



S15.6 - Effetti dei campi elettromagnetici (900 e 1.800 MHz) sugli spermatozoi umani

F.Ligabue Stricker^{*}, B.Ghiringhello[†], D.Trincherò[#], I.Riccardi[§], C.Arnelli[#],
P.Plachesi[†], V.Di Costanzo^{*}, D.Ducourtill^{*}

^{*} Dipart. di Biologia Animale e dell'Uomo, Università degli Studi di Torino, Via Accademia Albertina 13, 10123 Torino, Italia

[†] Azienda OIRM-S.Anna, Corso Spezia 60, 10126 Torino, Italia

[#] Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Italia

[§] A.R.P.A. Piemonte, Dipartimento di Cuneo, Via Massimo D'Azeglio 4, 12100 Cuneo, Italia

Abstract

La crescita esponenziale dell'elettrosmog conseguente alla massiccia diffusione della telefonia mobile ha suscitato notevole allarme. I metodi epidemiologici tradizionalmente usati in Ecologia Umana per valutare i danni ambientali hanno fornito risultati contrastanti favoriti dal lungo tempo di latenza di molti tumori. Si è pertanto deciso di valutare i danni subiti da spermatozoi umani esposti a campi ad alta frequenza. Il materiale proveniente da 200 volontari è stato esposto a campi a 900 e 1.800 MHz. I campioni sono stati esaminati dal laboratorio di Anatomia Patologica dell'Ospedale Sant'Anna di Torino per valutare la Motilità Spermatica prima e dopo l'esposizione. Soprattutto a 1.800 MHz vi sono differenze significative nella motilità delle cellule di terzo grado, le più attive. Suddividendo i campioni in base agli SMI (Sperm Mobility Index) di partenza, è evidente l'alterazione della motilità spermatica nei soggetti con buona qualità di seme (SMI 160-300); mentre fra irradiati e non irradiati si riscontrano differenze a livello di motilità di terzo grado (movimento veloce e rettilineo) e di mobilità generale (somma del III, II e I grado). Lo studio ha evidenziato che oggetti con buon seminale di partenza (SMI 160-300), sotto l'effetto di campi elettromagnetici a 1800 MHz, sono più esposti ad alterazioni della motilità spermatica. © 2005 SItE. All rights reserved

Keywords: spermatozoi umani, campi elettromagnetici, 900MHz, 1800MHz

1. Introduzione

Nell'Ottocento, le innovazioni tecnologiche e lo sviluppo industriale, hanno prodotto inquinamenti ambientali di tipo chimico-fisico che si sono aggiunti a quelli esistenti determinati dall'urbanizzazione.

Nel Novecento, l'intensificarsi di tali tendenze ha peggiorato di per sé la situazione, ma in aggiunta si sono manifestati gli effetti dell'utilizzo su ampia scala dell'elettricità ed infine dell'elettronica (Olivetti 2002).

Ai giorni nostri l'inquinamento generato da campi elettrici e/o magnetici artificiali, l'elettrosmog, ha assunto un'importanza non trascurabile e tra le molteplici cause di inquinamento attuali è proprio questa ad attirare da alcuni anni l'attenzione degli studiosi.

Dagli inizi del secolo ad oggi nelle aree urbane vi è stato un aumento esponenziale del livello del fondo elettromagnetico e sottrarsi all'elettrosmog è ormai praticamente impossibile. Siamo esposti giorno e notte non solo ai campi elettromagnetici prodotti da grandi elettrodotti, macchinari industriali, militari e

biomedicali, ma soprattutto a quelli generati dai comuni elettrodomestici o dalle normali apparecchiature per ufficio.

In quest'ultimo decennio, anche le telecomunicazioni hanno dato un importante contributo in quanto si sono moltiplicati i dispositivi radianti, le bande di frequenza utilizzate e i tempi di esposizione all'irradiazione. La crescita delle comunicazioni mobili è stata esponenziale: i circa 20 milioni di cellulari presenti in Italia a fine 2000, erano già diventati 50,8 milioni a fine 2002. Applicando lo stesso trend ai 190 milioni di apparecchi stimati nel 1998 a livello mondiale, è evidente che siamo in presenza di un fenomeno importante e da non sottovalutare (Trincherò 2000).

