

Documento congiunto ISPESL - ISS

1. Introduzione

Negli ultimi decenni, livelli di esposizione a campi elettrici e magnetici ed elettromagnetici sono aumentati con continuità e in misura considerevole; nel contempo, è andata anche aumentando la diffusione di tali esposizioni tra i lavoratori e la popolazione in generale.

Ciò ha portato i paesi più industrializzati, compresa l'Italia, a svolgere una vasta attività di ricerca, volta alla definizione dei meccanismi biofisici di interazione e alla descrizione dei principali effetti biologici e sanitari: sui risultati di tale ricerca è possibile poi basare la scelta di limiti di esposizione appropriati per gli ambienti di vita e di lavoro.

La mancanza nel nostro paese di una normativa nazionale avente valore di legge in questo delicato settore rende, oggi, improcrastinabile la definizione di una legge quadro sulla tutela dei lavoratori e della popolazione da esposizioni a campi elettromagnetici. A questo fine il Ministro dell'Ambiente, di concerto con il Ministro della Sanità, ha considerato opportuno costituire un Gruppo di lavoro interministeriale, con il compito di predisporre una proposta di testo nominativo organico per la tutela della salute della popolazione e dell'ambiente dall'inquinamento elettromagnetico, di cui fanno parte rappresentanti dei Ministeri dell'Ambiente e della Sanità nonché, per le tematiche di propria rispettiva competenza, rappresentanti dei Ministeri delle Comunicazioni e dell'Industria. Il Gruppo di lavoro, coordinato dai Sottosegretari di Stato all'Ambiente, alle Comunicazioni e alla Sanità, oltre a quello di predisporre una proposta di testo normativo, ha il compito di prestare attività di consulenza in sede di approvazione e di attuazione del testo normativo stesso nonché in sede di predisposizione di ulteriori provvedimenti.

L'ISPESL e l'ISS, ritenendo necessario lo svolgimento di un costruttivo confronto volto a chiarire le rispettive posizioni e ad individuare linee di azione comuni, nello spirito di collaborazione che le rispettive norme istituzionali prevedono e nell'interesse generale dei cittadini, hanno stilato questo documento congiunto che, anche in vista della delicata attività di consulenza tecnico-scientifica loro richiesta nell'ambito dei lavori del già citato Gruppo di lavoro interministeriale, presenta il punto di vista comune dei due Istituti nei riguardi delle problematiche sanitarie e ambientali, connesse all'utilizzo dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici nel campo di frequenze 0 Hz-300 GHz.

2. Principi generali di protezione

Nel settore della protezione dai campi elettromagnetici non ionizzanti si riscontra, talvolta, un uso improprio dei termini *interazione*, *effetto biologico* ed *effetto sanitario* (danno), che sembra riflettere un certo livello di confusione concettuale.

Quando un organismo interagisce con un campo elettromagnetico, il suo equilibrio viene perturbato, ma ciò non si traduce automaticamente in un effetto biologico apprezzabile e ancor meno in un effetto sanitario. Si può parlare di effetto biologico solo in presenza di variazioni morfologiche o funzionali a carico di strutture di livello superiore, dal punto di vista organizzativo, a quello molecolare.

Le informazioni fornite da studi sui sistemi molecolari, sebbene fondamentali per la comprensione dei meccanismi di *interazione* o *patogenetici*, non autorizzano al momento estrapolazioni a livelli organizzativi più complessi, come tessuti, organi e sistemi. L'induzione di un effetto biologico, d'altra parte, non comporta necessariamente un danno alla salute. Per poter parlare di effetto sanitario occorre, infatti, che l'effetto biologico superi i limiti di efficacia dei meccanismi di adattamento dell'organismo, meccanismi le cui caratteristiche variano con l'età, il sesso, lo stato di salute, il tipo e grado di attività del soggetto, nonché con le condizioni ambientali esterne, come temperatura e umidità o la contemporanea presenza di altri agenti nocivi.

Chiarito questo punto fondamentale, se si analizzano criticamente le scelte normative effettuate nel tempo nei vari paesi, è facile evidenziare i diversi fattori che portarono a quelle significative differenze tra i livelli di esposizione raccomandati che tanto hanno vivacizzato il dibattito scientifico in questo settore negli anni '70-'80.

Tra questi vanno sottolineati:

- 1) gli effetti biologici e sanitari scelti per la definizione dei valori limite
- 2) la diversa interpretazione fornita dai ricercatori ai dati sperimentali in termini di significatività per l'uomo e l'ambiente
- 3) gli scopi diversi per cui progressivamente i vari standard sono stati definiti e adottati
- 4) il livello di compromesso accettato, nei diversi paesi, fra rischio e grado di cautela
- 5) l'influenza di eventuali norme già adottate nelle singole nazioni o in aree ad esse vicine e caratterizzate da un medesimo contesto socio-politico.

Nel corso dell'ultimo decennio, invece, la filosofia della protezione nel settore dei campi elettromagnetici adottata da vari organismi nazionali, per esempio l'*American National Standard Institute/Institute of Electric and Electronic Engineers* (ANSI/IEEE), o europei (per esempio, il CENELEC) o internazionali, quali l'attuale *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) o, fino al 1992, l'*International Non-Ionizing Radiation Committee dell'International Radiation Protection Association* (IRPA/INIRC), è andata rapidamente convergendo, sulla base del continuo avanzamento delle conoscenze scientifiche, verso un approccio comune. Non deve quindi sorprendere il fatto che il percorso logico che porta alla definizione dei limiti di esposizione delle citate normative sia in larga misura sovrapponibile, anche se su alcuni aspetti particolari, più legati a problemi di gestione pratica delle norme che ad interpretazioni diverse dei dati scientifici, sussistono ancora significative differenze.

In particolare, l'ICNIRP, attraverso un continuo processo di armonizzazione delle varie normative nazionali, ha recentemente portato a termine un lungo lavoro di revisione critica delle linee guida pubblicate, nel 1988, dall'IRPA/INIRC; ciò darà luogo, entro qualche mese, alla pubblicazione di linee guida aggiornate sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, aventi frequenze comprese tra 1 Hz e 300 GHz . La stessa ICNIRP ha, inoltre, già pubblicato *linee guida* nei riguardi del campo magnetico statico, valide per frequenze comprese tra 0 e 1 Hz .

I rischi sanitari che dette norme considerano ai fini della protezione, però, sono esclusivamente quelli da esposizioni di natura acuta, deterministica, per i quali è possibile quindi individuare valori di soglia. Ciò mantiene aperto il problema della protezione dai possibili effetti a lungo termine, in particolare la cancerogenesi, la cui gestione deve realizzarsi con modalità diverse da quella della definizione di limiti di esposizione.

La protezione rispetto agli effetti acuti si realizza con la definizione di limiti di esposizione, anche in rapporto alle categorie di esposti prese in considerazione (normalmente i professionalmente esposti e gli individui della popolazione). La definizione dei limiti operativi prevede poi due fasi distinte. La prima prende in considerazione gli effetti sanitari che si intendono prevenire, la loro sussistenza e il loro andamento con la frequenza. I *limiti* di base, che sono gli unici veri limiti, vengono espressi mediante randezze fisiche (grandezze dosimetriche) strettamente correlate agli effetti sanitari. Il loro valore

numerico viene determinato in base ai valori di soglia relativi alle risposte acute (stress indotto dall'aumento della temperatura corporea, effetti comportamentali, stimolazione di strutture e tessuti eccitabili) e dai fattori di sicurezza che, rispetto ai valori di soglia, le varie norme adottano. La definizione dei *livelli di riferimento* costituisce la seconda fase del processo di limitazione delle esposizioni. I *livelli di riferimento* sono definiti mediante 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.

L'idea alla base di questa costruzione logica è che, se in un ambiente si misurano valori inferiori ai livelli di riferimento, se questi sono stati correttamente definiti, in nessuna circostanza l'esposizione determinerà il superamento dei limiti di base. Non è categoricamente vero il viceversa. Infatti, in molte situazioni espositive è possibile dimostrare che, anche in presenza di valori di campo elettromagnetico superiori ai livelli di riferimento, i limiti di base non vengono superati. Nel caso di superamento dei livelli di riferimento sono quindi necessarie analisi più approfondite e complesse per verificare il rispetto dei limiti di base.

