

CAMPI A FREQUENZA ESTREMAMENTE BASSA

PREAMBOLO

Il programma Criteri di sanità ambientale (Environmental Health Criteria) dell'OMS

Nel 1973 è stato avviato il programma *Criteri di sanità ambientale* dell'OMS con i seguenti obiettivi:

- (i) mettere a punto informazioni sulle relazioni tra esposizione a inquinanti ambientali e salute umana, e fornire linee guida per la definizione di limiti di esposizione;
- (ii) identificare inquinanti nuovi o potenziali;
- (iii) identificare le lacune nelle conoscenze sugli effetti sanitari degli inquinanti;
- (iv) promuovere l'armonizzazione delle metodologie tossicologiche ed epidemiologiche, al fine di avere risultati confrontabili internazionalmente.

Da notare, in questo contesto, che l'OMS definisce la salute come uno stato di completo benessere fisico, mentale e sociale e non semplicemente come l'assenza di malattie o infermità (OMS, 1946).

La prima monografia dei *Criteri di sanità ambientale* (Environmental Health Criteria, EHC), sul mercurio, è stata pubblicata nel 1976 e da allora è stato prodotto un numero sempre crescente di valutazioni su agenti chimici e fisici. Inoltre, sono state dedicate molte monografie alla valutazione di metodologie tossicologiche, ad esempio per quanto riguarda agenti genotossici, neurotossici, teratogeni e nefrotossici. Altre pubblicazioni hanno riguardato linee guida per l'epidemiologia, valutazioni di test a breve termine per la cancerogenesi, marcatori biologici, effetti sugli anziani eccetera.

La spinta iniziale al programma è venuta dalle risoluzioni dell'Assemblea Mondiale della Sanità e dalle raccomandazioni della conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente umano del 1972. Il lavoro è successivamente diventato parte integrante del *Programma internazionale per la sicurezza chimica* (IPCS, International Programme on Chemical Safety), svolto in cooperazione da UNEP, ILO e OMS. Grazie al forte sostegno dei nuovi partecipanti, si è giunti a riconoscere pienamente l'importanza degli effetti delle esposizioni professionali e ambientali sulla salute. Le monografie EHC sono diventate uno strumento consolidato, usato e apprezzato in tutto il mondo.

Campi elettromagnetici

Tre monografie sui campi elettromagnetici (CEM) trattano i possibili effetti sulla salute dei campi a frequenza estremamente bassa (ELF, Extremely Low Frequencies), dei campi statici e dei campi a radiofrequenza (RF). (WHO, 1984; WHO, 1987; WHO, 1993). Queste monografie sono state prodotte in collaborazione con il *Programma per l'ambiente delle Nazioni Unite* (UNEP, United Nations Environment Programme), l'*Ufficio internazionale del lavoro* (ILO, International Labour Office) e il *Comitato internazionale per le radiazioni non ionizzanti* (INIRC, International Non-Ionizing Radiation Committee) dell'*Associazione internazionale per la protezione dalle radiazioni* (IRPA, International Radiation Protection Association) diventato nel 1992 la *Commissione internazionale per la protezione dalle radiazioni non ionizzanti* (ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection).

Le monografie EHC vengono abitualmente riviste se sono disponibili nuovi dati che cambiano sostanzialmente la precedente valutazione, se vi sono preoccupazioni del pubblico per effetti dell'agente in

questione sulla salute e sull'ambiente, in conseguenza di un aumento delle esposizioni o se è trascorso un periodo di tempo apprezzabile dall'ultima valutazione. Le monografie sui campi elettromagnetici sono in corso di revisione e saranno pubblicate come tre documenti che, nel loro insieme, copriranno l'intero intervallo di frequenza (0-300 GHz) dei campi elettromagnetici significativi per l'esposizione umana: campi statici (0 Hz), campi ELF (fino a 100 kHz, questo volume) e campi a radiofrequenza (100 kHz-300 GHz).

La valutazione da parte dell'OMS di tutti i rischi sanitari connessi alle tecnologie che si basano sulle radiazioni non ionizzanti (nell'intervallo di frequenza 0-300 GHz) è uno dei compiti del *Progetto internazionale CEM*. Il progetto è stato lanciato dall'OMS nel 1996, in risposta alle preoccupazioni del pubblico per i possibili effetti sanitari dell'esposizione a campi elettromagnetici ed è gestito dall'unità *Radiazioni e sanità ambientale* (RAD), che ha coordinato anche la preparazione di questa monografia EHC sui campi ELF.

Nel processo di valutazione del rischio dell'OMS rientra la creazione di un'ampia base di dati, che includa tutte le pubblicazioni scientifiche più significative. L'interpretazione di questi studi può essere controversa ed esiste nella comunità scientifica e fuori di essa una varietà di opinioni. Per raggiungere il più ampio grado di consenso possibile, la valutazione dei rischi sanitari si basa anche, in qualche caso includendone delle parti, su rassegne già effettuate da altri organismi nazionali e internazionali di esperti, con particolare riferimento a:

- la monografia della IARC sui campi statici e a frequenza estremamente bassa (ELF). Nel giugno 2001 la IARC ha formalmente valutato i dati relativi alla cancerogenesi da esposizione a campi statici e ELF. La revisione critica ha concluso che i campi magnetici ELF sono possibili agenti cancerogeni per l'uomo.
- le rassegne in materia di fisica/ingegneria, biologia ed epidemiologia commissionate dall'OMS alla Commissione internazionale per la protezione dalle radiazioni non ionizzanti (ICNIRP), un'organizzazione non governativa formalmente collegata all'OMS (ICNIRP, 2003);
- le rassegne del Gruppo consultivo per le radiazioni non ionizzanti (AGNIR) dell'Agenzia per la protezione sanitaria (HPA), del Regno Unito (AGNIR, 2001a, 2001b, 2004, 2006).

Scopo

Lo scopo delle monografie EHC è di fornire rassegne critiche sugli effetti di agenti fisici, chimici e biologici sulla salute umana e sull'ambiente. Si considerano e si analizzano perciò quegli studi che sono di diretto interesse per la valutazione, ma non si descrive ogni singolo studio effettuato. Si usano e citano i dati forniti da studi originali in tutto il mondo, ma non quelli forniti da riassunti o da lavori di rassegna. Si prendono in esame rapporti sia pubblicati che non, ma viene sempre data la preferenza ai primi. I dati non pubblicati vengono usati solo quando non esistono dati significativi pubblicati o quando sono cruciali per la valutazione del rischio. Esiste un documento dettagliato che descrive le procedure da seguire, nel caso di dati non pubblicati e di proprietà degli autori, affinché le informazioni possano essere usate nella valutazione senza comprometterne la riservatezza (WHO, 1990).

Nella valutazione dei rischi per la salute umana, i dati relativi all'uomo, quando disponibili, sono generalmente più informativi di quelli su animali. Gli studi su animali e quelli *in vitro* sono di supporto e servono soprattutto per fornire le informazioni mancanti negli studi sull'uomo. La ricerca su soggetti umani deve obbligatoriamente essere condotta seguendo dei principi etici, tra cui quelli enunciati nella dichiarazione di Helsinki (World Medical Association, 2004).

Tutti gli studi, sia che indichino effetti positivi sia negativi, devono essere valutati e giudicati singolarmente in base alla loro specifica qualità, per poi essere valutati collettivamente e giudicati in base a un criterio di bilancio delle evidenze. E' importante determinare in quale misura un certo insieme di dati cambi la probabilità che l'esposizione provochi un effetto. In generale, gli studi debbono essere replicati, o risultare in accordo con altri studi simili. L'evidenza di un effetto risulta inoltre rafforzata se i risultati di studi di diverso tipo (ad es. epidemiologici o di laboratorio) puntano alla stessa conclusione.

Le monografie EHC hanno lo scopo di aiutare le autorità nazionali e internazionali nelle loro valutazioni di rischio e nelle conseguenti decisioni in tema di gestione del rischio. Esse presentano una valutazione dei rischi per quanto è concesso dai dati, ma non costituiscono in alcun modo raccomandazioni per formulare normative o standard. Questi ultimi sono di pertinenza esclusiva dei governi nazionali e regionali. Comunque, le monografie EHC sui campi elettromagnetici forniscono a istituzioni come l'ICNIRP la base scientifica per le loro revisioni delle linee guida di esposizione.

Procedure

Sono qui di seguito descritte le procedure generali che hanno portato alla pubblicazione di questa monografia EHC.

Una prima bozza, preparata da consulenti e da esperti di un centro che collabora con il RAD, viene inizialmente redatta basandosi sui dati forniti da banche dati di riferimento, quali Medline e PubMed e sulle rassegne IARC e ICNIRP. Una volta ricevuta dal RAD, la bozza può richiedere una prima revisione da parte di un piccolo gruppo di esperti che ne giudichino la qualità e l'obiettività. Dopo essere stato accettato come prima bozza, il documento viene distribuito, in forma grezza, a oltre 150 contatti EHC di tutto il mondo, ai quali viene richiesto di giudicarne la completezza e l'accuratezza. Se necessario, si chiede anche di fornire materiale aggiuntivo. I contatti, abitualmente designati dai governi, possono essere centri di collaborazione o singoli scienziati di riconosciuta esperienza. Generalmente occorrono alcuni mesi perchè i commenti ricevuti siano considerati dagli autori. Una seconda bozza, che tiene conto di questi commenti, viene quindi distribuita dopo l'approvazione del Coordinatore (RAD) ai membri di un gruppo di lavoro che ne effettua una revisione critica (*peer review*) almeno sei mesi prima di avere una riunione.

I membri del gruppo di lavoro svolgono il loro compito come singoli scienziati e non rappresentano le istituzioni di appartenenza. La loro funzione è di valutare l'accuratezza, la significatività e l'importanza delle informazioni contenute nel documento e di determinare i rischi sanitari e ambientali delle esposizioni ai campi elettromagnetici nella particolare regione spettrale in esame. Al gruppo viene richiesto di fornire anche un riassunto, nonché delle raccomandazioni per ulteriori ricerche e per avanzamenti nella protezione. La composizione del gruppo di lavoro dipende dalle competenze richieste dall'argomento (epidemiologia, scienze biologiche e fisiche, medicina e sanità pubblica) e da esigenze di equilibrio per quanto riguarda la varietà di opinioni scientifiche, il sesso e la distribuzione geografica.

La composizione dei gruppi di lavoro dell'OMS è approvata dal Vicedirettore generale del Settore sviluppo sostenibile e ambienti salubri. Questi gruppi di lavoro costituiscono, all'interno dell'OMS, i comitati di massimo livello per la definizione dei rischi. I gruppi di lavoro svolgono un'accurata revisione critica di tutta la letteratura scientifica, valutano i rischi sanitari dell'esposizione a campi statici sia elettrici che magnetici, raggiungono un accordo basato sul consenso e formulano conclusioni e raccomandazioni finali che non possono essere alterate dopo la loro riunione.

L'Organizzazione Mondiale della Sanità riconosce l'importante ruolo svolto dalle organizzazioni non governative (ONG). Rappresentanti di organizzazioni importanti a livello nazionale e internazionale possono essere invitati a unirsi al gruppo di lavoro come osservatori. Gli osservatori possono fornire un contributo importante al processo, ma sono autorizzati a parlare solo se invitati dal Presidente; non partecipano alla valutazione finale, perchè questa è responsabilità esclusiva dei membri del gruppo di lavoro. Quando lo ritenga opportuno, il gruppo di lavoro può riunirsi *in camera* (a porte chiuse).

Tutti coloro che partecipano come autori o consulenti alla preparazione della monografia EHC, oltre a fornire il loro servizio in base alle personali capacità scientifiche, informano in qualsiasi momento l'OMS di conflitti di interesse, effettivi o potenziali che possano essere intravisti nel loro compito. Si richiede loro di firmare una dichiarazione di assenza di conflitti di interessi. Questa procedura assicura la trasparenza e la correttezza del processo.

Quando il gruppo di lavoro ha completato il suo compito e il coordinatore (RAD) è soddisfatto della qualità scientifica e della completezza del documento, quest'ultimo viene sottoposto a una revisione linguistica e a un controllo dei riferimenti bibliografici per poi prepararne una copia per la stampa. Dopo l'approvazione del Direttore del Dipartimento di protezione dell'ambiente umano (PHE), la monografia viene sottoposta all'Ufficio pubblicazioni dell'OMS, per la stampa. A questo punto, viene inviata copia della bozza finale al presidente e al relatore del gruppo di lavoro per un controllo.

Criteri di sanità ambientale per i campi a frequenze estremamente basse

La presente monografia EHC tratta dei possibili effetti sulla salute dovuti all'esposizione a campi elettrici e magnetici a frequenze estremamente basse (>0 Hz – 100 kHz). La grande maggioranza degli studi concerne gli effetti sanitari derivanti dall'esposizione a campi magnetici a frequenza industriale (50-60 Hz); pochi studi si riferiscono agli effetti dell'esposizione a campi elettrici. Inoltre, un certo numero di studi si è occupato degli effetti dell'esposizione a gradienti di campi magnetici a frequenza molto bassa (VLF, 3-30 kHz) utilizzati nella risonanza magnetica per immagini (MRI), e più spesso, dei campi VLF più deboli emessi dai videoterminali (VDU) e dagli apparecchi televisivi.

Gli EHC relativi ai campi ELF sono organizzati in categorie di patologie: singoli gruppi di lavoro di esperti si riuniscono per sviluppare delle bozze relative a malattie neurodegenerative (capitolo 7), malattie cardiovascolari (capitolo 8), leucemia infantile (Sezione 11.2.1) e misure protettive (capitolo 13). La composizione di questi gruppi di esperti è riportata di seguito. Le bozze degli altri capitoli sono state preparate da consulenti, dallo staff dei centri di collaborazione dell'OMS e dallo staff dell'Unità RAD. Tra questi il Prof. Paul Elliot, dell'Imperial College of Science, Technology and Medicine del Regno Unito, la Prof.ssa Maria Stuchly dell'Università di Victoria, Canada ed il Dr. Bernard Veyret dell'ENSCP, Francia ed altri che sono anch'essi membri di uno dei gruppi di lavoro e/o del gruppo di esperti (v. sotto). Le bozze dei capitoli sono state singolarmente revisionate da referenti esterni prima di essere riuniti nella bozza di documento.

La bozza relativa agli EHC è stata successivamente distribuita per una revisione esterna. I cambiamenti editoriali ed i punti di minore portata scientifica, sono stati trattati dal Gruppo Editoriale dell'OMS e la bozza finale è stata distribuita ai membri del Gruppo di Esperti, prima del loro incontro.

Il Gruppo di Esperti si è riunito dal 3 al 7 Ottobre 2005, presso la sede centrale dell'OMS a Ginevra. Il testo del documento EHC è stato successivamente rifinito ai fini della chiarezza e della coerenza da un gruppo di revisione editoriale formato dalla Dr.ssa Emilie van Deventer e dal Prof. Chiyoji Okhubo, entrambi dell'OMS, Ginevra, Svizzera, dal Dr. Eric van Rongen del Health Council of the Netherlands, Paesi Bassi, dalla Prof.ssa Leeka Kheifets della UCLA School of Public Health, Los Angeles, CA, USA e dal Dr. Chris Portier del NIEHS, Triangle Park, NC, USA. Dopo una revisione finale da parte del Gruppo di esperti e un affinamento scientifico e linguistico il documento è stato pubblicato in rete nel sito del progetto internazionale CEM il 18 giugno 2007.

Partecipanti ai Gruppi di lavoro dell'OMS

Workshop OMS sulle Patologie neurodegenerative, Sede centrale dell'OMS, Ginevra, 12-13 Dicembre 2002.

Prof. Anders Ahlbom, IMM, Karolinska Institute, Stockholm, Sweden
Prof. Laurel A. Beckett, School of Medicine UC Davis, USA
Prof. Colin Blakemore, University Laboratory of Physiology, Oxford, UK
Dr. Zoreh Davanipour, Roswell Park Cancer Institute, Buffalo, USA
Dr. Michel Geffard, INSERM, ENSCPB, Pessac, France
Dr. Larry Goldstein, WHO, Geneva, Switzerland

Dr. Christoffer Johansen, Institute of Cancer Epidemiology, Copenhagen, Denmark
Dr. Leeka Kheifets, WHO, Geneva, Switzerland
Prof. Robert G. Olsen, Washington State University, Pullman, USA
Dr. Michael H. Repacholi, World Health Organization, Geneva, Switzerland
Prof. Eugene Sobel, Roswell Park Cancer Institute, Buffalo, USA

Workshop OMS sulle Patologie cardiovascolari, Stoccolma, Svezia, 27-28 Maggio 2003

Prof. Anders Ahlbom, IMM, Karolinska Institute, Stockholm, Sweden
Dr. Christoffer Johansen, Institute of Cancer Epidemiology, Copenhagen, Denmark
Dr. Leeka Kheifets, WHO, Geneva, Switzerland
Dr. Maria Feychting, IMM, Karolinska Institute, Stockholm, Sweden
Dr. Jack Sahl, Southern California Edison Co, Upland, USA

Workshop OMS sulla Leucemia infantile, NIES, Giappone, 16-18 Settembre 2003

Prof. Abdelmonem Afifi, UCLA, School of Public Health, Los Angeles, USA
Prof. Anders Ahlbom, IMM, Karolinska Institute, Stockholm, Sweden
Prof. Emilie van Deventer, WHO, Geneva, Switzerland
Dr. Michinori Kabuto, NIES, Japan
Dr. Bill Kaune, EMF Consultant, USA
Prof. Leeka Kheifets, UCLA, Los Angeles, USA
Dr. Chris Portier, NIEHS, Research Triangle Park, Raleigh Durham, USA
Dr. Tomohiro Saito, Natl Centre for Child Health and Development, Dept of Epidemiology, Japan
Dr. John Swanson, National Grid Transco, London, UK
Dr. Naoto Yamaguchi, TWMC, Japan

Workshop OMS sulle Misure protettive per i campi elettromagnetici ELF, NIEHS, USA, 9-11 Febbraio 2005

Dr. Robert P. Bradley, Consumer and Clinical Radiation Protection Bureau, Ottawa, Canada
Mr. Abiy Desta, Center for Devices and Radiological Health, Rockville, USA
Mrs. Shaiela Kandel, Radiation Safety, Soreq NRC, Yavne, Israel
Prof. Leeka Kheifets, UCLA, Los Angeles, USA
Dr. Raymond Neutra, Div Environmental and Occupational Disease Control, Oakland, USA
Dr. Chris Portier, NIEHS, Research Triangle Park, Raleigh Durham, USA
Dr. M H Repacholi, World Health Organization, Geneva, Switzerland
Dr. Jack Sahl, Southern California Edison Company, Upland, USA
Dr. John Swanson, National Grid Transco, London
Dr. Mary Wolfe, NIEHS, Research Triangle Park, Raleigh Durham, USA

