

TELEFONIA MOBILE E SALUTE

Jean-Marie Aran, Jean-Charles Bolomey, Pierre Buser, René de Seze,
Martine Hours, Isabelle Lagroye, Bernard Veyret

21 marzo 2003

1 INTRODUZIONE

1.1 Missione del gruppo di esperti

Negli ultimi due anni, è proseguito in Francia lo sviluppo della telefonia cellulare e si è ora raggiunto il numero di 38 milioni di utenti. Oltre al GSM (seconda generazione), si sta sviluppando la terza generazione (UMTS) con nuove antenne e nuovi terminali. Di fronte al moltiplicarsi di queste sorgenti d'onda, si sono espressi timori e si sono posti alcuni interrogativi riguardo gli eventuali effetti sanitari.

Nel gennaio 2001, il rapporto di un gruppo di esperti è stato sottoposto alla Direzione Generale della Salute. Questo documento, intitolato "i telefoni cellulari, le loro stazioni radio base e la salute", forniva il quadro delle conoscenze e forniva raccomandazioni per la ricerca e per la gestione dei rischi. Due anni dopo la consegna di questo rapporto, era necessario un aggiornamento. Orbene, nel quadro della creazione dell'Agenzia Francese per la Sicurezza Sanitaria dell'Ambiente (AFSSE), una delle prime missioni ad essa attribuite, era stata l'emissione di un parere sulla "telefonia cellulare e salute". L'AFSSE ha così riunito un gruppo di esperti, a cui ha affidato il compito di redigere un rapporto, conforme alla lettera di incarico datata 14 Novembre 2002, che recita:

"Secondo la legge n° 2001-624 del 17 Luglio 2001 che fornisce diverse disposizioni d'ordine sociale, educativo e culturale e in particolare secondo l'articolo 19, punto III relativo ai terminali e alle installazioni radioelettriche di telecomunicazioni, l'AFSSE deve procedere a un aggiornamento del rapporto consegnato nel Febbraio 2001 al Direttore Generale della Salute dal gruppo di esperti "Telefonia mobile e salute". A tale scopo, l'AFSSE intende riunire un gruppo di esperti di diverse competenze scientifiche [...] Questo gruppo di esperti avrà come compito, di fare il punto su:

- 1- *i dati scientifici sugli effetti biologici e sanitari delle radiofrequenze (RF) associate alla telefonia mobile pubblicati dopo il precedente rapporto, per valutare in quale misura questi dati recenti modifichino o completino le conclusioni del rapporto del 2001, rispettivamente sull'esposizione ai campi delle antenne dei telefoni e sull'esposizione ai campi delle stazioni radio base.*
- 2- *i programmi di studio e di ricerca sull'argomento iniziati in Francia e a livello internazionale, per stabilire se se sono in corso o di prossima pubblicazione lavori importanti, che potrebbero portare a prevedere un nuovo lavoro di sintesi nei prossimi anni, e per identificare i settori di ricerca che sarebbero coperti in modo insufficiente.*
- 3- *le diverse misure attuate in Francia dopo il 2001, in risposta alle raccomandazioni del rapporto del 2001, per stabilire quelle che resterebbero ancora da attuare; è anche necessario fare il punto sulla situazione delle discussioni scientifiche e amministrative a livello dell'Unione Europea."*

La composizione del gruppo di esperti era la seguente:

Jean-Marie Aran (*direttore di ricerca Inserm*)
Jean-Charles Bolomey (*professore universitario, Supélec*)
Pierre Buser (*membro dell'Accademia delle Scienze*)
Dott. René de Seze (*direttore di ricerca Ineris*)
Dott. Martine Hours (*incaricata di ricerca Inrets/Università di Lione*)
Isabelle Lagroye (*docente EPHE*)
Bernard Veyret (*direttore di ricerca CNRS*)
[...].

1.2 Metodo

Il gruppo di esperti si è riunito per la prima volta il 21 novembre 2002 ed in seguito una o due volte al mese fino alla consegna del rapporto il 21 marzo 2003. Sono stati comunicati resoconti ai membri del gruppo di esperti, dopo ogni riunione.

Sono stati esaminati i recenti rapporti nazionali o esteri, come pure tutte le pubblicazioni apparse dopo il 1 gennaio 2001 o quelle che mancavano nel rapporto del 2001, che riportava un elenco di circa 1.000 riferimenti. Le pubblicazioni incluse erano da riviste scientifiche con vaglio scientifico (*peer review*). Ai lavori realizzati nel quadro del programma Comobio ci si è riferiti partendo dai documenti forniti dai ricercatori. Sono stati inclusi alcuni riassunti del congresso della BEMS, che si terrà alle Hawaii nel giugno 2003, per permettere di presentare dei risultati molto recenti.

Secondo la buona pratica dell'analisi del rischio, l'esame dei dati pubblicati è stato sistematicamente collettivo. Inoltre, su un determinato argomento, si è preso in considerazione l'insieme dei dati disponibili, privilegiando i risultati confermati in maniera indipendente da altri gruppi. Pertanto, nessuna conclusione è basata su un unico risultato.

Poiché il tempo dato al gruppo di esperti per redigere il rapporto era breve, si è scelto di privilegiare:

- l'aggiornamento delle conoscenze scientifiche,
- l'analisi delle misure prese dai governi e dagli operatori in risposta alle raccomandazioni del rapporto consegnato alla DGS nel 2001.

1.3 Audizione degli operatori di telefonia mobile

Conformemente alla richiesta della DGS all'AFSSE datata novembre 2002, ha avuto luogo il 10 gennaio 2003, un'audizione degli operatori. La riunione comprendeva il gruppo di esperti, il delegato generale dell'AFOM ed i responsabili della "salute" dei tre operatori. Un resoconto integrale di questa riunione è disponibile sul sito internet dell'AFSSE.

In questa occasione, è stato chiesto agli operatori di fornire dei documenti, che si ritrovano negli allegati di questo rapporto (allegato 11: finanziamento di progetti di ricerca e allegato 13: misure prese in risposta alle raccomandazioni del rapporto del 2001).

1.4 Rapporti francesi recenti

Il riferimento principale per il presente rapporto è quello del rapporto consegnato nel gennaio 2001 alla DGS. Viene nel seguito indicato come "rapporto del 2001". Questo rapporto è disponibile nella Documentazione Francese¹ e sul sito internet della DGS² in francese ed in inglese.

Dopo il gennaio del 2001, sono stati pubblicati in Francia altri rapporti:

- L'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques (OPECST) ha affidato ai senatori J.-L. Lorrain e D. Raoul, la redazione di un rapporto su "Telefonia cellulare e salute". Durante la sua elaborazione, i relatori hanno ascoltato numerose personalità, organizzato un colloquio al Senato e partecipato a diversi dibattiti. Il rapporto comprende quattro capitoli dedicati a un'esposizione dei dati tecnici, un capitolo dedicato alla percezione dei rischi legati alla telefonia cellulare ed infine numerose raccomandazioni, di cui alcune molto concrete. Il testo completo in francese ed un riassunto in inglese sono disponibili sul sito dell'OPECST³.
- Nel novembre del 2002 è stato pubblicato uno studio intitolato "Telecomunicazioni e salute" realizzato dall'INERIS⁴ per l'Autorité de Régulation des Télécommunications (ART)⁵. L'obiettivo era, come per il presente rapporto, quello di analizzare i risultati pubblicati dopo il gennaio 2001 "riguardo alcune preoccupazioni del pubblico".

¹ Gennaio 2001, ISBN 2 11 004958-8

² <http://www.sante.gouv.fr/opepst/rapports.html>

³ <http://www.senat.fr/opepst/rapports.html>

⁴ Institut National de l'Environnement et des Risques Industriels

⁵ <http://www.art-telecom.fr/>

- La Commission de Sécurité des Consommateurs (CSC) ha pubblicato il 4 dicembre 2002 il suo secondo parere sulla telefonia mobile, che è disponibile su Internet¹. Esso fa seguito a quello del settembre 1997.

1.5 Richiami sulla telefonia cellulare

1.5.1 Introduzione ai sistemi di comunicazione senza fili

Sistemi senza fili e domande sugli effetti sanitari

I sistemi di telefonia cellulare si sviluppano rapidamente, contemporaneamente alle persistenti domande che essi suscitano su possibili effetti sulla salute. La telefonia cellulare, tanto apprezzata dagli utenti, implica un'esposizione permanente alle onde elettromagnetiche, conseguenza ineluttabile di qualunque sistema senza fili (wireless). Sin dai primi tempi della TSF (Telegrafia Senza Fili), uno dei principali vantaggi che si riconoscono alle onde elettromagnetiche è proprio quello di potersi propagare senza un supporto materiale. Un altro vantaggio di queste onde è di spostarsi alla velocità della luce, e di poter trasmettere, a velocità sempre più elevate, informazioni atte a soddisfare la smania inesauribile di comunicazione degli utenti. Questi vantaggi sono stati largamente sfruttati con la radio e la televisione. Da parte sua, il radar utilizza efficacemente queste stesse proprietà per numerose applicazioni, sia civili che militari. Infine - lo si sa? - anche la telefonia tradizionale (non mobile) utilizza parzialmente collegamenti senza fili su alcuni segmenti terrestri o spaziali. Tuttavia, rispetto alla telefonia mobile, la telefonia tradizionale sfrutta solo collegamenti tra punti fissi (ripetitori terrestri o satelliti), a partire dai quali le comunicazioni vengono instradate verso utenti fissi.