3. La protezione dagli effetti acuti

L'ISPESL e l'ISS, sulla base di quanto detto in precedenza e di una approfondita analisi comparata delle scelte effettuate a livello nazionale, europeo e internazionale, convengono di fare generalmente riferimento, per la protezione dei lavoratori e della popolazione dagli effetti acuti delle esposizioni, ai limiti di base e ai livelli di riferimento attualmente raccomandati dall'ICNIRP, organizzazione internazionale riconosciuta ufficialmente dall'*Organizzazione Mondiale della Sanità* (OMS), dall'*International Agency for Research on Cancer* (IARC), dall'*International Labour Office* (ILO), dall'*International Radiation Protection Association* (IRPA) e dall'*Unione Europea* (UE) e a cui viene internazionalmente riconosciuto, nei riguardi della protezione dalle radiazioni non ionizzanti, un ruolo analogo a quello che caratterizza l'*International Commission on Radiation Protection* (ICRP) nei riguardi della protezione dalle radiazioni ionizzanti.

I due Istituti si riservano comunque di procedere ad opportuni approfondimenti dei contenuti delle *linee guida* ICNIRP dove

necessario: ad esempio, sembra meritevole di approfondimento la problematica delle esposizioni a *campi pulsati* e della definizione dei relativi *valori di picco*.

Nel momento in cui ci si riferisce alle raccomandazioni dell'ICNIRP, si deve far presente che, mentre nel contesto ICNIRP si individuano *livelli di riferimento*, in alcune leggi regionali e nel documento tecnico conclusivo della *Commissione interministeriale* costituita con *DI 4 agosto 1981*, sono attualmente individuati limiti di esposizione che, non solo hanno significato diverso da quello dei livelli di riferimento, ma risultano numericamente inferiori. I due Istituti concordano nel non ritenere che questa circostanza debba automaticamente portare ad un rilassamento dei livelli di esposizione attualmente presenti sul territorio, e ciò al fine del principio cautelativo che verrà più avanti indicato. Si ritiene, pertanto, che i provvedimenti elaborati per la tutela degli effetti acuti debbano evidenziare che il rispetto dei valori massimi di esposizione è condizione necessaria ma non sufficiente per tutelare la popolazione dai possibili effetti a lungo termine connessi alle esposizioni ai campi elettromagnetici.

3.1. Campi elettrici e magnetici statici (0-1 Hz)

Non esistono, oggi, validi dati sperimentali su cui basare la scelta di limiti di esposizione al *campo elettrico statico*, e ciò spiega perché questo sia l'unico caso in cui l'ICNIRP non abbia al momento emanato alcuna raccomandazione al riguardo. In linea di principio, un limite di esposizione potrebbe essere dedotto dal valore corrispondente al processo di ionizzazione dell'aria; ma questo dipende molto criticamente dalla forma del corpo e dal suo orientamento rispetto alla direzione del campo esterno, per cui tutte queste informazioni devono essere tenute in conto nella definizione di un limite di esposizione.

Per quanto riguarda il campo magnetico, le attuali conoscenze scientifiche non suggeriscono alcun effetto nocivo sui principali parametri di sviluppo, comportamentali e fisiologici negli organismi superiori per effetto di esposizioni temporanee a induzioni magnetiche statiche fino a 2 T.

Dall'analisi dei meccanismi di interazione accertati, l'ICNIRP raccomanda che il limite di esposizione professionale sia pari a un valore di *200 mT* mediato nel tempo su *una giornata di lavoro*, con un valore massimo di *2 T*. Poiché le estremità non contengono grossi vasi sanguigni o organi critici, può essere consentito per esse un limite più elevato, pari a *5 T*.

La restrizione di 200 mT è conservativa, prevedendo un fattore di sicurezza uguale a 10.

Per le ragioni precedentemente esposte, il limite di esposizione per la popolazione prevede un ulteriore fattore 5 di sicurezza, che si traduce in un limite per l'esposizione continua di 40 mT .

I limiti raccomandati dall'ICNIRP per le esposizioni dei lavoratori e della popolazione al *campo magnetico statico* sono riassunti nella *tabella 1*.

Tabella 1

LIMITI DI ESPOSIZIONE A CAMPI MAGNETICI STATICI (*)

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

(*) Avvertenze

- a) Le persone che abbiano impiantati stimolatori cardiaci (*pacemaker*) e altri dispositivi azionati elettricamente o che abbiano impianti di materiale ferromagnetico potrebbero non essere adeguatamente protetti dai limiti qui forniti. La maggior parte degli stimolatori cardiaci sono difficilmente influenzati dall'esposizione a campi di 0.5 mT . Le persone che abbiano impiantate protesi ferromagnetiche o apparati azionati elettricamente (diversi dai *pacemaker*) possono avere problemi con campi superiori a pochi mT .
- b) Quando l'induzione magnetica supera 3 mT , si devono prendere precauzioni per prevenire rischi dovuti a oggetti metallici messi dal campo in rapido movimento.
- c) 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.
- d) 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 ad una struttura vitale neurale, vascolare o ad un tessuto molle o all'occhio) o sui rischi di schegge (proiettili) metalliche, portano a raccomandare che le aree con induzioni magnetiche 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 adeguatamente protette dai limiti riportati nella *tabella 1*.

3.2. Campi con frequenze comprese fra 1 Hz e 300 GHz

I limiti proposti dall'ICNIRP sono basati, come già detto, su effetti acuti pienamente 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. Il pregio delle scelte ICNIRP risiede nel rigore con cui vengono indicate le finalità perseguite e le procedure adottate. Le questioni non trattate, in particolare quelle connesse al rischio cancerogeno, sono esplicitate con chiarezza e non si può pervenire alla conclusione affrettata che il rispetto dei limiti proposti rappresenti, *tout-court*, una garanzia di assenza di rischi per la salute.

Rimandando alla lettura del documento originale ICNIRP la chiara comprensione del rationale scientifico che è alla base delle scelte effettuate, le *tabelle 2 e 3* mostrano i limiti di base proposti.

Tabella 2

**LIMITI DI BASE PER CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI VARIABILI
NEL TEMPO PER FREQUENZE FINO A 10 GHz**

Caratteristiche di esposizione	Intervallo di frequenza	Densità di corrente per la testa e il tronco (mA/m ²) (valore efficace)	SAR mediato sul corpo intero (W/kg)	SAR locale (testa e tronco) (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) A causa della disomogeneità elettrica del corpo, le densità di corrente dovrebbero essere mediate su una sezione di 1 cm^2 perpendicolare alla direzione della corrente.
- 3) Per frequenze fino a 100 kHz , i valori di picco della densità di corrente possono essere ottenuti moltiplicando il valore efficace per $\sqrt{2}$ (~1.414). Per impulsi di durata t_p , la frequenza equivalente da applicare nei limiti di base dovrebbe essere calcolata come $f = 1/(2t_p)$.
- 4) Per frequenze fino a 100 kHz e per campi magnetici pulsati, la densità di corrente massima associata con gli impulsi può essere calcolata dai tempi di salita/discesa e dalla massima derivata temporale dell'induzione magnetica. La densità di corrente indotta può, quindi, essere confrontata con l'appropriato limite di base.
- 5) Tutti i valori di SAR devono essere mediati su un qualunque intervallo di 6 minuti .
- 6) Il SAR locale va mediato su una qualunque massa di 10 g di tessuto contiguo; il SAR massimo ottenuto in tal modo dovrebbe essere il valore usato per la stima dell'esposizione.
- 7) Per impulsi di durata t_p , la frequenza equivalente da applicare nei limiti di base dovrebbe essere calcolata come $f = 1/(2t_p)$. Inoltre, per esposizioni pulsate, l'*assorbimento specifico* (SA) non dovrebbe eccedere 10 mJ/kg per i lavoratori e 2 mJ/kg per la popolazione.

Tabella 3

**LIMITI DI BASE PER LA DENSITA' DI POTENZA PER FREQUENZE
COMPRESSE TRA 10 e 300 GHz**

Caratteristiche dell'esposizione	Densità di potenza (W/m ²)
Esposizione lavorativa	50
Esposizione della popolazione	10

Note

- 1) Le densità di potenza devono essere mediate su qualsiasi area esposta di 20 cm^2 e su qualsiasi intervallo temporale pari a $68/f^{1.05}$ minuti (dove f è in GHz) per compensare la progressiva diminuzione della profondità di penetrazione all'aumentare della frequenza.
- 2) Le densità di potenza massime spaziali, mediate su 1 cm^2 , non dovrebbero eccedere più di 20 volte i valori in *tabella*.