Gruppo di esperti sui Campi elettrici e magnetici ELF, Ginevra, 3-7 Ottobre 2005

Membri

Prof. Anders Ahlbom, Institute of Environmental Medicine, Karolinska Institute IMM, Division of Epidemiology, Stockholm, Sweden
Dr. Larry Anderson, Bioelectromagnetics Program Manager, Battelle, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington, USA
Dr. Christoffer Johansen, Department of Psychosocial Cancer Research, Institute of Cancer Epidemiology, The Danish Cancer Society, Copenhagen, Denmark
Dr. Yukka Juutilainen, University of Kuopio, Finland
Dr. Michinori Kabuto, NIES, Japan

Mrs. Shaiela Kandel, Soreq NRC, Radiation Safety, Yavne, Israel

Dr. Leeka Kheifets, UCLA, School of Public Health, Department of Epidemiology, Los Angeles, California, USA

Dr. Isabelle Lagroye, Université de Bordeaux, Laboratoire de Bioelectromagnétisme EPHE, Laboratoire PIOM-UMR 5501, Pessac Cedex, France

Dipl-Ing Rüdiger Matthes, Division SG, Federal Office for Radiation Protection, Bundesamt für Strahlenschutz, Oberschleissheim, Germany

Prof. Jim Metcalfe, University of Cambridge, Department of Biochemistry, Cambridge, UK

Prof. Meike Mevissen, Institut für Tiergenetik, Abteilung für Veterinär-Pharmakologie, Bern, Switzerland

Prof. Junji Miyakoshi, Department of Radiological Technology, School of Health Sciences, Faculty of Medicine, Hirosaki University, Hirosaki, Japan

Dr. Alastair McKinlay, Health Protection Agency for Radiation, Chemical and Environmental Hazards (CRCE), Chilton, Didcot, Oxfordshire, UK

Dr. Chris Portier, Director, Environmental Toxicology Program, National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS), Research Triangle Park, North Carolina, USA

Dr. Eric van Rongen, Health Council of the Netherlands, The Hague, The Netherlands

Dr. Nina Rubtsova, RAMS Institute of Occupational Health, The WHO Collaborating Center in Occupational Health, Moscow, Russian Federation

Dr. Paolo Vecchia, Department of Technology and Health, National Institute of Health, Rome, Italy

Prof. Barney de Villiers, University of Stellenbosch, Faculty of Health Sciences, Tygerberg Campus, Cape Town, South Africa

Prof. Andrew Wood, Associate Professor, Brain Sciences Institute, Swinburne University of Technology, Melbourne, Australia

Prof. Zhengping Xu, Zhejiang University School of Medicine, Bioelectromagnetics Laboratory, Hangzhou, China

Osservatori

Mr. Kazuhiko Chikamoto, Radiation and Safety Department, Energy and System Engineering Group, Japan NUS Co. Limited, Minato-Ku, Tokyo, Japan

Dr. Robert Kavet, Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, USA

Prof. Hamilton Moss de Souza, CEPEL – Electrical Energy Research Center, Brazil

Dr. Michel Plante, M.D., Health and Safety division, Hydro-Québec, Montreal, Canada

Dr. Martine Souques, Service des Etudes Médicales d'EDF Gaz de France, Paris, France

Dr. John Swanson, National Grid Transco, London, UK

Segreteria OMS

Dr. Houssain Abouzaid, World Health Organization – EMRO, Regional Office for the Eastern Mediterranean (EMRO), Nasr City, Cairo, Egypt

Prof. Emilie van Deventer, WHO, Radiation & Environmental Health, Geneva, Switzerland

Prof. Chiyoji Ohkubo, WHO, Radiation & Environmental Health, Geneva, Switzerland

Dr. Michael Repacholi, WHO, Radiation & Environmental Health, Geneva, Switzerland

Dr. Rick Saunders c/o WHO, Health Protection Agency, Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards (CRCE), Radiation Division, Chilton, Didcot, Oxfordshire, UK

1. RIASSUNTO E RACCOMANDAZIONI PER ULTERIORI STUDI

La presente monografia sui Criteri di Sanità Ambientale (EHC, Environmental Health Criteria) tratta i possibili effetti sulla salute dell'esposizione a campi elettrici e magnetici a frequenza estremamente bassa (ELF, Extremely Low Frequency). Esamina le caratteristiche fisiche dei campi ELF, come pure le sorgenti di esposizione e le tecniche di misura. Il suo scopo principale è però quello di esaminare la letteratura scientifica in materia di effetti biologici dell'esposizione a campi ELF, al fine di valutare tutti i rischi dovuti all'esposizione a questi campi e di utilizzare questa valutazione di rischio sanitario per fornire alle autorità nazionali raccomandazioni per i programmi di protezione della salute.

Le frequenze considerate vanno da 0 Hz (esclusi) a 100 kHz. La grande maggioranza degli studi è stata condotta su campi magnetici a frequenza industriale (50 o 60 Hz), mentre pochi sono stati condotti su campi elettrici. E' stato anche effettuato un certo numero di studi su campi a frequenza molto bassa (VLF, Very Low Frequency, 3-30 kHz), sui gradienti di campo magnetico utilizzati nella risonanza magnetica per immagini e sui campi VLF, più deboli, emessi dai videotermini e dagli apparecchi televisivi.

Questo capitolo sintetizza le principali conclusioni e raccomandazioni riportate in ciascuna sezione, assieme alle conclusioni finali del processo di valutazione dei rischi per la salute. I termini usati in questa monografia per descrivere il grado di evidenza di un determinato effetto sanitario sono i seguenti. Un'evidenza è detta "limitata" quando è ristretta a un solo studio o quando, in presenza di più studi, vi sono questioni aperte sul loro progetto, sulla loro conduzione o sulla loro interpretazione. Si parla di evidenza "inadeguata" quando, a causa di importanti limitazioni qualitative o quantitative, gli studi non possono essere interpretati come indicativi né della presenza, né dell'assenza di un effetto, oppure quando non vi sono dati disponibili.

Sono state inoltre identificate le principali lacune nelle conoscenze; le ricerche necessarie per colmarle sono state sintetizzate nella sezione "Raccomandazioni per la ricerca".

1.1 Sommario

1.1.1 *Sorgenti, metodi di misura ed esposizione*

Campi elettrici e magnetici sono presenti ovunque l'energia elettrica venga generata, trasmessa o distribuita attraverso linee o cavi, o venga utilizzata per le applicazioni. Poiché l'utilizzo dell'elettricità è parte integrante del nostro attuale stile di vita, questi campi si trovano praticamente ovunque nel nostro ambiente.

L'unità di misura dell'intensità del campo elettrico è il volt al metro ($V\ m^{-1}$), o il kilovolt al metro ($kV\ m^{-1}$), mentre quella dell'induzione magnetica è il tesla (T), o più comunemente il millitesla (mT) o il microtesla (μT).

Le esposizioni a campi magnetici a frequenza industriale in ambienti residenziali non variano drasticamente attraverso il mondo. La media geometrica dei campi magnetici nelle case oscilla tra 0,025 e 0,07 μT in Europa e tra 0,055 e 0,11 μT negli Stati Uniti. I valori medi dei campi elettrici in ambito residenziale sono dell'ordine di qualche decina di volt al metro. In prossimità di alcuni dispositivi, i valori istantanei dei campi magnetici possono arrivare a qualche centinaio di microtesla. In prossimità delle linee elettriche, i campi magnetici possono arrivare a circa 20 μT e i campi elettrici possono arrivare a diverse migliaia di volt al metro.

Pochi bambini presentano esposizioni medie nel tempo, in ambienti residenziali, a campi magnetici a 50 o 60 Hz di intensità superiori a quelle che sono associate a un aumento di incidenza della leucemia infantile (si veda la sezione 1.1.10). Dall'1% al 4% circa presentano esposizioni medie superiori a 0,3 μT e solo una frazione tra l'1% e il 2% presenta esposizioni mediane superiori a 0,4 μT .

L'esposizione professionale, sebbene dovuta soprattutto a campi a frequenza industriale, può includere anche il contributo di altre frequenze. Si è trovato che le esposizioni medie a campi magnetici in ambienti di lavoro sono più alte per le cosiddette "occupazioni elettriche" che per altre occupazioni quali il lavoro di

ufficio. Le prime variano da 0,4-0,6 μT per elettricisti e ingegneri elettrici fino a circa 1,0 μT per i lavoratori addetti alle linee ad alta tensione. Le esposizioni più alte (oltre 3 μT) sono quelle dei saldatori, dei macchinisti di treni elettrici e degli addetti a cucitura industriale. Le massime esposizioni a campi magnetici in ambito lavorativo possono arrivare fino a 10 mT circa e ciò è sempre associato alla presenza di conduttori ad alta tensione. Nell'industria elettrica, i lavoratori possono essere esposti a campi elettrici fino a 30 kV m^{-1} .

1.1.2 Campi elettrici e magnetici nel corpo umano

L'esposizione a campi elettrici e magnetici a frequenze ELF provoca l'induzione di correnti e campi elettrici all'interno del corpo. La dosimetria descrive la relazione dei campi esterni con i campi elettrici e le densità di corrente indotti all'interno del corpo umano, o con altri parametri associati all'esposizione. I campi elettrici e la densità di corrente indotti localmente sono di particolare interesse perché sono collegati alla stimolazione dei tessuti eccitabili, quali nervi e muscoli.

I corpi umani o animali perturbano significativamente la distribuzione spaziale di un campo elettrico ELF. Alle basse frequenze, il corpo è un buon conduttore e le linee di forza del campo perturbato sono quasi perpendicolari alla superficie corporea. Sulla superficie corporea esposta vengono indotte delle cariche oscillanti che producono correnti all'interno del corpo. I risultati fondamentali della dosimetria per quanto riguarda l'esposizione umana a campi elettrici ELF indicano che:

- Il campo elettrico all'interno del corpo è di solito inferiore di cinque o sei ordini di grandezza rispetto al campo elettrico esterno.
- Poiché l'esposizione è prevalentemente a campi verticali, la direzione predominante dei campi indotti è anch'essa verticale.
- Per un dato campo elettrico esterno, i campi indotti più elevati si hanno quando il corpo umano è in contatto perfetto con il terreno attraverso i piedi (elettricamente "a terra"), mentre i più deboli si hanno quando il corpo è isolato dal terreno (nello "spazio libero").
- La corrente totale che fluisce in un corpo a contatto perfetto con il terreno è determinata dalle dimensioni e dalla forma del corpo (postura inclusa) piuttosto che dalla conducibilità dei tessuti.
- La distribuzione delle correnti indotte nei vari organi e tessuti è determinata dalla conducibilità di quei tessuti.
- La distribuzione dei campi elettrici indotti è anch'essa legata alla conducibilità, ma in misura minore rispetto alle correnti indotte.
- Esiste inoltre un fenomeno distinto, nel quale una corrente interna al corpo viene prodotta dal contatto con un oggetto conduttore posto in un campo elettrico.

Per i campi magnetici, la permeabilità dei tessuti è la stessa di quella dell'aria, pertanto il campo all'interno dei tessuti è uguale a quello esterno. I corpi umani ed animali non perturbano significativamente il campo. La principale interazione dei campi magnetici è data dall'induzione (per la legge di Faraday) di campi elettrici e di densità di corrente nei tessuti conduttori. Le indicazioni fondamentali della dosimetria per quanto riguarda l'esposizione dell'uomo a campi magnetici ELF sono:

- I campi elettrici indotti e le correnti indotte dipendono dall'orientamento del campo esterno. I campi indotti nel corpo nel suo complesso sono massimi quando il campo è orientato orizzontalmente, in direzione frontale rispetto al corpo, ma nel caso di particolari organi i valori più alti si riscontrano per campi orientati trasversalmente.
- I campi elettrici più deboli sono indotti da un campo magnetico orientato lungo l'asse verticale del corpo.
- Per una data intensità e un dato orientamento del campo magnetico, i campi elettrici più intensi vengono indotti nei corpi più grandi.
- La distribuzione di un campo elettrico indotto è legata alla conducibilità dei vari organi e tessuti. Questi hanno un effetto limitato sulla distribuzione della densità di corrente indotta.

1.1.3 Meccanismi biofisici

E' stata esaminata la plausibilità di diversi meccanismi proposti di interazione diretta e indiretta dei campi elettrici e magnetici ELF. In particolare ci si è chiesto se un "segnale" generato in un processo biologico dall'esposizione a un campo esterno possa essere distinto da un rumore casuale intrinseco e se tale meccanismo non contravvenga ai principi scientifici ed alle attuali conoscenze. Molti processi divengono plausibili solo per campi superiori ad una certa intensità. La mancanza di chiari meccanismi plausibili non esclude però la possibilità di effetti sanitari anche a livelli di campo molto bassi, purché siano rispettati i principi scientifici fondamentali.

Tra i numerosi meccanismi d'interazione diretta dei campi con il corpo umano che sono stati suggeriti, tre si distinguono come potenzialmente operativi a livelli di campo inferiori agli altri: induzione di campi elettrici nelle reti neurali, coppie di radicali e magnetite.

I campi elettrici indotti nei tessuti dall'esposizione a campi elettrici e magnetici ELF stimolano direttamente le singole fibre nervose rivestite di mielina, in modo biofisicamente plausibile, quando l'intensità del campo interno supera pochi volt al metro. Campi molto più deboli possono influenzare la trasmissione sinaptica della rete neurale, e non di singole cellule. Questa elaborazione di segnali da parte dei sistemi nervosi è comunemente utilizzata da organismi pluricellulari per rivelare deboli segnali ambientali. E' stato suggerito un limite inferiore di 1 mV m^{-1} per la discriminazione della rete neurale, ma sulla base dei dati attuali sembrano più verosimili valori di soglia attorno a $10\text{-}100 \text{ mV m}^{-1}$.

Quello delle coppie di radicali rappresenta un meccanismo accettato attraverso il quale i campi magnetici possono avere effetto su tipi specifici di reazioni chimiche, di solito con un aumento della concentrazione di radicali liberi reattivi in campi di bassa intensità e un suo abbassamento in campi di alta intensità. Tali aumenti sono stati osservati in campi magnetici di intensità inferiore a 1 mT . Ci sono alcuni dati che collegano questo meccanismo alla navigazione degli uccelli durante la migrazione. Sia su base teorica, sia perché le variazioni prodotte da campi magnetici ELF e da campi statici sono simili, è stato suggerito che campi a frequenza industriale di gran lunga inferiori al valore del campo geomagnetico, pari a circa $50 \mu\text{T}$, non abbiano verosimilmente molta importanza dal punto di vista biologico.

Cristalli di magnetite, cioè piccoli cristalli ferromagnetici di varie specie di ossido di ferro, si trovano nei tessuti umani ed animali, anche se solo in tracce. Come i radicali liberi, anch'essi sono stati collegati all'orientamento ed alla navigazione delle specie migratorie, mentre la presenza di tracce di magnetite all'interno del cervello umano non è tale da permettere di individuare il debole campo geomagnetico. Calcoli basati su ipotesi estreme suggeriscono un limite inferiore di $5 \mu\text{T}$ affinché i campi magnetici ELF agiscano sui cristalli di magnetite.

Non si ritiene che altre interazioni biofisiche dirette dei campi, come rottura di legami chimici, forze applicate a particelle cariche e vari meccanismi di "risonanza" a banda stretta possano fornire spiegazioni plausibili per le interazioni, ai livelli di campo che si incontrano in ambito residenziale e professionale.

Per quanto attiene gli effetti indiretti, le cariche superficiali indotte dai campi elettrici possono essere percepite e dare luogo a microscosse dolorose quando si tocca un oggetto conduttore. Correnti di contatto si possono produrre in bambini piccoli che tocchino, ad esempio, un rubinetto della vasca da bagno in alcune abitazioni. Ciò produce piccoli campi elettrici nel midollo osseo, possibilmente al di sopra dei livelli di rumore di fondo. Non si sa però se ciò rappresenti un rischio per la salute.

Le linee ad alta tensione producono, per effetto corona, nuvole di ioni elettricamente carichi. E' stato suggerito che questi ioni possano aumentare la deposizione di inquinanti atmosferici sulla pelle e nelle vie aeree, incidendo in maniera potenzialmente negativa sulla salute. Tuttavia, sembra improbabile che gli ioni corona abbiano più che un piccolo effetto, o che ne abbiano affatto, su rischi a lungo termine per la salute, anche nei soggetti maggiormente esposti.

Nessuno dei tre meccanismi diretti sopra descritti sembra una causa plausibile di aumenti dell'incidenza di patologie, ai normali livelli di esposizione degli individui. Essi diventano infatti plausibili a livelli di ordini di

grandezza superiori, e meccanismi indiretti non sono ancora stati sufficientemente investigati. Questa mancanza di un plausibile meccanismo specifico non esclude la possibilità di effetti nocivi per la salute, ma richiede più solidi dati biologici ed epidemiologici.

1.1.4 Effetti neurocomportamentali

L'esposizione a campi elettrici a frequenza industriale provoca, attraverso effetti di carica elettrica di superficie, precise risposte biologiche che variano dalla percezione al disturbo. Tali risposte dipendono dall'intensità del campo, dalle condizioni ambientali e dalla sensibilità individuale. La soglia di percezione diretta è compresa tra 2 e 20 kV m⁻¹ per il 10% dei volontari, mentre il 5% dei soggetti ha trovato fastidiosi campi di 15 - 20 kV m⁻¹. La scarica da una persona verso terra è stata avvertita come dolorosa nel 7% dei volontari in un campo di 5 kV m⁻¹. Le soglie per la scarica elettrica da un oggetto carico attraverso un individuo collegato a terra dipendono dalle dimensioni dell'oggetto e richiedono pertanto una valutazione specifica.

Rapidi impulsi di campi magnetici ad alta intensità possono stimolare il tessuto nervoso periferico e centrale; tali effetti possono manifestarsi durante le procedure di risonanza magnetica per immagini (MRI) e sono utilizzati per la stimolazione magnetica transcranica. Per la stimolazione diretta del tessuto nervoso, l'intensità di soglia dei campi elettrici indotti può essere di pochi volt al metro. La soglia è verosimilmente costante entro un intervallo di frequenza che va da pochi hertz a pochi chilohertz. Le persone che soffrono di epilessia, o che ne sono predisposte, sono verosimilmente più sensibili a campi elettrici ELF indotti nel sistema nervoso centrale (SNC). Inoltre, la sensibilità alla stimolazione elettrica del SNC sembra verosimilmente associata a crisi familiari, all'utilizzo di antidepressivi triciclici, ad agenti neurolettici e ad altri farmaci che abbassano la soglia per l'attacco.

La funzionalità della retina, che è parte del SNC, può essere alterata da un'esposizione a campi magnetici ELF molto più deboli di quelli che provocano una stimolazione nervosa diretta. Una lieve sensazione di sfarfallio, denominata fosfene magnetico o magnetofosfene, deriva dall'interazione tra il campo elettrico indotto e le cellule elettricamente eccitabili della retina. Si è stimato che la soglia di intensità del campo elettrico indotto nel fluido extracellulare della retina si attesti tra circa 10 e 100 mV m⁻¹ a 20 Hz. Vi è tuttavia una notevole incertezza su questi valori.

