

**SIMPOSIO SATELLITE SU**  
**Radiazioni non ionizzanti: normativa, valutazione del rischio,**  
**sorveglianza medica (in coll. con AIRM)**

M. Bellia<sup>1</sup>, A. Stanga<sup>2</sup>

## Campi elettromagnetici a radiofrequenza: effetti e prevenzione dell'esposizione occupazionale

<sup>1</sup> Università di Catania

<sup>2</sup> ASL Caserta 1

**RIASSUNTO.** La presenza ubiquitaria di campi elettromagnetici è una costante della società moderna basata sulla sempre maggiore diffusione della tecnologia e delle informazioni. Da ciò ne deriva una esposizione sempre più evidente sia per la popolazione che per i lavoratori. Nella relazione vengono descritti gli effetti biologici dell'esposizione a RF, le occasioni di esposizione professionale e un protocollo di intervento sanitario indicativo per la tutela della salute dei lavoratori professionalmente esposti a RF.

**Parole chiave:** campi elettromagnetici, radiofrequenze, effetti biologici.

**ABSTRACT. RADIOFREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS: EFFECTS AND PREVENTION OF OCCUPATIONAL EXPOSURE.** In modern society, the ubiquitous exposure to NIR stems from the increasing diffusion of technology and information. Consequently, both the general public and workers are increasingly exposed to radiofrequencies. In this paper we describe the biological effects of exposure to radiofrequencies (RF), the contexts of occupational exposure and suggest appropriate medical procedures for the health surveillance of exposed workers.

**Key words:** radiofrequency, electromagnetic fields, biological effects.

### Introduzione

Le radiazioni elettromagnetiche che interagiscono con la materia con meccanismi diversi dalla ionizzazione, in quanto dotate di energia inferiore a 12 eV, sono globalmente definite non ionizzanti (NIR). Esse si estendono, senza soluzione di continuità, dai campi ELF fino agli UV. Una parte importante delle NIR è quella delle onde elettromagnetiche di frequenza compresa tra 100 KHz e 300 GHz, lunghezza d'onda da  $10^3$  a  $3 \times 10^{-3}$  m ed energia del fotone da  $10^{-9}$  a  $10^{-3}$  eV, dette radiofrequenze. Attualmente le radiofrequenze (RF) comprendono anche le "microonde", prima considerate a sé stante, che coprono il campo di frequenza compreso tra 300 MHz e 300 GHz.

### Sorgenti di RF

Le RF rappresentano un rischio potenziale e come tale diventano oggetto di valutazione dei rischi ai sensi del D.Lgs. 626/94. La successiva Legge 36/2001, art. 1, comma 1, lett. a, introduce come finalità la tutela della salute dei lavoratori, delle lavoratrici e della popolazione dagli effetti dell'esposizione a determinati livelli di campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, rimandando ad un successivo decreto il regime di sorveglianza medica sulle lavoratrici e sui lavoratori professionalmente esposti (10).

Le sorgenti di campi RF possono essere suddivise in due gruppi principali a seconda che l'immissione nell'ambiente sia voluta (telecomunicazioni, radar, ecc.) oppure indesiderata, e quindi anche fonte di riduzione dell'efficienza produttiva. I quattro settori fondamentali di utilizzo delle radiazioni elettromagnetiche a RF sono i seguenti (2):

a) *Telecomunicazioni e radiolocalizzazioni:* vengono utilizzate tutte le frequenze dello spettro, le potenze sono comprese tra pochi kW ad oltre 500 kW, interessano anche zone ad alta densità abitativa e risultano esposte, oltre agli operatori, anche le persone della popolazione. I livelli di esposizione pos-

sono essere elevati per gli impianti radar, mentre per le antenne l'esposizione è minore e quasi sempre inferiore ai limiti già a breve distanza.

- b) *Processi produttivi industriali ed artigianali:* l'esposizione, indesiderata, avviene in spazi confinati ed è di tipo professionale. In passato sono stati riscontrati livelli anche di centinaia di V/m, a fronte di livelli considerati accettabili di 60 V/m.
- c) *Attività domestiche:* l'esposizione, più importante per gli ELF, avviene in ambienti confinati e riguarda individui della popolazione.
- d) *Applicazioni mediche:* l'esposizione è di tipo professionale e avviene in spazi confinati. Indagini ambientali hanno evidenziato esposizioni variabili da 7 a 180 V/m.

### Effetti biologici delle RF

Gli effetti biologici delle RF scaturiscono dal trasferimento di energia al mezzo attraversato mediante i seguenti meccanismi:

- *Correnti di conduzione* indotte dalle forze applicate sulle cariche libere presenti (sviluppo di calore per effetto Joule).
- *Induzione di dipoli.* Il campo elettrico esercita forze di segno opposto sulle cariche positive e negative presenti nel sistema, provocando una polarizzazione indotta.
- *Allineamento di dipoli già esistenti,* come ad esempio le molecole d'acqua, che si orientano secondo il campo.

Gli ultimi due effetti provocano sviluppo di calore per azione delle forze di attrito associate ai movimenti vibrazionali e rotazionali dei dipoli, indotti o permanenti.

La quantità di energia assorbita è definita dal SAR (*Specific Absorption Rate*) ed è misurata in W/kg. Attualmente si ritiene che qualsiasi esposizione che comporti un SAR inferiore a 4W/kg non sia in grado di produrre effetti sulla salute. Un organismo esposto a RF assorbe energia in base al valore del campo elettrico interno ed alla conducibilità dei tessuti esposti, la quale, a sua volta, dipende dal contenuto in acqua del tessuto; il grasso ed il tessuto nervoso assorbono meno del tessuto muscolare. Altro elemento di variabilità della risposta alle radiazioni elettromagnetiche è la costante dielettrica del mezzo ( $\epsilon_r$ ) che indica la forza che si oppone alla propagazione dell'onda.

Da quanto detto finora appare evidente che gli effetti sull'uomo non sono costanti ma variano secondo la frequenza, l'energia della radiazione, le dimensioni del corpo irradiato, le dimensioni dei suoi organi interni e il loro contenuto in acqua, il che giustifica la grande variabilità di effetti riferiti.

### Effetti sull'uomo

#### Effetti a breve termine di natura termica

Sono dovuti ad un innalzamento misurabile della temperatura all'interno del corpo umano con possibili danni agli organi sensibili all'ipertermia, quali le gonadi maschili ed il cristallino. Si verificano per esposizioni prolungate di almeno 500-600 W/m<sup>2</sup>.

### Effetti cronici per bassi livelli di esposizione

A seguito di esposizione cronica a bassi livelli di RF sono stati descritti numerosi effetti a carico di vari apparati: apparato cardiovascolare, sistema nervoso, sistema neuroendocrino. Tra gli effetti non termici è stata evidenziata da alcuni Autori un incremento del rischio ad ammalare di Morbo di Alzheimer. (12). Studi sperimentali negli USA hanno evidenziato la possibilità di effetti non termici per esposizione a basse dosi consistenti in alterazioni delle funzioni bioelettriche cerebrali per alterazione della permeabilità cellulare.

### RF e Cancerogenesi

Gli studi sulle RF che hanno colpito maggiormente l'opinione pubblica sono stati quelli volti ad accertare eventuali effetti cancerogeni, dati da tanti per scontati (1-9); le attuali conoscenze, però, non dimostrano una associazione certa tra esposizione a campi elettromagnetici e insorgenza di tumori, anzi in realtà gli studi sugli effetti cancerogenici delle NIR tendono più ad escludere che a confermare tale ipotesi (6). Gli studi sperimentali infatti suggeriscono che l'esposizione a RF non sia mutagena e, quindi, tali agenti fisici non sono in grado di agire come iniziatori del cancro (8-14). Eventuali effetti di promozione o progressione non sono stati dimostrati con sufficiente associazione statistica. Allo stato attuale non risulta in letteratura alcuna segnalazione di casi di neoplasie attribuibili a esposizione professionale a RF, pur in presenza di esposizioni rilevanti sia per intensità che per durata (11-13).

### Telefonia cellulare

Un campo particolare dell'esposizione a RF è quello relativo alla telefonia cellulare. Le ricerche in proposito, però, presentano dei limiti obiettivi dovuti al tempo relativamente breve del loro utilizzo ed alle innovazioni tecnologiche che hanno modificato sia le frequenze che l'energia dell'apparato (4). Recenti studi epidemiologici non hanno comunque evidenziato aumento di rischio negli esposti (3-4-5-7). A tal proposito vanno ricordate le conclusioni dell'OMS in merito: "Nessuna delle recenti revisioni della letteratura ha concluso che l'esposizione a campi a radiofrequenza prodotti da telefoni cellulari o dalle stazioni radiobase provochi alcun effetto negativo sulla salute".

### Sorveglianza sanitaria

Fino all'emanazione della legge 36/2001, che prevede l'emanazione di decreti che oltre a stabilire limiti di esposizione dovranno disciplinare la sorveglianza medica dei lavoratori esposti professionalmente a RF, era possibile ipotizzare un controllo sanitario per tale esposizione solo facendo riferimento all'art. 34 del DPR 303/56 e all'art. 51 del DPR 336/94; controllo sanitario esplicitamente previsto per i Vigili del Fuoco in caso di esposi-

zione diretta e continua a onde elettromagnetiche fino a 10 cm e con intensità superiore a 10 mW/cm<sup>2</sup>.

Il controllo sanitario, mirato alla valutazione dello stato funzionale degli organi e dei tessuti con particolare sensibilità agli effetti termici e alle correnti ioniche, indicati come target dei danni da CEM, deve essere eseguito dal medico competente/autorizzato con particolare riguardo al sistema emopoietico, cute, apparato oculare, sistema neuroendocrino e sistema riproduttivo.

I dati sanitari individuali dovranno essere raccolti in una apposita scheda sanitaria e di rischio da conservare, anche per fini epidemiologici, per almeno ventenni dopo la cessazione dell'attività.