I corrispondenti livelli di riferimento sono indicati, per le varie tipologie di esposizione, nelle *tabelle 4, 5, 6 e 7*.

Tabella 4

**LIVELLI DI RIFERIMENTO 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 (μT)	Densità di potenza dell'onda piana equivalente P_{eq} (W/m ²)
fino a 1 Hz	-	1.63×10^5	2×10^5	-
1-8 Hz	20.000	$1.63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	-
8-25 Hz	20.000	$2 \times 10^4 / f$	$2.5 \times 10^4 / f$	-
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, P_{eq} , E^2 , H^2 , e B^2 , devono essere mediati su qualsiasi intervallo di 6 minuti.
- 4) Per valori di picco fino a 100 kHz, si veda la *tabella 2, nota 3*).
- 5) Tra 100 kHz e 10 MHz, i valori di picco per le intensità di campo sono ottenuti per mezzo di un fattore moltiplicativo ricavato per interpolazione dal fattore 1.5 a 100 kHz al fattore 32 a 10 MHz. Per frequenze superiori a 10 MHz, si suggerisce che il valore di picco della densità di potenza dell'onda piana equivalente, mediato sulla durata dell'impulso, non ecceda più di 1000 volte i limiti su P_{eq} o che l'intensità di campo non ecceda più di 32 volte i livelli di esposizione relativi all'intensità di campo dati in tabella. Per frequenze comprese tra 0.3 e parecchi GHz, effetti di tipo uditivo attraverso espansione termoelastica sono limitati da questa procedura.
- 6) Per frequenze superiori a 10 GHz, P_{eq} , E^2 , H^2 , e B^2 , devono essere mediati su qualsiasi intervallo pari a $68/f^{1.05}$ minuti (f in GHz).
- 7) Nessun valore del campo elettrico è indicato per frequenze <1Hz, trattandosi praticamente di campi elettrici *statici*. Scosse elettriche da sorgenti di bassa impedenza sono prevenute da procedure di sicurezza elettrica stabilite per tali apparati.

Tabella 5

**LIVELLI DI RIFERIMENTO 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 (μT)	Densità di potenza dell'onda piana equivalente P_{eq} (W/m ²)
fino a 1 Hz	-	3.2×10^4	4×10^4	-
1-8 Hz	10.000	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	-
8-25 Hz	10.000	$4000 / f$	$5000 / f$	-
0.025-0.8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	-
0.8-3 kHz	$250 / f$	5	6.25	-
3-150 kHz	87	5	6.25	-
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	$1.375 f^{1/2}$	$0.0037 f^{1/2}$	$0.0046 f^{1/2}$	$f / 200$
2-300 GHz	61	0.16	0.20	10

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, P_{eq} , E^2 , H^2 , e B^2 , devono essere mediati su qualsiasi intervallo di 6 minuti.
- 4) Per valori di picco fino a 100 kHz, si veda la *tabella 2, nota 3*).
- 5) Tra 100 kHz e 10 MHz, i valori di picco per le intensità di campo sono ottenuti per mezzo di un fattore moltiplicativo ricavato per interpolazione dal fattore 1.5 a 100 kHz al fattore 32 a 10 MHz. Per frequenze superiori a 10 MHz, si suggerisce che il valore di picco della densità di potenza dell'onda piana equivalente, mediato sulla durata dell'impulso, non ecceda più di 1000 volte i limiti su P_{eq} o che l'intensità di campo non ecceda più di 32 volte i livelli di esposizione relativi all'intensità di campo dati in *tabella*. Per frequenze comprese tra 0.3 e parecchi GHz, effetti di tipo uditivo attraverso espansione termoelastica sono limitati da questa procedura.
- 6) Per frequenze superiori a 10 GHz, P_{eq} , E^2 , H^2 , e B^2 , devono essere mediati su qualsiasi intervallo pari a $68 / f^{1.05}$ minuti (f in GHz).
- 7) Nessun valore del campo elettrico è indicato per frequenze <1 Hz, trattandosi praticamente di campi elettrici statici. Per la maggior parte delle persone, la fastidiosa percezione di cariche elettriche superficiali non si verifica ad intensità del campo inferiori a 25 kV/m. Scintille in grado di provocare stress o fastidio dovrebbero essere evitate.

Tabella 6**LIVELLI DI RIFERIMENTO PER CORRENTI DI CONTATTO VARIABILI
NEL TEMPO DA OGGETTI CONDUTTORI**

Caratteristiche dell'esposizione	Intervallo di frequenza	Corrente di contatto massima (mA)
Esposizione lavorativa	fino a 2.5 kHz	1.0
	2.5-100 kHz	0.4f
	100 kHz-110 MHz	40
Esposizione della popolazione	fino a 2.5kHz	0.5
	2.5-100 kHz	0.2f
	100 kHz-110 MHz	20

Note

f è la frequenza in kHz.

Il rispetto dei livelli di riferimento per le correnti di contatto per l'esposizione della popolazione non deve essere intesa come deroga agli obblighi di messa a terra.

Tabella 7**LIVELLI DI RIFERIMENTO PER LA CORRENTE INDOTTA IN UN QUALUNQUE
ARTO A FREQUENZE COMPRESSE TRA 10 E 110 MHz**

Caratteristiche dell'esposizione	Corrente (mA)
Esposizione lavorativa	100
Esposizione della popolazione	45

Note

- 1) Il livello di riferimento per la popolazione è uguale al livello di riferimento occupazionale diviso per $\sqrt{5}$.
- 2) Per conformità con il limite di base sul SAR locale, la radice quadrata del valore mediato sul tempo del quadrato della corrente indotta su un qualsiasi intervallo di *6 minuti* forma la base dei livelli di riferimento.

4. La protezione dagli effetti a lungo termine

L'analisi dei dati ottenuti attraverso le indagini epidemiologiche porta oggi a distinguere, all'interno dell'intero spettro elettromagnetico non ottico, due campi di frequenza rilevanti dal punto di vista delle applicazioni e fra loro ben differenziati: la gamma dei campi a frequenze estremamente basse (ELF), egemonizzata dalla frequenza (50 Hz), utilizzata per la rete elettrica, e la gamma delle radiofrequenze e microonde (100 kHz-300 GHz), con vaste applicazioni nei processi industriali, nel settore delle telecomunicazioni e in medicina; un terzo campo meno esplorato ma di potenziale interesse è quello dei campi statici e dei campi a frequenze inferiori a 10 Hz.

Chi intende oggi emanare una normativa in materia di campi elettromagnetici si trova a dover effettuare una scelta fra tre sistemi di valutazione di rischio.

Il *primo sistema* è basato sulla protezione dagli effetti diretti di tipo acuto e porta ai limiti precedentemente descritti, lasciando necessariamente non normata la fascia di esposizioni di intensità inferiore. Questo atteggiamento può in qualche misura contribuire a determinare l'instaurarsi di conflitti nelle situazioni in cui i soggetti residenti in una data area chiedano un intervento di risanamento a carattere preventivo, che viene rifiutato in quanto, nel caso in esame, non vengono superati i limiti di esposizione previsti per legge. Se viene in qualche modo a mancare un ruolo di indirizzo e di coordinamento da parte della struttura pubblica competente, è verosimile che i conflitti si spostino dalle sedi amministrative a quelle giudiziarie. Si verifica allora un crescente ricorso alla giustizia civile e penale, ed è, in ultima analisi, il magistrato a supplire al ruolo della struttura sanitaria deputata alla prevenzione.

