



AUTORITÀ PER LE
GARANZIE NELLE
AGCOM COMUNICAZIONI

**ESPOSIZIONE UMANA A RADIOFREQUENZE.
STUDIO SULL'IMPATTO DELLA TELEFONIA
CELLULARE E REVISIONE DELLA
LETTERATURA SCIENTIFICA RIGUARDANTE LE
EVIDENZE DI EVENTUALI RISCHI**



AUTORITÀ PER LE
GARANZIE NELLE
COMUNICAZIONI

ESPOSIZIONE UMANA A RADIOFREQUENZE.

STUDIO SULL'IMPATTO DELLA TELEFONIA CELLULARE E REVISIONE DELLA LETTERATURA SCIENTIFICA RIGUARDANTE LE EVIDENZE DI EVENTUALI RISCHI

PROGETTO REALIZZATO DA



Autori:

Sara Adda, Laura Anglesio, Alberto Benedetto, Enrica Caputo, Mauro Mantovan, Massimiliano Polesel

ARPA Piemonte - Dipartimento Radiazioni – Struttura Semplice “Radiazioni Non Ionizzanti”

Cristiana Ivaldi, Ennio Cadum

ARPA Piemonte - Dipartimento Epidemiologia e Salute Ambientale

Coordinamento

Giovanni d'Amore

Responsabile Dipartimento Radiazioni di Arpa Piemonte

L'attività di sviluppo della app per smart phone con sistema operativo android è stata realizzata da:

Alfonso Domenici e Luca Guerrini

Si ringrazia Telecom Italia per la collaborazione tecnico scientifica

INDICE

PREMESSA	5
ASPETTI INTRODUTTIVI	
1. INTRODUZIONE	9
2. CONCETTI DI BASE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI A RADIOFREQUENZA	12
3. ESPOSIZIONE A CAMPI ELETTROMAGNETICI A RADIOFREQUENZA E RISCHI PER LA SALUTE.	15
LO STUDIO SPERIMENTALE SULLA VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE UMANA AL CELLULARE	
4. ESPOSIZIONE AMBIENTALE E PERSONALE A CAMPI ELETTROMAGNETICI A RADIOFREQUENZA	22
5. IL CONTRIBUTO DEI TELEFONI CELLULARI ALL'ESPOSIZIONE UMANA A CAMPI ELETTROMAGNETICI A RADIOFREQUENZA	28
6. MISURA DELLA POTENZA EMessa DA TELEFONI CELLULARI: STRUMENTI E METODI	31
7. RISULTATI E VALUTAZIONE DEI DATI	35
8. SVILUPPI PROGETTUALI: UNA APPLICAZIONE PER SMART PHONE PER ANALIZZARE L'ESPOSIZIONE	50
9. CONCLUSIONI DELLO STUDIO SPERIMENTALE	53
REVISIONE DELLA LETTERATURA SCIENTIFICA SU EVENTUALI RISCHI SANITARI	
10. LA VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE E I MECCANISMI D'AZIONE	57
12. GLI STUDI EPIDEMIOLOGICI SULL'ESPOSIZIONE A RADIOFREQUENZE DA CELLULARI	60
13. AGGIORNAMENTO DELLA LETTERATURA – METODI	64
14. CONCLUSIONI DELLA RASSEGNA DEGLI STUDI EPIDEMIOLOGICI	73
INDICAZIONI PER RIDURRE L'ESPOSIZIONE NELL'UTILIZZO DEL TELEFONINO	76
APPENDICE - LA CLASSIFICAZIONE IARC	77
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	83

PREMESSA

L'indagine condotta nell'ambito del progetto promosso e finanziato dal CoReCom (Comitato Regionale per le Comunicazioni) del Piemonte ha lo scopo di analizzare il ruolo giocato dall'uso del telefonino nell'esposizione umana ai campi elettromagnetici a radiofrequenza. Tale esposizione è infatti determinata da una molteplicità di sorgenti, quali gli impianti per la diffusione sul territorio di segnali radiotelevisivi o per telefonia mobile, delle quali il telefono cellulare ne rappresenta una tra le più significative.

Per raggiungere gli scopi del progetto si è sviluppato il seguente percorso metodologico:

- analisi dei dati disponibili, sulla base dell'esperienza di monitoraggio ambientale di Arpa Piemonte, per una valutazione dell'esposizione umana a campi elettromagnetici a radiofrequenza in ambiente;
- analisi della letteratura scientifica internazionale sulla determinazione dell'esposizione umana a telefoni cellulari e sulle modalità di valutazione sperimentale di tale esposizione;
- messa a punto in laboratorio di un banco di misura dell'emissione del telefono cellulare nelle diverse condizioni di utilizzo e funzionamento;
- realizzazione di una campagna di misure in situ per la verifica delle prestazioni del banco di misura e la determinazione di dati sperimentali per le diverse modalità di esposizione alle emissioni elettromagnetiche da cellulari in diversi contesti ambientali;
- analisi dei dati emersi nella campagna di misure e valutazione dell'esposizione anche sulla base di un modello di stima di dose alla popolazione.

La messa a punto del banco di misura dell'emissione elettromagnetica dei telefonini è stata realizzata in collaborazione con il laboratorio di ricerca TiLab di Telecom. Si tratta di una modalità originale di determinazione della potenza emessa dai telefonini rispetto a quelle riportate nella letteratura tecnico scientifica. Infatti, mentre in questa indagine si è proceduto con la misura effettiva della potenza per mezzo di un circuito di prelievo del segnale e di un misuratore di potenza in linea, in altri studi presenti nella letteratura scientifica si è rilevata la potenza per mezzo di un software specifico in grado di "leggere" il dato di potenza in uscita all'antenna del telefonino.

L'analisi e l'elaborazione dei dati di misura, secondo modelli di assorbimento dell'energia elettromagnetica nel corpo umano, ha consentito di giungere ad una valutazione quantitativa della dose di radiazioni elettromagnetiche ricevibile nelle diverse modalità di utilizzo del telefonino e per differenti tipologie di contesti ambientali.

Le informazioni sull'esposizione personale alla radiazione emessa dai telefonini, ottenute nell'ambito di questo progetto, sono state utilizzate per lo sviluppo di una app per smart phone con sistemi operativi android. Questa applicazione può fornire informazioni all'utente sul tempo trascorso al telefono, considerando l'utilizzo di dispositivi quali auricolari o viva voce che riducono l'esposizione, e sui livelli indicativi di esposizione subita suddivisi in tre classi: alta, media e bassa.

Tale app consente anche di inviare i dati sull'uso dei telefonini sui quali viene installata ad un server, al fine di effettuare analisi cumulative dell'utilizzo dei telefonini per un campione di popolazione, utili per la progettazione di specifiche indagini epidemiologiche.

Nell'ambito di questo progetto, partendo dalle conoscenze disponibili dalla letteratura scientifica, si sono quindi ottenute informazioni utili per quantificare i livelli di esposizione alle emissioni elettromagnetiche dai cellulari, per meglio valutare i possibili rischi e mettere a punto adeguate azioni di prevenzione. A tale scopo sono state elaborate delle indicazioni per minimizzare l'esposizione nell'utilizzo del cellulare. .

E' stata inoltre effettuata una revisione critica della letteratura internazionale e, in particolare, delle revisioni sistematiche pubblicate negli ultimi cinque anni che analizzano il rapporto tra l'esposizione a campi elettromagnetici prodotti da telefoni cellulari ed effetti sulla salute. Tale revisione sarà oggetto della seconda parte di questa relazione.

Al fine di fornire gli elementi utili a comprendere le problematiche affrontate in questa attività progettuale, prima della descrizione delle indagini e dei risultati verranno illustrati, nei primi paragrafi di questa relazione, i concetti di base sull'esposizione a campi elettromagnetici e sui rischi sanitari conseguenti.

ASPETTI INTRODUTTIVI

1. INTRODUZIONE

Gli antenati dei telefoni cellulari sono stati i telefoni portatili che, inizialmente, venivano prodotti esclusivamente per uso militare: nel 1929 i soldati americani utilizzavano i cosiddetti "telefoni radio" che permettevano la comunicazione su distanze brevi. L'attrezzatura necessaria veniva alloggiata in una scatola ed era alimentata da una batteria esterna. Nella seconda Guerra mondiale, questo tipo di radiotelefono - il precursore dei walkie-talkie - aveva un utilizzo molto diffuso. Successivamente, i radiotelefoni venivano comunemente usati dalle forze di polizia.

L'uso civile dei telefoni cellulari iniziò già nel 1950 quando un'azienda francese promosse il telefono veicolare, in grado di stabilire comunicazioni telefoniche durante un viaggio in automobile. Infine, negli anni '70 del secolo scorso, i telefoni portatili fecero la loro comparsa sul mercato.

Il telefono cellulare vero e proprio fu inventato da Martin Cooper, direttore della sezione Ricerca e sviluppo della Motorola, che fece la sua prima telefonata da un cellulare il 3 aprile 1973. Il telefono utilizzato da Cooper pesava 1,1 kg e le sue dimensioni erano di 228,6 millimetri, 127 millimetri per 44,4 millimetri. Era un prototipo che impiegava circa dieci ore per caricarsi e con cui era possibile parlare per 30 minuti. Inizialmente, il prodotto non riuscì a raggiungere il mercato anche per problemi di autonomia, in quanto la batteria si esauriva troppo in fretta. I problemi dovuti all'autonomia delle batterie erano talmente rilevanti che, in casa Motorola, si ipotizzò che effettuare una chiamata senza cavo non era semplicemente possibile. Diversi tentativi e diverse versioni di telefoni furono sperimentate a partire dal 1973 e 10 anni dopo, nel 1983, il Motorola DynaTAC 8000X comparve sul mercato con un costo di poco più di 3.000 dollari. Questo modello fu il primo nella storia dei telefoni cellulari ad essere rilasciato commercialmente offrendo 30 minuti di conversazione, con la possibilità di memorizzare 30 numeri con un tempo di attesa di 6 ore. Le dimensioni e il peso dei prodotti erano stati ridotti e, in aggiunta alla tipica tastiera telefonica a 12 tasti, erano stati inseriti dei tasti speciali per la memorizzazione, l'invio, la richiamata, il blocco e il volume.

Inizialmente, il telefono portatile e veicolare si affermò come un dispositivo di comunicazione di lusso, dato il prezzo elevato e la durata della batteria molto contenuta, e

il marketing dei telefoni cellulari si sviluppò soprattutto negli Stati Uniti, rivolto a imprenditori di successo e, generalmente, ai soggetti più abbienti.

Al giorno d'oggi, il telefono cellulare è ormai da molti anni un oggetto largamente diffuso e comunemente utilizzato da gran parte della popolazione del mondo industrializzato. L'Italia è tra i paesi con più elevato uso di telefoni cellulari, come emerge anche da un recente rapporto della società di indagini di mercato Nielsen, dal quale risulta, tra l'altro, che gli italiani sopra i 16 anni che utilizzano un telefono cellulare sono il 97%, tanti quanti gli inglesi ma più degli americani (94%), dei cinesi (89%), dei brasiliani (84%) e degli indiani (81%) [1]. Questi dati sono in accordo con quelli pubblicati nel rapporto ISTAT del 2008 "L'uso dei media e del cellulare in Italia" [2], che riporta un utilizzo del cellulare che, già nel 2006, riguardava il 93 % della popolazione di età compresa tra i 15 e i 44 anni ed il 77.4 % della popolazione di età superiore a 6 anni.

L'uso crescente del telefonino è associato ad una sempre maggiore diffusione sul territorio degli impianti per la trasmissione dei segnali elettromagnetici a radiofrequenza necessari al funzionamento delle comunicazioni mobili, le cosiddette stazioni radio base. L'incremento delle stazioni radio base non è determinato solo dall'aumento di utenti ma anche dallo sviluppo delle tecnologie. A partire dalla metà degli anni '80 del secolo scorso, quando iniziava l'introduzione sul mercato dei telefoni cellulari per le utenze di massa, si è assistito allo sviluppo di ben quattro generazioni di sistemi di comunicazione mobile: dalla prima generazione dei sistemi TACS, basati su segnali analogici, alla seconda generazione dei sistemi GSM con tecnologia digitale, introdotti agli inizi degli anni '90, ed ai successivi sviluppi del sistema UMTS, di terza generazione, avvenuto intorno al 2000, e di quello LTE, di quarta generazione, ad oggi in fase di implementazione.

L'aumento della domanda di servizi per comunicazioni mobili, associato ad un continuo e rapido sviluppo delle tecnologie, ha portato ad una crescita impetuosa delle stazioni radio base installate sul territorio, come si può vedere dalla figura seguente che riporta, sulla base di dati Arpa Piemonte, l'andamento del numero di stazioni radio base sul territorio piemontese nell'arco di 12 anni, dal 2000 al 2012 [3].

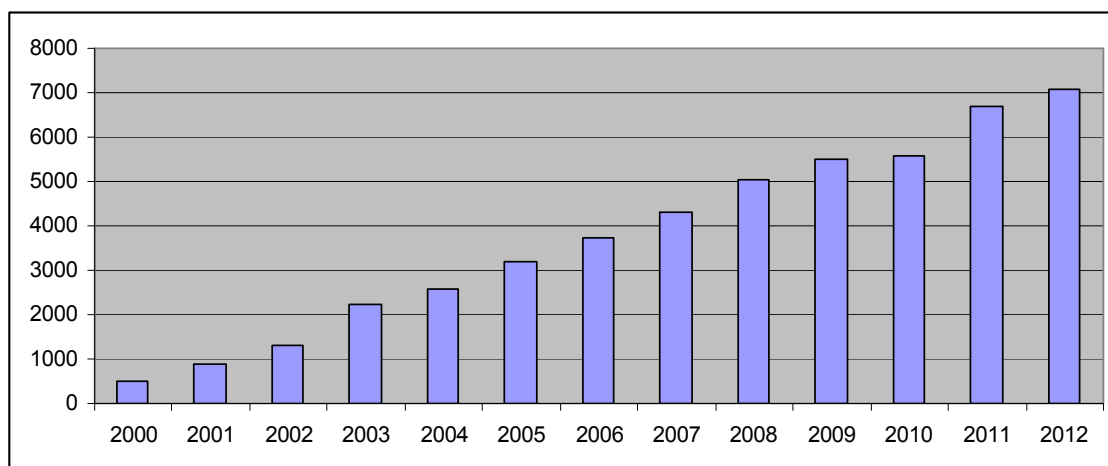


Figura 1 Numero di stazioni radio base per telefonia mobile oggetto di nuovi iter autorizzativi in Regione Piemonte nel periodo 2000 - 2012.

La presenza sempre più pervasiva di stazioni radio base sul territorio ha provocato nei cittadini una crescita di attenzione e allarme verso i possibili effetti sulla salute derivanti dall'esposizione a campi elettromagnetici. Avere una stazione radio base installata nelle vicinanze della propria abitazione è vissuta, in molti casi, come una situazione di pericolo per il quale si richiede ad Arpa una valutazione tramite misure ambientali dei livelli di esposizione al campo elettromagnetico.

Questa condizione di esposizione a radiazione elettromagnetica emessa da una stazione radio base e ricevuta all'interno della propria abitazione è, spesso, causa di maggiore preoccupazione rispetto all'esposizione personale alla radiazione emessa da un telefonino nel corso di una chiamata. Si tratta di comportamenti legati alla percezione del rischio che sono spiegabili su un piano psicologico e sociologico ma che possono non avere una giustificazione razionale.

In questo lavoro esamineremo l'esposizione a campi elettromagnetici nel suo complesso, dovuta alle diverse fonti di esposizione, al fine di poter acquisire elementi validi per effettuare adeguate valutazioni sui possibili rischi per la salute.

Particolari approfondimenti tecnici saranno dedicati all'esposizione al telefono cellulare con la messa a punto di un banco di misura per caratterizzare sperimentalmente le emissioni elettromagnetiche dei dispositivi mobili nelle diverse condizioni di funzionamento. Grazie ai risultati di questa attività sperimentale, sarà possibile determinare quali sono le modalità di utilizzo dei telefoni cellulari che limitano i livelli di esposizione personale al campo elettromagnetico.

2. CONCETTI DI BASE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI A RADIOFREQUENZA

Molte tipologie di radiazione comunemente note quali la luce (radiazione visibile), i raggi x o le onde radio appartengono alla famiglia delle radiazioni elettromagnetiche, che può essere rappresentata nello spettro elettromagnetico riportato nella seguente figura. Lo spettro riporta anche alcuni esempi di sorgenti che, tipicamente, emettono le diverse forme di radiazione. Come si nota dalla lettura dello spettro elettromagnetico, le diverse radiazioni sono associate a diversi intervalli di frequenza. Alle frequenze più basse corrispondono le radiazioni non ionizzanti mentre a quelle più elevate le radiazioni ionizzanti, quali i raggi x e i raggi gamma. Le radiazioni a radiofrequenza costituiscono una parte delle radiazioni non ionizzanti, che include le onde radio e le microonde, corrispondente all'intervallo di frequenze 300 Hz – 300 GHz

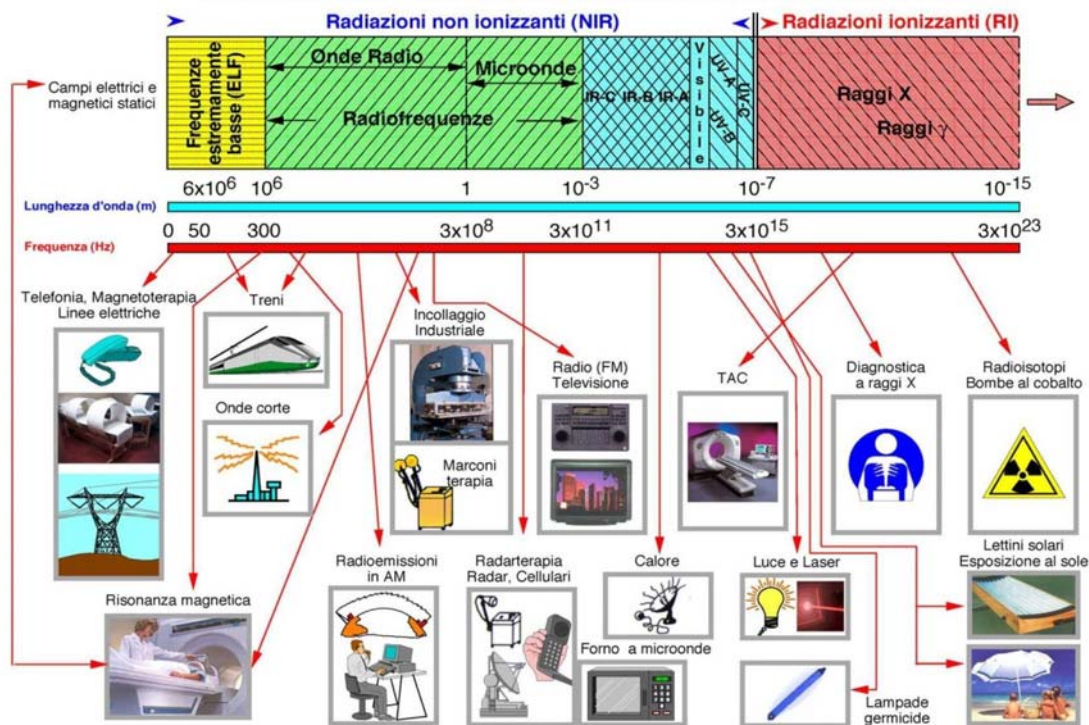


Figura 2 Spettro della radiazione elettromagnetica ed esempi di sorgenti.

Tutte le radiazioni elettromagnetiche sono rappresentabili fisicamente in termini di campi elettrici e magnetici che oscillano quali elementi di onde che si propagano nello spazio: le onde elettromagnetiche. Nella seguente figura viene mostrata un'onda elettromagnetica che si propaga nella direzione x, con un campo elettrico e magnetico che oscillano nel tempo e nello spazio, in direzioni tra loro ortogonali, ad una data frequenza. La lunghezza d'onda, rappresentata nella figura, è la distanza tra due successivi picchi, o creste,

dell'onda elettromagnetica, mentre la frequenza è data dal numero di picchi presenti in un secondo. Frequenza, f , e lunghezza d'onda, λ , sono legate dalla semplice relazione: $f \lambda = c$, dove c è la velocità dell'onda elettromagnetica in assenza di materia (velocità della luce pari a 300.000 km/sec). Questa relazione tra f e λ spiega come lo spettro elettromagnetico si possa rappresentare, indifferentemente, in funzione dell'una o dell'altra grandezza fisica. Le diverse radiazioni elettromagnetiche possono quindi essere associate a intervalli di lunghezze d'onda così come a intervalli di frequenze. Per una sorta di convenzione, è d'uso individuare le radiazioni infrarosse, visibili e ultraviolette per mezzo della loro lunghezza d'onda, espresse in nm (nanometri), mentre i campi elettromagnetici a frequenze ELF ed a radiofrequenza sono associati a intervalli di frequenze, espressi in Hz e nei suoi multipli, quali il kHz, pari a mille Hz, o il MHz, pari a un milione di Hz.

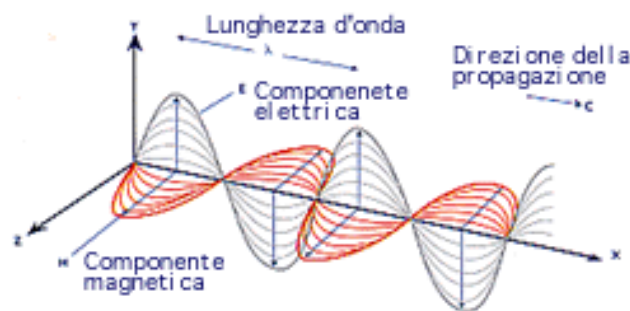


Figura 3 Rappresentazione schematica di un'onda elettromagnetica

Per valutare l'esposizione umana a radiazione elettromagnetica a radiofrequenza si considerano quindi le grandezze fisiche, campo elettrico, la cui unità di misura è il V/m (volt per metro) e campo magnetico, la cui unità di misura è l'A/m (Ampere per metro). Generalmente, le esposizioni a radiazioni RF non avvengono nelle vicinanze della sorgente ma a distanze tali per cui valgono le cosiddette condizioni di onda piana o di campo lontano. In queste condizioni i campi elettrico, E , e magnetico, H , dell'onda elettromagnetica sono tra loro perpendicolari e strettamente connessi dalla semplice

relazione : $\frac{E}{H} = 377$. La conoscenza del solo campo elettrico consente quindi di

determinare anche il campo magnetico e, quindi, l'intensità dell'onda elettromagnetica. E' questo il motivo per cui la descrizione dell'esposizione alla radiazione, o ai campi elettromagnetici, a radiofrequenza, è spesso basata sulla misura del solo campo elettrico, espresso in V/m. In condizioni particolari, di esposizioni che avvengono a distanze prossime alle sorgenti, non risulta invece più valida questa stretta relazione tra i campi

elettrico e magnetico che, essendo tra loro non più proporzionali, dovranno essere valutati entrambi per una completa descrizione dell'esposizione.

Una situazione tipica di esposizione in vicinanza della sorgente o, per usare un termine tecnico, in zona di campo vicino, è quella che avviene quando si usa un telefono cellulare senza ricorrere a dispositivi quali auricolari o viva voce. In questi casi la posizione della testa è, infatti, a pochi millimetri dall'antenna del cellulare e il solo campo elettrico a radiofrequenza non può essere un parametro adeguato per valutare l'esposizione. Si ricorre, in questo caso, ad un nuovo parametro fisico che esprime in modo diretto l'effetto dell'interazione tra il campo elettromagnetico e i tessuti umani: il SAR, dall'acronimo inglese Specific Absorption Rate (Tasso di Assorbimento Specifico). Il SAR rappresenta la quantità di energia che viene assorbita nei tessuti umani a seguito dell'interazione con il campo elettromagnetico e si può esprimere in funzione dell'innalzamento di temperatura subito dai tessuti, visto che il riscaldamento è un effetto diretto dell'assorbimento di energia elettromagnetica. La relazione che lega il SAR, che si esprime nell'unità di misura W/kg (watt per chilogrammo), all'innalzamento di temperatura è la seguente:

$$SAR = 4.186c \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (1)$$

dove ΔT è l'incremento di temperatura e Δt il tempo nel quale tale incremento avviene, mentre c rappresenta il calore specifico del tessuto interessato dall'assorbimento di energia.

Il SAR è un parametro molto importante per caratterizzare le emissioni dei telefoni cellulari e la loro potenziale nocività. Sulla base di specifiche norme internazionali tutti i costruttori di telefoni cellulari devono valutare il SAR che gli apparecchi possono indurre nella testa a seguito del loro utilizzo affinché venga rispettato un valore massimo di riferimento. I risultati di queste prove, effettuate in laboratorio in condizioni standard su fantocci che simulano una testa umana, sono consultabili nei manuali dei telefonini, che devono riportare il valore massimo di SAR misurato per quel dato modello di apparecchio.

IN SINTESI

Per valutare l'entità dell'esposizione al campo elettromagnetico a radiofrequenze si utilizza la grandezza fisica campo elettrico, misurata in V/m (volt per metro). Nel caso di esposizioni che avvengono in prossimità della sorgente, quali quella della testa al telefonino, si considera la grandezza fisica SAR (Specific Absorption Rate –

Tasso di Assorbimento Specifico) che si misura in W/kg (watt per chilogrammo). Ogni telefono cellulare riporta nel manuale il valore massimo di SAR che può indurre nella testa di un utilizzatore.

3. Esposizione a campi elettromagnetici a radiofrequenza e rischi per la salute.

La presunta nocività per la salute umana dell'esposizione a campi elettromagnetici (CEM) a radiofrequenza (RF) è da diversi anni oggetto di dibattito sia nella comunità scientifica che, soprattutto, al di fuori di essa. I risultati di alcune indagini scientifiche sono stati spesso oggetto di informazioni riportate dai media in modo parziale e non corretto, in modo tale che rischi ipotetici e da verificare sono stati comunicati come certi e scientificamente dimostrati. In realtà, non esistono ad oggi evidenze scientifiche che attestino effetti nocivi dovuti all'esposizione a CEM a RF ai livelli tipici presenti in ambienti comunemente frequentati dalla popolazione. Gli unici effetti certi sono quelli che si manifestano a causa del riscaldamento indotto nei tessuti umani dall'esposizione a radiazione RF., i cosiddetti effetti termici. Ma questa tipologia di effetti si può manifestare solo a livelli molto elevati di intensità del campo elettromagnetico, non riscontrabili nelle comuni situazioni di esposizione della popolazione. Al fine di poter meglio comprendere questo aspetto, è utile sapere che gli effetti termici si possono manifestare per campi elettromagnetici a RF di intensità superiore a diverse decine di V/m, mentre i livelli di esposizione tipici della popolazione, dovuti ad impianti per telecomunicazione installati nell'ambiente urbano, sono dell'ordine di qualche decimo di V/m per raggiungere, nelle situazioni di più elevata esposizione, valori dell'ordine di qualche V/m.