La telefonia cellulare non è dunque che l'ultimo atto, senza dubbio provvisorio, di un lungo cammino percorso senza discontinuità, da oltre un secolo, in funzione dell'evoluzione della tecnologia e della domanda socio-economica del momento. E' legittimo chiedersi se, sul piano sanitario, la telefonia cellulare introduca una discontinuità importante, che possa rompere l'armonia in cui, fino a un recente passato, hanno coesistito uomini ed onde.

Le domande poste in maniera ricorrente, a proposito della telefonia cellulare, sono principalmente di due ordini, tecnico e biologico: a quali radiazioni si è esposti? Quale è il livello di esposizione che crea effetti nocivi riconosciuti per la salute? Mentre sussistono interrogativi sulla seconda domanda, è possibile chiarire quelle che riguardano gli aspetti tecnici. Ciò si deve soprattutto a miglioramenti particolarmente significativi delle tecniche dosimetriche, a cui si deve una buona conoscenza dei livelli di esposizione.

Questo rapporto segue numerosi altri che hanno trattato gli effetti dei telefoni mobili sulla salute. Non si tratta dunque di riprendere una presentazione esaustiva dei diversi sistemi già utilizzati, o che potranno esserlo nei prossimi anni. Ci si accontenterà di ricordarli brevemente sottolineandone le principali caratteristiche in termini di esposizione. D'altronde, è sembrato che potesse essere utile contribuire a chiarire dibattiti contraddittori e a riavvicinare i punti di vista mediante un maggiore rigore a livello di definizioni e di concetti utilizzati. L'argomento è complesso, e non è sempre possibile ricorrere ad analogie semplici, spesso limitate e talvolta persino errate. Per questo motivo sono stati introdotti dei brevi paragrafi per rimuovere alcune imprecisioni che sono fonte di incomprensioni e di vane discussioni.

Le onde elettromagnetiche veicolo di informazioni

Le onde elettromagnetiche sono largamente utilizzate per il trasporto dell'informazione. Due osservazioni sono però d'obbligo: da un lato, un'onda "pura", di ampiezza e frequenza costanti nel tempo, non contiene nessuna informazione. Dall'altro, l'informazione da trasmettere (voce, immagine, suono, testo, ecc.), una volta convertita in segnale elettrico, occupa uno spettro di frequenze troppo basse per essere emesse direttamente per mezzo di un'antenna. La soluzione consiste allora nell'utilizzare un'onda detta portante, a frequenza sufficientemente elevata per essere efficacemente irradiata da un'antenna di dimensioni ragionevoli. Prima di essere emessa, quest'onda portante viene "marcata" dall'informazione da trasmettere. Questa operazione di marcatura prende il nome di "modulazione". Un esempio elementare è quello della trasmissione dei segnali in codice Morse, che consiste nell'emissione di un segnale portante la cui ampiezza è sagomata secondo una sequenza di punti e di linee. In questo caso, si tratta di una modulazione

¹ <http://www.securiteconso.org/>

d'ampiezza (AM), dato che la marcatura dell'onda portante si effettua sulla sua ampiezza. Così pure, si tratta di una modulazione d'ampiezza nel caso delle onde emesse da radar ad impulsi. Le onde modulate in frequenza (FM) hanno invece un'ampiezza costante.

La telefonia cellulare sfrutta tecniche complesse di modulazione numerica. Inoltre, la stessa frequenza portante è utilizzata per trasmettere diversi messaggi indipendenti che non devono essere mescolati. Pertanto, la vera e propria modulazione di ciascun messaggio è seguita da un insieme di diversi messaggi modulati, veicolati dalla stessa onda portante. Esistono per questo diverse modalità (protocolli di accesso), che fissano le condizioni d'accesso di un utente alla rete di trasmissione. Si può così assegnare ad ogni utente una finestra temporale di trasmissione (TDMA¹), o una banda di frequenze (FDMA²), o ancora un codice particolare (CDMA³). In ricezione, si effettua la separazione delle diverse comunicazioni, rispettivamente nel dominio del tempo, nel dominio della frequenza o a partire dai codici.

In tutti i casi, l'onda emessa da un'emittente si presenta sotto forma di una portante modulata. Lo spettro della portante modulata si distribuisce su ambo i lati della frequenza portante, con un'estensione che dipende dall'informazione da trasmettere, dal sistema di modulazione e dal protocollo d'accesso. La larghezza relativa dello spettro della portante rispetto alla frequenza della portante è in generale dell'ordine di qualche per cento. I meccanismi di radiazione e di propagazione (interazione con gli ostacoli, penetrazione nei tessuti biologici, ecc) dipendono dalla frequenza portante e non dal tipo di modulazione. La demodulazione indica l'operazione inversa della modulazione, che consente di recuperare l'informazione contenuta in una portante modulata. In una catena di ricezione, questa è l'operazione più delicata a causa del rumore, captato dall'antenna o generato dalla catena di ricezione, che si sovrappone al segnale utile. La demodulazione richiede l'utilizzo di un circuito "non lineare". L'aspetto non lineare è assolutamente essenziale per far riapparire e poi isolare le diverse componenti spettrali dell'informazione. Perché la demodulazione si effettui in buone condizioni, è imperativo che il rapporto segnale-rumore prima della demodulazione sia superiore ad una certa soglia, che dipende dal tipo di modulazione. È questa soglia che permette di definire la sensibilità della catena di ricezione.

Considerando una possibile analogia con la risposta dei sistemi biologici alle onde elettromagnetiche (cfr. 2.2.4), si ritiene che effetti non lineari, richiesti per effettuare una demodulazione della portante modulata, non possano manifestarsi fintantoché l'ampiezza del segnale si mantiene inferiore al rumore proprio di questo sistema. Non c'è una ragione provata per pensare che i tessuti biologici effettuino una demodulazione delle onde elettromagnetiche a cui sono sottoposti. A titolo di esempio, il fatto che uno si trovi esposto all'onda portante modulata di un'emittente radio AM non significa che percepisca l'informazione che è servita a marcare la portante. Non sente né parole, né musica... a meno che, capo puramente aneddotico, ma già osservato in prossimità di emittenti potenti, una cattiva otturazione dentale non giochi il ruolo di demodulatore dentro la scatola cranica e il suono non venga trasmesso all'orecchio attraverso la mascella: un contatto imperfetto tra metalli di natura diversa può in effetti comportarsi, a un alto livello di campo, come un diodo non lineare.

Antenne, mezzi di propagazione ed esposizione alle onde elettromagnetiche

Le antenne costituiscono una componente non escludibile di qualunque sistema senza fili. È in effetti l'antenna che assicura l'interfaccia tra un circuito elettronico (emittente o ricevente) e il mezzo di propagazione. Si può anche considerare che le antenne effettuino la conversione di un segnale elettrico in onde elettromagnetiche (emissione) o viceversa (ricezione). Un'antenna appare così come un "connettore" con il mezzo nel quale si propaga la radiazione. Trattando i problemi di esposizione nella telefonia cellulare, si devono tenere in considerazione i due aspetti dell'emissione e della ricezione. Una persona, ovunque si trovi, è in effetti soggetta a radiazioni elettromagnetiche ambientali, specialmente a quelle delle stazioni radio base... o a quelle provenienti da altre persone vicine che utilizzino il loro telefono mobile. L'utente di telefono mobile è, inoltre, soggetto alle radiazioni del proprio apparecchio. Il livello di esposizione è direttamente proporzionale alla potenza emessa, e dipende, in modo molto variabile, dalla distanza dall'antenna di emissione, dalla natura di questa antenna e dalle condizioni di propagazione.

Le antenne possono prendere forme molto diverse, soprattutto in funzione della banda di frequenza da coprire e della potenza da emettere. Le radio riceventi sono spesso dotate di antenne integraterettangolari per le frequenze più basse (onde lunghe e medie) o di dipoli reclinabili per le frequenze più elevate (banda

¹ Acronimo di Time Division Multiple Access, cioè accesso multiplo a divisione di tempo

² Acronimo di Frequency Division Multiple Access, cioè accesso multiplo a divisione di frequenza

³ Acronimo di Code Division Multiple Access, cioè accesso multiplo a divisione di codice

FM). Per le gamme televisive, le antenne sono nella maggior parte dei casi collocate all'esterno, sui tetti o sui balconi (antenne Yagi, parabole), al fine di captare meglio le onde. Per la radio e la televisione le antenne funzionano soltanto in regime di ricezione. Per la telefonia cellulare, al contrario, le antenne funzionano simultaneamente in emissione e ricezione, in bande di frequenza disgiunte, ma vicine. Si devono distinguere le antenne fisse delle stazioni radio base da quelle dei telefoni cellulari e nei paragrafi successivi si definiranno i livelli di esposizione connessi al funzionamento di queste antenne.

La distribuzione spaziale del campo elettromagnetico irradiato da un'antenna è generalmente complessa. L'ampiezza, ma anche la struttura dell'onda, variano con la distanza. Tuttavia, a grande distanza un'antenna, qualunque sia la sua dimensione, può essere assimilata a una sorgente puntiforme che irraggia in modo non uniforme nelle diverse direzioni. Nello spazio libero, il campo diminuisce in misura inversamente proporzionale alla distanza. Quando si privilegia una direzione d'irraggiamento, l'antenna si dice direttiva. In generale, un'antenna è tanto più direttiva quanto più grandi sono le sue dimensioni rispetto alla lunghezza d'onda. Il guadagno di un'antenna misura, rispetto a un'antenna isotropa, la sua attitudine a concentrare la potenza emessa nella direzione della radiazione. Il "campo vicino" di un'antenna presenta una struttura molto più complicata. Rispetto al campo irradiato a grande distanza nello spazio libero, il campo vicino diminuisce molto rapidamente nel caso delle antenne piccole e, al contrario, meno rapidamente nel caso delle antenne grandi. E' dunque utile conoscere la distanza alla quale si passa dal campo vicino al "campo lontano".