Il *secondo sistema*, finalizzato alla gestione del rischio cancerogeno, non contempla l'idea di un meccanismo di soglia, ma si basa su una relazione fra entità dell'esposizione e probabilità di insorgenza dell'evento avverso. L'assunzione soggiacente a questo modello è che la cancerogenicità dei campi sia provata oltre ogni ragionevole dubbio, e che all'aumento dell'intensità dell'esposizione corrisponda un aumento del rischio di cancro. In questo quadro, si persegue il contenimento delle esposizioni al di sotto di livelli desunti da alcuni studi epidemiologici, non perché si tratti di un fenomeno a soglia, ma perché si ritiene che la relazione *esposizione-effetto* causi un numero apprezzabile di casi di malattia indicativamente al di sopra di tali valori. Questo sistema di valutazione presenta due principali inconvenienti. In primo luogo, viene alimentata una pericolosa

confusione fra il concetto di limite sanitario, che deve necessariamente riferirsi ad un fenomeno accertato e del quale siano noti i meccanismi biologici, e il livello (*cut-off*) utilizzato come discriminante fra due categorie di esposizione in alcuni studi epidemiologici di tipo comparativo. La mancanza di chiarezza sulla fondamentale differenza fra questi due significati di uno stesso valore è destinata ad ingenerare ulteriore confusione, difficoltà di comunicazione fra soggetti istituzionali diversi e potenziali conflitti. Il secondo problema derivante dall'adozione di questo limite è di tipo pratico: valutare come non a norma in modo indistinto tutte le situazioni in cui il limite è superato, prescindendo dall'ambiente in esame e dall'entità del superamento, contrasta con l'esigenza di procedere per priorità di intervento anche in relazione ai problemi di allocazione di risorse limitate. Le segnalazioni, reperibili nella letteratura, di effetti a lungo termine sulla salute dovuti a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, ancorché non conclusive, non possono essere ignorate.

Il *terzo sistema* di valutazione è pertanto finalizzato a trattare le situazioni nelle quali il nesso causale fra esposizione e malattia non sia stato stabilito con sufficiente certezza.

E' a questo sistema, che appare nel complesso il più indicato per trattare la problematica dei campi elettromagnetici, che si riferiscono le considerazioni che seguono.

Alla base di questo sistema di valutazione vi è l'istanza di prestare attenzione a risultati anche parziali, accettandone il margine di incertezza e privilegiando la riproducibilità del dato sulla comprensione dei meccanismi biologici soggiacenti: il principio cautelativo *entra* nella definizione di evidenza adeguata per operare delle scelte. L'esistenza di margini di incertezza non viene negata, ma se ne tiene conto esplicitando il fatto che nella definizione degli standard si sta adottando un atteggiamento di tipo cautelativo.

In un approccio di questo tipo si persegue l'obiettivo di superare le situazioni nelle quali l'incertezza venga negata da chi voglia comunque agire e amplificata da chi abbia interesse a dilazionare un'azione. In una comunità nella quale si sospetti un danno alla salute a causa di determinate esposizioni ambientali, il rapporto di fiducia con i tecnici potrà rompersi se l'incertezza sarà invocata per giustificare la mancanza di azioni a carattere preventivo. In campo ambientale infatti sono la regola, e non l'eccezione, le situazioni nelle quali i dati scientifici sono insufficienti per sostenere una conclusione definitiva, e nonostante questo una decisione va presa.

L'adozione di questo tipo di approccio comporta l'abbandono del limite di esposizione inteso come limite sanitario, a favore dell'adozione di *obiettivi di qualità*, da raggiungere in un certo arco di tempo in modo differenziato per diversi scenari di esposizione. I dati scientifici, pur con i loro margini di incertezza, rappresentano un quadro di riferimento del quale si tiene conto nel definire la normativa. Compito di chi ha responsabilità decisionali è far sì che la normativa, oltre a non essere in contraddizione con quanto indicato dalle conoscenze disponibili, sia esplicita e comprensibile per quanto attiene la specificazione degli obiettivi che si pone e delle procedure per raggiungerli e verificarli.

Nel processo di messa a punto della normativa dovrà essere dibattuto con trasparenza quale livello di tutela della popolazione generale e di sottogruppi a maggior rischio si voglia ottenere, quali costi si sia disposti a sostenere e come vengano ripartiti benefici, rischi e costi.

4.1. Il campo elettrico e magnetico a 50 Hz

L'interpretazione complessiva delle evidenze epidemiologiche e sperimentali relative allo studio dell'associazione tra esposizione a campi elettrici e magnetici a bassa frequenza e insorgenza di tumori può essere sintetizzata come segue.

Gli studi epidemiologici suggeriscono un'associazione tra l'esposizione residenziale a campi magnetici a 50 Hz, generalmente valutata in modo indiretto, e la leucemia infantile.

Il nesso di causalità, tuttavia, non è dimostrato, sia a causa di limitazioni nel disegno degli studi e nel controllo di potenziali fattori di confondimento, sia per il carattere contrastante dei dati ottenuti mediante differenti procedure di valutazione dell'esposizione (talvolta anche all'interno dello stesso studio), sia infine a causa della mancanza di un chiaro meccanismo d'azione per l'eventuale cancerogenicità dei campi magnetici di frequenza industriale.

Concorre a rendere complessa la valutazione dell'esposizione a campi elettrici e magnetici della popolazione residente in prossimità delle linee ad alta tensione il fatto che le linee possano essere utilizzate per la trasmissione di onde convogliate a frequenze comprese nell'intervallo 40-400 kHz. L'esposizione a queste onde convogliate, utilizzate per le telecomunicazioni, è stata oggetto di campagne dosimetriche in un numero limitato di paesi, fra i quali gli Stati Uniti, la Norvegia e l'Italia; non è possibile valutare gli eventuali effetti a lungo termine delle onde convogliate perché gli studi epidemiologici sinora condotti non le hanno prese in esame.

Sulla base di tale valutazione delle evidenze scientifiche è possibile formulare alcune considerazioni in merito alla opportunità o meno di adottare misure di prevenzione e al tipo di interventi prefigurabili.

Una prima questione da valutare è l'impatto in termini di sanità pubblica dei campi elettromagnetici generati dalle linee di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica.

Tale impatto viene generalmente stimato in termini di numero assoluto di casi attribuibili all'esposizione ipotizzando un nesso causale accertato; le stime disponibili, ad esempio, per la Danimarca, la Germania, la Finlandia e la Svezia variano da qualche frazione a qualche unità di casi statistici di leucemia all'anno per effetto della vicinanza agli elettrodotti o per la residenza in ambienti caratterizzati da un campo magnetico relativamente elevato. In Italia, si è stimato che circa 300.000 persone siano esposte a campi elettromagnetici di $0.2 \mu T$ o oltre, a causa del passaggio delle linee elettriche in prossimità delle case. Sulla base di questo dato e delle stime del rischio desunte dalla letteratura scientifica, ci si possono attendere annualmente 2.5 casi in eccesso di leucemia infantile, con un intervallo di confidenza che va da 0.23 a 7.1 casi.

Per quanto riguarda le indicazioni operative, esiste fra le istituzioni e i governi una gamma di posizioni. L'ISS, nel 1995, ha formulato conclusioni che possono essere così sintetizzate. Per le nuove opere, si raccomanda di includere nelle fasi progettuali l'istanza della riduzione dell'esposizione. Per quanto riguarda l'esistente, si raccomanda di ridurre i livelli di esposizione che superino largamente quei valori che di solito si trovano nell'ambiente generale e, in particolare, di annettere carattere di priorità agli interventi relativi a scuole, asili, parchi gioco, e altri spazi dedicati all'infanzia.

Il rapporto del *National Research Council*, pubblicato nel 1996, non raccomanda l'adozione di alcuna adozione preventiva, mentre vengono illustrati in dettaglio i requisiti delle nuove ricerche da sviluppare. Cinque enti governativi svedesi hanno prodotto, nel 1996, un documento che si propone come *guida per i decisori* con riferimento a questa materia. Nella prima parte si afferma che, sebbene i risultati delle ricerche non giustifichino l'adozione di valori limite per i campi elettromagnetici a bassissima frequenza, una *certa cautela* può risultare giustificata. Naturalmente, la società non può permettersi di adottare misure costose, ma... *dati i sospetti ragionevolmente forti di effetti sulla salute, si dovrebbero comunque fare quei passi che non presentino costi troppo elevati o*

altri inconvenienti... Il principio cautelativo suggerito dalle autorità svedesi afferma che: ...Se si possono adottare misure preventive atte a ridurre - in termini generali - l'esposizione con una spesa ragionevole, e con ragionevoli conseguenze in altri ambiti, va fatto uno sforzo per ridurre quei campi che rappresentano un netto scostamento da ciò che appare come dato normale in un certo tipo di ambiente. Per quanto riguarda le nuove installazioni, tali sforzi andrebbero fatti già in fase di progettazione per pianificarle e situarle in modo tale che l'esposizione abitativa sia limitata...