Al fine di valutare eventuali effetti non termici dei CEM a RF sono state condotte, a partire dalla seconda metà degli anni '80, diverse indagini epidemiologiche per valutare l'incidenza di patologie tumorali in popolazioni residenti in prossimità di impianti per telecomunicazione. All'inizio, tali studi erano orientati esclusivamente all'esposizione da trasmettitori radiotelevisivi, essendo non ancora sviluppate le reti di impianti per la telefonia mobile.

L'incidenza di tumori tra i residenti in prossimità di ripetitori televisivi è stata analizzata in studi condotti alle Hawaii [4, 5], in Australia [6, 7] e in Gran Bretagna [8,9, 10]. Le indagini più rilevanti sono state quelle effettuate in Australia e in Gran Bretagna: in entrambi i casi i risultati dei primi studi, che avevano riscontrato un'associazione tra distanza dalle emittenti e leucemia, non sono stati confermati in analisi successive. In Australia, Hocking et al

hanno analizzato l'incidenza e la mortalità per tumori in tre comuni adiacenti interessati dalla presenza di un sito con alcuni trasmettitori televisivi. Il confronto fra i comuni ubicati intorno al sito (area interna, 135.000 abitanti) e i comuni circostanti (area esterna, 450.000 residenti), nel periodo 1972-90, ha mostrato un aumento di rischio di leucemia infantile nell'area interna, con un incremento sia dell'incidenza sia della mortalità. Gli stessi dati sono stati rianalizzati in uno studio successivo [7], ma i risultati di questo secondo studio hanno mostrato che l'associazione tra leucemia infantile ed esposizione a RF, riscontrata nell'analisi precedente, era più debole e risultava in larga misura attribuibile a un'area dello studio, Lane Cover, che presentava alti livelli d'esposizione e alta incidenza di leucemia. Nello stesso studio è stato evidenziato che in tale area l'elevato tasso di leucemia (per la classe di età 0-4 anni) era precedente (1972-78) all'avvio delle trasmissioni televisive su 24 ore (1977-78). È tuttavia da rilevare che almeno tre impianti erano operativi a Lane Cover fin dal 1958. In Gran Bretagna è stata analizzata l'incidenza di tumori nella popolazione residente in prossimità del trasmettitore televisivo di Sutton Coldfield negli anni 1974-86. Il rischio di leucemia negli adulti, in un raggio di 2 km intorno al sito, è risultato pari a 1,83, basato su 23 casi osservati e 12,6 casi attesi. Nello studio è stata evidenziata inoltre una significativa diminuzione del rischio in funzione della distanza. A seguito di questa osservazione, l'indagine epidemiologica venne estesa a 20 impianti di trasmissione radiotelevisiva in Gran Bretagna con potenza irradiata di almeno 500 kW per gli impianti televisivi e 250 kW per quelli radiofonici. Lo studio evidenziò una diminuzione significativa del rischio di incidenza di leucemia con la distanza dagli impianti. L'eccesso di rischio non era presente nelle immediate vicinanze (0-2 km) ma si manifestava a una distanza di 2-5 km con un valore del rischio relativo pari a 1,15 tra i 2 e i 3 km. In particolare, l'area intensamente popolata intorno all'impianto di Cristal Palace, in vicinanza di Londra, contribuiva in modo rilevante al complesso delle osservazioni con un rischio relativo di 1,33 nella corona 2-3 km. Sono stati successivamente pubblicati i risultati di un'ulteriore analisi nell'area di Sutton Coldfield utilizzando dati più aggiornati (1987-1994). L'eccesso di rischio di leucemia tra gli adulti residenti entro 2 km, riscontrato nel periodo precedente, non è stato confermato, mentre per la leucemia infantile è risultata significativa la diminuzione del rischio in funzione della distanza solo tra i maschi.

Anche nel nostro Paese è stata svolta un'indagine epidemiologica riguardante i residenti in prossimità di un sito radiotelevisivo. Si tratta dell'indagine relativa all'inquinamento elettromagnetico dovuto a Radio Vaticana, presso la località di Santa Maria di Galeria a

nord di Roma, che ha avuto una importante eco attraverso i media. Lo studio ha analizzato la mortalità per leucemia nel periodo 1987-98 nella popolazione adulta (40 casi) e l'incidenza di leucemia infantile nel periodo 1987-99 (8 casi) nell'area entro 10 km dalla stazione radio, comprendente una popolazione di 60.182 abitanti nel 1999 [11]. I risultati di questa indagine documentano un eccesso di rischio di leucemia in prossimità della stazione radio e un decremento del rischio a distanza crescente dagli impianti. Anche in questo caso, come per altri studi analoghi, i risultati delle analisi epidemiologiche non forniscono però evidenze conclusive circa una possibile associazione causale tra esposizione a RF e aumento del rischio di leucemie. I motivi che giustificano questa prudenza nell'attribuire ad alcune evidenze epidemiologiche il valore di prove conclusive sono dovuti ai limiti di queste indagini che possono essere riassunti nei seguenti punti:

- il numero di casi, ovvero di tumori, oggetto delle osservazioni epidemiologiche è piccolo rendendo l'analisi statistica molto instabile e le evidenze di associazione tra esposizione e insorgenza di patologie tumorali molto deboli;
- la stessa esposizione è valutata non sulla base di misure dirette del campo elettromagnetico ma sulla base di un indicatore quale la distanza delle residenze dal sito dove sono ubicati gli impianti radiotelevisivi. Tale indicatore non consente una adeguata stima dell'esposizione, in quanto gli impianti emettono la radiazione elettromagnetica in modo differente nelle diverse direzioni e, quindi, i residenti posti alla stessa distanza da un impianto per telecomunicazioni ma su direzioni diverse possono essere esposti a livelli di campo elettromagnetico molto diversi;
- nell'analisi non si tiene conto di potenziali fattori responsabili delle patologie osservate (fattori di confondimento) quali la presenza di noti o sospetti cancerogeni (ad esempio, radiazione gamma, benzene ecc.), tra i quali particolare rilievo potrebbero avere anche le esposizioni professionali sia per i maschi adulti sia per i bambini, per i quali è stata ipotizzata un'associazione con l'esposizione occupazionale dei genitori nel periodo prenatale [12, 13].

Gli studi riguardanti le esposizioni a stazioni radio base per telefonia mobile sono più recenti rispetto a quelli inerenti i siti per la diffusione di trasmissioni radiotelevisive e presentano difficoltà maggiori a causa del fatto che i livelli di esposizione della popolazione sono ancora più difficili da caratterizzare. Le stazioni radio base hanno infatti un'emissione più direttiva e localizzata del segnale elettromagnetico che, all'interno delle abitazioni, subisce attenuazioni molto maggiori rispetto ai segnali radiotelevisivi. Nonostante queste difficoltà, negli ultimi anni sono state condotte diverse indagini epidemiologiche su gruppi di popolazione residente in prossimità di stazioni radio base per telefonia mobile. Una revisione sistematica dei risultati emersi in 17 studi ha indicato l'assenza di relazione tra esposizione a stazioni

radio base ed effetti acuti, quali l'insorgenza di malesseri, fino a livelli di campo elettrico di 10 V/m. Analogamente a quanto detto per gli studi sui siti radiotelevisivi, anche per le stazioni radio base non sono emersi dati sufficienti a dimostrare eventuali effetti dovuti ad esposizioni prolungate alle radiazioni emesse da questi impianti [14].

Nonostante i numerosi studi epidemiologici effettuati su popolazioni residenti in prossimità di impianti per telecomunicazione, quali trasmettitori radiotelevisivi e stazioni radio base per telefonia mobile, non consentissero di evidenziare una correlazione tra l'esposizione alle radiazioni a radiofrequenza ed effetti sulla salute, nel maggio 2011 l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha classificato i campi elettromagnetici a radiofrequenza tra gli agenti "possibilmente cancerogeni (gruppo 2B)".

In realtà, la classificazione IARC non è basata sulle esposizioni ambientali subite da residenti in prossimità di impianti per telecomunicazione ma, esclusivamente, su una particolare forma di esposizione al campo elettromagnetico a radiofrequenza: quella al telefono cellulare.

Il gruppo di lavoro convocato dallo IARC per valutare la letteratura scientifica sulla cancerogenicità dei campi elettromagnetici RF si è riunito a Lione, dal 24 al 31 maggio 2011, per esaminare i risultati degli studi di cancerogenicità sull'uomo e su animali in relazione a diverse modalità di esposizione alle radiofrequenze, quali l'esposizione occupazionale a radar e microonde, l'esposizione ambientale a segnali radio, tv e telecomunicazioni wireless, l'esposizione personale associata all'uso di cellulari e telefoni wireless. La classificazione a cui è giunto il gruppo di lavoro dello IARC, le cui motivazioni scientifiche sono spiegate e discusse nella recente monografia dell'aprile 2013 [15], è basata su una limitata evidenza di incremento dei rischi di glioma e di neurinoma del nervo acustico in relazione all'uso del telefono cellulare, confermata anche da alcuni studi svolti su animali.

Per quanto riguarda il glioma, gli esperti dello IARC hanno ritenuto particolarmente significative le indagini condotte nell'ambito del progetto europeo INTERPHONE [16, 17] e quelle svolte da un gruppo di ricercatori svedesi dell'Università di Örebro [18].

Il progetto INTERPHONE è uno studio epidemiologico multicentrico di tipo caso-controllo condotto, su larga scala, in 13 Paesi diversi che hanno operato su un protocollo comune basato sulle seguenti quattro diverse tipologie di tumore:

- glioma

- meningioma;
- tumori della ghiandola parotide;
- neurinoma acustico.

Queste quattro patologie tumorali sono state considerate nello studio perché si sviluppano all'interno della scatola cranica e a carico di quei tessuti che nel corso di una telefonata assorbono la maggior parte dell'energia a radiofrequenza emessa dal terminale mobile.

Lo studio INTERPHONE ha come punti di forza la partecipazione di numerosi laboratori indipendenti sulla base di un protocollo comune e l'elevata potenza statistica dovuta al trattamento dei dati, che è stato effettuato in modo cumulativo. Nello studio sono state analizzate le storie cliniche relative a 2708 casi di glioma, confrontati con 2972 controlli. Ai fini della classificazione, sono stati esaminati i dati nel loro complesso in forma aggregata e non i singoli risultati ottenuti dai vari gruppi di ricerca. L'analisi dei dati ha evidenziato, per gli utilizzatori regolari di telefono cellulare, un'assenza di associazione tra esposizione ai campi elettromagnetici ed insorgenza di glioma. In termini di telefonate cumulative, il rischio è risultato significativo, con una associazione positiva tra esposizione ed insorgenza di glioma, solo per i più assidui utilizzatori di telefoni cellulari, corrispondenti a più di 1640 ore di telefonate cumulative nel corso della vita. A questi risultati sono state associate le analisi di lateralità che hanno mostrato stime di rischio più elevate nei soggetti che utilizzavano prevalentemente il telefono dal lato della testa in cui è stato diagnosticato il tumore. Va, tuttavia, segnalata l'assenza dell'evidenza di una curva dose risposta e possibili effetti di "distorsione del ricordo" che sono propri degli studi, come quello INTERPHONE, basati sulla somministrazione di un questionario. Questo effetto potrebbe, ad esempio, inficiare l'indicazione del lato di utilizzo del telefono cellulare da parte dei soggetti affetti dalla neoplasia.

Nello studio epidemiologico svedese caso-controllo del gruppo di ricercatori guidati dall'epidemiologo Lennart Hardell sono stati considerati, oltre agli utilizzatori di telefono cellulare, anche quelli di telefono cordless. Dall'analisi dei dati dell'ultima indagine, che segue altri studi portati avanti dallo stesso gruppo, con un coinvolgimento complessivo di 1148 casi di glioma accertati tra il 1997 e il 2003 e 2438 controlli, è stato evidenziato un aumento del rischio di insorgenza di glioma negli utilizzatori di telefono cellulare. In particolare, la stima del rischio è risultata aumentare sia in relazione all'aumento del tempo di utilizzo che al lato della testa interessato: l'elevato uso del terminale mobile dallo stesso lato della testa in cui era sorto il tumore risultava essere associato ad un maggior rischio di glioma

Analogamente a quanto rilevato per il glioma, lo studio svedese di Hardell ha riscontrato anche un aumento del rischio di neurinoma acustico per gli utilizzatori di telefono cellulare e cordless. Tale incremento di rischio è stato confermato da un successivo studio epidemiologico giapponese [19].

Alcune evidenze sono state riscontrate anche in studi relativi all'esposizione a radiazione a radiofrequenze di animali soggetti simultaneamente anche ad agenti chimici cancerogeni (co-carcinogenesi). In questi studi, dove si sono utilizzate radiazioni a frequenze tipiche della telefonia mobile (900 – 1800 MHz) o di apparecchiature a microonde quali forni (2450 MHz), sono stati considerati ratti o topi da laboratorio che, oltre ai campi elettromagnetici RF, subivano l'esposizione a benzopirene [20] ad un sottoprodotto della disinfezione delle acque, denominato MX (furanone 3-cloro-4-(diclorometil)-5-idrossilato-2(5H)) [21] e ad agenti mutageni quali l'Etil Nitrosurea (ENU) [22]. I risultati di questi studi sono stati considerati dagli esperti quale una limitata evidenza di cancerogenicità il cui valore è indebolito dal fatto che attualmente non sono noti i meccanismi biologici e molecolari che stanno alla base degli effetti osservati.

Nel complesso emerge pertanto, sulla base dell'analisi della letteratura scientifica condotta dagli esperti dello IARC, una limitata evidenza di carcinogenicità dell'esposizione a campi elettromagnetici a radiofrequenza, con particolare riferimento all'esposizione personale a telefoni mobili, quali cellulari e cordless. Ciò significa che le evidenze rilevate rendono credibile una associazione causale tra esposizione e induzione di tumori ma che non si possa comunque escludere l'influenza di fattori casuali o confondenti sull'attendibilità dei risultati. In altri termini, sulla base della classificazione IARC già citata, i campi elettromagnetici sono nella categoria IIB dei "possibili cancerogeni". E' opportuno ricordare che tale categoria di rischio è la terza in ordine di rilevanza tra quelle adottate dallo IARC, venendo dopo quella dei "probabili cancerogeni" (IIA) e quella dei cancerogeni certi (I).

IN SINTESI

Sulla base dei risultati della ricerca scientifica ad oggi disponibili, l'Associazione Internazionale per la Ricerca sul Cancro dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, ovvero IARC (International Association for Research on Cancer), ha classificato i campi elettromagnetici a radiofrequenza quali "possibili cancerogeni" (classe IIB). Tale classificazione si riferisce, in particolare, a limitate evidenze di cancerogenicità dell'esposizione a telefoni mobili. Le evidenze si considerano limitate in quanto, anche se rendono credibile un'associazione causale tra esposizione e induzione di tumori, non permettono di escludere la presenza di fattori casuali che inficino l'attendibilità di tale associazione.

**LO STUDIO SPERIMENTALE SULLA
VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE
UMANA AL CELLULARE**

4. ESPOSIZIONE AMBIENTALE E PERSONALE A CAMPI ELETTRROMAGNETICI A RADIOFREQUENZA

Al fine di evitare inutili dispersioni di energia e limitare le interferenze, gli impianti per telecomunicazione quali trasmettitori radio-TV e stazioni radio base per telefonia mobile sono progettati per ottenere una copertura mirata di una parte del territorio. Per chiarire come tale aspetto influisca sull'esposizione, si può paragonare la radiazione emessa dall'antenna con il fascio di luce emesso da un faro che illumina una parte del territorio propagandosi all'interno di un cono, con perdita graduale d'intensità lungo la direzione di irraggiamento: il livello del campo elettromagnetico nella zona "illuminata" dal fascio sarà maggiore di quello nella zona posta in "ombra". L'intensità dell'esposizione al campo elettromagnetico in prossimità di un impianto per telecomunicazione non è, pertanto, determinata solo dalla distanza dall'impianto e dalla potenza a radiofrequenza con cui esso viene alimentato, ma anche dalla sua altezza da terra, e dall'inclinazione verso il basso del fascio di radiazione (denominato tecnicamente tilt) e dalle sue modalità di irraggiamento (diagramma di radiazione). Quest'ultima caratteristica, che abbiamo associato al termine tecnico "diagramma di radiazione", è strettamente correlata alla direttività del fascio di radiazione ovvero alla sua ampiezza: in funzione del tipo di antenna utilizzata si possono infatti ottenere, a parità di potenza a radiofrequenza al connettore dell'antenna, fasci stretti e molto direttivi o più ampi in modo da distribuire la radiazione elettromagnetica in diverse direzioni

A titolo esemplificativo, in figura si riporta un caso nel quale l'abitazione più lontana dall'impianto per telecomunicazione (abitazione A) è quella dove si rileveranno i livelli maggiori delle sue emissioni elettromagnetiche. Ciò è dovuto al fatto che l'abitazione A è nella direzione di puntamento, o di massimo irraggiamento, dell'antenna, mentre l'abitazione B, si trova in una zona d'ombra, con un irraggiamento di gran lunga inferiore e l'abitazione C non è esposta al campo elettromagnetico perché posta in un'area dove non si ha alcuna irradiazione da parte dell'antenna (l'antenna non emette radiazione elettromagnetica nella sua parte posteriore.)

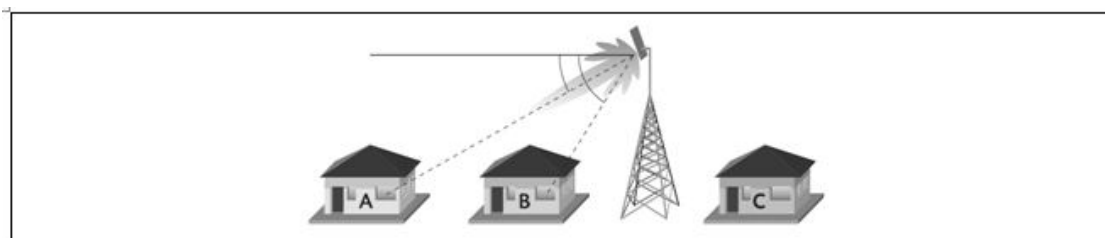


Figura 4 Modalità di esposizione a diverse distanze in prossimità di un impianto per telecomunicazione.

Chiarito il ruolo che parametri geometrici quali la direzione di puntamento del fascio, la sua inclinazione e l'altezza dell'antenna trasmittente, hanno nel determinare l'esposizione nel territorio circostante il

punto di installazione, occorre evidenziare altri due elementi importanti: la potenza degli impianti e la schermatura offerta dagli edifici.

La potenza determina i livelli massimi di esposizione che un impianto può provocare e dipende dal tipo di servizio di telecomunicazione.

Se il servizio richiede la trasmissione di informazione da un sistema emittente a più sistemi riceventi, come accade nel caso dei sistemi di diffusione radiotelevisiva (broadcasting), è importante coprire con un singolo impianto il territorio più vasto possibile, in modo compatibile con le interferenze dovute a segnali provenienti da altri impianti. Questo spiega le potenze elevate, tipiche dei sistemi radiotelevisivi, che possono raggiungere anche alcune decine di chilowatt. In realtà i valori più elevati di potenza sono ormai divenuti appannaggio dei sistemi radiofonici, in quanto il passaggio alla tecnologia digitale ha portato ad una riduzione della potenza per gli impianti televisivi.

La situazione cambia nel caso della telefonia mobile, dove l'utente non è un soggetto passivo, in grado solo di ricevere informazioni, ma trasmette anche segnali per comunicare con gli impianti fissi installati sul territorio e, tramite essi, con altri utenti. Per questo tipo di servizio è necessaria la suddivisione del territorio in celle, per ognuna delle quali è definita una regione di radiofrequenze dedicata alla comunicazione tra gli utenti ed un'unica antenna ricetrasmittente. Per effetto della suddivisione in celle del territorio, si usa il termine di telefonia cellulare, il cui servizio è schematizzato nella figura seguente.

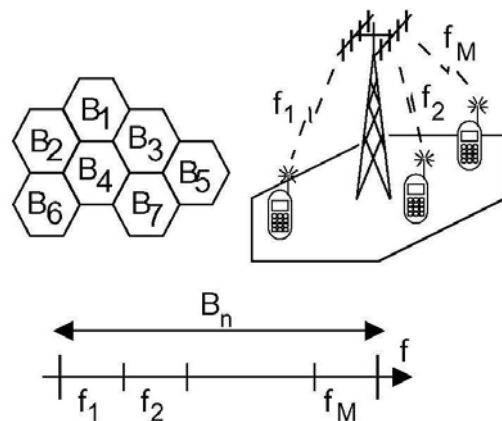


Figura 5 Schema di un collegamento ad accesso multiplo.

Le dimensioni limitate delle celle, che corrispondono ad un raggio di copertura di 300-400 m. nelle aree densamente popolate, spiegano i bassi valori di potenza degli impianti per telefonia mobile che raggiungono al massimo qualche decina di watt.

I livelli più elevati di esposizione a campi elettromagnetici a radiofrequenza per la popolazione potranno pertanto essere rilevati in aree poste a ridosso di siti radiotelevisivi. Per quanto riguarda le stazioni radio

base per telefonia mobile, distribuite soprattutto in ambiente urbano, esse potranno dare luogo a livelli significativi di esposizione solo nelle loro vicinanze e, quindi, nei piani più alti dei condomini prospicienti le antenne.

Un ulteriore elemento che influenza in modo rilevante l'esposizione della popolazione alle radiazioni a radiofrequenza è la schematura di tali radiazioni dovuta ai materiali che costituiscono gli edifici: solo una parte della radiazione elettromagnetica presente nell'ambiente esterno potrà penetrare all'interno degli edifici e dare luogo ad un'esposizione dei residenti. La riduzione dei livelli di campo elettromagnetico causata dalla schematura offerta dagli edifici dipende dal tipo di materiale da costruzione e, da dati di letteratura, può variare edifici, per effetto dell'attenuazione della radiazione elettromagnetica prodotta dai materiali che ne costituiscono da un fattore 1.5 a un fattore 10 [23]. Ciò significa che livelli di esposizione anche relativamente elevati in ambiente esterno si possono tradurre in livelli non significativi all'interno delle abitazioni, e più in generale nella struttura esterna.

A titolo di esempio, si riportano nella figura seguente gli esiti di un monitoraggio dei livelli di esposizione a radiofrequenze della popolazione in ambiente urbano, effettuato da ARPA Piemonte nel 2000. Il fondo elettromagnetico a radiofrequenza venne caratterizzato nella città di Torino, con misure effettuate in 35 punti di misura, posizionati nei diversi quartieri della città, a tre diverse altezze del suolo. Le misure consentivano di distinguere il contributo al campo elettromagnetico globale dovuto ai segnali provenienti da impianti radiotelevisivi ed ai segnali emessi da stazioni radio base per telefonia mobile [24].

I dati riportati in figura indicano l'aumento dei livelli di campo elettromagnetico, passando dai piani più bassi a quelli più elevati degli edifici, e la maggiore intensità dei segnali radiotelevisivi rispetto a quelli per la telefonia mobile. Va specificato che i punti di misura erano stati scelti sulla base di un criterio statistico per rappresentare il livello medio di campo elettromagnetico presente nell'ambiente urbano e non in prossimità di impianti per telecomunicazione.

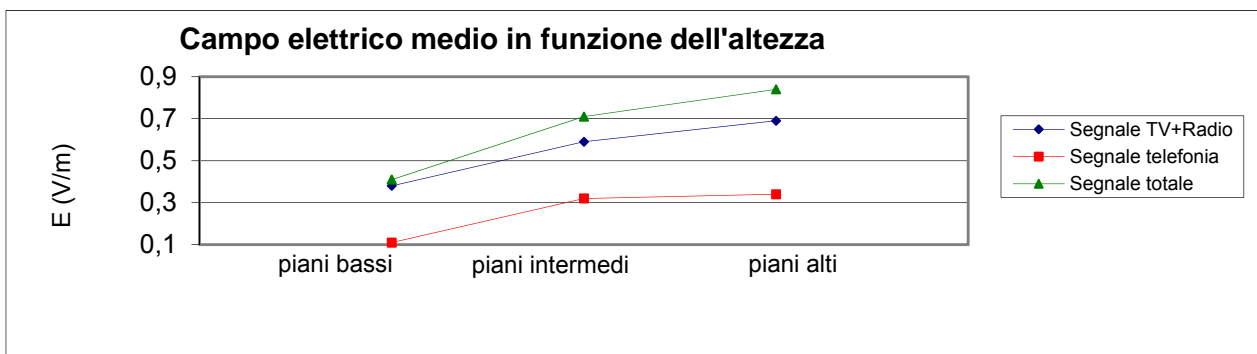


Figura 6. Livelli medi di campo elettrico a radiofrequenza misurati a diverse piani di condomini in aree urbane.

Nel caso della telefonia mobile occorre considerare anche un ulteriore fattore che influenza i livelli medi di esposizione della popolazione: la variabilità temporale del segnale emesso sia dalla stazione radio base che dal telefono cellulare. Per comprendere come questa variazione possa avvenire occorre descrivere alcune caratteristiche delle tecnologie di comunicazione per la telefonia mobile.

Nel sistema digitale GSM (Global System for Mobile communication), detto di “seconda generazione”, la banda assegnata ad un operatore è suddivisa tra diverse frequenze portanti su ognuna delle quali è possibile trasmettere più canali di traffico. Secondo questa tecnica, denominata TDMA (time division multiple access), ogni portante è ripartita in frazioni temporali denominate time-slot, in modo tale che più utenti possono utilizzare la stessa portante in istanti o slot diversi. Ogni portante può gestire così otto time-slot (trama), ciascuno attribuito ad un utente, che si ripetono ogni 4.616 msec con una frequenza di ripetizione di 217 Hz, come rappresentato nella figura seguente.

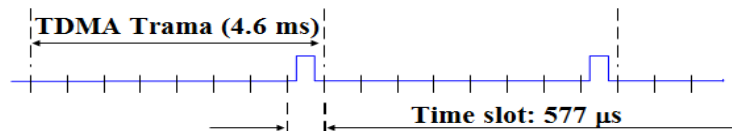


Figura 7 Schema di un segnale GSM

Nei sistemi GSM la trasmissione del segnale è, pertanto, discontinua perché avviene solo durante il time slot assegnato e il canale di traffico è identificato da un determinato intervallo di tempo e da una portante radio. Per questi sistemi, la massima potenza irradiata dalle stazioni radio base si avrà solo in condizioni limite di traffico, difficilmente realizzabili: tutti i time slot di tutte le portanti simultaneamente attivati. Il telefono cellulare trasmetterà invece, nel corso di una chiamata vocale, solo per un ottavo del tempo, corrispondente al singolo time slot occupato dall'utente.

La potenza irradiata dalle stazioni radio base GSM e dagli apparecchi mobili varia inoltre anche a seguito di alcune specifiche modalità di funzionamento di questa tecnologia: il controllo di potenza PC (Power Control) e la trasmissione discontinua DTX (Discontinuous Transmission).

La funzionalità PC consente di calibrare i livelli di potenza da e a ciascun canale di traffico entro un intervallo predefinito: il sistema regolerà una potenza del canale minima per utenti mobili vicini alla stazione radio e una potenza massima per utenti posti ai margini della cella. Analogamente, sulla base di questa funzionalità, aumenterà la potenza del segnale trasmesso dal telefonino in presenza di più bassi livelli del segnale ricevuto e diminuirà in presenza di livelli maggiori di segnale.

