

ANALISI DEL RISCHIO DA CAMPI ELETTROMAGNETICI

Di Oriano Crosignani, Luigi Terzini
SINDAR s.r.l. Corso Roma, 74 - 26900 LODI
Tel 0371-549200 fax 0371-549201
e-mail oriano@sindarin.it luigi@sindarin.it
<http://www.sindar.it>

INDICE

SOMMARIO	1
1 I CAMPI ELETTROMAGNETICI	2
2 LA NORMATIVA ITALIANA	6
2.1 LIMITI DI ESPOSIZIONE PER LA POPOLAZIONE	6
2.2 VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE	6
3 SORGENTI DI RADIAZIONI NON IONIZZANTE	7
3.1 DISTRIBUZIONE, PRODUZIONE E TRASFORMAZIONE DI ENERGIA ELETTRICA.....	7
3.2 SISTEMI DI RADIODIFFUSIONE SONORA E TELEVISIVA	8
4 SOLUZIONI TECNOLOGICHE	9
5 BIBLIOGRAFIA	11

SOMMARIO

La produzione, trasformazione e distribuzione dell'energia elettrica e i sistemi di radiodiffusione sonora e televisiva e quelli per radiocomunicazione inducono la presenza di radiazioni elettromagnetiche nell'ambiente; tale fenomeno è sempre più rilevante, soprattutto in relazione alla diffusione della telefonia mobile.

Quest'articolo tratta lo stato dell'arte delle conoscenze scientifiche attualmente a disposizione della comunità internazionale e nazionale sull'argomento, con riferimento ai limiti all'esposizione della popolazione indicati dalla normativa italiana e alle possibili soluzioni tecnologiche per la minimizzazione dell'impatto delle sorgenti.

1 I CAMPI ELETTROMAGNETICI

Lo sviluppo tecnologico della nostra società ha portato ad un notevole incremento dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici.

Se da una parte sono indubbi i benefici dell'elettricità nella vita quotidiana, dall'altra stanno crescendo le preoccupazioni per i potenziali e possibili effetti sulla salute che i campi da essa generati potrebbero indurre, sia in termini di esposizione acuta sia in termini di esposizione prolungata.

La caratteristica fisica che distingue i diversi campi elettrici e magnetici è la frequenza (numero di oscillazioni nell'unità di tempo, misurata in Hz). Essa è strettamente correlata alla lunghezza d'onda (distanza percorsa dall'onda nel tempo di oscillazione corrispondente alla distanza tra due massimi o due minimi dell'onda, misurata in metri) e all'energia secondo la relazione $\lambda = c/f$, dove c è la velocità di propagazione delle onde: tanto più alta è la frequenza, tanto più corta è la lunghezza d'onda ed elevata l'energia ad essa associata.

Mentre a frequenze molto basse il campo elettrico (E misurato in V/m) e il campo magnetico (H misurato in A/m oppure, se si parla di induzione magnetica, B misurata in Tesla o Gauss) si comportano come agenti fisici indipendenti tra loro e l'energia associata resta localizzata intorno alla sorgente, a medie e alte frequenze il campo elettrico e quello magnetico si propagano nello spazio in fase, in maniera perpendicolare fra loro, e sono in grado di trasportare energia a distanze notevoli rispetto al punto sorgente: tali onde sono dette onde elettromagnetiche.

Quando un'onda elettromagnetica incontra un ostacolo penetra nella materia depositandovi la propria energia producendo una serie di effetti conseguenti, come di seguito descritto.

Le radiazioni elettromagnetiche possono essere suddivise in:

- **Radiazioni ionizzanti** (raggi X e gamma) la cui energia è in grado di creare, rompendo i legami atomici della materia, atomi o molecole elettricamente cariche dando luogo al fenomeno fisico della ionizzazione.
- **Radiazioni non ionizzanti (NIR)** la cui energia, sebbene non sia tale da determinare il fenomeno fisico della ionizzazione, interagisce con la materia apportando modifiche termiche, meccaniche, bioelettriche.

Convenzionalmente sono assunti come parametri di demarcazione tra radiazione ionizzante e non ionizzante i valori di 12eV di energia fotonica e 100nm di lunghezza d'onda.