### Bibliografia

- 1) Angelillo IF, Villari P. Residential exposure to electromagnetic fields and childhood leukaemia: a meta-analysis. Bull World Health Organ 1999; 77: 906-915.
- 2) Farag AS, Dawoud MM, Cheng TC, Cheng S. Occupational exposure assessment for power frequency electromagnetic fields. El Power Sys Res 1999; 48: 151-175.
- 3) Freude G, Ullsperger P, Egger S, Ruppe I. Microwaves emitted by cellular telephones affect human slow brain potentials. Eur J Appl Physiol 2000; 81: 18-27.
- 4) Fritze K, Wiessner C, Kuster N, Sommer C, et al. Effect of global system for mobile communication microwave exposure on the genomic response of the rat brain. Neuroscience 1997; 81: 627-639.
- 5) Hardell L., Nasman A., Pahlson A., Hallquist A., Hansson Mild K.: Use of cellular telephones and the risk for brain tumours: A case-control study. Int J Oncol 1999; 15: 113-116.
- 6) Heath CW Jr. Electromagnetic field exposure and cancer: a review of epidemiologic evidence. Cancer J Clin 1996; 46: 29-44.
- 7) Hermann DM, Hossmann K.A.: Neurological effects of microwave exposure related to mobile communication. J Neurol Sci 1997; 152: 1-14.
- 8) Higashicubo R, Culbreth VO, Spitz DR, et al. Radiofrequency electromagnetic fields have no effect on in vivo proliferation of the 9L brain tumor. Radiat. Res. 1999; 152: 665-671.
- 9) Juutilainen J, Seze R. Biological effects of amplitude-modulated radiofrequency radiation. Scand J Work Environ Health 1998; 24: 245-254.
- 10) Legge 22 febbraio 2001, n. 36: Legge-quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (G.U. 7 marzo 2001, n. 55).
- 11) Saviz DA. Invited commentary-Electromagnetic fields and cancer in railway workers. Am J Epidemiol 2001; 153: 836-838.
- 12) Sobel E, Dunn M, Davanipour Z, Qian Z, Chui HC. Elevated risk of Alzheimer's disease among workers with likely electromagnetic field exposure. Neurology 1996; 47: 1477-1481.
- 13) Szmigielski S. Cancer morbidity in subjects occupationally exposed to high frequency (radiofrequency and microwave) electromagnetic radiation. Sc. Total Environ. 1996; 180: 9-17.
- 14) Verschaeve L, Maes A. Genetic, carcinogenic and teratogenic effects of radiofrequency fields Mutat Res 1998; 410: 141-165.

A. Giovanazzi

## Osservatorio italiano campi elettromagnetici

Medicina del Lavoro, Azienda Provinciale Servizi Sanitari, coordinamento nazionale gruppo AIRM per campi elettromagnetici

**RIASSUNTO.** È stata proposta la costituzione di un Osservatorio Italiano per i Campi elettromagnetici allo scopo di addivenire ad un censimento delle esposizioni professionali e delle situazioni di rischio indotto. Parallelamente si potranno censire i lavoratori esposti a rischio suddivisibili per livelli di esposizione e per patologie o sintomatologie attri-

buiti ai campi elettromagnetici. Strumento operativo in corso di sperimentazione a livello nazionale è la scheda di ricognizione sull'esposizione a campi elettromagnetici qui presentata.

**Parole chiave:** campi elettromagnetici, osservatorio italiano, scheda per la ricognizione delle esposizioni occupazionali.

**ABSTRACT. ITALIAN NETWORK ELECTRO-MAGNETIC FIELDS.** A working group of the Italian Association of Radiological Protection (A.I.R.M.) suggests establishing an Italian Observatory for electro-magnetic fields to create a database of types of occupational exposure and situations of risk and a second database of workers subdivided into different classes of exposure to and pathologies or symptomatology from electro-magnetic fields. The paper presents an operative tool, which is being tested at a national level, in the form of a questionnaire which aims to monitor occupational exposure.

**Key words:** electromagnetic fields, Italian network, questionnaire, occupational exposure monitoring.

### Introduzione

Nell'ultimo congresso dell'Associazione Italiana Radioprotezione Medica, svoltosi a Riva del Garda nel giugno 2003, il gruppo di lavoro AIRM per i campi elettromagnetici ha elaborato e presentato una nuova proposta di "Protocollo per la sorveglianza sanitaria nell'esposizione a campi elettromagnetici", con la conseguente organizzazione di un Osservatorio italiano Campi Elettromagnetici (O.I.C.E.M.) (1). Tale proposta è stata quindi fatta conoscere all'ultimo congresso della SIMLII di Bari (2003).

Come è noto, lo spettro elettromagnetico comprende alcune regioni spettrali definite in modo sufficientemente concorde dal punto di vista scientifico per l'entità e la tipologia del rischio professionale: ne sono esempi i campi statici, quelli della radiazione visibile e dell'ultravioletto. Vi è concordanza anche per gli effetti deterministici che conseguono ad esposizione ad alte dosi di ELF e di radiofrequenze. Non vi è invece concordanza scientifica cir-

ca le indicazioni di sorveglianza sanitaria per le esposizioni a basse dosi per le stesse ELF e radiofrequenze, per i possibili effetti, a lunga distanza di tempo, sulla salute dei lavoratori esposti.

Obiettivo prioritario del Protocollo dell'Associazione Italiana di Radioprotezione Medica è stato quello di rispondere alla necessità di rendere più attivo il ruolo del medico nella ricerca e nella definizione dei rischi e delle patologie attribuibili alle esposizioni professionali ad ELF e a radiofrequenze. Va quindi data risposta alla necessità di fornire una definizione di livelli di esposizione a cui effettuare la sorveglianza medica. È constatazione frequente infatti che adducendo il pretesto delle incertezze scientifiche si diffonda l'inosservanza degli obblighi connessi alla valutazione del rischio.

Va peraltro tenuto presente che in Italia è vigente una normativa che ha stabilito limiti (valori di attenzione, obiettivi di qualità) per tutela della popolazione generale nella esposizione a radiofrequenze e microonde. La recente normativa europea a tutela della salute dei lavoratori potrà dar inizio anche ad un operativo processo di valutazione e controllo ambientale delle esposizioni professionali. Per questo diventa sempre più importante la predisposizione di un sistema di rilevazione delle esposizioni ambientali lavorative, come quello proposto nell'O.I.C.E.M..

### Metodica proposta

Per addivenire a tale censimento delle esposizioni occupazionali è stata predisposta una scheda che sinteticamente qui presentiamo (Tabella I).

**Tabella I. Scheda per la ricognizione sulle esposizioni occupazionali ai campi elettromagnetici**

<b>INFORMAZIONI GENERALI</b>		
<b>1. Dati identificativi .....</b>		
<b>TIPO DI OCCUPAZIONE O LAVORAZIONE</b>		
<b>2. Industriali</b>		
<input type="checkbox"/> 2a - sottostazioni elettriche	<input type="checkbox"/> 2b - manutenzione linee elettriche	<input type="checkbox"/> 2c - magneti permanenti
<input type="checkbox"/> 2d - smerigliatura	<input type="checkbox"/> 2e - saldatura ad arco	<input type="checkbox"/> 2f - vulcanizzazione
<input type="checkbox"/> 2g - saldatura a induzione	<input type="checkbox"/> 2h - incollaggio plastica	<input type="checkbox"/> 2i - incollaggio legno
<input type="checkbox"/> 2l - riscaldamento a MW	<input type="checkbox"/> 2m - cottura	<input type="checkbox"/> 2n - essiccamento
<input type="checkbox"/> 2o - saldobrasatura	<input type="checkbox"/> 2p - tempera e indurimento	<input type="checkbox"/> 2q - altro
<b>3. Medicali</b>		
<input type="checkbox"/> 3a - diatermia a RF o MW	<input type="checkbox"/> 3b - RMN	<input type="checkbox"/> 3c - elettrobisturi
<input type="checkbox"/> 3d - magnetoterapia	<input type="checkbox"/> 3e - altro	
<b>4. Telecomunicazioni</b>		
<input type="checkbox"/> 4a - impianti radio-televisivi	<input type="checkbox"/> 4b - telefonia mobile	<input type="checkbox"/> 4c - radar
<input type="checkbox"/> 4d - progettazione e messa a punto	<input type="checkbox"/> 4e - manutenzione	<input type="checkbox"/> 4f - utilizzo
<b>5. Altro settore</b>		
<b>PROSPETTO PER LA PRESENTAZIONE SINTETICA DEI RILIEVI DI ESPOSIZIONE</b>		
<b>6. Misure in banda larga</b>		
6a - strumentazione: .....		
6b - intervallo di frequenza della sonda impiegata: .....		
6c - grandezza misurata e fondo scala: .....		
6d - info preliminari su frequenze sorgenti: .....		
6e - misuratore personale    SI    NO		
<b>7. Siti di misura</b>		
<input type="checkbox"/> 7a - postazioni di lavoro	<input type="checkbox"/> 7b - prossimità apparati	<input type="checkbox"/> 7c - valori ambientali
7d - distanza dalla sorgente: .....		
7e - numero punti di misura: .....		
<b>8. Caratterizzazione spaziale rispetto agli operatori</b>		
<input type="checkbox"/> 8a - valori medi sul corpo	<input type="checkbox"/> 8b - valori localizzati su parti del corpo	
<b>9. Caratterizzazione temporale dell'esposizione in funzione della sorgente</b>		
<input type="checkbox"/> 9a - esposizione continua	<input type="checkbox"/> 9b - esposizione discontinua	<input type="checkbox"/> 9c - esposizione per cicli
<input type="checkbox"/> 9d - postura lavoratore seduto	<input type="checkbox"/> 9e - postura lavoratore in piedi	

(segue Tabella I)

9f - durata del turno di lavoro: .....	.....
9g - tempo medio di esposizione nella giornata lavorativa: .....	.....
<b>10. Caratterizzazione temporale delle misure</b>	
<input type="checkbox"/> 10a - valori efficaci rms istantanei	<input type="checkbox"/> 10b - valori rms mediati su sei minuti
<input type="checkbox"/> 10c - valori di picco	<input type="checkbox"/> 10d - valori rms max-hold
<b>11. Risultati delle misure</b>	
11a - intervallo di variabilità della grandezza misurata: da .....	a .....
11b - valore rappresentativo esposizione media a corpo intero per ciascun lavoratore esposto:	
11c - valore rappresentativo su parti localizzate per ciascun lavoratore esposto (es. arti):	
11d - livello di fondo negli ambienti circostanti:	

## Conclusioni

Il gruppo di lavoro Campi elettromagnetici dell'A.I.R.M. ha proposto la costituzione di un osservatorio italiano per i campi elettromagnetici(O.I.C.E.M) che metta in rete gli igienisti industriali ed i medici più interessati e che permetta di:

- addivenire ad un censimento delle esposizioni professionali e delle situazioni di rischio indebito;
- effettuare un censimento dei lavoratori esposti a rischio suddivisibili per livello di esposizione e per patologie o sintomatologie attribuibili alle NIR. La disponibilità a far con-

fluire all'O.I.C.E.M. informazioni da parte di ciascuna attività che espone a rischio, utilizzando la scheda illustrata, potrà contribuire alla costituzione di una prima banca dati per gli scopi previsti.

## Bibliografia

- 1) Giovanazzi A, Bellia M, L'Abbate N, Ottenga F, Stanga A. Linee guida sulla sorveglianza sanitaria per l'esposizione a radiazioni ionizzanti. XVIII° Congresso AIRM, Riva del Garda, 2003, in corso di pubblicazione.