Sono meno chiari i risultati di studi su volontari riguardo ad altri effetti neurocomportamentali, come quelli sull'attività elettrica del cervello, sulla sfera cognitiva, sul sonno, sull'ipersensibilità e sull'umore. Generalmente, questi studi sono stati condotti a livelli di esposizione inferiori a quelli richiesti per l'induzione degli effetti descritti in precedenza e hanno fornito al più indicazioni di effetti sottili e transitori. Al momento attuale, le condizioni necessarie per provocare questo tipo di risposte non sono ben definite. Ci sono dati che suggeriscono effetti, dipendenti dal campo, sul tempo di reazione e sull'accuratezza nell'effettuare alcuni compiti cognitivi, avvalorati dai risultati di studi sull'attività elettrica generale del cervello. Studi sulla capacità dei campi magnetici di alterare la qualità del sonno hanno fornito risultati contraddittori. E' possibile che le incoerenze siano in parte attribuibili a differenze nella progettazione degli studi.

Alcune persone dichiarano di essere ipersensibili ai campi elettromagnetici in generale. Tuttavia, i dati forniti da studi di provocazione in doppio cieco suggeriscono che i sintomi descritti non siano correlati all'esposizione a campi elettromagnetici.

Esistono solo indicazioni non coerenti e non definitive che l'esposizione a campi elettrici e magnetici ELF causi sintomi depressivi o suicidi. La relativa evidenza è considerata quindi inadeguata.

Negli animali, la possibilità che l'esposizione a campi ELF possa alterare le funzioni neurocomportamentali è stata valutata da diversi punti di vista, utilizzando un'ampia gamma di condizioni di esposizione. Ci sono pochi effetti robusti accertati. Si hanno dati convincenti che i campi elettrici a frequenza industriale possano essere percepiti dagli animali, verosimilmente per effetti di carica di superficie che possono provocare stimoli

temporanei o lievi stress. Nei ratti, la soglia di percezione è compresa tra 3 e 13 kV m⁻¹. I roditori hanno mostrato avversione a campi di intensità superiore a 50 kV m⁻¹. Meno ben definite sono altre possibili modificazioni dipendenti dal campo; studi di laboratorio hanno fornito soltanto indicazioni di effetti sottili e transitori. Vi è qualche indicazione che l'esposizione a campi magnetici possa modulare le funzioni del sistema oppioide e colinergico dei neurotrasmettitori del cervello; questa indicazione è rafforzata dai risultati di studi sugli effetti dell'esposizione sull'analgesia e sullo svolgimento di compiti di memoria spaziale e le relative prestazioni.

1.1.5 Sistema neuroendocrino

I risultati di studi su volontari e di studi epidemiologici condotti in ambiente residenziale e professionale suggeriscono che il sistema neuroendocrino non venga negativamente influenzato dall'esposizione a campi elettrici o magnetici a frequenza industriale. Ciò è particolarmente vero per i livelli di concentrazione di specifici ormoni circolanti, tra cui la melatonina rilasciata dalla ghiandola pineale, e per un certo numero di ormoni rilasciati dalla ghiandola pituitaria e coinvolti nel controllo del metabolismo e dei processi fisiologici. Sono state talvolta osservate sottili differenze nel tempo di rilascio della melatonina, associate a particolari caratteristiche dell'esposizione, ma i risultati non erano coerenti. E' molto difficile eliminare un possibile confondimento da parte di diversi fattori ambientali e stili di vita, che possono anche influenzare i livelli ormonali. La maggior parte degli studi di laboratorio sugli effetti dell'esposizione a campi ELF sui livelli notturni di melatonina in volontari non ha evidenziato effetti quando si è avuto cura di controllare i possibili confondenti.

Tra i molti studi su animali, relativi agli effetti dei campi elettrici e magnetici a frequenza industriale sui livelli di melatonina nella ghiandola pineale e nel siero di ratti, alcuni hanno indicato che l'esposizione sopprimeva la produzione notturna di melatonina. Le variazioni nei livelli di melatonina osservate in un primo tempo in studi con esposizione a campi elettrici fino a 100 kV m⁻¹ non sono però state riprodotte. I risultati di una serie di studi più recenti, che indicavano che campi magnetici polarizzati circolarmente sopprimevano i livelli notturni di melatonina, sono indeboliti dal fatto che i confronti tra gli animali esposti ed i controlli non erano appropriati. I dati forniti da altri esperimenti su roditori, con intensità di campo magnetico variabili da pochi microtesla fino a 5 mT, erano ambigui, con alcuni risultati che mostravano una diminuzione dei livelli di melatonina ma altri che non mostravano alcuna variazione. Negli animali a procreazione stagionale si sono ottenuti risultati prevalentemente negativi relativamente a un effetto dell'esposizione a campi a frequenza industriale sui livelli di melatonina e sulla riproduzione. In uno studio condotto su primati cronicamente esposti a campi a frequenza industriale non sono stati rilevati effetti convincenti sui livelli di melatonina, ma uno studio preliminare su due animali ha segnalato una soppressione della melatonina in risposta a un'esposizione irregolare ed intermittente.

Gli effetti dell'esposizione a campi ELF sulla produzione di melatonina, o sul suo rilascio in ghiandole pineali isolate, sono risultati variabili, anche se si sono effettuati relativamente pochi studi *in vitro*. I dati che suggeriscono che l'esposizione agli ELF interferisca con l'azione della melatonina sulle cellule tumorali del seno *in vitro* sono comunque interessanti. Questo sistema biologico soffre però dello svantaggio che le linee cellulari presentano spesso durante la coltura alterazioni genotipiche e fenotipiche che possono impedirne la trasferibilità tra laboratori.

Non è stato osservato, in diverse specie di mammiferi, nessun effetto coerente sugli ormoni correlati a stress dell'asse pituitario-adrenalinico, con la possibile eccezione di un breve stato di stress all'inizio di un'esposizione a campi elettrici ELF di livello così alto da poter essere percepiti. Analogamente, sebbene gli studi effettuati siano pochi, si sono ottenuti risultati prevalentemente negativi o non coerenti per quanto riguarda effetti sui livelli dell'ormone della crescita e di ormoni coinvolti nel controllo dell'attività metabolica o associati al controllo della riproduzione e dello sviluppo sessuale.

Nel complesso, questi dati non indicano che i campi elettrici e/o magnetici alterino il sistema neuroendocrino

in modo tale da influire negativamente sulla salute umana; la relativa evidenza è quindi considerata inadeguata.

1.1.6 Malattie neurodegenerative

E' stata avanzata l'ipotesi che l'esposizione a campi ELF sia associata a diverse patologie neurodegenerative. Nel caso del morbo di Parkinson e della sclerosi multipla, il numero di studi è piccolo e non vi sono dati che indichino una correlazione con queste patologie. Maggiori studi sono stati pubblicati in relazione al morbo di Alzheimer e alla sclerosi laterale amiotrofica (ALS). Alcuni di questi lavori suggeriscono che i soggetti che svolgono "lavori elettrici" potrebbero essere soggetti a un maggior rischio di ALS. Non si è però stabilito finora nessun meccanismo biologico in grado di spiegare l'associazione, anche se questa potrebbe essere dovuta a fattori di confondimento connessi ai lavori elettrici, quali le scosse. Nel complesso, l'evidenza di una correlazione tra esposizione a campi ELF e ALS è considerata inadeguata.

I pochi studi che hanno indagato l'associazione tra esposizione a campi ELF e morbo di Alzheimer sono incoerenti. Comunque, gli studi di migliore qualità, che si sono concentrati sulla morbidità piuttosto che sulla mortalità, non indicano un'associazione. Nel complesso, l'evidenza di un'associazione tra esposizione a campi ELF e morbo di Alzheimer è inadeguata.

1.1.7 Malattie cardiovascolari

Studi sperimentali relativi ad esposizioni sia a breve sia a lungo termine mostrano che, mentre la scossa elettrica costituisce ovviamente un rischio per la salute, è improbabile che ai livelli di esposizione comunemente riscontrati in ambito ambientale o professionale si verifichino altri effetti cardiovascolari correlati ai campi ELF. In letteratura sono segnalate diverse alterazioni cardiovascolari, ma gli effetti risultano per la maggior parte piccoli e i risultati non sono coerenti, né all'interno dei singoli studi né tra studi diversi. Salvo una sola eccezione, nessuno degli studi di morbidità e mortalità per malattie cardiovascolari ha evidenziato correlazioni con l'esposizione. Resta oggetto di speculazione l'esistenza o meno di una specifica associazione tra esposizione e alterazione del controllo autonomo del cuore. Nel complesso, i dati non confortano un'associazione tra esposizione a campi ELF e malattie cardiovascolari.

1.1.8 Immunologia ed ematologia

Le indicazioni di effetti dei campi elettrici o magnetici su componenti del sistema immunitario sono generalmente non coerenti. Gran parte delle popolazioni cellulari e degli indicatori funzionali non venivano alterati dall'esposizione. Tuttavia, in qualche studio sull'uomo con campi variabili tra 10 μ T e 2 mT sono state osservate variazioni nelle cellule *natural killer*, sia nel senso di una diminuzione sia in quello di un aumento del numero delle cellule, e nella conta totale dei globuli bianchi, che non hanno mostrato cambiamenti o diminuzioni di numero. In studi su animali si è riscontrata una riduzione dell'attività delle cellule *natural killer* nella femmina di topo ma non nel maschio né in ratti di entrambi i sessi. La conta dei globuli bianchi ha mostrato anch'essa delle incoerenze, con studi diversi che indicavano diminuzioni oppure assenza di variazioni. Le esposizioni degli animali spaziavano su un intervallo ancora maggiore, da 2 μ T a 30 mT. La difficoltà di interpretazione di questi dati, per quanto riguarda il potenziale impatto sulla salute, è dovuta alla grande variabilità delle condizioni di esposizione ed ambientali, al numero relativamente piccolo di soggetti esaminati ed all'ampia gamma di parametri in esame.

Sono stati effettuati pochi studi sugli effetti dei campi magnetici ELF sul sistema ematopoietico. In esperimenti che valutavano la conta differenziale dei globuli bianchi, l'intervallo di esposizione variava da 2 μ T a 2 mT. Non sono stati evidenziati, negli studi condotti sia sull'uomo che su animali, effetti coerenti dell'esposizione acuta a campi magnetici, o alla combinazione di campi elettrici e magnetici ELF.

Nel complesso, quindi, l'evidenza di effetti dei campi elettrici o magnetici ELF sul sistema immunitario e sul sistema ematologico è considerata inadeguata.

1.1.9 Riproduzione e sviluppo

Nel loro insieme, gli studi epidemiologici non hanno indicato un'associazione tra effetti nocivi sulla riproduzione ed esposizione della madre o del padre a campi ELF. Vi sono alcune indicazioni di un aumento del rischio di aborto associato all'esposizione della madre a campi magnetici, ma queste evidenze sono inadeguate.

Sono state esaminate esposizioni a campi elettrici ELF fino a 150 kV m^{-1} in diverse specie di mammiferi, anche con studi di grandi dimensioni e nei quali l'esposizione si prolungava su diverse generazioni. I risultati non hanno evidenziato, ripetutamente, alcun effetto nocivo sullo sviluppo.

L'esposizione di mammiferi a campi magnetici ELF non dà luogo a significative malformazioni esterne, interne o scheletriche, per campi fino a 20 mT. Alcuni studi hanno evidenziato un aumento di anomalie scheletriche di poca importanza, sia nei ratti sia nei topi. Le alterazioni scheletriche sono un risultato relativamente comune negli studi teratologici e vengono spesso considerate biologicamente irrilevanti. Tuttavia, non si possono escludere sottili effetti dei campi magnetici sullo sviluppo scheletrico. Sugli effetti sulla riproduzione sono stati pubblicati pochissimi studi, dai quali non si può trarre nessuna conclusione.

I risultati di vari studi su modelli sperimentali diversi dai mammiferi (embrioni di pollo, pesci, ricci di mare ed insetti) hanno indicato che i campi magnetici ELF, a livello dei microtesla, possono disturbare il primo sviluppo. I risultati su modelli sperimentali di specie diverse dai mammiferi hanno però, nella valutazione complessiva della tossicità dello sviluppo, un peso minore di quelli dei corrispondenti studi su mammiferi.

Nell'insieme, l'evidenza di effetti sullo sviluppo sono deboli e quelle di effetti sul sistema riproduttivo è inadeguata.

1.1.10 Cancro

La classificazione IARC dei campi magnetici ELF come possibilmente cancerogeni per l'uomo (IARC, 2002) si basa sull'insieme dei dati disponibili fino a tutto il 2001. La rassegna della letteratura effettuata in questo EHC si basa principalmente sugli studi pubblicati dopo la monografia IARC.

Epidemiologia

La classificazione della IARC è stata pesantemente influenzata dall'associazione osservata in studi epidemiologici sulla leucemia infantile. La classificazione di evidenza limitata non cambia con l'aggiunta di due studi sulla leucemia infantile pubblicati dopo il 2002. Anche dopo la pubblicazione della monografia della IARC, l'evidenza di altri tumori infantili resta inadeguata.

Successivamente alla monografia della IARC sono stati pubblicati un vari studi sul rischio di cancro al seno in donne adulte, in relazione all'esposizione a campi magnetici ELF. Questi studi sono più ampi dei precedenti e meno sensibili a distorsioni, e risultano nel complesso negativi. In seguito a questi, l'evidenza di un'associazione tra esposizione a campi magnetici ELF e rischio di cancro al seno viene considerevolmente indebolita e non conforta l'ipotesi di una relazione di causa ed effetto.

Per quanto riguarda tumori cerebrali e leucemie negli adulti, i nuovi studi pubblicati dopo la monografia IARC non hanno modificato la conclusione secondo cui, nel complesso, l'evidenza di un'associazione tra campi magnetici ELF e rischio di sviluppare tali patologie resta inadeguata.

Per altre patologie e per tutte le altre forme di cancro l'evidenza resta inadeguata.

Esperimenti di laboratorio su animali.

Non esiste attualmente un modello animale adeguato per la più diffusa forma di leucemia infantile, cioè la leucemia linfoblastica acuta. Tre studi indipendenti su larga scala con ratti non hanno fornito indicazioni di effetti dei campi magnetici ELF sull'incidenza di tumori spontanei al seno. La maggior parte degli studi su

modelli di roditori non riporta alcun effetto dei campi magnetici ELF su leucemie e linfomi. Diversi studi su vasta scala e di lunga durata, compiuti su roditori, non hanno mostrato alcun incremento coerente di tumori di alcun tipo, compresi quelli emopoietici, al seno, cerebrali e della pelle.

Una notevole quantità di studi ha preso in esame gli effetti dei campi magnetici ELF su tumori al seno indotti chimicamente nei ratti. Si sono ottenuti risultati non coerenti, che potrebbero essere dovuti del tutto o in parte a differenze nei protocolli sperimentali, come ad esempio l'uso di specifiche sottolinee cellulari. La maggior parte degli studi relativi a effetti dell'esposizione a campi magnetici ELF su modelli di leucemie o linfomi indotti chimicamente o radioattivamente ha dato risultati negativi. Studi su lesioni pre-tumorali del fegato, su tumori della pelle indotti chimicamente e su tumori cerebrali hanno fornito risultati prevalentemente negativi. Uno studio ha riportato un'accelerazione nella genesi di tumori della pelle indotta da radiazione UV, dopo l'esposizione a campi magnetici ELF.

Due gruppi di ricerca hanno segnalato aumenti nelle rotture di filamenti di DNA in tessuti cerebrali a seguito dell'esposizione in vivo a campi magnetici ELF. Altri gruppi, usando modelli diversi di genotossicità nei roditori, non hanno però trovato evidenze di effetti genotossici. I risultati degli studi che hanno analizzato effetti non genotossici potenzialmente rilevanti per il cancro sono non conclusivi.

Nel complesso, non vi è evidenza che l'esposizione ai campi magnetici ELF, da sola, provochi il cancro. L'evidenza che l'esposizione a campi magnetici ELF in associazione con agenti cancerogeni possa accentuare lo sviluppo del cancro è inadeguata.

Studi in vitro

Generalmente, gli studi sugli effetti dell'esposizione di cellule a campi ELF non hanno fornito alcuna indicazione di genotossicità per livelli di campo al di sotto di 50 mT. Un'eccezione degna di nota è fornita dai dati di recenti studi che riportano danni al DNA già a un'intensità di 35 μ T; questi studi sono però ancora in fase di valutazione e la comprensione di questi risultati è incompleta. Ci sono anche crescenti indicazioni che i campi magnetici ELF possano interagire con agenti che danneggiano il DNA.

Non ci sono chiare indicazioni di attivazione, da parte dei campi magnetici ELF, di geni legati al controllo del ciclo cellulare. Devono però essere ancora compiuti studi sistematici che analizzino la risposta dell'intero genoma.

Molti altri studi, ad esempio sulla proliferazione cellulare, sull'apoptosi, sulla trasmissione dei segnali del calcio e su trasformazioni maligne, hanno prodotto risultati inconsistenti o non definitivi.

Conclusioni globali

I nuovi studi sull'uomo, su animali e *in vitro*, pubblicati dopo la monografia IARC del 2002, non cambiano la classificazione complessiva dei campi magnetici ELF come un possibile agente cancerogeno per l'uomo.

1.1.11 Valutazione del rischio per la salute

Secondo la Costituzione dell'OMS, la salute è uno stato di benessere fisico, mentale e sociale e non semplicemente l'assenza di patologia o di infermità. Una valutazione di rischio è un quadro concettuale per un'analisi strutturata dei dati rilevanti ai fini di una stima degli effetti sanitari o ambientali. La valutazione dei rischi sanitari può essere utilizzata come dato per la gestione del rischio, un processo che abbraccia tutte le attività richieste per decidere se un'esposizione richieda azioni specifiche e come adottarle.

Nella valutazione del rischio sanitario, i dati sull'uomo, ove disponibili, sono generalmente più informativi di quelli su animali. Gli esperimenti su animali e *in vitro* possono fornire sostegno ai risultati degli studi sull'uomo, colmare le lacune nelle conoscenze fornite da questi ultimi, o essere usati per prendere decisioni in merito ai rischi nel caso in cui studi sull'uomo manchino o siano inadeguati.

Tutti gli studi, sia che forniscano risultati positivi o negativi, devono essere valutati e giudicati singolarmente in base della loro validità, e successivamente nel loro insieme seguendo un approccio basato sul bilancio delle evidenze. E' importante stabilire in quale misura un complesso di dati possa cambiare la probabilità che l'esposizione provochi un effetto. L'evidenza di un effetto viene generalmente rafforzata se i risultati forniti da studi di tipo diverso (epidemiologici e di laboratorio) puntano alla medesima conclusione e/o quando più studi dello stesso tipo forniscono gli stessi risultati.

Effetti acuti

Sono stati accertati effetti biologici acuti che potrebbero avere conseguenze nocive per la salute, a seguito di esposizioni a campi elettrici e magnetici di frequenza fino a 100 kHz. Sono quindi necessari dei limiti di esposizione e al riguardo esistono linee guida internazionali il cui rispetto fornisce un'adeguata protezione dagli effetti acuti.