Tramite la funzionalità DTX, il sistema è in grado di riconoscere quale dei due interlocutori della conversazione in corso sta parlando ad ogni istante di tempo e attiverà, pertanto, il canale di

trasmissione solo negli istanti in cui l'utente, che è raggiunto dalla stazione radio, è nella posizione di ascolto. Il telefonino trasmetterà, pertanto, il segnale solo nel momento in cui si parla e non quando si ascolta.

Da valutazioni empiriche è risultato che le due modalità di funzionamento PC e DTX conducono, ciascuna, ad una riduzione media del 30 % della potenza massima delle portanti di traffico P_{MAX} . Se consideriamo una cella GSM con N portanti, una delle quali è sempre attiva alla massima potenza perché gestisce il canale di controllo BCCH (Broadcast Control Channel) che diffonde informazioni di sistema sulla cella, la potenza irradiata potrà essere data dalla seguente relazione, dove con α_{PC} e α_{DTX} si sono indicati i fattori di riduzione di potenza per le modalità PC e DTX, pari entrambi a 0.7 [25]:

$$P_{SRB} = P_{MAX} + (N - 1)P_{MAX} \alpha_{PC} \alpha_{DTX} = P_{MAX} + (N - 1)P_{MAX} 0.49 \quad (2)$$

La terza generazione delle reti di telefonia mobile è rappresentata dal sistema UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), che utilizza segnali con modulazione digitale differente dal GSM e una tecnica di accesso a divisione di codice W - CDMA (Wideband - Code Division Multiple Access), in base alla quale gli utenti trasmettono alla stessa frequenza e nello stesso istante. La separazione dei vari utenti è ottenuta assegnando a ciascuno un "codice" diverso. L'identificazione dell'utente avviene moltiplicando il segnale ricevuto, pari alla somma di tutti i segnali di tutti gli utenti e del rumore di fondo, per un determinato codice (codice di spreading) e amplificando solo il segnale risultante da questa operazione (despreading). Anche per i sistemi UMTS valgono le funzionalità PC e DTX che limitano le potenze delle portanti, di ampiezza pari a 5 MHz, rispetto ai valori massimi gestibili dalla stazione radio base [26]. Nel caso dell'UMTS la trama ha una lunghezza maggiore di quella propria del sistema GSM, pari a 10 msec, ed è suddivisa in 15 slot la cui durata sarà pari a 0.667 msec.

Sulla base di quanto esposto sopra, le stazioni radio base per telefonia mobile emetteranno radiazione elettromagnetica di intensità variabile nel tempo in funzione del traffico di telefonate gestito e della posizione degli utenti rispetto alla stazione. Nella figura seguente viene riportato un tipico andamento temporale del campo elettromagnetico presente in prossimità di una stazione radio base per telefonia mobile installata in un ambiente urbano. Il grafico riportato in figura (traccia blu) illustra la variabilità del segnale elettromagnetico nell'arco della giornata: ai livelli più elevati del segnale, corrispondenti alle ore diurne di maggiore traffico, seguono livelli più bassi nel periodo notturno. La linea rossa indica il valore di attenzione di 6 V/m previsto dalla normativa italiana.

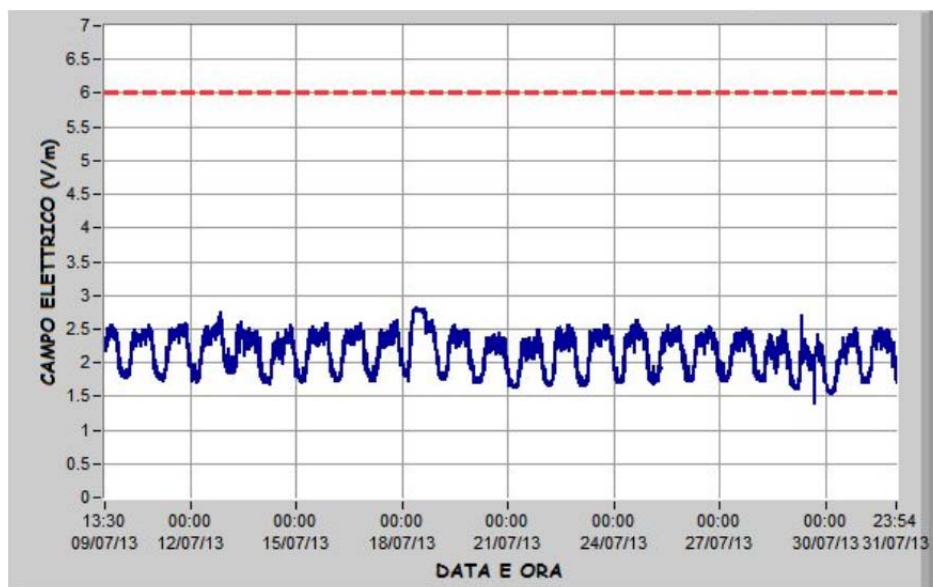


Figura 8 Variazione temporale del livello di campo elettrico dovuto ad una stazione radio base per telefonia mobile nell'arco di circa un mese

IN SINTESI

I maggiori livelli di esposizione ambientale a campi elettromagnetici a radiofrequenze sono rilevabili in prossimità di siti con alta densità di trasmettitori per trasmissioni radiotelevisive. I ripetitori per telefonia mobile, molto diffusi in ambiente urbano, hanno potenze di trasmissione molto inferiori e pertanto emettono livelli più bassi di campo elettromagnetico. L'evoluzione tecnologica ha, inoltre, introdotto dei sistemi di controllo dell'intensità dei segnali per telefonia mobile che limitano l'esposizione media nel tempo della popolazione a tali segnali.

5. IL CONTRIBUTO DEI TELEFONI CELLULARI ALL'ESPOSIZIONE UMANA A CAMPI ELETTROMAGNETICI A RADIOFREQUENZA

Come abbiamo visto nei paragrafi precedenti, l'esposizione a campi elettromagnetici a radiofrequenza può avvenire in modo simultaneo con differenti modalità. Si può essere esposti alla radiazione proveniente da sorgenti, quali impianti per telecomunicazione, che investe tutto il corpo umano così come alla radiazione a radiofrequenza emessa da sorgenti di utilizzo personale, nella fattispecie il telefono cellulare, che interessano solo una parte del corpo quale la testa.

Se l'esposizione ambientale a radiazione proveniente da sorgenti lontane viene espressa in termini dell'intensità del campo elettromagnetico, misurata in V/m, quella a sorgenti vicine, che interessano solo una parte del corpo, viene espressa in termini di SAR, misurato in W/kg. Ciò è dovuto in parte ad una intrinseca difficoltà nell'eseguire misure di campo elettrico molto vicino a sorgenti a radiofrequenza, dove intervengono mutui accoppiamenti tra sorgente e sensore di misura, ma soprattutto a causa della rapida decrescita con la distanza dalla sorgente dell'intensità di campo elettromagnetico che, nello spazio pochi centimetri, può ridursi di dieci volte. La valutazione del SAR locale, che esprime l'effetto prodotto globalmente dal campo elettromagnetico nell'interazione con i tessuti della testa, descrive quindi l'esposizione in modo più adeguato di quanto possa fare la conoscenza di un livello di campo elettromagnetico molto disuniforme nell'area in cui tale esposizione avviene.

Per poter confrontare le esposizioni ambientali a radiofrequenze, espresse in termini di campo elettrico, e l'esposizione personale al telefono cellulare, espressa in termini di SAR, occorre stabilire una relazione tra livelli di esposizione al campo elettrico a radiofrequenza ed il corrispondente SAR assorbito in modo da poter fare analisi su grandezze fisiche omologhe. Per stabilire questa relazione, basata sull'uso di modelli teorici di simulazione dell'interazione tra un'onda elettromagnetica a radiofrequenza e un modello di corpo umano, possiamo considerare quanto riportato nel recente lavoro di Lauer [27] che indica un rapporto pari a circa 0.01 tra il SAR, espresso in mW/kg, e il quadrato dell'intensità del campo elettromagnetico, espressa in V/m, per frequenze dell'ordine di 1 GHz, tipiche dei segnali utilizzati per la telefonia mobile.

Un aspetto ulteriore da considerare nel confrontare l'esposizione personale a un telefono cellulare con quella ambientale a segnali a radiofrequenza è il tempo di esposizione. Mentre l'esposizione ambientale può essere considerata di tipo continuativo nell'arco delle 24 ore giornaliere, quella

personale avverrà solo nei periodi di utilizzo del telefono. Da un'estesa indagine europea sull'utilizzo dei telefoni cellulari, effettuata alcuni anni fa nell'ambito del progetto Interphone, è risultato che in Italia il telefono cellulare viene utilizzato in media per circa 10 minuti al giorno [28].

Sulla base delle considerazioni svolte sopra, è possibile comporre le due modalità di esposizione qui considerate in un unico parametro indicatore dell'esposizione globale al campo elettromagnetico a radiofrequenza, che chiameremo SAR globale medio, SAR_{GM} , e che potrà essere espresso come segue:

$$SAR_{GM} = 0.01 \times 10^{-3} E^2_{AMB} + \frac{10}{1440} SAR_{CELL} \quad (3)$$

Dove E_{AMB} rappresenta il campo elettrico ambientale a radiofrequenza, misurato in V/m, e SAR_{CELL} il SAR assorbito nella testa a seguito dell'uso del telefono cellulare, espresso in W/kg, che viene moltiplicato per la frazione di minuti di utilizzo medio al giorno.

Nel paragrafo precedente, dove sono stati illustrati i concetti fisici di base, si è già detto che il valore massimo di SAR_{CELL} per singolo modello viene fornito dalle ditte costruttrici di cellulari e indicato nel manuale, a seguito di prove di laboratorio effettuate su fantocci che simulano la testa umana. Ciò è dovuto al fatto che il SAR, essendo una grandezza dosimetrica che esprime l'energia assorbita nei tessuti di un corpo umano, richiederebbe metodi invasivi in vivo per poter essere misurato in un soggetto esposto. Non essendo, ovviamente, possibile tale condizione di misura, l'unico modo per stimare il SAR è quello di ricorrere a delle simulazioni, che possono essere sperimentali, con l'uso di fantocci costituiti di materiali che riproducono il comportamento dei tessuti umani, o teoriche, per mezzo di modelli di calcolo che simulano l'interazione tra la radiazione elettromagnetica e la struttura del corpo umano.

Nel caso dell'accoppiamento tra telefono cellulare e testa, diversi studi hanno dimostrato che il SAR_{CELL} è proporzionale alla potenza emessa dal telefono, che chiameremo P_{OUT} [29, 30, 31]. Il parametro P_{OUT} può quindi essere utilizzato per stimare SAR_{CELL} e per analizzare la variazione dell'esposizione personale in funzione delle modalità di utilizzo del telefono cellulare.

La conoscenza del parametro P_{OUT} non è facile da ottenere in quanto la potenza trasmessa dal telefonino, al contrario di quella ricevuta che è proporzionale al numero di tacche visibili sul display, non è reperibile tramite il software installato negli apparecchi commercializzati e comunemente disponibili.

In studi precedenti, tale parametro è stato rilevato tramite terminali mobili con software modificato dai costruttori per campionare e registrare la potenza emessa dall'antenna del telefonino [32, 33] o tramite specifici software utilizzati dai gestori di reti per telefonia mobile al fine di testare le prestazioni del servizio [34].

In questa indagine si è scelto di determinare sperimentalmente la potenza trasmessa dal telefonino, per mezzo di una catena di misura progettata e messa a punto ad hoc, seguendo così una strada del tutto nuova e d'originale rispetto a quelli dei citati studi precedenti basati su determinazioni via software.

IN SINTESI

Sulla base di alcuni studi scientifici, riportati in bibliografia, è stato definito un modello per confrontare l'esposizione personale a campi elettromagnetici a radiofrequenza, dovuta all'utilizzo del telefonino, con l'esposizione ambientale dovuta ai segnali per telecomunicazioni, sia radiotelevisive che per telefonia mobile, presenti negli ambienti in cui viviamo. Mentre le esposizioni ambientali possono essere determinate con sistemi di misura già utilizzati nell'ambito delle attività di monitoraggio, per l'esposizione personale al telefonino è stato messo a punto un banco di misura ad hoc descritto nel prossimo paragrafo.

6. MISURA DELLA POTENZA EMESSA DA TELEFONI CELLULARI: STRUMENTI E METODI

Per misurare la potenza emessa dal telefonino nelle diverse condizioni di prova è stato messo a punto un set up sperimentale costituito dalla seguente catena strumentale:

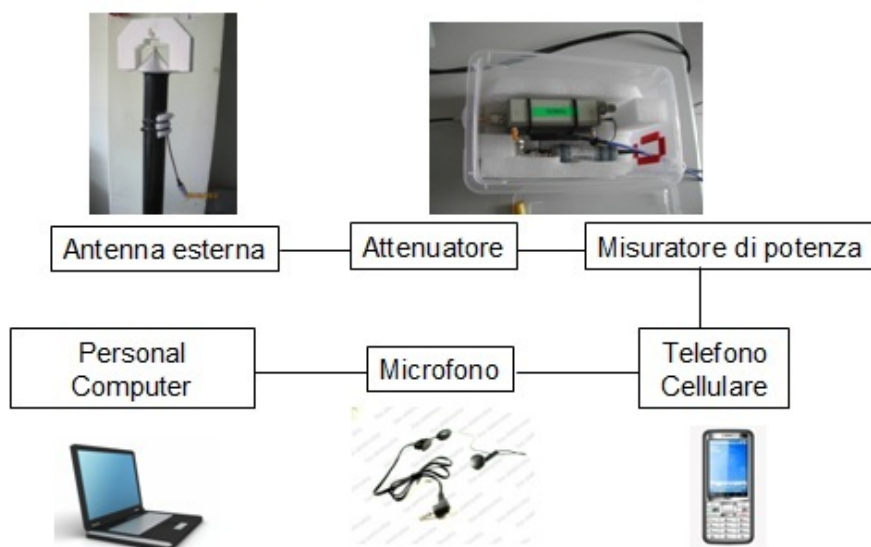


Figura 9 Schema della catena strumentale predisposta per la misura della potenza emessa dal telefonino

Come si vede dallo schema della figura precedente, non potendo effettuare misure di potenza al connettore dell'antenna interna del telefonino, la misura della potenza P_{OUT} ha richiesto l'utilizzo di un'antenna esterna connessa al telefonino tramite un apposito cavo di collegamento. Siccome tale antenna esterna modifica le condizioni di ricezione e di trasmissione del telefonino, sono state effettuate delle prove di laboratorio per caratterizzare il sistema costituito dall'antenna esterna connessa al telefonino e ricondurlo alle caratteristiche del telefonino con la sua antenna interna. Il set up sperimentale deve infatti riprodurre, con la massima accuratezza possibile, le condizioni di funzionamento di un normale telefonino che riceve e trasmette il segnale elettromagnetico con la sua antenna interna.

Dalle prove effettuate in laboratorio è emersa la necessità di inserire una attenuazione del segnale sulla discesa dell'antenna esterna di circa 20 dB al fine di riprodurre le condizioni di ricezione dell'antenna interna del telefonino. Per questo motivo è stato inserito un attenuatore nella catena di misura oltre, ovviamente, ad un misuratore di potenza.

La messa a punto della misura è stata effettuata grazie alla collaborazione tra Arpa Piemonte e il laboratorio di ricerca di Telecom, TiLab, di Torino. TiLab, che ha fornito i telefoni mobili su cui sono state effettuate le prove e l'antenna esterna, effettuando presso il proprio laboratorio la loro caratterizzazione per la determinazione dell'attenuazione, come esposto sopra. Il laboratorio di metrologia dei campi elettromagnetici di Arpa Piemonte ha messo a punto il set up sperimentale ed ha realizzato l'interfaccia in LabView per il campionamento e l'analisi dei dati.

Il set up sperimentale assemblato per l'effettuazione delle prove in campo, che appare così come rappresentato nella seguente figura, consente di acquisire i dati di potenza rilevati con diversi intervalli temporali. Per l'effettuazione delle misure si è scelto di acquisire un dato di potenza ogni circa 30 millisecondi. I dati così acquisiti sono successivamente stati elaborati per la determinazione dei parametri necessari alla valutazione delle condizioni di trasmissione nelle diverse situazioni di misura, quali la potenza media e quella massima nel corso della telefonata.



Figura 10 Set-up sperimentale per la misura di potenza emessa da telefoni cellulari

Tra le varie condizioni che influenzano la potenza emessa da un telefonino vi è anche il tipo di telefonata, nel caso del traffico voce, in quanto il numero di pause e di battute nel corso di una conversazione telefonica può variare anche in modo significativo la potenza media emessa a causa del sistema DTX che, come già detto nel paragrafo precedente, non attiva la trasmissione del segnale dal telefonino quando l'utente è in ascolto. Per questo scopo si è scelto di utilizzare una telefonata standard trasmettendo al microfono del telefonino in prova la registrazione di un brano di uno sketch

nel quale l'attrice Franca Valeri interpretava un personaggio impegnato in una conversazione telefonica.

Messo a punto il sistema di misura, sono state effettuate le prove impostando le seguenti condizioni di funzionamento del telefonino:

- utilizzo solo rete 2G (GSM) con traffico voce;
- utilizzo solo rete 3G (UMTS) con traffico voce;
- utilizzo solo rete 3G con traffico dati.

Il traffico dati è stato simulato scaricando un filmato da un sito web (you tube). Come nel caso del traffico voce, anche per il traffico dati si è deciso di standardizzare questa modalità di ricetrasmisione del telefonino scaricando sempre lo stesso filmato.

Le misure della potenza, P_{OUT} , trasmessa dai telefonini, nelle tre modalità di funzionamento esposte, sono state effettuate in diverse condizioni di ricezione del segnale rappresentate dai seguenti siti:

- aree esterne urbane densamente popolate, con elevati livelli di campo elettromagnetico;
- aree esterne rurali con bassi livelli di campo elettromagnetico;
- aree indoor con elevate schermature al campo elettromagnetico e difficili condizioni di ricezione.

In tutti i siti di misura è stato rilevato il livello del campo elettromagnetico globale e quello del segnale ricevuto dal telefono cellulare. I livelli dei segnali GSM e UMTS presenti nel sito di misura e indicativi della ricezione dell'apparecchio telefonico per queste due tipologie di servizio, sono stati misurati per mezzo di una catena strumentale in banda stretta costituita da un analizzatore di spettro Narda modello SRM 3000 collegato ad un'antenna triassiale. In particolare, sono stati determinati il valore della portante del canale di controllo BCCH (Broadcast Control Channel) per i segnali GSM e della portante del canale pilota CPICH (Common Pilot Channel) nel caso del segnale UMTS. Tali rilevazioni sono indipendenti dal traffico presente al momento della misura e, pertanto, possono essere indicative del livello di ricezione da parte dei telefonini.

Il valore globale di campo elettrico presente sul sito è stato rilevato con un misuratore in banda larga Narda Mod 8053 con sonda EP330

Al fine di valutare l'efficacia sulla riduzione dell'esposizione prodotta da dispositivi che consentono di usare il telefonino allontanandolo dalla testa, quali viva voce, auricolari e bluetooth, sono state infine

effettuate misure del campo elettromagnetico emesso dal telefonino a varie distanze dal corpo dell'apparecchio. Queste misure sono state realizzate in laboratorio, usando i telefonini in condizioni di massima emissione ponendoli in zone a basso campo elettromagnetico, per mezzo di un misuratore di campo elettromagnetico a banda larga Narda modello 8053

Per le prove sono stati utilizzati i modelli di telefonino riportati nella seguente tabella insieme ai corrispondenti valori massimi di SAR alla testa indicati nei rispettivi manuali.

Tabella 1 Modelli di telefono cellulare utilizzati nelle prove e corrispondenti valori di SAR massimo alla testa

Modello telefono cellulare	SAR massimo alla testa riportato nel manuale W/kg
A	0.725
B	0.742
C	1.62
D	0.59
E	0.78
F	0.52

Sui primi tre modelli, A, B e C, sono state effettuate sia le misure di potenza che quelle di campo elettromagnetico, mentre per i modelli D, E e F, solo le rilevazioni del campo elettromagnetico a diverse distanze dall'apparecchio.

Le misure di potenza emessa dai telefonini sono state effettuate in sette diversi siti, che denomineremo con le lettere dalla A alla G, caratterizzati da differenti condizioni di ricezione del segnale come riportato nella seguente tabella:

Tabella 2 Tipologia dei siti dove si sono svolte le misure

SITO DI MISURA	CONTESTO TERRITORIALE ED ELETTROMAGNETICO
A	Area rurale in assenza di impianti in vicinanza
B	Piano seminterrato di edificio con scarsa ricezione dei segnali
C	Piani alti di condomini in ambiente urbano con buona ricezione segnale
D	
E	
F	Ambiente urbano in prospienza di stazioni radio base per telefonia mobile
G	

IN SINTESI

E' stato messo a punto un sistema di misura della potenza emessa dal telefonino e sono state definite le condizioni di utilizzo (traffico voce con rete 2G, traffico voce con rete 3G e traffico dati) e le tipologie di ambienti per l'effettuazione delle prove.

Sei diversi modelli di smart phone verranno caratterizzati in sette siti, corrispondenti a tre diverse tipologie ambientali: area esterne urbane densamente popolate, aree esterne rurali e aree indoor con difficili condizioni di ricezione.

7. RISULTATI E VALUTAZIONE DEI DATI

Nelle figure seguenti sono riportati degli esempi di grafici con tracciati di dati visualizzati dall'interfaccia predisposta per il set-up di misura. I grafici rappresentano, in particolare, i valori di potenza emessa dal telefonino nel corso di una chiamata di tipo vocale o con traffico dati.

Il primo esempio riguarda l'andamento temporale della potenza nel corso della telefonata per una chiamata vocale effettuata con segnale GSM (2G) così come mostrato di seguito.

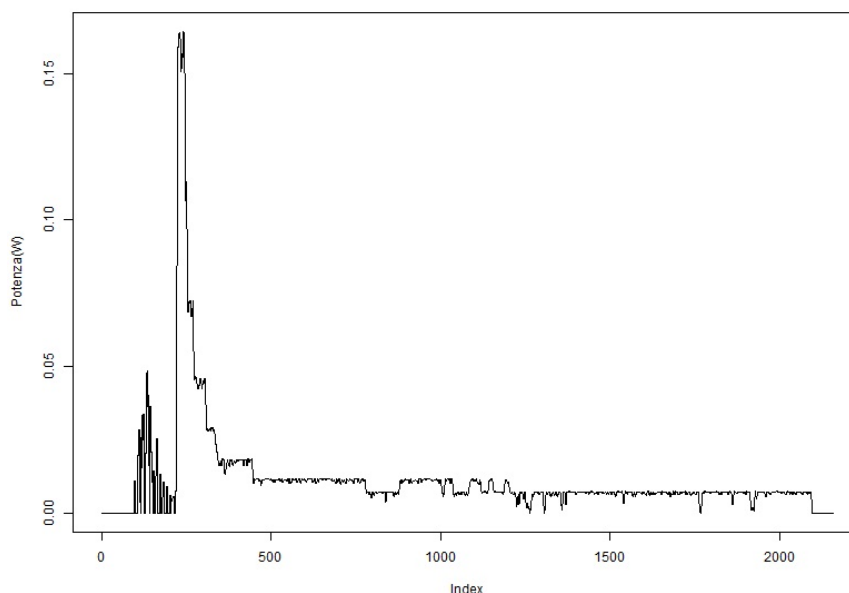


Figura 11 Esempio di variazione della potenza emessa dal telefonino durante una chiamata vocale effettuata con segnale GSM (2G)

Come si può notare dall'esame della figura, nei primi secondi della telefonata la potenza emessa dal telefonino è molto più elevata di quella rilevata successivamente. Questo comportamento, che si manifesta con un picco iniziale di potenza, è dovuto al fatto che, all'inizio di una chiamata, il telefonino emette un segnale più elevato per cercare la cella della stazione radio base a cui "agganciarsi" per utilizzare la rete. Successivamente il livello di potenza emesso dal telefonino si può abbassare notevolmente, a seguito del sistema di controllo della potenza (power control), fino a fattori maggiori di dieci, o rimanere su valori confrontabili con quello del picco iniziale, in funzione delle condizioni di ricezione del segnale elettromagnetico. Mentre nella figura precedente è riportato un esempio nel quale il rapporto tra la potenza del picco iniziale e quella media della telefonata è molto elevato, pari a

circa 9, nella figura successiva è rappresentato un caso nel quale questo rapporto è molto più basso, pari a circa 1.7.

Il livello di potenza presentato in questi grafici presenta inoltre un'andamento relativamente regolare nel corso della telefonata con una variabilità dovuta al tipo di modulazione del segnale GSM che è basata sull'attivazione di singoli time slot per ciascun utente, come già descritto nel precedente paragrafo sulle modalità di esposizione.

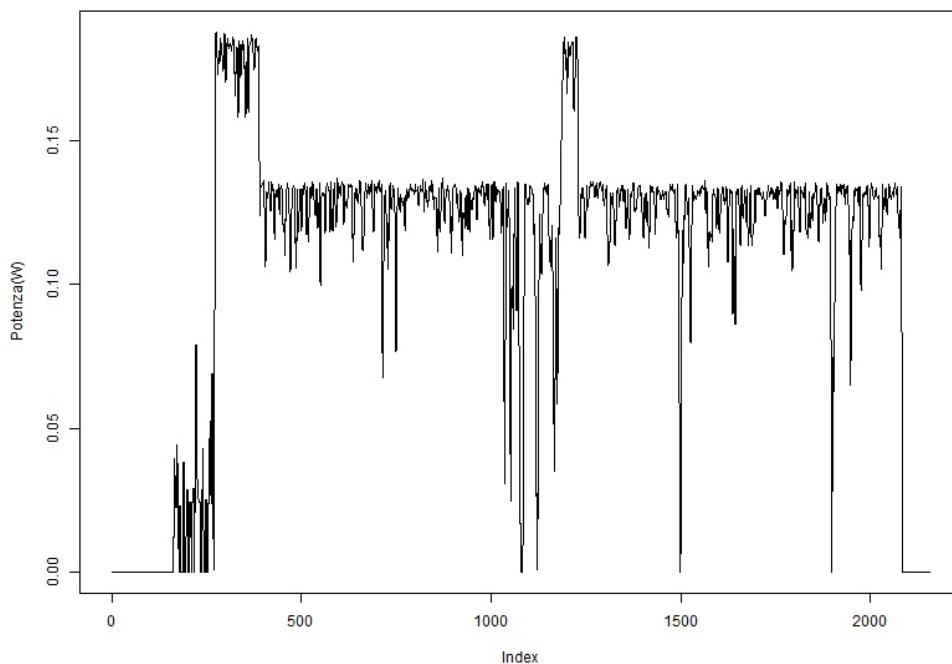


Figura 12 Esempio di variazione della potenza emessa dal telefonino durante una chiamata vocale effettuata con segnale GSM (2G) nel caso in cui il telefonino usi mediamente una elevata percentuale della potenza massima erogabile

Un aspetto meno regolare viene invece manifestato dai grafici risultanti dalle misure riferite a chiamate su rete 3G. In questo caso la tecnica di accesso alla risorsa radio (CDMA), che consiste nell'identificazione degli utenti tramite dei codici, e non con l'attribuzione ad essi di specifiche portanti o partizioni temporali (time slot) di portanti, utilizza segnali le cui componenti si sovrappongono senza relazioni di fase costanti in modo da apparire come segnali casuali tipici del rumore, denominati per questo "noise like". Alcune caratteristiche di questi segnali, quali l'elevato intervallo dinamico e le veloci variazioni temporali, sono evidenziate anche nei grafici risultanti dalle misure di potenza emessa dal telefonino effettuate nel corso di traffico voce o dati con tecnologia UMTS.