Per concorrere alla valutazione di fattibilità degli interventi e all'individuazione delle priorità, il documento svedese propone anche una procedura per stimare il costo delle misure di riduzione dell'esposizione. Tale procedura è offerta ai responsabili dei processi decisionali non tanto per proporre un algoritmo che conduca automaticamente alla decisione di effettuare o non effettuare un particolare intervento, quanto per avere uno strumento di valutazione comparativa delle diverse situazioni.

Alla luce di quanto sinora emerso, è possibile prefigurare alcuni possibili scenari di riduzione dell'esposizione con riferimento alla situazione italiana.

Come primo contributo, viene proposto un modello che mette in relazione l'esposizione a campi magnetici dovuti alla presenza di linee dell'alta tensione, stimati in base alla distanza delle case dalle linee, con il rischio aggiuntivo di morte per leucemia in età *0-14 anni*.

Le principali assunzioni sottiacenti al modello sono: la linearità della risposta; un valore di rischio relativo (RR) degli esposti a livelli di induzione magnetica superiori $0.2 \mu T$ rispetto agli esposti a livelli inferiori, dedotto da una meta-analisi di studi epidemiologici condotti in Svezia, Finlandia e Danimarca, pari a 2.1 (intervallo di confidenza al 95% : $1.1 - 4.1$); la distribuzione uniforme della popolazione all'interno di ogni intervallo di esposizione (se questa condizione non fosse verificata, il modello porterebbe a sovrastimare il numero di soggetti nelle classi di esposizione più elevate, e questo si tradurrebbe in un'accentuazione del suo carattere di *worst case hypothesis*); infine, e soprattutto, la dimostrazione del nesso di causalità, che invece non è stata ottenuta. Si tratta di un modello che è affetto da due principali limiti: stimare un rischio aggiuntivo per un'esposizione statisticamente associata alla leucemia infantile, senza però risultare sinora causalmente correlata, e considerare come contributo

all'esposizione soltanto quello dovuto alle linee dell'alta tensione, e non quello della media e bassa tensione e di sorgenti di esposizione interne alle case e/o di uso personale.

Tenendo presenti queste avvertenze, il modello conduce a valutare un rischio aggiuntivo di morte per leucemia in età *0-14 anni* pari a $2.9 \cdot 10^{-5}$ in un anno per ogni microtesla di esposizione. Va sottolineata la grande indeterminazione di questo parametro derivante da quella del rischio relativo: considerando gli estremi dell'intervallo di confidenza al 95%, si ottiene un rischio aggiuntivo per microtesla variabile da $0.24 \cdot 10^{-5}$ in un anno ($RR= 1.1$) a $9.7 \cdot 10^{-5}$ ($RR= 4.1$). Per esposizioni superiori a circa $0.6 \mu T$ (classe di esposizione alla quale si stimano appartenere circa 21.000 individui della popolazione nella classe di età *0-14 anni*) il rischio aggiuntivo supera il rischio di fondo di mortalità per leucemia infantile, e in corrispondenza di esposizioni più elevate, superiori a circa $2 \mu T$ (classe di esposizione alla quale si stimano appartenere circa 3.600 individui della popolazione nella classe di età *0-14 anni*), il rischio aggiuntivo supera il valore del tasso di mortalità per cause accidentali (quest'ultimo particolarmente rilevante in età pediatrica).

Pur con tutte le cautele derivanti dalla consapevolezza dei limiti del modello, pare ragionevole utilizzare queste stime come un elemento di valutazione. Ciò che appare nel modello è che i benefici di una riduzione dell'esposizione sarebbero apprezzabili all'interno della popolazione con esposizione più elevata, in quanto contribuirebbero ad una riduzione sensibile della frazione eziologica tra gli esposti, mentre si avrebbe una riduzione modesta della frazione eziologica di popolazione.

Ai fini di questa discussione, è utile sottolineare che le stime di rischio relativo effettuate su base epidemiologica per i campi magnetici a 50 Hz si riferiscono tipicamente a situazioni in cui l'esposizione del gruppo di riferimento (generalmente indicata come mediamente minore o pari all'ordine di grandezza di $0.1 \mu T$) risulta, sulla base dei dati disponibili, molto vicina ai livelli di esposizione attribuibili al gruppo o ai gruppi per i quali è stato definito il rischio relativo. I livelli per i quali è stato rinvenuto un rischio relativo maggiore dell'unità sono identificati nella maggior parte degli studi epidemiologici semplicemente nei termini di $>0.2 \mu T$, e il limite superiore in cui è prevedibilmente compresa questa esposizione può essere stimato in linea di massima nell'ordine di *qualche microtesla* piuttosto che delle *decine di microtesla* (come è noto, ad esempio, un livello dell'ordine della decina di microtesla

potrebbe al più aversi immediatamente sotto una linea elettrica da 380 kV a pieno carico). Nella grande maggioranza delle stime effettuate per altri fattori di rischio e basate su dati epidemiologici (ad esempio, quelle dell'OMS per la qualità dell'aria), i livelli di esposizione per i quali è identificato il rischio sono maggiori anche di vari ordini di grandezza rispetto all'esposizione del gruppo di controllo e ancor più rispetto all'esposizione di fondo, consentendo di distinguere e graduare agevolmente le varie categorie di esposizione. Nel caso che qui interessa si è lontani da questa condizione. In particolare si può osservare che i livelli di campo magnetico ai quali potrebbe essere associato un rischio aggiuntivo all'incirca pari a quello di fondo per leucemia infantile non sono molto lontani dall'intervallo in cui potrebbero essere incluse le fluttuazioni casuali del livello di fondo. Può essere pertanto utile integrare il riferimento alle stime ottenibili dai dati epidemiologici con semplici considerazioni sulla distribuzione statistica dei livelli normali o di fondo. Secondo il NRC (1996), ricerche condotte su un vasto campione di edifici e di soggetti di cui è stata misurata l'esposizione personale indicano che a un livello mediano intorno a $0.1 \mu T$, corrisponde un 95-simo percentile tra circa 0.29 e circa $0.5 \mu T$. Questi dati suggeriscono che una condizione di esposizione media dell'ordine di $0.1 \mu T$, quale quella indicata per il gruppo di controllo dagli studi epidemiologici basati su stime indirette dell'esposizione stessa, è compatibile con la presenza di una piccola percentuale di valori dell'ordine di $0.3-0.5 \mu T$, semplicemente per fluttuazioni statistiche. Invece, è estremamente improbabile, in situazioni normali quali quelle sopra descritte, rinvenire livelli di 1 o, ancor più, $2 \mu T$.

Sulla base di queste considerazioni è possibile identificare alcune condizioni che, insieme alle considerazioni derivate dal modello descrittivo del rischio, possono presumibilmente essere di utile riferimento per la gestione pratica del problema.

In linea di massima, può essere identificato un intervallo entro cui prevedibilmente è inclusa la grande maggioranza dei valori compatibili con una condizione media o mediana di $0.1 \mu T$, sulla base di considerazioni sui percentili della relativa distribuzione statistica ($0.29-0.5 \mu T$). In secondo luogo, può essere identificato un ordine di grandezza di livelli di esposizione, che pur non essendo particolarmente elevati (ad esempio, nell'intervallo tra $0.5 \mu T$ e $1 \mu T$), sono tuttavia con buona probabilità superiori alla grande maggioranza delle fluttuazioni dei livelli normali o di fondo, e

corrispondono al contempo ai valori di esposizione per cui stime derivate dai dati epidemiologici (in larga misura in base a stime indirette dell'esposizione) suggeriscono che il rischio relativo possa iniziare a discostarsi significativamente dall'unità. Infine, è possibile identificare un terzo intervallo di valori di esposizione di entità tale (ad esempio di qualche microtesla) da poter essere considerato ragionevolmente lontano dalla condizione di fondo e per il quale le stime sopra discusse suggeriscono un possibile rischio aggiuntivo anche considerevole (ad esempio, comparabile al tasso di mortalità per cause accidentali).

Quest'ultima condizione potrebbe in qualche modo essere ipotizzata in caso di un'elevata prossimità a linee elettriche ad alta tensione. Livelli ancora più elevati richiederanno ovviamente una maggiore attenzione. Dai livelli di esposizione scelti si potrà dedurre l'entità di distanze dalle linee ad alta tensione da raccomandare per gli edifici o la necessità dell'adozione di tecnologie alternative.