N. L'Abbate<sup>1</sup>, T. Terrana<sup>2</sup>

# Valutazioni di rischio e sorveglianza medica nell'esposizione a campi elettrici e magnetici a bassissima frequenza

<sup>1</sup> Sezione di Medicina del Lavoro Dip. Medicina Interna e Medicina Pubblica - Università di Bari

<sup>2</sup> Dipartimento di Medicina del Lavoro, Università di Milano

**RIASSUNTO.** Dopo aver indicato brevemente le più comuni esposizioni occupazionali e non ai campi elettromagnetici ELF viene sottolineata l'opportunità della misurazione dei livelli di induzione magnetica, ai fini di una adeguata valutazione del rischio. Anche se non sono stati ancora emanati i valori limite relativi all'obbligatorietà per legge della sorveglianza medica sui lavoratori esposti, essa è raccomandabile allo scopo di acquisire nel tempo dati clinici utilizzabili sul piano statistico-epidemiologico e deve essere orientata in particolare all'osservazione degli organi e degli apparati maggiormente sensibili agli effetti dei campi elettromagnetici a frequenza industriale, in via prioritaria dell'apparato emopoietico e, secondariamente, degli altri (sistema nervoso centrale, sistema immunitario, sistema endocrino, psiche, apparato cardiocircolatorio). Viene inoltre riportato un personale contribuito alla valutazione del rischio nell'esposizione a campi elettromagnetici derivanti da cabine di trasformazione primarie AT/MT e cabine di trasformazione secondarie MB/BT nel territorio pugliese. Infine viene citata la recentissima Direttiva Europea per la protezione dei lavoratori che, basandosi sullo standard approvato dall'ICNIRP, fissa i requisiti minimi di salute e sicurezza relativamente all'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici e che richiede una valutazione del rischio per qualunque ambiente di lavoro ove vi siano esposizioni professionali a campi elettromagnetici.

**Parole chiave:** ELF, valutazione del rischio, sorveglianza sanitaria.

**ABSTRACT. Risk assessment and health surveillance for exposure to ELF electric and magnetic fields.** This paper summarize the most common sources of professional and not professional exposure to

electromagnetic fields ELF. It underlines the need for magnetic induction level measurement to conduct correct risk assessment. Although government imposed limits of electromagnetic exposure are in place, no protocol exists for medical surveillance of exposed workers. The data that such medical evaluation could provide would be invaluable for statistical-epidemiological analysis. The medical assessment of said workers would be oriented towards the systems most affected by industrial frequency electromagnetic fields: primarily hematology, but also central nervous system, immunology, endocrinology, cardiovascular system, psychological effects. The authors make suggestions for risk assessment of exposure to electromagnetic fields deriving from primary and secondary transformer stations in Apulia. The most recent European Directive on workers protection is based on the standard approved by the ICNIRP. This directive sets the minimal health and safety requirements for the professional exposure to electromagnetic fields. It requires a risk assessment for every workplace in which there is exposure to electromagnetic fields.

**Key words:** ELF, risk assessment, medical surveillance.

## Introduzione

È ben noto che l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) e l'Associazione Internazionale per le Protezioni Radiologiche (IRPA) definiscono con l'acronimo "ELF" (*Extremely Low Frequency*) i campi elettromagnetici sinusoidali a frequenze comprese fra 30 e 300 Hz, il cui campo magnetico alle basse fre-

quenze viene usualmente espresso come densità di flusso magnetico in tesla (T) o meglio in sottomultipli millitesla e microtesla (mT,  $\mu$ T).

In tale ambito è altrettanto noto, in considerazione di possibili effetti sanitari attribuibili all'esposizione ai campi elettrici e magnetici presenti nelle vicinanze di linee di trasmissione ad alta tensione, che la frequenza di maggiore rilevanza protezionistica è quella di 50 Hz (frequenza di rete) adottata in Italia e in Europa e quella di 60Hz in uso negli Stati Uniti e in Canada.

### Esposizione e valutazione del rischio

L'esposizione a campi elettromagnetici ELF deriva da fonti ambientali, domestiche ed occupazionali. Accanto agli elettrodotti, alle centrali ed alle cabine di trasformazione dell'energia elettrica, infatti, si possono annoverare fra le sorgenti di campi elettromagnetici ELF, tutte le sorgenti elettriche presenti in ambiente domestico che possono essere suddivise in funzione del tipo di esposizione che producono sia apparecchi fissi che apparecchi mobili. L'ubiquitarità di tali apparecchi e la frequenza di esposizione della popolazione agli ELF, ha sensibilizzato la comunità scientifica a condurre studi per poter valutare i possibili rischi connessi per l'appunto all'esposizione.

L'esposizione a campi ELF da fonti occupazionali è presente negli ambienti di lavoro industriali ed è legata all'uso di saldatrici automatiche, forni ad arco, apparecchiature per riscaldamento ad induzione e di altre macchine a larga diffusione. Anche in questo ambito di frequenza esiste un'ampia categoria di applicazioni in cui si sfrutta il calore prodotto dalle correnti indotte da un campo magnetico alternato; in esse si fa uso di bobine che possono essere avvolte sia direttamente attorno al campione da trattare o in sua prossimità, sia attorno a crogioli di materiale refrattario contenenti il materiale in lavorazione. Le frequenze impiegate vanno dai 50 Hz fino a diverse centinaia di KHz a seconda del processo tecnologico interessato; tra le applicazioni più frequenti si possono citare la tempra e la degassazione dei metalli, la saldatura vetro-metallo, la sigillatura di contenitori plastici e varie lavorazioni sui metalli preziosi. Mentre il campo elettrico prodotto ha scarsa rilevanza dal punto di vista protezionistico, il campo magnetico può assumere valori elevati nei pressi degli applicatori.

Ai fini di una adeguata valutazione del rischio appare pleonastico sottolineare l'opportunità della misurazione dei livelli di induzione magnetica e di intensità di campo elettrico negli ambienti di lavoro industriali, ove peraltro si registrano i maggiori livelli di esposizione.

### Sorveglianza medica

La sorveglianza medica, in attuazione di quanto indicato dal D.Lgs. 626/94, va programmata e articolata sulla base della valutazione preliminare ponderata del rischio, che deve essere effettuata mediante procedure metodologiche standardizzate, con l'obiettivo di quantificare l'esposizione in termini di entità e durata. La valutazione del rischio è pertanto preliminare alla classificazione del personale esposto ed è necessaria per determinare l'opportunità della sorveglianza medica preventiva e periodica. Non essendo stati ancora emanati i valori limite relativi all'obbligatorietà per legge di tale sorveglianza sui lavoratori esposti, la stessa è, a nostro avviso, raccomandabile al fine di acquisire nel tempo dati clinici utilizzabili sul piano statistico-epidemiologico.

Oltre a tutti gli accertamenti necessari per valutare lo stato generale di salute del lavoratore, è opportuno comprendere adeguate accertamenti complementari ed integrativi mirati alla valutazione clinica e funzionale degli organi ed apparati maggiormente sensibili agli effetti dei campi elettromagnetici a frequenza indu-

striale, in via prioritaria dell'apparato emopoietico e, secondariamente, degli altri (sistema nervoso centrale, sistema immunitario, sistema endocrino, psiche, apparato cardiocircolatorio).

Pertanto ai fini della valutazione dello stato di salute generale, il medico dovrà tenere opportunamente conto, soprattutto nella scelta degli accertamenti complementari ed integrativi del peso opportuno da dare agli eventuali danni deterministici, in relazione alla intensità e alla durata dell'esposizione alle ELF. Per quanto concerne invece le patologie di tipo neoplastico, dal momento che alla luce delle conoscenze scientifiche attuali il rapporto causale tra esposizione professionale a ELF ed insorgenza di eventuali danni stocastici è tuttora in discussione, si ritiene che l'eventuale presenza di tumori dovrà essere considerata nell'ambito più generale dell'idoneità lavorativa tenendo in debito conto tra l'altro del contesto in cui si svolge la visita preventiva, lavoratore in assunzione o che già opera in azienda.

Inoltre, il medico del lavoro-competente e/o autorizzato, incaricato della sorveglianza medica preventiva e periodica dei lavoratori esposti a ELF, come abbiamo più volte sottolineato, deve essere aggiornato continuamente sull'evoluzione delle conoscenze scientifiche in questo tema e deve svolgere un ruolo attivo e ben motivato di estrema attenzione e di ricerca sanitaria "in campo", previa acquisizione del consenso informato dei lavoratori interessati, al fine di contribuire allo sviluppo ed al miglioramento delle conoscenze sull'argomento.

### Contributo alla valutazione del rischio nell'esposizione a campi elettromagnetici derivanti da cabine di trasformazione primarie AT/MT e cabine di trasformazione secondarie MT/BT nel territorio pugliese

Nell'ambito di una indagine più complessa da noi presentata nello stesso congresso abbiamo misurato la intensità di induzione magnetica finalizzata alla valutazione dell'esposizione professionale in prossimità di:

- 21 cabine di trasformazione MT/BT
- 2 cabine di trasformazione primaria AT/MT

Tutte le misure sono state eseguite con la strumentazione di marca Wandel & Goltermann modello EFA-3 BN2245/03 (range di misura intensità di induzione magnetica a 50 Hz : 50 nT - 10 mT; range di misura intensità di campo elettrico a 50 Hz: 0,5 V/m - 100 kV/m) posto ad un'altezza di 1 metro dal piano di calpestio. Le procedure adottate nella rilevazione dei campi elettrici e magnetici sono quelle indicate nella norma CEI 211-6 del 2001 "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz - 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana", come prescritto dal DPCM 8 luglio 2003 in G.U. n.200 del 29 agosto 2003. Le misure di intensità di intensità di induzione magnetica a bassa frequenza sono state eseguite nei punti più vicini alla cabina di trasformazione MT/BT e quindi più esposti ai campi elettrici e magnetici prodotti dalla stessa. Le stazioni primarie di trasformazione da 380 kV a 132 kV, occupano spazi notevoli e sono il punto di arrivo e partenza di più linee aeree e sono solitamente costruite in zone con scarsa presenza di abitazioni. Le cabine elettriche di trasformazione o cabine secondarie possono invece essere inserite in aree vicine ad edifici o in alcuni casi all'interno di edifici.

I risultati ottenuti sono riportati nelle Tabelle I e II

### Conclusioni

Dai risultati acquisiti da questa nostra indagine preliminare nel territorio si evince che i siti esaminati hanno indicato valori di induzione magnetica varianti presso le cabine di trasformazione primarie da 0,1 a 15  $\mu$ T e presso quelle secondarie da 0,2 a 7  $\mu$ T e, pertanto, ampiamente al di sotto di quelli consentiti. Infat-

**Tabella I. Valori di induzione magnetica misurati presso le cabine di trasformazione secondarie MT/BT**

Sito di misura	Massimo valore di intensità di induzione magnetica ad un metro dal suolo ( $\mu$ T)
Acquaviva delle fonti (Ba)	5.5
Ceglie del campo (Ba)	3.0
Conversano (Ba) I	0.2
Conversano (Ba)II	7.0
Bari I	0.7
Barletta (Ba)	0.5
Noicattaro (Ba)	0.9
Sava (Ta)	0.7
Grottaglie (Ta)	1.1
Conversano (Ba) III	0.7
Bitetto (Ba)	0.2
Palese (Ba)	0.8
Cellamare (Ba) I	1.0
Cellamare (Ba) II	1.5
Cellamare (Ba) III	0.2
Cellamare (Ba) IV	0.3
Cerignola (Fg)	1.3
Bari II	0.8
Canosa (Ba)	2.2
Mola di Bari (Ba)	0.3
Canosa (Ba)	2.0

**Tabella II. Valori di induzione magnetica misurati presso le cabine di trasformazione primarie AT/MT**

Sito di misura	Massimo valore di intensità di induzione magnetica ad un metro dal suolo ( $\mu$ T)
Anzano di Puglia (Fg)	15
Bari	0,1

ti è noto che i limiti attualmente in vigore in ambito nazionale e internazionale per le esposizioni professionali, prevalentemente basati sugli effetti acuti accertati e prevedibili della esposizione a campi elettrici e magnetici a 50-60 Hz, sono per i livelli di campo elettrico pari a 10 kV/m e di induzione magnetica pari a 0,5 mT per giornata lavorativa (linee guida ICNIRP - 1998).