La situazione generale sopra delineata ha sollevato non solo nell'opinione pubblica, ma anche negli ambienti scientifici e nelle istituzioni, una diffusa preoccupazione ed un vivo allarme per la salute, in relazione ai potenziali effetti di un'esposizione incontrollata a campi elettromagnetici di tanti tipi diversi (Gianola 2000; Scalia 1999).

La comunità scientifica internazionale ha pertanto dedicato un'attenzione sempre maggiore all'analisi dell'impatto ambientale e sanitario delle apparecchiature che emettono campi elettromagnetici (Baiona 2000).

Anche se le tecnologie attuali consentono di effettuare accurate misure degli inquinanti fisico-chimici e dei campi elettromagnetici, in campo ecologico non ci si limita più alla loro semplice determinazione quantitativa e ci si concentra su un approccio biologico.

Esempi pilota sono stati gli studi sui muschi e sui Nematodi condotti presso il Politecnico di Losanna e di Torino (Schaefer 1998; Quaglino *et al.* 2002). Ulteriori studi sono stati condotti su cellule coltivate in vitro mentre in campo umano esistono studi sull'alterazione dell'ECG in seguito all'uso di cellulari (Reiser *et al.*, 1995; Miro & Wiart, 1998), e studi epidemiologici, spesso contrastanti, sullo sviluppo dei tumori (si ricordi il caso degli abitanti delle zone vicino alle emittenti della stazione Radio Vaticana!) (Maskarinec *et al.* 1994; McKenzie *et al.* 1998; Hocking *et al.* 1996; Greco D., *et al.* 2001; ISPEL 1997.; Dolk, *et al.* 1997a; Dolk *et al.* 1997b; Wertheimer & Leeper 1979).

Questo tipo di indagini sperimentali è ancora di difficile esecuzione a causa della complessità del materiale da analizzare e anche se è certo che i campi elettromagnetici possono indurre mutamenti biologici, non è così facile determinare nell'uomo natura e quantità delle alterazioni da essi indotte.

È peraltro vero che il corpo umano non "sente" i campi elettromagnetici che lo circondano e che quindi non si può avere una percezione immediata delle conseguenze di una loro esposizione (Magnavita 2000): ci si accorge del danno quando ormai è irreparabile, ad esempio con l'insorgenza di patologie tumorali; queste, però, hanno un periodo di latenza così lungo che, anche per effetto di pressioni più o meno interessate, spesso si preferisce attribuire il danno a generici e plurimi fattori ambientali interagenti fra loro.

I risultati degli studi epidemiologici sull'insorgenza dei tumori prestano spesso il fianco a contestazioni in relazione alle interazioni spurie cui sono soggetti visti i lunghi periodi di latenza in gioco.

Indubbia è la difficoltà di stabilire puntuali correlazioni causa-effetto e difficile è tracciare una soglia limite oltre la quale non si possa più parlare di adattabilità fisiologica, ma di danno irreversibile.

La nostra ricerca mirava ad evidenziare effetti biologici dei telefoni cellulari in quanto generatori di onde elettromagnetiche ad alta frequenza e si è pertanto concentrata su cellule il cui danneggiamento fosse riscontrabile già nel breve periodo: gli spermatozoi umani.

È noto infatti che il sistema riproduttivo maschile è molto sensibile ad anomale esposizioni ambientali di tipo chimico-fisico: alte temperature, pesticidi, estrogeni ambientali, solventi organici (Sever & Hessol, 1985; Vermeulen 1993) e radiazioni ionizzanti (i testicoli sono uno dei tessuti più radiosensibili del corpo) (Tas *et al.* 1996;)

Poiché è nota la tendenza di molti uomini a posizionare il proprio cellulare sulla cinta dei pantaloni, o in tasca, si è cercato di verificare la presenza di alterazioni indotte da questi apparecchi i quali, come noto, emettono radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti.

2. Materiali e metodi

Allo scopo di analizzare gli effetti dei campi elettromagnetici generati da emittenti a 900 e 1800 MHz sugli spermatozoi umani, si sono analizzati 345 campioni spermatici provenienti da soggetti volontari, perfettamente sani ed in astinenza sessuale da quattro giorni. Il materiale è stato esaminato secondo il protocollo standardizzato elaborato dall'OMS (WHO 1992). Dopo una prima analisi macroscopica che ha preso in considerazione l'aspetto, il volume (v.n. 2-6 ml), la viscosità ed il pH dell'eiaculato (v.n.7,2-8,0), si è analizzata microscopicamente la concentrazione nemaspermica utilizzando la camera di Makler, la morfologia degli spermatozoi e la loro motilità suddividendola nelle cinque categorie standard:

- a) lineare veloce (mobilità di 3° grado),
- b) lineare lenta (mobilità di 2°),
- c) discinetica o non lineare (mobilità di 1°),
- d) agitatoria in loco o "in situ"
- e) immobili (acinesi): spermatozoi vivi ma inerti.