Nella telefonia cellulare, i mezzi di propagazione sono vari. Lungi dal propagarsi nello spazio libero "sgombero", le onde si riflettono e si rifrangono sugli ostacoli incontrati. Questi fenomeni permettono dei collegamenti indiretti (senza vista diretta tra antenna e telefono mobile) e sono accompagnati da un'attenuazione del campo elettromagnetico. Questo caso si presenta in particolare nel contesto urbano (edifici) o negli interni (pareti, muri, mobili). Le onde passano attraverso le aperture (finestre) e sono parzialmente o totalmente assorbite da muri, tessuti biologici, ecc. Come regola generale, più aumenta la frequenza, più è alto l'assorbimento da parte dei mezzi attraversati. Questa proprietà si applica in modo particolare ai mezzi biologici. La profondità entro la quale penetrano le onde in questi mezzi è tanto minore quanto più la frequenza è elevata. A titolo d'esempio, la penetrazione delle onde nei tessuti è più alta nel caso delle onde FM, con frequenza portante vicina a 100 Mhz, che in quello delle onde della telefonia GSM, la cui frequenza portante si attesta vicino a 1 GHz. Questa proprietà viene tenuta in conto nei valori limite di esposizione.

1.5.2 Funzionamento della telefonia mobile

I telefoni mobili funzionano secondo il principio cellulare. Il territorio è diviso in celle servite ognuna da un'emittitore-ricevitore fisso chiamato stazione radio base. La dimensione delle celle varia tipicamente da qualche centinaia di metri in ambiente urbano a qualche chilometro in ambiente rurale. Ogni cella si vede assegnare dei canali, da distribuire in una banda di frequenza data. La stazione radio base ad essa assegnata assicura la comunicazione con i telefoni mobili situati nella cellula per mezzo di un'antenna. Tra la stazione radio base ed il telefono mobile si stabilisce un collegamento bilaterale, in emissione e in ricezione. Il controllo della potenza è assicurato dalla stazione radio base che, secondo le condizioni di collegamento e di traffico, regola al meglio la potenza del telefono mobile e quella della stazione radio base. Il controllo si effettua nel senso di una minimizzazione della potenza emessa dal cellulare, con l'effetto di aumentare l'autonomia influenzando sulla batteria, e di ridurre la potenza dissipata nella testa dell'utilizzatore.

I sistemi di telefonia differiscono principalmente per il protocollo d'accesso e la banda di frequenza. La Tabella 1.5.2 riassume le principali caratteristiche dei sistemi attualmente impiegati e di quelli che lo saranno prossimamente. Si sono indicati, in particolare, i parametri caratteristici della portante modulata che influiscono sulle condizioni di esposizione, cioè: la frequenza, il modo d'accesso, l'eventuale modulazione di inviluppo, le potenze delle stazioni radio base e dei telefoni mobili.

Sistema	Banda di frequenza	Protocollo d'accesso	Modulazione di inviluppo	Potenza del telefono mobile	Potenza della stazione radio base
Tetrapol	400 MHz	FDMA	NO		
Tetra	400 MHz	TDMA	SI	1-3 W	10-40 W
GSM900 (2G) GPRS (2,5G) EDGE	900 MHz	TDMA	SI	2 W di picco (250 mW media)	10-20 W
DCS 1800 GPRS (2,5G) EDGE	1800 MHz	AMRT (TDMA)	SI	1 W di picco (125 mW media)	10-20 W
UMTS (3G)	2 GHz	AMRC (WCDMA)	NO (°)	<200 mW	10-20 W

Tabella 1.5.2: Principali caratteristiche dei sistemi di comunicazione cellulare
(°) Il controllo di potenza può indurre una rapida variazione di potenza ogni 0,66 ms.

In Europa, i sistemi di seconda generazione (2G) utilizzati sono i seguenti: il Tetrapol e il Tetra per le reti radioelettriche indipendenti, il GSM 900 ed il GSM 1800 per le reti di telefonia pubblica. Integrati al GSM il sistema GPRS, già sviluppato, ed il sistema EDGE, considerato come una possibile evoluzione del GPRS, costituiscono la generazione chiamata 2,5. Questa generazione deve consentire di ottenere prestazioni comprese tra 40 kb/s e 100 kb/s. Questi sistemi saranno completati dall'UMTS (3G), che permetterà di raggiungere velocità variabili tra 384 kb/s e 2 Mb/s, necessarie per le applicazioni multimediali.

Accanto alla telefonia cellulare, si sviluppano in modo complementare diversi servizi e sistemi senza fili a potenza più debole, quali il Bluetooth (a 2,45 GHz) e le reti locali senza fili (WiFi IEEE 802.11b e 802.11g a 2,45 GHz, o ancora IEEE 802.11a o Hyperlan II attorno a 5 GHz). Questi sistemi sono destinati a collegamenti a breve distanza e a alta velocità di trasferimento.

Modalità di accesso

Le condizioni di esposizione e, più in particolare, le caratteristiche della portante modulata, dipendono molto dai protocolli d'accesso. Si distinguono tre principali modalità d'accesso cioè FDMA, TDMA e CDMA:

- *Accesso multiplo a divisione di frequenza (FDMA)*
L'FDMA assegna un canale di trasmissione, in senso unidirezionale che "sale" verso la stazione radio base o che "scende" verso il telefono mobile. Questo protocollo d'accesso implica l'utilizzo di due frequenze. Si dice che vi è un "duplex frequenziale". Il GSM combina l'FDMA a duplex frequenziale (con uno scarto duplex di 45 MHz nel GSM 900 e di 95 MHz nel GSM 1800) e il TDMA.
- *Accesso multiplo a divisione di tempo (TDMA).*
La ripartizione temporale viene utilizzata per i sistemi GSM 900 e 1800. Per i telefoni mobili, è opportuno distinguere diversi regimi di funzionamento:
 - Regime di riposo spento: il telefono è spento. Non emette alcun segnale.
 - Regime di riposo acceso (standby): la stazione radio base procede periodicamente a una localizzazione del telefono mobile, ogni tot minuti. In risposta, il cellulare emette alcuni impulsi a livello di potenza massimo.
 - Regime permanente fisso: è il caso di una normale conversazione. Il cellulare emette una serie o "treno" di impulsi della durata di 0,577 millisecondi ciascuno, con una frequenza di ripetizione di 217 Hz.
 - Regime permanente mobile: quando si stabilisce la comunicazione e quando il telefono si sposta, l'ampiezza del treno di impulsi varia sotto il controllo della stazione radio base. Le variazioni della potenza emessa dal telefono cellulare si arrivano fino a un rapporto di 1 a 1000. Il passaggio da una cella all'altra, cioè il cambiamento di cella, si accompagna anch'esso ad un aggiustamento della potenza del telefono mobile.

- Regimi transitori: questi regimi esistono in fase di chiamata (composizione del numero). La potenza emessa dal telefono mobile è massima all'inizio e si riduce poi progressivamente al minimo che consente una buona qualità di collegamento.

L'esistenza di questi differenti regimi mostra bene la grande variabilità dei segnali emessi da un telefono mobile. Perciò, nell'interpretazione dei risultati di esperimenti che utilizzano dei telefoni mobili come sorgenti di esposizione, si deve precisare e controllare bene il livello di potenza ed il regime temporale in cui gli esperimenti stessi vengono condotti.

Il funzionamento della stazione radio base differisce sensibilmente da quello dei telefoni mobili. Una stessa stazione radio base dispone generalmente di diversi canali con una larghezza di 200 kHz, che le permettono di "servire" diversi utilizzatori. Un primo canale è di controllo (BCCH) e viene utilizzato per identificare e controllare i cellulari. Questo primo canale non funziona in modo pulsato, perché vengono usati, eventualmente in modo artificiale, tutti i segmenti temporali. L'involuppo della portante del canale di controllo, è dunque costante. Altri canali, della stessa larghezza di quello di controllo, sono assegnati al traffico (TCH). Il numero di questi canali, come pure il loro riempimento, dipende dal numero di utilizzatori. Quando un canale è incompleto (meno di 8 utenti), appare una modulazione d'involuppo della portante modulata. Al contrario, un canale completo si presenterà come il canale di controllo. Si può così dire che, in un certo senso, le emissioni di una stazione radio base sono "pulsate" meno regolarmente di quelle dei telefoni mobili. Invece, presentano senz'altro una modulazione di involuppo nei canali di traffico.