Nei grafici seguenti sono riportati due esempi che presentano, nel primo caso, la variazione temporale della potenza nel corso di una chiamata vocale e, nel secondo caso, nel corso di una attivazione di traffico dati. Il grafico relativo alla trasmissione di dati consente di identificare in modo evidente i momenti della chiamata nel corso dei quali avviene lo scarico (download) dei dati, corrispondenti

all'aumento dei livelli di potenza, e quelli nei quali non avviene tale operazione, corrispondenti a un livello nullo di potenza.

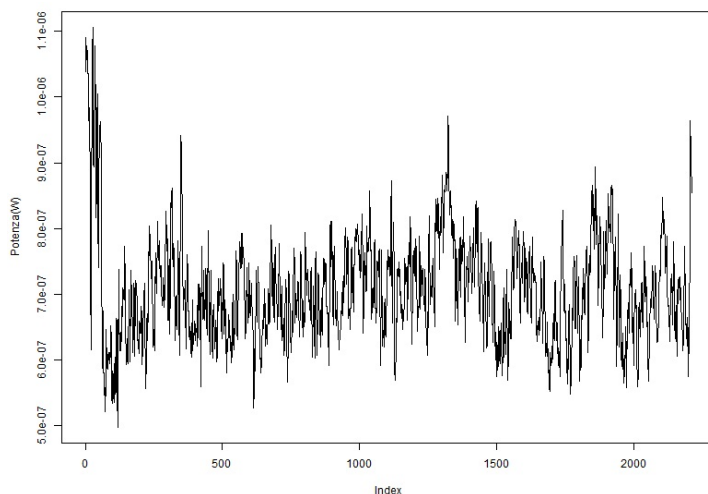


Figura 13 Esempio di variazione della potenza emessa dal telefonino durante una chiamata vocale effettuata con segnale UMTS (3G)

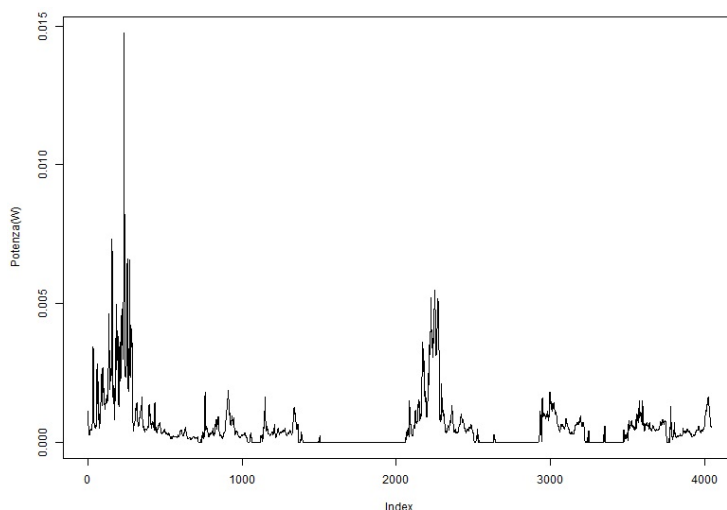


Figura 14 Esempio di variazione della potenza emessa dal telefonino durante una chiamata per traffico dati effettuata con segnale UMTS (3G).

Nelle successive tabelle 3, 4 e 5 sono riportati i valori di potenza misurati per tre modelli di telefono cellulare nei diversi siti e per le diverse condizioni di traffico (voce 2G, voce 3G e dati 3G), insieme ai livelli di campo elettromagnetico presenti nel sito e riferiti al segnale GSM (2G) e al segnale UMTS (3G) ricevuti dall'apparecchio telefonico. Il valore totale di campo elettrico, riportato nelle tabelle, non corrisponde alla somma quadratica dei valori relativi ai segnali 2G e 3G, in quanto si riferisce a tutte le portanti di telefonia mobile attive e, più in generale, a tutti i segnali elettromagnetici presenti nel sito di misura e non solo a quelli del gestore telefonico sul quale avviene il traffico dei telefonini in prova. Per ciascuna condizione di traffico, la misura della potenza è stata ripetuta cinque volte al fine di verificare la riproducibilità del dato. I valori di potenza riportati nelle tabelle sono quindi pari alle medie dei cinque

valori di potenza rilevati in ciascuna sessione di misura. Nel caso in cui non fosse stato possibile rilevare il dato è stato riportato N.R. (non rilevabile)

Per una migliore lettura dei dati, nelle pagine seguenti le tabelle si riportano i grafici che rappresentano la variazione dei livelli di potenza media emessi dal telefonino in funzione del livello di campo elettromagnetico presente nel luogo di misura e nelle diverse condizioni di funzionamento.

Tabella 4 Risultati delle misure effettuate sul telefono cellulare modello A

SITO	Campo Elettrico Ambientale (V/m)			Modalità comunicazione 2G Voce		Modalità Comunicazione 3G Voce		Modalità Comunicazione 3G Dati	
	totale	Segnale 2G	Segnale 3G	Potenza max (mW)	Potenza media (mW)	Potenza max (mW)	Potenza media (mW)	Potenza max (mW)	Potenza media (mW)
A	0.5	0.03	0.03	164.94	12	1.87	0.19	19.95	0.88
B	0,02	0.001	0.013	165.748	130.738	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.
C	0.68	0.015	0.021	164.88	30.37	1.61	0.16	16.28	1.4
D	0.53	0.078	0.188	161.97	11.3	0.048	0.0025	0.365	0.025
E	1.57	0.638	0.415	154.358	5.684	0.0015	0.0011	0.0017	0.0012
F	0,85	0.369	0.249	127.39	8.37	0.0054	0.0017	0.016	0.0024
G	2.6	1.98	1.56	70.098	2.112	0.0007	0.0004	0.001	0.0004

Tabella 3 Risultati delle misure effettuate sul telefono cellulare modello B

SITO	Campo Elettrico Ambientale (V/m)			Modalità comunicazione 2G Voce		Modalità Comunicazione 3G Voce		Modalità Comunicazione 3G Dati	
	totale	Segnale 2G	Segnale 3G	Potenza max (mW)	Potenza media (mW)	Potenza max (mW)	Potenza media (mW)	Potenza max (mW)	Potenza media (mW)
A	0.5	0.03	0.03	156	13.22	0.59	0.16	6.71	0.38
B	0,02	0.001	0.013	158.298	124.914	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.
C	0.68	0.015	0.021	119.58	17.538	0.643	0.14	17.3	0.64
D	0.53	0.078	0.188	75.472	9.556	0.136	0.0016	0.271	0.011
E	1.57	0.638	0.415	129.784	4.056	0.0013	0.00077	0.0018	0.0009
F	0,85	0.369	0.249	95.95	6.092	0.00399	0.0011	0.0075	0.0014
G	2.6	1.98	1.56	80.67	2.58	0.0018	0.0003	0.0031	0.0004

Tabella 5 Risultati delle misure effettuate sul telefono cellulare modello C

SITO	Campo Elettrico Ambientale (V/m)			Modalità comunicazione 2G Voce		Modalità Comunicazione 3G Voce		Modalità Comunicazione 3G Dati	
	totale	Segnale 2G	Segnale 3G	Potenza max (mW)	Potenza media (mW)	Potenza max (mW)	Potenza media (mW)	Potenza max (mW)	Potenza media (mW)
A	0.5	0.03	0.03	190.45	24.03	1.58	0.25	N.R.	N.R.
B	0.02	0.001	0.013	181.75	107.72	45.14	6.41	N.R.	N.R.
C	0.68	0.012	0.022	135.75	13.44	11.85	0.32	1.42	0.076
D	0.53	0.078	0.188	97.176	40.652	0.016	0.004	1.595	0.016
E	1.57	0.333	0.547	110.6	4.17	0.009	0.0014	0.05	0.015
G	2.6	1.98	1.56	99.754	2.748	0.0008	0.0006	0.001	0.0006

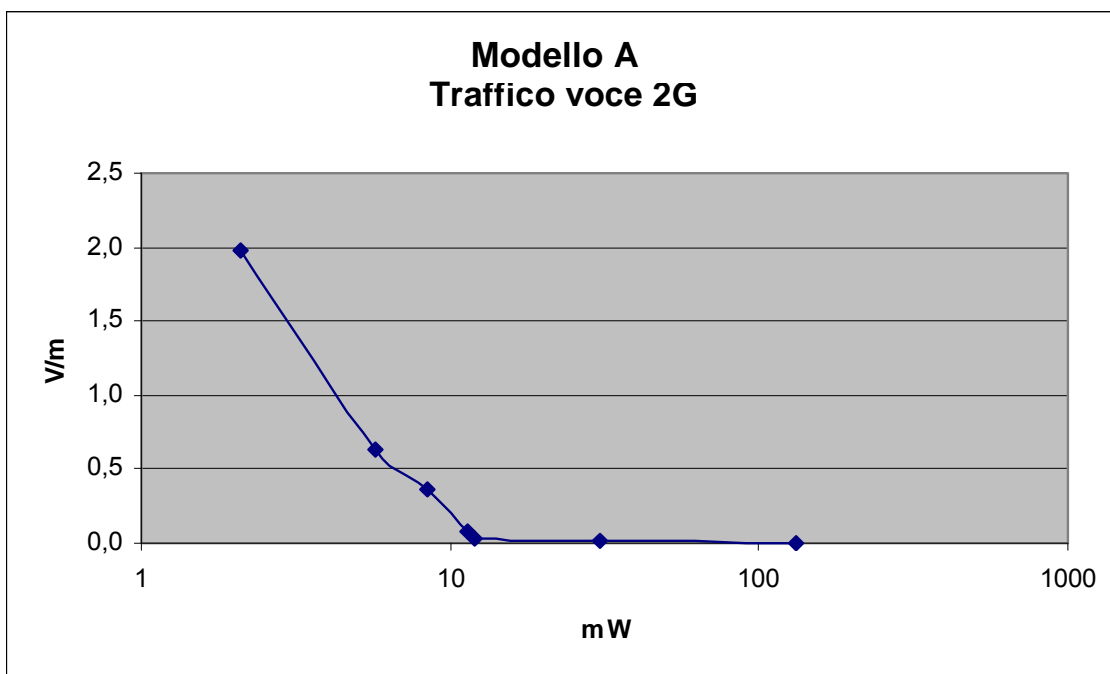


Figura 17 Potenza media emessa dal telefono cellulare Samsung GT-B5330 nel corso di una chiamata vocale 2G in corrispondenza di segnali con livelli variabili da 0.001 V/m a circa 2 V/m.

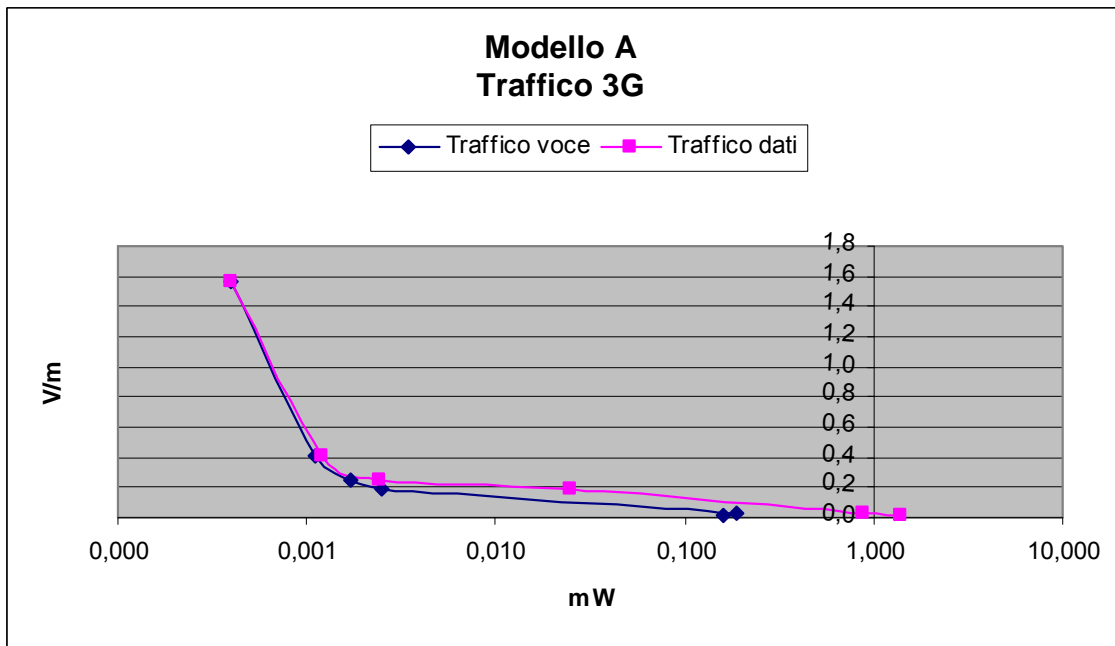


Figura 18 Potenza media emessa dal telefono cellulare Samsung GT-B5330, nel corso di una chiamata vocale 3G e di traffico dati 3G in corrispondenza di segnali con livelli variabili da 0.013 V/m a circa 1.5 V/m.

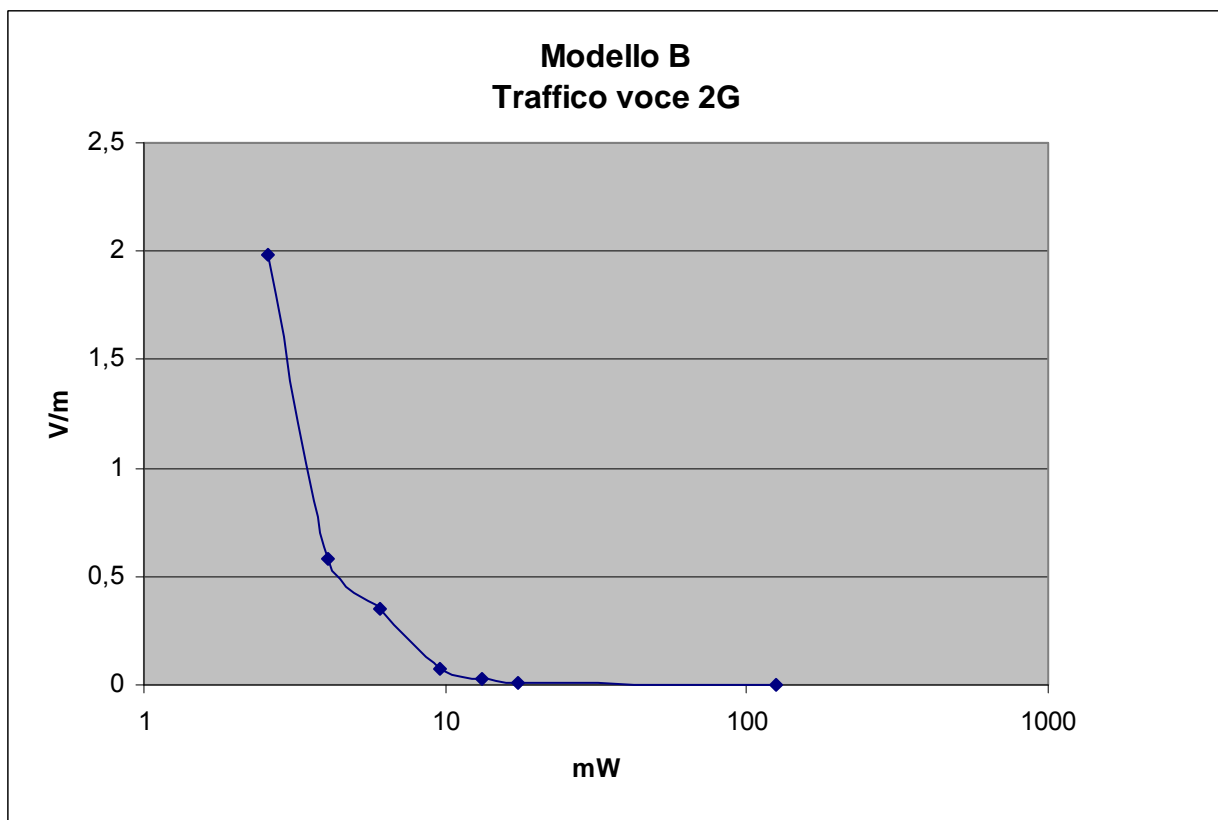


Figura 15 Potenza media emessa dal telefono cellulare Samsung GT-S6310N, nel corso di una chiamata vocale 2G in corrispondenza di segnali con livelli variabili da 0.001 V/m a circa 2 V/m.

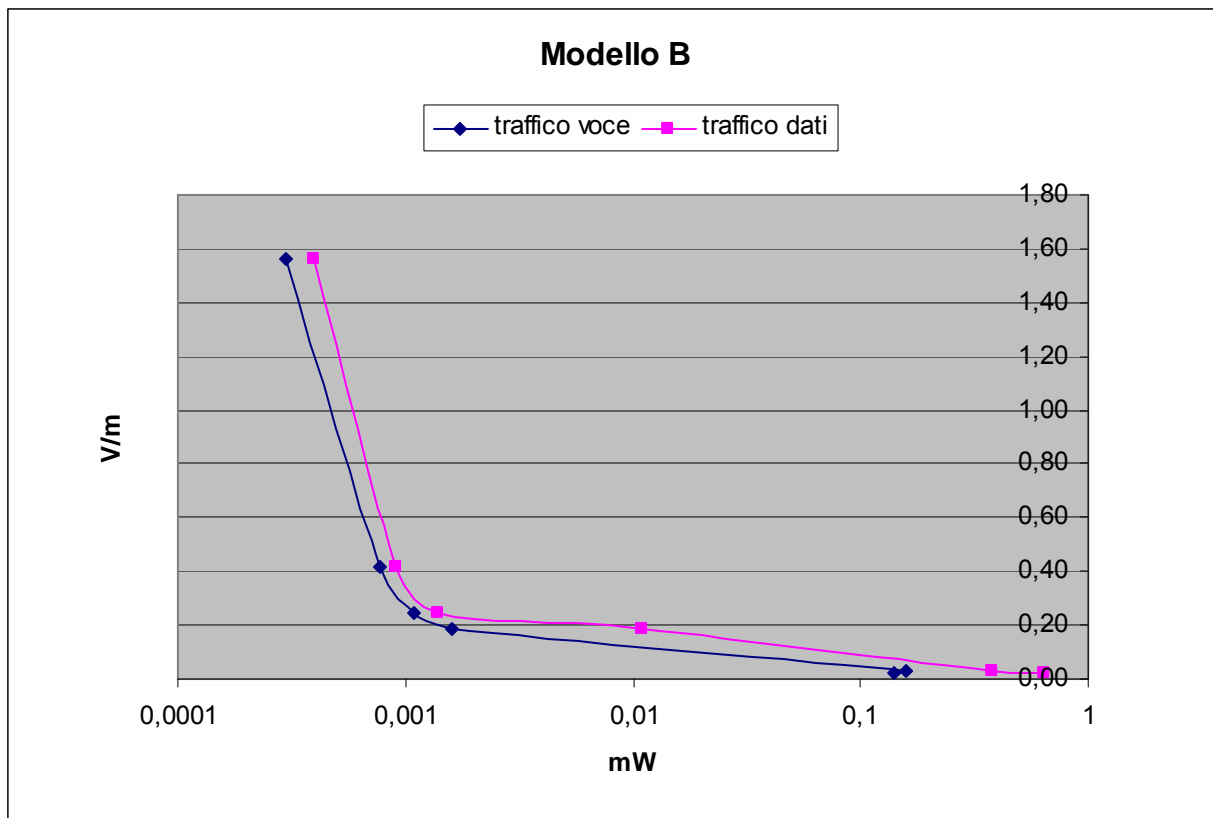


Figura 16 Potenza media emessa dal telefono cellulare Samsung GT-S6310N, nel corso di una chiamata vocale 3G e di traffico dati 3G in corrispondenza di segnali con livelli variabili da 0.013 V/m a circa 1.5 V/m.

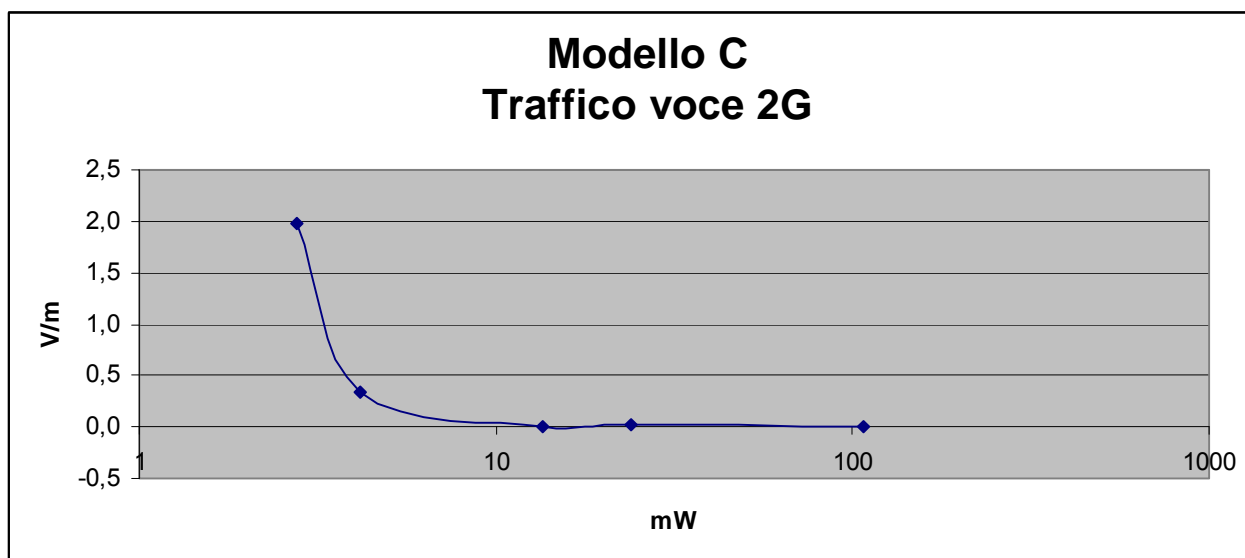


Figura 19 Potenza media emessa dal telefono cellulare Sony XPERIA nel corso di una chiamata vocale 2G in corrispondenza di segnali con livelli variabili da 0.001 V/m a circa 2 V/m.

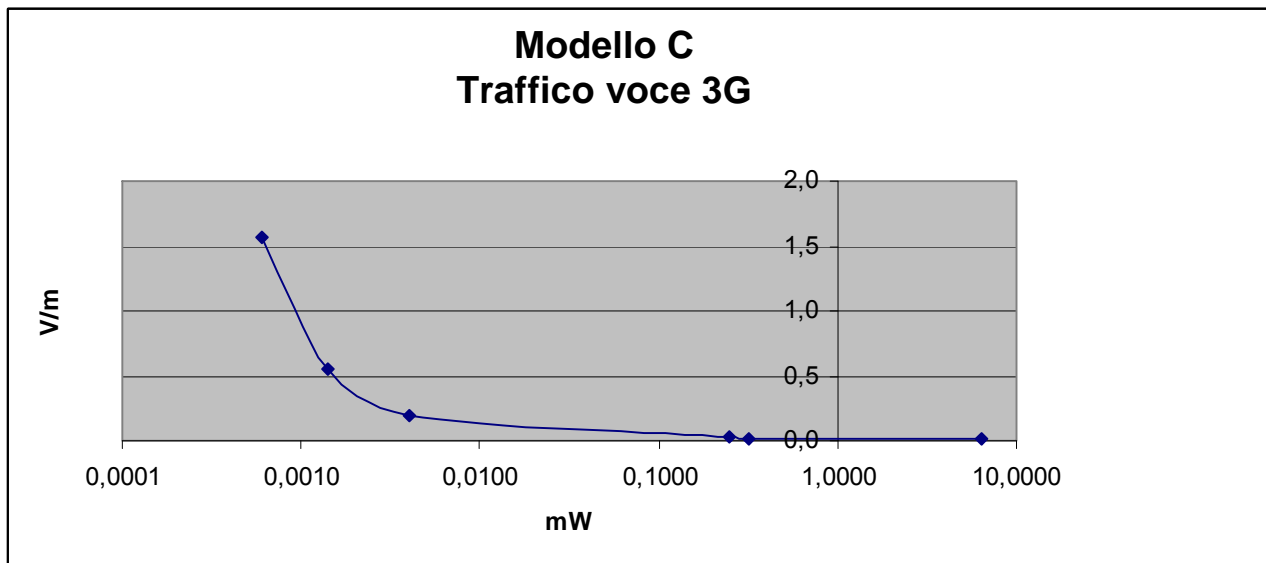


Figura 20 Potenza media emessa dal telefono cellulare Sony XPERIA, nel corso di una chiamata vocale 3G in corrispondenza di segnali con livelli variabili da 0.013 V/m a circa 1.5 V/m.

Dall'esame dei dati riportati nelle tabelle e nei grafici risulta evidente il meccanismo di controllo di potenza (power control) già descritto nel paragrafo 4: la potenza emessa dal telefonino aumenta al diminuire del livello del segnale ricevuto. I dati acquisiti nel corso delle prove sui tre modelli di telefonino indicano che la potenza media emessa può variare di un fattore pari a circa 60 nel caso di comunicazioni vocali con tecnologia 2G, passando da circa 2 mW, in corrispondenza di un livello di campo elettrico di circa 2 V/m, a valori superiori a 100 mW (130 mW è il valore maggiore rilevato per il telefonino Samsung GT-B5330), in corrispondenza di un livello di campo elettrico di circa 0.001 V/m. (1 mV/m). Nel caso delle chiamate vocali in modalità GSM (2G), si può pertanto avere una emissione dal telefonino maggiore di 60 volte a fronte di un riduzione del livello di segnale ricevuto di circa 2000 volte.

Nel caso di utilizzo di tecnologia 3G, sia per chiamate vocali che per trasmissione dati, la potenza emessa dal telefonino risulta molto più bassa. In particolare, la potenza media varia da alcuni decimi di micro watt (0.0004 mW) , in corrispondenza ai livelli di campo elettrico più elevati, pari a circa 1.5 V/m, ad alcuni mW in corrispondenza dei livelli più bassi di campo elettrico, di circa 0.01 V/m. In questo caso si ha, quindi, un incremento della potenza emessa dal telefonino di un fattore pari a circa 10000 in corrispondenza di una riduzione del livello di campo elettrico ricevuto di un fattore pari a circa 150.