[In un campione normale $(a+b+c) \geq 50\%$ e $(a+b) \geq 25\%$]

I valori ottenuti con la suddetta analisi, nonostante siano rilevati da esaminatori esperti, sono comunque soggettivi (il WHO ammette un margine di errore del 5%), è pertanto buona norma integrarli con un dato oggettivo, anche se parziale. A tale scopo è stato utilizzato lo *Sperm Quality Analyzer* (SQA), apparecchiatura della M.E.S. (*Medical Elettronics Systems Ltd*) che consente in 40 secondi di ottenere un Indice di Mobilità dello Sperma (SMI) sicuramente oggettivo, ma insufficiente, secondo molti andrologi, per la valutazione complessiva della qualità del singolo movimento. Lo strumento fornisce "l'indice SMI" con valori compresi tra 0 (per campioni azoospermici) e 300 (per campioni di seme con ottime caratteristiche qualitative) e utilizza un algoritmo che, dopo una conversione analogica-digitale, tiene conto dei tre principali parametri dello sperma: concentrazione totale (M/ml); motilità utile in %; morfologia anormale in %.

La classificazione del seme ottenuta con tale apparecchio è riportata in tab.1:

SMI range	Qualità' del seme
0-80	Scarsa
81-160	Media
160-300	Buona

Tab. 1: Suddivisione del seme in tre classi, secondo il valore di SMI

I campioni con volume e pH alterati, concentrazione nemaspermica troppo bassa (azoospermici, ipozoospermici: spermatozoi $<20 \cdot 10^6/\text{ml}$) o troppo alta (polizoospermici: spermatozoi $>150 \cdot 10^6/\text{ml}$), mobilità generale $<50\%$ e quelli con $\text{SMI} < 20$ sono stati eliminati.

Da questa prima valutazione del materiale spermatico eseguita secondo le fondamentali regole elaborate dal WHO (World Human Organization, 1992), sono stati selezionati 200 campioni: 100 da sottoporre a sperimentazione con emittente a 900 MHz e 100 con emittente a 1800 MHz

Conclusa la fase di selezione, per ciascun campione valido si è prelevato 1 cc di eiaculato suddividendolo in due provette siglate NR (Non Irradiata: per la provetta di controllo) e IRR (Irradiata: da sottoporre a radiazione elettromagnetica) le quali sono state collocate in termostati separati e tarati entrambi alla temperatura di 37 °C. Uno di essi, quello contenente il trasmettitore, è stato posizionato all'interno di una gabbia di Faraday avente la funzione di isolare l'ambiente esterno dalle radiazioni emesse dalla cella emittente.

Per il posizionamento della provetta rispetto al trasmettitore si è previamente verificata l'equidirezionalità della propagazione delle onde elettromagnetiche. Il materiale è quindi rimasto esposto all'emittente per un'ora.

Terminata l'irradiazione, i campioni di ogni soggetto (quello irradiato ed il controllo) sono stati entrambi analizzati sia con l'SQA, sia microscopicamente da operatori esperti.

La lettura, in contemporanea, sullo stesso preparato è stata effettuata in doppio cieco: i tecnici hanno esaminato i preparati senza conoscere se si trattasse del campione irradiato o di quello di controllo. Al fine di non influenzarsi reciprocamente,

inoltre, hanno evitato di confrontarsi tra loro, se non a fine lettura.

Tutte le fasi della sperimentazione sono state standardizzate al massimo, per minimizzare i margini di errore.

Gli esami seminologici sono stati effettuati da settembre 2001 a gennaio 2003 presso i laboratori di Citologia del reparto di Anatomia Patologica dell'Osperdale Sant'Anna di Torino, in locali distanti da reparti di Radiologia e da apparecchi a forte emissione di campi elettromagnetici e quindi perfettamente a norma protezionistica.