Questo tipo di situazione merita attenzione anche alla luce di considerazioni di tipo etico. In un modello utilitaristico è accettabile che una piccola frazione della popolazione affronti un moderato incremento di rischio di mortalità o morbosità, se la spesa per evitarlo appare troppo grande. In un modello centrato sulla persona, tipico dell'etica medica, ma anche della vocazione primaria dell'epidemiologia, la vita di ogni singolo ha valore illimitato. Il bilancio rischio-beneficio viene considerato non direttamente applicabile se rischi e benefici riguardano soggetti diversi, e sono distribuiti in maniera non omogenea. Inoltre, a fini di chiarezza vanno tenuti distinti il rischio di popolazione e il rischio individuale o di sottogruppo.

La riflessione etica non può da sola fornire la soluzione ai problemi tecnici e normativi, ma può contribuire a mettere in luce i conflitti e fornire elementi per una loro composizione.

Un processo nel quale si valutino le evidenze scientifiche con le loro limitazioni e, tenuto conto delle risorse limitate, si proceda caso per caso all'identificazione delle priorità di intervento, ha infatti sicuramente una sua rilevanza morale, purché siano garantite la trasparenza della procedura e una corretta informazione dell'opinione pubblica, in modo da ottenere un consapevole consenso della collettività.

4.2. Campi a radiofrequenze e microonde (100 kHz-300 GHz)

L'interpretazione complessiva delle evidenze epidemiologiche e sperimentali relative allo studio dell'associazione fra esposizione a campi elettromagnetici a radiofrequenze e microonde ed insorgenza di effetti a lungo termine è resa problematica da diverse questioni.

In primo luogo vanno sottolineati, in questo settore, il grande intervallo di frequenze considerate e l'eterogeneità delle modalità di emissione e di esposizione, a differenza di quanto avviene per i campi a frequenze estremamente basse. Rientrano, ad esempio, in questo ambito le esposizioni connesse con la presenza di impianti per emittenza radiotelevisiva, apparecchiature industriali quali saldatrici e incollatrici, impianti fissi per la telefonia mobile e telefoni cellulari, radar.

Un secondo problema è rappresentato dall'eterogeneità degli effetti sanitari che sono stati posti in relazione con le esposizioni in esame, trattandosi spesso di dati forniti da isolati studi esplorativi: da un lato incrementi del rischio di leucemia tra gli esposti a radiofrequenze per ragioni professionali e/o ambientali, dall'altro segnalazioni di possibili alterazioni ematologiche, effetti cromosomici ed esiti riproduttivi sfavorevoli in particolari gruppi ad alta esposizione.

Un'analogha eterogeneità si riflette anche sui disegni di studio e sui protocolli adottati, contribuendo a rendere difficoltosa la comparazione dei risultati; inoltre, si può osservare che i protocolli impiegati sono caratterizzati da metodologie di valutazione dell'esposizione relativamente grossolane (ad esempio, solo il titolo professionale o la sola residenza), da assenza di procedure per la valutazione di fattori di confondimento e da dimensioni numeriche inadeguate.

Un terzo problema riguarda l'esiguità numerica complessiva degli studi disponibili. Nel caso specifico della telefonia cellulare, ad esempio, non si dispone di studi adeguati a causa dell'insufficiente lasso di tempo trascorso dall'inizio dell'esposizione.

Va, infine osservato che vi è scarsa riproducibilità dei risultati anche nei (pochi) casi in cui si confrontano studi che hanno affrontato con protocolli comparabili situazioni sostanzialmente analoghe.

Alla luce dei problemi suddetti, gli studi epidemiologici disponibili sono da considerare di numero, qualità, consistenza o potenza statistica insufficienti per permettere conclusioni relativamente alla presenza o assenza di un'associazione causale tra l'esposizione ai tipici livelli delle radiofrequenze e microonde presenti negli ambienti di vita e di lavoro e l'insorgenza di effetti sanitari a lungo termine.

Gli studi di laboratorio non forniscono indicazioni conclusive circa eventuali effetti a lungo termine dei campi elettromagnetici a radiofrequenze e microonde. La ricerca di laboratorio non ha prodotto risultati conclusivi nell'individuazione di effetti a lungo termine; un recente lavoro ha riportato la presenza di un raddoppio di linfomi in topi transgenici che, però, necessita di replica e della validazione dell'estrapolazione all'uomo dei risultati ottenuti con animali transgenici.

La situazione che si configura è diversa da quella relativa ai campi magnetici a *50 Hz*, essenzialmente per i seguenti motivi:

- 1) gli studi epidemiologici non forniscono indicazioni conclusive di effetti sanitari a lungo termine imputabili all'esposizione a livelli non termici di radiofrequenze e microonde
- 2) anche ipotizzando un nesso causale tra effetti sanitari a lungo termine e l'esposizione ai campi elettromagnetici a radiofrequenze e microonde, non è disponibile alcun elemento di valutazione circa l'impatto in termini di sanità pubblica di tale esposizione.

In tale situazione, richiamando il terzo sistema di valutazione precedentemente esposto, possono essere formulate alcune indicazioni operative:

- a) sulla base di un principio cautelativo intorno al quale si riscontra un generale consenso, possono essere delineate strategie di abbattimento dei livelli di esposizione presenti negli ambienti di vita e di lavoro che comportino costi accettabili dalla collettività, anche per mezzo della ricerca e l'applicazione di nuove tecnologie: ad esempio, si può valutare nel caso degli impianti di emittenza radiotelevisiva se la potenza emessa possa essere ridotta semplicemente attraverso un'opportuna attribuzione delle frequenze di utilizzo; non deve essere ulteriormente possibile che insediamenti radiotelevisivi siano progettati in modo da irradiare direttamente all'interno di edifici di civile abitazione
- b) la riduzione delle esposizioni può essere attuata con modalità più restrittive in particolari situazioni (ad esempio, nel caso di esposizioni negli spazi destinati all'infanzia, e nelle strutture sanitarie)
- c) è auspicabile che venga pianificato e attuato un insieme di studi finalizzato a fornire dati aggiornati relativi alla situazione italiana. In questo ambito, carattere di priorità va annesso agli studi di

mortalità geografica di popolazioni residenti in prossimità di impianti di emittenza radiotelevisiva, allo studio di coorti lavorative di particolare valore e a studi *caso-controllo policentrici* a carattere europeo o, comunque, sovranazionale

- d) sono raccomandate iniziative miranti ad una informazione corretta e completa dei cittadini circa i rischi connessi all'esposizione ai campi elettromagnetici a radiofrequenze e microonde (ma ciò è valido anche per quanto riguarda i campi elettrici e magnetici a *50 Hz*), che rifletta nel modo migliore il quadro delle conoscenze scientifiche con tutte le sue incertezze, al fine di perseguire il duplice obiettivo di evitare esposizioni inconsapevoli e di sensibilizzare l'opinione pubblica su un potenziale fattore di rischio per la salute, evitando altresì allarmismi che, in quanto possono indurre stati di ansia o di paura, possono rappresentare essi stessi un fattore di rischio per la salute, definita dall'*Organizzazione Mondiale della Sanità come... uno stato di completo benessere fisico, psicologico e sociale della persona, non semplicemente l'assenza di malattie o infermità ...*

Il presente documento, che costituisce la base per un'adeguata tutela sanitaria dalle esposizioni a campi elettromagnetici, viene approvato congiuntamente dai due Istituti, organi tecnico-scientifici del Ministro della Sanità, e proposto anche in vista della predisposizione della emananda normativa di settore.

I due Istituti, anche in relazione ai compiti di proposta normativa e di consulenza allo Stato e alle Regioni, istituzionalmente loro attribuiti, approfondiranno i temi su esposti, sulla base delle rispettive specificità, al fine di contribuire sia all'articolazione degli scenari di esposizione sia alla definizione di obiettivi di qualità conseguibili con le attuali tecnologie.

Il Direttore dell'ISPESL
Antonio Moccaldi

Il Direttore dell'ISS
Giuseppe Benagiano

Protezione dagli effetti a lungo termine

Chi si trova oggi a presidiare la tutela della salute pubblica e la sicurezza dei lavoratori, in relazione alla esposizione cronica della popolazione e dei lavoratori ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, si trova a dover effettuare una scelta fra i *tre sistemi* di valutazione del rischio, delineati nel paragrafo omonimo del documento congiunto dell'ISPESL e dell'ISS.