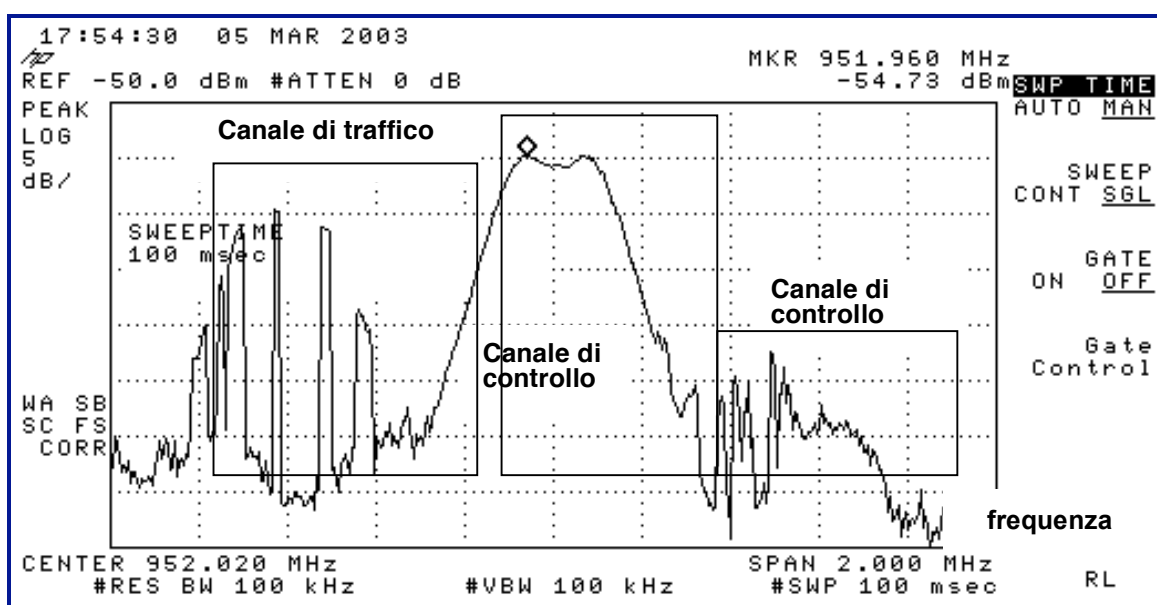


Figura 1.5.2: Esempio di spettro del segnale GSM emesso da una stazione radio base nella banda 850 MHz – 1050 MHz (protocollo AMRT). In ascissa è rappresentata la frequenza e in ordinata il logaritmo della potenza del segnale.

La Figura 1.5.2 rappresenta un esempio di copia dello schermo di un analizzatore di spettro. Vi si possono riconoscere degli spettri tipici di segnali emessi dalle stazioni radio base. Si riconosce, al centro, il canale di controllo e, a sinistra, un canale di traffico incompleto di una stazione vicina. I "buchi" nel canale del traffico corrispondono a un'assenza di impulsi in alcune finestre temporali. Si può distinguere, a destra, un canale di controllo e un canale traffico incompleto corrispondenti a stazioni radio base più lontane e che si coprono parzialmente.

In modalità GPRS, i canali di traffico possono contenere diversi treni di impulsi indirizzati allo stesso utente, per aumentare il tasso utile nella direzione dalla stazione radio base verso l'utente. Si possono così raggiungere fino a 5 finestre temporali, consentendo una velocità verso il basso di 5 volte superiore al tasso standard del GSM. Nella direzione dal telefono mobile alla stazione radio base, si dispone oggi di 2 finestre temporali. In caso di utilizzo di 2 finestre temporali, la potenza di emissione del telefono mobile si raddoppia. Per il sistema EDGE, cambia rispetto al GPRS soltanto il formato interno della modulazione numerica. Il sistema di modulazione utilizzato è più efficace sul piano spettrale. Invece protocollo d'accesso è identico.

– *Accesso Multiplo a Ripartizione di Codice (CDMA)*

Non esistono ancora in Francia sistemi di accesso a ripartizione di codice. Con il protocollo CDMA, ogni utente, in regime di comunicazione, dispone in permanenza di un codice. In questo modo, non presenta il carattere pulsato delle emissioni del protocollo TDMA. La stessa proprietà si ritrova per la stazione radio base, che dispone di un canale di 5 MHz di larghezza in cui si possono trattare fino a 64 comunicazioni. Le sole cause di variazione dell'ampiezza dell'involuppo della portante emessa dai cellulari sono rapide variazioni per effetto del controllo che la stazione radio base opera in funzione delle variazioni delle condizioni di traffico e delle condizioni di collegamento con i vari terminali. Il controllo della potenza della stazione radio base è realizzato a un ritmo di 1500 volte al secondo per l'UMTS.

[...]

1.5.3 Telefoni mobili e SAR

Tasso di assorbimento specifico

Per i telefoni mobili, è il tasso di assorbimento specifico (SAR) che viene utilizzato per quantificare il livello di esposizione dell'utente, e più in particolare della sua testa. Il SAR rappresenta la densità di potenza dissipata per unità di massa di tessuto. La raccomandazione europea che serve da riferimento stabilisce che il valore massimo di SAR integrato su 10 g di tessuto non deve superare 2 W/kg. La normativa americana fissa il valore massimo di SAR integrato in 1g di tessuto a 1,6 W/kg¹.

Il valore di SAR di un telefono mobile dipende in gran parte dalla sua antenna, che è essa stessa fortemente accoppiata al corpo del telefono mobile, in cui è talvolta addirittura integrata, ma anche alla mano e alla testa dell'utente. Infatti, il telefono cellulare, la mano e la testa costituiscono un'antenna complessa equivalente, le cui proprietà sono molto diverse da quelle del solo terminale mobile. Le tecnologie più attuali di antenne sono il monopolo corto, l'elica, l'antenna integrata nel corpo del telefono o in una parte del suo coperchio (modelli apribili). In generale, le due ultime soluzioni sono le più efficaci in termini di SAR, soprattutto per l'allontanamento dell'antenna dalla testa.

Nel corso degli ultimi tre anni, si è osservata una modesta diminuzione dei valori massimi di SAR. Attualmente, il SAR dei telefoni mobili in commercio si distribuisce tipicamente tra 0,15 W/kg e 0,7 W/kg. Prelevamenti periodici dalla catena di fabbricazione permettono di controllare che questo valore sia ben verificato da un telefono cellulare all'altro per un dato modello.

Misure di SAR

Nel corso degli ultimi tre anni si è potuto assistere a un miglioramento della procedura normativa di misura del SAR, grazie soprattutto ai lavori condotti nell'ambito del programma Comobio dell'RNRT. Il miglioramento riguarda nello stesso tempo *i*) gli apparecchi di misura (sonde, rivelatori, fantocci anatomici), *ii*) il controllo dei parametri sperimentali (calibrazione di sonde, taratura dei liquidi dielettrici) e *iii*) una ricerca più esaustiva del caso peggiore di esposizione (3 frequenze di test, 2 posizioni). Le misure sono effettuate secondo la norma CENELEC con una precisione del 30%.

Efficienza di irraggiamento e sensibilità

Le disposizioni normative riguardano il SAR. Tuttavia, un telefono cellulare che presenta un SAR debole non è necessariamente un "buon" telefono che "si aggancia" alla rete. In effetti, un telefono che non emettesse avrebbe un SAR eccellente...ma non sarebbe di alcuna utilità, poiché incapace di stabilire un collegamento con una qualsiasi stazione radio base. La qualità di un telefono cellulare si basa anche su grandezze quali:

- l'efficienza di irraggiamento (rapporto tra la potenza effettivamente irradiata verso la stazione radio base e la potenza totale emessa dal telefono mobile),
- la sensibilità (minimo livello di potenza captata dal cellulare che consente di assicurare un collegamento di qualità accettabile con la stazione radio base).

¹ Nell'ultima revisione della normativa, questo valore è stato uniformato a quello raccomandato dall'ICNIRP e fatto proprio dalla raccomandazione europea, cioè 2 W/kg come valore mediato su 10 g di tessuto (*NdT*)

Queste due grandezze, efficienza di irraggiamento e sensibilità, possono essere misurate sia in camera anecoica, sia in camera riverberante, secondo procedure sperimentali la cui validazione è in corso di discussione all'interno del COST 273. La sistematizzazione di queste misure permetterà di completare utilmente le misure del SAR.

I telefoni mobili utilizzano tecnologie di circuiti elettronici molto elaborate, il che consente di ottenere elevate sensibilità e, di conseguenza, di utilizzare potenze ridotte. A titolo indicativo, la sensibilità di un telefono mobile varia, secondo i modelli, tra -90 dBm e -104 dBm. Si ricorda che una sensibilità media di -100 dBm corrisponde ad un decimillesimo di milionesimo di milliwatt! Per confronto, la sensibilità di una radio ricevente FM è di -87 dBm, cioè vicina a quella di un telefono mobile, mentre quella di un apparecchio televisivo (-67 dBm) è molto meno buona.

Si rammenta che la potenza di emissione del telefono cellulare è massima quando il collegamento è cattivo e dunque quando il numero di barrette visualizzate sullo schermo è basso.

Prove su volontari

Oggi si ha una migliore conoscenza dell'impatto che l'utente ha sull'efficacia di irraggiamento del proprio telefono mobile. Quando si disponeva solo di risultati di simulazioni numeriche, tutto sommato mediocrementemente correlate alle misure su fantocci, furono effettuate misure su un campione di 15 utenti volontari e 5 modelli di telefoni mobili (Boyle, 2003). I risultati delle misure in diverse configurazioni hanno permesso di stimare gli effetti della mano, della testa e del corpo intero: telefono da solo, telefono tenuto in mano lontano dalla testa o vicino alla testa, telefono tenuto vicino alla testa con un supporto privo di perdite, ecc. I contributi relativi della testa, della mano e del corpo intero sono stati inoltre confrontati con quelli ottenuti con un fantoccio. Queste prove con volontari sono state solo usando un sistema di misura rapida che permettesse di effettuare, tipicamente, una misura del campo irradiato a 20 frequenze in circa 3 minuti. Ne risulta che *i)* i fantocci sono ben rappresentativi delle perdite osservate con i volontari e *ii)* che le perdite dovute alla mano sono nella maggior parte dei casi predominanti. L'efficacia di irraggiamento differisce, in media, del 17% tra i volontari ed i fantocci. Le perdite medie sono simili nel corpo dei volontari e nei fantocci. Però, le perdite dipendono fortemente dalla posizione della mano e dal modello di telefono. Ad esempio, le antenne integrate di tipo PIFA presentano perdite relativamente grandi nella mano, ma deboli nella testa. Il telefono apribile sperimentato in questo articolo, presenta l'accoppiamento più forte con la mano, senza peraltro presentare un SAR così debole come quello atteso per questo tipo di antenne. E' l'antenna ad elica quella che presenta le perdite più elevate all'interno della testa.