All'interno di questi due campi, lo spettro elettromagnetico delle radiazioni presenti nell'ambiente in cui viviamo può essere così descritto:

Tabella 1 Spettro delle onde elettromagnetiche

ONDE	LUNGHEZZA D'ONDA	SIGLA	FREQUENZA	SORGENTE
FREQUENZA ULTRA BASSA	> 10.000 km	ULF	0-3 Hz	Applicazioni industriali
FREQUENZA ESTREMAMENTE BASSA	10.000 km – 100 km	ELF	3-3.000 Hz	Elettrodotti Elettrodomestici
FREQUENZA BASSISSIMA	100 km – 0 km	VLF	3-30 kHz	Applicazioni industriali Telecomunicazioni Telefonia -Telegrafia
BASSA FREQUENZA (onde lunghe)	10 km – 1 km	LF	30-300 kHz	Telecomunicazioni
MEDIA FREQUENZA	1 km – 100 m	MF	300-3.000 kHz	Telegrafi interfonici Telefonia -Radiofonia Ultrasuoni
ALTA FREQUENZA (onde corte)	100 m – 10 m	HF	3-30 MHz	Antenne televisive e radio
ALTISSIMA FREQUENZA (onde ultracorte)	10 m -1 m	VHF	30-300 MHz	Radiofonia Televisione
ULTRA ALTA FREQUENZA (microonde ultracorte)	1 m – 10 cm	UHF	300-3.000 MHz	Televisioni Ponti radio - Telefonia mobile – Radiomobile
FREQUENZA SUPERIORE (microonde super alte)	10 cm – 1 cm	SHF	3-30 GHz	Telecomunicazioni TV satellitare
FREQUENZA ESTREMAMENTE ALTA (microonde estremamente alte)	1 cm - 1 mm	EHF	30-300 GHz	Telecomunicazioni Elettroterapia Radioastronomia - Radar
INFRAROSSO	1 mm – 1µm	INFRA RED	300 GHz – 300 THz	Corpi caldi che producono riscaldamento – Laser Fotografia
VISIBILE	1µm/ - 1.000 A		300-3.000 THz	Raggi luminosi
RAGGI ULTRAVIOLETTI RAGGI X RAGGI E COSMICI	1.000A - 10 ⁻⁵ A		3000 THz - 3 x 10 ²³ Hz	Fotografia - Fotocellule Analisi mediche e industriali Nuclei radioattivi Radiazioni cosmiche

Tutte le apparecchiature elettriche che sono utilizzate in campo industriale (utensili elettrici, motori elettrici), domestico (elettrodomestici, apparecchi per l'illuminazione) e nella produzione, trasformazione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica in corrente alternata (centrali elettriche, linee elettriche ad alta, media e bassa tensione, stazioni elettriche, cabine primarie e secondarie) funzionano alla frequenza nominale di 50 Hz e producono campi elettrici e magnetici. Mentre i campi elettrici sono prodotti da ogni dispositivo collegato ad una presa elettrica, anche se non acceso, e possono essere facilmente schermati da materiali comuni (mattoni, legno e metalli), i campi magnetici sono prodotti solo da apparecchi elettrici in funzione e sono difficilmente schermabili (ad eccezione dei metalli ad alta conduttività).

Di seguito sono riportati a titolo di esempio:

- i valori di campo magnetico generati da apparecchi di uso comune presenti generalmente nell'ambiente abitativo;
- esempi di quantità di radiazioni magnetiche assorbite annualmente;

