



**ESPOSIZIONE UMANA A RADIOFREQUENZE.
STUDIO SULL'IMPATTO DELLA TELEFONIA
CELLULARE E SULLE MODALITÀ DI UTILIZZO
DEL TELEFONINO PER LA RIDUZIONE DEI
RISCHI**



**ESPOSIZIONE UMANA A RADIOFREQUENZE.
STUDIO SULL'IMPATTO DELLA TELEFONIA CELLULARE E SULLE
MODALITÀ DI UTILIZZO DEL TELEFONINO PER LA RIDUZIONE DEI
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”

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	Pg. 4
1 INTRODUZIONE	Pg. 6
2 CONCETTI DI BASE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI A RADIOFREQUENZA	Pg. 8
3 ESPOSIZIONE A CAMPI ELETTROMAGNETICI A RADIOFREQUENZA E RISCHI PER LA SALUTE	Pg. 11
4 ESPOSIZIONE AMBIENTALE E PERSONALE A CAMPI ELETTROMAGNETICI A RADIOFREQUENZA	Pg. 17
5 IL CONTRIBUTO DEI TELEFONI CELLULARI ALL'ESPOSIZIONE UMANA A CAMPI ELETTROMAGNETICI A RADIOFREQUENZA	Pg. 22
6 MISURA DELLA POTENZA EMESSA DA TELEFONI CELLULARI: STRUMENTI E METODI	Pg. 25
7 RISULTATI E VALUTAZIONE DEI DATI	Pg. 29
8 SVILUPPI PROGETTUALI: UNA APPLICAZIONE PER SMART PHONE PER ANALIZZARE L'ESPOSIZIONE	Pg. 43
9 CONCLUSIONI	Pg. 46
10 INDICAZIONI PER RIDURRE L'ESPOSIZIONE NELL'UTILIZZO DEL TELEFONINO	Pg. 48
11 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	Pg. 49

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 sito 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 dall’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 .

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.

1. INTRODUZIONE

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].

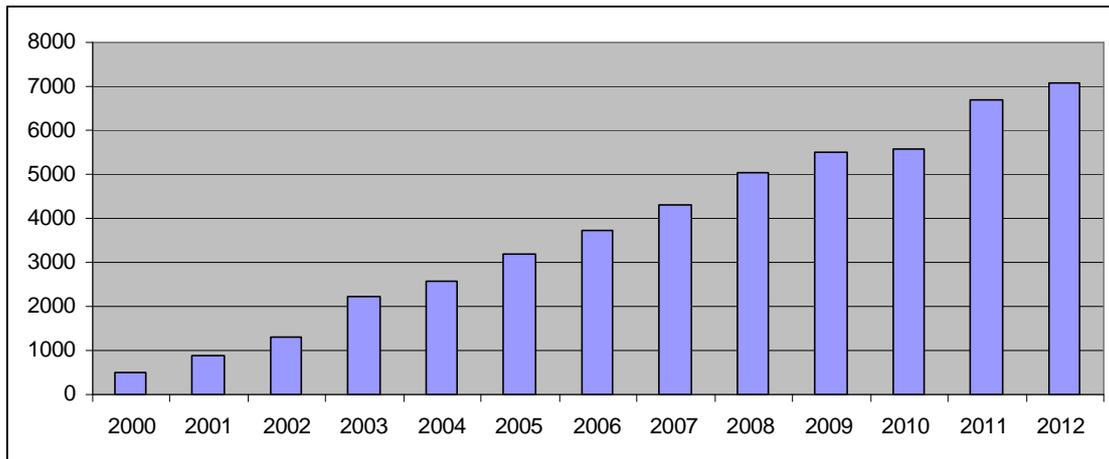


Figura 1 Numero di stazioni radio base per telefonia mobile oggetto di nuovi iter autorizzativi in Regione Piemonte nel periodo 2000 - 2012.