Riduzione del SAR

La riduzione del SAR è stata considerata sotto diverse angolazioni. Il principio dei "sistema a mani libere" si basa sull'allontanamento del telefono mobile dalla testa dell'utente. Come si sa, il telefono è quindi messo in una tasca, fissato alla cintura, ecc. Un altoparlante in miniatura, collegato al telefono da un filo, viene introdotto nell'orecchio dell'utilizzatore. L'efficacia di questo tipo di arrangiamento è stata oggetto di una certa polemica (es. Zombolas 2002). In effetti, alcune misure iniziali avevano mostrato che il livello di campo in prossimità dell'altoparlante era talvolta superiore a quello vicino al telefono. Si è però dimostrato che queste misure erano effettuate in cattive condizioni, cioè con una sonda di misura di dimensioni eccessive e senza tener conto della presenza del corpo dell'utilizzatore lungo il filo di collegamento. Il filo, le cui dimensioni sono dell'ordine di qualche lunghezza d'onda, può in effetti svolgere il ruolo di antenna. Di fatto, è risultato che il corpo, con il suo assorbimento giocava un ruolo significativo nella riduzione del SAR a livello dell'altoparlante. Più precisamente, basta che il filo sia a contatto del corpo dell'utente per qualche centimetro per ottenere un effetto di riduzione soddisfacente. Si è riscontrato globalmente che l'utilizzo del sistema a mani libere procurerebbe una riduzione del SAR di un fattore 10, ma con una certa variabilità dell'efficacia che dipende in particolare dall'auricolare, dal telefono e dal modo in cui è disposto il filo di collegamento (Oliver et al. 2003, Manning 2001). D'altronde è soprattutto per i telefoni a basso SAR che gli effetti sono più variabili. In conclusione, gli auricolari sono certamente raccomandabili per l'utente che voglia diminuire l'esposizione in una situazione di cattiva ricezione. Per un dato telefono, è preferibile utilizzare l'auricolare raccomandato dal costruttore. Conviene infine aggiungere che non esiste, al momento, alcuna procedura normativa prevista per il test degli auricolari.

Sono stati proposti altri sistemi per ridurre il SAR dei telefoni. Questi si basano su principi diversi. Si crede così che delle pastiglie assorbenti incollate sul guscio del telefono riducano la potenza dissipata nella testa

dell'utente e quindi il SAR. Questo è ciò che effettivamente si può osservare, ma con il notevole inconveniente maggiore che, nello stesso tempo, l'efficacia di irraggiamento del telefono, e dunque la sua sensibilità, vengono ridotti. La stazione radio base richiede dunque al telefono di funzionare a una potenza più elevata, cosicché che il SAR effettivo non è migliore che senza la pastiglia assorbente, il cui effetto principale è di ridurre la portata dei collegamenti.

Un altro sistema è consistito nel tentare di proteggere la testa dell'utente per mezzo di uno schermo metallico riflettente situato tra la testa ed il telefono portatile. Purtroppo, tenuto conto delle dimensioni dello schermo, in ogni caso inferiori a quelle dell'involucro del telefono, si tratta di diffrazione piuttosto che di riflessione. In un certo senso, le onde circondano il riflettore e ciò compromette l'efficacia del dispositivo. Nello stesso spirito, si è suggerito di usare antenne direzionali, il cui irraggiamento sarebbe in direzione opposta alla testa dell'utilizzatore. Anche in questo caso, le leggi della fisica sono tali che è difficile immaginare che, tenuto conto delle dimensioni dell'antenna in termini di lunghezza d'onda, un tale effetto direzionale si possa effettivamente raggiungere. Nel complesso, le misure effettuate su diversi modelli di pastiglie assorbenti, schermi riflettenti o schermatura dell'involucro non hanno mostrato nessuna efficacia (Oliver et al. 2003, Manning 2001).

Recentemente, al posto dei substrati dielettrici convenzionali si sono usati nuovi materiali (conduttori magnetici compositi) che permettono di ottenere antenne di piccolo spessore, banda larga ed alta direzionalità. Questi materiali permetterebbero inoltre di contenere le fughe di radiazione, responsabili in gran parte del campo irradiato verso la testa dell'utilizzatore ed anche dell'accoppiamento tra le differenti antenne installate sullo stesso involucro (GSM, Bluetooth, ecc.). Le differenze di livello tra le radiazioni dirette verso la testa e verso lo spazio sono stimate tra 5 dB e 7 dB. Una tale direzionalità dell'irraggiamento si oppone evidentemente all'isotropia che in genere si ricerca perché l'utilizzatore non debba orientarsi in modo particolare in funzione della direzione d'arrivo delle onde emesse dalla stazione radio base.

1.5.4 Telefoni cellulari ed evoluzione degli utilizzi

Da un po' di tempo si osserva una netta evoluzione degli utilizzi dei terminali mobili, nonostante la funzione principale del telefono cellulare resti la comunicazione vocale. Si notano le seguenti tendenze:

- l'impatto dei messaggi brevi poco costosi (Short Message Service SMS/texto). Si compongono brevi messaggi di 160 caratteri al massimo guardando lo schermo del telefono cellulare. Ciò implica una diversa esposizione della testa. Il mercato degli SMS conosce una crescita gigantesca. Sono miliardi i messaggi SMS inviati ogni anno, grazie ad un costo unitario di 0,15 euro circa per SMS.
- l'impatto visivo, legato al colore ed alla presenza di fotocamere, con la possibilità di invio di foto, di dialogo in videofonia con nuovi standard. Il GPRS è già oggi operativo ed offre una velocità dell'ordine di una trentina di kbit/s. In futuro, l'EDGE e l'UMTS offriranno nuove possibilità come la videoconferenza o lo scambio di sequenze video, grazie a velocità accresciute fino a qualche centinaia di kbit/s. La corrispondente esposizione è vicina a quella degli SMS, ma con delle durate di utilizzo prolungate.
- l'effetto I-mode: la NTT/DoCoMo ha introdotto nel 1999 l'I-mode, ripreso in Francia da Bouygues Télécom. In Giappone, l'I-mode ha avuto un successo notevole e sembra aver vinto la sua scommessa in Europa. L'I-mode dà principalmente accesso ad una forma semplificata di Internet ed a diversi servizi sotto GPRS.
- lo sviluppo di giochi in connessione: consentono a diverse persone di giocare a distanza, grazie in particolare alle applicazioni JAVA che sembrano essere molto promettenti.

La velocità necessaria per i nuovi servizi multimediali richiede un aumento della frequenza portante. Una conseguenza importante è che le misure di SAR diventano sempre più delicate (sensibilità, perturbazione) per la piccola profondità di penetrazione delle onde nei tessuti, dell'ordine di qualche millimetro. Ma, dall'altra parte, i terminali sono tenuti ad una certa distanza dal corpo umano, che si trova così in "campo lontano". A frequenze superiori a 3 GHz, la lunghezza d'onda è inferiore a 10 centimetri e sono sufficienti alcuni centimetri per poter considerare che il campo abbia una struttura di onda piana. In una tale situazione, la densità di potenza incidente attraverso per unità di superficie, può essere vantaggiosamente utilizzata per predire il livello di SAR nei tessuti e fungere da grandezza di riferimento. Così, J. Wang e O. Fujiwara (2002) hanno dimostrato, attraverso una simulazione numerica nel caso di un dipolo a mezz'onda, che per frequenze comprese tra 3 e 6 GHz esiste una stretta correlazione tra il SAR massimo in un fantoccio di testa e la densità di potenza incidente sulla sua superficie. Se questa densità di potenza è inferiore a 10 W/m^2 a una distanza superiore a una mezza lunghezza d'onda, allora il SAR medio in 1 o 10 g di tessuto non supererà rispettivamente 1,6 o 2 W/kg. Questo risultato, che semplificherebbe considerevolmente i test di conformità alle norme di esposizione, richiede ancora di essere convalidato nel caso di terminali reali.

Sistema	Velocità	Applicazione	Impatto SAR	Commenti
GSM 900/1800	13 kbit/s	Servizi vocali	Esposizione della testa	Possibile riduzione del SAR con auricolare
GSM 900/1800	Tasso di bassa segnalazione	SMS / Texto	Esposizione a distanza della testa	
GSM 900/1800	9 kbit/s	Circuito in modalità WAP	idem	Lento e costoso Poco o non utilizzato
GSM / GPRS	30 kbit/s	-Pacchetti in modalità WAP -Trasferimento di dati - Invio di foto	Esposizione della testa a distanza, ma prolungata,	Potenza media emessa possibilmente superiore al GSM (utilizzo di più TS)
EDGE	60 a 100 kbit/s	WAP o servizi MMS	idem	Idem
UMTS	64 a 384 kbit/s	Videokonferenze, Sequenze video, Trasferimento dati, ecc	Esposizione a distanza, eccetto in modalità fonia	Altre forme d'onda, complessità del CDMA

Tabella 1.5.4 : Riassunto delle possibili applicazioni con i diversi sistemi, delle corrispondenti velocità e delle modalità di esposizione

L'estensione dell'uso dei telefoni cellulari ovunque porta ad interrogarsi sul SAR dovuto alle radiazioni ambientali. Il contributo delle antenne delle stazioni radio base sarà analizzato nel paragrafo successivo. E' stato stimato quello dei telefoni cellulari vicini, anche se i telefoni cellulari degli altri utilizzatori sono più lontani di quello dell'utilizzatore. In effetti, in un ambiente confinato come un'automobile, un ascensore, un treno, ecc..., bisogna tener conto della radiazione emessa dai cellulari di un insieme di utenti. Poiché le diverse emissioni sono incoerenti, sono le potenze irradiate che si sommano. Facendo un'ipotesi molto conservativa – tutta la potenza emessa viene dissipata negli utilizzatori – si può dimostrare (Toropainen, 2003) che non c'è alcun rischio di superare il livello corrispondente alla restrizione di base dell'ICNIRP per il SAR nel corpo intero (0,08 W/kg): bisognerebbe avere almeno 80 utilizzatori nel volume di un'automobile (1,5 m x 1,5 m x 1,5 m), 320 in un ascensore (2,5 m x 2,5 m x 5 m) o 1600 in un vagone ferroviario (3 m x 5 m x 20 m) affinché i limiti siano superati!