Dal confronto tra le due modalità di funzionamento del telefonino risulta, quindi, che con la tecnologia 3G si ha una riduzione notevole della potenza emessa dal telefonino, tanto più elevata quanto migliore è il livello di ricezione. Se, infatti, per bassi livelli di campo elettrico la riduzione nella potenza media emessa con una telefonata in 3G rispetto ad una telefonata in 2G è pari a un fattore 15, passando da circa 100 mW ad alcuni mW, nel caso di maggiori livelli di campo elettrico si arriva a differenze di un

fattore 5000, corrispondenti a valori di potenza media che passano da circa 2 mW nel caso di chiamate 2G a decimi di μW (micro watt) per chiamate 3G.

I valori rilevati sui telefonini oggetto delle prove non hanno indicato differenze significative in funzione del modello di telefono cellulare. I valori di potenza massima e media misurati per i tre modelli considerati sono, infatti, confrontabili e non hanno manifestato differenze tali da risultare significative per l'esposizione personale.

Tutte le considerazioni effettuate sulla potenza emessa dal telefonino possono essere ripetute riferendosi al SAR alla testa e, quindi, più propriamente all'esposizione personale dell'utente, in virtù del fatto che il SAR è proporzionale alla potenza emessa dal telefonino. In relazione a questo aspetto, occorre precisare che tale relazione di proporzionalità vale a parità di posizione del telefono rispetto alla testa. Il SAR, infatti, dipende non solo dalla potenza emessa dal telefonino ma anche delle modalità con cui avviene l'accoppiamento testa-telefonino o, in altri termini, dalla distanza e dall'orientamento dell'antenna dalla testa oltre che dalla forma e dalle dimensioni della testa. A tale proposito è opportuno sapere che, a parità di potenza emessa dal telefonino, il SAR assorbito dalla testa di un bambino di dieci anni potrebbe essere superiore del 153 % rispetto al SAR assorbito dalla testa di un soggetto adulto sulla base degli esiti di alcune indagini [35].

Al fine di valutare il contributo del telefonino all'esposizione globale a campi elettromagnetici a radiofrequenza, sulla base dei dati di potenza rilevati, nel corso di questa indagine, nelle diverse condizioni di funzionamento, possiamo fare uso della seguente ipotesi semplificatrice: assumere che il rapporto tra la potenza massima e la corrispondente potenza media misurate sia uguale al rapporto tra il SAR massimo fornito dal costruttore, e riportato nella tabella 1 del paragrafo 6, ed il SAR medio assorbito nella condizione di misura data. E' opportuno ribadire che tale ipotesi non tiene conto della grande variabilità di valori che il SAR assorbito nella testa può assumere, a parità di potenza emessa, in funzione della posizione relativa testa-telefonino. Può però consentire di determinare delle indicazioni di massima riferite a situazioni limite standard che, pur non essendo realistiche, costituiscono degli utili scenari di riferimento.

Sulla base dei dati rilevati possiamo considerare una potenza massima pari a circa 160 mW, per i due modelli di telefonino Samsung, e pari a circa 190 mW per il telefonino Sony. Tali valori di potenza massima possono, in prima approssimazione, essere associati ai valori di SAR massimo indicati dai costruttori e pari a 0.725 W/kg per il modello Samsung GT-B5330, 0.742 W/kg per il modello

Samsung GT-S6310 e 1.62 W/kg per il modello Sony Ericsson XPERIA. Tale associazione va considerata una prima approssimazione in quanto la potenza massima misurata non è esattamente quella usata dai costruttori nei test per la determinazione del SAR. Ipotizzando che il rapporto tra i suddetti valori di potenza massima e le potenze medie rilevate nelle diverse condizioni di misura siano uguali ai rapporti tra SAR massimo e SAR medio alla testa, si possono determinare i valori di SAR medio alla testa nelle diverse condizioni di misura. I valori così determinati di SAR medio alla testa, SAR_{TESTA}, dovuto all'uso del telefonino, possono essere confrontati con quelli di SAR al corpo intero, causato dall'esposizione ambientale, che denomineremo SAR_{AMB}. Come abbiamo già visto al paragrafo 5, il valore del SAR_{AMB} può essere messo in relazione al campo elettrico ambientale per mezzo della seguente espressione [27]: $SAR_{AMB} = 0.01 \times 10^{-3} E_{AMB}^2$, e, pertanto, può essere determinato sulla base dei valori di campo elettrico misurati e riportati nelle tabelle 3, 4 e 5.

Nella seguente tabella 6, si riportano i valori stimati del SAR al corpo intero, SAR_{AMB}, e del SAR alla testa stimati sulla base delle valutazioni sopra esposte. Per quanto riguarda il SAR alla testa si sono riportati degli intervalli di valori dovuti alla variabilità riscontrata sui tre diversi modelli di telefono cellulare e non si è considerata la modalità di comunicazione con traffico dati che, solitamente, non richiede l'utilizzo del telefonino in posizione prossima alla testa.

Tabella 6 Valori stimati di SAR al corpo intero e alla testa sulla base delle misure effettuate. Per il SAR alla testa viene fornito un intervallo di valori che indicano la variabilità dovuta ai tre diversi modelli oggetto delle prove.

SITO	SAR al corpo intero dovuto al campo elettrico ambientale (mW/kg)			SAR medio alla testa da esposizione a telefono cellulare mW/kg (Stime indicative)	
	totale	Segnale 2G	Segnale 3G	Modalità comunicazione 2G Voce	Modalità Comunicazione 3G Voce
A	2.5×10^{-3}	9×10^{-6}	9×10^{-6}	60 ÷ 200	0.74 ÷ 2.1
B	4×10^{-6}	1×10^{-8}	1.7×10^{-6}	580 ÷ 820	0.05
C	4.6×10^{-3}	2.2×10^{-6}	4.4×10^{-6}	80 ÷ 110	0.65 ÷ 2.7
D	2.8×10^{-3}	6.1×10^{-5}	3.5×10^{-4}	44 ÷ 340	$(7.4 \div 34) \times 10^{-3}$
E	0.025	4.1×10^{-3}	1.7×10^{-3}	19 ÷ 35	$(3.57 \div 12) \times 10^{-3}$
F	7.2×10^{-3}	1.4×10^{-3}	6.2×10^{-4}	28 ÷ 38	$(5.1 \div 7.7) \times 10^{-3}$
G	0.07	0.04	0.024	10 ÷ 20	$(1.4 \div 5.1) \times 10^{-3}$

Da un esame dei dati riportati nella tabella 6 risulta che i valori di SAR alla testa assorbiti a seguito di chiamate vocali 2G sono sempre molto superiori ai valori di SAR al corpo intero stimato sulla base di un'esposizione dovuta sia al solo segnale GSM (2G) che al livello globale di campo elettrico presente nel sito. Per quanto riguarda le chiamate con tecnologia 3G, il SAR medio alla testa risulta maggiore di quello al corpo intero nei siti A, B e C, con i più bassi livelli di segnale ricevuto dai telefonini, mentre risulta inferiore nei siti D, E, F e G dove si sono rilevati i livelli maggiori di segnale GSM e UMTS.

Tali considerazioni valgono se si confronta il SAR alla testa sia con il SAR_{AMB} dovuto ai singoli segnali GSM (2G) e UMTS (3G) che con quello dovuto al campo elettrico globale presente sul sito e dovuto alla sovrapposizione di tutti i segnali elettromagnetici che giungono dai diversi impianti per telecomunicazione che insistono sull'area.

Al fine di valutare il peso che l'esposizione ambientale e quella personale al telefonino possono avere sull'esposizione globale a campi elettromagnetici a radiofrequenza occorre considerare i tempi tipici di esposizione che, se nel caso dell'esposizione ambientale possono coincidere con l'intera giornata, per l'esposizione dovuta al telefonino devono essere basati sui suoi tempi medi di utilizzo. A tale proposito richiamiamo l'espressione (3) del paragrafo 5 che, nel definire un indicatore di esposizione globale al campo elettromagnetico a radiofrequenza individuava due contributi: l'uno, già citato sopra, basato sul SAR assorbito al corpo intero a seguito dell'esposizione al campo elettrico ambientale; l'altro, che esprime con il seguente termine il contributo dovuto all'esposizione personale al telefonino:

$\frac{10}{1440} SAR_{CELL}$. Questo termine è stato definito tenendo conto di un utilizzo medio del telefonino di 10 minuti al giorno, rappresentato dal rapporto 10/1440.

Sulla base delle considerazioni sopra effettuate sono stati valutati i contributi all'esposizione globale al campo elettromagnetico a radiofrequenza nei siti oggetti dell'indagine e riportati nella seguente tabella.

Tabella 7 Contributo all'esposizione globale a radiofrequenze nei siti oggetto dell'indagine dovuto all'utilizzo del telefonino per un tempo di 10 minuti al giorno

SITO	Contributo dell'utilizzo del telefonino all'esposizione globale a radiofrequenze	
	Modalità comunicazione 2G	Modalità Comunicazione 3G
A	> 99 %	> 99 %
B		
C		
D		72 - 92 %
E		12 - 32 %
F		41 - 52 %
G		2 - 7 %

I dati riportati nella tabella 7, basati su un indicatore di esposizione che pesa i diversi contributi in funzione dell'intensità e del tempo di esposizione [27], evidenziano che nell'esposizione globale a campi elettromagnetici a radiofrequenza l'uso del telefonino contribuisce in modo prevalente nelle chiamate in modalità 2G (rete GSM) e, in generale, nelle situazioni in cui le condizioni di ricezione del segnale non sono ottimali. Nel caso di utilizzo di telefoni in modalità 3G (rete UMTS) in condizioni di buona ricezione del segnale, l'esposizione globale a campi elettromagnetici a radiofrequenza si può considerare determinata in gran misura dal campo ambientale, che fornisce un contributo maggiore rispetto alle emissioni dal telefonino.

Le considerazioni sopra riportate dipendono in modo significativo dall'ipotesi di tempo medio giornaliero di utilizzo del telefonino. Passare da un tempo medio ipotizzato di 10 minuti al giorno ad un tempo maggiore, porterà ad incrementare il contributo dei telefonini all'esposizione globale in modo proporzionale al tempo stesso.

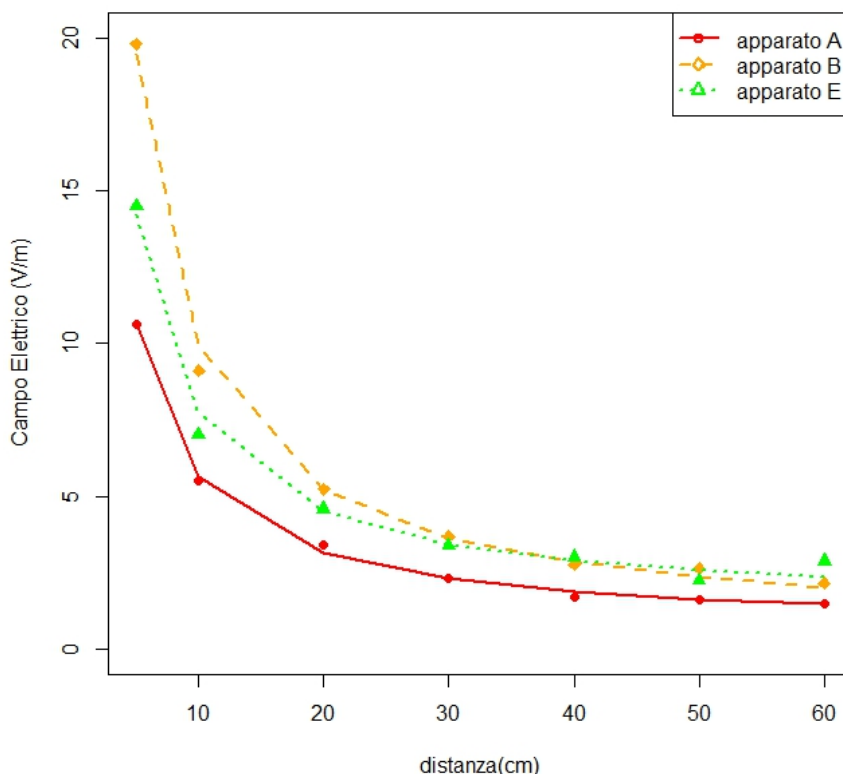
Fino ad ora, le valutazioni sull'uso del telefonino e sul suo contributo all'esposizione globale a radiofrequenze sono state basate sull'ipotesi che l'apparecchio sia a contatto con la testa, o ad essa molto prossimo, nel corso di chiamate vocali. Come sappiamo, esistono però modalità alternative di utilizzo del telefonino per il traffico voce basate sull'uso di dispositivi che consentono di aumentare la distanza dell'antenna dalla testa quali: auricolare, bluetooth, viva voce. Per valutare l'efficacia di questi dispositivi nel ridurre l'esposizione della testa e, quindi, il SAR assorbito, sono state effettuate delle

misure di intensità di campo elettromagnetico, su sei modelli di telefonino, come già descritto nel paragrafo 6.

I livelli di campo elettrico misurati in funzione della distanza dal telefonino, nelle due diverse modalità di funzionamento, traffico voce su rete 2G e 3G, sono stati riportati nelle seguenti figure 21 e 22.

L'esame delle figure 21 e 22 mostra una rapida variazione dei livelli di campo elettrico emessi dal telefonino in funzione della distanza dalla sua antenna. Ad una distanza di 30 cm dal telefonino il campo elettrico si riduce, infatti, di un fattore pari all'80-90 %. I dati riportati nei grafici confermano, inoltre, quanto già osservato con le misure di potenza: il livello delle emissioni di radiazione elettromagnetica nella modalità di utilizzo 3G è molto più basso di quello della modalità 2G. La riduzione corrisponde all'incirca a un fattore 7, passando da livelli massimi di circa 20 V/m a livelli massimi di circa 3 V/m.

Traffico voce 2G



Traffico voce 2G

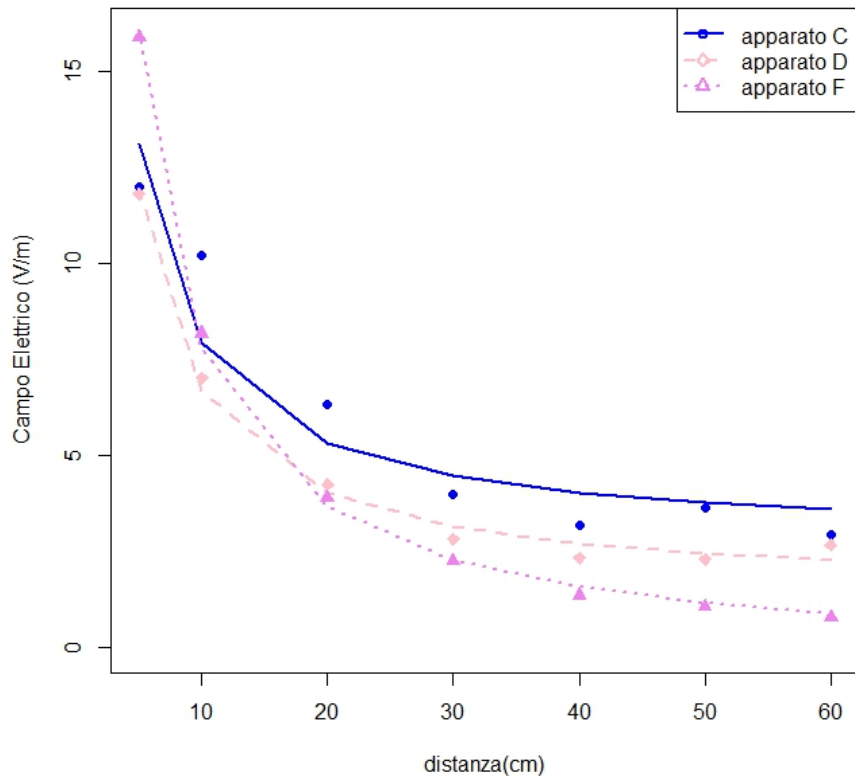


Figura 21 Livelli di campo elettrico emesso da sei modelli di telefono cellulare a diverse distanze dall'apparecchio in modalità di funzionamento: traffico voce su rete GSM (2G)

Traffico voce 3G

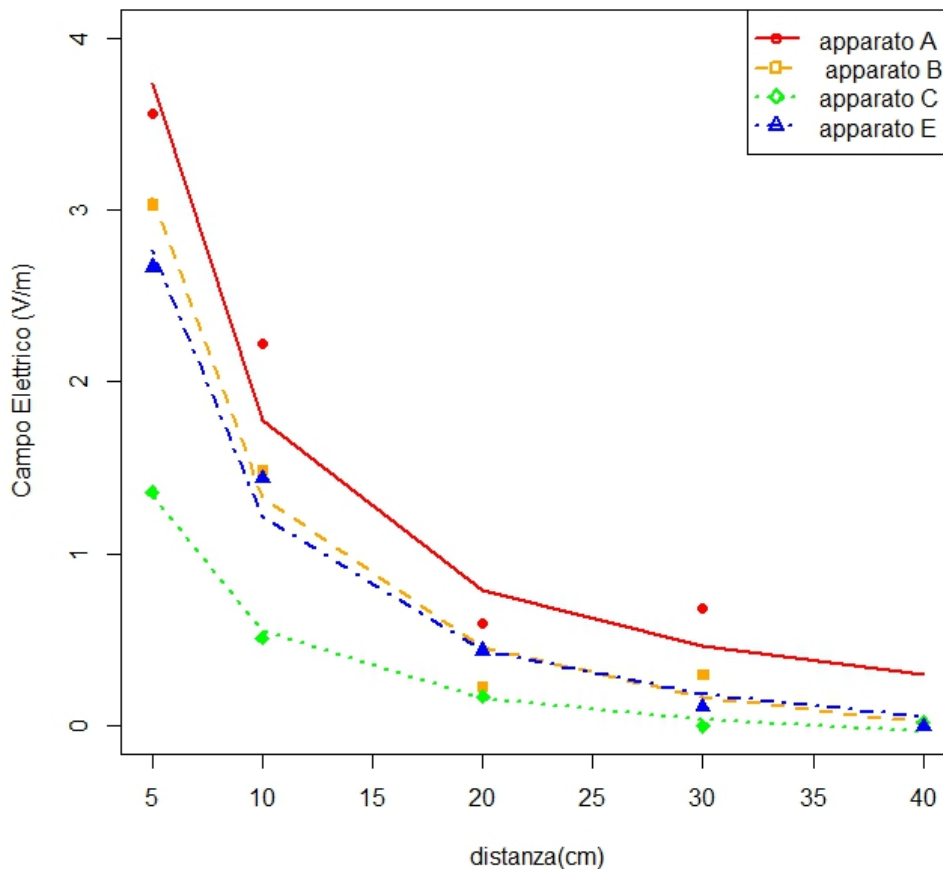


Figura 22 Livelli di campo elettrico emesso da quattro modelli di telefono cellulare a diverse distanze dall'apparecchio in modalità di funzionamento: traffico voce su rete UMTS (3G)

IN SINTESI

I risultati delle misure effettuate sui modelli di telefonino utilizzati nelle prove hanno indicato che la potenza emessa dal telefonino in caso di traffico voce con rete 2G è molto maggiore di quella emessa nel caso di traffico voce o dati con rete 3G. La rapida diminuzione del campo elettromagnetico misurata quando ci si allontana dal telefonino anche di pochi centimetri indica l'importanza di dispositivi, quali auricolari o viva voce, nel ridurre l'esposizione personale.

Confrontando l'esposizione personale alla radiazione elettromagnetica emessa dal telefonino, che riguarda la testa, con l'esposizione di tutto il corpo dovuta ai segnali elettromagnetici presenti in ambiente (provenienti da ripetitori per telefonia mobile o trasmettitori radiotelevisivi), quella personale risulta, nella maggior parte dei casi, nettamente prevalente.

Le misure hanno anche indicato che la potenza emessa dal telefonino aumenta di diverse decine di volte passando da un'area con buona ricezione del segnale (elevati livelli di campo elettromagnetico ambientale) ad un'area con cattiva ricezione (bassi livelli di campo elettromagnetico ambientale)

8. SVILUPPI PROGETTUALI: UNA APPLICAZIONE PER SMART PHONE PER ANALIZZARE L'ESPOSIZIONE

Dalle analisi effettuate in questo lavoro è emerso che ci sono diversi fattori che influiscono in modo significativo sull'esposizione personale alle radiazioni elettromagnetiche a radiofrequenza emesse dal telefonino: dal tempo di utilizzo al livello di ricezione del segnale, dal tipo di rete su cui avviene la comunicazione all'utilizzo di dispositivi quali auricolari e viva voce. La conoscenza di ciascuno di questi fattori può, quindi, consentire un utilizzo più consapevole del telefonino e un adeguato controllo della propria esposizione.

Come supporto utile alla conoscenza ed al controllo dell'esposizione personale al telefonino è stata realizzata una applicazione da scaricare e installare su telefonini di tipo smart phone. L'applicazione, denominata SARPAPER, è stata scritta in ambiente android con software open source e, pertanto, può essere resa disponibile pubblicamente e utilizzata sui dispositivi mobili tipo smart phone che impiegano il sistema operativo android.

La app consente di monitorare i seguenti parametri:

- tempo di ogni chiamata vocale,
- tipo di rete su cui avviene il traffico,
- livello de segnale ricevuto in dBm;
- eventuale dispositivo utilizzato (viva voce o auricolare).

Per quanto riguarda il tipo di rete, sono identificabili quindici diversi protocolli di comunicazione: tre relativi a tecnologia 2G (GPRS, EDGE e iDen), undici relativi a tecnologia 3G (CDMA, UMTS, eHRPD, HSPA, HSPA+, HSDPA, HSUPA, EVDO rev 0-A-B, 1xRTT) ed uno relativo a tecnologia 4G (LTE).

I dati rilevati dalla app vengono registrati in un file log che può essere inviato ad un server ftp e che viene denominato secondo la seguente codifica:

UUID + "_" + PhoneModel + "_" + DATAORA + ".log"

dove il codice identificativo UUID è l'IMEI del telefonino e la data e ora sono nel seguente formato:

AA + MM + GG + HH + mm + SS

Il tracciato interno del file log ha una prima riga contenente il modello e il codice identificativo del telefonino, mentre le altre righe contengono i dati oggetto del monitoraggio e, in particolare, saranno costituite da records strutturati nel seguente modo:

ORA + "," + SECS + "," + TIPO + "," + DBM + "," + DEVICE

Riportiamo di seguito una illustrazione dei dati che vengono riportati nei records:

ORA – ora della chiamata nel formato HH + mm + SS

SECS - somma del tempo trascorso raggruppando per : TIPO+DBM+DEVICE i secondi rilevati;

TIPO - codice tipologia di rete utilizzata (esempio EDGE, UMTS ecc.). Le 15 tipologie considerate vengono identificate con un numero da 1 a 15. E' previsto anche il codice 0 in caso di tipologia di rete sconosciuta.

DBM – livello di segnale ricevuto dal telefonino e rilevato in dBm. Questo valore sarà positivo e pari a 99 in caso di non rilevazione di segnale da parte del telefono.

DEVICE - tipo di dispositivo audio in ascolto utilizzato. Questo campo assumerà i seguenti valori:

- 0 in assenza di utilizzo di dispositivi;
- 1 con viva voce inserito, con o senza auricolare
- 2 con auricolare inserito e senza viva voce

I dati rilevati dalla app sono visibili all'utente grazie ad un report disponibile sull'interfaccia del telefonino con un riassunto dei dati monitorati contenente i tempi complessivi trascorsi nelle diverse modalità di utilizzo.

L'invio di file log ad un server ftp, come rappresentato schematicamente nella figura seguente, consente di utilizzare la app anche per indagini finalizzate a valutazioni sulle modalità di impiego del telefonino da parte di un gruppo di utenti. Un particolare utilizzo può essere quello di indagini legate a studi epidemiologici sull'esposizione al cellulare.

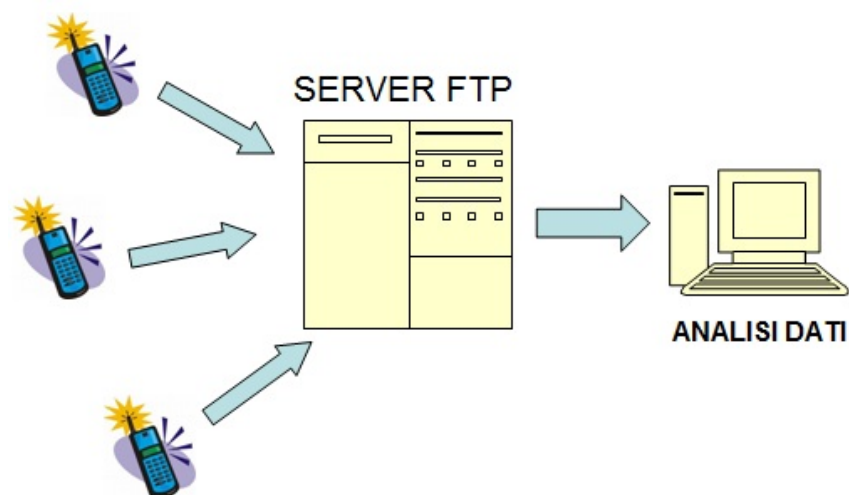


Figura 23 Rappresentazione schematica del flusso di dati per analisi cumulative sull'esposizione di un campione di utilizzatori di telefonini

I dati rilevati dalla app potranno essere alla base del calcolo di un indicatore di esposizione basato sulla correlazione tra il livello di segnale rilevato, il livello di campo ambientale e la potenza emessa dal telefonino. Considerando i risultati di questa indagine, una prima correlazione indicativa tra questi tre parametri è quella riportata nella seguente tabella:

Tabella 8 Livello del segnale ricevuto dal telefonino e rilevato dalla app e corrispondenti valori del livello di campo elettrico dei segnali di telefonia mobile e della potenza media emessa dal telefonino.

Livello segnale ricevuto L (dBm)	Campo Elettrico Ambientale E (V/m)	Potenza media per chiamate 2G P_{media} (mW)	Potenza media per chiamate 3G P_{media} (mW)
$L \leq -90$	$E \leq 0.01$	$P_{media} \geq 50$	$P_{media} \geq 5$
$-90 < L \leq -65$	$0.01 < E \leq 0.2$	$10 \leq P_{media} < 50$	$0.0015 \leq P_{media} < 5$
$L > -65$	$E > 0.2$	$P_{media} < 10$	$P_{media} < 0.0015$

I dati riportati in tabella 8 possono individuare tre tipologie di esposizione: bassa, media e alta, sulla base delle quali fornire un'indicazione sintetica del livello dell'esposizione alla radiazione elettromagnetica emessa dal telefonino. Ulteriori analisi si possono basare sul tempo giornaliero nel quale il telefonino è stato impiegato a determinati livelli di segnale ricevuto, per determinate tipologie di traffico telefonico.

IN SINTESI

I risultati dell'indagine sono stati utilizzati per la realizzazione di una app per smart phone con sistema operativo android, in grado di fornire all'utente indicazioni sull'utilizzo del telefonino e sui relativi livelli di esposizione.