La gabbia di Faraday contenente il termostato con l'emittente è stata appositamente costruita dal Dipartimento di Elettronica del Politecnico di Torino al fine di isolare il cellulare dall'ambiente circostante durante la fase di irradiazione; lo stato di funzionamento delle emittenti e della schermatura è stato controllato costantemente. A cura del Politecnico sono state effettuate accurate misurazioni del campo elettrico per determinare il valore massimo emesso dai terminali GSM a 900 e 1800 Mhz: a questo scopo si è allestito un banco di misura in camera anecoica per evitare interferenze esterne.

I due apparecchi sono poi stati impostati manualmente affinché trasmettessero sempre alla massima potenza disponibile.

Nella tabella sottostante si elencano i valori di massima potenza disponibile, i canali di traffico e le time slot impostati sui 2 trasmettitori GSM:

	GSM 900	GSM 1800
Potenza	33 dBm	30 dBm
Canale di traffico	62	699
Time Slot	3	3

2.1. Analisi dei dati

Le letture citologiche effettuate dai tecnici esperti del laboratorio sono state valutate singolarmente e giudicate confrontabili tra loro in quanto concordanti con le regole fondamentali sull'analisi spermatica stabilite dal WHO: lo scarto tra le valutazioni dei due lettori non supera infatti il 5%. Tutti i dati registrati sono stati esaminati statisticamente per verificare se vi fosse significatività di un cambiamento, dannoso o benefico, sul campione irradiato.

L'analisi dei dati è stata eseguita usando:

- test o χ^2 , sulle differenze di frequenza fra due campioni;
- test t di Student per dati accoppiati
- test di Wilcoxon per dati appaiati.

3. RISULTATI e CONCLUSIONI

Il campione è stato analizzato sia nella sua totalità che suddividendolo in tre classi SMI di partenza: 0-80: qualità del seme scarsa; 80-160: qualità del seme media; 160-300: qualità del seme buona.

La prima domanda che ci si è posta è stata quella relativa ad un'eventuale influenza della frequenza (900 o 1800 Mhz) sull'alterazione del livello di motilità conseguente all'irradiazione: l'analisi dei dati, condotta con il metodo del chi quadro χ^2 , non ha evidenziato alcuna differenza significativa riferibile alla frequenza utilizzata.

Si è pertanto passati ad analizzare i valori, dopo 1 ora, dell'Indice di Motilità Spermatica (SMI) del seminale irradiato (IRR) rispetto allo stesso non irradiato (NR).

Lo SMI secondo i tecnici esperti, è indubbiamente valido per una valutazione della motilità complessiva, ma non esprime cose che solo un occhio umano esperto può rilevare, ad esempio il movimento singolo degli spermatozoi in un campione. Bisogna ricordare, infatti, che l'SQA (lo strumento che calcola lo SMI) effettua una media dei parametri di valutazione (concentrazione totale, motilità e morfologia); è quindi fondamentale disporre anche di una dettagliata analisi al microscopio ottico la quale, pur presentando un margine di errore del 5%, sotto il profilo biologico fornisce indicazioni considerate più valide.

Si è quindi utilizzato il test *t* per dati appaiati per confrontare i vari parametri di motilità: dopo un'ora, con (IRR) e senza irradiazione (NR), considerando i campioni sia in toto che suddividendoli per tre differenti gradi di partenza (SMI 0-80, 80-160, 160-300). Si ricorda che i parametri di motilità sono riferiti alla mobilità di 1°, 2°, 3° grado, in situ ed immobili.

La motilità dei soggetti presi in toto (Fig. 1 e 2) evidenzia una differenza significativa nella motilità di grado 3 (movimento degli spermatozoi veloce e rettilineo): per esposizione a 900 MHz $t=2,25$

g.l.=44 $P=0,02$; per esposizione a 1800 MHz $t=2,31$
g.l.=99 $P=0,02$.