In proposito, comunque, si moltiplicano le istanze per la definizione di limiti che tutelino anche dagli effetti di tipo stocastico ipotizzati in ossequio al principio di cautela, peraltro non universalmente accettato in quanto. Inoltre, per quanto attiene la sorveglianza medica, abbiamo già fatto presente che la stessa è raccomandabile anche al fine di acquisire nel tempo dati clinici utilizzabili sul piano statistico-epidemiologico, per cui recentemente abbiamo proposto dei livelli di esposizione sia pur empirici per la sua attivazione.

Infine si coglie l'occasione per ricordare che nell'aprile scorso il Parlamento Europeo ha definitivamente approvato una Direttiva Europea per la protezione dei lavoratori dall'esposizione ai campi elettromagnetici basata sui criteri e sui limiti della Commissione che fissa i requisiti minimi di salute e sicurezza relativamente all'esposizione occupazionale basandosi sullo standard approvato dall'ICNIRP. Le indicazioni della direttiva sono sicuramente chiare e ben fondate, ma l'applicazione po-

trebbe comportare alcuni problemi e richiedere importanti precisazioni. Il campo di applicazione è infatti potenzialmente molto esteso in quanto si richiede una valutazione del rischio per qualunque ambiente di lavoro ove vi siano esposizioni professionali a campi elettromagnetici, per cui è indispensabile precisare i confini di tali esposizioni. Altrettanto importante è la sorveglianza medica, che i legislatori europei hanno fortemente voluto e che anche noi auspichiamo ma che richiede una chiara identificazione dei potenziali effetti dell'esposizione. L'approvazione della direttiva è di certo un segnale di notevole rilievo finalizzato allo sviluppo di una politica di protezione dei lavoratori e comporterà un notevole impegno per renderla facilmente praticabile ed efficace. La data ultima per il recepimento della direttiva UE è il 30 aprile 2008 e la Svezia è stata il primo paese a recepirlo, proponendosi di formare entro pochi anni tecnici della sicurezza specializzati nel settore.

#### Bibliografia

- 1) Associazione Italiana Radioprotezione Medica: Linee guida per la sorveglianza medica dei lavoratori esposti a radiazioni a radiofrequenza. A cura di L'Abbate N., Righi E., Saia B., Terrana T. Pubblicazione n. 25/1997 edizioni S.E.Cu.P SrL Roma 1997.
- 2) Bevitori P: Inquinamento elettromagnetico indoor. Campi elettrici e magnetici a bassissima frequenza (ELF). ARS n. 61 maggio-giugno 1998.
- 3) Bevitori P: Inquinamento elettromagnetico. Campi elettrici e magnetici a frequenza industriale (50-60 Hz) generati da elettrodotti ed apparecchi elettrici. Aspetti tecnici, sanitari e normativi. Maggioli Editore, 1995.
- 4) Direttiva 2004/40/ce del Parlamento Europeo e del Consiglio del 29 aprile 2004 sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (diciottesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE, Gazzetta Ufficiale dell'Unione europea L 184 del 24 maggio 2004.
- 5) European Commission Directorate-General V Employment, Industrial Relations and Social Affairs: Non-ionizing radiation sources, exposure and health effects. Brussels Luxembourg; 1996.
- 6) Grandolfo M, Vecchia P: Linee guida temporanee sui limiti di esposizione a campi elettrici e magnetici a 50/60 Hz raccomandati dall'IRPA/INIRC. Rapporti Istisan 90/6, Roma, 1990.
- 7) Grandolfo M, Terrana T, Orsini S: (1990) Campi Elettromagnetici ed ambiente di lavoro. Atti 53° Congr. Naz. SIMLII, Stresa, 10-13 ottobre, a cura di Foà V e Grieco A. Monduzzi, Bologna, pp.805-812.
- 8) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP): Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics 74: 494-522; 1998.
- 9) International non-ionizing radiation committee of the International Radiation Protection Association (INIRC-IRPA) and International Labour Office (ILO): Protection of workers from power frequency electric and magnetic fields: A practical guide. Geneva, ILO 1993 (Occupational Safety and Health Series, No.69).
- 10) Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro (ISPESL) - Istituto Superiore di Sanità (ISS): Documento congiunto "sulla problematica della protezione dei lavoratori e della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici e a campi elettromagnetici a frequenze comprese tra 0 Hz e 300 GHz". Allegato a: Fogli d'informazione ISPESL X n. 4/97, 1998.
- 11) L'Abbate N: Campi elettromagnetici a frequenze estremamente basse: 50-60 Hz (ELF). Impiego, normativa, effetti e sorveglianza medica. Atti XVII Congresso Nazionale AIRM "Spettro elettromagnetico ed effetti sanitari: la sorveglianza medica", Roma 3-5 ottobre 2001, Pubbl. AIRM n. 35, a cura di R. Moccaldi e G. Trenta, 81-102, 2001.
- 12) L'Abbate N: Linee guida per le radiazioni non ionizzanti: ELF. Atti 18° Congresso Nazionale AIRM: "Radioprotezione e rischi emergenti" Riva del Garda, 4-7 giugno 2003, in corso di stampa.
- 13) L'Abbate N, Pranzo S, Figliola F, Bruno S, Lo russo A, Paolino E, Minafra P, Vitucci L, Martucci M.A: Misure di intensità di induzione

- magnetica e di campo elettrico generati da linee AT, da cabine di trasformazione primarie AT/MT e cabine di trasformazione secondarie MT/BT nel territorio pugliese, Atti 67 Congresso Nazionale SIMLII, Sorrento 3-6 novembre 2004, in corso di stampa.
- 14) Legge n. 36 del 22 febbraio 2001 - Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana 9 marzo 2001.
  - 15) NRPB (National Radiological Protection Board): Electromagnetic fields and the risk of cancer. Report of an Advisory Group on Non-Ionising Radiation. Doc. NRPB, 3, No. 1, 1-138; 1992.
  - 16) International Research Council: Possible Health Effects of Exposure to Residential Electric and Magnetic Fields; National Academy Press, Washington, (DC) 1996.
  - 17) Ottenga F, Giovanazzi A, L'Abbate N, Righi E, Terrana T, Trenta G: Linee guida SIMLII Radiazioni Non Ionizzanti. Atti 65° Congresso Nazionale SIMLII, Messina- Giardini Naxos 11-14 settembre 2002
  - 18) Rossi P, Grandi C, Benvenuti F: Inquinamento da campi elettromagnetici non ionizzanti. Le Scienze, quaderni n.109, settembre 1999.
  - 19) Terrana T, L'Abbate N: Effetti biologici e patologici della esposizione a campi elettromagnetici. 50° Congresso Nazionale SIMLII, Roma 21-24 ottobre 1987. A cura di G. Berlinguer, N. Castellino, A. Farulla, A. Paoletti; Monduzzi Editore, Bologna, vol.2° pp. 257-264, 1987.
  - 20) Terrana T, L'Abbate: Le radiazioni non ionizzanti. In Medicina del Lavoro a cura di V.Foà e L.Ambrosi UTET Ed. Torino, Seconda edizione 2003, Cap.39, 534-548
  - 21) Vecchia P: Rischi per la salute da esposizione a campi elettromagnetici in ambienti di lavoro, Med. Lav. 1997; 88(6): 462-474.
  - 22) World Health Organization: Magnetic Fields. Environmental Health Criteria 69. W.H.O. Geneva, 1987.
  - 23) World Health Organization: Elettromagnetic fields (300 Hz to 300 GHz). Environmental Health Criteria 137. W.H.O. Geneva, 1993.

R. Moccaldi<sup>1</sup>, C. Grandi<sup>2</sup>, S. Iavicoli<sup>2</sup>

## Campi statici: normativa, valutazione del rischio e sorveglianza sanitaria

<sup>1</sup> CNR, Servizio di Prevenzione e Protezione, Roma

<sup>2</sup> ISPESL, Dipartimento di Medicina del Lavoro, Monteporzio Catone (RM)

**RIASSUNTO.** L'esposizione lavorativa a campi magnetici statici riguarda in maniera preponderante il personale addetto all'assistenza del paziente durante gli esami di risonanza magnetica (RM) (infermieri e medici). Queste categorie di lavoratori possono risultare esposte a campi superiori a 200 mT, che rappresenta il valore di riferimento per l'esposizione lavorativa a corpo intero stabilito dall'ICNIRP e il valore d'azione per i lavoratori fissato dalla direttiva europea 2004/40/CE. L'introduzione di apparati RM in grado di generare campi di 3 - 4 T rende gli operatori maggiormente suscettibili di essere esposti a campi superiori ai valori limite di esposizione lavorativa. La legislazione italiana prevede l'obbligo di sorveglianza sanitaria per i lavoratori che operano nelle aree ad accesso controllato degli impianti RM (area dell'impianto nella quale i valori di campo magnetico disperso superano 0,5 mT). In questo contributo gli autori discutono il razionale ed i criteri per la messa in atto della sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti a campi magnetici statici.

**Parole chiave:** campi magnetici statici, RM, sorveglianza sanitaria.

**ABSTRACT. STATIC MAGNETIC FIELDS: LEGISLATION, RISK ASSESSMENT AND HEALTH SURVEILLANCE.** Occupational exposure to static magnetic fields mainly involves personnel assisting patients during magnetic resonance imaging (MRI) *i.e.* nurses and physicians. These workers may be exposed to fields greater than 200 mT, which is the reference value for total body occupational exposure established by ICNIRP and the action value established by the EU directive 2004/40/CE. The introduction of MRI devices generating fields of 3 to 4T makes workers more susceptible to exposure to field levels greater than the occupational exposure limits. Italian regulations state that health surveillance of workers operating in a controlled area of a MRI plant (the area of the plant where the dispersed static field is greater than 0,5 mT) is compulsory. In this paper the authors present their rationale and criteria of health surveillance for workers exposed to static magnetic fields.