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

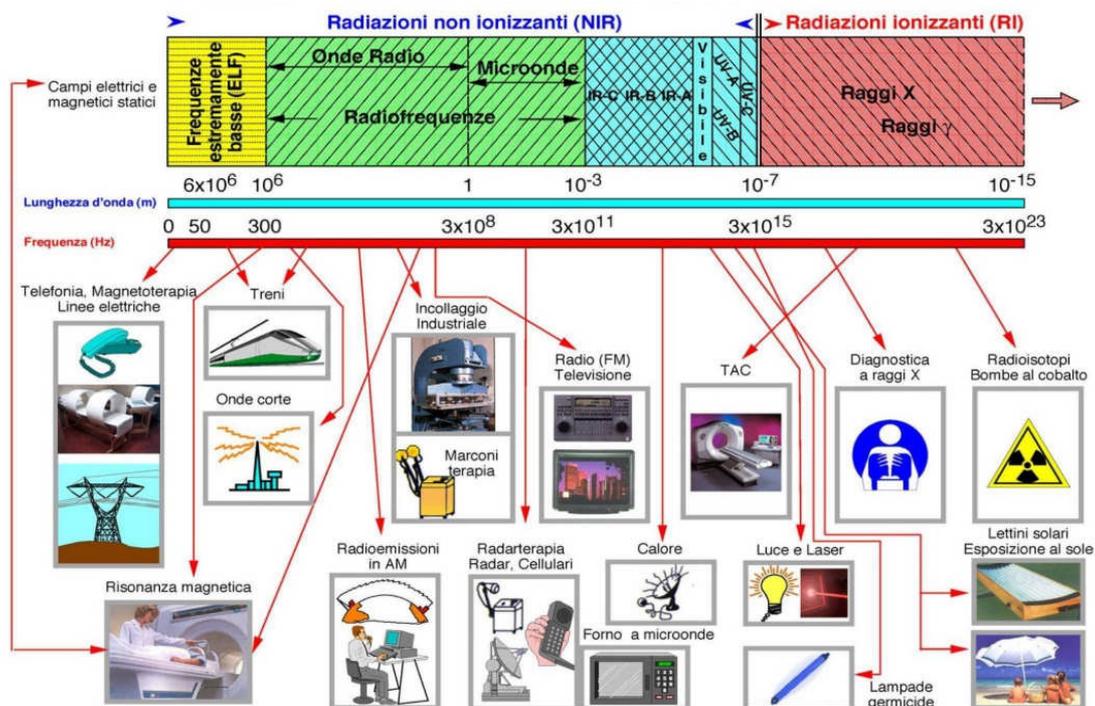


Figura 2 Spettro della radiazione elettromagnetica ed esempi di sorgenti.

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.

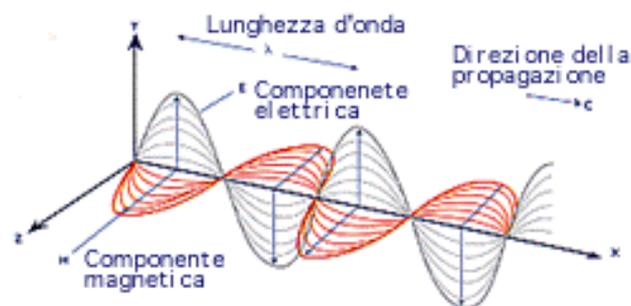


Figura 3 Rappresentazione schematica di un'onda elettromagnetica

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 un 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 un'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 un'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.

4. ESPOSIZIONE AMBIENTALE E PERSONALE A CAMPI ELETTROMAGNETICI 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.)

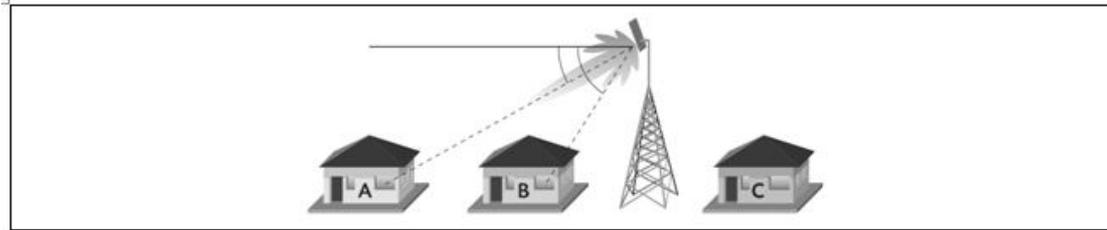


Figura 4 Modalità di esposizione a diverse distanze in prossimità di un impianto per telecomunicazione.

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.