1.5.5 A proposito delle radiazioni ELF dei cellulari

Si fa spesso riferimento alle radiazioni ELF¹ (o piuttosto TBF, per Très Basse Fréquence, in francese) dei telefoni mobili e delle stazioni radio base. Per essere del tutto chiari, bisogna distinguere l'irraggiamento intenzionale (o essenziale) dall'irraggiamento non intenzionale (non essenziale). L'irraggiamento intenzionale corrisponde alla portante modulata che viene emessa dall'antenna del telefono mobile o da quella della stazione radio base. Come si è spiegato in precedenza, queste antenne sono concepite per una banda di frequenze situata attorno alla frequenza portante, cioè 900 o 1800 MHz. In nessun caso simili antenne saprebbero irradiare onde ELF, in particolare a 217 Hz.

L'esistenza di campi ELF nell'immediata vicinanza del telefono mobile deriva da un irraggiamento non intenzionale. Vicino a circuiti elettrici ed elettronici nei quali circolano correnti ELF, esiste un campo quasi statico molto debole. E' ciò che accade anche nel caso dei circuiti dei telefoni mobili. Ad esserne i principali responsabili sono le richieste di corrente dalla batteria durante l'emissione, nel GSM, degli impulsi la cui frequenza di ripetizione è di 217 Hz, Il campo magnetico risultante da queste correnti si attenua molto rapidamente con la distanza. In più, molto spesso, la batteria non è posta sul lato della testa dell'utilizzatore, cosicché il campo magnetico a 217 Hz è praticamente trascurabile. Misure effettuate in prossimità del telefono mobile rivelano campi magnetici dell'ordine di qualche decimo di microtesla, cioè molto inferiori ai livelli di riferimento per il campo magnetico che, a questa frequenza, sono uguali a 23 microtesla per l'esposizione del pubblico in generale.

¹ extremely low frequency

Si pone anche la questione della possibile esistenza di campi ELF all'interno dei tessuti biologici, indotti da un'onda "pulsata" del tipo di quelle del GSM. Come è stato già sottolineato, tale esistenza richiederebbe un comportamento non lineare di questi tessuti che, attualmente, non è stato minimamente evidenziato a queste frequenze. Ad esempio, la modifica osservata di alcune registrazioni elettrocardiografiche non ha potuta essere imputata a nessun effetto non lineare identificato.

1.5.6 Esposizione alle stazioni radio base, confronto con altre sorgenti

Campo irradiato in funzione della distanza

Viste da lontano, le antenne delle stazioni radio base si presentano sotto forma di un contenitore allungato in plastica, di un'altezza che varia tipicamente tra 1,5 m e 3 m, dentro il quale si trovano gli elementi radianti. In un certo senso, possono essere considerate come un proiettore di onde. La forma allungata e le dimensioni delle antenne conferiscono alle onde che esse irradiano proprietà molto particolari.

A grande distanza, oltre qualche decina di metri, il fascio è ristretto nel piano verticale, con un'apertura di 120° nel piano orizzontale. La forma di questo fascio e in particolare la sua apertura verticale che è dell'ordine di 6°, spiega perché a livello del suolo il campo irradiato, in uno spazio libero, attraversa un massimo ad una distanza dell'ordine di 250 m - 300 m. Praticamente, l'antenna è montata su un pilone ed orientata in modo tale che il fascio passi al di sopra dei tetti. Nella direzione di massimo irraggiamento, il campo si attenua in misura inversamente proporzionale alla distanza. A titolo d'esempio, si può citare il caso¹ della modellizzazione di un'antenna macrocellulare a 900 MHz, che irradia un campo di 15 V/m a 10 m, di 7 V/m a 20 m e di 3 V/m a 50 m. Un tale comportamento del campo si manifesta, dal momento in cui si esce dalla zona di campo vicino di queste antenne. Per antenne di questo tipo, di un'altezza tipica di 1,8 m, la distanza² oltre la quale si può considerare che il campo diminuisce in maniera inversamente proporzionale alla distanza è tipicamente dell'ordine di 6 e 12 m, rispettivamente a 900 e 1800 MHz. La conoscenza della potenza e del guadagno di un'antenna permette di calcolare molto semplicemente il livello di esposizione in vista diretta dell'antenna, che può così confrontato con i livelli di riferimento.

Nella zona di campo vicino dell'antenna, il campo entro il fascio si attenua meno rapidamente che nello spazio libero a grande distanza. Si può in effetti mostrare (e si osserva) che esso diminuisce in maniera inversamente proporzionale alla radice quadrata della distanza. Il perimetro di sicurezza delimita una zona in prossimità dell'antenna nella quale i livelli di esposizione superano i livelli di riferimento. Esso può essere determinato semplicemente in camera anecoica, per mezzo di tecniche di campo vicino. Le misure così effettuate possono essere trasposte al caso di antenne installate, nella misura in cui l'ambiente vicino alle antenne sul sito, sia generalmente libero e dunque molto vicino a quello di una camera anecoica. Misure sistematiche effettuate su un gran numero di antenne di stazioni radio base, sia GSM 900 che 1800, hanno mostrato che la distanza di sicurezza varia linearmente con la potenza, e non secondo la radice quadrata della potenza come farebbe prevedere l'espressione del campo irradiato a grande distanza. La distanza di sicurezza calcolata a partire da questa espressione è generalmente sovrastimata.

Misure sul sito

Mentre il campo sull'asse del fascio e in prossimità dell'antenna può essere calcolato con precisione o eventualmente misurato, il calcolo del campo in un punto della cella coperta dalla stazione radio base è relativamente impreciso. Le misure sul sito sono necessarie per avere una buona stima statistica dei livelli di esposizione. Da questo punto di vista, si dispone ora di un gran numero di misure effettuate secondo il protocollo ben definito dell'ANFr. Secondo questo protocollo, le misure sono effettuate in maniera selettiva in frequenza, emittente per emittente, secondo tre direzioni di polarizzazione ortogonali. Per una data stazione radio base, la misura del livello di esposizione si effettua sul canale di controllo (BCCH), di cui si è ricordata la stabilità. I potenziali canali di traffico (TCH) sono presi in considerazione in maniera forfaitaria, moltiplicando il livello del canale di controllo per la radice quadrata di un numero fissato forfaitariamente secondo l'ambiente. A titolo indicativo, questo numero varia, tra una zona ad alta densità di traffico ed un

¹ Questo esempio, preso dal rapporto "Zmirou", pag. 49, riguarda un'antenna macro-cellulare a 900 MHz. Viene ripreso nel rapporto dell'OPECST.

² La distanza su cui si estende il campo vicino ad un'antenna, è chiamata "distanza di Rayleigh"; è data approssimativamente dalla semplice formula seguente: $d = h^2/2\lambda$, h è l'altezza dell'antenna e λ la lunghezza d'onda.

piccolo agglomerato, da 6 a 3 per le emissioni del GSM 900 e da 8 a 3 per i canali del GSM 1800. Inoltre, l'ANFr ha determinato un fattore correttivo che permette di tener conto dell'evoluzione del traffico durante la giornata. Le misure possono essere realizzate anche per altri tipi di emissione, radio, TV, radar, ecc.

[...]

Confronto con altre emissioni

Molto spesso, le emissioni delle stazioni radio base vengono confrontate con quelle di emittenti radio o televisive. La Tabella 1.5.6bis facilita un simile confronto in termini di frequenza, di modulazione d'involuppo, di potenza e di raggio medio della zona di copertura.

La frequenza portante delle emissioni di FM e TV è inferiore a quella dei telefoni GSM 900 e 1800. Essa è paragonabile a quella dei sistemi TETRA. Ne deriva che la penetrazione delle onde FM e TV nei materiali biologici è maggiore per la FM e la TV che per i segnali GSM e che l'assorbimento locale è minore. In termini di installazione, le antenne FM e TV sono montate su piloni la cui altezza può raggiungere 300 m. Il loro guadagno è molto paragonabile a quello delle antenne delle stazioni radio base. Le potenze emesse sono sensibilmente più elevate rispetto alla telefonia, per la necessità di coprire zone più estese, fino a 50 km per la TV. Le emittenti televisive hanno una potenza dell'ordine di 20 kW, mentre quella delle emittenti FM varia tra qualche kW ed una decina di kW. A titolo di esempio, si può stimare in circa 300 kW la potenza dell'insieme delle emittenti TV (6) e FM (27) situate sulla torre Eiffel. Una tale potenza corrisponderebbe a circa 30.000 antenne di stazioni radio base.