La possibilità di inviare i dati di un campione di telefonini su un computer remoto per successive analisi, rende questa app uno strumento utile per indagini di tipo epidemiologico sull'uso dei telefoni cellulari..

9. CONCLUSIONI DELLO STUDIO SPERIMENTALE

L'indagine sperimentale effettuata nell'ambito del progetto ha consentito la caratterizzazione dell'emissione di radiazione elettromagnetica per sei modelli di cellulare. Per tre di questi modelli, di tipo smart phone, è stata effettuata la caratterizzazione della potenza emessa nel corso di varie tipologie di utilizzo, quali, chiamata vocale, con tecnologia 2G o 3G, e traffico dati.

I dati rilevati con il sistema di misura, progettato e messo a punto ad hoc, forniscono alcune indicazioni utili per valutare le caratteristiche dell'esposizione al telefono cellulare.

La potenza emessa dal telefonino aumenta al diminuire del livello del segnale ricevuto. In particolare, la potenza media emessa può variare di un fattore pari a circa 60 nel caso di comunicazioni vocali con tecnologia 2G, passando da circa 2 mW, in corrispondenza di un livello di campo elettrico di circa 2 V/m, a valori superiori a 100 mW in corrispondenza di un livello di campo elettrico di circa 0.001 V/m. (1 mV/m). Nel caso delle chiamate vocali in modalità GSM (2G), si può pertanto avere un'emissione dal telefonino maggiore di 60 volte a fronte di un riduzione del livello di segnale ricevuto di circa 2000 volte.

Con la tecnologia 3G si ha una riduzione notevole della potenza emessa dal telefonino, tanto più elevata quanto migliore è il livello di ricezione. Se, infatti, per bassi livelli di campo elettrico la riduzione nella potenza media emessa con una telefonata in 3G rispetto ad una telefonata in 2G è pari a un fattore 15, passando da circa 100 mW ad alcuni mW, nel caso di maggiori livelli di campo elettrico si arriva a differenze di un fattore 5000, corrispondenti a valori di potenza media che passano da circa 2 mW nel caso di chiamate 2G a decimi di μW (micro watt) per chiamate 3G.

Tutte le considerazioni effettuate sulla potenza emessa dal telefonino possono essere ripetute riferendosi al SAR alla testa e, quindi, più propriamente all'esposizione personale dell'utente, in virtù del fatto che il SAR è proporzionale alla potenza emessa dal telefonino. In relazione a questo aspetto, occorre precisare che tale relazione di proporzionalità vale a parità di posizione del telefono rispetto alla testa, nonché alla forma ed ai tessuti della testa. A tale proposito è opportuno sapere che, a parità di potenza emessa dal telefonino, il SAR assorbito dalla testa di un bambino di dieci anni potrebbe essere superiore del 153 % rispetto al SAR assorbito dalla testa di un soggetto adulto, sulla base di alcuni studi effettuati.

I livelli di campo elettromagnetico emessi da un telefonino si riducono rapidamente con la distanza dall'antenna. Ad una distanza di 30 cm si ha una riduzione pari a circa l'80-90 % dell'intensità dell'esposizione.

L'utilizzo di uno specifico indicatore ha consentito di effettuare un confronto tra l'esposizione personale al cellulare, che riguarda la testa per una certa frazione della giornata corrispondente al tempo di utilizzo, e l'esposizione ambientale alla radiazione a radiofrequenza dovuta alla presenza di tutti i segnali elettromagnetici ricevibili nel sito di misura, che riguarda tutto il corpo per un periodo di tempo che può essere continuativo per tutte le 24 ore giornaliere.

Il confronto tra queste due modalità di esposizione ha indicato una netta prevalenza di quella personale su quella ambientale. Solo nel caso di utilizzo di traffico voce con tecnologia 3G, in siti con una ricezione molto buona del segnale, l'esposizione personale può risultare confrontabile o inferiore a quella ambientale.

I risultati determinati con questa indagine sperimentale e sopra esposti potranno essere ulteriormente approfonditi e puntualizzati aumentando il campione di telefonini oggetto delle prove e delle situazioni di esposizione ambientale.

Un ulteriore sviluppo di questa indagine potrà essere realizzato grazie ad una app per telefoni cellulari tipo smart phone con sistema operativo android che è stata messa a punto per monitorare alcuni parametri connessi all'esposizione e che sarà resa disponibile per un utilizzo libero. Particolare interesse potrà avere l'impiego della app per analisi cumulative su gruppi di utenti finalizzate , ad esempio, ad indagini di tipo epidemiologico.

**REVISIONE DELLA LETTERATURA
SCIENTIFICA SU EVENTUALI RISCHI
SANITARI**

10. LA VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE E I MECCANISMI D'AZIONE

La valutazione dell'esposizione è uno degli step più delicati e complessi per definire i possibili impatti sulla salute di un determinante. Nel caso dei telefoni cellulari molti degli studi epidemiologici finora condotti hanno utilizzato una definizione di esposizione molto semplice: esposto o non esposto, in base al criterio di utilizzo o meno del telefono. In alcuni casi è stato anche considerato l'uso di cordless [36-37] e in altri si è cercato di distinguere esposizione a telefoni con tecnologia analogica (più vecchi) o digitale. Le altre informazioni che in alcuni casi, negli studi più recenti, sono state raccolte riguardano gli anni di utilizzo, il numero di telefonate al giorno, la durata delle chiamate, modalità di uso con lato preferenziale del capo etc... La maggior parte delle indagini epidemiologiche condotte finora ha utilizzato il modello di studio Caso-controllo [38-39-40-41-42-43] in cui sono reclutati i pazienti affetti da una certa patologia, che si sospetta essere in relazione con il determinante in studio, e confrontati con dei soggetti sani per una serie di fattori compresa l'esposizione in studio. La stima dell'esposizione avviene solitamente in modo indiretto, cioè non si hanno a disposizione misure puntuali e individuali, ma viene stimata tramite l'uso di questionari in cui sono raccolte informazioni dettagliate sul determinante oggetto di studio. In questo caso specifico le informazioni raccolte possono riguardare la tipologia del cellulare usato, la durata delle chiamate, la frequenza e le ore cumulative d'uso. L'accuratezza e la completezza delle informazioni ottenute mediante questionari dipendono soprattutto dall'atteggiamento e dalla memoria degli intervistati. Questa modalità di raccolta delle informazioni sull'esposizione presenta un grande limite in quanto può essere soggetta a diverse distorsioni o "bias". Il primo tipo di distorsione, indicato generalmente come "recall bias" si ha nel caso in cui il soggetto intervistato è al corrente di essere un "caso", ovvero nella fattispecie ad esempio un malato di tumore e quindi tende a ricordare l'uso del telefono cellulare in modo diverso, solitamente sovrastimando l'esposizione, rispetto ai controlli [44]. Questo effetto è ancora maggiore nel caso in cui le interviste siano realizzate ai congiunti di pazienti deceduti.

Un altro bias è il cosiddetto "reporting bias" dove i soggetti operano una scelta selettiva delle informazioni da riferire in base alla loro condizione di sano o malato o di esposto o non esposto al fattore che si sta indagando.

Per ovviare a questo tipo di problemi rispetto alle distorsioni nella stima dell'esposizione alcuni ricercatori Danesi [45-46] hanno utilizzato un modello di studio diverso, cioè lo

studio di coorte. In questo caso si è ricorsi alle tecniche di record-linkage spesso utilizzate in epidemiologia, dove vengono associate informazioni disponibili da diverse fonti informative, a un elenco di soggetti che sono inclusi nello studio, esposti a uno stesso determinante di cui si vogliono valutare gli eventuali effetti sulla salute. Nello studio di Shuz e coll. i record individuali dei 420.095 titolari danesi di un contratto di telefonia mobile sul periodo 1982-95 sono stati linkati con quelli dei soggetti eligibili per lo studio epidemiologico su disuguaglianze sociali e tumori CANULIS (circa 3 milioni di danesi nati dal 1925 in poi, vivi e residenti nel 1990 e di età ≥ 30 anni a questa data), che dispone di informazioni individuali sul livello di istruzione e sul reddito annuale netto. L'indicatore di esposizione utilizzato in questo caso era rappresentato dalla titolarità di un contratto privato con gli operatori di rete e relativa data di stipula (il che ha permesso di calcolare la durata di esposizione in anni). [45, 47]. Rispetto agli studi caso-controllo basati sull'accertamento della storia d'uso del cellulare mediante intervista o questionario postale, la coorte danese - che utilizza esclusivamente procedure di *record-linkage* - ha l'indubbio vantaggio di evitare distorsioni dovute a partecipazione differenziale allo studio e ad errori sistematici nelle informazioni sull'esposizione (*recall bias*- 15). L'essere titolare di un'utenza di telefonia mobile, però, non equivale necessariamente ad utilizzare il cellulare cui quell'utenza si riferisce e pertanto, un certo numero di utilizzatori saranno stati erroneamente considerati non esposti, diluendo così le stime del rischio tra gli esposti. [48]

Un'ultima considerazione va fatta rispetto alla modalità di utilizzo del cellulare con apparecchi a vivavoce, che può modificare i livelli di esposizione dell'organo bersaglio "testa", riducendoli notevolmente, esponendo però in questo caso altri apparati, su cui verrà fatto successivamente un approfondimento specifico.

Molti studi epidemiologici hanno definito l'esposizione in base all'utilizzo o meno del telefono (altre informazioni impiegate sono: anni e frequenza di utilizzo, durata delle chiamate, modalità di uso, tipo di cellulare) e hanno impiegato il modello di studio caso-controllo, con una stima indiretta dell'esposizione. Altre indagini hanno impiegato il modello di studio di coorte.

I meccanismi d'azione

Gli effetti sulla salute dei campi elettromagnetici a radiofrequenza (RF-EMW) emessi dai telefoni cellulari sono stati discussi molto all'interno della comunità scientifica.

I ricercatori inizialmente si sono preoccupati su come questo tipo di radiazioni influenza i sistemi biologici umani aumentando la temperatura del tessuto, in altre parole, i suoi effetti termici [19].

Per proteggere il pubblico dagli effetti termici dovuti a eccessiva esposizione al RF- EMW, sono stati definiti da organizzazioni internazionali come la ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection) dei limiti di esposizione [49-50].

Le radiazioni a radiofrequenza sono a energia troppo bassa per rompere i legami chimici, quindi non possono causare danni al DNA (mutazioni o rotture), come è richiesto nella prima fase della cancerogenesi, relativa al processo di iniziazione. Questo non rappresenta però un valido motivo di rassicurazione in quanto non si può escludere che le emissioni a radiofrequenza possano essere coinvolte nello sviluppo del cancro nelle fasi successive, compresa la fase di “promozione” o la progressione [51]

I primi effetti sulla salute dei campi elettromagnetici a radiofrequenza che sono stati indagati riguardano gli effetti termici sui sistemi biologici. Questi campi sono a energia troppo bassa perché si rompano i legami chimici, quindi non possono causare danni al DNA, com'è richiesto nella prima fase della cancerogenesi. Non si può però escludere che le emissioni a radiofrequenza siano coinvolte nelle fasi successive dello sviluppo del cancro. Per proteggere il pubblico dagli effetti termici dovuti a eccessiva esposizione al RF-EMW, sono stati definiti limiti di esposizione da organizzazioni internazionali come l'ICNIRP.

12 GLI STUDI EPIDEMIOLOGICI SULL'ESPOSIZIONE A RADIOFREQUENZE DA CELLULARI

Numerosi studi epidemiologici sono stati condotti fin dalla fine degli anni 90 per valutare l'esistenza di una relazione tra esposizione a cellulari e comparsa di tumori.

I primi studi sono stati condotti negli Stati Uniti e successivamente la maggior parte degli studi è stata condotta da Hardell e collaboratori: tre su tumori cerebrali [36, 39, 40] e uno ciascuno su tumori delle ghiandole salivari [38], linfoma non- Hodgkin, e cancro testicolare. Negli anni questo gruppo di ricercatori ha condotto ulteriori ricerche con maggiori approfondimenti e ha realizzato analisi combinate di due degli studi di tumore cerebrale [41, 42].

La maggior parte degli studi che sono stati realizzati in tutto il mondo si è concentrata sui tumori cerebrali (gliomi) e tumori delle meningi (meningiomi, che sono per lo più benigni). Diversi studi hanno esaminato l'uso del telefono cellulare e rischio di tumori del nervo acustico (neurinomi del nervo acustico, benigni). Pochi studi hanno esaminato l'uso del telefono cellulare e tumori delle ghiandole salivari e delle ghiandole parotidi [38].

Nel 2009 Anders Ahlbom e il gruppo di ricercatori dell'International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection hanno pubblicato una revisione sistematica sulle evidenze epidemiologiche rispetto al rischio di tumore da esposizione a telefonici cellulari [52]. Nelle conclusioni gli autori non evidenziano alcun incremento di rischio in relazione all'esposizione considerata ma sottolineano l'incoerenza tra i risultati di alcuni studi, in particolare quelli condotti dal gruppo di Hardell, dove invece alcuni effetti sulla salute sono messi in evidenza. Questi risultati così contraddittori vengono spiegati dagli autori con l'estrema eterogeneità degli studi e con problemi di tipo metodologico. Viene anche peraltro sottolineato che per i tumori a crescita lenta come meningioma e neurinoma acustico, nonché per il glioma tra gli utilizzatori a lungo termine, l'assenza di associazioni finora emersa, potrebbe però essere dovuta a un periodo di osservazione ancora troppo breve.

La rassegna sottolinea la mancanza di informazioni rispetto a possibili effetti cancerogeni delle esposizioni nell'infanzia e nell'adolescenza.

Un'altra serie importante di studi è stata condotta all'interno del progetto Interphone [53-54] realizzato con il coordinamento dell'Agenzia internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) di Lione. Sono stati condotti, utilizzando un protocollo comune, una serie di 16 studi caso-controllo in 13 paesi: Danimarca, Finlandia, Francia, Germania, Italia, Norvegia,

Svezia, Inghilterra, Australia, Canada, Giappone, Israele, Nuova Zelanda. Sono stati inclusi nello studio tutti i casi di glioma e meningioma diagnosticati durante due o più anni consecutivi nel periodo 2000-2004 tra la popolazione adulta (30-59 anni) residente nei paesi inclusi nello studio multicentrico (più di 14 milioni di persone provenienti da 4 diversi continenti). I controlli, estratti a caso dalla popolazione generale, sono stati appaiati ai casi per sesso, età e area di residenza: Sono stati reclutati 2708 casi di glioma, 2409 casi di meningioma e 5634 controlli da cui sono state raccolte le informazioni rispetto all'esposizione tramite intervista. Per stimare l'effetto dell'uso del telefono cellulare sul rischio di tumori cerebrali, sono stati calcolati i rischi relativi (odds ratio = OR) di glioma e meningioma per gli utilizzatori regolari di telefono cellulare in rapporto al gruppo di riferimento costituito da non utilizzatori ed utilizzatori occasionali.

Ulteriori approfondimenti hanno riguardato l'incremento di rischio in relazione alla frequenza, intensità e durata dell'esposizione. Ai fini di queste analisi, gli utilizzatori regolari sono stati classificati in categorie crescenti di esposizione costruiti sulle risposte all'intervista: tempo trascorso dall'inizio d'uso (1-4; 5-9; ≥ 10 anni); numero totale di chiamate effettuate o ricevute e ore cumulative d'uso¹² (10 categorie per ciascuna, corrispondenti ai decili della distribuzione di queste variabili tra i controlli). Susanna Lagorio [55], dell'Istituto Superiore di Sanità, così riassume i risultati dello studio "Tra gli utilizzatori regolari di telefoni cellulari è stata osservata una riduzione del rischio di entrambi i tipi di tumore cerebrale, glioma (OR 0.81; IC 95% 0.70-0.94) e meningioma (OR 0.79; IC 95% 0.68-0.91).

Non sono stati evidenziati incrementi di rischio tra gli utilizzatori classificati nella categoria più elevata di tempo trascorso dall'inizio d'uso (≥ 10 anni), né per il glioma (OR 0.98; IC 95% 0.76-1.26), né per il meningioma (OR 0.83; IC 95% 0.61-1.14).

Non è stata rilevata alcuna tendenza all'aumento del rischio di glioma o di meningioma all'aumentare del numero totale di chiamate, né delle ore cumulative d'uso. Un apparente incremento del rischio di glioma (OR 1.40; IC 95% 1.03-1.89) e in misura inferiore anche del rischio di meningioma (OR 1.15; IC 95% 0.81- 1.62) veniva rilevato solo tra gli utilizzatori inclusi nella categoria più elevata di tempo cumulativo d'uso. Per approfondire questa osservazione e verificare l'andamento del rischio di tumori cerebrali all'aumentare sia delle ore cumulative d'uso sia del tempo trascorso dall'inizio dell'esposizione (cioè per esplorare la relazione tra intensità d'esposizione e latenza), le analisi del rischio di glioma e meningioma sono state ripetute separatamente su tre sottogruppi di utilizzatori con crescente "anzianità" d'uso: utilizzatori a breve termine (che avevano cominciato ad

utilizzare il cellulare 1-4 anni prima della data di diagnosi o di riferimento), a medio termine (5-9 anni prima) e a lungo termine (≥ 10 anni prima). In tutti e tre i gruppi sono stati ottenuti risultati simili a quelli evidenziati nelle analisi globali (nessun trend esposizione-malattia nei primi 9 decili ed un incremento del rischio limitato al decile più elevato). Tuttavia, i rischi relativi più elevati in rapporto ai valori massimi di ore cumulative d'uso si osservavano nel gruppo degli utilizzatori a breve termine, sia per il glioma (OR 3.77; IC 95% 1.25-11.4), sia per il meningioma (OR 4.80; IC 95% 1.49-15.4), mentre tra utilizzatori a medio e lungo termine con i valori più elevati d'intensità d'uso gli OR per il meningioma erano intorno ad 1 e gli OR per glioma risultavano pari a 1.28 (IC 95% 0.84-1.95) e 1.34 (IC 95% 0.90-2.01), rispettivamente.

Nelle analisi stratificate per sede anatomica del tumore (lobo temporale; lobo frontale o parietale; altra sede), si osservava tra gli utilizzatori di cellulari un deficit particolarmente accentuato del rischio di meningiomi in sede temporale (OR 0.55; IC95% 0.36-0.82), ma gli intervalli di confidenza dei rischi relativi per meningiomi nelle tre sedi considerate erano largamente sovrapposti. Non si sono osservati tra gli utilizzatori regolari di cellulare incrementi del rischio di glioma in sede temporale (OR 0.86; IC95% 0.66-1.13), né differenze rilevanti tra i rischi di glioma nelle tre localizzazioni considerate, ad esclusione di un incremento del rischio di tumori temporali tra gli utilizzatori nel decile più elevato di ore cumulative d'uso (OR 1.87; IC95% 1.09-3.22). Non è stato osservato alcun incremento nel rischio di glioma o di meningioma tra gli utilizzatori "ipsilaterali" di cellulare. In queste analisi, molto suscettibili a distorsioni del ricordo, i decrementi del rischio di gliomi e meningiomi ipsilaterali tendevano ad essere d'entità inferiore ai deficit di rischio per gliomi e meningiomi controlaterali, ma non si evidenziavano chiare tendenze all'aumento del rapporto degli OR ipsilaterali / controlaterali per categorie crescenti di intensità e durata dell'esposizione. Anche in queste analisi, solo tra gli utilizzatori con livello massimo di tempo cumulativo d'uso si osservano incrementi di rischio sia per meningiomi che per gliomi ipsilaterali."

Gli autori dello studio, nella sintesi conclusiva dei risultati si esprimono nel seguente modo: "Nell'insieme, non è stato osservato alcun incremento nel rischio di glioma o meningioma legato all'uso di telefoni cellulari. E' possibile che le riduzioni nel rischio di glioma e meningioma osservate tra gli utilizzatori regolari di telefoni cellulari riflettano una distorsione da partecipazione o altri limiti metodologici. Sono presenti indizi di un incremento del rischio di glioma ai livelli più elevati di esposizione, ma distorsioni ed errori

non ne consentono un'interpretazione causale" e suggeriscono che: "Sono necessarie ulteriori indagini sugli eventuali effetti a lungo termine dell'uso intenso di telefoni cellulari".

Nel maggio del 2011 l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) dell'OMS ha classificato i campi elettromagnetici come "possibili cancerogeni – Gruppo 2B", concentrandosi specificamente sull'esposizione a radiofrequenza dei telefoni cellulari, sulla base di una limitata evidenza di incrementi del rischio di glioma e di neurinoma del nervo acustico tra gli utilizzatori di telefoni cellulari. In appendice 1 è riportato il rationale della classificazione utilizzata dalla IARC.

Il pronunciamento della IARC ha scatenato una serie di reazioni sia nella comunità scientifica che nella popolazione generale, in cui prevale un senso di preoccupazione, che si accompagna però a sempre maggior uso del telefono cellulare.

A seguito della revisione della classificazione e pubblicazione della Monografia sui Campi Elettromagnetici, avvenuta nel 2013 [56], sono stati realizzati ulteriori studi per cercare di approfondire e acquisire maggiore consistenza rispetto alle suggestioni di incremento di rischio per la salute dovuto all'esposizione a telefoni cellulari.

Al fine di aggiornare quanto già noto e riportato nelle revisioni sistematiche sopracitate e nella letteratura considerata dalla Monografia, che ha valutato gli articoli pubblicati fino agli inizi del 2011, e per rispondere al quesito iniziale di approfondire le evidenze di effetti sulla salute da telefoni cellulari, è stata fatta una ricerca degli articoli pubblicati negli ultimi anni.

I primi studi epidemiologici che hanno valutato i possibili effetti cancerogeni dell'esposizione a cellulari sono stati condotti negli Stati Uniti e successivamente da un gruppo di ricercatori dei paesi scandinavi, che in particolare hanno studiato tumori cerebrali, e quelli delle ghiandole salivari. Alcuni studi evidenziano incrementi di rischio per tumori cerebrali e di neuromi acustici tra gli utilizzatori di telefoni cellulari con >10 anni di latenza dall'esposizione.

Una revisione sistematica del 2009 (Ahlbom e coll) non ha invece riscontrato alcun incremento di rischio di tumore da esposizione a telefonici cellulari ma rileva l'incoerenza tra i risultati di alcuni studi e la mancanza d'informazioni rispetto all'infanzia e all'adolescenza.

Dal 2001 è stato avviato un grande studio multicentrico (Studio Interphone), condotto in 13 paesi, coordinato dalla IARC, dal quale sono stati pubblicati 17 studi caso-controllo, relativi a tutti i casi di glioma (2708) e meningioma (2409) diagnosticati durante il periodo 2000-2004 tra la popolazione in studio, 30-59 anni. I controlli (5634) sono stati appaiati ai casi per sesso, età e area di residenza. I risultati non riscontrano un aumento dei casi di glioma o meningioma legato all'uso di telefoni cellulari, ma hanno evidenziato incrementi di rischio per le esposizioni

più prolungate. Sono comunque ancora necessarie nuove indagini sugli eventuali effetti a lungo termine.

Nel 2011, la IARC ha classificato i campi elettromagnetici da radiofrequenza dei telefoni cellulari come “possibili cancerogeni - Gruppo 2B“, secondo una limitata evidenza d’incrementi del rischio di glioma e di neurinoma del nervo acustico tra gli utilizzatori di telefoni cellulari.

13 AGGIORNAMENTO DELLA LETTERATURA – METODI

E’ stato consultato il database PubMed della National Library per evidenziare la letteratura di interesse, utilizzando la seguente Strategia di ricerca con la combinazione di diversi termini MESH: “cellular phone”, “mobile Phone”, “radiation”, “radiofrequency” “exposure” ; “cancer”, “tumor”, “adverse effects” “thermal effects” “immune system” “infertility” “reproductive effect” “human Health” La ricerca è stata limitata alle pubblicazioni in lingua inglese e con particolare attenzione alle Revisioni sistematiche e metanalisi e a quanto pubblicato negli ultimi 5 anni. I limiti temporali della ricerca sono conseguenti al fatto che la Monografia IARC pubblicata nel 2013 e relativa ai campi elettromagnetici, ha già valutato la letteratura scientifica disponibile fino al 2010. Sono stati ricercati articoli anche relativi ad altri outcomes oltre a quelli di tipo neoplastico per dare un grado complessivo del possibile impatto sulla salute da emissione da telefoni cellulari.

Risultati

Applicando i criteri di selezione definiti dalla strategia di ricerca, in un primo momento sono stati identificati circa 200 documenti tra articoli originali e revisioni sistematiche che sono stati sottoposti a una prima valutazione rispetto alla congruità con l’obiettivo della ricerca. Sono state applicate le tecniche del “critical appraisal” per l’analisi qualitativa della rilevanza e consistenza della metodologia di analisi utilizzata nelle revisioni sistematiche e metanalisi e dei disegni di studi e con questa seconda selezione sono state identificate 8 pubblicazioni, tra revisioni sistematiche e articoli originali, pubblicate dopo il 2010 e ritenute importanti e non incluse nelle rassegne già disponibili.

L’articolo più importante è di Repacholi e coll. [57] del 2012, che hanno curato una revisione della letteratura sui tumori cerebrali e di altri siti in relazione ad esposizione a telefoni cellulari. In questa revisione è stata realizzata una metanalisi applicando un protocollo di selezione a priori degli articoli molto rigoroso e tutte le evidenze emerse da

questa analisi sono state valutate applicando i principi di Bradford Hill per stimare la plausibilità e la forza delle associazioni causali tra esposizione e malattia.

Applicando questo modello le conclusioni a cui sono arrivati gli autori sono riportate di seguito:

Forza. Né la meta-analisi degli studi epidemiologici né l'analisi aggregata sugli studi in vivo hanno mostrato alcun incremento statisticamente significativo per il glioma o altri tumori della testa da uso del telefono senza fili.

Tuttavia, i dati relativi da uso a lungo termine dei telefoni cellulari (> 10 anni) sono considerati insufficienti per poter arrivare a qualsiasi conclusione certa.

Coerenza. I risultati degli studi epidemiologici sono incompatibili tra loro, in particolare il grande studio Interphone e gli studi del gruppo di ricerca di Hardell et al. Queste incongruenze possono riflettere le differenze nel disegno dello studio e dell'ipotesi a priori. I risultati degli studi in vivo sono generalmente coerenti tra loro e non mostrano alcuna evidenza tra l'esposizione a campi a radiofrequenza e il glioma o gli altri tumori della testa.

Relazione dose - risposta Gli studi epidemiologici non mostrano un chiaro aumento del rischio in relazione al tempo trascorso dal primo utilizzo. Ciò non significa, che si possa escludere un'associazione positiva per esposizione a lungo termine (> 10 anni) perché i dati sono insufficienti per quella durata di utilizzo.

Gli studi in vivo, dove sono disponibili dati certi sull'esposizione, mostrano un andamento dose-risposta statisticamente significativo.

Specificità. Sono stati considerati solo alcuni particolari tumori e non è possibile verificare questo criterio.

Temporalità. Gli studi in vivo non mostrano un significativo aumento dell'insorgenza di glioma cerebrale o di altri tumori dopo l'esposizione a campi RF.