**Key words:** static fields, MRI, health surveillance.

### Introduzione

I campi elettrici e magnetici statici si collocano all'estremità inferiore dello spettro elettromagnetico (frequenza di oscillazione pari a 0). Ai soli campi magnetici statici è attribuita potenziale rilevanza sanitaria. Il campo magnetico statico

esercita una forza su materiali ferromagnetici, determinandone lo spostamento per rotazione o traslazione (effetto magnetomeccanico), ed agisce su cariche in movimento (es. elettroliti del sangue) alterando i parametri di flusso (effetto magnetoidrodinamico). Può inoltre interagire con specie chimiche che presentano elettroni spaiati (specie paramagnetiche), influenzandone la reattività chimica.

### Effetti biologici

A livello biologico il campo statico può essenzialmente influenzare, in funzione dell'intensità, l'attività elettrica dei tessuti eccitabili (nervoso e muscolare) ed i parametri emodinamici (1, 2). Vertigini, nausea, sapore metallico e fosfeni possono essere indotti in volontari dal movimento della testa se è presente un campo statico di intensità superiore a 2 Tesla (T). È stato verificato che la pressione arteriosa subisce un aumento percentuale del 2% per ogni Tesla applicato oltre i 2 T. È stato inoltre calcolato che le differenze di potenziale necessarie per indurre depolarizzazione del nodo seno-atriale possono essere indotte da campi superiori a 5 T. I pochi studi condotti sull'uomo, riguardanti in genere lavoratori esposti nell'industria a campi statici con intensità variabili da pochi mT a decine di mT, sono deboli sul piano metodologico e hanno fornito risultati frammentari e contraddittori sia su effetti di tipo acuto sia su eventuali possibili effetti a lungo termine. Gli studi condotti sull'animale non hanno fornito alcuna coerente evidenza di effetto a livello nervoso, comportamentale, cardiovascolare e riproduttivo per esposizione a corpo intero a campi inferiori a 2 T, anche se la probabilità di insorgenza di alcuni di questi effetti aumenta al progressivo aumentare dei valori di campo oltre tale soglia (1, 2).

Gli effetti diretti sui tessuti del campo magnetico statico vanno distinti da quelli legati all'azione esercitata su dispositivi ferromagnetici o elettronici impiantati, quali pacemaker, clips vascolari, protesi metalliche etc. Gli effetti magnetomeccanici o legati all'interferenza con i circuiti elettronici si verificano infatti a livelli molto inferiori con rispetto a quelli necessari per indurre effetti diretti.



## Esposizione

L'esposizione professionale ai campi magnetici statici prodotti da fonti artificiali quali dispositivi per elettrolisi, linee di alimentazione per trazione elettrica, elettromagneti industriali, acceleratori di particelle etc. è molto variabile sia in termini di intensità che di tempi. Orientativamente, nella maggior parte dei casi può essere compresa tra pochi mT e qualche decina di mT. In ambito medico, la fonte prioritaria e indubbiamente rappresentata dalle apparecchiature diagnostiche a risonanza magnetica (RM), dove la presenza di un forte campo statico si accompagna alla generazione di campi magnetici rapidamente variabili e di un campo a radiofrequenze. Le considerazioni che seguono sono di fatto circoscritte ai lavoratori del settore RM sulla base di: 1) ampia diffusione; 2) potenziale maggior esposizione al campo magnetico statico in termini di intensità rispetto ad altri settori occupazionali; 3) tendenza all'introduzione e all'utilizzo di apparecchiature che generano campi statici di valore più elevato (es. RM a 3 e a 4 T), specie nel settore dell'imaging neurologico, rispetto alla maggior parte degli apparati attuali (1,5 T), 4) presenza di regolamentazione sul piano normativo (comprese disposizioni e indicazioni per la sorveglianza sanitaria), in particolare D.M. 29 novembre 1985, D.M. 2 agosto 1991, D.M. 3 agosto 1993, D.P.R. 8 agosto 1994 n. 542.

L'esposizione degli operatori al campo statico riguarda di fatto il personale infermieristico e medico (anestesisti) che assiste alcune categorie di pazienti nel corso dell'esame RM, in quanto ciò richiede di stazionare in stretta prossimità del magnete. In relazione ad apparati che generano campi di 1 e 1,5 T, per gli infermieri sono stati misurati valori medi di esposizione nel corso della giornata lavorativa di 4 - 40 mT, per medici (anestesisti) di 5 - 30 mT. L'esposizione massima del tronco si colloca nel range 70 - 200 mT e le mani dell'operatore possono, se posizionate in corrispondenza del magnete, essere esposte per breve periodo a campi di 200 - 700 mT (3). All'aumentare del valore del campo generato dal magnete l'esposizione media degli operatori diviene verosimilmente più elevata ed i valori massimi sono maggiormente suscettibili di superare significativamente il valore di 200 mT, fissato come limite per l'esposizione a corpo intero. Questa situazione può configurarsi a seguito dell'introduzione nella pratica clinica di apparati RM generanti campi di 3 - 4 T (4).

## Normativa tecnica e legislazione

L'ICNIRP(1) ha stabilito per il campo magnetico statico un limite di esposizione occupazionale a corpo intero pari a 200 mT (come media ponderata durante la giornata lavorativa), un valore limite di picco a corpo intero pari a 2 T e un limite per l'esposizione dei soli arti a 5 T. La recente direttiva 2004/40/CE relativa alla protezione dei lavoratori esposti a campi elettromagnetici durante il lavoro, sulla base delle linee guida ICNIRP stabilisce un valore d'azione (limite) per il campo statico pari a 200 mT a corpo intero (5).

In assenza di limiti di esposizione professionali individuati con atto normativo per la generalità dei lavoratori esposti a campi elettromagnetici, la legislazione italiana prevede limiti per soli lavoratori operanti in zona ad accesso controllato RM (area in cui i valori di campo disperso superano i 0,5 mT) concettualmente ed operativamente diversi da quelli ICNIRP. Per apparecchiature che generano campi fino a 2 T il limite a corpo intero è 200 mT, ma su una durata massima di esposizione di 1 h/die (2 T

se non sono superati i 15 min./die). Per gli arti il limite è 2 T (1 h/die). Nel caso di apparecchiature che generano campi superiori a 2 T i valori sono i medesimi, con l'aggiunta del limite di 4 T per gli arti con tempi non superiori a 15 min./die.

In relazione alla attuale impostazione della tutela della salute nei luoghi di lavoro (valutazione dei rischi) si ribadisce l'importanza di un accurato monitoraggio dell'esposizione dei lavoratori, finalizzato in particolare a verificare l'entità, la frequenza e la durata delle esposizioni a corpo intero, anche in previsione del recepimento della direttiva citata.

## Sorveglianza sanitaria

Fatte salve le disposizioni generali previste agli art. 3, 4 e 16 del D.Lgs 626/94, la normativa specifica citata prevede l'obbligo di sorveglianza sanitaria per il solo personale operante nella zona ad accesso controllato RM, la cui periodicità deve essere almeno annuale. In fase di visita preventiva è senza dubbio essenziale accertare la presenza di condizioni di non idoneità (stato di portatore di pacemakers, protesi metalliche e altri dispositivi impiantati sensibili all'azione del campo statico) mediante la somministrazione del questionario preliminare ad un esame RM previsto per il paziente. Per quanto riguarda la gravidanza, allo stato attuale delle conoscenze non emergono elementi determinanti a controindicare l'esposizione delle lavoratrici in tale condizione al campo magnetico statico.

Per rilevare lo stato di salute, anche in riferimento alla formulazione del giudizio di idoneità, si propone di integrare l'anamnesi personale e familiare con l'esecuzione di un esame obiettivo di laboratorio e di un ECG, da ripetere in fase di accertamenti periodici.

L'osservazione che eritrociti falcemici *in vitro* possono riallinarsi nello stato deossigenato lungo le linee di forza di campo magnetico per intensità di 350 mT non ha mai ottenuto conferme *in vivo* (6,7). Inoltre, i pazienti falcemici sottoposti a RM non hanno mai fatto registrare effetti avversi legati all'applicazione del campo. Non si ritiene quindi giustificata la ricerca dello stato di portatore del tratto falcemico ai fini del giudizio di idoneità, anche in relazione ai limiti di esposizione citati.

## Bibliografia

- 1) International Commission on Non Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. Health Phys. 1994; 66: 100-106.
- 2) National Radiological Protection Board. Proposals for limiting exposure to electromagnetic fields (0-300 GHz). 2003: [www.nrpb.org](http://www.nrpb.org).
- 3) Huurto LK, Toivo TT, Jokela K. Survey of occupational exposure to static magnetic fields at MRI clinics. Presented at the International NIR Workshop and Symposium. Seville (Spain), 20-22 May 2004.
- 4) Takahashi M, Uematsu H, Hatabu H. MR imaging at high magnetic fields. Eur. J. Radiol. 2003; 46: 45-52.
- 5) Direttiva 2004/40/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 29 aprile 2004, sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (diciottesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE). G.U. Comunità Europea 24 maggio 2004 n. L. 184/1.
- 6) Brody AS, Embury SH, Mentzer WC, Winkler ML, Gooding CA. Preservation of sickle cell blood-flow patterns during MR imaging: an in vivo study. AJR Am. J. Roentgenol. 1988; 151: 139-141.
- 7) Santini MT, Buoni C, Indovina P, Passariello R. Magnetic resonance imaging in patients with sickle cell anemia. Radiol. Med. 1993; 86: 755-758.

F. Ottenga, M. Guidi

## Radiazione ultravioletta e laser: valutazioni di rischio e sorveglianza sanitaria

Sezione di Medicina del Lavoro, Università degli Studi di Pisa

**RIASSUNTO.** Nella relazione vengono proposti il valore ed il significato della valutazione del rischio e della sorveglianza sanitaria nei soggetti esposti alle energie elettromagnetiche non ionizzanti. In particolare per le radiazioni ultraviolette e per le energie laser, alla luce delle disposizioni legislative nazionali più recenti e delle Direttive del Consiglio di Europa del 2004, sono esposte le definizioni, le sorgenti e i cicli tecnologici, le grandezze e le unità di misura, i meccanismi di azione e gli effetti biologici, i limiti di esposizione, le misure di prevenzione, le indicazioni sulla sorveglianza sanitaria.

**Parole chiave:** radiazione ultravioletta, laser, valutazione del rischio, sorveglianza sanitaria.

**ABSTRACT. ULTRA-VIOLET AND LASER RADIATION: RISK ASSESSMENT AND HEALTH SURVEILLANCE.** This study indicates the level of risk and the importance of health surveillance for individuals exposed to Ultra-violet and Laser radiation. In particular, according to the most recent Italian legislation and the directives of the Council of Europe in 2004, the following are discussed: definitions, origins and technological cycles, size and units of measure, mechanisms of action and biological effects, limits of exposure, preventive measures and indications about health surveillance.