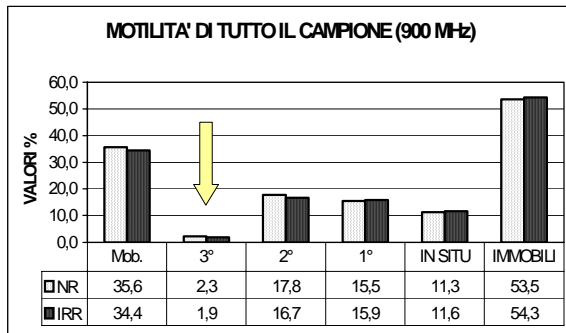


Fig. 1: Medie di motilità in valore % dei 100 casi esposti a 900 MHz (NR: non irradiati; IRR: irradiati);

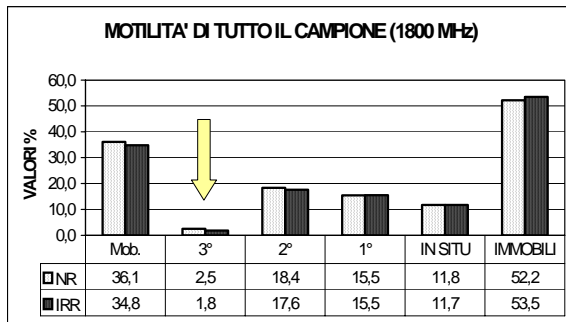


Fig. 2: Medie di motilità in valore % dei 100 casi esposti a 1800 MHz (NR: non irradiati; IRR: irradiati)

Suddividendo poi il campione esposto a 1800 MHz in classi secondo lo SMI di partenza (0-80, 80-160, 160-300), non si evidenziano differenze significative dei vari parametri di motilità per lo SMI 0-80 (qualità del seme scarsa) e per lo SMI 80-160 (qualità del seme media)

Per contro, nella classe con valori ottimali dello SMI di partenza (160-300: qualità del seme buona) (Fig. 3), si notano cambiamenti significativi della mobilità generale ($t=2,19$ g.l.=16 $P=0,04$), degli immobili ($t=2,19$ g.l.=16 $P=0,04$) e soprattutto negli spermatozoi di 3° ($t=2,63$ g.l.=16 $P=0,02$).

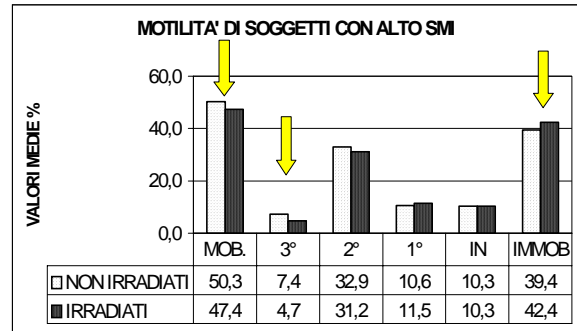


Fig. 3: Medie % di motilità dei soggetti con range di partenza 160-300 di SMI.

Analoghi risultati si sono avuti col *test di Wilcoxon della somma dei ranghi con segno*

3.1. Conclusioni

Dal confronto dei campioni irradiati con gli stessi non irradiati risulta statisticamente diversa la percentuale di cellule con motilità di terzo grado (definite le “migliori”), e soprattutto i soggetti con un buon seminale di partenza (SMI 160-300) potrebbero essere quelli più a rischio per un’alterazione dannosa a livello della motilità spermatica, sotto l’effetto di campi elettromagnetici ad alta frequenza,

Nell’ambito degli studi dei fattori ambientali esterni, (quale ad esempio, l’aumento incontrollato delle onde elettromagnetiche artificiali ad alta frequenza) alla base della crescente infertilità e dell’alterazione dei quadri spermatici i risultati ottenuti rappresentano un primo importante riscontro di alterazione spermatica dovuta all’azione diretta di onde elettromagnetiche ad alta frequenza e dimostrano l’esistenza di un rapporto causa-effetto tra esposizione a campi elettromagnetici e motilità spermatica. Ne consegue che, a fronte di ulteriori approfondimenti, quest’ultima potrebbe essere utilizzata per il *biomonitoraggio dell’elettrosmog* indotto dalle comunicazioni cellulari.

Ringraziamenti

L'Ospedale Sant'Anna di Torino, in particolare, il laboratorio di Anatomia Patologica, che ha messo a disposizione i locali per svolgere la ricerca. Particolari ringraziamenti vanno al tecnico Domenico Mattarozzo per la collaborazione nella lettura dei preparati seminali.

L'ARPA di Cuneo per aver fornito le emittenti e per i consigli per verificare la congruenza degli ambienti di lavoro.

Il Dipartimento di Elettronica al Politecnico di Torino, per aver fornito parte della strumentazione e per averne costantemente controllato l'ideone funzionamento.

