualità* sono i criteri localizzativi, standard urbanistici, prescrizioni e incentivazioni per l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili, indicati dalle leggi regionali e valori dei campi definiti dallo Stato ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi medesimi.

La competenza sulla determinazione dei valori numerici da adottarsi per le tre categorie di limitazioni è attribuita allo Stato, che dovrà a tal fine emanare una serie di decreti attuativi.

Spettano inoltre allo Stato, attraverso l'emanazione di una serie di decreti attuativi, la determinazione dei limiti d'esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità, il coordinamento e la promozione della ricerca tecnico-scientifica, l'istituzione di un catasto delle sorgenti, la determinazione dei criteri di elaborazione dei piani di risanamento,





con priorità e tempi di attuazione e la definizione dei tracciati degli elettrodotti con tensione superiore a 150 kV.

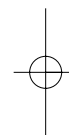
Risultano, invece, di competenza delle Regioni e degli Enti locali l'individuazione dei siti per gli impianti di telecomunicazione e le procedure autorizzative, l'adozione dei piani di risanamento per l'adeguamento ai valori stabiliti dallo Stato, la definizione dei tracciati degli elettrodotti con tensione non superiore a 150 kV, il concorso alla definizione di obiettivi di qualità e le funzioni di controllo e vigilanza.

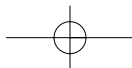
La legge prevede anche la costituzione di un Comitato Interministeriale per la prevenzione e la riduzione dell'inquinamento elettromagnetico e una serie dettagliata di controlli amministrativi volti a limitare l'esposizione umana.

L'8 luglio 2003 sono stati emanati i primi due decreti attuativi della legge n. 36/2001 (GU, 2003a; GU, 2003b). Questi decreti hanno per titolo, rispettivamente, "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz" e "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". Come si nota dai titoli, i decreti si riferiscono alla protezione della popolazione, mentre è ancora in corso di definizione il decreto relativo alla protezione dei lavoratori.

I due decreti adottano, in alcune situazioni che verranno in seguito chiarite, il principio di cautela e si delinea, dunque, un quadro normativo italiano del tutto peculiare.

Il secondo dei due decreti è quello di interesse per questa monografia e, al di là di quanto non sia espressamente indicato nel suo titolo, è volto in effetti a tutelare la popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici a frequenze comprese fra 0 Hz (campi statici) e 100 kHz. In questo intervallo di frequenze il decreto attuativo indica che, per tutte le sorgenti non riconducibili agli elettrodotti, si applica l'insieme completo delle restrizioni stabilite nella Raccomandazione del Consiglio dell'Unione Europea del 12 luglio 1999, in pratica i limiti di base e i livelli di riferimento proposti dall'ICNIRP.





Solo per i campi a 50 Hz e solo quando prodotti da elettrodotti, e non da altre sorgenti, il decreto chiama in causa il principio di precauzione, introducendo, in aggiunta ai livelli di riferimento raccomandati a livello europeo, che nel decreto vengono indicati come limiti di esposizione, e per la sola componente magnetica, un valore di attenzione pari a $10 \mu\text{T}$ e un obiettivo di qualità pari a $3 \mu\text{T}$.

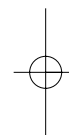
L'obiettivo di qualità dovrà essere rispettato nella progettazione di nuovi impianti. Il sistema agenziale APAT-ARPA dovrà determinare, con l'approvazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, le procedure di misura e valutazione dei valori di induzione magnetica.

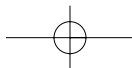
Dalla data d'entrata in vigore del decreto non si applicano più, in quanto divenute incompatibili, le disposizioni dei decreti del Presidente del Consiglio dei Ministri 23 aprile 1992 (GU, 1992) e 28 settembre 1995 (GU, 1995).

Normative regionali

In base alla legge quadro n. 36 del 2001, alle Regioni e Province Autonome spettano i compiti di realizzare il catasto degli elettrodotti, in coordinamento con il catasto nazionale, e individuare gli strumenti tecnici per il controllo delle esposizioni e il raggiungimento degli obiettivi di qualità. Anche prima dell'emanazione della Legge quadro alcune Regioni italiane avevano emanato normative per ottemperare ai propri compiti amministrativi in materia di tutela ambientale, compiti peraltro definiti dalla legislazione nazionale sul decentramento delle funzioni amministrative. In generale le leggi regionali sono tese a disciplinare l'esercizio delle funzioni e a individuare i soggetti competenti per realizzare piani di risanamento e funzioni di vigilanza. Alcune Regioni hanno regolato questa materia all'interno di leggi più generali; altre, invece, hanno emanato normative specifiche per la limitazione delle esposizioni a campi elettromagnetici.

La legge più recente sugli impianti di trasporto e distribuzione dell'energia elettrica (elettrodotti), peraltro successiva alla legge quadro nazionale del 2001, è quella della Regione Umbria, legge regionale n. 9 del 14 giugno 2002; la legge richiama espressamente i principi fondamentali della legge quadro e le finalità di tutela della salute e del paesaggio.



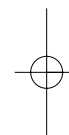


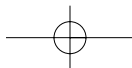
Sono definiti i compiti della Regione, delle Province e dei Comuni per la gestione degli elettrodotti (e degli impianti di telefonia mobile e radiodiffusione) e sono altresì definite le funzioni tecniche dell'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale (ARPA) in materia di vigilanza, controllo e piani di risanamento.

La Regione Campania ha anch'essa recentemente emanato la legge regionale, n. 13 del 24 novembre 2001, che stabilisce le norme per tutelare la popolazione e salvaguardare l'ambiente dai campi elettrici e magnetici prodotti dagli elettrodotti; si individua la necessità di coordinare tali norme con le scelte di pianificazione territoriale e urbanistica. La legge istituisce il catasto degli elettrodotti e stabilisce modalità e tempi per il risanamento degli impianti. Nella legge sono anche definiti i limiti di esposizione in armonia con le Raccomandazioni dell'ICNIRP.

Nella Regione Emilia Romagna è stata emanata la legge n. 30 del 31 ottobre 2000 riguardante i tre tipi di impianti che generano onde elettromagnetiche (emittenza radiotelevisiva, telefonia mobile ed elettrodotti); nella legge è valorizzato il ruolo delle amministrazioni provinciali, sia per quanto riguarda la realizzazione del catasto degli impianti elettrici sia l'attività di risanamento e tutela ambientale. Si afferma inoltre che: *Gli strumenti urbanistici devono assicurare che si realizzi il perseguimento dell'obiettivo di qualità di 0,2 μ T di induzione magnetica valutata al ricettore in prossimità di asili, scuole, aree verdi attrezzate e ospedali nonché edifici adibiti a permanenza di persone non inferiore a 4 ore giornaliere.* La Direttiva della Regione Emilia-Romagna del 20 febbraio 2001 ripropone il valore di 0,2 μ T come obiettivo di qualità (con alcune eccezioni, per le quali si propone 0,5 μ T come obiettivo di qualità minimo da perseguire).

Nella Regione Toscana è stata emanata la legge regionale n. 51 dell'11 agosto 1999 che definisce i soggetti (Province, Comuni e ARPA) cui spetta il compito di definire la localizzazione degli impianti e le funzioni di controllo e vigilanza. La legge prevede il contenimento e/o la riduzione dei livelli di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico e *fatti salvi i limiti massimi di esposizione, relativamente all'ambiente esterno ed abitativo, ai campi elettrico e magnetico, di cui al DPCM 23 aprile 1992 e di ogni altra disposizione statale in materia, nel rispetto del principio cautelativo della esposizione della popolazione ai*





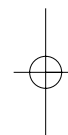
campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, il valore di qualità al quale deve tendere l'ottimizzazione del progetto è rappresentato dalla riduzione al minimo livello possibile dei casi di nuova esposizione, nell'ambito territoriale nel quale la nuova opera determina alterazioni al fondo naturale dei campi stessi.

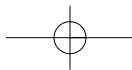
La Regione Abruzzo ha disciplinato le funzioni concernenti linee e impianti elettrici aventi tensione fino a 150.000 V con la legge regionale n. 132 del 23 dicembre 1999, che modifica e integra una precedente legge regionale del 1988; tale legge stabilisce, fra le altre cose, che *nelle vicinanze di asili nido, scuole, parchi gioco, ospedali, aree sportive e centri abitati, il livello di esposizione alle onde elettromagnetiche non superi la soglia di sicurezza di 0,2 microtesla (0,2 μ T).*

Nel Veneto la legge regionale n. 27 del 30 giugno 1993, stabiliva, tra l'altro, la necessità di tutela del patrimonio archeologico, storico, paesaggistico e ambientale. Più recentemente la legge regionale n. 48 del 22 ottobre 1999 "Prevenzione dei danni derivanti dai campi elettromagnetici generati dagli elettrodotti. Regime transitorio" conferma il ruolo fondamentale dell'ARPA nella fase dei controlli e stabilisce che le aree destinate a nuove costruzioni residenziali, scolastiche e sanitarie siano a distanza dalle linee elettriche tali che il campo elettrico e l'induzione magnetica non superino i valori previsti dalla precedente legge del 1993, cioè rispettivamente 500 kV e 0,2 μ T. Nel gennaio 2003 la Regione Veneto ha inoltre promulgato una legge di modifica dell'articolo 6 della legge del 1993 relativo alla manutenzione e ristrutturazione degli *edifici ubicati nelle zone di protezione derivanti dalle distanze di rispetto degli elettrodotti.*

La Provincia autonoma di Trento ha emanato la legge provinciale n. 7 del 13 luglio 1995 che disciplina le funzioni inerenti l'impianto di opere elettriche con tensione nominale fino a 150.000 V, ove sono, tra l'altro, specificati i criteri per le autorizzazioni e il collaudo degli impianti.