**Key words:** ultra-violet radiation, laser radiation, risk assessment, health surveillance.

### Introduzione

La valutazione del rischio è basata sul riconoscimento dei problemi, sulla identificazione e valutazione dei fattori causali, sulla identificazione delle attività lavorative caratterizzate dall'esposizione al rischio, sul coinvolgimento dei lavoratori. Il medico addetto alla sorveglianza sanitaria deve contribuire alla valutazione dell'esposizione, che si effettua con indagini analitiche di tipo quantitativo con metodi standardizzati e confrontabili. Deve pertanto prevalere la tendenza all'affinamento e al perfezionamento dei procedimenti metrologici di valutazione, sui quali sono forniti validi aggiornamenti. A questo proposito si sottolinea il grande rilievo dei contenuti delle Direttive 89/391/CEE e 2004/2/CE del Parlamento Europeo, pubblicati sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea del 16/03/2004, che confermano i "valori limite di esposizione" e i "valori di azione", ripropongono gli obblighi dei datori di lavoro (Art. 4, comma 6: "il datore di lavoro deve essere in possesso di una valutazione dei rischi a norma dell'art. 9, paragrafo 1, lettera a) della Direttiva 89/391/CEE"... "la valutazione dei rischi è regolarmente aggiornata, in particolare se vi sono stati notevoli mutamenti che potrebbero averla resa superata, oppure quando i risultati della sorveglianza sanitaria la rendano necessaria". Art 5, comma 2: "...In caso di superamento dei valori di azione, il datore di lavoro adotta misure intese a prevenire tale superamento (riduzione di intensità e tempi di esposizione..."), ed infine danno indicazioni sulla sorveglianza sanitaria (Art. 8: "Adeguata sorveglianza sanitaria è effettuata a norma degli articoli 14 e 15 della direttiva 89/391/CEE per i lavoratori che potrebbero subire effetti negativi per la salute o la sicurezza, soprattutto per i lavoratori particolarmente a rischio").

Dall'esito della valutazione del rischio dipendono le decisioni di sorveglianza sanitaria: quest'ultima è mirata alla valutazione, in sede preventiva e periodica, dello stato funzionale degli organi e dei tessuti che presentano particolare sensibilità agli effetti termici e alle correnti ioniche e che sono indicati dalla lettera-

tura come "target" di possibili danni delle energie elettromagnetiche non ionizzanti. I protocolli per la sorveglianza sanitaria sono quelli proposti dalle Linee Guida della Società Italiana di Medicina del Lavoro ed Igiene Industriale nel 2003 (6).

Dopo queste premesse, saranno presi in esame in maniera più specifica quegli effetti che sono stati riscontrati e studiati in letteratura per le radiazioni ultraviolette e i laser. Verranno esposte le definizioni, i limiti di esposizione e le indicazioni sulla sorveglianza sanitaria.

### Radiazioni ultraviolette

Sono onde elettromagnetiche con lunghezza compresa tra 100 e i 400 nm (tra la luce visibile e i Raggi X). Le tecniche di misura dell'esposizione a sorgenti U.V. debbono tenere conto della distribuzione spettrale della radiazione. Si possono utilizzare spettrometri di tipo portatile, o apparecchiature meno sofisticate che permettono di ottenere il valore diretto dell'irradianza efficace, purché l'emissione radiativa della sorgente sia contenuta all'interno della curva di risposta spettrale dello strumento. Sono altresì sfruttabili le reazioni fotochimiche delle radiazioni U.V. con l'uso di pellicole al polisulfone come badge per monitorare le lunghezze d'onda responsabili dell'eritema da radiazioni naturali (7).

Come per le radiazioni ionizzanti, anche per l'ultravioletto possiamo distinguere danni di tipo deterministico, acuti e cronici, e di tipo stocastico. Gli organi bersaglio sono rappresentati dalla cute e dagli occhi (5).

Lo standard ACGIH intende tutelare i lavoratori per gli effetti biologici a breve termine e non tiene conto dei potenziali effetti cancerogeni. Propone due valori per l'occhio (1):

- UV-A: 10 W/m<sup>2</sup> (irradianza totale).
- UV-B e UV-C: 10 J/m<sup>2</sup> (irradianza efficace, integrata per lunghezza d'onda).

Le linee guida dell'IRPA definiscono limiti analoghi, fornendo la radianza efficace anche per gli UV-A. Il medico competente effettuerà accertamenti sanitari per gli esposti a rischio specifico secondo i risultati della valutazione, che terrà conto anche del fototipo del lavoratore esposto, con una periodicità che, a norma del DPR 303/56 (art. 33, voce 46), deve essere semestrale. Per i lavoratori con una esposizione ambientale elevata potrà essere indicato l'approfondimento specialistico di tipo dermatologico e oculistico. La visita oculistica comprenderà l'esame dell'acutezza visiva e del fondo, nonché la biomicroscopia con la lampada a fessura; la retinografia potrà costituire una integrazione della documentazione clinica. Per la visita dermatologica potrà risultare utile l'indagine fotografica e un esame alla luce di Wood.

### Luce laser

Il laser (acronimo di "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation") può essere considerato un generatore quantistico di radiazione ottica basato sull'utilizzo dell'energia radiante per stimolare l'emissione di fotoni della medesima energia da parte di atomi "eccitati". Un dispositivo laser consiste di tre elementi di base:

- a) il materiale attivo (liquido, solido o gassoso) che caratterizza la lunghezza d'onda della radiazione prodotta, collocato nella cavità risonante;
- b) una sorgente di energia utilizzata per la transizione degli atomi del materiale attivo allo stato eccitato (detto anche sistema di pompaggio);
- c) il risonatore ottico, che contiene due specchi, attraverso i quali la riflessione è alla base dall'amplificazione della radiazioni.

La caratteristica fondamentale del processo è il fatto che i fotoni emessi sono in fase nel tempo e nello spazio ed hanno direzioni di propagazione parallele: i fasci emergenti dall'apparecchiatura sono altamente collimati e ciò rende la radiazione prodotta altamente "energetica" (l'energia delle radiazioni viene concentrata sul una piccola superficie). Le caratteristiche fisiche di una apparecchiatura laser sono la lunghezza d'onda ( $\mu\text{m}$ ), la potenza tipica o irradianza ( $\text{W}/\text{m}^2$  o  $\text{mW}/\text{cm}^2$ ), l'energia tipica o esposizione radiante ( $\text{J}/\text{m}^2$  o  $\text{mJ}/\text{cm}^2$ ). La C.I.E. ha proposto indici di tipo volumetrico, espressi rispettivamente in  $\text{W}/\text{m}^3$  e in  $\text{J}/\text{m}^3$ . Va infine segnalato il modo di funzionamento (continuo, pulsato-Q switched, bloccato). Le apparecchiature di misura sono ancora gli spettrometri, tarati per le specifiche lunghezze d'onda, che forniscono i valori di energia radiante (J) e di potenza radiante o di flusso (W) (3).

La durata dell'impulso condiziona gli effetti fotobiologici indotti. Per esposizioni alla luce laser dell'ordine dei nanosecondi sarà prevalente l'effetto termoacustico, mentre per esposizioni intermedie (da 100 millisecondi ad alcuni secondi) o prolungate (oltre i 100 secondi) saranno prevalenti rispettivamente l'effetto termico e quello fotochimico. L'effetto termoacustico è prodotto quando l'energia laser incidente di tipo pulsato produce, attraverso l'espansione termica, onde di pressione (transienti acustici) che possono dislocare e danneggiare a distanza i tessuti. L'effetto termico determina principalmente una denaturazione delle proteine attraverso l'assorbimento del calore. L'effetto fotochimico produce attivazione molecolare mediante la cattura di quanti di energia (3).

Accanto ai rischi propri della luce laser, definibili come primari, debbono essere considerati ulteriori rischi di vario tipo, definibili come associati, e più precisamente:

- a) contaminazione ambientale da materiale bersaglio vaporizzato da operazioni di taglio e perforatura, da gas di sistemi laser flussati, da vapori di criogenici, da coloranti, da policlorodifenili;
- b) radiazioni ottiche collaterali (U.V. o I.R. emessi da tubi del flash, da tubi di scarica dei laser in continuo, da sorgenti di pompaggio ottico);
- c) elettricità (specie dai laser ad alto voltaggio);

- d) radiazioni ionizzanti (emissioni di raggi X da tubi elettronici con voltaggi maggiori di 5 kV);
- e) refrigeranti criogenici (ustioni da freddo, esplosione, incendio, asfissia, intossicazioni);
- f) rumore (condensatori di laser pulsati di potenza elevata).

Per gli utilizzatori di apparecchi laser la C.I.E. ha pubblicato varie guide per le diverse applicazioni (Fascicolo 1284G): lavorazioni materiali (A), laser show (B), telecomunicazioni (C), applicazioni medicali (D), applicazioni in laboratorio (E). Per la consultazione dei limiti specifici si rimanda a tale fascicolo (2). La normativa per la tutela prevede la definizione di esposizione massima permessa (EMP) e di limite di esposizione ammissibile (LEA) (4).

La sorveglianza sanitaria, pur non prevista esplicitamente dalle disposizioni legislative attuali, prevede solo per gli esposti (superamento dei valori di riferimento proposti dalla C.I.E.) un controllo con periodicità annuale dello stato generale della salute e controlli specialistici oculistici e dermatologici. La visita oculistica dovrà comprendere, tra l'altro, l'esame della acutezza visiva, del campo visivo e del fondo, nonché la biomicroscopia con la lampada a fessura. La retinografia costituirà un'interessante integrazione della documentazione clinica. Anche per la visita dermatologica potrà risultare utile l'indagine fotografica e un esame alla luce di Wood.

#### Bibliografia

- 1) ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). Threshold Limit Values for Physical Agents in the Work Environment. Radiofrequency-Microwave Radiation - Laser - Light and Near - Infrared Radiation - Ultraviolet Radiation - Static Magnetic Fields. 95-106, 2001.
- 2) Commission Internationale D'Eclairage. Fascicolo 1284G - Applicazioni Laser. Norme CEI-EN 60825-1, IV Ed., 2003.
- 3) International Electrotechnical Commission (IEC Standard): Radiation Safety of Laser Products, Equipment Classification, Requirements and User's Guide. Publication 825, 1984.
- 4) Legge n. 36 del 22 febbraio 2001 - Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana 9 marzo 2001.
- 5) Mariutti G. Radiazione ultravioletta: esposizione, effetti, rischio e protezione. Atti Convegno Nazionale "Rischio Ultravioletto", Trento, 2000.
- 6) Ottenga F, Giovanazzi A, L'Abbate N, Righi E, Terrana T, Trenta G. Linee guida per la sorveglianza sanitaria degli esposti a radiazioni non ionizzanti. Pime Ed., Pavia, 2003.
- 7) Repacholi MH, Muc AM. The Intersun Project of WHO. Atti Convegno Nazionale "Rischio Ultravioletto", Trento, 2000.

R. Pennarola<sup>1</sup>, G. Campurra<sup>2</sup>

## Microonde e infrarosso: valutazioni di rischio e sorveglianza medica

<sup>1</sup> Università Federico II, Dipartimento Scienze Mediche Preventive, Sezione di Medicina del Lavoro, Settore Radioprotezione

<sup>2</sup> ENEA C.R. Frascati

**RIASSUNTO.** Vengono esposti gli elementi su cui basare la valutazione di rischio e la sorveglianza medica nell'esposizione professionale a microonde ed infrarosso. Si fa riferimento alla Direttiva 2004/40/CE sulle "prescrizioni minime di sicurezza e salute nell'esposizione ai campi elettromagnetici durante il lavoro", tenendo conto che microonde e infrarosso si sovrappongono nello spettro elettromagnetico, per una piccola quota di frequenze, con analoghi effetti biologici e preminente effetto termico valutabile con tecnica termografica.