Effetti cronici

I dati scientifici che suggeriscono che l'esposizione cronica a campi magnetici a frequenza industriale di bassa intensità (al di sopra di 0,3-0,4 μ T) presenti rischi per la salute provengono da studi epidemiologici che delineano un quadro abbastanza coerente di aumento del rischio di leucemia infantile. Tra le incertezze nella valutazione del rischio figurano il ruolo che una distorsione nella selezione dei controlli e un'errata classificazione delle esposizioni potrebbe avere nell'osservazione di un'associazione tra campi magnetici e leucemia infantile. Inoltre, praticamente tutti i dati di laboratorio o relativi ai meccanismi di interazione non forniscono sostegno a un'associazione tra campi magnetici ELF di bassa intensità e variazioni delle funzioni biologiche o stati patologici. Nel complesso, l'evidenza non è quindi abbastanza forte da far considerare come causale la relazione, ma è abbastanza forte da rimanere motivo di attenzione.

Anche se una relazione di causa ed effetto tra esposizione a campi magnetici e leucemia infantile non è stata stabilita, per fornire dati potenzialmente utili per politiche sanitarie si è calcolato il possibile impatto collettivo sulla salute, assumendo come data la causalità. Questi calcoli dipendono però fortemente dalla distribuzione delle esposizioni e da altre assunzioni e sono quindi molto imprecisi. Assumendo che l'associazione sia causale, si stima che il numero di casi di leucemia infantile nel mondo che potrebbero essere attribuiti all'esposizione possa variare da 100 a 2.400. Questo dato rappresenta comunque tra lo 0,2 e il 4,9% dell'incidenza totale annua dei casi di leucemia infantile, stimati in 49.000 a livello mondiale nel 2000. Quindi, in un contesto globale, l'impatto sulla salute pubblica, ammesso che vi sia, sarebbe limitato ed incerto.

Sono state studiate diverse altre patologie in relazione a una possibile associazione con l'esposizione a campi magnetici ELF. Tra queste, varie forme di cancro sia nei bambini sia negli adulti, depressione, suicidio, disfunzioni nella riproduzione, disturbi dello sviluppo, alterazioni immunologiche e patologie neurologiche. L'evidenza scientifica a sostegno di una correlazione tra i campi magnetici ELF e l'una o l'altra di queste patologie è molto più debole che per la leucemia infantile e in alcuni casi (ad esempio le malattie cardiovascolari o il cancro al seno) portano a credere che i campi magnetici non causino la malattia.

1.1.12 Misure protettive

E' essenziale che vengano adottati dei limiti di esposizione per proteggere dagli effetti nocivi accertati dell'esposizione a campi elettrici e magnetici ELF. Tali limiti dovrebbero basarsi su una valutazione accurata di tutti i dati scientifici rilevanti.

Sono stati accertati soltanto effetti acuti ed esistono due linee guida internazionali (ICNIRP, 1998a; IEEE, 2002) per la protezione da questi effetti.

Mentre gli effetti acuti sono accertati, vi sono incertezze sull'esistenza di effetti cronici, dovute alla limitata evidenza di un legame tra esposizione a campi magnetici ELF e leucemia infantile. L'uso di approcci precauzionali è quindi giustificato. Si raccomanda però che i valori limite di esposizione forniti dalle linee guida per la protezione dagli effetti acuti non vengano abbassati a livelli arbitrari in nome della precauzione. Tale pratica mina il fondamento scientifico sul quale si basano i limiti e rappresenta probabilmente un modo costoso e non necessariamente efficace di fornire protezione.

L'adozione di altre procedure precauzionali appropriate per ridurre le esposizioni è ragionevole e giustificata. Tuttavia, l'elettricità apporta ovvi benefici in termini sociali, economici e di salute, che le misure protettive non dovrebbero compromettere. Inoltre, considerando sia la debolezza delle evidenze di un legame tra esposizione a campi magnetici ELF e leucemia infantile, sia il modesto impatto sanitario qualora un legame esista, i benefici per la salute di una riduzione dell'esposizione non sono chiari. Pertanto, i costi delle misure precauzionali dovrebbero essere molto bassi. I costi richiesti per ridurre le esposizioni variano da paese a paese ed è quindi molto difficile fornire raccomandazioni generali su come bilanciarli con i potenziali rischi dei campi ELF.

Considerato quanto sopra, si forniscono le seguenti raccomandazioni:

- I responsabili delle politiche sanitarie dovrebbero definire norme per l'esposizione ai campi ELF, sia per il pubblico sia per i lavoratori. Il migliore indirizzo, per quanto riguarda sia i livelli di esposizione sia i criteri di valutazione scientifica, è fornito dalle linee guida internazionali.
- I responsabili delle politiche sanitarie dovrebbero definire un programma di protezione che includa la misura dei campi elettromagnetici prodotti da tutti i tipi di sorgenti, per assicurare che i limiti di esposizione non vengano superati, né per il pubblico né per i lavoratori.
- Purché non vengano compromessi i benefici sanitari, sociali ed economici dell'elettricità, l'adozione di procedure precauzionali di riduzione dell'esposizione a costi molto bassi è ragionevole e giustificata.
- I responsabili delle politiche sanitarie e della progettazione dovrebbero adottare misure a costi molto bassi nella costruzione di nuovi impianti e nella progettazione di nuovi sistemi, comprese le apparecchiature.
- Si dovrebbero prendere in considerazione modifiche di progettazione per ridurre le esposizioni dovute a impianti o apparecchiature, purché queste modifiche apportino anche benefici aggiuntivi, come una maggiore sicurezza, oppure siano a costo zero o molto basso.
- Quando si contemplino modifiche a sorgenti già esistenti, accanto alla riduzione dei campi ELF si dovrebbero considerare gli aspetti di sicurezza, di affidabilità e di economia.
- Per la costruzione di nuovi edifici o per il rifacimento di impianti esistenti, le autorità locali dovrebbero adottare norme di cablaggio per ridurre correnti involontarie di ritorno a terra, pur mantenendo la sicurezza. Azioni per l'accertamento di violazioni o di problemi nei cablaggi esistenti sarebbero costose e probabilmente ingiustificate.
- Le autorità nazionali dovrebbero mettere in atto efficaci strategie di comunicazione, affinché le informazioni sulle decisioni prese siano fruibili da tutte le parti interessate. Bisognerebbe fornire, tra le altre, informazioni su come i singoli possono ridurre la propria esposizione.
- Le autorità locali dovrebbero migliorare la progettazione di impianti che creano campi elettromagnetici, migliorando, tra l'altro, le procedure di consultazione tra industria, governo locale e cittadini nelle decisioni sulla collocazione di sorgenti importanti.

- Governi e industria dovrebbero promuovere programmi di ricerca per ridurre le incertezze nella conoscenza scientifica sugli effetti sanitari dell'esposizione a campi ELF.

1.2 Raccomandazioni per la ricerca

L'identificazione delle lacune nella conoscenza dei possibili effetti sanitari dell'esposizione ai campi ELF è parte essenziale della presente valutazione di rischio sanitario. Ciò si traduce nelle seguenti raccomandazioni per ulteriori ricerche (sintetizzate nella Tabella 1).

Come esigenza generale, si richiedono ulteriori ricerche sulle frequenze intermedie (Intermediate Frequencies, IF) generalmente intese come quelle comprese tra 300 Hz e 100 kHz, data l'attuale carenza di dati in questo settore. Fino ad oggi si è acquisita una minima parte delle conoscenze necessarie per una valutazione di rischio e la maggior parte degli studi ha fornito risultati incoerenti, che devono essere ulteriormente convalidati. Come indicazione generale, per costruire una base di dati sui campi a frequenza intermedia sufficiente per una valutazione di rischio occorrono valutazioni dell'esposizione, ricerche epidemiologiche e di laboratorio sull'uomo, studi su animali e su sistemi cellulari (*in vitro*) (ICNIRP, 2003; ICNIRP, 2004; Litvak, Foster e Repacholi, 2002).

In tutti gli studi su volontari, è indispensabile che le ricerche sull'uomo vengano condotte nel pieno rispetto dei principi etici, comprese le prescrizioni della Dichiarazione di Helsinki (WMA, 2004).

Per gli studi di laboratorio, si dovrebbe dare priorità a risposte biologiche (i) già riportate in letteratura per le quali esista almeno qualche evidenza di replicazione o conferma, (ii) che siano potenzialmente rilevanti per la cancerogenesi (ad es. studi di genotossicità), (iii) che siano abbastanza solide da permettere una loro analisi in termini di meccanismi e (iv) che si presentino nei mammiferi o nell'uomo.

1.2.1 Sorgenti, misure ed esposizioni

L'ulteriore caratterizzazione di case ad alta esposizione a campi ELF in diversi paesi per identificare i contributi relativi delle sorgenti interne e esterne, l'influenza delle pratiche di messa a terra e di cablaggio ed altre caratteristiche dell'abitazione può fornire indicazioni per identificare una metrica di esposizione rilevante per gli studi epidemiologici. Una componente importante di questo processo è una migliore comprensione dell'esposizione a campi ELF del feto e dei bambini, con particolare riguardo alle esposizioni in ambienti residenziali dovute a sistemi di riscaldamento sotto il pavimento e a trasformatori nei condomini.

Si sospetta che, in qualche caso di esposizione professionale, i limiti delle attuali linee guida sui campi ELF vengano superati. Occorrono maggiori informazioni sulle esposizioni (anche a frequenze diverse da quelle industriali) connesse ad attività lavorative come, ad esempio, la manutenzione di linee elettriche attive, il lavoro entro e vicino ai magneti dei sistemi di risonanza magnetica per immagini (e quindi ai gradienti di campo ELF) e il lavoro nei sistemi di trasporto. Si dovrebbe anche sapere di più su esposizioni del pubblico che possano avvicinarsi ai limiti indicati dalle linee guida, comprese quelle dovute a sorgenti come sistemi di sicurezza, dispositivi di smagnetizzazione nelle biblioteche, cucine a induzione e apparecchi per il riscaldamento dell'acqua.

L'esposizione a correnti di contatto è stata proposta come una possibile spiegazione della correlazione tra campi magnetici ELF e leucemia infantile. Si ritengono necessarie ricerche in paesi diversi dagli USA, per verificare se i sistemi di messa a terra e di quelli idraulici nelle case possano dar luogo a correnti di contatto. Questi studi dovrebbero essere prioritari in paesi dove si sono ottenuti risultati epidemiologici importanti riguardo a campi ELF e leucemia infantile.

1.2.2 Dosimetria

In passato, la maggior parte delle ricerche di laboratorio si basava, come metrica di base, sulle correnti elettriche indotte nel corpo e di conseguenza la dosimetria era incentrata su tale quantità. Soltanto recentemente si è iniziato a esplorare la relazione tra esposizione esterna e campi elettrici indotti. Per una migliore comprensione degli effetti biologici, occorrono maggiori dati sui campi elettrici interni, in diverse condizioni di esposizione.

Si dovrebbero effettuare calcoli dei campi elettrici interni dovuti all'effetto combinato di campi elettrici e magnetici esterni in diverse configurazioni. La somma vettoriale dei contributi fuori fase e dei contributi spaziali variabili dei campi elettrici e magnetici è necessaria per verificare la conformità alle restrizioni di base.

Sono state effettuati pochi calcoli numerici su modelli avanzati di donna incinta e di feto con fantocci anatomici appropriati. In relazione alla leucemia infantile, è importante verificare la possibilità di un'amplificazione dei campi elettrici indotti nel feto. In questo caso, sono rilevanti le esposizioni della madre sia in ambito lavorativo, sia residenziale.

Si devono inoltre perfezionare ulteriormente i modelli microdosimetrici, per tener conto dell'architettura cellulare della rete neurale e di altri sistemi complessi al di sotto del livello di organo, considerati più sensibili agli effetti dei campi elettrici indotti. Nella creazione di tali modelli, si devono tenere in considerazione le influenze sui potenziali elettrici di membrana cellulare e sul rilascio di neurotrasmettitori.

1.2.3 Meccanismi biofisici

Vi sono tre settori principali in cui esistono attualmente limiti evidenti nella comprensione dei meccanismi: coppie di radicali, particelle magnetiche del corpo e rapporto segnale/rumore in sistemi pluricellulari come le reti neuronali.

Quello delle coppie di radicali è uno dei meccanismi più plausibili di interazione a bassi livelli di campo, ma si deve ancora dimostrare che esso è in grado di mediare effetti significativi nel metabolismo e nelle funzioni cellulari. E' particolarmente importante conoscere il più basso livello di esposizione al quale il meccanismo funziona, per giudicare se esso potrebbe o meno essere rilevante per la cancerogenesi. Considerati gli studi recenti in cui le specie reattive di ossigeno aumentavano in cellule immunitarie esposte ai campi ELF, si raccomanda di usare, come modelli cellulari per studiare la potenziale azione delle coppie di radicali, cellule del sistema immunitario che generano specie reattive di ossigeno come parte della loro risposta immunitaria.

Anche se, sulla base dei dati attuali, la presenza di particelle magnetiche (cristalli di magnetite) nel cervello umano non sembra tale da rendere sensibili ai campi magnetici ELF ambientali, si dovrebbe stabilire se una tale sensibilità non possa esistere in particolari condizioni. Inoltre, si dovrebbe indagare ogni modificazione che la presenza di magnetite potrebbe determinare sul meccanismo delle coppie di radicali sopra menzionato.

Si dovrebbe ulteriormente studiare in quale misura i meccanismi pluricellulari operano nel cervello in modo tale da migliorare il rapporto segnale/rumore, al fine di sviluppare un quadro teorico per quantificare questo effetto e determinarne eventuali limiti. Si dovrebbero condurre ulteriori ricerche sulla soglia e sulla dipendenza della frequenza di risposta delle reti neuronali nell'ippocampo e in altre parti del cervello, utilizzando tecniche *in vitro*.

1.2.4 Effetti neurocomportamentali

Si raccomanda di effettuare studi di laboratorio su volontari circa possibili effetti sul sonno e sull'esecuzione di compiti mentali, utilizzando procedure metodologiche armonizzate. Occorre identificare delle relazioni dose-risposta a livelli di induzione magnetica più alti di quelli utilizzati in precedenza e in un ampio intervallo

di frequenze (ad esempio nella regione dei chilohertz).

Studi condotti su volontari adulti e su animali suggeriscono che in condizioni di esposizione di breve durata a campi elettrici e magnetici intensi possono manifestarsi effetti acuti sul sistema cognitivo. La caratterizzazione di questi effetti è molto importante per lo sviluppo di linee guida di esposizione, ma mancano dati specifici su effetti nei bambini in dipendenza del campo. Si raccomanda di avviare studi di laboratorio sulle funzioni cognitive e sulle variazioni dell'elettroencefalogramma (EEG) in individui esposti a campi ELF, compresi adulti esposti regolarmente in ambiente lavorativo e bambini.

Studi sul comportamento di animali prematuri forniscono utili indicazioni di possibili effetti cognitivi nei bambini. Si dovrebbero studiare i possibili effetti di esposizioni pre- e post-natali a campi magnetici ELF sullo sviluppo del sistema nervoso e delle funzioni cognitive. Questi studi potrebbero essere opportunamente integrati con ricerche sugli effetti dell'esposizione a campi magnetici ELF e dei relativi campi elettrici indotti, sulla crescita delle cellule nervose, utilizzando porzioni di cervello o neuroni in coltura.

Occorre studiare ulteriormente i potenziali effetti sulla salute suggeriti da alcuni dati sperimentali che mostrano risposte oppioidi e colinergiche in animali. Si dovrebbero ampliare gli studi che valutano la modulazione di tali risposte comportamentali e definire i relativi parametri di esposizione e le basi meccanico-biologiche.

1.2.5 *Sistema neuroendocrino*

L'insieme dei dati esistenti sulle risposte neuroendocrine non indica che l'esposizione a campi ELF potrebbe avere effetti avversi sulla salute umana. Pertanto, non vengono fornite raccomandazioni per ulteriori ricerche.

1.2.6 *Malattie neurodegenerative*

Diversi studi hanno rilevato un aumento del rischio di sclerosi laterale amiotrofica nel caso di "occupazioni elettriche". Si considera importante studiare ulteriormente questa correlazione per scoprire se i campi magnetici ELF siano coinvolti nella genesi di questa rara patologia neurodegenerativa. Questa ricerca richiede ampi studi di coorte prospettici, con informazioni sull'esposizione a campi magnetici ELF, a scosse elettriche e ad altri potenziali fattori di rischio.

Resta oggetto di discussione se i campi magnetici ELF costituiscano un fattore di rischio per il morbo di Alzheimer. I dati attualmente disponibili non sono sufficienti e questa correlazione dovrebbe essere ulteriormente studiata. Di particolare importanza appare l'uso di dati di morbilità piuttosto che di mortalità.

1.2.7 *Malattie cardiovascolari*

Non si ritiene prioritaria ulteriore ricerca sulla correlazione tra campi magnetici ELF e rischio di malattie cardiovascolari.

1.2.8 *Immunologia ed ematologia*

Le variazioni dei parametri immunitari ed ematici osservate in adulti esposti a campi magnetici ELF presentano incoerenze, mentre non sono praticamente disponibili dati sui bambini. Si raccomanda perciò di condurre studi sugli effetti dell'esposizione a campi ELF sullo sviluppo del sistema immunitario ed emopoietico in animali giovani.

1.2.9 *Riproduzione e sviluppo*

Vi è qualche indicazione di aumenti del rischio di aborto associati all'esposizione a campi magnetici ELF. Tenuto conto del potenziale alto impatto di una simile correlazione sulla salute pubblica, si raccomandano ulteriori ricerche epidemiologiche.

1.2.10 Cancro

La risoluzione del conflitto tra i dati epidemiologici (che mostrano una correlazione tra esposizione ad un campo magnetico ELF e aumento del rischio di leucemia infantile) e i dati sperimentali e sui meccanismi di interazione (che non sostengono questa associazione) rappresenta la più alta priorità di ricerca in questo campo. Si raccomanda che epidemiologi e ricercatori sperimentali collaborino per questo. Per essere informativi, i nuovi studi epidemiologici devono concentrarsi su nuovi aspetti dell'esposizione, su potenziali interazioni con altri fattori, su gruppi ad alta esposizione, oppure essere innovativi per altri aspetti. Si raccomanda anche di aggiornare le attuali analisi di dati aggregati, aggiungendo i dati forniti dagli studi recenti ed introducendo nelle analisi nuovi elementi di considerazione.

Gli studi relativi a tumori cerebrali nei bambini hanno prodotto risultati incoerenti. Come per la leucemia infantile, un'analisi dei dati aggregati sui tumori infantili sarebbe molto informativa ed è pertanto raccomandata. Un'analisi di questo tipo può consentire, con poca spesa, di estrarre dai dati esistenti informazioni più ampie e migliori, anche in relazione a possibili distorsioni di selezione. Se gli studi sono sufficientemente omogenei, queste analisi possono fornire la migliore valutazione del rischio.