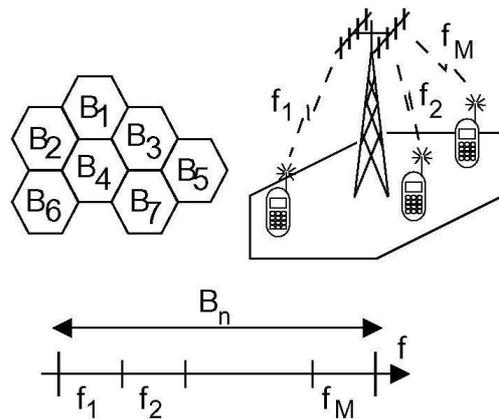


Figura 5 Schema di un collegamento ad accesso multiplo.

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 schermatura 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 schermatura 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 dal 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.

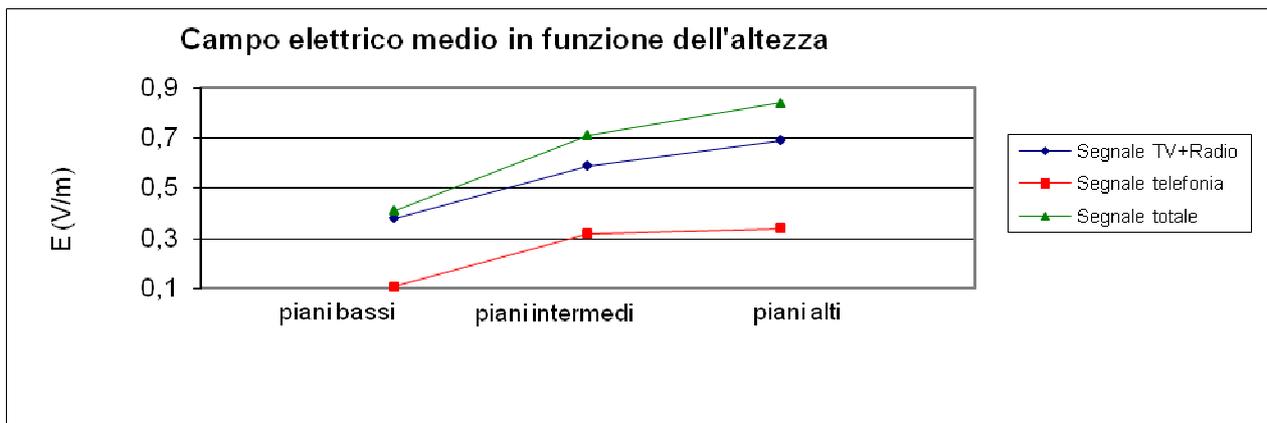


Figura 6 Livelli medi di campo elettrico a radiofrequenza misurati a diverse piani di condomini in aree urbane.

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.

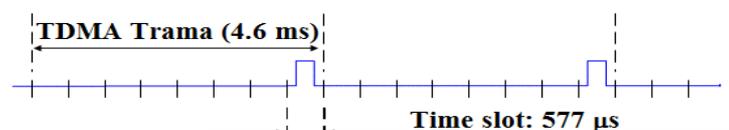


Figura 7 Schema di un segnale GSM

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 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.

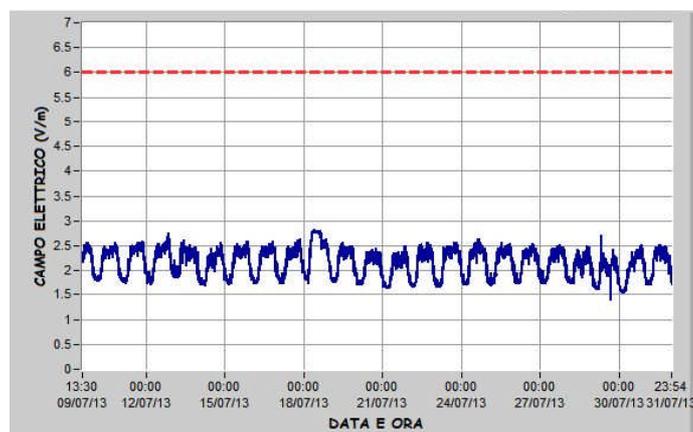


Figura 8 Variazione temporale del livello di campo elettrico dovuto ad una stazione radio base per telefonia mobile nell’arco di circa un mese

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

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 interessa 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 di 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 ed 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:

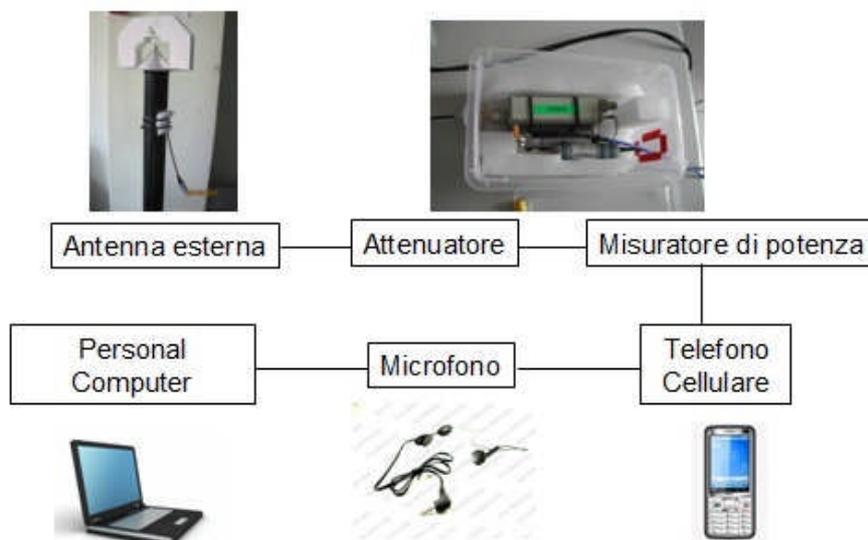


Figura 9 Schema della catena strumentale predisposta per la misura della potenza emessa dal telefonino

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 un'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 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	Ambiente urbano in prospicenza di stazioni radio base per telefonia mobile
F	
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.

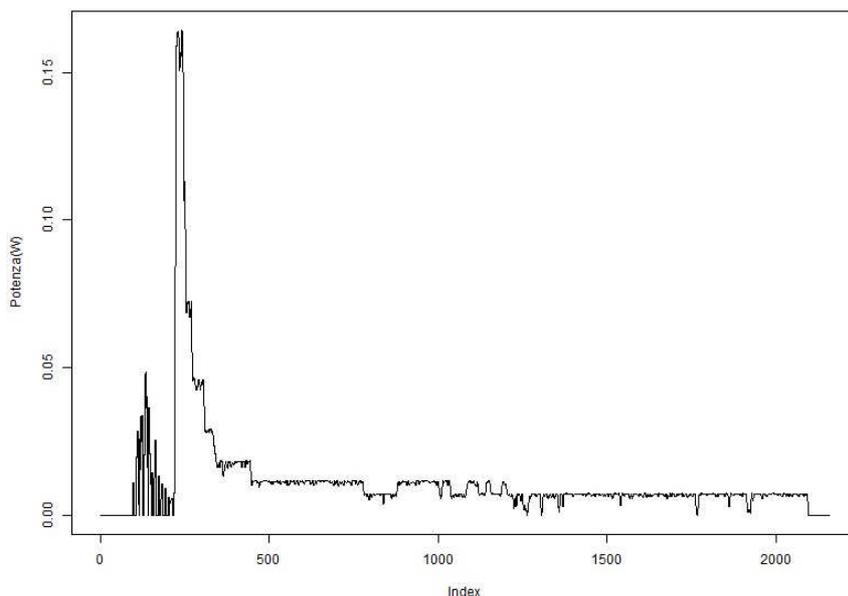


Figura 11 Esempio di variazione della potenza emessa dal telefonino durante una chiamata vocale effettuata con segnale GSM (2G)

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.