Tabella 2 Valori di campo generati da apparecchi di uso comune

Apparecchi elettrici a 50 Hz di recente fabbricazione	Campo magnetico (microTesl efficaci)			
	A ridosso	A 40 cm	A 60 cm	Dietro
Affettatrice	154 – 35,5	1,35	0,4	
Alimentatore 12 W	234 – 51	0,43	0,14	
Apparecchio per aerosolterapia misure effettuate lungo l'asse Y	694 – 228	3,41	1,17	
Asciugacapelli 350 W misure effettuate lungo l'asse X	223 – 111	0,84	0,26	
Asciugacapelli 1200 W misure effettuate lungo l'asse X	58 – 32	0,62	0,18	
Aspirapolvere 1000 W	234 – 114	1,55	0,56	
Centrifuga per frutta 200 W	141 – 1,27	1,37	0,47	
Coperta elettrica 60 W	2,27 – 0,24	0,08	0,04	
Ferro da stiro 1200 W	6,03 – 0,02	0,04	0,03	
Forno elettrico	6,53 – 0,6	0,16	0,08	
Forno microonde 750 W misure effettuate lungo l'asse X	254 – 57	7,12	1,39	
Frigorifero / surgelatore	1	///	///	
Lampada alogena da scrivania 12 W – 20 V	91,9 – 28,2	0,22	0,07	
Lampada fluorescente compatta tradizionale	60,2	0,01	0,01	
Lavastoviglie	3,35 – 0,3	0,09	0,04	
Lavatrice	27,5 – 0,09	4,57	2,57	
Lucidatrice 450 W	71,7 – 10	1,61	0,62	
Macinino per caffè 100 W	7,4	0,04	0,003	
Macchina per caffè espresso 1000 W	8,15 – 0,5	0,14	0,08	
Personal computer 14 – 15 pollici	1 – 0,02	///	///	
Radio-registratore da 20 W	15,2 – 0,34	0,24	0,1	70,5
Radio-sveglia 3 W misure effettuate lungo l'asse X	27,4 – 3,92	0,07	0,03	
Rasoio elettrico 10 W misure effettuate lungo l'asse X	1364 – 67	///	///	
Sbattitore per dolci 180 W	335 – 8,7	0,54	0,17	
Scaldabagno 1200 W	27,7	0,2	0,08	
Scopa elettrica 700 W	210 – 2	0,99	0,38	
Spremiagrumi da 20 W	184	1,14	0,43	
Stereo	14,6 – 3,05	0,17	0,07	
Televisore 14 pollici	7,53 – 2,05	0,29	0,13	33,19
Televisore 21 pollici	6,01 – 2,39	0,4	0,2	
Termoventilatore 2000 W	15,5 – 1,7	0,09	0,03	17,5
Tostapane 500 W	5,93 – 0,28	0,06	0,04	
Trapano 700 W	811 – 37	1,37	0,46	
Tritaggiaccio 100 W	231	0,73	0,27	
Tritatutto elettrico 150 W	70,3 – 4,7	0,35	0,12	
Ventilatore da tavolo 50 W	1	///	///	53

Fonte dati: Relazione tecnica sulle misure di campo magnetico a 50 Hz effettuate in ambienti civili ed industriali – Università degli Studi la Sapienza – Roma – dicembre 1998

Tabella 3 Campo magnetico prodotto da alcuni apparecchi elettrici

Durata esposizione giornaliera	Luogo di esposizione	Valori di campo magnetico misurati in caso di esposizione prolungata (annuale)
15 h/g	Abitazione fino a 90 m da una linea a 380 kV	1.100 T
15 h/g	Abitazione fino a 30 m da una linea a 220 kV	1.100 T
15 h/g	Abitazione fino a 20 m da una linea a 132 kV	1.100 T
1 h/g	Cucina con tre elementi accesi + forno	116 T
8 h/g	Ufficio utilizzando il videoterminale	1.026 – 324 T
4 h/g	Ufficio a 20 cm da una lampada da tavolo	3.600 T

Fonte dati: Onde sospette – Elettricità e Salute – di Luca Carra – ottobre 1994 – Editori Riuniti

Tabella 4 Valori di campo magnetico assorbiti in caso di esposizione prolungata

SISTEMA ELETTRICO	VALORE DI CAMPO ELETTRICO MISURATO		VALORE DI CAMPO MAGNETICO MISURATO	
CENTRALI DI PRODUZIONE	< 16 kV/m		< 270 T	
LINEE ELETTRICHE	Sotto	A distanza di 20 m	Sotto	A distanza di 20 m
Linee elettriche a 380 kV a doppia terna – conduttore trinato con diametro di 31,5 mm	Al suolo < 11 kV/m	Al suolo < 1,5 kV/m	Al suolo < 18 T	Al suolo < 9 T
Linee elettriche a 380 kV a doppia terna ottimizzata – conduttore trinato con diametro di 31,5 mm	Al suolo < 8 kV/m	Al suolo < 1,3 kV/m	Al suolo < 18 T	Al suolo < 4 T
Linee elettriche a 380 kV a doppia terna ottimizzata a mensole isolanti – conduttore trinato con diametro di 31,5 mm	Al suolo < 8 kV/m	Al suolo < 1 kV/m	Al suolo < 17 T	Al suolo < 4 T
Linee elettriche a 380 kV a doppia terna a mensole isolanti – conduttore trinato con diametro di 31,5 mm	Al suolo < 10 kV/m	Al suolo < 1,5 kV/m	Al suolo < 14,5 T	Al suolo < 8 T
Linee elettriche a 380 kV a semplice terna – conduttore trinato con diametro di 31,5 mm	Al suolo < 9 kV/m	Al suolo < 2,5 kV/m	Al suolo < 22 T	Al suolo < 5 T
Linee elettriche a 220 kV a doppia terna – conduttore con diametro di 31,5 mm	Al suolo < 5,5 kV/m	Al suolo < 0,5 kV/m	Al suolo < 20 T	Al suolo < 7 T
Linee elettriche a 220 kV a doppia terna ottimizzata – conduttore con diametro di 31,5 mm	Al suolo < 4 kV/m	Al suolo < 0,3 kV/m	Al suolo < 19 T	Al suolo < 3 T
Linee elettriche a 220 kV a semplice terna – conduttore con diametro di 31,5 mm	Al suolo < 4,2 kV/m	Al suolo < 0,7 kV/m	Al suolo < 18,5 T	Al suolo < 4,5 T
Linee elettriche a 150 kV a doppia terna – conduttore con diametro di 31,5 mm	Al suolo < 4,2 kV/m	Al suolo < 0,2 kV/m	Al suolo < 20 T	Al suolo < 6 T
Linee elettriche a 132 kV a semplice terna – conduttore con diametro di 31,5 mm	Al suolo < 2,5 kV/m	Al suolo 0,3 kV/m	Al suolo < 18 T	Al suolo < 3 T
Linee elettriche a 15 kV a semplice terna – conduttore di 15,85 mm	Al suolo < 0,2 kV/m	Al suolo < 0,02 kV/m	Al suolo < 5 T	Al suolo < 0,6 T
STAZIONI ELETTRICHE	< 16 kV/m		< 270 T	