Per il cancro al seno negli adulti, gli studi più recenti hanno mostrato in maniera convincente che non vi è alcuna associazione con l'esposizione a campi magnetici ELF. Pertanto, ad ulteriori ricerche su questa associazione si dovrebbe assegnare una priorità molto bassa.

Per la leucemia e i tumori cerebrali negli adulti, si raccomanda di aggiornare le ampie coorti di individui professionalmente esposti che già esistono. Gli studi in ambito professionale, le analisi di dati aggregati e le metanalisi hanno fornito risultati non coerenti e non conclusivi. Sono stati però pubblicati in seguito nuovi dati, che dovrebbero essere usati per aggiornare queste analisi.

E' prioritario esaminare le indicazioni epidemiologiche, definendo appropriati modelli *in vitro* e animali, che siano ampiamente trasferibili tra laboratori, per analizzare risposte a bassi livelli di campi magnetici ELF.

Si dovrebbero sviluppare modelli di roditori transgenici per la leucemia infantile, allo scopo di fornire modelli sperimentali animali idonei per lo studio degli effetti dell'esposizione a campi magnetici ELF. Altrimenti, sulla base degli attuali studi su animali, il bilancio complessivo delle evidenze è che i campi magnetici ELF da soli non hanno effetti cancerogeni. Pertanto, si dovrebbe assegnare alta priorità a studi *in vitro* e su animali in cui i campi magnetici ELF vengano rigorosamente valutati come co-cancerogeni.

Per quanto riguarda altri studi *in vitro*, si dovrebbero replicare gli esperimenti che riportano effetti genotossici di esposizioni intermittenti a campi magnetici ELF.

1.2.11 Misure di protezione

Si raccomandano ricerche in tema di sviluppo di politiche di protezione della salute e di applicazione delle stesse in aree di incertezza scientifica, con particolare riguardo all'uso della precauzione, all'interpretazione della precauzione e alla valutazione dell'impatto di misure cautelative nei riguardi dei campi magnetici ELF e di altri agenti classificati come "possibilmente cancerogeni per l'uomo". Quando vi siano incertezze sul potenziale rischio sanitario imposto da un dato agente alla società, possono essere giustificate misure precauzionali al fine di assicurare un'adeguata protezione del pubblico e dei lavoratori. Su questo tema è stata condotta poca ricerca in riferimento ai campi magnetici ELF e, data la sua importanza, ne occorre di più. Ciò può aiutare i paesi a integrare la precauzione nelle loro politiche di protezione della salute.

Si consigliano ulteriori ricerche sulla percezione e la comunicazione del rischio, centrate in modo specifico sui campi elettromagnetici. I fattori psicologici e sociologici che influenzano la percezione del rischio in generale sono stati ampiamente studiati. E' stata però svolta poca ricerca per analizzare l'importanza relativa di questi fattori nel caso dei campi elettromagnetici o per identificarne altri che siano specifici dei campi stessi. Studi recenti hanno suggerito che le misure cautelative, che trasmettono impliciti messaggi di rischio, possono modificare la percezione del rischio, sia aumentando sia riducendo le preoccupazioni.

Appaiono pertanto giustificate ulteriori ricerche in questo campo.

Si dovrebbero condurre ricerche in tema di sviluppo di analisi costo/beneficio o costo/efficacia per la mitigazione dei campi magnetici ELF. L'impiego di analisi costo/beneficio e costo/efficacia per valutare se una data opzione sia di beneficio per la società è stato oggetto di ricerca in molti campi della sanità pubblica. Occorre identificare quali parametri sono necessari per effettuare questa analisi per i campi magnetici ELF. Date le incertezze nella valutazione, si dovranno incorporare sia parametri quantificabili, sia non quantificabili.

Tabella 1. Raccomandazioni per ulteriori ricerche	Priorità
Sorgenti, misure ed esposizioni	
Ulteriore caratterizzazione di case ad alta esposizione a campi magnetici ELF in paesi differenti	Media
Identificazione di lacune nelle conoscenze sull'esposizione professionale ai campi ELF, come nel caso della risonanza magnetica per immagini	Alta
Valutare se i sistemi di cablaggio nelle abitazioni, al di fuori degli USA, possono causare correnti di contatto nei bambini	Media
Dosimetria	
Ulteriore dosimetria numerica per correlare i campi elettrici e magnetici esterni ai campi elettrici interni, con particolare riguardo all'esposizione a combinazioni di campi elettrici e magnetici, con diverse orientazioni	Media
Calcolo di campi elettrici indotti e di correnti indotte in donne in gravidanza e nel feto	Media
Ulteriore affinamento dei modelli microdosimetrici, tenendo conto dell'architettura cellulare delle reti neurali e di altri sistemi complessi sub-organo	Media
Meccanismi biofisici	
Ulteriori studi sui meccanismi di coppie di radicali in cellule del sistema immunitario che generano specie reattive di ossigeno come parte della loro azione fenotipica	Media
Ulteriori studi teorici e sperimentali sul possibile ruolo della magnetite nella sensibilità a campi magnetici ELF	Bassa
Determinazione delle soglie di risposta ai campi elettrici indotti dai campi ELF sui sistemi multicellulari, come le reti neurali, mediante approcci teorici e <i>in vitro</i>	Alta
Effetti neurocomportamentali	
Studi sulle capacità cognitive, sul sonno e su EEG in volontari, compresi bambini e soggetti professionalmente esposti, utilizzando un ampio intervallo di frequenze ELF e alti livelli di induzione magnetica	Media
Studi sull'effetto dell'esposizione pre- e post-natale sulle successive capacità cognitive in animali	Media
Ulteriori studi su risposte oppioidi e colinergiche in animali.	Bassa

Tabella 1. Segue	Priorità
Malattie neurovegetative	
Studio delle conseguenze dell'esposizione a campi magnetici ELF sullo sviluppo del immunitario ed emopoietico di animali giovani	Alta
Immunologia ed ematologia	
Studio delle conseguenze dell'esposizione a campi magnetici ELF sullo sviluppo del sistema immunitario ed emopoietico di animali giovani	Bassa
Riproduzione e sviluppo	
Ulteriori studi sul possibile legame tra aborto ed esposizione a campi magnetici ELF	Bassa
Cancro	
Aggiornamento, con nuovi dati, delle attuali analisi di dati aggregati sulla leucemia infantile	Alta
Analisi dei dati aggregati degli studi esistenti su tumori cerebrali infantili	Alta
Aggiornamento delle attuali metanalisi degli studi su leucemie e tumori cerebrali nell'adulto e delle coorti di soggetti professionalmente esposti	Media
Sviluppo di modelli di roditori transgenici per la leucemia infantile, da utilizzare negli studi sui campi ELF	Alta
Valutazione degli effetti co-cancerogeni, attraverso studi <i>in vitro</i> e su animali	Alta
Tentativo di replicazione degli studi di genotossicità <i>in vitro</i>	Media
Misure protettive	
Ricerca sullo sviluppo di politiche di protezione sanitaria e sulla loro attuazione in aree di incertezza scientifica	Media
Ulteriore ricerca sulla percezione e la comunicazione del rischio focalizzata sui campi elettromagnetici	Media
Sviluppo di analisi costo/beneficio e costo/efficacia per la mitigazione dei campi ELF	Media

12 VALUTAZIONE DEL RISCHIO SANITARIO

12.1 Introduzione

Il controllo dei rischi sanitari dell'esposizione a un qualunque agente fisico, chimico o biologico viene effettuato sulla base di informazioni che provengono da una valutazione scientifica, idealmente quantitativa, dei potenziali effetti in corrispondenza di determinati livelli di esposizione (valutazione del rischio). Sulla base dei risultati della valutazione del rischio, e considerando anche altri fattori, si può avviare un processo decisionale che miri all'eliminazione oppure, se questa non fosse possibile, alla riduzione ad un livello minimo dei rischi derivanti da determinati agenti (gestione del rischio). La discussione che segue si basa sul rapporto Environmental Health Criteria 210 dell'OMS, che descrive i principi per una valutazione dei rischi sanitari dell'esposizione ad agenti chimici (WHO, 1999). Questi principi sono applicabili in generale e sono vengono qui utilizzati per i campi elettrici e magnetici ELF.

La valutazione del rischio è un quadro concettuale che fornisce il meccanismo per un'analisi strutturata delle informazioni rilevanti per la stima degli effetti sanitari e ambientali dell'esposizione. Il processo di valutazione del rischio viene suddiviso in quattro diverse fasi: identificazione del rischio, valutazione dell'esposizione, valutazione della relazione esposizione- risposta e caratterizzazione del rischio.

- Scopo dell'*identificazione del rischio* è quello di valutare, dal punto di vista qualitativo, il peso dell'evidenza di effetti nocivi per l'uomo, sulla base di una valutazione di tutti i dati disponibili sulla tossicità e sulle modalità d'azione. Si pongono soprattutto due interrogativi: se i campi ELF possano rappresentare un rischio per la salute umana e in quali circostanze si possa presentare un pericolo che sia stato identificato. L'identificazione di un potenziale rischio si basa sull'analisi di vari dati, che possono spaziare da osservazioni sull'uomo a studi condotti in laboratorio, nonché a possibili meccanismi d'azione.
- La *valutazione dell'esposizione* consiste nel determinare natura e livello di esposizione ai campi elettromagnetici in diverse condizioni. Si possono utilizzare più approcci per valutare l'esposizione. Questi comprendono tecniche dirette, come la misura di esposizioni ambientali e personali, e metodi indiretti, come ad esempio questionari e tecniche di calcolo.
- La *valutazione della relazione esposizione-risposta* è il processo di caratterizzazione quantitativa della relazione tra esposizione ricevuta e insorgenza dell'effetto. Per la maggior parte dei possibili effetti nocivi (ad esempio effetti neurologici, comportamentali, immunologici, riproduttivi o sullo sviluppo) si ritiene generalmente che esista un livello di esposizione ai campi elettromagnetici al di sotto del quale non si hanno effetti nocivi (cioè, una soglia). Nel caso di altri effetti, come il cancro, potrebbe però non esistere alcuna soglia.
- La *caratterizzazione del rischio* rappresenta il passo finale del processo di valutazione del rischio. Il suo scopo è quello di aiutare i gestori del rischio, fornendo loro i dati e i criteri scientifici essenziali in tema di rischio, di cui necessitano per prendere decisioni. Nella caratterizzazione del rischio, si forniscono stime del rischio per la salute umana in situazioni significative di esposizione. Quindi, la caratterizzazione del rischio consiste in una valutazione integrata dei dati scientifici disponibili e viene utilizzata per valutare la natura, l'importanza e spesso l'entità del rischio per l'uomo, riconoscendo e caratterizzando le incertezze che si può ragionevolmente stimare si presentino nelle specifiche condizioni di esposizione a campi elettromagnetici.

La valutazione del rischio sanitario può essere utilizzata come dato per la gestione del rischio, che comprende: (1) tutte le attività necessarie per decidere se un'esposizione richieda azioni specifiche, (2) quali azioni siano appropriate e (3) l'adozione di tali azioni. Queste attività di gestione del rischio sono ulteriormente discusse nel Capitolo 13.

12.2 Identificazione del potenziale rischio

12.2.1 Effetti biologici ed effetti nocivi per la salute

Secondo la Costituzione dell'OMS, la salute è uno stato di completo benessere fisico, mentale e sociale e non semplicemente l'assenza di malattie o infermità. Prima di individuare qualunque effettivo rischio sanitario, è utile chiarire la differenza tra un effetto biologico ed un effetto nocivo per la salute. Un effetto biologico è una qualsiasi risposta fisiologica, in questo caso all'esposizione a campi ELF. Alcuni effetti biologici possono non avere alcuna influenza sulla salute, altri possono avere conseguenze benefiche ed altri ancora possono dar luogo a situazioni patologiche, cioè a effetti nocivi. Fastidi e disturbi provocati dall'esposizione ai campi ELF possono non essere patologici di per sé ma, se provati, possono compromettere il benessere fisico e mentale di un individuo, ed i conseguenti effetti possono essere considerati nocivi per la salute.

12.2.2 Effetti acuti

I campi elettrici e magnetici ELF possono interessare il sistema nervoso degli individui esposti, con conseguenze negative per la salute come, a livelli di esposizione molto alti, la stimolazione nervosa. L'esposizione a livelli più bassi induce variazioni nell'eccitabilità del tessuto nervoso del sistema nervoso centrale, con possibili effetti sulla memoria, sulla capacità cognitiva e su altre funzioni cerebrali. Questi effetti acuti sul sistema nervoso sono alla base delle linee guida internazionali. Non è però verosimile che si verifichino ai bassi livelli di esposizione che si incontrano nell'ambiente generale e nella maggior parte dei luoghi di lavoro.

L'esposizione a campi elettrici ELF induce anche cariche elettriche superficiali, che possono provocare effetti percettibili, anche se non pericolosi, tra cui microscosse elettriche.

12.2.3 Effetti cronici

L'evidenza scientifica che suggerisce che l'esposizione quotidiana, cronica, a campi magnetici ELF di bassa intensità costituisca un possibile rischio per la salute si basa su studi epidemiologici che mostrano un quadro coerente di aumento del rischio di leucemia infantile. Nelle incertezze di valutazione del potenziale rischio giocano un ruolo, tra gli altri, la distorsione nella selezione dei controlli e l'errata classificazione delle esposizioni. Inoltre, praticamente tutti i risultati di laboratorio e tutti i dati sui meccanismi di interazione non forniscono sostegno a una correlazione tra esposizione a bassi livelli di campi magnetici ELF e variazioni nelle funzioni biologiche o nello stato patologico. Quindi, nel complesso, l'evidenza non è abbastanza forte da poter essere considerata causale e pertanto i campi magnetici ELF restano classificati come possibilmente cancerogeni.

Sono state studiate diverse altre patologie in rapporto a una possibile associazione con l'esposizione a campi magnetici ELF. Queste includono altri tipi di cancro sia nei bambini che negli adulti, depressione, suicidio, disfunzioni riproduttive, disturbi dello sviluppo, modificazioni immunologiche e malattie neurologiche e cardiovascolari. L'evidenza scientifica a sostegno di una correlazione tra esposizione a campi magnetici ELF e uno qualunque di questi disturbi, è più debole di quella relativa alla leucemia infantile ed in qualche caso (ad esempio per le malattie cardiovascolari o per il tumore al seno) l'evidenza è sufficiente per credere che i campi magnetici non provochino la malattia.

12.3 Valutazione dell'esposizione

L'esposizione a campi elettrici e magnetici può essere espressa in termini di valori medi istantanei o mediati nel tempo. Entrambi possono essere calcolati in base ai parametri della sorgente, o misurati.

12.3.1 Esposizioni in ambienti residenziali

Nel caso di esposizioni in ambiente residenziale, i dati provenienti da diversi paesi mostrano che le medie geometriche dell'intensità dei campi magnetici ELF in ambienti residenziali non variano drasticamente. I valori medi dei campi elettrici ELF in casa possono arrivare a diverse decine di volt al metro. In prossimità di alcuni elettrodomestici, i valori istantanei dei campi magnetici possono arrivare a qualche centinaia di microtesla. In prossimità di linee elettriche, i campi magnetici raggiungono circa 20 μT e i campi elettrici possono variare da diverse centinaia fino a diverse migliaia di volt al metro.

Gli studi epidemiologici sulla leucemia infantile si sono concentrati su valori medi di campo magnetico, in ambienti residenziali, superiori a 0,3 - 0,4 μT , come fattori di rischio per il cancro. I risultati di diverse indagini di ampie dimensioni hanno mostrato che tra circa lo 0,5 e il 7% dei bambini presentava esposizioni medie nel tempo superiori a 0,3 μT e che una frazione tra lo 0,4 e il 3,% era esposto ad oltre 0,4 μT . Calcoli basati su studi caso-controllo relativi ad esposizione a campi magnetici ELF e leucemia infantile hanno fornito valori che si collocano approssimativamente nello stesso intervallo.

12.3.2 Esposizioni professionali

Le esposizioni professionali sono prevalentemente alle frequenze industriali ed alle loro armoniche. L'esposizione ai campi magnetici in ambito lavorativo può arrivare fino a circa 10 mT e questi livelli sono invariabilmente associati alla presenza di conduttori che trasportano correnti elevate. Nell'industria elettrica, i lavoratori possono essere esposti a campi elettrici di intensità fino a 30 kV m^{-1} , che inducono campi elettrici nel corpo e portano ad una più alta frequenza di correnti di contatto e di microscosse.

12.4 Valutazione della relazione esposizione-risposta

La valutazione della relazione esposizione-risposta è il processo di caratterizzazione della relazione tra l'esposizione ricevuta da un individuo e l'insorgenza di un effetto. Esistono molti modi in cui valutare la relazione esposizione-risposta e per queste valutazioni si devono usare varie assunzioni.

12.4.1 Livelli di soglia

Per alcuni effetti vi può essere una relazione continua con l'esposizione, mentre per altri può esistere una soglia. Nella determinazione di queste soglie c'è una certa imprecisione. Il grado di incertezza si riflette in parte nell'entità di un fattore di sicurezza che viene inserito per ricavare il limite di esposizione.

Soglie che dipendono dalla frequenza sono state identificate per effetti acuti sui tessuti elettricamente eccitabili, in modo particolare quelli del sistema nervoso centrale. Questi effetti derivano dai campi elettrici e dalle correnti che l'esposizione a campi elettrici o magnetici ELF induce nei tessuti corporei (vedi Capitolo 5). L'ICNIRP (1998a) ha individuato una soglia di densità di corrente di 100 mA m^{-2} per variazioni acute delle funzioni del sistema nervoso centrale (cervello e midollo spinale, localizzati nella testa e nel tronco) e ha raccomandato restrizioni di base per la densità di corrente indotta in questi tessuti, pari a 10 mA m^{-2} per i lavoratori e 2 mA m^{-2} per il pubblico. Considerazioni generali sulla fisiologia dei tessuti neurali suggerivano che tali restrizioni dovessero rimanere costanti tra 4 Hz ed 1 kHz ed aumentare sia al di sopra sia al di sotto di queste frequenze. Più di recente, l'IEEE (2002) ha identificato un valore dell'intensità di campo elettrico indotto, pari a 53 mV m^{-1} a 20 Hz, come soglia per provocare variazioni delle funzioni cerebrali nel 50% degli adulti sani. Gli effetti considerati comprendevano l'induzione di fosfeni ed altri effetti sulle interazioni sinaptiche. L'IEEE ha raccomandato restrizioni di base per l'intensità del campo elettrico indotto nel cervello, pari a 17,7 mV m^{-1} , in ambienti "controllati" e a 5,9 mV m^{-1} per il pubblico.