Plausibilità biologica. Nonostante le numerose ricerche compiute negli anni, nessun meccanismo di interazione è stato stabilito in base al quale l'esposizione a campi RF di basso livello (sotto il livello in cui il riscaldamento è il meccanismo dominante) da telefoni senza fili possono causare o contribuire alla malattia negli organismi viventi. Nel complesso, la mancanza di un meccanismo adeguato ed i risultati delle analisi in vitro ed in vivo non forniscono alcun supporto di causalità.

Esperimento. Né studi in vitro né in vivo forniscono alcun supporto globale per una relazione causale tra l'uso del telefono cellulare e il glioma tumore al cervello o gli altri tre tumori.

Analogia. Non sono note esposizioni analoghe che causano tumori al cervello a differenza delle radiazioni ionizzanti, campi RF da wireless cellulari e altre fonti di esposizione (ad esempio, la radio e segnali TV) non hanno la capacità di fornire abbastanza energia per rompere i legami del DNA o addirittura i deboli legami chimici all'interno delle molecole che compongono le cellule del corpo.

CONCLUSIONE (cit)

“E’ stata condotta una revisione sistematica basata su una metodologia pre-concordata per valutare l’esistenza di un nesso causale tra l’uso di telefoni cellulari, glioma e altri tre tumori del capo. I risultati degli studi epidemiologici, lo studio Interphone e gli studi di Hardell et al. sono incoerenti. Non vi sono sufficienti dati per effettuare eventuali determinazioni in merito ai rischi per uso a lungo termine (> 10 anni) e per esposizioni in bambini e adulti.

In sintesi, nessuno dei criteri Hill supporta una relazione causale tra l’uso del telefono cellulare e tumori del cervello o altri tumori del capo. Di conseguenza, le conclusioni e le raccomandazioni dell’OMS forniscono un’adeguata misura di protezione, e le linee guida ICNIRP per limitare l’esposizione a campi RF [49, 50] continuano a fornire uno standard di riferimento per le Politiche di Sanità Pubblica per quanto riguarda l’utilizzo di telefoni cellulari da parte degli adulti”.

E’ stata fatta una ricerca degli articoli pubblicati negli ultimi 5 anni sugli effetti sulla salute dall’uso di telefoni cellulari. Sono state rideterminate le revisioni sistematiche ritenute più significative. Tra queste la più importante è quella condotta da Repacholi e coll. del 2012, che non rileva alcun incremento statisticamente significativo per il glioma o altri tumori della testa, tuttavia analizzando i dati relativi all’uso a lungo termine dei cellulari (> 10 anni) si derivano indicazioni di possibili incrementi di rischio che vanno però verificate prima di arrivare a qualsiasi conclusione certa.

Altri outcome

Oltre alla rassegna di Repacholi, relativa ai tumori cerebrali, sono state valutate revisioni sistematiche relative ad effetti sulla salute non di tipo neoplastico, in particolare 3 rispetto ai possibili effetti dell’esposizione sull’apparato riproduttivo, 2 su disturbi della funzione cognitiva e dell’apprendimento.

Effetti sull'apparato riproduttivo maschile

Sono state identificate 3 revisioni sistematiche sull'impatto dell'esposizione a telefono cellulare e l'infertilità maschile.

I telefoni cellulari più comunemente usati operano a frequenza tra 850 e 1800 MHz ; l'energia radiante è assorbita dai tessuti del corpo e organi umani. Il tasso di assorbimento specifico (SAR) definisce la quantità di energia RF assorbita nei tessuti locali. Per i telefoni cellulari, SAR varia 0,12-1,6 watt / kg di peso corporeo.

E' noto che la temperatura testicolare è inferiore alla temperatura rettale e che la temperatura ottimale per la spermatogenesi è considerata 35 °C. Da questo punto di vista, l'abitudine di tenere un telefono cellulare in tasca dei pantaloni o alla cintura, soprattutto utilizzando un dispositivo vivavoce, può esporre i testicoli a radiazioni e avere un impatto dovuto all'ipertermia. Le Cellule di Leydig, tubuli seminiferi e spermatozoi sono gli obiettivi principali dei danni causati da telefoni cellulari sul tratto riproduttivo maschile. Secondo quanto riportato da una revisione recente di La Vignera [58] l'esposizione del telefono cellulare sembra ridurre la biosintesi del testosterone, compromettere la spermatogenesi e danneggiare il DNA dello sperma. Ipertermia scrotale e stress ossidativo sono i principali meccanismi attraverso i quali il danno è generato.

In un'altra revisione recente condotta da Desai e coll [59] vengono riportati i risultati di alcuni studi sull'uomo che suggeriscono che l'uso dei cellulari possa influire negativamente sulla qualità dello sperma, diminuendo il numero degli spermatozoi, la mobilità, la vitalità e la morfologia. Anche altri autori hanno investigato questo possibile effetto da esposizione a cellulari [60-61]. Considerando complessivamente quanto emerso da questi studi non vi sono però indicazioni conclusive rispetto a questi effetti, per limiti metodologici negli studi considerati. Tutte le rassegne si concludono con l'indicazione che le suggestioni emerse necessitano di ulteriori approfondimenti.

Considerando altri effetti sulla salute, alcuni articoli sottolineano il possibile impatto dei cellulari sull'apparato riproduttivo maschile. La temperatura ottimale per la spermatogenesi è di 35 C. Tenere un cellulare nella tasca dei pantaloni o alla cintura può esporre i testicoli a radiazioni e avere un impatto dovuto all'ipertermia. Secondo alcune ricerche l'esposizione può ridurre la biosintesi del testosterone, compromettere la spermatogenesi e danneggiare il DNA dello sperma. Ipertermia scrotale e stress ossidativo sono i principali meccanismi attraverso i quali il danno è generato. Da alcuni ricercatori è stato ipotizzato che l'uso dei cellulari può danneggiare lo sperma diminuendo il numero degli spermatozoi, la mobilità, la

vitalità e la morfologia, non vi sono però indicazioni conclusive rispetto a questi effetti. Tutte le rassegne affermano che sono necessari ulteriori approfondimenti.

Disturbi della funzione cognitiva

Le due meta-analisi considerate suggeriscono che l'esposizione ai campi elettromagnetici da cellulari possano avere un piccolo impatto sull'attenzione e sulla memoria ma anche in questo caso gli articoli valutati nell'analisi presentano alcuni risultati incoerenti tra loro e quindi sono necessari ulteriori approfondimenti e le risultanze della revisione non vengono qui illustrate nel dettaglio

Per quanto riguarda i disturbi cognitivi, le due meta-analisi considerate suggeriscono che l'esposizione può avere un piccolo impatto sull'attenzione e sulla memoria ma anche in questo caso sono necessari ulteriori approfondimenti.

Alterazioni cellulari

Rispetto alle alterazioni cellulari sono stati identificati numerosi articoli che considerano gli effetti delle esposizioni a radiofrequenze (RF- EMW) a livello cellulare. Dall'analisi della letteratura sono emerse indicazioni controverse sugli effetti delle RF- EMW su mitocondri, apoptosi, alterazioni delle proteine da shock termico, metabolismo dei radicali liberi, stress ossidativo, differenziazione cellulare, danni al DNA e alla membrana cellulare e non vi sono attualmente revisioni sistematiche consistenti rispetto a questi effetti per cui non vengono discussi nel dettaglio.

Gli ultimi due articoli considerati non sono revisioni sistematiche ma sono due studi riguardanti la coorte danese dei titolari di contratto di telefonia mobile, sull'incidenza di neurinoma del nervo acustico [45] e di tumori del sistema nervoso centrale [46]

Tra le pubblicazioni epidemiologiche esaminate dal panel della IARC era presente l'aggiornamento della coorte danese sul neurinoma del nervo acustico ma non quello sui tumori cerebrali, non ancora pubblicato nel maggio 2011. In questi articoli si presenta un aggiornamento del follow-up della coorte al 2006 per il neurinoma e al 2007 per i tumori cerebrali, nonché rilevanti innovazioni metodologiche.

I record individuali dei 420.095 titolari danesi di un contratto di telefonia mobile sul periodo 1982-95 sono stati linkati con quelli dei soggetti eligibili per lo studio epidemiologico su disuguaglianze sociali e tumori CANULIS (circa 3 milioni di danesi nati dal 1925 in poi, vivi

e residenti nel 1990 e di età ≥ 30 anni a questa data), che dispone di informazioni individuali sul livello di istruzione e sul reddito annuale netto.

L'indicatore di esposizione a telefoni cellulari utilizzato nelle analisi consisteva nella titolarità di un contratto privato con gli operatori di rete e relativa data di stipula (il che ha permesso di calcolare la durata di esposizione in anni alla fine del periodo di osservazione). I casi diagnosticati tra i membri della coorte sono stati individuati attraverso il registro tumori nazionale e, per il neurinoma del nervo acustico, anche mediante l'archivio clinico dell'Ospedale Gentofte di Copenhagen.

Lo studio sul neurinoma si è basato su 2,88 milioni di persone seguite per l'incidenza di questo tumore fino alla fine del 2006 (~23 milioni di anni-persona di osservazione e 806 casi osservati). È stato calcolato il rischio relativo di neurinoma tra gli utenti di lunga durata (≥ 11 anni) in rapporto ai non utenti o ai titolari di contratti di durata più breve e non sono state osservate differenze tra i due gruppi [(IRR) = 0,88; intervallo di confidenza (IC) 95% 0,52-1,48)].

Il neurinoma del nervo acustico è un tumore benigno raro e pertanto, nonostante le dimensioni della coorte danese, il confronto si è basato su 15 casi tra gli "esposti" e 389 tra i "non esposti". Tra esposti e non esposti non vi erano differenze nella proporzione di neurinomi localizzati sul lato destro della testa (il lato d'uso del cellulare preferito dal 53% dei danesi) né nella dimensione media del tumore alla diagnosi (14-16 mm).

Lo studio sui tumori cerebrali ha incluso 3,21 milioni di persone (tra cui 358.403 titolari privati di contratto di telefonia mobile) seguite per l'incidenza di tumori cerebrali fino al 2007 [~23 milioni di anni-persona di osservazione (3,8 milioni tra gli esposti) e 256.015 casi di tumore cerebrale, (17.257 tra gli esposti)]. Sono state effettuate analisi stratificate per genere, morfologia del tumore e localizzazione. Tra i titolari di contratto, rispetto ai non titolari, non si sono osservati incrementi dell'incidenza di tumori cerebrali (di qualunque tipo), neppure tra gli utenti di lunga durata. Il rischio relativo di **glioma** tra gli utilizzatori per ≥ 10 anni era 1,04 (0,85-1,26) tra gli uomini e 1,04 (0,56-1,95) nelle donne. Il rischio relativo di **meningioma** tra gli utilizzatori per ≥ 10 anni era 0,90 (0,57-1,42) tra gli uomini e 0,93 (0,46-1,87) nelle donne. Neppure l'analisi per sede della neoplasia cerebrale dava chiare indicazioni di eccessi di rischio tra gli esposti per i tumori localizzati nelle aree a maggior assorbimento di energia a radiofrequenza durante l'uso del cellulare (soprattutto il lobo temporale) [55].

I risultati presentati in questi due articoli, dunque, sembrano aggiungere informazioni importanti a quanto già riscontrato nelle indagini precedenti. Tuttavia, per meglio

comprendere il significato di queste osservazioni sono utili alcuni chiarimenti “di contesto”. I risultati più recenti dello studio di coorte danese sono coerenti con i risultati dello studio caso-controllo Interphone che pure non evidenzia incrementi del rischio di glioma, meningioma o neurinoma del nervo acustico tra gli utilizzatori a lungo termine (≥ 10 anni) né trend d’incremento in funzione della durata d’uso, del numero totale di chiamate o delle ore cumulative d’uso. Per contro, diversi studi caso-controllo condotti da un gruppo di ricerca svedese di Hardell, invece, hanno mostrato incrementi del rischio di glioma e di neurinoma anche a breve distanza dall’inizio d’uso e per modeste intensità d’uso cumulativo. Questi risultati sono statisticamente eterogenei rispetto a quelli di Interphone e dello studio di coorte danese [55].

La letteratura fornisce indicazioni controverse sugli effetti delle RF- EMW rispetto alle alterazioni cellulari in particolare su mitocondri, apoptosi, alterazioni delle proteine da shock termico, metabolismo dei radicali liberi, stress ossidativo, differenziazione cellulare, danni al DNA e alla membrana cellulare.

Dati dei registri tumori internazionali

Ricercatori dello IARC hanno esaminato l’andamento dei tumori cerebrali negli ultimi 15 anni (a partire dalla comparsa e diffusione dei telefoni cellulari), confrontandoli con l’andamento negli anni precedenti.

L’analisi condotta sui registri europei ed americani disponibili (maggiormente comparabili tra di loro) non mostra incrementi di rischio complessivo di questi tumori, a fronte di una diffusione rilevante dell’uso dei telefoni cellulari, e depone o per l’assenza di rischio o per una sua dimensione estremamente limitata o per latenze molto più lunghe di 10-15 anni.

Negli Stati Uniti i trend temporali dei tumori cerebrali rilevati dai registri tumori nordamericani tra il 1992 e il 2006 sono stati esaminati con modelli log-lineari [60]. Con l’eccezione della fascia di età tra i 20 e i 29 anni, in cui si registra un incremento statisticamente significativo dei tumori frontali nel sesso femminile, ma non nel sesso maschile, non è stato rilevato un aumento del trend per tumori temporali, parietali o cerebellari, che sono interessati dalle esposizioni a radiofrequenze causate dai telefoni mobili. Il trend risultante per il periodo 1992-2006 è risultato piatto o leggermente decrescente, a fronte dei 279 milioni di utenti dei telefoni cellulari registrati nel Paese.

L'analisi condotta dallo IARC sui registri tumori europei e americani disponibili non mostra incrementi di rischio complessivo, a fronte di una diffusione rilevante dell'uso dei telefoni cellulari, e depone o per l'assenza di rischio o per una sua dimensione limitata o per latenze superiori a 10-15 anni.

14 CONCLUSIONI DELLA RASSEGNA DEGLI STUDI EPIDEMIOLOGICI

Limitazioni degli Studi Epidemiologici

Esistono alcuni problemi importanti di ordine metodologico negli studi sull'uomo finora disponibili.

Un'importante limitazione della maggior parte degli studi effettuati fino ad oggi è relativa alla stima dell'esposizione che avviene solitamente in modo indiretto, ovvero tramite l'uso di questionari in cui sono raccolte informazioni dettagliate su durata, frequenza e ore cumulative d'uso. L'accuratezza e la completezza delle informazioni ottenute mediante questionari dipendono soprattutto dalla memoria degli intervistati. Questo problema è particolarmente rilevante negli studi caso-controllo, in cui i pazienti affetti da tumori possono ricordare l'uso del telefono cellulare in modo diverso, solitamente sovrastimando l'esposizione, rispetto ai controlli, e questo è un tipo di distorsione che si indica come "recall bias" [61]. Questo effetto è ancora maggiore nel caso in cui le interviste siano realizzate ai congiunti di pazienti deceduti.

Un altro bias è il cosiddetto "reporting bias" dove i soggetti operano una scelta selettiva delle informazioni da riferire in base alla loro condizione o al fattore che si sta indagando.

Un'altra distorsione tipica è quella collegata alla diversa adesione agli studi che può avvenire tra casi e controlli:

I tassi di partecipazione per i controlli sono spesso sostanzialmente più bassi di quelli di partecipazione dei casi. I soggetti che decidono di non aderire possano differire dai partecipanti per caratteristiche socio-demografiche (ad esempio in molti studi le persone che partecipano spesso hanno livelli più elevati di istruzione e sono più interessate a collaborare a studi di ricerca), per l'esposizione al determinante in studio, in questo caso l'uso del telefono cellulare (coloro che utilizzano i telefoni cellulari di rado possono essere meno interessati e avere meno probabilità di partecipare), e possono differire in altri fattori. Tali differenze nella partecipazione possono provocare 'bias di selezione'.

Bias Recall, bias reporting e bias di selezione, che si possono verificare negli studi caso-controllo, possono essere minimizzati utilizzando altri approcci di studio quali ad esempio gli studi di coorte.

Un altro importante problema riguarda la possibilità di stabilire un nesso causale tra uso del telefono cellulare e il cancro. Non sono ancora completamente conosciuti i meccanismi biologici dei danni cellulari nel cancro, come avvengano esattamente e come eventualmente avvenga l'inizio della patologia tumorale e quindi è difficile la dimostrazione certa del nesso di causalità.

L'intervallo tra la prima esposizione ad un agente cancerogeno e la diagnosi clinica di un tumore può essere di lunga durata, fino ad anni, e questo è il problema della latenza tra esposizione e malattia. Questo rende non facile risalire alla prima esposizione a cui può essere attribuita la causa della patologia in esame.

Problema della Durata e durata cumulativa: tenendo in considerazione l'introduzione relativamente recente dell'uso massivo di cellulari, non sono ancora disponibili molte informazioni su esposizioni di lunga durata e soprattutto il numero di utilizzatori è drammaticamente aumentato solo negli ultimi anni, quindi possibili piccoli incrementi di rischio per patologie rare sono finora ancora difficilmente evidenziabili e comunque spesso anche alcuni indici di rischio che possono risultare aumentati, non raggiungono la significatività statistica per il piccolo numero di casi a disposizione.

La tecnologia utilizzata si è inoltre modificata nel tempo e, quindi, ancor più sono rare le informazioni attualmente disponibili per effettuare stime certe rispetto al possibile impatto sulla salute dovuto all'uso di telefonia cellulare digitale.

Uno tra i più importanti punti critici degli studi caso-controllo, è relativo alla stima dell'esposizione, che avviene solitamente in modo indiretto tramite l'uso di questionari per la raccolta delle informazioni che possono essere ricordate in modo impreciso (recall bias). Altri limiti sono rappresentati dalla latenza tra esposizione e malattia, la scarsità d'informazioni sulla durata e sulla durata cumulativa dell'esposizione.

Giudizio complessivo

All'interno della comunità scientifica il dibattito è molto acceso intorno a questo tema ed esistono posizioni in alcuni casi decisamente opposte rispetto ai possibili effetti sulla salute dovuti all'esposizione a campi elettromagnetici. Le conclusioni a cui sono arrivati alcuni studi (Interphone) sono incongruenti rispetto a quanto evidenziato soprattutto dal gruppo di lavoro di Hardell. Le conclusioni di Interphone sono state inoltre contestate aspramente in quanto si è palesata la possibilità che esistessero conflitti di interesse per alcuni ricercatori che avevano condotto la sperimentazione e avevano ricevuto finanziamenti da industrie di telefonia.

Gli argomenti a sostegno di una valutazione più pessimista portata avanti da alcuni ricercatori, quali quelli del gruppo di Hardell, in contrapposizione rispetto alle posizioni più caute e rassicuranti espresse da altri gruppi di ricerca [58], sono ugualmente corroborati da studi che presentano però diversi limiti metodologici che sono stati sopra già accennati e che comunque non contengono elementi così forti da poter arrivare a un giudizio per ora definitivo. Inoltre, la revisione della letteratura più aggiornata ha solamente mostrato alcune suggestioni rispetto ad alcuni effetti avversi non tumorali soprattutto a carico dell'apparato riproduttivo ma senza giungere a evidenze di rischio accertate.

Esistono ancora molti margini di incertezza su quali siano gli effetti sulla salute determinati dall'esposizione ai cellulari ed è attualmente ancora in corso un dibattito molto acceso all'interno della comunità scientifica. Tutti i ricercatori sono concordi sulla necessità di effettuare ulteriori approfondimenti per l'identificazione precisa dei possibili rischi, migliorando soprattutto le stime di esposizione e riservando particolare attenzione ai soggetti più a rischio, in particolare i giovani e i bambini.

Raccomandazioni finali - Misure di prevenzione

Alla luce di quanto sopra illustrato e dei margini di incertezza ancora presenti su questi argomenti, con un dibattito molto acceso all'interno della comunità scientifica, sono comunque da ritenersi utili e da attuare strategie per ridurre le esposizioni verso l'energia a radiofrequenza da telefoni cellulari. Dovrebbero essere preventivate campagne informative rivolte a un uso più consapevole del cellulare con un minor numero di chiamate, una diminuzione della durata delle chiamate, e soprattutto promuovere l'utilizzo di cellulari secondo modalità 'hands-free' ovvero tramite dispositivi o auricolari di connessione che consentano di aumentare la distanza tra l'antenna e la testa e il corpo dell'utente.

Particolare attenzione dovrà poi essere usata nel limitare l'uso di telefoni cellulari nei soggetti giovani e nei bambini.

E' opportuno avviare campagne d'informazione sull'uso consapevole dei telefoni cellulari con particolare attenzione alle fasce degli utenti più giovani che sono i maggiori utilizzatori.

INDICAZIONI PER RIDURRE L'ESPOSIZIONE NELL'UTILIZZO DEL TELEFONINO

1. UTILIZZO DISPOSITIVI QUALI AURICOLARI E VIVA VOCE. I livelli di esposizione della testa si riducono di un fattore pari a circa il 90 % se si allontana il telefonino di 30 cm rispetto alla posizione di contatto con l'orecchio.
2. PRIVILEGIARE AREE DOVE C'E' PIENO CAMPO. La potenza emessa dal telefonino può aumentare di diverse decine di volte passando da aree a buona ricezione ad aree dove la ricezione è scarsa, come può avvenire, in particolare, all'interno di edifici e nei piani interrati.
3. VERIFICARE IL LIVELLO DI SAR. Tutti i manuali dei telefonini devono riportare il valore massimo di SAR alla testa che è correlato alla quantità massima di energia elettromagnetica che può essere assorbita durante una telefonata. Il valore di tale parametro può essere confrontato con il limite di 2 W/kg indicato in norme tecniche internazionali che devono essere rispettate dai costruttori.
4. VANTAGGI DELLA RETE 3G. La potenza emessa dai telefonini in modalità di trasmissione 3G (UMTS) è più bassa di quella emessa in modalità di trasmissione 2G (GSM) di un fattore che varia da 10 a 100 in funzione del livello di ricezione del segnale. A parità di distanza del telefonino dalla testa, una chiamata effettuata in modalità 3G darà luogo ad esposizioni dalle dieci alle cento volte più basse di una chiamata in modalità 2G.
5. LIMITARE L'UTILIZZO PER I BAMBINI. A parità di potenza emessa dal telefonino nonchè di distanza e tempo di utilizzo, alcuni studi riportano che l'energia elettromagnetica assorbita da alcuni tessuti della testa di un bambino è maggiore di quella corrispondente assorbita dalla testa di un soggetto adulto. Nel caso dei bambini è consigliabile limitare l'utilizzo del telefonino alle situazioni che non richiedono una sua vicinanza al corpo.

APPENDICE

La Classificazione IARC

Valutazione e razionale

Le valutazioni della forza delle evidenze di cancerogenicità sono derivate dai dati sperimentali sugli animali realizzati in condizioni standard e da studi sull'uomo. E' riconosciuto che i criteri per queste valutazioni, di seguito descritti, non possono comprendere tutti i fattori che possono essere rilevanti per una valutazione di cancerogenicità. Nel considerare tutti i dati scientifici pertinenti, il gruppo di lavoro può assegnare l'agente ad una categoria superiore o inferiore rispetto a quella che può derivare dall'interpretazione presentata dagli autori.

Le categorie si riferiscono solo alla forza delle prove che l'esposizione sia cancerogena e non alla portata della sua attività cancerogena (potenza).

Una classificazione può inoltre cambiare in base alla disponibilità di nuove informazioni.

La valutazione del grado di prova è limitata agli agenti e ai materiali esaminati, così come definiti fisicamente, chimicamente o biologicamente. Quando gli agenti valutati sono considerati dal gruppo di lavoro sufficientemente e strettamente correlati, possono essere raggruppati ai fini di una valutazione complessiva.

(a) cancerogenicità nell'uomo

Le prove di cancerogenicità derivanti da studi sugli esseri umani sono classificate in una delle categorie di seguito descritte.

Prove sufficienti di cancerogenicità: Il gruppo di lavoro ritiene che è stata stabilita una relazione causale tra l'esposizione all'agente e cancro umano. Cioè, è stata osservata una relazione positiva tra l'esposizione e il cancro in studi in cui la casualità, le distorsioni o i sintomi equivoci sono stati esclusi con ragionevole certezza. Una dichiarazione che esistono prove sufficienti è seguita da una frase separata che identifica l'organo bersaglio (s) o tessuto (s) dove è stato osservato un aumento del rischio di cancro negli esseri umani. L'identificazione di uno specifico organo o tessuto bersaglio non esclude la possibilità che l'agente possa provocare il cancro in altri siti.

Limitata evidenza di cancerogenicità: Una correlazione positiva è stata osservata tra l'esposizione all'agente e cancro per cui l'interpretazione causale è considerata come credibile dal Gruppo di lavoro, ma casualità, distorsioni o fattori confondenti, non si possono escludere con ragionevole certezza.

Evidenza inadeguata di cancerogenicità: Gli studi disponibili sono di qualità insufficiente, la consistenza o potenza statistica è limitata per consentire una conclusione per quanto riguarda la presenza o l'assenza di un nesso causale tra esposizione e cancro, o non è disponibile nessun dato sul cancro negli esseri umani

Prove che suggeriscono la mancanza di cancerogenicità: Ci sono diversi studi adeguati che coprono l'intera gamma di livelli di esposizione in cui possono incorrere gli esseri umani, che sono tra loro coerenti nel non mostrare una correlazione positiva tra esposizione all'agente e qualsiasi tipo di cancro studiato a qualsiasi livello osservato di esposizione. I risultati di questi studi, da soli o combinati, dovrebbero avere intervalli di confidenza stretti con un limite superiore vicino al valore nullo (per esempio un rischio relativo di 1,0). Distorsione e confondimento dovrebbero essere esclusi con ragionevole fiducia, e gli studi devono avere una durata adeguata di follow - up.

La conclusione che suggerisce la mancanza di cancerogenicità è inevitabilmente limitata ai siti tumorali, alle condizioni e ai livelli di esposizione, e alla lunghezza di osservazione coperte dagli

studi disponibili. Inoltre, la possibilità di un rischio molto piccolo ai livelli di esposizione studiati non può mai essere esclusa.

In alcuni casi, le categorie di cui sopra possono essere utilizzate per classificare il grado di evidenze relative alla cancerogenicità in organi o tessuti specifici.

Quando gli studi epidemiologici disponibili si riferiscono a una miscela, a un processo, professione o industria, il gruppo di lavoro si propone di identificare l'agente specifico considerato più probabile di essere responsabile per qualsiasi eccesso di rischio. La valutazione è tanto restrittiva e specifica quanto permesso dai dati disponibili sull'esposizione.

(b) La cancerogenicità in animali da laboratorio

La Cancerogenicità negli animali da laboratorio può essere valutata utilizzando test biologici convenzionali, test biologici con l'impiego di animali geneticamente modificati e altri test biologici in vivo mirati a una o più delle fasi critiche della carcinogenesi. In assenza di dati provenienti da test biologici convenzionali a lungo termine o da test con neoplasia come end- point, risultati costantemente positivi in modelli differenti riguardanti fasi diverse di un processo multistadio della cancerogenesi devono essere considerati nel valutare il grado di evidenza di cancerogenicità in animali da esperimento.