In termini di modulazione, le onde FM sono praticamente prive di modulazione di involuppo. Le onde TV, al contrario, possono essere considerate come "pulsate", a causa degli impulsi di sincronizzazione delle immagini le cui frequenze di ripetizione sono di 50 Hz per l'aggiornamento delle immagini e di 15.625 Hz per la sincronizzazione di linea.

Servizio	Denominazione	Banda di frequenza	Potenza max riscontrata (ingr. antenna)	Portante modulata	Raggio medio della zona di copertura
Radiodiffusione	Onde chilometriche Okm (GO)	148,5-283,5 kHz	2 MW	Modulazione d'involuppo AM Non pulsata	400 km
Radiodiffusione	Onde ettometriche Ohm (PO)	525 –1605 kHz	600 kW	Modulazione d'involuppo AM Non pulsata	100 km
Radiodiffusione	Onde decametriche Odam (OC)	2-30 MHz in diverse sottobande	12 emittitori da 500 kW	Modulazione d'involuppo AM Non pulsata	Propagazione ionosferica Ricevitori distanti migliaia di km
Radioamatori	Onde decametriche (Odam) – HF	2 –30 MHz in diverse sottobande	1 kW	Modulazione d'involuppo AM Non pulsata	Portata collegamenti da qualche decina a centinaia di km
CB Banda cittadina	CB Banda 27	26,965- 27,225 MHz	Da 1 a 4 W	Modulazione d'involuppo (AM) cste (FM) Non pulsata	Alcuni chilometri
Televisione	Banda I	47-68 MHz	Alcune centinaia di watt	Modulazione d'involuppo (Immagine+Suono) Impulsi sincro	10 km
Radiodiffusione	Banda FM	87,7 – 108 MHz	Alcune centinaia di watt	Involuppo cste	10 km variabile secondo le emittenti
Televisione	Banda III	174-223 MHz	≤ 1kW	Modulazione d'involuppo (Immagine+Suono) Impulsi sincro	Da 30 a 50 km

Tabella 1.5.6bis : Caratteristiche di differenti tipi di emittitori di differenti sistemi di comunicazione

Radiocomunicaz. di sicurezza	Tetrapol	400 MHz			10 km max
Radiocomunicaz private Numeriche	TETRA	400 MHz			
Televisione	Bande IV e V	470-862 MHz	Da 10 W a 20 kW	Modulazione d'involuppo (Immagine+Suono) Impulsi sincro	Da alcune centinaia di metri a una cinquantina di km
Radiocomunicaz pubbliche cellulari	GSM 900 – Cellulari (MS)	890 (880) – 915 MHz	< 2 W di picco	Modulazione d'involuppo pulsata	
	GSM 900 – Staz. radiobase (BTS)	935 (925) – 960 MHz	< 50 W	Modulazione d'involuppo pulsata	
Radar di navigazione aerea	Banda L	1220-1370 MHz	2 MW di picco	Emissioni impulsi RF	
	Banda S	2700-2900 MHz	2 MW	Emissioni d'impulsi RF	
Radiocomunicaz pubbliche cellulari	GSM (DCS)1800 – Cellulari (MS)	1710 – 1785 MHz	< 1 W di picco	Modulazione d'involuppo pulsata	
	GSM (DCS)1800 – Stazioni radiobase (BTS)	1805 – 1880 MHz	< 50 W	Modulazione d'involuppo pulsata	
Collegamenti radio a breve raggio	WLAN 802.11b/11.g WIFI Bluetooth	2400- 2483,5 MHz	< 100 mW	Allargamento di spettro Salto di frequenza	

Tabella 1.5.6bis (segue) : Caratteristiche di differenti tipi di emettitori di differenti sistemi di comunicazione

6 RACCOMANDAZIONI

6.3 Comunicazione

Nel rapporto “Telefonia mobile e salute” dell’OPECST, i senatori Lorrain e Raoul hanno insistito sulla necessità di migliorare la formazione scientifica del pubblico nel settore dei campi elettromagnetici e della telefonia mobile, per non lasciare spazio allo sviluppo della disinformazione e per permettere al pubblico e ai professionisti coinvolti di adottare un atteggiamento di ragionevole attenzione nell’esposizione a sorgenti di campi.

Gli autori del rapporto hanno insistito sulla necessaria formazione dei giovani in tema di elettromagnetismo e di ragionamento statistico per apprezzare i rischi tecnologici. Tale formazione dipende essenzialmente dai programmi di insegnamento della scuola secondaria, nel corso dei quali si fornisce solo una formazione teorica di matematica o fisica, che non consente ai giovani di disporre realmente di un giudizio critico e razionale per la comprensione di eventuali rischi.

Per contro, un’altra via di formazione, che riguarda non solo i giovani ma l’insieme della popolazione, si basa sulla diffusione di documenti informativi da parte delle autorità sanitarie. In tal senso, è stato distribuito dal ministero della salute nel marzo 2002 un pieghevole relativo ai telefoni cellulari. Questo documento è stato stampato in 100.000 copie e reso accessibile sul sito internet del ministero della salute. Esso potrebbe essere regolarmente aggiornato e diffuso di nuovo a partire dal 2003, ma su più larga scala, ad esempio in occasione della pubblicazione di nuovi testi legislativi o di rapporti scientifici, come la pubblicazione del presente rapporto presentato all’AFSSE. Sembra altrettanto necessaria per un migliore dialogo migliore, un’informazione al pubblico e ai poteri pubblici da parte degli operatori sull’individuazione di un sito e prima dell’installazione di una stazione radio base.

Riguardo all'elaborazione e alla diffusione di tali documenti di informazione, l'Istituto Nazionale di Prevenzione ed Educazione Sanitaria (INPES) sembra l'ente più adatto e potrebbe essere sollecitato in tal senso. Dall'altro lato, l'AFSSE ha ricevuto come missione quella di "intraprendere ogni azione di informazione o ogni azione di formazione e di diffusione di informazioni scientifiche e tecniche, rapportandosi alle sue missioni" (Art. L. 1335-3-2-del CSP). L'AFSSE potrebbe dunque essere di supporto scientifico per l'elaborazione di questi documenti di informazione, la cui elaborazione e diffusione potrebbero essere affidate all'INPES, nel quadro di una convenzione con l'AFSSE.

Gli autori del rapporto dell'OPECST hanno anche sulla necessità di una formazione specifica per i professionisti di medicina professioni mediche che costituiscono un canale privilegiato verso la popolazione. Questi professionisti dovrebbero poter beneficiare di una formazione continua sotto forma di conferenze scientifiche o di giornate tematiche. La formazione continua in medicina come viene attualmente realizzata, soprattutto con l'apporto finanziario di laboratori farmaceutici, non è un mezzo adeguato distribuire tale formazione, poiché è orientata verso una formazione quasi esclusivamente medica e non ambientale. Alcuni operatori di telefonia mobile ed un giornale, (il Quotidiano di medicina) hanno tentato con un limitato successo di organizzare, presso medici e farmacisti, sedute tematiche su questo argomento. Dal canto suo, l'INPES non ha come missione quella di garantire la formazione continua in medicina. Rientra invece tra le missioni dell'INPES quella di elaborare documenti di informazione che potrebbero essere destinati ai professionisti di medicina. L'INPES ha la capacità di organizzare dei cicli di formazione, la cui struttura locale potrebbe essere assicurata ad esempio da professori di sanità pubblica, sulla base di documenti di lavoro elaborati dall'Istituto. Un'altra proposta relativa alla formazione di professionisti di medicina potrebbe consistere nell'elaborazione di schede o libretti informativi diffusi attraverso la stampa medica. Un'azione di formazione del genere è stata recentemente realizzata dal giornale Impact Médecine, in collaborazione con l'operatore Orange e con alcuni esperti scientifici, in particolare quelli che avevano partecipato all'elaborazione del rapporto del 2001. Questo giornale ha distribuito ai suoi 70.000 lettori un pieghevole intitolato "Le onde elettromagnetiche e la salute". Si può prendere in considerazione di ripetere una simile operazione, ma in maniera istituzionale, ad esempio sotto l'egida dell'AFSSE e dell'INPES.

6.4 Gestione dei rischi

6.4.1 Siti "sensibili"

Si riporta di seguito la raccomandazione del rapporto del 2001, perché la lettura di questo testo è stata spesso male effettuata e male interpretata:

"L'obiettivo di ridurre al minimo possibile il livello di esposizione del pubblico riguarda in particolare delle persone particolarmente sensibili come i bambini o certe persone malate. A tale scopo, il gruppo di esperti raccomanda che gli edifici 'sensibili' (ospedali, nidi e scuole) situati a meno di 100 metri da una stazione radio base macrocellulare non siano investiti direttamente dal fascio dell'antenna¹. Questa raccomandazione non è incompatibile con l'installazione di un'antenna di stazione radio base sul tetto di tali edifici, poiché il fascio incidente non altera, o altera in modo del tutto marginale, l'area situata al di sotto (effetto 'fontana'). Il gruppo di esperti ritiene che il rispetto di queste misure da parte degli operatori abbia come effetto quello di attenuare le preoccupazioni del pubblico, specialmente dei genitori preoccupati per l'esposizione dei loro bambini negli edifici scolastici, mentre il gruppo stesso non condivide l'ipotesi di un rischio per la salute della popolazione che vive in prossimità di stazioni radio base, tenuto conto dei livelli di esposizione riscontrati."