Altre Regioni hanno specificato i compiti in tema di protezione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici nell'ambito della definizione delle più ampie funzioni e dei compiti amministrativi di Regione ed Enti locali: la Regione Piemonte con la legge regionale n. 44 del 26 aprile 2000, la Regione Puglia con la legge regionale n. 17 del 30 novembre 2000, la Regione Liguria con la legge regionale n. 18 del 21 giugno

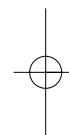


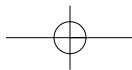


1999, la Regione Basilicata con la legge regionale n. 7 dell'8 marzo 1999 e la Regione Molise con la legge regionale n. 34 del 29 settembre 1999.

Normative specifiche in materia di impianti e linee elettriche erano state adottate dalla Regione Lazio con la legge regionale n. 42 del 10 maggio 1990 e dalla Regione Sardegna, che aveva stabilito norme in materia di installazione di linee e impianti elettrici con la legge regionale n. 43 del 20 giugno 1989.

Il nuovo quadro normativo nazionale certamente comporta compiti onerosi per le Regioni, che devono ottemperare ai mandati legislativi e che quindi dovranno dotarsi di strumenti tecnici e normativi adatti ad articolare le proprie funzioni di programmazione e controllo e fare propri i limiti previsti dai decreti attuativi.



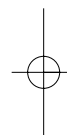


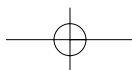
VALUTAZIONI, SUGGERIMENTI PRATICI E RACCOMANDAZIONI

La Commissione “Cancerogenesi ambientale” della Lega Italiana per la Lotta contro i Tumori ha preso in esame pareri e valutazioni espressi da vari Comitati nazionali e internazionali sui possibili effetti cancerogeni nella popolazione umana esposta a campi elettrici e magnetici statici e a frequenze estremamente basse - agenti fisici che appartengono allo spettro delle radiazioni non ionizzanti - e ha effettuato un aggiornamento della letteratura sull’argomento. Sulla base delle esperienze scientifiche e delle competenze professionali e valutative dei suoi componenti, la Commissione, nello stilare la presente Monografia, è pervenuta alle seguenti conclusioni.

Stima del potenziale cancerogeno

- L’insieme degli studi disponibili indica che le evidenze di cancerogenicità per l’uomo sono limitate e concernono la leucemia infantile, mentre sono inadeguate per le altre sedi tumorali, e che la relazione tra esposizione ai tipi di campi presi in considerazione e rischio di tumori non è sufficientemente chiara.
- In tal senso si è anche espressa la IARC che, sulla base dei dati disponibili nel 2001, ha così valutato le associazioni tra esposizione a campi elettrici e magnetici e insorgenza di tumore:
 - Vi è limitata evidenza di cancerogenicità per l’uomo del campo magnetico a frequenze estremamente basse, per quanto riguarda la leucemia infantile.
 - Vi è inadeguata evidenza di cancerogenicità per l’uomo del campo magnetico a frequenze estremamente basse, per quanto riguarda gli altri tumori.
 - Vi è inadeguata evidenza di cancerogenicità per l’uomo dei campi elettrici e magnetici statici e del campo elettrico a frequenze estremamente basse.





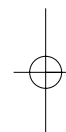
- Vi è inadeguata evidenza di cancerogenicità per l'animale sperimentale del campo magnetico a frequenze estremamente basse.
- Non vi sono dati di rilievo sulla cancerogenicità per l'animale sperimentale dei campi elettrici e magnetici statici e del campo elettrico a frequenze estremamente basse.

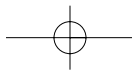
Sulla base di tali valutazioni il campo magnetico a frequenze estremamente basse è stato classificato come “possibile cancerogeno per l'uomo” (Gruppo 2B) e i campi elettrici e magnetici statici e il campo elettrico a frequenze estremamente basse sono stati valutati come “non classificabili per la loro cancerogenicità per l'uomo” (Gruppo 3).

Non sono emerse successivamente informazioni tali da modificare, a giudizio della Commissione, il parere della IARC sulla pericolosità in senso cancerogeno del campo magnetico a frequenze estremamente basse e, in particolare, alle frequenze industriali di 50/60 Hz. Pertanto, la Commissione, allo stato attuale delle conoscenze, condivide la precedente valutazione.

Esposizione e rischio

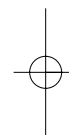
- In Italia, come nella maggior parte dei Paesi in cui sono stati misurati i livelli di esposizione, la frazione della popolazione infantile esposta a valori superiori a 0,4 - 0,5 μT è limitata a meno dell'1%. Per questo motivo, a livello dell'intera popolazione infantile, la frazione di casi di leucemia eventualmente attribuibili all'esposizione al campo magnetico a 50 Hz sarebbe assai limitata. Per la piccola minoranza di popolazione esposta ai livelli più elevati, il rischio di contrarre tumore assumerebbe tuttavia un certo rilievo.
- Aggiornare il profilo espositivo della popolazione assume importanza anche allo scopo di favorire interventi di contenimento delle esposizioni mirati alle popolazioni esposte a livelli elevati. In conseguenza delle notevoli incertezze ancora esistenti sulla causalità dell'associazione, non sembra infatti ragionevole realizzare piani di risanamento che comportino pesanti oneri quando i livelli di esposizione siano inferiori a quelli per i quali la ricerca scientifica ha evidenziato un rischio.
- Seguendo quanto suggerito nella Monografia della IARC, sia per





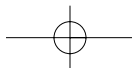
quanto riguarda la cancerogenesi che i possibili effetti avversi sulla riproduzione, sembra ragionevole concentrare gli interventi preventivi a carattere cautelativo relativamente ai soggetti maggiormente esposti, indicativamente a livelli superiori a $0,5 \mu\text{T}$. A questa fascia della popolazione infantile, per la quale alcuni studi recenti hanno confermato un eccesso di leucemia, appare importante dedicare ulteriore ricerca e sorveglianza epidemiologica, anche al fine di indagare il possibile meccanismo causale sottostante a tali eccessi.

- Per una migliore valutazione dei possibili effetti cancerogeni saranno utili le ulteriori informazioni derivanti da studi in corso, dei quali la Commissione è a conoscenza, sia epidemiologici che sperimentali. Si segnala, in particolare, che in Italia è in corso lo studio epidemiologico SETIL (Studio multicentrico caso-controllo sulla eziologia dei tumori del sistema emolinfopoietico e dei neuroblastomi nel bambino), che coinvolge 15 delle 20 Regioni italiane. Il progetto prevede anche la misura diretta dei livelli d'induzione magnetica a 50 Hz in un campione di abitazioni delle varie Regioni coinvolte nella ricerca. Lo studio SETIL potrà anche fornire stime sull'entità della popolazione esposta a livelli elevati d'induzione magnetica. Fra gli studi sperimentali vanno ricordati quelli effettuati sull'animale e in corso in vari Paesi; tra questi, si segnala lo studio italiano di ampio disegno sperimentale e di dimensioni maggiori degli standard correnti per quanto concerne il numero dei gruppi e degli animali utilizzati e le modalità di esposizione selezionate. Altre informazioni rilevanti potranno derivare da altri studi sperimentali già in corso, o da avviare, sul meccanismo d'azione e sulla trasformazione cellulare neoplastica indotta in vitro, direttamente dai campi ELF, in modelli validati (ad esempio, le cellule BALB/c 3T3).



Aspetti normativi

Va sottolineata la peculiarità della legislazione italiana sia rispetto ad altri Paesi, in quanto la filosofia del principio di precauzione alla base della legge 36/01 è unica, sia in ambito nazionale, in quanto alcune Regioni hanno stabilito norme in maniera disomogenea prima dell'approvazione della legge sopra citata, divenuta operativa con l'e-



manazione dei primi due decreti attuativi. Più in dettaglio, la legge italiana introduce, oltre ai limiti d'esposizione (come stabilito dall'IC-NIRP), anche "valori di attenzione" e "obiettivi di qualità" per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici. Come già accennato, esiste una certa disomogeneità a livello regionale: solo alcune Regioni hanno emanato norme specifiche e in taluni casi sono stati fissati limiti di esposizione. Il nuovo quadro normativo che si sta delineando a livello nazionale comporta la necessità per le Regioni di dotarsi di strumenti tecnici e normativi adeguati per ottemperare alle proprie funzioni di programmazione e controllo.