I due Istituti propongono l'adozione del *terzo sistema* di valutazione del rischio, finalizzato a trattare le situazioni nelle quali il nesso causale tra esposizione e malattia non sia stabilito con assoluta certezza. Secondo tale sistema, si ribadisce, il *principio cautelativo* entra nella definizione di evidenza adeguata per operare le scelte inerenti la tutela della salute pubblica rispetto alla esposizione della popolazione e dei lavoratori.

Questo sistema di valutazione del rischio porta dunque ad adottare *standard* che integrino il *principio cautelativo*.

Ciò può avvenire, ed è avvenuto, in diversimodi: ad esempio, come è stato fatto dalle Regioni, che hanno adottato una normativa in materia, fissando limiti di esposizione *empirici*, che tengono conto tanto degli effetti a breve termine della radiazione, per i quali un effetto soglia esiste, quanto degli effetti a lungo termine, assumendo valori massimi di esposizione pari a circa la metà di quelli internazionalmente proposti come valori limite per la tutela degli effetti a breve termine; altrimenti può avvenire (e ci pare il modo più appropriato) differenziando gli standard per gli effetti a breve termine (i veri e propri limiti di esposizione), da quelli per gli effetti a lungo termine (che assumono la valenza di *obiettivi di qualità ambientale o valori guida*).

Anche per questi ultimi occorre distinguere tra esposizione a basse frequenze, dove domina la frequenza di *50 Hz*, propria degli elettrodotti, e alte frequenze, tipicamente radiofrequenze e microonde, cioè frequenze comprese tra *100 kHz* e *300 GHz*, dove dominano le frequenze *HF*, *VHF* e *UHF*.

1. Standard per la protezione degli effetti a lungo termine dalle emissioni a bassa frequenza

Sulla base di un modello che mette in relazione l'esposizione a campi elettromagnetici da elettrodotti e rischio aggiuntivo di morte per leucemia in età infantile (*0-14anni*), concordato nelle riunioni del *Gruppo di lavoro congiunto* dell'ISPESL, dell'Istituto Superiore di Sanità (e da quest'ultimo Istituto predisposto), coordinate dal Dipartimento Prevenzione del Ministero della Sanità (sett.-dic. 1997), si assume che detto rischio sia pari a $2,9 \cdot 10^{-5}$ in un anno per ogni *microTesla* di esposizione. Va sottolineata la grande indeterminazione di questo parametro, derivante da quella del rischio relativo (agli estremi dell'intervallo di confidenza al 95%, si ottiene un rischio aggiuntivo variabile per *microTesla* da $0,24 \cdot 10^{-5}$ a $9,7 \cdot 10^{-5}$).

Per esposizioni superiori, a circa $0,5-0,6 \mu T$, il rischio aggiuntivo supera il rischio di fondo di mortalità per leucemia infantile.

La popolazione che appartiene a tale classe di esposizione è stimata in 21.000 persone di età inferiore a 14 anni, sulla base dello studio di Anversa ed al.: *Power Frequency Fields, buildings, and the general public: exposure levels and risk assessment* (Proceedings of healthy buildings, 1995:113-126). Tale studio evidenzia che gli elettrodotti italiani ad alta tensione trasportano mediamente basse intensità di corrente, quali si ritrovano negli elettrodotti a media tensione; tuttavia lo studio considera solo gli esposti ai 53.000 km di elettrodotti in alta tensione, trascurando gli esposti a 316.000 km di elettrodotti a media tensione.

Ad esposizione più elevate, superiori a circa $2 \mu T$ (classe di esposizione a cui si stimano appartenere circa 3.600 individui di età inferiore a quindici anni, sulla base del citato censimento di Anversa et al.), il rischio aggiuntivo supera il valore del tasso di mortalità per cause accidentali (per altro particolarmente elevato in età pediatrica).

Conseguentemente, pur rispettando, per l'esposizione della popolazione al campo magnetico generato dagli elettrodotti, il limite per la tutela degli effetti a breve termine fissato dall'*art. 4, del DPCM 23 aprile 1992*, pari a $100 \mu T$ ($1mT$ per esposizioni acute), si ritiene di poter indicare i seguenti valori indice per il conseguimento dell'obiettivo di qualità:

- $2 \mu T$ come massimo livello di esposizione al campo magnetico, per esposizioni croniche della popolazione, da raggiungere attraverso opere di risanamento (tale valore non si discosta molto da quello che sarebbe garantito con il rispetto delle

distanze di cui all'*art. 5*, dello stesso *DPCM 23 aprile 1992*: ad esempio, tale livello risulta pari al valore massimo di esposizione generato da un elettrodotto con carico di corrente nominale di *375 A* alla tensione di *150kV*, alla distanza di *11metri*): per questo motivo appare particolarmente discutibile, da un punto di vista protezionistico, il rinvio dei risanamenti *ex art. 5, DPCM 23 aprile 1992*, disposto con *DPCM 28 settembre 1995*

- *0,5-0,6 μT* come massimo livello di esposizione da consentire nelle aree destinate all'infanzia, alle strutture sanitarie e nelle aree residenziali a seguito della costruzione di nuovi elettrodotti.

2. Standard per la protezione degli effetti a lungo termine dalle emissioni a radiofrequenza o microonde (HF, VHF, UHF)

L'interpretazione complessiva delle evidenze epidemiologiche e sperimentali relative allo studio delle associazioni fra esposizione a campi elettromagnetici a radiofrequenze e microonde e l'insorgenza di effetti a lungo termine appare più problematica che nel caso precedentemente illustrato. Tuttavia, occorre ricordare che già nel 1984, l'EPA espresse la seguente valutazione complessiva in ordine alla cancerogenicità delle radiofrequenze (EPA Report 600/8-083-02, Sept. 1984, 5.9.2-108): *...La potenziale cancerogenicità è stata periodicamente discussa in relazione alle radiazioni in radiofrequenza fin dal 1953, ... La letteratura pertinente, che è scarsa, è stata rivista ... con una piccola evidenza a sostegno che le esposizioni a radiofrequenze risultano essere verosimilmente cancerogene. Ma la questione rimane controversa ...*

Le successive indicazioni provenienti dall'epidemiologia e dalla sperimentazione, tra cui quella di grande rilievo dovuta al recente studio sperimentale australiano (*M. Repacholi et al.: Lymphomas in E₂ - Pim 1 Transgenic Mice Exposed to Pulsed 900 MHz Electromagnetic Fields, Rad. Res., 147:633-640, 1997*) spingono ad assumere valori guida più cautelativi rispetto ai valori limite vigenti per gli effetti acuti. Conforta in questa direzione il fatto che, per l'esposizione alle radiofrequenze, è tecnologicamente ed economicamente possibile raggiungere una riduzione degli attuali tetti massimi di esposizione, soprattutto nelle aree residenziali e destinate all'infanzia o alle strutture sanitarie.

Appare dunque raggiungibile l'obiettivo di ridurre le esposizioni croniche della popolazione alle radiofrequenze, suggerito dalla Commissione scientifica per i *Rischi sanitari dovuti all'inquinamento*

da radiazioni non ionizzanti e possibili misure di prevenzione per la popolazione, costituita dal Comune di Bologna, nella relazione di cui alla nota comunale 15 maggio 1997, prot. n. 3343, al livello di $0,1 \text{ W/m}^2$, con una riduzione di *dieci volte* rispetto agli attuali limiti regionali e di *20 volte* rispetto ai limiti suggeriti dal CENELEC (ENV 50166-2) o dall'ICNIRP, validi per la tutela degli effetti a breve termine o acuti; tale livello appare adeguato per la protezione dalle onde portanti in radiofrequenza superiori a 10 MHz ; tuttavia è segnalata dalla letteratura una maggiore efficacia biologica e una maggiore rilevanza sanitaria delle onde in radiofrequenza modulate in ampiezza in bassissima frequenza (C.F. Blackmann et al.: *Induction of calcium ion efflux from brain tissue by RF radiation. Effects of modulation frequency and field strength*, Radio Sci., 14 suppl. 6, 1979; C.F. Blackmann et al.: *Induction of calcium ion efflux from brain tissue by RF radiation. Effects of a sample number and modulation frequency on the power density windows*, Bioelectromagnetics, 1, 35, 1980; D.B. Leyle et al.: *Suppression of T-Lymphocyte cytotoxicity following exposure to sinusoidally amplitude modulated fields*, Bioelectromagnetics, 4, 1983); fatto questo non contraddetto dal citato studio australiano che si riferisce alla esposizione alle onde a 960 MHz modulate in ampiezza a 217 Hz , tipiche del *protocollo GSM*. Per la tutela dai possibili effetti a lungo termine, rispetto alle radiofrequenze modulate in ampiezza, si ritiene opportuno adottare un ulteriore fattore cautelativo di riduzione, tecnologicamente conseguibile pari a 4, come nel seguito, suscettibile di modificazione, in considerazione dei contributi di approfondimento provenienti dalla tecnologia e dall'industria.