**Parole chiave:** microonde e infrarosso, valutazione del rischio, sorveglianza medica.

**ABSTRACT. EXPOSURE TO MICROWAVE AND INFRARED RADIATION: RISK ASSESSMENT AND HEALTH SURVEILLANCE.** The authors identify the essential elements on which risk assessment and health surveillance concerning those exposed to microwave and infrared radiation should be based according to E.U. Directive 2004/40/EC. The microwave and the infrared spectrum overlap with regard to a small part of their frequencies, resulting in analogous thermal effects, which the authors propose to evaluate by means of thermography.

**Key words:** microwave and infrared radiation, risk assessment, health surveillance.

## Introduzione

La valutazione del rischio per microonde e infrarosso è interdisciplinare coinvolgendo aspetti tecnici impiantistici e di tipo medico biologico. Essa implica analisi delle attività lavorative, identificazione dei fattori causali, individuazione degli operatori esposti e delle modalità operative. Il medico partecipa alla valutazione del rischio richiedendo al datore di lavoro dati oggettivi di misure. Il coinvolgimento dei lavoratori può comportare uso di questionari, raccolta dati, elementi ricavati dalla soggettività del lavoratore, indicatori di suscettibilità, ecc. Le Microonde occupano lo spettro elettromagnetico compreso tra 300 MHz e 300 GHz. L'infrarosso distinto nelle tre bande: IR-A (760-1400 nm); IR-B (1400-3000 nm); IR-C (3000 nm - 1 mm) è in continuità con le microonde sovrapponendosi per una piccola quota di frequenze al di sopra di circa 2 GHz con analoghi effetti biologici (5).

## La valutazione del rischio

Secondo la Direttiva 2004/40/CE del 29 aprile, sulle "prescrizioni minime di sicurezza e salute nell'esposizione ai campi elettromagnetici durante il lavoro"(3), nella valutazione dei rischi si tengono presenti : a) livello,spettro di frequenza,durata,tipo di esposizione; b) valori limite di esposizione e valori di azione; c) effetti su salute e sicurezza dei lavoratori ;d) effetti indiretti (interferenza con attrezzature e dispositivi medici elettronici; rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici; innesco di dispositivi elettro-esplosivi; incendi ed esplosioni di materiali infiammabili da scintille prodotte da campi indotti, correnti di contatto o scariche elettriche;) e) attrezzature di lavoro alternative; f) informazioni raccolte nel corso della sorveglianza sanitaria; g) sorgenti multiple di esposizione; h) esposizione simultanea a campi di frequenza diversa. La direttiva esclude ipotizzati effetti a lungo termine riguardando solo i rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori dovuti agli effetti nocivi a breve termine conosciuti nel corpo umano derivanti dalla circolazione di correnti indotte e dall'assorbimento di energia, nonché da correnti di contatto. Di particolare considerazione sono i valori limite di esposizione e valori di azione. Per descrivere l'esposizione fra 100 kHz e 10 GHz sono definiti valori limite di esposizione per il SAR in modo da prevenire stress termico sul corpo intero ed eccessivo riscaldamento localizzato dei tessuti. Tra 10 GHz e 300 GHz sono definiti valori limite di esposizione per la densità di potenza (W/m<sup>2</sup>) al fine di prevenire l'eccessivo riscaldamento dei tessuti della superficie del corpo o in prossimità della stessa (Tabella I).

La direttiva precisa che per esposizioni pulsate nella gamma di frequenza fra 0,3 e 10 GHz e per esposizioni localizzate del capo, allo scopo di limitare ed evitare effetti uditivi causati da espansione termoplastica, si raccomanda un ulteriore valore limite di esposizione rappresentato dall'assorbimento specifico (SA) che non dovrebbe superare 10 mJ/Kg calcolato come media su 10 g di tessuto. Nella Tabella II sono riportati i valori di azione che determina l'obbligo di adottare le misure prescritte. Detti valori sono ottenuti a partire dai valori limite di esposizione secondo le basi razionali utilizzate dall'ICNIRP (ICNIRP 7/99).

Sia per microonde che per infrarosso la valutazione ambientale del microclima ha particolare rilievo congiuntamente all'accertamento dello stato della termoregolazione delle persone esposte. Dispositivi di sicurezza, schermature, protezione con dispositivi in rapporto con le postazioni di lavoro debbono avere speciale considerazione.

## La sorveglianza medica

La sorveglianza medica si articola in visite preventive per accertare l'idoneità psicofisica; periodiche per il controllo del mantenimento dello stato di salute; straordinarie in occasione di variazioni del rischio e di esposizioni accidentali. La periodicità della visita dovrebbe essere annuale e variabile in rapporto alla valutazione dei rischi e stato di salute. Il giudizio di idoneità si articola in tre livelli: a) idoneità completa; b) idoneità parziale con precauzioni o prescrizioni in relazione a situazioni biologiche o cliniche e alle condizioni di rischio; c) non idoneità temporanea o permanente in caso di condizioni cliniche o biologiche incompatibili con l'esposizione (4).

Per le microonde si fa riferimento in relazione agli effetti termici agli organi critici: gonadi, apparato visivo (cristallino) ma anche alla sede anatomica dell'irradiazione e allo stato degli organi e apparati suscettibili di interessamento: sistema neuroendocrino (6) e riproduttivo, apparato cardiocircolatorio, cute, apparato emopoietico, sistema acustico (per esposizioni localizzate del capo). Il protocollo per gli accertamenti complementari prevede esecuzione di :profilo ematologico, biochimico, visita oculistica con biomicroscopia, elettrocardiogramma. In rapporto alla valutazione del rischio si suggeriscono come accertamenti integrativi test di funzione termica della cute con apposita indagine termografica, valutazione circolo periferico, esami di funzione tiroidea e gonadica, test psicodiagnostici, elettroencefalogramma (4).

L'infrarosso sulla materia vivente esercita prevalente effetto termico su cute e occhi e gli effetti biologici ne modulano la sorveglianza medica. La pelle assorbe ed emette la totalità delle radiazioni ricevute con proprietà assimilabili a quelle 'di un corpo nero' (coefficiente d'assorbimento=1). L'effetto termico si riflette direttamente sul circolo capillare superficiale dell'area irradiata e comporta vasodilatazione locale ed effetto analgesico dipendente dalla ridotta capacità di conduzione delle terminazioni sensitive. L'aspetto 'pseudo-eritematoso' di lavoratori del vetro, dei forni, ecc. esposti a radiazioni infrarosse di elevata intensità viene ritenuto effetto cronico dell'esposizione. L'apparato visivo, pur dotato di meccanismi di difesa come ammiccamento e riflessi pupillari, può focalizzare le radiazioni incidenti provocando la concentrazione dell'energia con danni conseguenti: ustione corneale (IR-B,IR-C); blefarite; blefarongiuntivite;cataratta capsulare posteriore (IR-A,IR-B); lesioni corioretiniche (IR-A). La sorveglianza medica per l'infrarosso fa riferimento agli organi critici cute e apparato visivo facendo anche attenzione a cuore e circolo periferico. La visita preventiva viene integrata dall'esame emocromocitometrico, urine, esami di chimica clinica, visita oculistica con biomicroscopia, ecg. Per l'impegno della termoregolazione nell'esposizione diretta si suggerisce di praticare l'indagine termografica dei tessuti esposti. La visita periodica può es-

**Tabella I. Valori limite di esposizione riferiti alle microonde (Direttiva 2004/40/CE)**

Intervallo di frequenza	SAR mediato sul corpo intero (W/Kg)	SAR localizzato (capo e tronco) (W/Kg)	SAR localizzato (arti) (W/Kg)	Densità di potenza (W/m <sup>2</sup> )
10 MHz-10 GHz	0.4	10	20	----
10 - 300 GHz	--	--	--	50

**Tabella II. Valori di azione riferiti alle microonde (Direttiva 2004/40/CE)**

Intervallo di frequenza	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Induzione magnetica B (μT)	Densità di potenza di onda piana equivalente Seq (W/m <sup>2</sup> )
110-400 MHz	61	0,16	0,2	10
400-2000 MHz	3f <sup>1/2</sup>	0,008f <sup>1/2</sup>	0,01f <sup>1/2</sup>	f/40
2 - 300 GHz	137	0,36	0,45	50

sere effettuata a periodicità annuale integrata da emocromo, urine, esami di chimica clinica, visita oculistica a periodicità biennale, altri esami secondo valutazioni cliniche (2).

### Conclusioni

Considerando che sia per le microonde che per l'infrarosso l'effetto preminente è quello termico, notevole vantaggio all'approccio diagnostico preventivo e periodico può essere ottenuto con le tecniche di apprezzamento termico della superficie cutanea con indagini termografica quale integrazione dell'esame clinico. La termografia a matrice di sensori dotata di opportune schede elettroniche di controllo permette una analisi quali-quantitativa delle zone esposte con rilievo di variazioni di 0.1°C e con valutazioni automatica di mappe, gradienti termici e analisi tridimensionali (1,7).

### Bibliografia

1) Brown B.H., Smallwood R.H., Barber D.C., Lawford P.V., Hose

- D.R.-Medical physics and biomedical engineering. Institute of Physics Publishing. Bristol and Philadelphia, 1999.
- 2) Campurra G.-THz e radiazione infrarossa: impiego, normativa, effetti e sorveglianza medica Atti XVII Congresso Nazionale AIRM "Spettro elettromagnetico ed effetti sanitari: la sorveglianza medica", Roma 3-5 ottobre 2001, Pubbl. AIRM n. 35, a cura di R. Moccaldi e G. Trenta. 2001; 125-138.
  - 3) Direttiva 2004/40/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 29.04.04 (G.U.U.E. L159/1,30.4.2004.
  - 4) Ottenga F, Giovanazzi A, L'Abbate N, Righi E, Terrana T, Trenta G. -Linee guida SIMLII Radiazioni Non Ionizzanti. Atti 65° Congresso Nazionale SIMLII, Messina- Giardini Naxos 11-14 settembre 2002.
  - 5) Pennarola R.-Effetti biologici delle radiazioni non ionizzanti. Atti XIV Congresso Nazionale AIRM, Reggio di Caserta, 1-3 luglio 1996; Ed. S.E.Cu.P., Roma, 1996; 180-191.
  - 6) Pennarola R. Aspetti comportamentali nell'esposizione a NIR. Atti XVII Congresso Nazionale AIRM "Spettro elettromagnetico ed effetti sanitari: la sorveglianza medica", Roma 3-5 ottobre 2001, Pubbl. AIRM n. 35, a cura di R. Moccaldi e G. Trenta, 2001; 139-146.
  - 7) Sevji L-Complex electromagnetic problems and numerical simulation approaches. Institute of Electrical and Electronics Engineers Press, Piscataway, NJ; 2003.