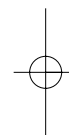
Suggerimenti pratici

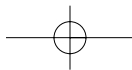
L'accesa discussione sulla problematica dei campi elettromagnetici ha creato in molte persone, in molti Paesi e in Italia in particolare, una forte preoccupazione, a volte probabilmente sproporzionata rispetto alle evidenze scientifiche disponibili.

Il proporre semplici misure precauzionali può lenire le preoccupazioni, anche se non è scevro dal pericolo di ottenere il risultato opposto: portare ad una sopravvalutazione dell'effettivo rischio.

E' opportuno prendere in considerazione interventi, o stili di vita, volti a minimizzare i livelli d'esposizione a campi elettrici e magnetici a frequenza industriale (50 Hz), se ciò viene incontro a particolari esigenze emotive dell'individuo. E' allora raccomandabile l'adozione di interventi semplici e a basso costo che, in linea di principio, concordano anche con alcuni principi di base della radioprotezione, che portano a richiedere l'eliminazione delle esposizioni indebite e la riduzione anche di quelle ritenute necessarie. Il punto fondamentale è, comunque, che le risorse e l'energia investite siano proporzionate al livello di rischio e, ancor di più, al beneficio sanitario che da queste ci si aspetta d'ottenere.

Le conoscenze scientifiche oggi disponibili non forniscono elementi atti a consigliare di limitare la vicinanza a (o il tempo d'utilizzo di) sorgenti domestiche (Andreuccetti e Bevitori, 2003). E' infatti solo un'ipotesi quella che porta a sospettare le ripercussioni negative sulla salute le-





gate alle esposizioni domestiche, estrapolandola dai dati epidemiologici nel caso di prolungate esposizioni residenziali.

In termini di possibili suggerimenti sul come ridurre i livelli d'esposizione a campi a frequenza industriale, è necessario distinguere il caso delle linee e cabine elettriche esterne alle abitazioni da quello degli apparecchi elettrici d'uso più comune.

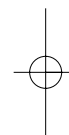
Il primo caso è quello che costituisce la principale fonte d'esposizione cronica ed è quindi quello cui assegnare il livello di priorità più elevato. Tipiche possibilità tecniche per la riduzione dei campi prodotti da un elettrodotto, a parità di tensione, corrente e percorso, sono l'aumento dell'altezza dei sostegni, la riduzione della distanza fra i vari conduttori, l'impiego di linee in cavo isolato, sia aeree che interrate. Per completezza occorre però anche chiarire che nessuna di queste soluzioni è priva di controindicazioni, non ultimo il loro costo.

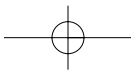
Per quanto riguarda la limitazione dell'esposizione ai campi generati dagli apparecchi di uso comune, è importante ricordare che tutte queste sorgenti generano campi le cui intensità possono essere molto elevate, specialmente nel caso della componente magnetica, ma che diminuiscono drasticamente con la distanza. Nel caso dei grandi elettrodomestici fissi (per es. lo scaldabagno e il frigorifero) è sufficiente, quindi, distribuirli negli ambienti in modo da rendere minimi i casi di permanenza prolungata di persone entro un metro dalle loro superfici.

Per gli apparecchi di utilizzo individuale (per es. l'asciugacapelli, il ferro da stiro o il rasoio elettrico), l'aumento della distanza è, in moltissimi casi, inapplicabile, ma tutti sono caratterizzati da utilizzi brevi e saltuari, per cui è difficile attendersi significativi contributi all'esposizione cronica totale.

Raccomandazioni

Sulla base delle considerazioni svolte in precedenza, in particolare per quanto si riferisce ai dati oggi noti relativamente a possibili effetti a lungo termine, per quanto sia ancora incerta la loro interpretazione in termini di sanità pubblica, la diffusa preoccupazione attualmente presente nell'opinione pubblica suggerisce l'opportunità di formulare alcune raccomandazioni.





In questo contesto è possibile individuare i seguenti ambiti d'intervento, in relazione agli aspetti scientifici e conoscitivi, a quelli tecnici e applicativi e alle modalità di trasmissione dell'informazione al largo pubblico:

- Aspetti scientifico-conoscitivi

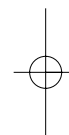
- È opportuno che siano sostenuti gli studi epidemiologici e sperimentali in corso in Italia e sia promossa la ricerca futura in questo ambito.
- Una volta noti i risultati dello studio SETIL, sarà opportuno considerare l'eventuale necessità di altri studi mirati alla valutazione della distribuzione dei livelli d'induzione magnetica che interessano la popolazione italiana. È importante considerare esposizioni prodotte dalla, collegati alla rete elettrica domestica, e a dagli elettrodomestici, dalle linee di trasmissione e distribuzione e dalle installazioni elettriche nelle abitazioni, tramite appropriato campionamento.

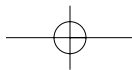
- Aspetti tecnico-applicativi

- Una maggiore conoscenza dei livelli d'induzione magnetica che interessano la popolazione italiana potrà favorire l'identificazione di politiche di risanamento per i soggetti compresi nelle fasce a maggior livello di esposizione, come espresso in precedenza.
- Si auspica che le nuove installazioni elettriche (e, se possibile, le nuove apparecchiature elettriche) siano realizzate in modo tale da minimizzare i livelli d'induzione magnetica prodotti nell'ambiente di vita e di lavoro.
- Si suggerisce di evitare in futuro di costruire elettrodotti che attraversino insediamenti urbani e nuove abitazioni in stretta vicinanza di linee elettriche ad alta e media tensione.

- Aspetti di comunicazione

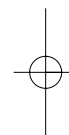
- È necessario fornire una corretta informazione alla popolazione sullo stato delle conoscenze in relazione ai livelli d'esposizione e ai rischi, per evitare che il dibattito su tale tema assuma toni di ir-

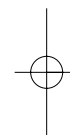
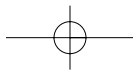




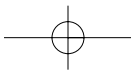
razionale contrapposizione, come è successo negli ultimi anni nel nostro Paese.

- E' importante favorire lo sviluppo di un serio dibattito scientifico e fornire gli elementi essenziali di tale dibattito ai decisori e alla popolazione in generale, in maniera tale da consentire un'obiettiva valutazione dei possibili interventi di risanamento e dei relativi rapporti costo/beneficio.





La Commissione “Cancerogenesi ambientale” desidera ringraziare il Sig. Marco Sabatini, del Laboratorio di Fisica dell’Istituto Superiore di Sanità, per la preziosa collaborazione tecnica fornita nella preparazione del materiale iconografico.



BIBLIOGRAFIA

Ager DD, Radul JA. 1992. Effect of 60-Hz magnetic fields on ultraviolet light-induced mutation and mitotic recombination in *Saccharomyces cerevisiae*. *Mutat Res* 283:279-286.

AGNIR, 1994. Health effects related to the use of visual display units. Documents NRPB 5(2). NRPB, Chilton (GB).
<http://www.nrpb.org/publications/documents>.

Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J, Linet M, McBride M, Michaelis J, Olsen JH, Tynes T, Verkasalo PK. 2000. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukemia. *British Journal of Cancer* 83(5):692-698.

Allen SG, Bernhardt JH, Driscoll CMH, Grandolfo M, Mariutti GF, Matthes R, McKinlay AF, Steinmetz M, Vecchia P, Whillock M. 1991. Proposals for basic restrictions for protection against occupational exposure to electromagnetic non-ionizing radiations. Recommendations of an international Working Group set up under the auspices of the Commission of the European Communities. *Physica Medica* VII, n.2, 77-89.

Andreuccetti D, Bevitori P. 2003. Inquinamento elettromagnetico - conoscerlo per prevenirlo: le risposte degli esperti. Franco Angeli, Milano.

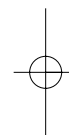
Ansari RM, Hei TK. 2000. Effects of 60 Hz extremely low frequency magnetic fields (EMF) on radiation- and chemical-induced mutagenesis in mammalian cells. *Carcinogenesis* 21:1221-1226.

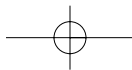
Anversa A, Battisti S, Carreri V, Conti R, D'Ajello L, D'Amore G, Fumi A, Grandolfo M, Munafò E, Tofani S, Vecchia P. 1995. Power frequency fields. Buildings and the general public: exposure levels and risk assessment. *Proc of Healthy Buildings* (Marco Maroni, Editor) vol. 1, pp 113-126.

Barregard L, Jarvholm B, Ungethum E. 1985. Cancer among workers exposed to strong static magnetic fields. *Lancet* 2:892.

Belanger K, Leaderer B, Hellenbrand K, Hollford TR, McSharry J, Power ME, Bracken M.B. 1998. Spontaneous abortion and exposure to electric blankets and heated water beds. *Epidemiology* 9, 36-42.

Bellossi A. 1984. The effect of a static uniform magnetic field on mice: a study of methylcholanthren carcinogenesis. *Radiat. Environ. Biophys.* 23:107.