Fonte dati: Inquinamento elettromagnetico – Aspetti tecnici sanitari e normativi – Paolo Bevitori – Maggioli Editore

2 LA NORMATIVA ITALIANA

La normativa italiana ha definito dei limiti di esposizione per la popolazione ai campi elettrici e magnetici. Le principali leggi di riferimento sono le seguenti:

Radiofrequenze e microonde:

Limiti di esposizione per protezione della popolazione	DM Ambiente n.381 10/09/98
--	----------------------------

Elettrodi (50Hz):

Limiti di esposizione per la protezione della popolazione	DPCM 23 aprile 92 DPCM 28 settembre 95
Costruzione ed esercizio linee elettriche aeree esterne	DPCM 28/09/95 DPR 27/04/92

2.1 Limiti di esposizione per la popolazione

Sistemi fissi di telecomunicazioni per la telefonia cellulare, radiotelevisivi e radar (D.M.381/98: prevenzione degli effetti acuti da radiofrequenza)

0.1MHz-3MHz LF (bassa frequenza) e RF (radiofrequenza)	componenti elettronici e linee telefoniche	E 60V/m H 0.2A/m = 0.25T
3MHz-3GHz RF e MW(microonde)	radiodiffusori AM e FM trasmettitori televisivi sistemi fissi per telefonia cellulare	E 20V/m H 0.05A/m = 0.06 T Densità di potenza 1W/m ²
3GHz-300GHz microonde MW	radar	E 40V/m H 0.1A/m = 0.12 T Densità di potenza 4W/m ²

Per qualunque frequenza e per esposizioni prolungate superiori a 4 ore giornaliere

E	6V/m
B	0.016A/m
Densità di potenza	0.1W/m ² per frequenze tra 3MHz e 300Ghz

Elettrodotti e cabine di trasformazione (DPCM 23 Aprile 92: prevenzione degli effetti acuti a 50Hz)

Esposizione di poche ore giornaliere	E= 10kV/m B= 1mT=800A/m
Esposizioni prolungate	E=5kV/m B=0,1mT=80A/m

2.2 Valutazione di impatto ambientale

Con il D.P.C.M del 10 agosto 1988 n.377 e il D.P.C.M: del 27 dicembre 1988, l'Italia ha recepito la direttiva europea e definito le norme tecniche per la realizzazione degli studi di impatto ambientale e la relativa formulazione di compatibilità. È solo, però, con la legge n.9 del gennaio 1991 che gli elettrodi ad alta tensione sono assoggettati alla VIA. Con il d.P.R: 27 aprile 1992 si limita la VIA solo agli elettrodi con tensione superiore a 150kV escludendo di fatto tutte le linee di trasmissione 132/150kV.

Restano in pratica sottoposti alla VIA quelli a 220kV e 380kV e con lunghezza superiori a 15km.