Nella circolare del 16 settembre 2001, questa raccomandazione è stata esplicitata e commentata nel modo seguente:

"Nel rapporto 'I telefoni mobili, le loro stazioni radiobase e la salute'², gli esperti, sebbene non condividano un'ipotesi di rischio per la salute della popolazione che vive in prossimità di stazioni radio base, raccomandano che alcuni edifici, considerati come sensibili e situati a meno di 100 metri da una stazione radio base macrocellulare, non siano raggiunti direttamente dal fascio dell'antenna³. Questa

¹ Il fascio raggiunge il suo limite lateralmente quando la potenza dell'onda è ridotta di un fattore 2 rispetto alla potenza direttamente sull'asse. Questo fascio è definito dalla sua apertura e dal suo orientamento nel piano orizzontale (azimut) e nel piano verticale (inclinazione).

² Rapporto del gruppo di esperti presieduto dal Dr. Zmirou, sottoposto al direttore generale della salute nel gennaio 2001.

³ Il fascio raggiunge il suo limite quando l'intensità dell'onda è a ridotta di un fattore 2. Questo fascio è definito nel piano orizzontale e verticale.

raccomandazione ha come obiettivo principale quello di cercare di attenuare alcune preoccupazioni del pubblico che ancora persistono senza fondamento sanitario.

Questa raccomandazione riguarda soltanto quei siti all'aria aperta dove bambini o pazienti, che si suppongono più sensibili, potrebbero passare diverse ore al giorno (scuole, ospedali e nidi che dispongono di uno spazio all'aria aperta) e non si applica dunque ai locali chiusi, perché il campo è molto attenuato dalla struttura dell'edificio. Gli stessi esperti sottolineano anche che questa raccomandazione non è incompatibile con l'installazione di un'antenna sul tetto di tali costruzioni, tenuto conto del fatto che un edificio situato al di sotto di un'antenna resta al di fuori del fascio. Esso non è dunque raggiunto, se non in modo molto marginale, dalle radiazioni dell'antenna."

Questa raccomandazione mirava a assicurare, in particolare, i genitori dei bambini esposti durante la permanenza a scuola. Il valore di 100 metri che era stato scelto corrisponde a una distanza alla quale il livello del campo dovuto all'antenna si confonde con il livello "ambientale" creato da tutte le altre sorgenti. Si trattava dunque di evitare le situazioni che potevano essere percepite come minacciose per la presenza di antenne visibili dai cortili scolastici e non di escludere le antenne in un raggio di 100 metri intorno alle scuole. L'obiettivo di questa raccomandazione non è dunque stato raggiunto a causa di interpretazioni errate. Di fatto, questo parere associava il trattamento della preoccupazione con l'affermazione di assenza di effetti sanitari, cioè si mescolavano, con una possibilità di confusione, l'analisi del rischio e la gestione della percezione del rischio. Si è così giudicato spesso, ad esempio, che i bambini siano ugualmente "sensibili" a casa e a scuola, cosa che sarebbe vera in termini sanitari se i livelli di esposizione fossero paragonabili e se fossero identificati o anche sospettati effetti sanitari specifici per i bambini e le stazioni radio base.

[...]

Conclusione sui siti sensibili

In conclusione, non sembra esservi una giustificazione sanitaria per questa specificità dei siti cosiddetti sensibili, perché la "sensibilità" è legata alla percezione del rischio e non a un rischio sanitario identificato. Ora, la raccomandazione del rapporto del 2001 che mirava a assicurare ha prodotto l'effetto opposto. Il gruppo di esperti non condivide dunque la necessità di questa nozione di "sito sensibile" riferita alle stazioni radio base. Questa conclusione si applica in modo particolare alle scuole, per le quali la percezione del rischio è stata la più acuta.

6.4.2 Bambini

Sull'importante questione relativa al livello di rischio per i bambini, il rapporto del 2001 concludeva in questi termini: *"I differenti dati portano il gruppo di esperti a raccomandare un atteggiamento di prudente evitamento, senza ritenere che i dati scientifici attuali giustifichino norme stringenti."* Pochi elementi nuovi si sono resi disponibili dopo quella data, malgrado la realizzazione di diversi studi, essenzialmente di tipo dosimetrico. Oggi si sa che le modifiche delle proprietà dielettriche dei tessuti e della morfologia della testa sono di poco conto dopo l'età di due anni.

La conclusione del gruppo di esperti è dunque che, in attesa di nuovi dati scientifici e alla luce dei cambiamenti d'uso già percettibili e corrispondenti ad un allontanamento del telefono dalla testa, la conclusione del rapporto del 2001 è sempre valida e che bisogna intensificare la ricerca su questo tema.

6.4.3 Principio di precauzione

È attualmente in corso un dibattito su scala internazionale sull'applicazione corretta del Principio di Precauzione nel campo dei rischi sanitari connessi ai campi elettromagnetici (ELF e RF). Un dibattito ha avuto luogo ad esempio nella riunione organizzata recentemente in Lussemburgo. Così pure, l'IEEE ha pubblicato un numero speciale sulle implicazioni tecniche e sociali del Principio di Precauzione¹.

La missione del gruppo di esperti non includeva raccomandazioni in questo campo, ma è sembrato utile portare qui alcuni elementi di riflessione in attesa di eventuali decisioni politiche sopranazionali e di fornire delle conclusioni in merito alle raccomandazioni del gruppo del 2001, che aveva invece una missione in questo senso.

¹ IEEE Technology and Society Volume 21, Numero 4, Rivista inverno 2002/2003. Una pubblicazione dell'IEEE Society on Social Implications of Technology on the Precautionary Principle. *Curatori: Kenneth b. Foster e Paolo Vecchia*

Nel rapporto del 2001, si poteva leggere a proposito del Principio di Precauzione:

“Il principio di precauzione è un principio politico di gestione prudente di rischi incerti, che si può applicare quando esistano dei meccanismi plausibili o delle osservazioni – sperimentali o epidemiologiche – che conferiscono loro un minimo di fondamento scientifico. Esso riguarda essenzialmente la gestione dei rischi, non la loro valutazione che, invece, deve cercare di rimanere nell’ambito dei fatti o delle ipotesi scientificamente fondate e destinate ad essere provate per mezzo della sperimentazione o di rigorosi protocolli epidemiologici.

[...] in un documento di lavoro, l’Organizzazione Mondiale della Sanità¹ mette in guardia le autorità sanitarie contro l’adozione di misure, ispirate dalla preoccupazione legittima di assicurare l’opinione pubblica e di prevenire ipotetiche conseguenze sanitarie, che non sarebbero scientificamente fondate. In effetti, è grande il rischio che le pressioni diverse dell’opinione pubblica portino gli Stati a pubblicare “norme di sicurezza” disparate, che rovinerebbero ogni sforzo di armonizzazione internazionale. L’inquietudine e le preoccupazioni del pubblico non possono che esserne artificialmente gonfiate, senza contare i conflitti certi per “regole arbitrarie e concorrenza sleale o ostacolo agli scambi commerciali”.

Il principio di precauzione non può dunque giustificare misure che non avrebbero fondamento razionale. La messa in evidenza di effetti biologici di minaccia per la salute, se esistono, costringerebbe certamente ad agire per prevenirne le conseguenze, ma non basterebbe per dare un fondamento razionale ad azioni efficaci se i parametri fisici sui quali agire restano incompresi.

Se il principio di precauzione è un principio di gestione prudente di rischi incerti che impegna l’azione dei poteri pubblici e che può manifestarsi attraverso una vasta gamma di misure più o meno restrittive – ad esempio di carattere regolamentare, amministrativo, informativo, ecc. – il cui “dosaggio” definisce una politica pubblica, diverse misure di riduzione delle esposizioni possono essere messe in atto dagli attori industriali, ma anche dagli stessi individui. Il concetto “di evitare con prudenza” può qui definirsi come l’insieme delle azioni volontarie che i privati possono intraprendere per limitare il più possibile esposizioni inutili e/o facilmente evitabili.”

Con questa definizione, il gruppo del 2001 forniva raccomandazioni che s’ispiravano al Principio di Precauzione, in particolare per i telefoni cellulari e consigliava globalmente l’evitamento prudente, per il complesso delle situazioni di esposizione connesse alla telefonia cellulare.

Considerando queste conclusioni e quelle espresse nel rapporto dell’OPECST², il gruppo di esperti raccomanda che l’approccio di gestione del rischio consista essenzialmente nella riduzione dell’esposizione media della popolazione, pur mantenendo una copertura soddisfacente. Si tratta dunque di evitare ogni esposizione inutile o superflua e questo soprattutto nel caso dei telefoni mobili.

Questa conclusione dovrà essere rivista alla luce delle nuove conoscenze scientifiche che ridurranno le incertezze menzionate in questo rapporto, ed anche alla luce di definizioni e di modalità di applicazione del Principio di Precauzione che siano accettate a livello internazionale.

(Traduzione italiana di Valeria Lorenzini e Paolo Vecchia)

Questo documento, pubblicato a cura del progetto “Salute e campi elettromagnetici” dell’Istituto Superiore di Sanità e del Ministero della Salute – Centro Controllo Malattie (www.ccm-network.it), è la traduzione italiana di parti selezionate del documento originale in Francese “Téléphonie mobile et santé”, pubblicato dall’Agenzia Francese per Sicurezza Sanitaria dell’Ambiente (AFSSE).

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

Il testo originale in francese è disponibile all’indirizzo: <http://www.afsset.fr> (ultimo accesso 28.01.2009).

¹ Bozza di Promemoria per la Revisione Finale. Electromagnetic fields and public health cautionary policies. (6 luglio 2000); documento consultabile sul sito://<http://www.who.int/peh-emf/>

²“conviene fare appello ad un atteggiamento di prudenza e di saggezza piuttosto che al principio di precauzione come definito in particolare, dalla Commissione Europea”