128 Campi elettrici e magnetici statici e a frequenze estremamente basse (ELF) - Rischio cancerogeno

Bellossi A. 1986. The effect of a static non-uniform magnetic field on mice: a study of Lewis tumour graft. *Radiat. Environ. Biophys.* 25:231.

Bellossi A, Toujas L. 1982. The effect of a static uniform magnetic field on mice: a study of a Lewis tumour graft. *Radiat. Environ. Biophys.* 20:153.

Belyaev IYa, Alipov YeD, Matronchik AYU. 1998. Cell density-dependent response of E.coli to weak ELF magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 19(5):300-9.

Benjashvili D Sh, Bilanishvili VG, Menabade MZ. 1991. Low-frequency electromagnetic radiation enhances the induction of rat mammary tumors by nitrosomethyl urea. *Cancer Lett* 61,75-79.

Bethwaite P, Cook A, Kennedy J, Pearce N. 2001. Acute leukemia in electrical workers: a New Zealand case-control study. *Cancer Causes and Control* 12:683-689.

Bonhomme-Faivre L, Marion S, Bezie Y, Auclair H, Fredj G, Hommeau C. 1998. Study of human neurovegetative and hematologic effects of environmental low-frequency (50-Hz) electromagnetic fields produced by transformers. *Archives of Environmental Health* 53:7-92.

Bonhomme-Faivre L, Marion S, Orbach-Arbouys. 2000. Occupational electromagnetic fields (ELF) may induce immunological alterations in humans: study after the end of exposure. 22nd Meeting of the Bioelectromagnetics Society, Munich, Abstract Book pp 265-266.

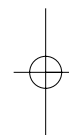
Bracken MB, Belanger K, Hellenbrand K, Dlugosz L, Holford TR, McSharry JE, Ad-desso K, Leaderer B. 1995. Exposure to electromagnetic fields during pregnancy with emphasis on electrically heated beds: association with birthweight and intrauterine growth retardation. *Epidemiology* 6, 263-270.

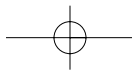
Buiatti E, Barchielli A, Geddes M, Nastasi L, Kriebel D, Franchini M, Scarselli G. 1984. Risk factors in male infertility: a case control study. *Arch Environ Health* 39, 266-270.

Campos Venuti G, Grandolfo M, Mariutti G. 1979. Ipotesi di normativa nel campo della protezione dalla radiazione a radiofrequenza e a microonde. *Rapporti dell'Istituto Superiore di Sanità, ISS P 79/2.*

Charles LE, Loomis D, Shy CM, Newman B, Millikan R, Nylander-French LA, Couper D. 2003. Electromagnetic Fields, Polychlorinated biphenyls, and Prostate Cancer Mortality in Electric Utility Workers. *Am J Epidemiol* 157:683-691.

Chung MK, Kim JC, Myung SH, Lee DI. 2003. Developmental toxicity evaluation of ELF magnetic fields in Sprague Dawley rats. *Bioelectromagnetics*, 24(4): 231-40.





Clairmont BA, Johnson GB, Zaffanella LE, Zelingher S. 1989. The effects of HVAC-HVDC line separation in a hybrid corridor. *IEEE Trans Power Deliv* 4:1338-1350.

Comba P, Grandolfo M, Lagorio S, Polichetti A, Vecchia P. 1995. Rischio cancerogeno associato a campi magnetici a 50/60 Hz. *Rapporti dell'Istituto Superiore di Sanità, ISTISAN* 95/29.

Commission of the European Communities. 2000. Communication from the Commission on the precautionary principle: 3-29.

Coogan PF, Clapp RW, Newcomb PA, Wenzl TB, Bodgan G, Mittendorf R, Baron JA, Longnecker MP. 1996. Occupational exposure to 60 Hz magnetic fields and risk of breast cancer in women. *Epidemiology* 7, 459-464.

Dan Bracken T. 1992. Experimental macroscopic dosimetry for extremely-low-frequency electric and magnetic fields. *Bioelectromagnetics (suppl. 1)*, 15-22.

Davis S, Mirick DK, Stevens RG. 2002. Residential magnetic field and the risk of breast cancer. *American Journal of Epidemiology* 155(5):446-454.

Desjobert H, Hillion J, Adolphe M, Averlant G, Nafziger J. 1995. Effects of 50 Hz magnetic fields on c-myc transcript levels in nonsynchronized and synchronized human cells. *Bioelectromagnetics* 16:277-283.

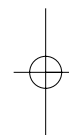
Dibirdik I, Kristupaitis D, Kurosaki T, Tuel-Ahlgren L, Chu A, Pond D, Tuong D, Luben R, Uckun F. 1998. Stimulation of Src family protein-tyrosine kinases as a proximal and mandatory step for SYK kinase-dependent phospholipase C(γ)² activation in lymphoma B-cells exposed to low energy electromagnetic fields. *J Biol Chem* 273:4035-4039.

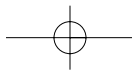
Direttiva 2001/59/CE della Commissione del 6 agosto 2001 recante l'adeguamento al progresso tecnico della Direttiva 67/548/CEE recepita in Italia con Decreto del Ministero della Salute 14/6/02 pubblicato sul S.O. 197 della GU n. 244 del 17/10/02.

Dlugosz L, Vena J, Byers T, Sever L, Bracken M, Marshall E. 1992. Congenital defects and electric bed heating in New York State: A register case-control study. *Amer Epidemiol* 135, 1000-1011.

Dolezalek H. 1979. Atmospheric electricity. In *Handbook of Chemistry and Physics*, Cleveland, Chemical Rubber Publishing Co.

Elbetieha A, AL-Akhras MA, Darmani H. 2002. Long term exposure of male and female mice to 50 Hz magnetic fields: effects on fertility. *Bioelectromagnetics* 23(2), 168-72.



130 Campi elettrici e magnetici statici e a frequenze estremamente basse (ELF) - Rischio cancerogeno

Fitzsimmons RJ, Farley J, Adey WR, Baylink DJ. 1986. Embryonic bone matrix formation is increased after exposure to a low-amplitude capacitively coupled electric field, *in vitro*. *Biochim Biophys Acta* 882:51-56.

Foster KR, Vecchia P, Repacholi MH. 2000. Science and the precautionary principle. *Science* 288:979-981.

Gold S, Goodman R, Shirley-Henderson A. 1994. Exposure of Simian virus-40-transformed human cells to magnetic fields results in increased levels of T-antigen mRNA and protein. *Bioelectromagnetics* 15:329-336.

Goodman R, Wei LX, Xu JC, Henderson A. 1989. Exposure of human cells to low-frequency electromagnetic fields results in quantitative changes in transcripts. *Biochim Biophys Acta* 1009(3):216-220.

Goodman R, Bumann J, Wei LX, Shirley-Henderson A. 1992. Exposure of human cells to electromagnetic fields: Effect of time and field strength on transcript levels. *Electro- and Magnetobiol.* 11:19-28.

Grandolfo M. 1974. Aspetti sanitari della radiazione elettromagnetica a radiofrequenza. *Rapporti dell'Istituto Superiore di Sanità, ISS L 74/3, Roma.*

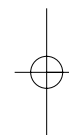
Grandolfo M e Vecchia P. 1985. Natural and man-made environmental exposure to static and ELF electromagnetic fields. In *Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF Electromagnetic Fields* (a cura di Grandolfo M, Michaelson SM e Rindi A), New York and London, Plenum Press.

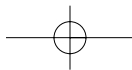
Grandolfo M, Vecchia P, Angelini V, Chiotti E, Ranghiasi C, Matiussi R, Battisti S, Stoppoloni P. 1989. Livelli di campo magnetico presenti all'interno dell'elettrotreno con assetto variabile ETR450. *Atti del XXVI Congresso Nazionale dell'Associazione Italiana di Protezione contro le Radiazioni*, 509-514.

Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C, Kelsh MA. 2000. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. *Epidemiology* 11:624-634.

Grilli S. 1997. Ipotetici meccanismi di azione delle radiazioni non ionizzanti (NIR) nel determinare effetti avversi sulla salute dell'uomo con particolare riferimento alla cancerogenesi. In: Alberghini V, Bersani F, Bevitori P, Biocca M, Bollini G, Capuzzimati G, Grilli S, Marinelli F, Podo O, Rossi F, Sacchetti A, Sasdelli A, Soffritti M "Rischi sanitari dovuti all'inquinamento da radiazioni non ionizzanti e possibili misure di prevenzione per la popolazione". *Comune di Bologna*, pp. 66-73.

GU. 1992. DPCM 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. *Gazzetta Ufficiale n. 104, 6 maggio 1992.*





GU. 1995. DPCM 28 settembre 1995. Norme tecniche procedurali di attuazione del decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 23 aprile 1992 relativamente agli elettrodotti. Gazzetta Ufficiale n. 232, 4 ottobre 1995.

GU. 2001. Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici. Gazzetta Ufficiale n. 55 del 7 marzo 2001.