Quest'ultima limitazione è doppiamente in contrasto con la legge n.9/91 che indica l'alta tensione come elemento caratteristico per l'individuazione dell'elettrodo assoggettabile alla VIA e non certo la sua lunghezza. Inoltre, l'esclusione degli elettrodi a 132-150kV limita l'autonomia di programmazione territoriale degli Enti locali, lasciando ad essi solo la possibilità dell'autorizzazione e non essere soggetto attivo nella determinazione del tracciato migliore. L'introduzione di un elettrodo ad alta tensione comporta modifiche non secondarie sulla destinazione d'uso di consistenti aree nelle immediate vicinanze delle città. Appare evidente, pertanto, la necessità di inserire la VIA anche per queste categorie di elettrodotti. In questo modo si ristabilisce il principio della partecipazione degli Enti locali.

In particolare la Regione sarà posta nella condizione e necessità di predisporre nei Piani di programmazione territoriali preventivamente i corridoi per il passaggio di queste infrastrutture come del resto avviene già per strade, ferrovie ecc.

3 SORGENTI DI RADIAZIONI NON IONIZZANTE

Fra tutte le sorgenti di radiazioni non ionizzanti (NIR) presenti nell'ambiente l'attenzione è rivolta essenzialmente:

- alle strutture per la distribuzione, produzione e trasformazione dell'energia elettrica
- ai sistemi di radiodiffusione sonora e televisiva e quelli per radiocomunicazioni, in particolare per la telefonia mobile.

3.1 Distribuzione, produzione e trasformazione di energia elettrica

In Italia gli elettrodotti rappresentano una realtà consistente; come noto l'elettricità viene prodotta trasformando in apposite centrali il potenziale energetico contenuto nelle fonti esistenti in natura e trasportata da km di linee elettriche.

Poiché il territorio nazionale è notevolmente antropizzato, necessariamente una parte di tali linee attraversa aree residenziali.

In prossimità di tali linee si genera un campo elettrico ed un campo magnetico.

Come già ricordato, alle basse frequenze, in particolare a quelle denominate ELF (minori di 300Hz), il campo elettrico e il campo magnetico si comportano come grandezze indipendenti tra loro e le dimensioni degli oggetti coinvolti e le loro mutue distanze sono molto piccole rispetto alle lunghezze d'onda. È quindi di interesse considerare i due campi separatamente:

- L'intensità del campo elettrico dipende principalmente dalla tensione della linea (cresce al crescere della tensione), dalla distanza (valore massimo a qualche metro di distanza dall'asse della linea), dall'altezza dei conduttori da terra (diminuisce all'aumentare dell'altezza) e dalla disposizione dei conduttori.
- L'intensità del campo magnetico dipende principalmente dall'entità delle correnti che circolano nei conduttori, dalla distanza della linea (presenta un massimo al di sotto della linea e decresce con la distanza), dall'altezza, dalla disposizione dei conduttori e per le linee con più terne, dall'ordine delle fasi.

Ne consegue, pertanto, l'esposizione della popolazione a tali campi; ciò che varia è l'intensità di questi e la durata dell'esposizione

Negli ultimi anni si è avviato un dibattito approfondito sui possibili rischi connessi a tale esposizione; accanto alla possibilità di insorgenza di effetti acuti, relativamente noti a seguito degli studi effettuati sui lavoratori professionalmente esposti, è emersa la possibilità di insorgenza di effetti a lunga scadenza, anche per basse esposizioni, ed in particolare di leucemie infantili. L'ipotesi di un'associazione tra esposizione residenziale ai campi elettromagnetici a 50 Hz e l'insorgenza di leucemie infantili sembra sempre più suffragata dai risultati complessivi delle indagini epidemiologiche. In effetti, tale ipotesi non è stata sinora assunta né dalla Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) che effettua la classificazione degli agenti cancerogeni, né dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) per la stesura dei propri documenti,

raccomandazioni e linee guida. Si ritiene che nell'incertezza debba essere applicato un principio di cautela in materia, valutando caso per caso le situazioni e adottando ove possibile, tenuto conto di tutti i fattori in gioco, le misure che consentano di ridurre al minimo l'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici a bassissima frequenza (50 Hz). Tali indicazioni sono contenute anche nel documento congiunto preparato dall'Istituto Superiore di Sanità e dall'Istituto Superiore per la Sicurezza del Lavoro all'inizio del '98 sulla problematica della protezione dei lavoratori e della popolazione dalle esposizioni ai campi elettromagnetici.

La normativa attualmente in vigore in materia, definisce i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici a 50 Hz per la popolazione, basandosi sulla protezione nei confronti degli effetti acuti, e definisce anche alcune distanze di rispetto dalle linee ad alta tensione. In relazione a tale normativa, risulta che i limiti di cui sopra sono rispettati, mentre in alcuni casi non lo sono le distanze dalle abitazioni; a tale proposito gli esercenti interessati hanno presentato progetti di risanamento secondo le procedure fissate dalla specifica normativa.