P. Rossi

## La direttiva comunitaria e la normativa nazionale sui campi elettromagnetici

Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro (ISPESL) Monte Porzio Catone, Roma

**RIASSUNTO.** Il 25 maggio 2004 è stata pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea la direttiva 2004/40/EC, sulle norme minime per la salute e sicurezza in relazione all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dai campi elettromagnetici, quale diciottesima direttiva particolare ai sensi della direttiva quadro sulla sicurezza nei luoghi di lavoro (391/89/EEC). Scopo dell'articolo è la presentazione dei punti fondamentali della direttiva, ed il confronto con la normativa nazionale sui campi elettromagnetici, basata su principi in buona parte divergenti, nell'ottica di una possibile coesistenza.

**Parole chiave:** campi elettromagnetici, normativa, lavoratori.

**ABSTRACT. THE EUROPEAN DIRECTIVE AND ITALIAN LEGISLATION ON ELECTROMAGNETIC FIELDS.** The directive 2004/40/EC, on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from electromagnetic fields, has been issued in the European Official Journal on May 25, 2004, as the 18<sup>th</sup> individual directive within the General Directive on health and safety at work (391/89/EEC). The present paper focuses on the main points of the directive, and compares it with current Italian legislation, which is based on rather different principles, with the aim of assessing their compatibility.

**Key words:** electromagnetic fields, legislation, workers.

### La direttiva comunitaria 2004/40/CE

Nel 1993 la Commissione Europea aveva presentato una prima proposta di direttiva del Parlamento e del Consiglio sulla sicurezza dei lavoratori nei confronti dell'esposizione ad agenti fisici, che considerava rumore, vibrazioni, e radiazioni a frequenze non ottiche (campi elettromagnetici 0-300 GHz) e ottiche (infrarosso, visibile, e UV). L'esame della proposta è ripreso separando i singoli agenti fisici, per cui alla fine del 2002 è stata emanata la direttiva sulle vibrazioni (2002/44/CE), all'inizio del 2003 la direttiva sul rumore (2003/10/CE), e da ultima la direttiva 2004/40/CE (1) sui campi elettromagnetici fino alla frequenza di 300 GHz.

La direttiva 2004/40/CE ha come scopo la protezione dai soli effetti considerati accertati. Nel preambolo è esplicito il riconoscimento dell'assenza di evidenze tali da ritenere scientificamente provati possibili effetti a lungo termine, compreso il cancro. Quale riferimento tecnico-scientifico per la definizione dei limiti di esposizione si assumono le linee guida dell'*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) (2), che già sono alla base della Raccomandazione Europea sulla protezione della popolazione dai campi elettromagnetici del luglio 1999 (3). A differenza però di detta raccomandazione, la recente direttiva affronta anche il merito della titolarità delle azioni nei confronti dei soggetti coinvolti, in particolare degli obblighi a carico dei datori di lavoro.

La struttura base e l'articolato della direttiva ricalcano quelli delle precedenti su vibrazioni e rumore. In particolare, lo schema prevede la definizione di "valori limite di esposizione" e di "valori di azione". Il limite di esposizione è quel valore che non deve essere superato in nessun caso, il valore di azione rappresenta invece un livello di esposizione inferiore, al superamento del quale il datore di lavoro deve intraprendere misure tecnico-organizzative volte a ridurre l'esposizione e attivare un regime di sorveglianza sanitaria. Tale filosofia, relativa ad agenti di rischio con profilo non a soglia, non è direttamente esportabile ai campi elettromagnetici laddove invece la natura del rischio è tipicamente a soglia, ed i limiti di base non coincidono con le soglie di rischio ma sono da queste ricavati mediante fattori di riduzione.

Anche la direttiva 2004/40/CE è articolata in valori limite di esposizione e valori di azione, i cui valori numerici sono stati posti identici, rispettivamente, alle restrizioni di base e ai livelli di riferimento raccomandati dall'ICNIRP (2), l'armonizzazione con la cui filosofia è stata raggiunta attraverso una rimodulazione delle definizioni rispetto alle precedenti direttive (articolo 2):

**Valori limite di esposizione:** limitazioni all'esposizione a campi elettromagnetici direttamente basate su effetti sanitari accertati e su considerazioni biologiche. Il rispetto di questi limiti assicura che i lavoratori esposti siano protetti da tutti gli effetti nocivi noti;

**Valori di azione:** il valore di parametri direttamente misurabili a cui si devono intraprendere una o più delle misure specificate nella direttiva. Il rispetto di questi valori assicura il rispetto dei pertinenti limiti di esposizione.

All'articolo 4 viene stabilito che il datore di lavoro deve valutare i livelli di esposizione dei lavoratori, e se su tale base i valori di azione risultano superati, il datore deve stabilire se siano superati o meno i limiti di esposizione. In sostanza, si prevede che al di sotto dei valori di azione non sia necessario intraprendere alcuna iniziativa; qualora questi vengano superati l'azione conseguente è la verifica sul rispetto dei limiti di base. La procedura è quindi identica a quella dell'ICNIRP, e si concilia l'esigenza di mantenere uno schema comune per le direttive sui diversi agenti fisici con la volontà di adottare le linee guida internazionali. Da notare che, nell'ambito della valutazione del rischio, il datore di lavoro deve considerare la possibilità di rischi indiretti per la salute quali:

- interferenze con attrezzature e dispositivi medici elettronici;
- rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici per campi magnetici statici;
- innesco di dispositivi elettro-esplosivi;
- incendi ed esplosioni dovuti all'accensione di materiali infiammabili.

La direttiva 2004/40/CE dovrà essere recepita dagli stati membri entro il 30 aprile del 2008, anche perché il CENELEC, che ha ricevuto mandato dalla Commissione Europea per la definizione delle norme tecniche necessarie all'applicazione della direttiva (misure, calcoli, ecc.), si è riservato allo scopo un tempo di quattro anni.

### La normativa nazionale (legge 36/2001)

La Legge 22 febbraio 2001 n.36 (4) è basata sul principio di precauzione, e introduce le definizioni di *limite di esposizione* per la tutela della salute da effetti acuti, di *valore di attenzione* quale misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine, e di *obiettivi di qualità* quali valori per la progressiva minimizzazione dell'esposizione. I *limiti di esposizione*, *valori di attenzione*, e gli *obiettivi di qualità* per la popolazione sono stati stabiliti tramite i decreti del Presidente del Consiglio 8 luglio 2003 (5,6), mentre nel caso dei lavoratori e delle esposizioni professionali i corrispondenti livelli non sono mai stati definiti nonostante fosse previsto un termine di sessanta giorni dall'entrata in vigore della legge. La legge non fa riferimento a restrizioni sulle grandezze di base, ma unicamente alle grandezze di riferimento, vale a dire i livelli dei campi elettrici e magnetici e della densità di potenza.

### Discussione e conclusioni

Il tema della coesistenza tra la legge 36/2001 e la direttiva 2004/40/CE è affrontato estesamente in (7). A partire da una più che legittima istanza di cautela nei confronti di possibili effetti a lungo termine, il lato debole della legge 36/2001, dal punto di vista della protezione dei lavoratori, sembra di non aver adeguatamente separato, concettualmente e operativamente, le politiche cautelative verso eventuali effetti a lungo termine dalle misure di protezione nei confronti degli effetti noti e accertati. In sostanza la legge, pur in tale istanza di cautela, risulta debole riguardo alla protezione dagli effetti certi, e virtualmente inefficace nei confronti di una serie di casi prati-

ci, specie in situazioni complesse quali la maggior parte delle esposizioni occupazionali.

La legge appare infatti piuttosto ispirata a criteri di tutela ambientale, ove la filosofia è di prescrivere il rispetto di determinati livelli di campo, indipendentemente dalla presenza delle persone e dalle modalità di esposizione. Le linee guida internazionali (e così la direttiva 2004/40/CE), sono invece focalizzate sull'effettiva esposizione della persona, sia essa un lavoratore o un individuo della popolazione. Quello che conta è ciò che essa realmente riceve, tenuto conto non solo dei livelli di campo ambientale, ma anche delle dimensioni corporee, della postura, dell'uso di dispositivi individuali di protezione, e di ogni altro fattore che possa influenzare l'esposizione. Le differenze tra i due approcci possono essere marginali nelle comuni condizioni di esposizione del pubblico con campi spazialmente omogenei, ma diventano cruciali in tutti i casi in cui le intensità dei campi cambiano fortemente da un punto all'altro.

In conclusione, si ritiene che solo una netta distinzione tra ciò che è politica di cautela, o di tutela ambientale, e ciò che invece è protezione da effetti certi, potrà rendere meno confuso il quadro. Da questo punto di vista il recepimento della direttiva 2004/40/CE non potrà che essere di ausilio. Peraltro, bisogna notare che la direttiva non è in contrasto con le finalità della legge 36/2001, che contemplano esplicitamente la protezione dagli effetti acuti, ma con gli strumenti operativi che vengono stabiliti per conseguire tale finalità. Una coesistenza non è quindi, almeno in linea di principio, impossibile. Inoltre, la direttiva fornisce prescrizioni minime, e una volta messo a punto un edificio coerente per la protezione dagli effetti certi, è ad ogni modo consentito agli stati membri di introdurre restrizioni aggiuntive. Deve ad ogni modo essere oggetto di riflessione il fatto che, nell'ambito delle disposizioni comunitarie, il quadro delle conoscenze su possibili effetti a lungo termine dovuti ai campi elettromagnetici non è ritenuto tale da sostenere l'opportunità di invocare politiche cautelative di alcun tipo, né per la popolazione né per i lavoratori.

### Bibliografia

- 1) Direttiva 2004/40/EC del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 29 Aprile 2004, sulle norme minime per la salute e sicurezza in relazione all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (diciottesima Direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16(1) della Direttiva 391/89/EEC). G.U. UE L184 del 24 maggio 2004.
- 2) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz). Health Physics 1998; 74: 494-522. [www.icnirp.org](http://www.icnirp.org).
- 3) Raccomandazione del Consiglio dell'Unione Europea relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici con frequenza da 0 Hz a 300 GHz. G.U. Comunità Europee 30 luglio 1999, L199/62.
- 4) [http://europa.eu.int/comm/health/ph/programmes/pollution/ph\\_fields\\_cr\\_it.pdf](http://europa.eu.int/comm/health/ph/programmes/pollution/ph_fields_cr_it.pdf)
- 5) Legge 22 febbraio 2001 n. 36. Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici. G.U. 7 marzo 2001 n. 55.
- 6) Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2003. Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz. G.U. 28 agosto 2003 n. 199.
- 7) Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2003. Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti. G.U. 29 agosto 2003 n. 200.
- 8) Rossi P., Vecchia P. Protezione dei lavoratori esposti a campi elettromagnetici: orientamenti normativi nazionali e internazionali. Atti del 22° Congresso Nazionale AIRP. Bari 17-19 settembre 2003.