GU. 2003a. DPCM 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. Gazzetta Ufficiale 28 agosto 2003. Serie generale n. 199, pp 25-29.

GU. 2003b. DPCM 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. Gazzetta Ufficiale 29 agosto 2003. Serie generale n. 200, pp 11-13.

Håkansson N, Floderus B, Gustavsson P, Johansen C, Olsen JH. 2002. Cancer incidence and magnetic field exposure in industries using resistance welding in Sweden. *Occupational and Environmental Medicine* 59: 481-486.

Harada S, Yamada S, Kuramata O, Gunji Y, Kawasaki M, Miyakawa T, Yonekura H, Sakurai S, Bessho K, Hosono R, Yamamoto H. 2001. Effects of high ELF magnetic fields on enzyme-catalyzed DNA and RNA synthesis in vitro and on a cell-free DNA mismatch repair. *Bioelectromagnetics* 22:260-266.

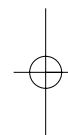
Hatch EE, Kleinerman RA, Linet MS, Tarone RE, Kaune WT, Auvinen A, Baris D, Robinson LL, Wacholder S. 2000. Do confounding or selection factors of residential wiring codes and magnetic fields distort findings of electromagnetic fields studies? *Epidemiology* 11:189-198.

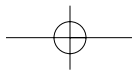
Haseman JK. 1984. Statistical issues in the design, analysis and interpretation of animal carcinogenicity studies. *Env Health Persp* 58, 385-392.

Health Council of the Netherlands. 2001. Electromagnetic fields: Annual Update 2001. Vedi: <http://www.gr.nl/engels/welcome/>

High WB, Sikora J, Ugurbill K, Garwood M. 2000. Subchronic in vivo effects of a high static magnetic field (9.4 T) in rats. *J Magn Reson Imaging* 12:122-139.

Hu GL, Chiang H, Zeng QL, Fu YD. 2001. ELF magnetic field inhibits gap junctional intercellular communication and induces hyperphosphorylation of connexin 43 in NIH3T3 cells. *Bioelectromagnetics* 22:568-73.





Huuskonen H, Juutilainen J, Komulainen H. 1993. Effects of low-frequency magnetic fields on fetal development in rats. *Bioelectromagnetics* 14(3), 205-213.

Huuskonen H, Juutilainen J, Julkunen A, Maki-Paakkanen J, Komulainen H. 1998. Effects of low-frequency magnetic fields on fetal development in CBA/Ca mice. *Bioelectromagnetics* 19:477-485.

Huuskonen H, Saastamoinen V, Komulainen H, Laituinen J, Juutilainen J. 2001. Effects of low-frequency magnetic fields on implantation in rats. *Reprod Toxicol* 15:49-59.

IARC. 2002. Non-ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency Electric and Magnetic Fields. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Volume 80.

ICNIRP. 1994. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. *Health Physics* 66:100-106.

ICNIRP. 1998. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics* 74:494-509.

Irgens A, Kruger K, Ustein M. 1999. The effect of men occupational exposure in infertile couples in Norway. *J Occup Environ Med* 41:1116-1120

Juutilainen J, Matilainen P, Saarikoski S, Laara E, Suonio S. 1993. Early pregnancy loss and exposure to 50-Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 14:229-236.

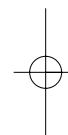
Ivanctis S, Diem E, Rudinger HW, Jahn O. 2002. Induction of DNA strand breaks by intermittent exposure to extremely-low-frequency electromagnetic fields in human diploid fibroblasts. *Mut Res*, 519(1-2): 1-13.

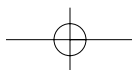
Kanal E, Gillen J, Evans JA, Savitz DA, Shellock FG. 1993. Survey of reproductive health among female MR workers. *Radiology* 187:395-399.

Kangarlu A, Burgess RE, Zhu H, Nakayama T, Hamlin RL, Abduljallil AM, Robataille PML. 1999. Cognitive, cardiac and physiological safety studies in ultra high field magnetic resonance imaging. *Mag Res Imag* 17:1407-1416.

Katsie G, Baram S, Parola A. 1998. Effect of sinusoidally varying magnetic fields on cell proliferation and adenosine deaminase specific activity. *Bioelectromagnetics* 19:46-52.

Kinouchi Y, Yamaguchi H, Tenforde TS. 1996. Theoretical analysis of magnetic field interaction with aortic blood flow. *Bioelectromagnetics* 17:21-32.





Kowalczuk CI, Sienkiewicz ZJ, Saunders RD. 1991. Biological effects of exposure of non ionising fields and radiation: I. Static electric and magnetic fields. NRPB-R238, NRBP, Chilton.

Kowalczuk CI, Robbins L, Thomas JM, Butland BK, Saunders RD. 1994. Effects of prenatal exposure to 50 Hz magnetic fields on development in mice: Implantation rate and fetal development. *Bioelectromagnetics* 15:349-361.

Krause N. 1986. Exposure of people to static and time variable magnetic fields in technology, medicine, research and public life: dosimetric aspects. In: *Biological Effects of Static and ELF Magnetic Fields*, BGA-Schriftenreihe 3/86 (a cura di J H Bernhardt). Munich, MMV Medizin Verlag, 57-71.

Lagorio S, Comba P. 1998. Sintesi delle evidenze epidemiologiche sulla leucemia infantile in relazione all'esposizione a campi elettrici e magnetici a 50 Hz. *Med Lav* 89(2):132-41.

Lagorio S, Salvan A. 2001. Leucemia infantile ed esposizioni a campi magnetici a 50/60 Hz: una rassegna delle evidenze epidemiologiche al 2000. *Ann Ist Sup Sanità* 37:213-224.

Lee GM, Neutra RR, Hristova L, Yost M, Hiatt RA. 2002. A nested case-control study of residential and personal magnetic field measures and miscarriages. *Epidemiology* 13(1), 21-31.

Li DK, Checkoway H, Mueller BA. 1995. Electric blanket use during pregnancy in relation to the risk of congenital urinary tract anomalies among women with a history of subfertility. *Epidemiology* 6:485-489.

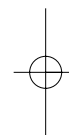
Li DK, Odouli R, Wi S, Janevic T, Golditch I, Bracken TD, Senior R, Rankin R, Iriye R. 2002. A population-based prospective cohort study of personal exposure to magnetic fields during pregnancy and risk of miscarriage. *Epidemiology*, 13:9-20.

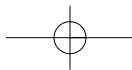
Li DK, Neutra RR. 2002. Magnetic fields and miscarriage. *Epidemiology* 13, 237-238.

Loescher W, Mevissen M, Lehmacher W, Stamm A. 1993. Tumor promotion in a breast cancer model by exposure to a weak alternating magnetic field. *Cancer Letters* 71, 75-81. e coll., 1993

Loescher W, Mevissen M. 1994. Animal studies on the role of 50/60-Hz magnetic fields in carcinogenesis. *Life Sci* 54, 1531-1543.

Loescher W, Mevissen M. 1995. Linear relationship between flux density and tumor co-promotion effect of prolonged field exposure in a breast cancer model. *Cancer Letters* 96:175-180.



134 Campi elettrici e magnetici statici e a frequenze estremamente basse (ELF) - Rischio cancerogeno

Loescher W, Wahnschaffe U, Mevissen M, Lerchl A, Stamm A. 1994. Effects of weak alternating magnetic fields on nocturnal melatonin production and mammary carcinogenesis in rats. *Oncology*, 51:288-295.

Lundsberg L., Bracken MB, Belanger K. 1995. Occupationally related magnetic field exposure and male subfertility. *Fertil Steril*, 63: 384-391.

Mantel N. 1963. Chi-square tests with one degree of freedom: extensions of the Mantel-Haenszel procedure. *J Amer Statistical Association* 58:690-700.

Matanoski GM, Breyse PN, Elliot E.A. 1991. Electromagnetic field exposure and male breast cancer. *Lancet* 337: 737.

McCann J, Dietrich F, Rafferty C. 1998. The genotoxic potential of electric and magnetic fields - An update. *Mutat Res* 411:45-86.

McCann J, Kavet R, Rafferty CN. 1997. Testing electromagnetic Fields for Potential Carcinogenic Activity: A Critical review of Animal Models. *Environ, Health Perspect*, 105 (suppl.1), 81-103.

McLean JRN, Stuchly MA, Mitchel REJ, Wilkinson D, Yang H, Goddard M, Lecuyer DW, Schunk M, Callary E, Morrison D. 1991. Cancer promotion in a mouse-skin model by 60 Hz field: II. Tumor development and immune response. *Bioelectromagnetics* 12:273-287.

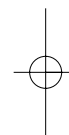
McLean J, Thansadote A, Lecuyer D, Goddard M, Tryphonas L, Scaiano JC, Johnson F. 1995. A 60-Hz magnetic field increases the incidence of squamous cell carcinomas in mice previously exposed to chemical carcinogens. *Cancer Letters* 92:121-125.