In conclusione, per la protezione dagli effetti a lungo termine delle radiofrequenze e microonde, si ritiene quale obiettivo di qualità tecnologicamente ed economicamente raggiungibile il conseguimento dei seguenti valori indice, che consentono di ridurre le esposizioni globali croniche della popolazione di un ordine di grandezza rispetto ai valori limite delle esposizioni per gli effetti acuti:

$0,10 \text{ W/m}^2$, per la densità di potenza

6 V/m , per il campo elettrico

$0,016 \text{ A/m}$, per il campo magnetico

ovvero

$0,025 \text{ W/m}^2$, per la densità di potenza

3 V/m, per il campo elettrico

0,008 A/m, per il campo magnetico

per esposizioni croniche della popolazione, in presenza di radiofrequenze modulate in ampiezza.

Tali obiettivi corrispondono, per la grandezza fisica primaria SAR, al rispetto dei seguenti livelli, riferiti a un uomo di media corporatura, nella banda di esposizione *100 MHz*:

rispettivamente

4 mW/kg

1mW/Kg.

Dott. Francesco Benvenuti

Direttore del Dipartimento di Igiene del Lavoro

Dott. ing. Rodolfo Graziani

Direttore del Dipartimento Insempiamenti Produttivi
e Interazione con l'ambiente

ISTITUTO SUPERIORE PER LA PREVENZIONE E LA SICUREZZA DEL LAVORO

(00184) **Roma** - Via Urbana, 167 - Tel. 06/47141 - Fax 4820323

(00198) **Roma** - Via Alessandria, 220/E - Tel. 06/44250978 - Fax 44250985

DIPARTIMENTI CENTRALI:

DIPARTIMENTO DOCUMENTAZIONE INFORMAZIONE E FORMAZIONE

(00198) **Roma** - Via Alessandria, 220/E - Tel. 06/44250648 - Fax 06/44250972

DIPARTIMENTO IGIENE DEL LAVORO

(00040) **Monteporzio Catone (Roma)** - Via Fontana Candida, 1 - Tel. 06/9418425 - Fax 9419453

DIPARTIMENTO INSEDIAMENTI PRODUTTIVI E IMPATTO AMBIENTALE

(00184) **Roma** - Via Urbana, 167 - Tel. 06/4714248 - Fax 474017

DIPARTIMENTO MEDICINA DEL LAVORO

(00198) **Roma** - Via Alessandria, 220/E - Tel. 06/44250981 - Fax 44250639

DIPARTIMENTO OMOLOGAZIONE

(00198) **Roma** - Via Alessandria, 220/E - Tel. 06/44250973 - Fax 44251008

DIPARTIMENTO TECNOLOGIE DI SICUREZZA

(00198) **Roma** - Via Alessandria, 220/E - Tel. 06/44250994 - Fax 8414145

LABORATORI:

(00133) **Roma** - Via Torraccio di Torrenova, 7 - Tel. 06/2051390

(00040) **Monteporzio Catone (Roma)** - Via Fontana Candida, 1 - Tel. 06/94181

ORGANIZZAZIONE PERIFERICA

Dipartimenti e competenze territoriali

(15100) Alessandria	- Via C. Lombroso, 14 - Tel. 0131/262206 - Fax 262730 - AL, AT
(60100) Ancona	- Via Cadorna, 10 - Tel. 071/201855 - Fax 201041 - AN, AP, PS, MC
(11100) Aosta	- ViaAbbe` Gorret, 34 - Tel. 0165/231480 - 264400 - Fax 0165/35750 - AO
(83100) Avellino	- Via Pescatori, 55 - Tel. 0825/781977 - Fax 31586 - AV, BN
(70122) Bari	- Via Piccinni, 164 - Tel. 080/5237363-5237641 - Fax 5232660 - BA, FG
(24100) Bergamo	- Via G. Paglia, 40 - Tel. 035/244164 - Fax 239214 - BG
(13051) Biella	- Via V. Cerruti, 7 - Tel. 015/8494919 - Fax 849489 - NO, VC
(40121) Bologna	- Via C. Boldrini, 14 - Tel. 051/254310 - Fax 254450 - BO, FE, MO
(39100) Bolzano	- Via Orazio, 49 - Tel. 0471/272222 - Fax 283728 - BZ, TN
(25100) Brescia	- C.so Cavour, 15 - Tel. 030/292224/44245/6 - Fax 294801 - BS, CR, MN
(09100) Cagliari	- Via Malta, 45 - Tel. 070/651236/659238/659235 - Fax 659235 - CA, OR
(86100) Campobasso	- Via N. Sauro, 6 - Tel. 0874/698045 - Fax 698046 - CB, IS
(95129) Catania	- L.go dei Vespri, 19 - Tel. 095/316080 - Fax 916595 - CT, EN, RG, SR
(88100) Catanzaro	- Via F. Spasari, 3 - Tel. 0961/741082 - Fax 701499 - CZ, CS, RC, KR
(22100) Como	- V.le G. Cesare, 17 - Tel. 031/265266-265436 - Fax 260047 - CO, SO, VA
(50121) Firenze	- Via G. La Pira, 17 - Tel. 055/289681-2-3 - Fax 210882 - FI, AR, SI
(47100) Forlì	- P.le della Vittoria, 12 - Tel. 0543/63325-402047 - Fax 401415 - FO, RA
(16122) Genova	- P.zza Brignole, 3 - Tel. 010/5763611/5763635 - Fax 5763639 - GE, IM, SP, SV
(57100) Livorno	- Via Grande, 129 - Tel. 0586/884624-884691 - Fax 896913 - LI, GR, PI
(55100) Lucca	- Via Buonamici, 9 - Tel. 0583/418803 - Fax 418300 - LU, MS, PT
(98123) Messina	- Via dei Mille, 89bis - Tel. 090/663632-661677 - Fax 6408543 - ME
(20133) Milano	- Via Mangiagalli, 3 - Tel. 02/2360351-2-3/2367156/2665659 - Fax 70636032 - MI, PV
(80121) Napoli	- Via Chiatamone, 33 - Tel. 081/7645868-7645211/7646170 - Fax 7640857 Via Lomonaco, 3 - Tel. 081/411509-421242-421593 NA, CE, SA
(35100) Padova	- Via Berchet, 9 - Tel. 049/651263/651422 - Fax 658641 - PD, RO, VI
(90139) Palermo	- Via F. Crispi, 108 - Tel. 091/331696 - Fax 332709 - PA, AG, CL, TP
(65100) Pescara	- C.so V. Emanuele II, 10 - Tel. 085/4212024 - Fax 4210486 - PE, CH, AQ, TE
(29100) Piacenza	- Via Taverna, 273 - Tel. 0523/480084-480819-484636 - Fax 499679 - PC, PR, RE
(85100) Potenza	- Via Pretoria, 108 - Tel. 0971/37615 - Fax 0971/35059 - PZ, MT
(00186) Roma	- Via Bargoni, 8 - Tel. 06/58330651-2-4 - Fax 58330680 - RM, FR, LT, RI, VT
(07100) Sassari	- Via Amendola, 82 - Tel. 079/217172 - Fax 217392 - SS, NU
(74100) Taranto	- Via D'Aquino, 40 - Tel. 099/4525025 - Fax 4525026 - TA, BR, LE
(05100) Terni	- Via della Rinascita, 10 - Tel. 0744/402078 - Fax 420171 - TR, PG
(10128) Torino	- C.so Turati, 11 - Tel. 011/502720/6/7/8/9 - Fax 503826 - TO, CN
(33100) Udine	- V.le Ungheria, 32 - Tel. 0432/501669 - Fax 504187 - UD, GO, PN, TS
(30172) Venezia-Mestre	- C.so del Popolo, 133 - Tel. 041/950896-980121 - Fax 5040189 - VE, BL, TV
(37100) Verona	- Via L. Poloni, 7 - Tel. 045/8032482/8007071 - Fax 594199 - VR