Bibliografia

- Baiona, O. (2000). L'esposizione della popolazione e l'impatto ambientale. *Atti del Convegno del CEMS (Campi Elettromagnetici e Salute)* Torino, 2 marzo.
- Dolk H., Shaddick G., Walls P., Grundy C., Thakrar B., Kleinschmidt I. & Elliott P. (1997a). Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. I. Sutton Coldfield transmitter. *Am. J. Epidemiol.* 145: 1-9.
- Dolk H., Shaddick G., Walls P., Grundy C., Thakrar B., Kleinschmidt I. & Elliott P. (1997b). Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. II. All high power transmitters. *Am. J. Epidemiol.* 145: 10-17.
- Gianola P. (2000). L'esposizione della popolazione e l'impatto ambientale *Atti del Convegno del CEMS (Campi Elettromagnetici e Salute)*. Torino, 2 marzo 2000.
- Greco, D., Boyle, P., Masera, G & Mertelmann, R. (2001). Esposizione a campi a radiofrequenza e leucemia infantile: stato attuale delle conoscenze scientifiche in rapporto alle problematiche dell'area di Cesano. *Rapporti ISTISAN 01/25*: 1-55.
- Hocking, B., Gordon, I. R., Grain, H. L. & Hatfield, G. E. (1996). Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers. *Med. J. Australia.* 165: 601-605.
- ISPESL - Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro. ISS (1997). Documento congiunto sulla problematica della protezione dei lavoratori e della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici a frequenze comprese fra 0 Hz e 300 GHz. Fogli di informazione ISPESL 4: 1-23.
- MAGNAVITA, N. (2000). L'esposizione della popolazione e l'impatto ambientale. *Atti del Convegno del CEMS (Campi Elettromagnetici e Salute)*. Torino, 2 marzo.
- Maskarinec, G., Cooper, J. & Swygert, L. (1994). Investigation of increased incidence in childhood leukemia near radio towers in Hawaii: preliminary observations. *J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.* 13, 33-37.
- McKenzie, D.R., Yongbai, Y. & Morrell, S. (1998). Childhood incidence of acute lymphoblastic leukemia and exposure to broadcast radiation in Sydney. *Aust. N.Z.J. Public Health*, 22, 360-367.
- Miro, L & Wiart, J, (1998). Que penser d'une eventuelle action biologique des telephones cellulaires? *10^e Journées Internationales de Nice sur les Antennes (JINA 98), Conferences organized by France Télécom, CNET, SEE. Nice 17-19 November 1998*: 619-626
- Olivetti Rason, N., Colaluca, C., Giovanazzi, A., Malo, M & Perini, A. (2002). *Inquinamento da campi elettromagnetici*. CEDAM, Padova.
- Quaglino, A., Comin, E. & Bottinelli, E. (2002). Indicatori ambientali e inquinamento elettromagnetico. *Compendio V° Congresso Nazionale Associazione Italiana Audiologia Clinica e Vestibologia*. Torino 14-16 novembre 2002.
- Reiser, H.P., Dimpfel, W & Schober, F, (1995). The influence of electromagnetic fields on human brain activity. *European Journal of Medical Research.* 1: 27-32.
- Scalia, M. (1999). *Guida completa e ragionata al bioelettromagnetismo*. Volume 1. Andromeda.
- Sever, L.E. & Hessol, N.A. (1985). *Toxic effects of occupational and environmental chemicals on the testes*. Endocrine toxicology. Raven Press, New York.
- Schaefer, D.G. (1998). *Principles and protocols to work with the moss Physcomitrella patens*. Laboratory of Cellular Phyto genetics, University of Lausanne.
- Tas, S., Lauwerys, R. & Lison, D. 1996. Occupational hazards for the male reproductive system. *Critical Reviews in Toxicology*, 26, 261-307.
- Trincherò D. & Tascone R. (2000). L'esposizione della popolazione e l'impatto ambientale *Atti del Convegno del CEMS (Campi Elettromagnetici e Salute)*. Torino, 2 marzo
- Vermeulen, A., (1993). Environment, human reproduction, menopause and andropause. *Environmental Health Perspectives*. 101.
- Wertheimer, N. & Leeper, E., (1979). Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am. J. Epidemiol.* 109, 273-284.
- WHO. World Health Organization, (1992). WHO. *Laboratory Manual for the Examination of Human Semen and Sperm Cervical Mucos Interaction*. 3rd Ed. Cambridge University Press. Cambridge.