La soglia per i fosfeni aumenta al di sopra di 20 Hz e pertanto le restrizioni base raccomandate dall'IEEE seguono una legge di proporzionalità con la frequenza fino a 760 Hz, frequenza sopra la quale, e fino a 100 kHz, le restrizioni si basano sulla stimolazione dei nervi periferici (IEEE, 2002). Il risultato finale è che le

raccomandazioni dell'ICNIRP (1998a) sono più restrittive di quelle dell'IEEE (2002) alle frequenze industriali (50/60 Hz) e superiori (si veda più avanti la Sezione 12.5.1). Il principale fattore responsabile di ciò è la diversa frequenza di taglio (20 Hz per l'IEEE e 1 kHz per l'ICNIRP) in corrispondenza alla quale le soglie per l'intensità di campo elettrico indotto e per la densità di corrente indotta iniziano a salire (Reilly, 2005).

Non sono state identificate soglie per gli effetti cronici.

12.4.2 Metodi epidemiologici

Il modo più comune di caratterizzare una relazione esposizione-risposta in epidemiologia consiste nel derivare stime di rischio relativo o *odds ratio* per unità di esposizione oppure per diverse categorie di esposizione. La maggior parte degli studi epidemiologici ha utilizzato il secondo metodo. In sintesi, due recenti analisi dei dati aggregati degli studi su campi magnetici ELF e leucemia infantile hanno presentato delle analisi esposizione-risposta. Queste analisi sono state condotte in base sia a categorie di esposizione, sia a dati continui di esposizione. Tutte queste analisi mostrano che l'aumento di rischio diventa rilevabile intorno a 0,3-0,4 μT . Per livelli di esposizione superiori a questi valori, i dati attuali non consentono ulteriori analisi, a causa del basso numero di casi nella categoria a più alta esposizione.

12.5 Caratterizzazione del rischio

12.5.1 Effetti acuti

Limiti di esposizione basati sugli effetti acuti su tessuti elettricamente eccitabili, in particolare quelli del sistema nervoso centrale, sono stati proposti da diverse organizzazioni internazionali. I limiti per il pubblico previsti dalle attuali linee-guida dell'ICNIRP (1998a) a 50 Hz sono pari a 5 kV m^{-1} per i campi elettrici e 100 μT per i campi magnetici, mentre a 60 Hz sono pari a 4,2 kV m^{-1} e 83 μT . Per i lavoratori, i corrispondenti valori sono 10 kV m^{-1} e 500 μT per i 50 Hz e 0,3 kV m^{-1} e 420 μT per i 60 Hz. I limiti di esposizione dell'IEEE (2002) sono pari a 5 kV m^{-1} e 904 μT per esposizioni del pubblico a campi a 60 Hz. Per i gruppi professionali, i limiti dell'IEEE sono pari a 20 kV m^{-1} e 2.710 μT a 60 Hz. Le differenze nei valori derivati indipendentemente dall'IEEE e dall'ICNIRP derivano dall'adozione di soglie diverse per le reazioni avverse, di fattori di sicurezza diversi e di frequenze di transizione diverse, cioè differenze nelle frequenze alle quali le curve che rappresentano i limiti in funzione della frequenza cambiano la loro pendenza (vedi Sezione 12.4.1).

12.5.2 Effetti cronici

Il modo più comune di caratterizzare, in base ai dati epidemiologici, il rischio per un singolo effetto consiste nell'uso della frazione attribuibile. La frazione attribuibile, basata su una relazione accertata tra esposizione e malattia, è la percentuale dei casi (di malattia) attribuibile all'esposizione. La frazione attribuibile si basa sul confronto tra il numero dei casi che si presentano in una popolazione quando questa è esposta ed il numero dei casi che si verificherebbero nella stessa popolazione se non fosse esposta, assumendo che tutte le altre caratteristiche della popolazione rimangano identiche. L'assunzione di una relazione causale è critica per questa valutazione. Come evidenziato nel Capitolo 11 e più avanti in questo capitolo, un'assunzione di questo genere è difficile da accettare per le numerose limitazioni dei dati epidemiologici su leucemia infantile e esposizione ai campi magnetici ELF, nonché per la mancanza di sostegno da parte di numerosi studi sperimentali. Ciò nonostante, per fornire un'idea del possibile impatto sanitario a livello del pubblico, si è effettuata una caratterizzazione del rischio assumendo che l'associazione sia causale.

Le frazioni attribuibili per la leucemia infantile che possono risultare dall'esposizione a campi magnetici ELF sono state calcolate in diverse pubblicazioni (Banks & Carpenter, 1988; Grandolfo, 1986; NBOSH – National Board of Occupational Safety and Health et al., 1996; NIEHS, 1999). Greenland & Kheifets (2006) hanno ulteriormente sviluppato l'analisi di due diversi insiemi di dati aggregati relativi a leucemia infantile ed

esposizione a campi magnetici ELF (Ahlbom et al., 2000; Greenland et al., 2000), per fornire una valutazione aggiornata che includesse stime delle frazioni attribuibili fornite da un numero di paesi maggiore quelli considerati nelle analisi dei dati aggregati. In termini globali, la maggior parte delle informazioni sull'esposizione proviene dai paesi industrializzati. Ci sono diverse regioni del mondo, come l'Africa e l'America Latina, per le quali non sono disponibili informazioni rappresentative dell'esposizione. Sebbene gli *odds ratio* forniti dalle principali aree di studio – America Settentrionale, Europa, Nuova Zelanda e parte dell'Asia – siano simili (e quindi si potrebbero usare per questo calcolo le stime fornite da un'analisi che aggregasse i dati ottenuti in queste regioni), ci sono tra queste regioni differenze sostanziali nelle distribuzioni dell'esposizione. Differenze simili, o maggiori, sono prevedibili rispetto ad altre regioni o all'interno di queste ultime. Pertanto, le stime delle frazioni attribuibili calcolate in base ai dati dei paesi industrializzati non possono essere estese in modo attendibile ai paesi in via di sviluppo.

Greenland e Kheifets (2006) hanno anche effettuato un'analisi dell'incertezza nelle stime delle frazioni attribuibili, cambiando le assunzioni fatte (maggiori dettagli su questa analisi possono trovarsi in appendice). Utilizzando la distribuzione delle esposizioni degli studi caso-controllo, le frazioni attribuibili risultano generalmente al di sotto dell'1% per gli studi effettuati in Europa ed in Giappone e tra 1,5 e 3% per quelli condotti nel Nord America. I valori della frazione attribuibile calcolati sulla base di campagne di misura dell'esposizione variano tra 1 e 5% per tutte le aree. Gli intervalli di confidenza per questi numeri sono relativamente ampi. Inoltre, questi calcoli sono molto imprecisi poiché dipendono fortemente dalle assunzioni sulla prevalenza e sulla distribuzione delle esposizioni e da quelle sull'effetto dell'esposizione sulla malattia. Quindi, assumendo che l'associazione sia causale, la migliore stima del numero di casi attribuibili su scala mondiale (arrotondato alle centinaia) varia tra 100 e 2.400 casi annui di leucemia infantile che potrebbero essere attribuibili all'esposizione a campi magnetici ELF (questi numeri sono derivati dalle figure A3 e A4 dell'appendice; Kheifets, Afifi & Shimkhada, 2006); ciò rappresenta tra lo 0,2 e il 4,9% del numero totale di casi annui di leucemia, che è stato calcolato in circa 49.000 in tutto il mondo nel 2000 (IARC, 2000).

12.5.3 Incertezze nella caratterizzazione del rischio

12.5.3.1 Meccanismi biofisici

La plausibilità biofisica dei vari meccanismi di interazione diretta e indiretta proposti per i campi elettrici e magnetici ELF dipende in particolare dalla possibilità che un "segnale" generato dall'esposizione a questo tipo di campi in un processo biologico o in un sistema biologico possa essere discriminato da un rumore casuale intrinseco. Esiste una considerevole incertezza su quali meccanismi possano essere rilevanti. Tre meccanismi legati all'interazione diretta dei campi con il corpo umano si distinguono come potenzialmente operativi a livelli di campo più bassi degli altri: campi elettrici indotti nelle reti di tessuti neurali, prolungamento della vita di coppie di radicali ed effetti sulla magnetite.

12.5.3.2 Metrica di esposizione

Al momento, non si sa quali aspetti dell'esposizione potrebbero essere dannosi, ammesso che lo siano. Alcune azioni, mentre riducono un aspetto dell'esposizione, potrebbero inavvertitamente aumentarne un altro che, nel caso fosse un fattore causale, porterebbe ad un aumento del rischio. In genere, si assume comunque che una minore esposizione sia preferibile e che riducendo un aspetto dell'esposizione se ne riduca qualsiasi altro potenzialmente nocivo. Nessuna di queste assunzioni è certa. Infatti, alcune ricerche di laboratorio hanno suggerito che gli effetti biologici dovuti ai campi elettromagnetici varino all'interno di finestre di frequenza e di intensità del campo. Anche se un modello così complesso ed insolito contraddirebbe alcune assunzioni generalmente accettate della tossicologia e dell'epidemiologia, la possibilità che possa essere reale non può essere ignorata.

12.5.3.3 Epidemiologia

L'associazione coerentemente osservata tra un'esposizione media a campi magnetici al di sopra di 0,3-0,4 μ T e la leucemia infantile può essere dovuta al caso, a distorsioni di selezione, a errori di classificazione e ad altri fattori che potrebbero confondere l'associazione, oppure essere dovuta a una vera relazione causale. Dato che le analisi di dati aggregati si basavano su grandi numeri, il caso non sembra verosimile come possibile spiegazione. La considerazione dei potenziali fattori di confondimento non ha modificato le stime del rischio e un sostanziale confondimento da parte di fattori estranei ai campi elettrici e magnetici non è verosimile. Le distorsioni di selezione, in particolare quelle relative ai controlli negli studi caso-controllo, possono essere parzialmente responsabili dell'associazione coerentemente osservata tra esposizione ai campi magnetici ELF e leucemia infantile. Le difficoltà di valutazione dell'esposizione possono verosimilmente aver portato a importanti errori non differenziali nella classificazione delle esposizioni, ma ciò può difficilmente fornire una spiegazione per l'associazione osservata e può in effetti portare a una sottostima dell'entità del rischio. Un'errata classificazione dell'esposizione può anche introdurre incertezze nella potenziale relazione dose-risposta. Poiché le stime della frazione attribuibile sono calcolate a partire dai rischi relativi e dalla prevalenza dell'esposizione, e poiché entrambi questi dati risentono di un'eventuale errata classificazione dell'esposizione, la frazione attribuibile può risentirne anch'essa. Comunque, gli effetti sul rischio relativo e sull'errata classificazione dell'esposizione tendono ad agire in direzioni opposte.

12.6 Conclusioni

Effetti biologici acuti sono stati accertati per esposizioni a campi elettrici e magnetici ELF nell'intervallo di frequenza fino 100 kHz e questi effetti potrebbero avere conseguenze nocive per la salute. Sono quindi necessari dei limiti di esposizione ed esistono linee-guida internazionali che trattano questo problema. Il rispetto di queste linee-guida fornisce una protezione adeguata.

Dati epidemiologici coerenti suggeriscono che l'esposizione cronica a campi magnetici ELF di bassa intensità sia associata ad un aumento del rischio di leucemia infantile. Tuttavia, l'evidenza di una relazione causale è limitata e pertanto non si raccomandano limiti di esposizione basati sui dati epidemiologici, mentre sono giustificate alcune misure precauzionali.

13 MISURE PROTETTIVE

13.1 Introduzione

Dopo 25 anni di ricerche sui possibili rischi per la salute derivanti dai campi ELF, si ha oggi molta più conoscenza e comprensione nel settore, ma restano ancora importanti incertezze scientifiche. Sono stati identificati effetti acuti sul sistema nervoso centrale, che costituiscono la base delle linee guida internazionali. Per quanto riguarda possibili effetti a lungo termine, gli studi epidemiologici suggeriscono che l'esposizione quotidiana a campi magnetici ELF di bassa intensità aumenti il rischio di leucemia infantile, ma l'evidenza non è abbastanza forte da poter essere considerata causale e quindi i campi magnetici ELF restano classificati come possibilmente cancerogeni. Le evidenze sono più deboli per altri effetti studiati, come tipi differenti di cancro sia nei bambini sia negli adulti, depressione, suicidio, disfunzioni nella riproduzione, disordini nello sviluppo, modificazioni immunologiche, malattie neurologiche e cardiovascolari.

Data la mancanza di dati conclusivi sui possibili effetti nocivi a lungo termine sulla salute i decisori si trovano di fronte ad una gamma di possibili misure per proteggere la salute pubblica. Le scelte da adottare dipendono non solo dalla valutazione dei dati scientifici, ma anche dal contesto della politica sanitaria locale e dal livello di preoccupazione e di pressione delle varie parti interessate.

Il presente capitolo descrive le misure di politica sanitaria adottabili per la gestione dei rischi dei campi ELF. A un esame delle basi scientifiche delle attuali normative e linee guida internazionali per i campi elettromagnetici segue un sommario delle attuali politiche relative ai campi elettromagnetici. Viene discusso l'uso di approcci basati sulla precauzione e vengono fornite raccomandazioni perché le misure cautelative siano appropriate, dato il grado di incertezza scientifica.

Nel contesto del presente capitolo, il termine generale "decisori" (*policy makers*) si riferisce alle autorità governative nazionali e locali, ai legislatori e ad altre parti interessate che siano responsabili dello sviluppo di politiche, strategie, normative, standard tecnici e procedure operative.

13.2 Problemi generali di politica sanitaria

13.2.1 Come trattare i rischi sanitari di natura ambientale

La maggior parte delle analisi di rischio riguardanti l'impatto sulla salute di un particolare agente comprende tre fasi fondamentali.

La prima consiste nell'individuare il rischio sanitario e nel definire un profilo di rischio o un quadro di rischio. Ciò comprende una breve descrizione del contesto sanitario, i valori che si prevede vengano messi a rischio e le potenziali conseguenze. Comprende anche l'assegnazione di un grado di priorità al fattore di rischio in esame nel contesto nazionale complessivo di protezione del pubblico e dei lavoratori. In questa fase si dovrebbero anche assegnare risorse e incarichi per la valutazione del rischio.

La seconda fase consiste nell'effettuare una valutazione di rischio (identificazione del rischio, valutazione dell'esposizione, analisi della relazione esposizione-risposta e caratterizzazione del rischio), che a sua volta implica un esame scientifico degli effetti prodotti dai fattori di rischio, come quello svolto nel presente documento (vedi Capitolo 12). Alcuni paesi possiedono le risorse necessarie per svolgere in maniera autonoma una propria valutazione scientifica degli effetti dei campi elettromagnetici sulla salute, attraverso una procedura di valutazione formale del rischio sanitario (ad esempio il programma EMF RAPID degli Stati Uniti, NIEHS, 1999) o attraverso un comitato consultivo indipendente (ad esempio il Gruppo Consultivo Indipendente sulle Radiazioni Non-Ionizzanti nel Regno Unito, AGNIR, 2001b). Altri paesi possono intraprendere un processo meno formale per sviluppare linee guida scientificamente fondate o per modificarle.

Infine, si dovranno prendere in esame delle strategie per la gestione del rischio, tenendo conto che esiste più di un modo di gestire i rischi sanitari. Nello specifico, si devono escogitare procedure di gestione adatte a rischi complessi, controversi e incerti. L'obiettivo, in questi casi, è trovare il modo di far fronte all'incertezza e all'inadeguatezza delle informazioni, sviluppando valide procedure decisionali, adottando adeguati livelli di precauzione e ricercando il consenso della società. Il termine "gestione del rischio" abbraccia tutte le attività richieste per decidere se un dato rischio debba essere eliminato o ridotto. Le strategie di gestione del rischio possono essere sommariamente classificate come basate su prescrizioni, su considerazioni economiche, su raccomandazioni o su soluzioni tecnologiche, ma queste categorie non sono mutuamente esclusive. Un gran numero di elementi possono quindi concorrere alle scelte finali o all'elaborazione di normative, come esempio mandati legislativi (azioni imposte per legge), considerazioni politiche, valori socio-economici, costi, fattibilità tecnica, popolazione a rischio, durata e entità del rischio, confronti tra rischi e possibile impatto sul commercio tra paesi. Fattori chiave per le decisioni, come l'ampiezza della popolazione, le risorse, i costi per realizzare gli obiettivi, la qualità scientifica delle valutazioni di rischio e delle decisioni conseguenti, cambiano enormemente da un contesto decisionale all'altro. Si riconosce inoltre che la gestione del rischio è una procedura multidisciplinare complessa, raramente codificata o uniforme, di solito non strutturata e alla quale concorrono, da più parti, dati che evolvono nel tempo. La percezione e la comunicazione del rischio vengono sempre più riconosciute come elementi importanti da considerare per raggiungere la più ampia accettazione possibile, da parte del pubblico, delle decisioni adottate.

Il processo di identificazione, valutazione e gestione del rischio può essere utilmente descritto in termini di fasi distinte, ma in realtà queste fasi si sovrappongono e si compenetrano e il processo potrebbe essere descritto come idealmente iterativo, con ritorni nei due sensi e con il coinvolgimento delle parti interessate a tutti i livelli (Figura 10).

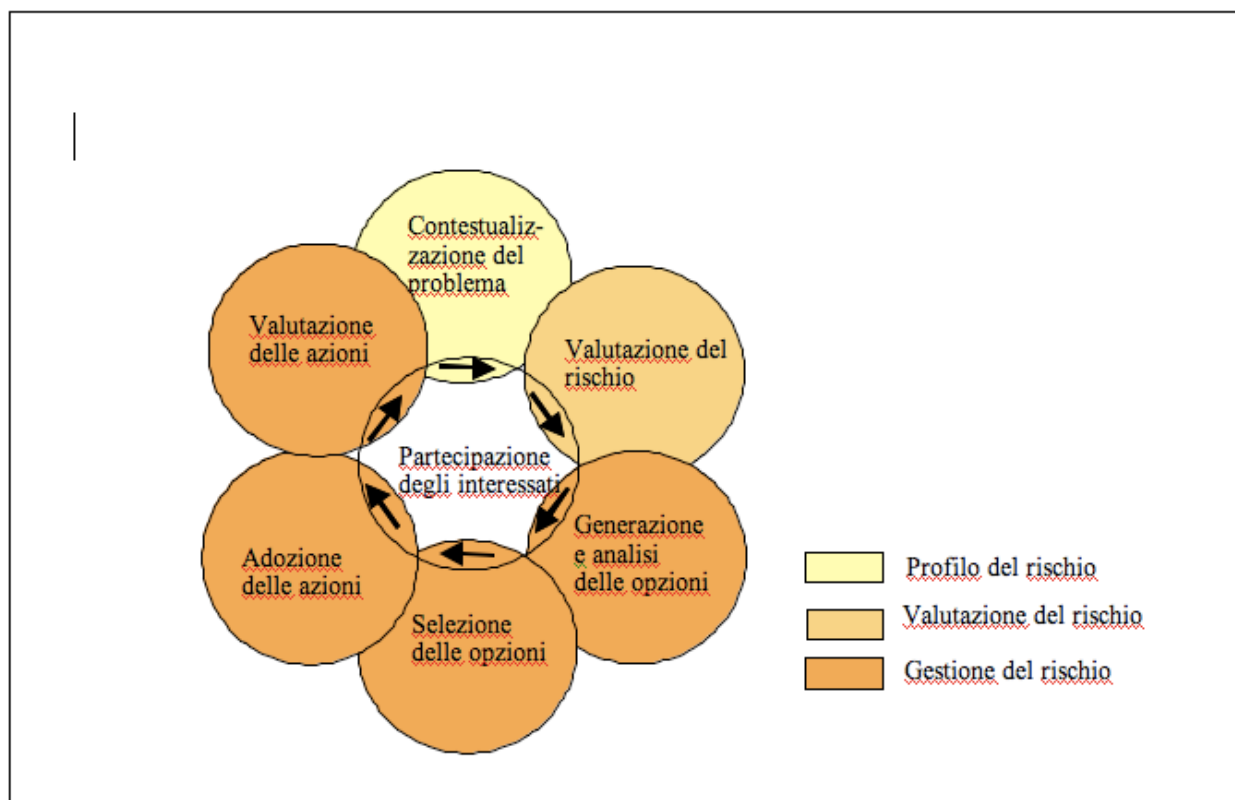


Figura 10. Come trattare il rischio: un processo di analisi del rischio che include la sua identificazione, la sua valutazione e la sua gestione.