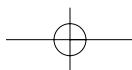
McLean JRN, Thansadote A, Lecuyer D, Goddard M. 1997. The effect of 60-Hz magnetic fields on co-promotion of chemically induced skin tumors on SENCAR mice: A discussion of three studies. *Environ Health Perspect* 105:94-96.

Mevissen M, Buntenkotter S, Loescher W. 1994. Effects of static and time-varying (50-Hz) magnetic fields on reproduction and fetal development in rats. *Teratology* 50(3), 220-237.

Mevissen M, Stamm A, Buntenkotter S, Zwingelberg R, Wahnschaffe U, Loescher W. 1993. Effects of magnetic fields on mammary tumor induced by 7,12-dimethylbenz(a)anthracene in rats. *Bioelectromagnetics* 14:131-143.

Milham S. 1996. Increased incidence of cancer in a cohort of office workers exposed to strong magnetic fields. *American Journal of Industrial Medicine* 30:702-704.





Miller SC, Furniss MJ. 1998. Bruton's tyrosine kinase activity and inositol-1,4,5-trisphosphate production are not altered in the DT40 lymphoma B cells exposed to power line frequency magnetic fields. *J Biol Chem* 273:32618-32626.

Milunsky A, Ulcickas M, Rothman KJ, Willet W, Jick SS, Jick H. 1992. Maternal heat exposure and neural tube defects. *J Am Med Assoc* 268:882-885.

Miyakoshi J, Ohtsu S, Shibata T, Takebe H. 1996. Exposure to magnetic field (5 mT at 60 Hz) does not affect cell growth and c-myc gene expression. *J Radiat Res* 37:185-191.

Miyakoshi J, Mori Y, Yamagishi N, Yagi K, Takebe H. 1998. Suppression of high-density magnetic field (400 mT at 50 Hz)-induced mutations by wild-type p53 expression in human osteosarcoma cells. *Biochem Biophys Res Commun* 243:579-584.

Morehouse CA, Owen RD. 2000. Exposure of Daudi cells to low-frequency magnetic fields does not elevate MYC steady-state mRNA levels. *Radiat Res* 153:663-669.

Mur JM, Wild P, Rapp R, Vautrin JP, Coulon JP. 1998. Demographic evaluation of the fertility of aluminium industry workers: influence of exposure to heat and static magnetic fields. *Hum Reprod* 13:2016-2019.

NIEHS (National Institute of Environmental Health Sciences). 1999. Report on health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields. National Institutes of Health 25-30.

Nordstroem S, Birke E, Gustavsson L. 1983. Reproductive hazards among workers at high voltage substations. *Bioelectromagnetics* 4, 91-101.

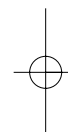
NRPB. 2001. ELF electromagnetic fields and the risk of cancer. Report of an advisory group on non ionizing radiation. *NRPB Documents* 12(1):38-6D.

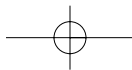
NRPB. 2001. ELF electromagnetic fields and the risk of cancer. *NRPB Documents* 12:38-60.

NTP. 1999. Technical Report Series No. 488: Toxicology and carcinogenesis studies of 60-Hz Magnetic Fields in F344/N Rats and B6C3F₁ Mice. U.S. Dept of Health and Human Services, NIH Publication no. 99-3978, Research Triangle Park, NC 27709, U.S.

NRPB. 2001. ELF Electromagnetic fields and the risk of cancer. *NRPB Documents* 12:38-60

Olsson G, Belyaev IY, Helleday T, Harms-Ringdahl M. 2001. ELF magnetic field affects proliferation of SPD8/V79 Chinese hamster cells but does not interact with intrachromosomal recombination. *Mutat Res* 493:55-66.





136 Campi elettrici e magnetici statici e a frequenze estremamente basse (ELF) - Rischio cancerogeno

Owen RD. 1998. MYC mRNA abundance is unchanged in subcultures of HL60 cells exposed to power-line frequency magnetic fields. *Radiat Res* 150:23-30 (1998).

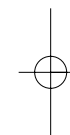
Perry FS, Pearl L, Binns R. 1989. Power frequency magnetic field; depressive illness and myocardial infarction. *Public Health*; 103:177-180.

Perry FS, Reichmanis M, Marino AA, Becker RO. 1981. Environmental power-frequency magnetic fields and suicides. *Health Physics* 41: 267-277.

Polichetti A. 2000. Esposizione a campi magnetici a 50 Hz e leucemia infantile: un modello lineare per valutazioni quantitative di rischio. *Atti del XXXI Congresso Nazionale dell' AIRP* (A cura di C. Osimani): 457-464.

Polk C. 1992. Dosimetry of extremely-low-frequency magnetic fields, *Bioelectromagnetics Supplement 1*: 209-235.

Portier CJ e Wolfe MS (eds.). 1998. National Institute of Environmental Health Sciences of the National Institutes of Health. Assessment of health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields. NIEHS Working Group Report, Research Triangle Park, NC, USA, NIH Publication No. 98-3981. Vedi: <http://www.niehs.nih.gov/>



Provincia autonoma di Trento, Legge provinciale n. 7 del 13 luglio 1995. BU luglio 1995, n. 34.

Rannug A, Ekstroem T, Hansson Mild KH, Holmberg B, Gimenez-Conti I, Slaga TJ. 1993. A study on skin tumor formation in mice with 50 Hz magnetic field exposure. *Carcinogenesis* 14(5):573-578.

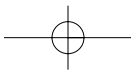
Rannug A, Holmberg B, Ekstroem T, Hansson Mild K H, Gimenez-Conti I, Slaga T-J. 1994. Intermittent 50 Hz magnetic field and skin tumour promotion in SENCAR mice. *Carcinogenesis* 15(2)(2): 153-157.

Regione Abruzzo, LR n. 132 del 23 dicembre 1999. BURA n. 30 Straordinario del 28 dicembre 1999.

Regione Campania, LR n. 13 del 24 novembre 2001. BUR Speciale del 29 novembre 2001.

Regione Emilia Romagna, LR n. 30 del 31 ottobre 2000. Norme per la tutela della salute e la salvaguardia dell'ambiente dall'inquinamento elettromagnetico. BUR n. 14/2000.

Regione Toscana, LR n. 51 dell'11 agosto 1999. Disposizioni in materia di linee elettriche ed impianti elettrici. BURT n. 17 del 17 aprile 2000.



Regione Umbria, LR n. 9 del 14 giugno 2002. Tutela sanitaria e ambientale dall'esposizione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici. BU della Regione Umbria n. 28 del 26 giugno 2002.

Regione Veneto, LR n. 27 del 30 giugno 1993. Prevenzione dei danni derivanti da campi elettromagnetici generati da elettrodotti. BURV n. 55 del 2 luglio 1993.

Regione Veneto, LR n. 48 del 22 ottobre 1999. Prevenzione dei danni derivanti dai campi elettromagnetici generati dagli elettrodotti. Regime transitorio BUR n. 93/1999.

Regione Veneto, LR n. 1 del 9 gennaio 2003. Modifica della legge regionale 30 giugno 1993 n. 27. Prevenzione dei danni derivanti da campi elettromagnetici generati da elettrodotti. BURV n. 4 del 14 gennaio 2003.

Repacholi M, Greenebaum B (eds.). 1999. Interaction of static and extremely low frequency electric and magnetic fields with living systems: health effects and research needs. *Bioelectromagnetics* 20:133-160.

Rivas L, Oroza MA, Delgado JMR. 1987. Influence of electromagnetic fields on body weight and serum chemistry in second generation mice. *Med Sci Res* 15:1041-1042.

Rivas L, Rius C, Tello I, Oroza MA. 1985. Effects of chronic exposure to weak electromagnetic fields in mice. *IRCS Med. Sci.* 13, 661-662.

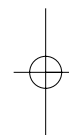
Robinson JG, Pendleton AR, Monson KO, Murray BK, O'Neill KL. 2002. Decreased DNA repair rates and protection from heat induced apoptosis mediated by electromagnetic field exposure. *Bioelectromagnetics* 23:106-112.

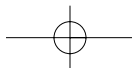
Rommereim DN, Rommereim RL, Miller DL, Buschbom RL, Anderson LE. 1996. Developmental toxicology evaluation of 60-Hz horizontal magnetic fields in rats. *Appl Occup Environ Hyg* 11:307-312.

Ronneberg A, Haldorsen T, Romundstad P, Andersen A. 1999. Occupational exposure and cancer incidence among workers from an aluminum smelter in Western Norway. *Scand J Work Environ Health* 25:207-214.

Ryan BM, Mallet E Jr, Johnson TR, Gauger JR, McCormic DL. 1996. Developmental toxicity study of 60 Hz (power frequency) magnetic fields in rats. *Teratology* 54, 73-83.

Ryan BM, Polen M, Gauger JR, Mallet E Jr, Kearns MB, Bryan L, McCornick DL. 2000. Evaluation of the developmental toxicity of 60 Hz magnetic fields and harmonic frequencies in Sprague-Dawley rats. *Radiat Res* 153:637-641.