Le prove pertinenti di cancerogenicità negli animali da esperimento sono classificate in una delle seguenti categorie:

Prove sufficienti di cancerogenicità: Il gruppo di lavoro ritiene che una relazione causale è stata stabilita tra l'agente e una maggiore incidenza di neoplasie maligne o di una combinazione appropriata di neoplasie benigne e maligne in: (a) due o più specie di animali o (b) due o più studi indipendenti su una specie, effettuati in tempi diversi o in laboratori diversi o con protocolli diversi. Un'augmentata incidenza di tumori nei due sessi di un'unica specie in uno studio ben condotto, idealmente condotti sotto buone pratiche di laboratorio, può anche fornire prove sufficienti.

Un unico studio in una sola specie e sesso potrebbe essere considerato atto a fornire prove sufficienti di cancerogenicità quando neoplasie maligne si verificano in misura insolita per quanto riguarda l'incidenza, luogo, tipo di tumore o l'età di esordio, o quando si verifica insorgenza di tumori in più siti.

Limitata evidenza di cancerogenicità: I dati suggeriscono un effetto cancerogeno, ma sono limitati per una valutazione definitiva, per esempio perché: (a) la prova della cancerogenicità è limitata a un singolo esperimento; (b) vi sono questioni irrisolte per quanto riguarda l'adeguatezza della progettazione, realizzazione e interpretazione degli studi; (c) l'agente aumenta l'incidenza soltanto di neoplasie o tumori benigni o delle lesioni con potenziale neoplastico; (d) la prova della cancerogenicità è limitata a studi che dimostrano soltanto la promozione di attività tumorale in una ristretta gamma di tessuti o organi

Evidenza inadeguata di cancerogenicità: Gli studi non possono essere interpretati come indicativi per la presenza o l'assenza di un effetto cancerogeno a causa delle limitazioni principali qualitative o quantitative esistenti, o non è disponibile nessun dato sul cancro negli animali da esperimento.

Prove che suggeriscono la mancanza di cancerogenicità: studi adeguati che coinvolgono almeno due specie da cui risulta che, entro i limiti dei test utilizzati, l'agente non è cancerogeno. Una conclusione di mancanza di cancerogenicità è inevitabilmente limitata alla specie, ai siti tumorali, all'età al momento dell'esposizione, e alle condizioni e livelli di esposizione studiati.

(c) meccanismo d'azione e altri dati pertinenti

Sono evidenziati i possibili meccanismi d'azione e altre prove giudicate rilevanti per una valutazione di cancerogenicità e sufficientemente importanti da influenzare la valutazione complessiva. Questo può includere i dati sulle lesioni preneoplastiche, patologie tumorali, effetti genetici, relazioni struttura-attività, metabolismo e tossicocinetica, parametri fisico-chimici e agenti biologici analoghi.

La forza delle prove che qualsiasi effetto cancerogeno osservato possa essere dovuto ad un particolare meccanismo d'azione viene valutata, usando i termini 'debole', 'moderato' o 'forte'.

Il gruppo di lavoro valuta quindi se tale particolare meccanismo possa essere operante nell'uomo. Le indicazioni più forti che un particolare meccanismo agisca anche in esseri umani derivano da dati sull'uomo o campioni biologici ottenuti da esseri umani esposti. I dati possono essere considerati particolarmente rilevanti se mostrano che l'agente in questione ha provocato cambiamenti nel percorso causale che porta alla carcinogenesi nelle persone esposte. Tali dati possono, tuttavia, non essere disponibili, perché è almeno concepibile che alcuni composti possano essere evitati in qualsiasi uso umano unicamente sulla base di prove della loro tossicità e / o cancerogenicità in sistemi sperimentali.

La conclusione che un meccanismo opera in animali da esperimento è rafforzata da risultati coerenti in diversi sistemi sperimentali, dalla dimostrazione della plausibilità biologica e dalla coerenza globale dei dati disponibili. Forte sostegno può essere ottenuto da studi che mettono in discussione il meccanismo ipotizzato sperimentalmente, dimostrando che la soppressione dei processi meccanicistici chiave porta alla soppressione dello sviluppo del tumore.

Il gruppo di lavoro ritiene che meccanismi multipli potrebbero contribuire allo sviluppo del tumore, se diversi meccanismi operano in diverse categorie di dose, se meccanismi diversi operano nell'uomo e negli animali da esperimento e se un meccanismo unico possa funzionare in un gruppo sensibile. Il possibile contributo dei meccanismi alternativi deve essere considerato prima di concludere che i tumori osservati negli animali da esperimento non sono rilevanti per l'uomo.

Per le esposizioni complesse, comprese le esposizioni professionali e industriali, la composizione chimica e il potenziale contributo di agenti cancerogeni noti per essere presenti sono considerati dal gruppo di lavoro nella sua valutazione complessiva di cancerogenicità umana. Il gruppo di lavoro determina anche la misura in cui i materiali testati in sistemi sperimentali sono legati a quelli a cui sono esposti gli esseri umani.

(d) la valutazione complessiva

Infine, il complesso delle prove è considerato nel suo insieme, al fine di giungere ad una valutazione globale della cancerogenicità dell'agente per l'uomo.

Una valutazione può essere fatta anche per un gruppo di agenti valutati nel loro insieme. Inoltre, quando i dati indicano che altri agenti correlati, per i quali non vi è alcuna prova diretta della loro capacità di indurre il cancro negli esseri umani o negli animali, possono anche essere cancerogeni, si aggiunge alla valutazione anche una dichiarazione che descrive la logica di questa conclusione.

Se la forza delle prove lo richiede può essere fatta in questo caso una valutazione aggiuntiva riguardante questo ampio gruppo di agenti.

L'agente è descritto secondo la formulazione di una delle 4 categorie di classificazione, ed è ad esso attribuito il gruppo designato.

La classificazione di un agente è il risultato di un procedimento scientifico che riassume la forza delle evidenze derivate da studi nell'uomo e negli animali da esperimento e dai dati relativi.

Gruppo 1: L'agente è cancerogeno per l'uomo

Questa categoria viene utilizzata quando vi è sufficiente evidenza di cancerogenicità nell'uomo. Eccezionalmente, un agente può essere collocato in questa categoria, quando l'evidenza di cancerogenicità nell'uomo è meno che sufficiente ma vi è una sufficiente evidenza di cancerogenicità negli animali da esperimento e una forte evidenza in persone esposte e che l'agente agisce attraverso un meccanismo rilevante di cancerogenicità.

Gruppo 2

Questa categoria comprende agenti per i quali, a un estremo, il grado di evidenza di cancerogenicità nell'uomo è quasi sufficiente, così come quelli per i quali, all'altro estremo, non ci sono dati sull'uomo, ma per i quali vi è evidenza di cancerogenicità in esperimenti animali. **Gli agenti sono assegnati o al gruppo 2A (probabilmente cancerogeno per l'uomo) o al gruppo 2B (possibile cancerogeno per l'uomo)** sulla base di evidenze epidemiologiche e sperimentali di cancerogenicità e dati pertinenti di meccanismo d'azione e altri. I termini **probabilmente cancerogeno** e **possibilmente cancerogeno** non hanno rilevanza quantitativa e vengono utilizzati semplicemente come descrittori dei diversi livelli di evidenza di cancerogenicità umana, con **probabilmente cancerogeno** significare un più alto livello di evidenza che con **possibilmente cancerogeno**.

Gruppo 2A: L'agente è probabilmente cancerogeno per l'uomo

Questa categoria viene utilizzata quando vi è una limitata evidenza di cancerogenicità nell'uomo e prove sufficienti di cancerogenicità negli animali da esperimento. In alcuni casi, un agente può essere classificato in questa categoria quando vi è evidenza inadeguata di cancerogenicità nell'uomo e prove sufficienti di cancerogenicità negli animali da esperimento e una forte evidenza che la carcinogenesi è mediata da un meccanismo che opera anche negli esseri umani. Eccezionalmente, un agente può essere classificato in questa categoria unicamente sulla base della limitata evidenza di cancerogenicità nell'uomo. Un agente può essere assegnato a questa categoria se appartiene in modo chiaro, sulla base di considerazioni meccanicistiche, ad una classe per i quali uno o più membri sono stati classificati nel gruppo 1 o gruppo 2A.

Gruppo 2B: L'agente è possibilmente cancerogeno per l'uomo.

Questa categoria viene utilizzata per gli agenti per i quali vi è una limitata evidenza di cancerogenicità nell'uomo ed un'evidenza meno che sufficiente di cancerogenicità negli animali da esperimento. In alcuni casi, si può qui collocare un agente per il quale vi è evidenza inadeguata di cancerogenicità nell'uomo ed un'evidenza sufficiente di cancerogenicità negli animali da esperimento nonché di altri elementi dai dati pertinenti meccanicistici. Un agente può essere classificato in questa categoria unicamente sulla base di una forte evidenza dai dati pertinenti meccanicistici e altri.

Gruppo 3: L'agente non è classificabile quanto alla sua cancerogenicità per l'uomo.

Questa categoria viene utilizzata per gli agenti per i quali l'evidenza di cancerogenicità è inadeguata nell'uomo e inadeguata o limitata negli animali da esperimento. Eccezionalmente, possono essere inseriti in questa categoria gli agenti per i quali l'evidenza di cancerogenicità è inadeguata nell'uomo ma sufficiente negli animali da esperimento o quando vi è una forte evidenza

che il meccanismo di cancerogenicità negli animali da esperimento non agisce allo stesso modo negli esseri umani.

In questa categoria sono inoltre inseriti gli agenti che non rientrano in nessun altro gruppo.

Va rilevato che una valutazione di gruppo 3 non è una determinazione di non cancerogenicità con elevata sicurezza complessiva. Spesso implica la necessità di ulteriori ricerche, soprattutto quando le esposizioni sono diffuse o i dati di cancerogenicità presentano interpretazioni divergenti tra gli esperti.

Gruppo 4: L'agente non è probabilmente cancerogeno per l'uomo.

Questa categoria viene utilizzata per gli agenti per i quali vi sono prove che suggeriscono la mancanza di cancerogenicità nell'uomo e negli animali da esperimento. In alcuni casi possono essere classificati in questo gruppo gli agenti per i quali esistono prove sufficienti di cancerogenicità nell'uomo ma prove che suggeriscono la mancanza di cancerogenicità negli animali da esperimento.

(e) Razionale

In questa parte della valutazione viene presentato e discusso il ragionamento che il gruppo di lavoro ha utilizzato per raggiungere la sua valutazione. Questa sezione integra quindi i principali risultati degli studi sul cancro negli esseri umani, studi sul cancro negli animali da esperimento, e dati pertinenti sui meccanismi di azione. Esso comprende le dichiarazioni sintetiche del gruppo di lavoro sulla linea principale di valutazione emersa, le conclusioni del gruppo di lavoro sulla forza delle prove per ogni gruppo di studi, le citazioni per indicare quali studi sono stati fondamentali per queste conclusioni, e una spiegazione della motivazione del gruppo di lavoro nella pesatura dei dati utilizzata per fare le sue valutazioni. Quando ci sono differenze significative di interpretazione scientifica tra i membri del gruppo di lavoro, è fornito un breve riassunto delle interpretazioni alternative, insieme al razionale scientifico e all'indicazione del relativo grado di sostegno per ogni ipotesi di spiegazione alternativa.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Nielsen (2013). The Mobile Consumer http://www.nielseninsights.it/wp-content/uploads/2013/03/03.-global_mobile_report_02_25.pdf
- [2] ISTAT (2006) L'uso dei media e del cellulare in Italia http://www3.istat.it/dati/catalogo/20080429_00
- [3] Arpa Piemonte (2013) Lo stato dell'ambiente in Piemonte. Rapporto 2013 <http://rsaonline.arpa.piemonte.it/rsa2013/>
- [4] Maskarinec G, Cooper J, Swygert L. (1994) Investigation of increased incidence in childhood leukaemia near radio towers in Hawaii: preliminary observations. *J Environ Pathol, Toxicol and Oncol*; 13: 33-37.
- [5] Anderson BS, Henderson AK. (1996) Cancer incidence in census tracts with broadcasting towers in Honolulu, Hawaii. Report submitted to the Honolulu City Council. Honolulu, Hi: Environmental and Epidemiology Program, Hawaii, 27 October 1986. Citato in: Goldsmith JR. Epidemiological studies of radio-frequency radiation: current status and areas of concern. *Sci Tot Environ* 1996; 180: 3-8.
- [6] Hocking B, Gordon IR, Grain HL, Hatfield GE. (1996) Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers. *Med J Aust* 1996; 165: 601-605.
- [7] McKenzie DR, Yin Y, Morrell S. (1998) Childhood incidence of acute lymphoblastic leukaemia and exposure to broadcast radiation in Sydney – a second look. *Aust N Z J Public Health* 1998; 22 (3 Suppl): 360-67.
- [8] Dolk H, Shaddick G, Walls P, et al. (1997) Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. I. Sutton Coldfield transmitter. *Am J Epidemiol* 1997; 145: 1-9.
- [9] Dolk H, Elliott P, Shaddick G, et al. (1997b) Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. II. All high power transmitters. *Am J Epidemiol* 1997b; 145: 10-17.
- [10] Cooper D, Hemmings K, Saunders P. Re: (2001) Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. I. Sutton Coldfield transmitter; II. All high power transmitters. *Am J Epidemiol* 2001; 153: (2): 202-04.
- [11] Michelozzi P et al (2002). Adult and Childhood Leukemia near a High-Power Radio Station in Rome, Italy. *Am J Epidemiol*; 155:1096–1103.
- [12] Mc Bride ML. Childhood cancer and environmental contaminants. (1998) *Can J Public Health* 1998; Suppl 1: S53-62, S58-68.
- [13] Magnani C, Pastore G, Luzzatto L, et al. Parental occupation and other environmental factors in the etiology of leukemias and non-Hodgkin's lymphomas in childhood: a case-control study. *Tumori* 1990; 76: 413-19.
- [14] Roosli M., Frei P., Mohler E. and Hug K. (2010) Systematic Review on the health exposure to radiofrequency electromagnetic fields from mobile phone base stations. *Bull. World Health Organ.*, 88: 887-896
- [15] IARC Monograph on the evaluation of carcinogenic risks to humans "Non ionizing radiation, part 2: radiofrequency electromagnetic fields", Vol 102, april 2013
- [16] Interphone Study Group. Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *Int J Epidemiol* 2010; 39:675-694
- [17] Cardis E et al. Risk of brain tumours in relation to estimated RF dose from mobile phones: results from five Interphone countries. (2011) *Occup Environ Med* 2011; 68(9):631-640. Epub 2011 Jun 9
- [18] Hardell L et al. (2011) Pooled analysis of case-control studies on malignant brain tumours and the use of mobile and cordless phones including living and deceased subjects. *Int J Oncol* 2011; 38(5): 1465-1474. Epub 2011 Feb 17
- [19] Sato Y, Akiba S, Kubo O, Yamaguchi N (2011). A case-case study of mobile phone use and acoustic neuroma risk in Japan. *Bioelectromagnetics*, 32: 85–93
- [20] Szmigielski S, Szudzinski A, Pietraszek A et al. (1982). Accelerated development of spontaneous and benzopyrene induced skin cancer in mice exposed to 2450-MHz microwave radiation. *Bioelectromagnetics*, 3:179–191

- [21] Heikkinen P, Kosma VM, Alhonen L et al. (2003). Effects of mobile phone radiation on UV-induced skin tumourigenesis in ornithine decarboxylase transgenic and non-transgenic mice. *Int J Radiat Biol*, 79: 221–233
- [22] Tillmann T, Ernst H, Streckert J et al. (2010). Indication of cocarcinogenic potential of chronic UMTS modulated radiofrequency exposure in an ethylnitrosourea mouse model. *Int J Radiat Biol*, 86: 529–541.
- [23] NIST National Institute of Standard and Technologies (1997) "Electromagnetic signal attenuation in construction materials" Report n. 3. NISTIR 6055
- [24] Anglesio L., Benedetto A., Bonino A., Colla D., Martire F., Saudino Fusette S., d'Amore G. "Population exposure to electromagnetic fields generated by radio base stations: evaluation of the urban background by using provisional model and instrumental measurements" *Radiation Protection Dosimetry* vol. 97, n. 4, pp 355 - 359 (2001)
- [25] Norma CEI 211-10 "Guida alla realizzazione di una stazione radio base per rispettare i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici in alta frequenza" Aprile 2002
- [26] Norma CEI 211-10 - Appendice H "Metodologie di misura per segnali UMTS" Gennaio 2004
- [27] Lauer O., Frei P., Gosselin M.C., Joseph W., Roosli M. and Frolich J. (2013) Combining near- and far-field exposure for an organ-specific and whole-body RF-EMF proxy for epidemiological research: a reference case. *Bioelectromagnetics* 34, pp 366-374
- [28] Vrijheid M., Mann S., Vecchia P., Wiart J. et al. (2009) Determinants of mobile phone output power in a multinational study: implications for exposure assessment. *Occupational and Environmental Medicine*. Vol. 66, n. 10, pp 664-671
- [29] Wiart J., Dale C., Bosisio AD, et al. (2000) Analysis of the influence of the power control and discontinuation transmission on RF exposure with GSM mobile phone. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. 42, pp 376-385
- [30] Dimbylow PJ, Mann SM. (1994) SAR Calculations in an anatomically realistic model of the head for mobile communication transceivers at 900 MHz and 1.8 GHz. *Physics in Medicine and Biology*. 39, pp 1537-1553
- [31] Balzano Q. (1999) Exposure metrics for RF epidemiology: cellular phone handsets. *Radiation Protection Dosimetry* 83, pp 165-169
- [32] Ardoino L., Barbieri E. and Vecchia P. (2004) Determinants of exposure to electromagnetic fields from mobile phones. *Radiation Protection Dosimetry*. 111, pp- 403-406
- [33] Hillert L., Ahlbom A., Neasham D., Feychting M., Jarup L., Navin R. and Elliott P. Call-related factors influencing output power from mobile phones. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. 16, pp 507-514
- [34] Gati AG, Hadjem A., Wong MF and Wiart J. (2009) Exposure induced by WCDMA mobile phones in operating network. *IEEE Transactions on Wireless Communication*. Vol. 8, n. 12, pp. 5723-5727
- [35] Gandhi O.P., Morgan L.L., de Salles A.A., Han Y.Y., Heberman R.B., Davis D.L. (2012) Exposure limits: the underestimation of absorbed cell phone radiation, especially in children. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 31, pp 34-51.
- [36] Hardell L, Hallquist A, Mild KH, Carlberg M, Pahlson A, Lilja A. (2002). Cellular and cordless telephones and the risk for brain tumours. *Eur J Cancer Prev* 11:377–386.
- [37] Hardell L, Mild KH, Carlberg M. (2003). Further aspects on cellular and cordless telephones and brain tumours. *Int J Oncol* 22:399–407.
- [38] Hardell L, Hallquist A, Hansson Mild K, Gertzen H, Schildt E-B, Dahlqvist A. (2004). No association between the use of cellular or cordless telephones and salivary gland tumours. *Occup Environ Med* 61:675–679.
- [39] Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. (2005). Case–control study on cellular and cordless telephones and the risk for acoustic neuroma or meningioma in patients diagnosed 2000–2003. *Neuroepidemiology* 25:120–128.
- [40] Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. (2006). Case–control study of the association between the use of cellular and cordless telephones and malignant brain tumors diagnosed during 2000–2003. *Environ Res* 100:232–241.

- [41] Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. (2006a). Pooled analysis of two case–control studies on use of cellular and cordless telephones and the risk of malignant brain tumours diagnosed in 1997–2003. *Int Arch Occup Health* 79:630–639.
- [42] Hardell L, Carlberg M, Soöderqvist F, Mild KH. (2008). Meta-analysis of long-term mobile phone use and the association with brain tumours. *Int J Oncol* 32:1097–1103
- [43] Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. (2010). Mobile phone use and the risk for malignant brain tumors: A case–control study on deceased cases and controls. *Neuroepidemiology* 35(2):109–114
- [44] Vrijheid M, Armstrong BK, Bedard D, Brown J, Deltour I, Iavarone I, Krewski D, Lagorio S, Moore S, Richardson L, Giles GG, McBride M, Parent ME, Siemiatycki J, Cardis E. Recall bias in the assessment of exposure to mobile phones. (2009a) *J Expo Sci Environ Epidemiol*:369-81
- [45] J. Schüz, M. Steding-Jessen, S. Hansen, S-E. Stangerup, P. Cayé-Thomasen, A.H. Poulsen, J.H. Olsen, C. Johansen (2011) “Long-term mobile phone use and risk of vestibular schwannoma: a Danish nationwide cohort study”, *Am J Epidemiol*, 174(4), 416-422
- [46] P. Frei, A.H Poulse, C. Johansen, J.H Olsen, M. Steding-Jessen, J. Schüz, (2011), “Use of mobile phone and brain tumours: update of Danish cohort study”, *Br Med J*, 343, d6387 doi: 10.113/bmj.d6387 [Epub ahead of printing].
- [47] <http://www.enea.it/it/produzione-scientifica/EAI/anno-2011/n.-6-2011-novembre-dicembre-2011/Uso-telefono-cellulare-tumori-intracranici-lagorio>
- [48] Linet MS(1), Inskip PD. Cellular (mobile) telephone use and cancer risk. *Rev Environ Health*. 2010 Jan-Mar;25(1):51-5.
- [49] ICNIRP “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)” (ICNIRP 1998)
- [50] The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection ICNIRP Statement ICNIRP Statement on the “Guidelines For Limiting Exposure To Time-Varying Electric, Magnetic, And Electromagnetic Fields (up to 300 ghz)” - *Health Physics* september 2009, volume 97, number 3
- [51] Lahkola A, Auvinen A, Raitanen J, Schoemaker MJ, Christensen HC, Feychting M, Johansen C, Klaeboe L, Lönn S, Swerdlow AJ, Tynes T, Salminen T. Mobile phone use and risk of glioma in 5 North European countries *Int J Cancer*. 2007 Apr 15;120(8):1769-75
- [52] Ahlbom A, Feychting M, Green A, Kheifets L, Savitz D, and Swerdlow A Cap III Epidemiologic evidence on mobile phone and tumor risk ICNIRP Standing Committee - in *Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz) Review of the scientific evidence on dosimetry, biological effects, epidemiological observations, and health consequences concerning exposure to high frequency electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz)* Editors: Paolo Vecchia, Rüdiger Matthes, Gunde Ziegelberger James Lin, Richard Saunders, Anthony Swerdlow - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection ICNIRP 16/2009 - *Epidemiology* 20(5):639–652; 2009
- [53] Lahkola A, Auvinen A, Raitanen J, Schoemaker MJ, Christensen HC, Feychting M, Johansen C, Klaeboe L, Lönn S, Swerdlow AJ, Tynes T, Salminen T. (2007) Mobile phone use and risk of glioma in 5 North European countries *Int J Cancer*. 2007 Apr 15;120(8):1769-75
- [54] Cardis E, Richardson L, Deltour I, Armstrong B, Feychting M, Johansen C, Kilkenny M, McKinney P, Modan B, Sadetzki S, Schüz J, Swerdlow A, Vrijheid M, Auvinen A, Berg G, Blettner M, Bowman J, Brown J, Chetrit A, Christensen HC, Cook A, Hepworth S, Giles G, Hours M, Iavarone I, Jarus-Hakak A, Klaeboe L, Krewski D, Lagorio S, Lönn S, Mann S, McBride M, Muir K, Nadon L, Parent ME, Pearce N, Salminen T, Schoemaker M, Schlehofer B, Siemiatycki J, Taki M, Takebayashi T, Tynes T, van Tongeren M, Vecchia P, Wiart J, Woodward A, Yamaguchi N.. (2007) The INTERPHONE study: design, epidemiological methods, and description of the study population. *Eur J Epidemiol*. 2007;22(9):647-64. Epub 2007 Jul 18
- [55] Lagorio http://www.iss.it/binary/elet/cont/Presentazione_Interphone.pdf

- [56] Adele C Green, Leeka Kheifets, David A Savitz, Anthony J. Swerdlow (2013) IARC Monograph on the evaluation of carcinogenic risks to humans "Non ionizing radiation, part 2: radiofrequency electromagnetic fields", Vol 102, april 2013
- [57] M.H.Repacholi, A.Lerchl, Martin Ro«o« sli,3 Zenon Sienkiewicz,4 Anssi Auvinen,5Jrgen Breckenkamp,6 Guglielmo d'Inzeo,1Paul Elliott,7 Patrizia Frei,8 Sabine Heinrich,9 Isabelle Lagroye,10Anna Lahkola,11David L.McCormick,12 SilkeThomas,9 and Paolo Vecchia Review Systematic Review of Wireless Phone Use and Brain Cancer and Other Head Tumors *Bioelectromagnetics* 33:187^206 (2012)
- [58] La Vignera S, Condorelli RA, Vicari E, D'Agata R, Calogero AE.Effects of the exposure to mobile phones on male reproduction: a review of the literature.*J Androl.* 2012 May-Jun;33(3):350-6. doi: 10.2164/jandrol.111.014373. Epub 2011 Jul 28. Review.
- [59] Desai N., Kesari K, Agarwal A Review Pathophysiology of cell phone radiation: oxidative stress and carcinogenesis with focus on male reproductive system *Reproductive Biology and Endocrinology* 2009, 7:114
- [60] Inskip PD1, Hoover RN, Devesa SS Brain cancer incidence trends in relation to cellular telephone use in the United States. *Neuro Oncol.* 2010 Nov;12(11):1147-51. doi: 10.1093/neuonc/noq077. Epub 2010 Jul 16.
- [61] Vrijheid M, Richardson L, Armstrong BK, Auvinen A, Berg G, Carroll M, Chetrit A, Deltour I, Feychting M, Giles GG, Hours M, Iavarone I, Lagorio S, Lonn S, McBride M, Parent M-E, Sadetzki S, Salminen T, Sanchez M, Schlehofer B, Schuz J, Siemiatycki J, Tynes T, Woodward A, Yamaguchi N, Cardis E. Quantifying the impact of selection bias caused by nonparticipation in a case–control study of mobile phone use. *Ann Epidemiol* 19:33-41; 2009b.

Presidente

Bruno Geraci

Vice Presidente

Tiziana Maglione

Commissario

Ezio Ercole

**DIREZIONE COMUNICAZIONE ISTITUZIONALE
DELL'ASSEMBLEA REGIONALE**

Direttore

Domenico Tomatis

SETTORE CORECOM

Dirigente Responsabile

Nicola Princi

Funzionari

Laura Astolfi, Simona Bertero, Flavia Borsano, Viviana Bruno, Alessandro Cavallo, Pasquale Centin, Marco Cotto, Barbara D'Ambrosio, Regina Fano, Maria Grazia Ferro, Marisa Ferro, Claudio Giannone, Marita Gugliermetti, Barbara Lacchia, Grazia Mazzuoli, Alda Mignosi, Margherita Occhetti, Elisabetta Panei, Pina Serrenti



Stampa a cura del Centro Stampa
della Regione Piemonte