13.2.2 Fattori che influenzano la politica sanitaria

Per i decisori, l'evidenza scientifica ha un peso sostanziale, ma non è l'unico criterio. Le decisioni finali dovranno tenere anche conto dei valori sociali come l'accettabilità dei rischi, dei costi e benefici e delle preferenze culturali. La domanda alla quale i decisori cercano di rispondere è "Quale è la migliore linea di condotta per proteggere e promuovere la salute?"

Le politiche sanitarie dei governi si basano su un equilibrio tra "equità", come ad esempio il diritto di ogni cittadino ad un giusto livello di protezione, ed "efficienza", per cui sono importanti criteri costo/beneficio o costo/efficacia. Il livello di rischio ritenuto accettabile dalla società dipende da numerosi fattori.

Nel caso in cui vi sia un rischio accertato, il valore che la società attribuisce alla riduzione dei rischi o dei casi di malattia imputati a un particolare agente, a una particolare tecnologia o a un particolare intervento, è basato sul presupposto che una riduzione del rischio si verifichi effettivamente. Per esposizioni involontarie, si accetta come soglia generale un valore indicativo (*de minimis*) di rischio di mortalità, sull'intera durata della vita, pari a 1 su 100.000 (con 1 su un milione come obiettivo ideale); sotto questa soglia il rischio viene considerato accettabile o praticamente impossibile da ridurre ulteriormente (WHO, 2002). Ad esempio, il rischio derivante dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti emesse del radon è ragionevolmente ben caratterizzato e l'esposizione dovrebbe essere ridotta in misura tale da non provocare tumori da radiazioni in più di 1 individuo su 100.000, in tutto l'arco della vita.

Nello sviluppare una politica sanitaria, i legislatori cercano di massimizzare i benefici e minimizzare i costi per la società. Nel processo si considerano gli elementi che seguono.

- **Salute/sicurezza del pubblico** – Uno dei principali obiettivi politici è ridurre o eliminare danni alla popolazione. Gli effetti di danno alla salute vengono di solito misurati in termini di morbidità causata dall'esposizione e di probabilità che un effetto si verifichi, ma si potrebbero anche misurare in termini di casi aggiuntivi di malattia o decesso per effetto dell'esposizione, o come numero di casi evitati grazie a una riduzione dell'esposizione.
- **Costo netto della politica sanitaria**– Il costo, non limitato al solo aspetto monetario, di una politica per la società nel suo complesso, consiste, senza considerarne la distribuzione, di diverse componenti: (a) costo diretto, imposto all'intera società, per qualsiasi misura adottata; (b) costo indiretto, derivante ad esempio da un utilizzo non ottimale della tecnologia; (c) riduzione dei costi per effetto della politica adottata, ad esempio con una più rapida adozione di una tecnologia che apporta benefici.
- **Fiducia del pubblico** – La fiducia del pubblico nella politica adottata e il riconoscimento della stessa come mezzo efficace per un'adeguata protezione della salute pubblica rappresentano un obiettivo importante in molti paesi. Inoltre, il senso di sicurezza del pubblico è importante di per sé, perché la definizione di salute dell'Organizzazione Mondiale della Sanità fa riferimento al benessere sociale e non soltanto all'assenza di disturbi o infermità (WHO, 1946).
- **Coinvolgimento delle parti interessate** – Un processo chiaro, aperto e trasparente è necessario per realizzare una buona politica sanitaria. Il coinvolgimento delle parti interessate prevede la partecipazione ad ogni fase di sviluppo della politica e la possibilità di esaminare e commentare le azioni proposte prima della loro pratica attuazione. Si può legittimamente ritenere che un processo di questo tipo abbia esiti diversi da processi che sarebbero scelti solo dagli esperti scientifici o dai decisori.
- **Trattamento imparziale delle sorgenti** – Tutte le sorgenti dovrebbero ricevere la stessa attenzione quando si considera l'esposizione (ad esempio, nel caso di campi ELF, quando si riducono i campi magnetici prodotti dai sistemi di messa a terra nelle abitazioni, dagli elettrodomestici, dagli elettrodotti e dai trasformatori). Le misure dovrebbero concentrarsi sulle opzioni di riduzione dell'esposizione più efficaci in rapporto ai costi. I responsabili devono stabilire se: (a) si debbano considerare i nuovi impianti in modo diverso da quelli esistenti; (b) siano giustificate azioni diverse per l'esposizione involontaria rispetto a quella volontaria. Per ulteriori informazioni si veda il documento della Commissione Europea sul principio di precauzione (EC, 2000).

- **Vincoli etici, morali, culturali, religiosi** – Nonostante la consultazione tra le parti interessate, individui e gruppi possono avere opinioni diverse sul fatto che una politica sia eticamente, moralmente e culturalmente accettabile, o conforme a un credo religioso. Questi aspetti possono condizionare l'attuazione di una politica e devono essere tenuti in considerazione.
- **Reversibilità** – Le conseguenze dell'attuazione di una politica devono essere attentamente considerate. Le politiche devono essere equilibrate, basate sulle informazioni del momento ed abbastanza flessibili da poter essere modificate quando si rendono disponibili nuovi dati.

13.3 Basi scientifiche

Le valutazioni su base scientifica di tutti i rischi derivanti dall'esposizione a campi elettromagnetici costituiscono la base per le linee guida internazionali sui limiti di esposizione e forniscono un dato essenziale per le scelte politiche. I criteri e le procedure per la determinazione dei valori limite sono presentati nel documento OMS: "Framework for Developing Health-Based EMF Standards" (WHO, 2006).

13.3.1 Standard di emissione e di esposizione

Gli standard contengono specifiche tecniche o altri criteri precisi, sistematicamente usati come regole, linee-guida o definizioni di caratteristiche per garantire che materiali, prodotti, processi e servizi corrispondano ai loro scopi. Nel contesto dei campi elettromagnetici, essi possono essere standard di emissione che specificano i limiti di emissione di un dispositivo, standard di misura che descrivono come si possa garantire il rispetto dei limiti di emissione, o standard di esposizione che specificano i limiti di esposizione per tutti i dispositivi che emettono campi elettromagnetici in ambito residenziale o professionale.

Gli standard di emissione stabiliscono varie specifiche per i dispositivi che emettono campi elettromagnetici e si basano generalmente su considerazioni ingegneristiche per minimizzare le interferenze elettromagnetiche con altre apparecchiature e/o per ottimizzare l'efficienza del dispositivo. Le norme di emissione sono di solito sviluppate dall'International Electrotechnical Commission (IEC), dall'Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE), dall'International Telecommunications Unit (ITU), dal Comité Européen de Normalization Electrotechnique / European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC), nonché da altre organizzazioni indipendenti e agenzie nazionali di standardizzazione.

Gli standard di emissione hanno, tra l'altro, lo scopo di assicurare il rispetto dei limiti di esposizione, ma non sono esplicitamente basati su considerazioni sanitarie. In generale, si assume che gli standard di emissione garantiscano che i campi generati da un dispositivo siano sufficientemente bassi da non causare il superamento dei limiti di esposizione, anche in prossimità di altri dispositivi che emettono campi elettromagnetici.

Gli standard di esposizione, che limitano l'esposizione dell'uomo ai campi elettromagnetici, si basano su studi scientifici che forniscono informazioni sugli effetti sanitari dei campi elettromagnetici, sulle caratteristiche fisiche e le sorgenti in uso, sui conseguenti livelli di esposizione e sulle persone a rischio. Gli standard di esposizione fanno generalmente riferimento ai livelli massimi a cui è consentita l'esposizione del corpo intero o di sue parti, per effetto di un numero qualsiasi di sorgenti. Gli standard di questo tipo includono in genere dei fattori di sicurezza e costituiscono la guida fondamentale per la limitazione dell'esposizione individuale. Linee-guida per questi standard sono state sviluppate dall'International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), dall'Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) e da molte agenzie nazionali. Esse sono discusse nel Capitolo 12. Alcuni paesi hanno adottato le raccomandazioni ICNIRP, mentre altri le usano come norme di fatto, senza attribuire loro una base legale (WHO, 2006b).

13.3.2 I rischi in prospettiva

Vi sono incertezze scientifiche sulla possibilità che l'esposizione cronica a campi magnetici ELF aumenti il rischio di leucemia infantile. Inoltre, dati il piccolo effetto stimato di questo rischio, la rarità della leucemia infantile, la rarità di esposizioni medie superiori a 0,4 μ T e l'incertezza nello stabilire quale metrica di esposizione sia significativa (si veda la Sezione 12.5.3), è improbabile che l'adozione di un limite di esposizione basato sui dati relativi alla leucemia infantile e finalizzato a ridurre l'esposizione media ai campi magnetici ELF al di sotto di 0,4 μ T costituisca nel complesso un beneficio per la società.

Le effettive esposizioni della popolazione a campi magnetici ELF sono generalmente molto più basse dei limiti delle linee-guida internazionali. Le preoccupazioni del pubblico riguardano però spesso la possibilità di effetti a lungo termine causati da esposizioni ambientali di basso livello. La classificazione dei campi magnetici ELF come possibili agenti cancerogeni ha indotto alcuni paesi a riconsiderare se i limiti di esposizione forniscano una protezione sufficiente. Questo riesame ha portato un certo numero di paesi e di governi locali a sviluppare misure precauzionali, che vengono qui di seguito discusse.

13.4 Approcci su base cautelativa

Poiché la protezione della popolazione è parte del processo politico, è prevedibile che paesi diversi possano decidere di fornire livelli diversi di protezione dai rischi ambientali, a seconda dei fattori che condizionano le loro politiche sanitarie (si veda la Sezione 13.2.2). Vari approcci protezionistici sono stati suggeriti per tener conto delle incertezze scientifiche. Negli ultimi anni, si è fatto sempre più riferimento a politiche cautelative ed in particolare al Principio di Precauzione.

Il Principio di Precauzione è uno strumento per la gestione del rischio applicato a situazioni di incertezza scientifica in cui potrebbe essere necessario agire prima che vi siano forti prove di danno. Il principio è volto a giustificare risposte provvisorie a minacce potenzialmente serie per la salute, fino a quando dati adeguati non consentano di fornire risposte basate su un maggior fondamento scientifico. Il Principio di Precauzione è menzionato nel diritto internazionale (EU, 1992; United Nations, 1992) e costituisce la base della legislazione ambientale europea (EC, 2000). Viene anche citato in qualche normativa nazionale, ad esempio in Canada (Government of Canada, 2003) e in Israele (Government of Israel, 2006). Il Principio di Precauzione e la sua relazione con la scienza e con lo sviluppo di normative sono stati discussi in diverse pubblicazioni (Foster, Vecchia & Repacholi, 2000; Kheifets, Hester & Banerjee, 2001).

13.4.1 Politiche cautelative esistenti per i campi ELF

Di fronte ai possibili effetti di un'esposizione cronica ai campi ELF, i responsabili hanno risposto con una varietà di politiche cautelative diverse, sulla base di considerazioni culturali, sociali e legali. Tra queste figurano il peso dato alla possibilità di evitare una malattia che interessa soprattutto i bambini, l'accettabilità di esposizioni involontarie rispetto a quelle volontarie e la diversa importanza assegnata alle incertezze nel processo decisionale. Alcune misure sono obbligatorie e imposte per legge, mentre altre sono linee guida volontarie. Vengono qui di seguito presentati alcuni esempi.

- **Prudent avoidance** – Questa politica precauzionale è stata sviluppata per i campi elettromagnetici a frequenza industriale. Essa è definita come l'adozione di provvedimenti per ridurre l'esposizione a campi ELF, ridisegnando il tracciato degli impianti e riprogettando sistemi e dispositivi elettrici a costi bassi o modesti (Nair, Morgan & Florig, 1989). La *Prudent Avoidance* è stata adottata come parte della politica sanitaria in diversi paesi tra cui l'Australia, la Nuova Zelanda e la Svezia (vedi Tabella 85). Le misure che possono essere adottate a "basso costo" comprendono il tracciato di nuove linee elettriche lontano da scuole e configurazioni di fasi e conduttori delle linee elettriche tali da ridurre i campi magnetici in prossimità delle fasce di rispetto.

- **Azioni passive di regolamentazione** – Questa raccomandazione, introdotta negli Stati Uniti per il problema dei campi ELF (NIEHS, 1999), sostiene l'opportunità di istruire il pubblico sui modi per ridurre l'esposizione personale, piuttosto che stabilire effettive misure per la riduzione dell'esposizione.
- **Controllo cautelativo delle emissioni** – Questa politica, attuata in Svizzera, è utilizzata per ridurre l'esposizione a campi ELF attraverso il mantenimento delle emissioni al più basso livello “tecnicamente ed operativamente possibile”. Le misure per minimizzare le emissioni dovrebbero essere anche “economicamente praticabili” (Swiss Federal Council, 1999). Sono controllati i livelli di emissione da parte di un determinato apparato o di una classe di apparati, ma come massimi livelli di esposizione sono adottati per tutte le sorgenti di campi elettromagnetici i limiti internazionali (ICNIRP, 1998a).
- **Limiti di esposizione cautelativi** – Come misura cautelativa, alcuni Paesi hanno ridotto i limiti di esposizione. Ad esempio, nel 2003, l'Italia ha adottato le norme ICNIRP, ma ha introdotto due ulteriori limiti per l'esposizione a campi elettromagnetici (Government of Italy, 2003): (a) “valori di attenzione”, pari ad un decimo dei livelli di riferimento ICNIRP, per aree specifiche come parchi giochi per bambini, abitazioni ed edifici scolastici e (b) “obiettivi di qualità”, ancora più restrittivi, applicabili unicamente a nuove sorgenti e nuove abitazioni. I valori scelti per i campi a 50 Hz, cioè 10 μ T e 3 μ T rispettivamente, sono arbitrari. Non vi sono né evidenze di possibili effetti acuti a quei livelli, né dati di studi epidemiologici sulla leucemia che suggeriscano che un'esposizione a 3 μ T sia più sicura di una a 10 o 100 μ T.

Tabella 85. Esempi di approcci cautelativi

Approccio cautelativo	Paese	Misure
<i>Prudent Avoidance</i>	Nuova Zelanda Australia Svezia	Adozione delle linee guida ICNIRP con l'aggiunta di misure volontarie a basso costo per ridurre l'esposizione
Azioni passive di regolamentazione	USA	Istruzione del pubblico sulle misure per ridurre l'esposizione
Controllo cautelativo delle emissioni	Svizzera	Adozione delle linee guida ICNIRP e definizione di limiti di emissione
Limiti cautelativi di esposizione	Italia	Diminuzione dei limiti di esposizione attraverso fattori di riduzione arbitrari

Altri esempi di vari tipi di politiche precauzionali applicati ai campi a frequenza industriale sono riportati nella Tabella 86 (Kheifets et al, 2005). Una raccolta completa, a livello mondiale, delle normative sui campi elettromagnetici è disponibile sul sito del Progetto internazionale CEM (WHO, 2006b).

Tabella 86. Vari approcci per la limitazione dell'esposizione del pubblico a campi elettromagnetici

Agenzia/Paese		Limiti	Commenti
<i>Politiche cautelative basate su limiti di esposizione</i>			
Israele, 2001		1 μT	Impianti di nuova costruzione
Italia, 2003		100 μT	Il valore di attenzione si applica per esposizioni che superano le 4 ore giornaliere
		10 μT	
		3 μT	
USA		15-25 μT	In condizioni di massimo carico: stabilite da normative nel caso di alcuni Stati (es. Florida) e da linee-guida informali in altri (es. Minnesota)
		0,2-0,4 μT	Adottati in qualche ordinanza locale (es. Irvine, California)
<i>Politiche cautelative basate sull'allontanamento degli individui dalle sorgenti di esposizione</i>			
Irlanda, 1998	Nessuna nuova linea di trasmissione o sottostazione a meno di 22 metri da una scuola o da un edificio già esistente		Il governo locale non rilascerà alcun permesso di costruzione per impianti di energia elettrica in prossimità di scuole e asili
Olanda, 2005	Aumento della distanza tra elettrodotti e luoghi dove i bambini possono passare una quantità di tempo significativa, per assicurare che la loro esposizione media non superi 0,4 μT		Per nuovi edifici vicini a linee elettriche esistenti, o per nuove linee vicino a edifici esistenti
USA	Restrizioni sulla collocazione di nuove scuole in prossimità di linee elettriche di trasmissione preesistenti		Adottata dal Dipartimento dell'Istruzione della California
	Le nuove linee dovranno essere interrate, a meno che ciò non sia tecnicamente impossibile, e si devono creare zone di rispetto in prossimità di aree residenziali, scuole, asili e campeggi per ragazzi		Adottata dallo Stato del Connecticut
<i>Politiche cautelative basate sui costi</i>			
USA	Cambiamenti di progetto o di tracciato a costi nulli o bassi, se si può ottenere una riduzione significativa del campo (più del 15%); si usa come riferimento il 4% del costo del progetto		Adottata dalla Commissione Servizi Pubblici dello Stato della California
<i>Politiche cautelative basate su obiettivi non quantitativi</i>			
Australia, 2003	Riduzione dell'esposizione, quando sia facilmente ottenibile		
Svezia, 1996	Riduzione dell'esposizione, senza raccomandazioni sui livelli		Include la considerazione dei campi elettromagnetici nella progettazione di nuovi impianti di trasmissione e distribuzione e la loro collocazione lontano da aree sensibili

13.5.2 Costi e fattibilità

Il problema che si pone a chi deve stabilire delle norme è come determinare e valutare il bilancio tra i vari obiettivi e vincoli. Se si desidera una tolleranza zero nei confronti del rischio i costi non hanno importanza, ma ciò è problematico in un mondo con risorse limitate. D'altra parte, accettare comunque l'introduzione e l'uso di tecnologie a meno che non ne sia stata dimostrata la pericolosità significa ignorare qualsiasi effetto sanitario potenziale e ciò potrebbe comportare un prezzo che la società non è disposta a pagare.