138 Campi elettrici e magnetici statici e a frequenze estremamente basse (ELF) - Rischio cancerogeno

Sagan LA. 1992. Epidemiological and laboratory studies of power frequency electric and magnetic fields. *JAMA* 268: 625-629.

Savitz DA, Annanth CV. 1994. Residential magnetic fields, wire codes and pregnancy outcome. *Bioelectromagnetics* 15: 271-273.

Savitz DA. 2002a. Magnetic fields and miscarriage. *Epidemiology* 13(1), 1-4.

Savitz DA. 2002b. Magnetic fields and miscarriage (letter). *Epidemiology* 13:23.

Savitz DA. 2003. Health effects of electric and magnetic fields: are we done yet? *Epidemiology* 14(1):15-17.

Schüz J, Grigat JP, Brinkmann K, Michaelis J. 2001. Residential magnetic fields as a risk factor for childhood acute leukaemia: results from a German population-based case-control study. *International Journal of Cancer* 91:728-735.

Shcheglov VS, Alipov ED, Belyaev IY. 2002. Cell-to-cell communication in response of *E. coli* cells at different phases of growth to low-intensity microwaves. *Biochim Biophys Acta* 1572:101-6.

Snawder JE. 1999. Effect of magnetic field exposure on anchorage-independent growth of a promoter sensitive mouse epidermal cell line (JB6). *Environ Health Perspect* 107:195-8.

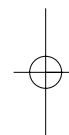
Söderberg KC, Naumburg E, Anger G, Cnattingius S, Ekblom A, Feychting M. 2002. Childhood leukemia and magnetic fields in infant incubators. *Epidemiology* 13(1):45-49.

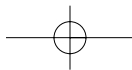
Sorahan T, Nichols L, van Tongeren M, Harrington JM. 2001. Occupational exposure to magnetic field relative to mortality from brain tumours: updated and revised findings from a study of United Kingdom electricity generation and transmission workers, 1973-97. *Occupational of Environmental Medicine* 58:626-630.

Stevens RG. 1993. Breast cancer and electric power. *Biomed Pharmacother* 47:435-438.

Swan SH, Beaumont JJ, Hammond SK, von Behren J, Green RS, Hallock MF, Woskie SR, Hines CJ, Schenker MB. 1995. Historical cohort study of spontaneous abortion among fabrication workers in the Semiconductor Health Study: agent level analysis. *Am. J. Ind. Med.* 28, 751-769.

Tablado L, Soler C, Nuñez M, Nuñez J, Perez-Sanchez F. 2000. Development of mouse testis and epididymus following intrauterine exposure to a static magnetic field. *Bioelectromagnetics* 19:377-383.





Tenforde TS. 1992. Interaction mechanisms and biological effects of static magnetic fields. *Automedica* 14:271-293.

Toernqvist S. 1998. Paternal work in the power industry: effects on children at delivery. *J Occup Environ Med* 40:111-117.

Tynes T, Klæboe L, Haldorsen T. 2003. Residential and occupational exposure to 50 Hz magnetic fields and malignant melanoma: a population based study. *Occup Environ Med* 60:343-347.

UE. *Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee*, 30 luglio 1999, pp. L199/59-L199/70.

Ueno S, Iwasaka M. 1999. Effects and mechanisms of intense DC magnetic fields on biological, physical, and chemical processes. In: *Electricity and Magnetism in Biology and Medicine* (Bersani, Ed). Kluwer Academic/Plenum Publishers, 205-210.

US EPA. 1986. Guidelines for carcinogen risk assessment. *Federal Register*, 51 (185), 33992-34003.

US EPA. 1996. Proposed Guidelines for carcinogen risk assessment. *Federal Register* 61(79), 17961-18011.

Van Wijngaarden E, Savitz DA, Kleckner RC, Cai J, Loomis D. 2000. Exposure to electromagnetic fields and suicide among electric utility workers: a nested case-control. *Occupational and Environmental Medicine* 57:258-263.

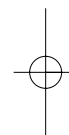
Van Wijngaarden E, Savitz DA, Klenckner RC, Kavet R, Loomis D. 2001. Mortality patterns by occupation in a cohort of electric utility workers. *American Journal of Industrial Medicine* 40:667-673.

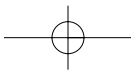
Verkasalo PK, Kaprio J, Varjonen J, Romanv K, Heikkilä K, Koskenvuo M. 1997. Magnetic fields of transmission lines and depression. *American Journal of Epidemiology* 146:1037-1045.

Villeneuve PJ, Agnew DA, Johnson KC, Mao Y, the Canadian Cancer Registries Epidemiology Research Group. 2002. Brain cancer and occupational exposure to magnetic fields among men: result from a Canadian population-based case-control study. *International Journal of Epidemiology* 31:210-217.

Yamaguchi DT, Huang J, Ma D, Wang PK. 2002. Inhibition of gap junction intercellular communication by extremely low-frequency electromagnetic fields in osteoblast-like models is dependent on cell differentiation. *J Cell Physiol* 190:180-8.

Weed D. Is the precautionary principle a principle? *Technology and Society* (in corso di stampa).





140 Campi elettrici e magnetici statici e a frequenze estremamente basse (ELF) - Rischio cancerogeno

Wertheimer N, Leeper E. 1979. Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol* 109(3):273-284.

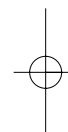
Wertheimer N, Leeper E. 1986. Possible effects of electric blankets and heated waterbeds on fetal development, *Ann NY Acad Sci* 502:43-53.

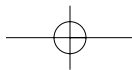
Wertheimer N, Leeper E. 1989. Fetal loss associated with two seasonal sources of electromagnetic field exposure. *Am J Epidemiol* 129:220-224.

Zecca L, Ferrario P, Dal Conte G. 1985. Toxicological and teratological studies in rats after exposure to pulse magnetic fields. *Bioelectrochem Bioenerget* 14:63-69.

Zhou J, Yao G, Zhang J, Chang Z. 2002. CREB DNA binding activation by a 50-Hz magnetic field in HL60 cells is dependent on extra- and intracellular Ca(2+) but not PKA, PKC, ERK, or p38 MAPK. *Biochem Biophys Res Commun* 296:1013-1018.

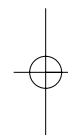
Zusman I, Yaffe P, Pinus H, Ornoy A. 1990. Effects of pulsing electromagnetic field on the prenatal and postnatal development in mice and rats: *in vivo* and *in vitro* studies. *Teratology* 42(2):175-180.

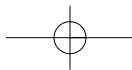




GLOSSARIO

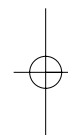
- **Ampere** - Unità di misura della corrente elettrica nel sistema internazionale di unità di misura (SI). Forma abbreviata: A.
- **Campo statico** - Campo di forze la cui intensità, non variando nel tempo, rimane costante.
- **Campo d'induzione magnetica** - Grandezza, indicata anche con il termine di densità di flusso magnetico, utilizzata per esprimere in forma quantitativa il campo magnetico. Nel sistema internazionale di unità di misura (SI), il campo d'induzione magnetica si esprime in tesla, mentre la densità di flusso magnetico si esprime in weber al metro quadrato. Forme abbreviate, rispettivamente, T e Wb/m². Per definizione, 1 T = 1 Wb/m².
- **Campo elettrico** - Regione dello spazio in cui sono presenti forze che, agendo su un corpo carico, causano la sua attrazione o repulsione da altri corpi carichi. Nel sistema internazionale di unità di misura (SI), il campo elettrico si esprime in volt al metro. Forma abbreviata: V/m.
- **Campo elettromagnetico** - Insieme di un campo elettrico e di un campo magnetico variabili nel tempo e tra loro concatenati. Un campo elettromagnetico si allontana dalla sua sorgente e si propaga attraverso lo spazio, trasmettendo energia in punti anche molto distanti dalla sorgente stessa (in teoria a distanza infinita).
- **Campo gravitazionale** - Regione dello spazio in cui sono presenti forze che, agendo su un corpo dotato di massa, causano la sua attrazione da parte di altri corpi, anch'essi dotati di massa. Esempio tipico è quello della forza peso.
- **Campo magnetico** - Regione dello spazio in cui sono presenti forze che, agendo su cariche elettriche in movimento (corrente elettrica) o calamite, causano la loro attrazione o repulsione da parte di altre correnti o calamite. La descrizione analitica di un campo magnetico è possibile in termini di intensità di campo magnetico o di campo d'induzione magnetica. Nei materiali non magnetici, in particolare nei sistemi biologici, intensità di campo magnetico e campo d'induzione magnetica risultano tra di loro direttamente proporzionali, attraverso un fattore di proporzionalità noto come permeabilità magnetica. Ai fini pratici, quindi, il rapporto tra queste due grandezze fisiche è una costante. Nel sistema internazionale di unità di misura (SI), il campo magnetico si esprime in ampere al metro. Forma abbreviata: A/m.
- **Conducibilità elettrica** - Misura della propensione di un corpo ad essere percorso da correnti elettriche. Sulla base del valore di questo parametro, i materiali vengono classificati in isolanti, semiconduttori o conduttori.
- **Corrente elettrica** - Flusso di cariche elettriche che si stabilisce all'interno di un materiale per effetto di una differenza di potenziale elettrico. Nel sistema internazionale di unità di misura (SI), la corrente elettrica si esprime in ampere. Forma abbreviata: A.
- **Corrente indotta** - Movimento di cariche prodotto, all'interno del corpo umano,

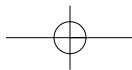




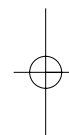
per effetto della sua esposizione a campi elettrici e magnetici variabili nel tempo. La sua unità di misura è la stessa della corrente elettrica.