3.2 Sistemi di radiodiffusione sonora e televisiva

Nell'altra grande categoria di sorgenti di NIR presenti nell'ambiente, si possono individuare le antenne per radiodiffusione sonora e televisiva e per le radiocomunicazioni, apparati che emettono campi elettromagnetici a radiofrequenze e microonde nell'intervallo tra 600 kHz e 30 GHz.

La consistenza degli impianti radiotelevisivi sul territorio nazionale è notevole: alle emittenti di rilevanza nazionale, inoltre, vanno poi aggiunte quelle locali.

Gli impianti di radiocomunicazione sono altrettanto numerosi; comprendono quelli utilizzati per:

- telefonia mobile: stazioni radiobase per le reti TACS, GSM e DCS, i sistemi di antenne per il sistema DECT (Fido), collocati solo in capoluoghi di provincia o in grossi centri urbani;
- pubblica utilità (ambulanze, forze dell'ordine, vigilanza urbana, vigili del fuoco, ecc.);
- uso radioamatoriale: radioamatori in possesso di autorizzazione, che possono utilizzare impianti sino a 5 Watt (i cosiddetti CB), e radioamatori in possesso di concessione, che possono utilizzare impianti di potenze più elevate.

I limiti di esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici a radiofrequenze e microonde fissati dalla normativa sono basati anche in questo caso sulla protezione nei confronti degli effetti acuti, ma sono stati affiancati da cosiddetti obiettivi di qualità che tengono conto della possibilità di eventuali effetti a lunga scadenza e consistono in limiti di esposizione molto bassi per la popolazione nelle aree in cui vi è permanenza di persone.

In molti centri urbani, dove si verifica un'innegabile affollamento di impianti, tra i cittadini vi sono notevoli preoccupazioni per i possibili rischi per la salute, in particolare in relazione alle antenne per la telefonia mobile; queste ultime peraltro sono generalmente caratterizzate da potenze relativamente contenute, ma hanno la caratteristica di dover essere collocate vicino agli utenti del servizio, che come noto in particolare in Italia hanno raggiunto un numero elevatissimo.

A tal proposito si sottolinea, per quanto concerne le intensità dei campi elettromagnetici a radiofrequenze e microonde rilevabili nell'ambiente, che in base alle misure e valutazioni effettuate dalle ASL risulta che il contributo principale all'inquinamento elettromagnetico è fornito dagli impianti per le trasmissioni radiotelevisive, le cui potenze di emissione sono tali da determinare il superamento dei limiti di esposizione in aree in cui la popolazione risiede o accede.

Per quanto invece concerne i possibili effetti da inquinamento da onde elettromagnetiche, mentre nel caso di campi a bassa frequenza (0-10 kHz) sono state effettivamente riportate indicazioni di una possibile associazione tra esposizione a campi a 50-60 Hz e leucemia infantile, gli studi epidemiologici disponibili sono da considerare insufficienti da diversi punti di vista per permettere conclusioni circa la presenza o l'assenza di un'associazione causale tra esposizione ai livelli tipici delle radiofrequenze e microonde presenti negli ambienti di vita e di lavoro e l'insorgenza di effetti sanitari a lungo termine: nessuna evidenza mostra in maniera conclusiva e consistente che l'esposizione a campi elettrici e magnetici residenziali produce cancro, effetti neuro-comportamentali avversi, o effetti di tipo riproduttivo e sullo sviluppo.

A livelli di esposizione ben superiori a quelli normalmente riscontrabili nelle abitazioni, i campi elettrici e magnetici possono produrre effetti biologici (una accelerazione nel processo di guarigione delle ossa ne è un

esempio), ma questi effetti non forniscono un quadro consistente di una relazione tra gli effetti biologici di questi campi e pericoli per la salute.

Un'associazione tra le configurazioni delle abitazioni (chiamate wire codes) e la leucemia infantile è presente in molteplici studi, nonostante il fattore causale responsabile per quella associazione statistica non è ancora stato identificato. Nessuna evidenza collega misure contemporanee di livelli di campo magnetico con la leucemia infantile.

Gli studi epidemiologici sono mirati a stabilire se può essere accertata un'associazione tra esposizione ad un agente sospettato di causare una malattia e lo sviluppo di quella malattia negli esseri umani.