In una prospettiva utilitaristica, non si possono prendere decisioni senza considerare i costi e questi costi devono essere confrontati con i benefici. Costi e benefici delle diverse opzioni devono essere considerati al livello più ampio e devono anche essere presentati in modo tale che si possa capire quali siano i costi e i possibili benefici per le diverse parti interessate. Si devono includere tutti i costi, siano essi sostenuti dall'industria, dai consumatori o da altri. Anche tenendo in considerazione il legittimo desiderio della società di propendere per la sicurezza, sarebbe verosimilmente difficile giustificare qualcosa di più che misure a costi molto bassi per ridurre l'esposizione ai campi ELF.

Esempi di approcci basati sulla considerazione di costi e benefici di azioni precauzionali per i campi elettromagnetici possono trovarsi in diversi paesi. Un esempio di valutazione dei costi di possibili azioni per la riduzione dei campi generati da elettrodotti è fornito dall'Olanda (Kelfkens et al., 2002). In questo caso si sono usati i registri geografici nazionali per individuare le abitazioni vicine a linee elettriche e quindi calcolare il numero di case esposte a vari livelli di campi magnetici ELF. Si sono poi presi in considerazione quattro possibili interventi: riconfigurazione della sequenza delle fasi, separazione dei conduttori, spostamento delle linee e interrimento dei cavi, valutando i costi di ogni opzione per le linee presso cui vivevano persone. Si è anche calcolato quanto ognuna di queste misure incidesse sulla distanza dalla linea a cui si registravano i vari livelli di campo. Dividendo il costo per il numero di abitazioni sottratte a esposizioni superiori al livello assegnato si otteneva un "costo medio per abitazione guadagnata". Per il livello di 0,4 μT , il costo per abitazione nel caso di riconfigurazione delle fasi, separazione dei conduttori, spostamento delle linee ed interrimento delle stesse risultava rispettivamente di 18,000, 55,000, 128,000 e 655,000 Euro. Un'analisi di questo tipo è utile per i responsabili politici, perché permette di considerare e confrontare misure tecniche con altre misure, come lo spostamento delle linee elettriche o delle abitazioni.

Ampie analisi di "cosa succederebbe se", relative ai campi elettromagnetici generati da elettrodotto o presenti nelle scuole, sono state condotte sul finire degli anni '90 in California. Gli autori hanno affrontato, sia secondo un approccio utilitaristico, sia secondo uno di dovere etico, la domanda: "Quale grado di certezza dobbiamo avere circa l'effetto dei campi elettromagnetici sulla salute prima di adottare misure, a basso costo o care, per evitarli?". I risultati sono stati sintetizzati in un documento di "Opzioni di condotta". Sono stati sviluppati modelli di calcolo che consentono di studiare l'effetto di diverse variabili, come costi, probabilità di malattia e gravità della malattia (von Winterfeldt et al., 2004). L'analisi costo-beneficio tende a suggerire che misure a costi modesti per evitare l'esposizione potrebbero essere giustificate dal punto di vista costo-beneficio quando il grado di certezza scientifica è inferiore a "oltre ogni ragionevole dubbio". Tale approccio non è stato formalmente adottato in California, dove è stata recentemente riaffermata la politica del costo zero o costo basso.

Nel 1996, cinque autorità governative svedesi hanno pubblicato una "Guida per i decisori", in cui si raccomandava prudenza a costi ragionevoli. Si fornivano esempi di stime di costo per diversi casi. Sulla base della loro definizione del Principio di Precauzione, si dovrebbero prendere in considerazione misure cautelative quando i campi si scostano di molto dai valori che possono considerarsi normali nell'ambiente in esame (Svezia, 2006).

Per attribuire un valore indicativo al beneficio costituito dalla prevenzione di casi di morte o di malattia è disponibile un'ampia letteratura relativa a settori diversi dai campi elettromagnetici. I due approcci principali per ricavare un valore monetario sono quello del "capitale umano" e quello della "disponibilità a pagare". Per il "capitale umano" si cerca di calcolare la perdita che un decesso causa alla società, ad esempio stimando i

salari perduti che la persona avrebbe guadagnato nel resto della sua vita e includendo anche, in analisi più sofisticate, ad esempio, il costo sostenuto dalla società per la cura delle malattie, ecc. Per la “disponibilità a pagare” si cerca di osservare cosa gli individui, o la società nel suo complesso, sono disposti a pagare per prevenire malattie o casi di morte, ad esempio considerando a quanto vengono pagati in più coloro che praticano professioni ad alto rischio, o quanto le persone sono disposte a pagare per evitare di vivere in una zona sismica.

Entrambi gli approcci, del “capitale umano” e della “disponibilità a pagare” dipendono dalle specifiche società. Ad esempio, un’analisi dell’OMS dal titolo “Il costo del diabete nell’America Latina e nei Caraibi” (Alberto et al, 2003), ha utilizzato l’approccio del capitale umano calcolando i guadagni persi per morte prematura o invalidità e stimando il valore di una morte prematura in America Latina e nei Caraibi in 37.000 dollari per persona. Ma un’analisi dell’OMS (Adam et al, 1999) sul valore economico di una morte prematura per fumo passivo cita uno studio statunitense dell’EPA che stima in 4,8 milioni di dollari a persona la “disponibilità a pagare” per la perdita di una vita umana e un altro studio che stima lo stesso valore in 5 milioni di dollari. Per determinare tali cifre si è usato il metodo del *wage-risk tradeoff*.

Questi esempi permettono di comprendere come alcuni ricercatori ed autorità nazionali o locali hanno analizzato i diversi scenari, assumendo che il potenziale rischio sanitario dell’esposizione a campi ELF sia abbastanza alto da adottare misure cautelative. Per i paesi che non dispongono delle risorse necessarie a condurre questo tipo di studio, vengono fornite di seguito delle raccomandazioni che il Gruppo di Lavoro ritiene adeguate, sulla base di tutte le evidenze considerate.

13.5 Discussione e raccomandazioni

Si incoraggiano i paesi ad adottare le linee guida internazionali, fondate su basi scientifiche. Nel caso dei campi elettromagnetici, l’armonizzazione delle normative a livello internazionale è un obiettivo a cui i paesi dovrebbero tendere (WHO, 2006a).

Se si prendono in considerazione misure cautelative come integrazione degli standard, queste dovrebbero essere applicate in modo tale da non minare le linee guida scientificamente fondate.

A seguito della considerazione delle diverse opzioni, i decisori dovranno scegliere ed attuare delle misure, appropriate e specifiche per ogni paese, per proteggere il pubblico ed i lavoratori dall’esposizione a campi ELF. I fattori rilevanti per la valutazione di ciascuna opzione sono forniti nella Tabella 87. Le misure cautelative sono generalmente adottate attraverso codici di comportamento volontari, azioni di incoraggiamento o programmi di collaborazione piuttosto che essere imposte obbligatoriamente e dovrebbero essere considerate come strumenti provvisori.

Tabella 87. Fattori rilevanti per l'analisi di ciascuna opzione

Opzione	Fattori rilevanti nella considerazione dei benefici	Fattori rilevanti nella considerazione dei costi
Non fare nulla	La leucemia infantile è una malattia relativamente rara e solo una piccola frazione della popolazione è esposta ai livelli citati negli studi epidemiologici (media temporale stimata al di sopra di 0,3 o 0,4 μT) Molte incertezze sull'efficacia delle politiche, che potrebbero essere ridotte con i progressi della scienza Quando le uniche opzioni disponibili sono costose, può essere meglio non adottare alcuna azione formale Consente di adattare la politica quando emergono nuovi dati	Nessuna possibilità di ridurre il peso delle malattie Nessun progresso nella eliminazione delle incertezze e nel miglioramento delle conoscenze Mina la fiducia nelle autorità. I cittadini preoccupati possono prendere personalmente in mano il problema
Ricerca	Riduce l'incertezza e facilita decisioni migliori Dà un proprio contributo scientifico Aiuta lo sviluppo di soluzioni	Può sottrarre risorse da aree a più alta priorità Può ritardare le azioni in attesa dei risultati scientifici
Comunicazione	Un pubblico informato: - Può valutare meglio l'accettabilità dei vari livelli di rischio dei campi ELF - Può ridurre le sue preoccupazioni, dovute a un'errata percezione dei rischi ELF - Può accrescere la sua fiducia in chi fornisce le informazioni Cittadini e lavoratori informati: - Possono essere coinvolti nelle decisioni relative a sorgenti ELF. - Possono prendere decisioni informate sugli elettrodomestici da acquistare sulla loro collocazione per minimizzare l'esposizione - Possono influire sulle forze di mercato per la progettazione di sorgenti che minimizzino l'esposizione (ad es. coperte elettriche)	Può creare allarmismi o preoccupazioni ingiustificate Può avere un'efficacia limitata, quando la comprensione dell'esposizione è difficile o quando l'esposizione è involontaria e difficilmente evitabile

Tabella 87. Segue

Opzione		Fattori rilevanti nella considerazione dei benefici	Fattori rilevanti nella considerazione dei costi
Mitigazione	Modifiche nella progettazione di nuovi impianti	Riconsiderazione della necessità di nuovi impianti Si evitano esposizioni non necessarie confrontando diversi scenari di progettazione in modo da minimizzare l'esposizione Utilizzo della migliore tecnologia disponibile Costi più bassi perché le opzioni vengono considerate in fase di pianificazione delle nuove installazioni	Richiede la presentazione di progetti tecnici alternativi per la costruzione di nuovi impianti I costi possono includere la sterilizzazione del terreno, la svalutazione della proprietà e il pagamento di indennizzi Possibilità di creare un precedente per i progetti futuri indipendente-mente dalle circostanze future
	Modifiche nella progettazione di impianti esistenti	Riduzione dell'esposizione adottando misure protettive come l'installazione di schermature, cambiamenti nelle procedure cablaggio nelle abitazioni e nei sistemi di distribuzione e di trasmissione (separazione delle fasi, aumento del franco dal suolo, messa a terra, ecc.)	Una parte significativa del costo può essere dovuta all'individuazione delle necessità piuttosto che ai rimedi I cambiamenti introdotti in installazioni esistenti implicano costi più elevati I costi possono includere la sterilizzazione del terreno, la svalutazione della proprietà ed il pagamento di indennizzi
	Modifiche nella progettazione di apparecchiature	Riduzione dell'esposizione ai campi magnetici	Aumento del costo (o delle dimensioni o del peso) delle apparecchiature
Norme nazionali	Limiti di esposizione	Possono accrescere la fiducia del pubblico nelle azioni delle autorità per la protezione della salute	Possono minare linee guida scientificamente fondate Possono dare un falso senso di sicurezza Possono ostacolare gli stimoli per ulteriori riduzioni di esposizioni indebite Costo per il loro rispetto Difficili da modificare in norme meno stringenti, se nuovi dati scientifici lo giustificano

* Ad eccezione della prima, tutte le opzioni sono valutate in relazione al "Non fare nulla" piuttosto che all'adozione delle linee guida internazionali

Percezione e comunicazione del rischio

La mancanza di un'armonizzazione delle politiche di protezione a livello mondiale è uno dei molti fattori che possono esacerbare l'ansia del pubblico. La percezione del rischio da parte degli individui dipende da fattori personali, da fattori esterni e dalla natura del rischio (Slovic, 1987). I fattori personali includono l'età, il sesso, la formazione culturale o il grado di istruzione, mentre i fattori esterni comprendono i mezzi di informazione e le altre forme di divulgazione, la situazione politica ed economica del momento, i movimenti di opinione e la struttura dei processi normativi e decisionali in seno alla comunità.

La natura del rischio può anche portare a percezioni diverse, secondo il grado di controllo che il pubblico ha di una situazione, la correttezza e l'equità nella localizzazione delle sorgenti di campi elettromagnetici e il timore di specifiche malattie (ad esempio il cancro rispetto al mal di testa). Tanto maggiore è il numero di fattori che contribuiscono alla percezione del rischio da parte del pubblico, tanto maggiore è la possibilità di preoccupazioni. La preoccupazione del pubblico si può ridurre con l'informazione e la comunicazione tra cittadini, scienziati, governo e industria. Un'efficace comunicazione del rischio non consiste solo in una presentazione di calcoli scientifici, ma anche in uno spazio di discussione su più ampi temi di carattere etico e morale (WHO, 2002).

Consultazione

L'accettabilità dei rischi dei campi ELF, rispetto ad altri rischi ambientali per la salute, è in ultima analisi una questione di valori e di giudizi politici e sociali, almeno tanto quanto di informazione scientifica. Perché si crei nel pubblico credibilità e fiducia, si devono coinvolgere nei processi decisionali tutte le parti interessate al momento giusto. Tra queste parti figurano, per quanto riguarda i campi ELF, le agenzie governative, le comunità scientifiche e mediche, i gruppi di autodifesa, le organizzazioni di tutela dei consumatori, le organizzazioni di protezione ambientale, altri professionisti coinvolti come pianificatori e agenti immobiliari, nonché l'industria, in particolare l'industria elettrica e i produttori di apparati. Anche se non sempre si raggiungerà un consenso su questi temi, le posizioni assunte devono essere trasparenti, basate su dati ed in grado di reggere a valutazioni critiche.

Necessità di valutazioni periodiche

Man mano che si rendono disponibili nuovi dati scientifici, le linee guida e gli standard di esposizione dovrebbero essere aggiornati. Certi studi possono più di altri suggerire un riesame delle basi scientifiche delle linee-guida e degli standard, per l'importanza dei dati o per la gravità degli effetti sanitari in studio. Modifiche alle norme o alle politiche sanitarie dovrebbero essere apportate solo dopo un'adeguata valutazione dei fondamenti scientifici nella loro totalità, per assicurare che le conclusioni della ricerca in un dato settore siano coerenti.

Riduzione dell'esposizione

Nel raccomandare approcci cautelativi, un principio generale deve essere che qualsiasi azione adottata non comprometta i fondamentali benefici sanitari, sociali ed economici dell'energia elettrica. Alla luce delle attuali evidenze scientifiche e date le importanti incertezze che ancora rimangono, si raccomanda di valutare l'influenza di ogni approccio cautelativo sui benefici sanitari, sociali ed economici dell'elettricità. Purché tali benefici non vengano compromessi, l'adozione di procedure cautelative per ridurre le esposizioni è ragionevole e giustificata. I costi per ridurre l'esposizione variano da un paese all'altro e ciò rende molto difficile una raccomandazione generale su come bilanciare costi e rischi relativi ai campi ELF. Data la debolezza delle evidenze di un legame tra esposizione a campi magnetici ELF e leucemia infantile e il limitato impatto potenziale sulla salute pubblica, i benefici sanitari di una riduzione dell'esposizione risultano non chiari e quindi il costo per la riduzione dovrebbe essere molto basso.

13.5.1 Raccomandazioni

Alla luce di quanto sopra, si raccomanda che:

- I responsabili delle politiche sanitarie stabiliscano delle linee guida per l'esposizione ai campi ELF, sia per il pubblico sia per i lavoratori. Il migliore riferimento, sia per i livelli di esposizione sia per i criteri di valutazione scientifica è costituito dalle linee guida internazionali;
- I responsabili delle politiche sanitarie definiscano un programma di protezione dai campi ELF che comprenda la misura dei campi generati da qualunque tipo di sorgente, per assicurare che i limiti di esposizione non vengano superati né per il pubblico né per i lavoratori;
- Purché non vengano compromessi i benefici sanitari, sociali ed economici dell'energia elettrica, l'adozione di procedure cautelative a costi molto bassi per ridurre le esposizioni è ragionevole e giustificata.
- I decisori e i progettisti adottino misure a costi molto bassi nella costruzione di nuovi impianti e nel progetto di nuovi apparecchi, compresi gli elettrodomestici;
- Si prendano in considerazione modifiche nelle pratiche ingegneristiche per ridurre le esposizioni dovute a sistemi e apparecchiature, purché questi apportino ulteriori benefici, come un aumento della sicurezza, oppure siano a costi bassi o nulli;
- Quando si prevedano modifiche a sorgenti di campi ELF già esistenti, la riduzione dei campi ELF sia considerata insieme alla sicurezza, all'affidabilità e agli aspetti economici;
- Le autorità locali impongano norme di cablaggio per ridurre correnti non intenzionali di ritorno a terra nella costruzione di nuovi impianti o nel rinnovo del cablaggio di impianti esistenti, mantenendo comunque la sicurezza. Iniziative per identificare violazioni delle norme o problemi esistenti nel cablaggio sarebbero costose e probabilmente ingiustificate;
- Le autorità nazionali adottino una strategia di comunicazione efficace ed aperta per consentire a tutte le parti in causa di prendere decisioni informate; ciò dovrebbe comprendere informazioni sul modo in cui i singoli possono ridurre le proprie esposizioni;
- Le autorità locali migliorino la progettazione di impianti che generano campi elettromagnetici, anche con una migliore consultazione tra industria, governo locale e cittadini nella localizzazione di sorgenti importanti di campi elettromagnetici;
- Governi e industria promuovano programmi di ricerca atti a ridurre le incertezze dei dati scientifici relativi agli effetti sulla salute dell'esposizione a campi ELF.

Note alla traduzione italiana

Il presente documento costituisce la traduzione italiana di capitoli estratti dal volume “Campi a frequenza estremamente bassa” pubblicato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) nella serie “Environmental Health Criteria” (n. 238).

I capitoli selezionati per la traduzione, oltre al preambolo, sono i numeri 1, 12 e 13 che costituiscono, rispettivamente, il riassunto generale, la valutazione dei rischi sanitari e le conclusioni e raccomandazioni. Si ritiene infatti che questi siano di più diretto interesse per i politici e gli amministratori, per le agenzie ambientali e sanitarie, per i mezzi di informazione e per il pubblico in generale. Per i rimanenti capitoli, più strettamente tecnici, si rimanda al testo originale inglese, disponibile al sito del progetto Internazionale Campi Elettromagnetici dell'OMS.

Si rinvia al testo originale anche per la bibliografia. Per mantenere la corrispondenza delle citazioni, si è mantenuta la forma inglese anche quando il riferimento è a un documento italiano.

Nella traduzione si è cercato di mantenere la massima aderenza al testo originale, limitando le divergenze a quelle imposte dalla diversa struttura sintattica delle due lingue. In caso di involontarie discordanze, o di ambiguità nell'interpretazione, fa testo la versione originale.

(Traduzione italiana di Paolo Vecchia e Valeria Lorenzini)

Questo documento, pubblicato a cura del progetto “Salute e campi elettromagnetici” del Ministero della Salute – Centro Controllo Malattie, costituisce la traduzione italiana di capitoli selezionati del documento originale in inglese “Environmental Health Criteria 238 – Extremely Low Frequency Fields” pubblicato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità.

La responsabilità del testo italiano è interamente dei traduttori. In caso di difformità rispetto all'originale, fa fede il testo inglese.

Il testo originale in inglese è scaricabile all'indirizzo: www.who.int/peh-emf (ultimo accesso 01.09.2009).