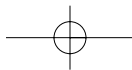
- **Densità di corrente** - Rapporto fra la corrente elettrica che fluisce attraverso una superficie perpendicolare alla sua direzione di moto e l'area della superficie stessa. Nel sistema internazionale di unità di misura (SI), la densità di corrente si esprime in ampere al metro quadrato. Forma abbreviata: A/m^2 .
- **Densità di flusso magnetico** - Vedi **Campo d'induzione magnetica**
- **Densità di potenza** - Potenza elettromagnetica che attraversa una superficie unitaria posta perpendicolarmente alla sua direzione di propagazione. Nel sistema internazionale di unità di misura (SI), la densità di potenza si esprime in watt al metro quadrato. Forma abbreviata: W/m^2 . Per definizione, la densità di potenza è anche uguale all'energia elettromagnetica che attraversa, nell'unità di tempo, una superficie unitaria posta perpendicolarmente alla sua direzione di propagazione. Nel sistema internazionale di unità di misura (SI), la densità di potenza può, quindi, anche essere espressa in joule al secondo e al metro quadrato. Forma abbreviata: $J/s/m^2$.
- **Dipolo** - Antenna (trasmittente o ricevente), simile a quella a stilo comunemente utilizzata nelle radio a transistor, da cui si propagano nello spazio campi elettrici e magnetici variabili nel tempo, con frequenze pari a quelle con cui avvengono al suo interno le oscillazioni delle cariche elettriche.
- **Effetto Zeeman** - Suddivisione di righe spettrali nella radiazione emessa da atomi o molecole in presenza di un campo magnetico statico.
- **Forza di Lorentz** - Forza che si esercita su di una particella carica che si muova in regioni di spazio in cui fanno risentire la propria azione campi elettrici e magnetici.
- **Frequenza** - Parametro indicativo del numero di volte che una grandezza periodica, per esempio l'intensità di un campo elettromagnetico, si ripete nell'unità di tempo. La frequenza, per definizione, è pari all'inverso del periodo. Nel sistema internazionale di unità di misura (SI), la frequenza si esprime in hertz. Forma abbreviata: Hz.
- **Frequenze estremamente basse (ELF)** - Regione dello spettro elettromagnetico caratterizzata da frequenze inferiori a 300 Hz, anche individuata brevemente mediante l'acronimo ELF, dalle parole inglesi *Extremely Low Frequencies*. In questa banda rientra anche la cosiddetta *frequenza industriale*, pari a 50 Hz (valore adottato anche in Italia) o 60 Hz.
- **Grandezze dosimetriche** - Grandezze fisiche (densità di corrente, rateo di assorbimento specifico) che, valutate all'interno del corpo, permettono di misurare gli effetti prodotti dai campi elettromagnetici e, quindi, di stabilire l'eventuale rilevanza sanitaria dell'esposizione. Per definizione, le grandezze dosimetriche sono valutabili solo mediante esperimenti di laboratorio o simulazioni al computer, poiché non è possibile introdurre nel corpo umano i necessari sensori per la misura.
- **Grandezze radiometriche** - Grandezze fisiche (campo elettrico, campo magnetico, densità di potenza) che caratterizzano i livelli d'esposizione ambientale ai campi elettromagnetici.
- **Hertz** - Unità di misura della frequenza nel sistema internazionale di unità di misura (SI). Forma abbreviata: Hz.





- **Ione** - Un atomo o una molecola che, attraverso la perdita o l'acquisizione di uno o più elettroni, ha acquistato una carica elettrica totale.
- **Ionizzazione** - Processo attraverso il quale un atomo, o una molecola, perdono o acquistano elettroni diventando carichi, cioè diventando ioni.
- **Joule** - Unità di misura SI dell'energia. Forma abbreviata: J.
- **Lunghezza d'onda** - Con riferimento ad un'onda elettromagnetica e in un determinato istante di tempo, la lunghezza d'onda è la distanza fra due punti nello spazio nei quali l'intensità del campo elettromagnetico ha lo stesso valore. Nel sistema internazionale di unità di misura (SI), la lunghezza d'onda si esprime in metri e suoi multipli o sottomultipli. Forma abbreviata: m.
- **Microonde** - Onde elettromagnetiche di frequenza compresa fra 300 MHz e 300 GHz, corrispondenti a lunghezze d'onda comprese tra 1 m e 1 mm. Le microonde sono anche intese come la parte a frequenze più alte dell'intero spettro delle radiofrequenze.
- **Ohm** - Unità di misura SI della resistenza elettrica. Forma abbreviata: Ω .
- **Onde elettromagnetiche** - Forma di trasporto dell'energia che si manifesta come variazioni periodiche di un campo elettrico e di un campo magnetico fra loro correlati nel tempo e nello spazio. Un'onda elettromagnetica è caratterizzata da parametri quali la velocità di propagazione, l'ampiezza, la frequenza e la lunghezza d'onda.
- **Periodo** - Con riferimento a un'onda elettromagnetica e in un determinato punto dello spazio, il periodo è l'intervallo di tempo che deve intercorrere affinché due determinazioni del campo elettromagnetico presentino lo stesso valore. Il periodo rappresenta l'inverso della frequenza. Nel sistema internazionale di unità di misura (SI), il periodo si esprime in secondi e suoi multipli o sottomultipli. Forma abbreviata: s.
- **Radiazione ionizzante** - Particelle o fotoni (radiazione elettromagnetica) che presentano un'energia sufficiente a provocare il fenomeno della ionizzazione di atomi e molecole, in modo diretto, durante il loro passaggio attraverso la materia (in particolare nei sistemi biologici). I raggi X e gamma sono tipici esempi di radiazione elettromagnetica ionizzante.
- **Radiazione non ionizzante** - Radiazione elettromagnetica il cui quanto d'energia (fotone) non è in grado di provocare il fenomeno della ionizzazione di atomi e molecole durante il suo passaggio attraverso la materia (in particolare nei sistemi biologici). Lo spettro delle radiazioni non ionizzanti comprende i campi elettrici e magnetici a frequenze estremamente basse, le radiofrequenze, le microonde, la radiazione infrarossa, il visibile e la radiazione ultravioletta. Sulla base dei loro meccanismi d'azione, vengono normalmente inclusi tra le radiazioni non ionizzanti anche i campi elettrici e magnetici statici e gli ultrasuoni, pur essendo questi ultimi di natura meccanica e non elettromagnetica.
- **Radiofrequenze** - Onde elettromagnetiche, utilizzate nelle telecomunicazioni, aventi approssimativamente frequenze comprese fra 10 kHz e 300 GHz, corrispondenti a lunghezze d'onda comprese tra 30 km e 1 mm. La componente a frequenze



144 Campi elettrici e magnetici statici e a frequenze estremamente basse (ELF) - Rischio cancerogeno

comprese tra 300 MHz e 300 GHz viene comunemente indicata anche con il termine di microonde.

- **Valore di picco** - Massimo valore istantaneo presentato, nel tempo, da una grandezza periodica (per esempio un'onda elettromagnetica). Il valore di picco di un'onda sinusoidale è anche pari al prodotto del suo valore efficace per la radice quadrata di 2 (circa 1,41).
- **Valore efficace** - Poiché il valore di una grandezza periodica (per esempio un'onda elettromagnetica) varia per definizione nel tempo, è necessario definire un valore che la caratterizzi nel suo insieme e che possa essere misurato per effettuare eventuali confronti. Il valore efficace, che soddisfa tale requisito, è ottenuto calcolando la radice quadrata della media dei quadrati dei valori assunti dalla grandezza d'esame durante un periodo. E' possibile dimostrare che, per un'onda sinusoidale, il valore efficace è uguale al massimo valore raggiunto dalla sua ampiezza (valore di picco) diviso per la radice quadrata di 2 (circa 1,41). Nel caso particolare delle correnti alternate, il valore efficace rappresenta il valore (costante) che dovrebbe assumere la corrente, se fosse invece continua, per sviluppare la stessa quantità di calore. Il valore efficace viene anche indicato con l'acronimo *rms*, dalle parole inglesi *root mean square*.
- **Volt** - Unità di misura SI della differenza di potenziale elettrico. Forma abbreviata: V.
- **Watt** - Unità di misura SI della potenza, cioè dell'energia sviluppata nell'unità di tempo. Forma abbreviata: W.