Le considerazioni conclusive sono ragionevolmente equilibrate tra l'attenzione nei confronti di effetti osservati, tali da portare gli autori ad ipotizzare il campo magnetico come un "potenziale cancerogeno", e una visione pragmatica dei fatti, che determina la necessità di sottolineare come non esistano ancora certezze sui meccanismi biologici causa degli effetti a lungo termine ipotizzati.

Nonostante la carenza di conoscenze sui meccanismi biologici di interazione tra campi e tessuti impedisca, nell'immediato, l'adozione di limiti di esposizione diversi da quelli attuali, l'Istituto Superiore della Sanità sottolinea come il rispetto di tali limiti debba essere considerato un requisito minimo, cui va affiancato l'obiettivo generale della riduzione dell'esposizione.

È stata quindi proposta l'adozione di un principio cautelativo, attraverso l'abbattimento dei livelli di esposizione presenti negli ambienti di vita e di lavoro a costi accettabili dalla collettività.

4 SOLUZIONI TECNOLOGICHE

L'aumento del consumo di energia elettrica ha portato ad un ampliamento della rete elettrica al punto di diventare una vera e propria ragnatela di linee aeree e tralicci.

In futuro, per rispondere al prevedibile incremento della richiesta di energia elettrica sarà necessario potenziare gli impianti esistenti ed installarne di nuovi; l'impatto paesaggistico/ambientale e l'esposizione della popolazione non potranno che aumentare. Per evitare che si verifichi ciò sarà opportuno, nella fase di progettazione e realizzazione di nuovi elettrodotti prendere in considerazione le diverse soluzioni tecnologiche disponibili.

Per ridurre il campo elettrico e magnetico ed eliminare l'impatto visivo delle linee elettriche aeree, una delle alternative possibile è la loro sostituzione con cavi interrati.

L'interramento delle linee, però, pur schermando interamente il campo elettrico, non annulla completamente l'esposizione ai campi magnetici, anzi paradossalmente a tensione superiore a 132 kV sulla superficie del suolo si possono misurare intensità di campo magnetico più grandi di quelle registrate sotto i cavi dell'alta tensione poiché i conduttori si trovano in tubi separati posti ad una distanza di 50 cm l'uno dall'altro per cui i campi magnetici si compensano solo lievemente. Tuttavia il campo di estensione dei campi magnetici è minore ed i valori decrescono più rapidamente.

Per linee ad alta tensione sono impegnati diversi tipi di isolanti ma quelli maggiormente preferiti sono l'EPR (elastometrici sintetici) che comprendono come polimero di base la gomma sintetica etilene-propilena.

I cavi possono essere posati direttamente nel terreno in trincea e disposti linearmente sullo stesso piano (terna piana) oppure disposti a triangolo (trifoglio).

Per le linee ad altissima tensione è preferibile utilizzare linee ottimizzate compatte con mensole isolanti e conduttori ravvicinati o linee a doppia terna con configurazione asimmetrica (RST-TSR) che possono produrre sia un campo elettrico sia un campo magnetico inferiori e che decrescono più rapidamente con la distanza sia rispetto ad un analogo elettrodotto a semplice terna che rispetto ad una linea elettrica a doppia terna ma con sequenza delle fasi simmetrica. In via prudenziale, si consiglia di non stazionare a lungo sotto

gli elettrodotti aerei o in prossimità di loro (nel caso di linee elettriche a 220 e 380 kV i massimi valori di campo magnetico non si registrano sotto i tralicci ma tra i 7 e i 15 metri dall'asse delle linee elettriche).

Per quanto riguarda le stazioni e le cabine elettriche bisognerebbe non localizzarle in prossimità di aree urbane densamente popolate e sarebbe opportuno recintarle; nel caso in cui siano ubicate all'interno di edifici, si dovrebbe fare in modo che i locali confinanti non siano adibiti a permanenza prolungata.

Nel caso degli elettrodomestici si può consigliare di installare dei disgiuntori, collegati alla rete elettrica che tolgano la corrente quando non serve (es. di notte) e la forniscano non appena richiesta o interruttori che isolino solo alcune prese, inserire le spine degli elettrodomestici solo se in funzione, ridurre le dispersioni dall'impianto elettrico, utilizzare gli elettrodomestici posizionandoli alla massima distanza possibile, cercando di ridurre al minimo i tempi di funzionamento (oltre un metro non producono più campi magnetici significativi) o in alternativa usare apparecchi a pile o a bassa emissione.

Le reti telefoniche cellulari GSM e DCS1800 vengono progettate e realizzate secondo uno standard tecnico utilizzato a livello mondiale da Autorità governative, Gestori e Fornitori di tecnologia. La tecnica "cellulare" consiste essenzialmente nel suddividere l'intera area di servizio in tante zone, dette celle, ciascuna delle quali è servita da una propria stazione radio base. Le frequenze radio assegnate a ciascun gestore sono suddivise fra gruppi di celle e riutilizzate spazialmente per servire aree differenti riutilizzando canali radio più volte sul territorio, aumentando così la capacità del sistema in termini di numero di utenti che possono usufruire delle frequenze disponibili. Per ridurre l'intensità dei campi elettromagnetici generati da tali antenne vengono fondamentalmente proposte tre ipotesi: il co-siting tra operatori, le micro e le pico celle e il trasferimento dei siti fuori dall'area urbana.

Per quanto riguarda il co-siting, tale soluzione viene spesso presentata come la soluzione in grado di ridurre il numero degli impianti e l'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici; in realtà è una soluzione che non può che moltiplicare la potenza irradiata dal sito per il numero di operatori presenti, soluzione che potrebbe portare al superamento dei limiti di qualità imposti dalla legge. L'eventuale diminuzione congiunta della potenza, invece, farebbe diminuire l'area di copertura delle stazioni radio base richiedendo quindi la creazione di nuovi siti. Inoltre, in questa eventualità, siccome ogni stazione radio base dovrebbe essere dotata di un proprio sistema di antenna, ipotizzando un sito occupato da quattro operatori, si richiederebbero 8 antenne per cella, 24 antenne per sito. Da questo punto di vista, però, nella maggior parte dei siti attualmente occupati, non esiste fisicamente la possibilità di raddoppiare o triplicare gli apparati installati.

La tecnologia delle micro e delle pico celle, invece, è già attualmente comunemente utilizzata, ma solamente per coprire piccole aree, soprattutto nei centri urbani o laddove ci sia la necessità di fornire localizzate capacità di traffico in particolari zone come quelle commerciali, pedonali, aeroportuali. In aree caratterizzate da elevata urbanizzazione, però, per sostituire una cella standard è necessario installare da 25 a 35 microcelle: tali celle sono poste all'altezza dei primi piani degli edifici, sono dotate di antenne a basso guadagno e scarsa direttività e hanno un trasmettitore perennemente acceso. L'intensità media del segnale all'interno della zona coperta dalle micro celle tenderebbe così ad essere più elevata e il rispetto dei limiti d'esposizione previsti dalle norme italiane risulterebbe molto più difficile da ottemperare, quantomeno nelle zone ad esse adiacenti.

Infine, per quanto riguarda l'ipotesi di trasferire le stazioni radio base fuori dai centri abitati, va sottolineato come si tratti di una ipotesi incompatibile con il mantenimento del servizio in aree di grandi dimensioni. Inoltre, gli apparecchi cellulari si verrebbero a trovare in aree di copertura marginale (ovvero con basso livello di campo) e sarebbero automaticamente costretti ad operare sempre alla massima potenza, aumentando l'esposizione dei singoli utenti e il campo irradiato ad altezza uomo.

Va sottolineato, per concludere, come i sistemi di telefonia cellulare oggi presenti sul mercato costituiscano, dal punto di vista dei campi elettromagnetici generati, il meglio di quanto la scienza delle comunicazioni possa attualmente offrire: i campi generati sono inferiori a circa un decimo di quanto le norme internazionali prevedono come limite di sicurezza per l'esposizione continua. È possibile però che l'incremento di banda e di utenza prevedibile nel futuro con i sistemi di terza generazione facciano crescere il campo totale generato dai sistemi.

5 Bibliografia

- I rischi da campi elettromagnetici, *C. Rundo – Regione Lombardia D.G. Tutela Ambientale*
- Rischio da radiazioni non ionizzanti, *A. Anversa – Regione Lombardia D.G.Sanità*
- Campi elettromagnetici, *A. Guerriero – EPC Libri*
- Inquinamento elettromagnetico ad alta frequenza: aspetti tecnici, sanitari e normativi, *AA.VV. a cura di P. Bevitori – Maggioli ed.*
 - Campi elettromagnetici generati da sistemi fissi di telecomunicazione e dispositivi elettronici
 - Campi elettrici e magnetici a frequenza industriale (50-60Hz) generati da elettrodotti ed apparecchi elettrici
- Elettrosmog: inquinamento e interferenze elettromagnetiche, *AA.VV. – Dossier ambiente N.46*