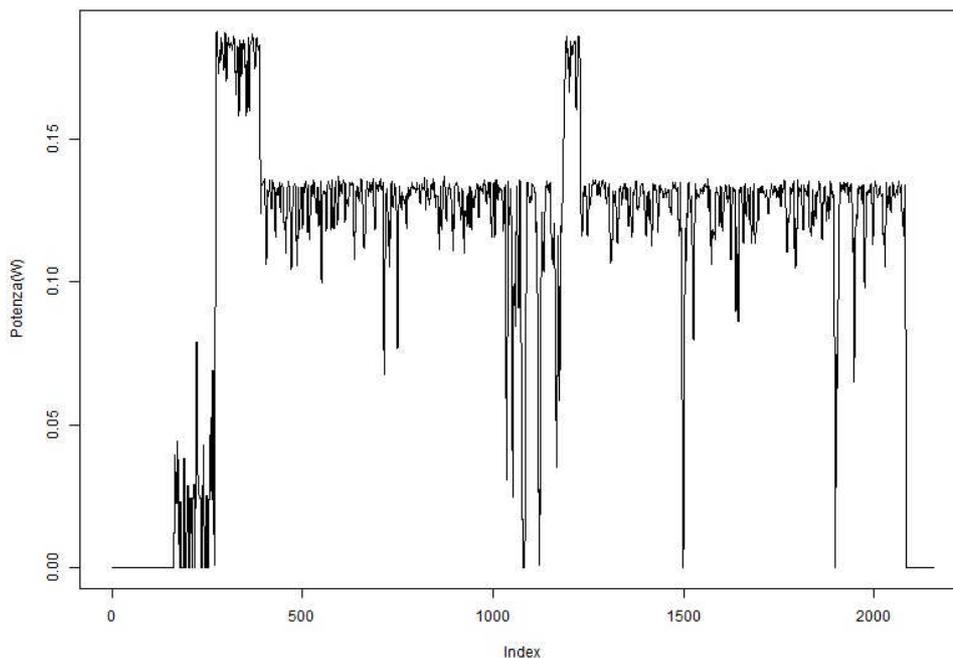


Figura 12 Esempio di variazione della potenza emessa dal telefonino durante una chiamata vocale effettuata con segnale GSM (2G) nel caso in cui il telefonino usi mediamente una elevata percentuale della potenza massima erogabile

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 un'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.

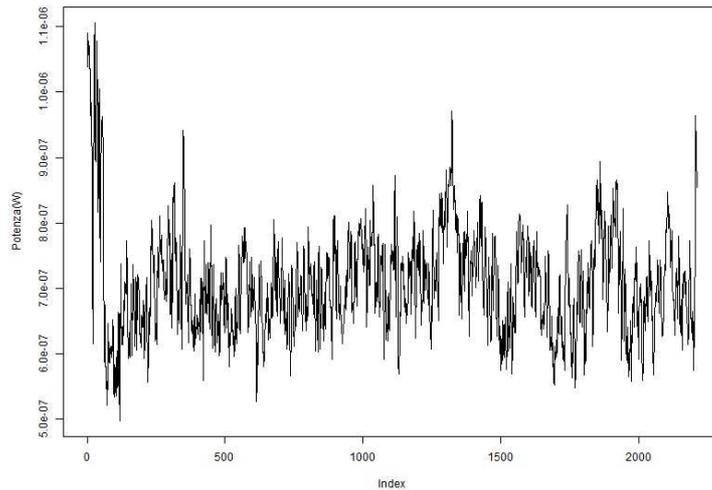


Figura 13 Esempio di variazione della potenza emessa dal telefonino durante una chiamata vocale effettuata con segnale UMTS (3G)

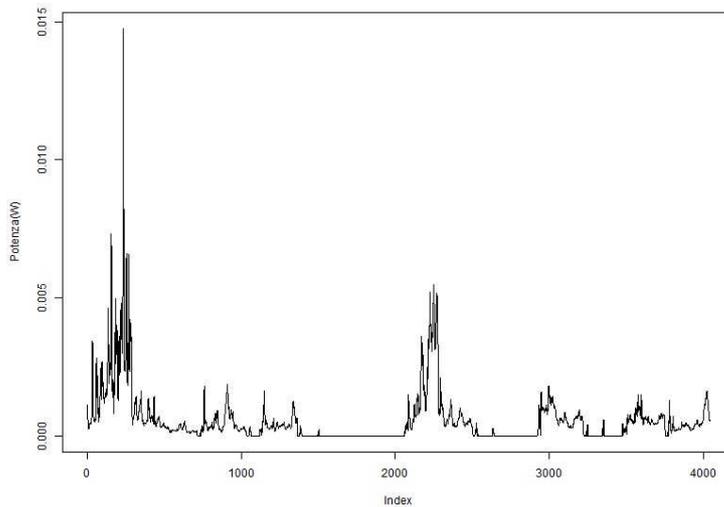


Figura 14 Esempio di variazione della potenza emessa dal telefonino durante una chiamata per traffico dati effettuata con segnale UMTS (3G).

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

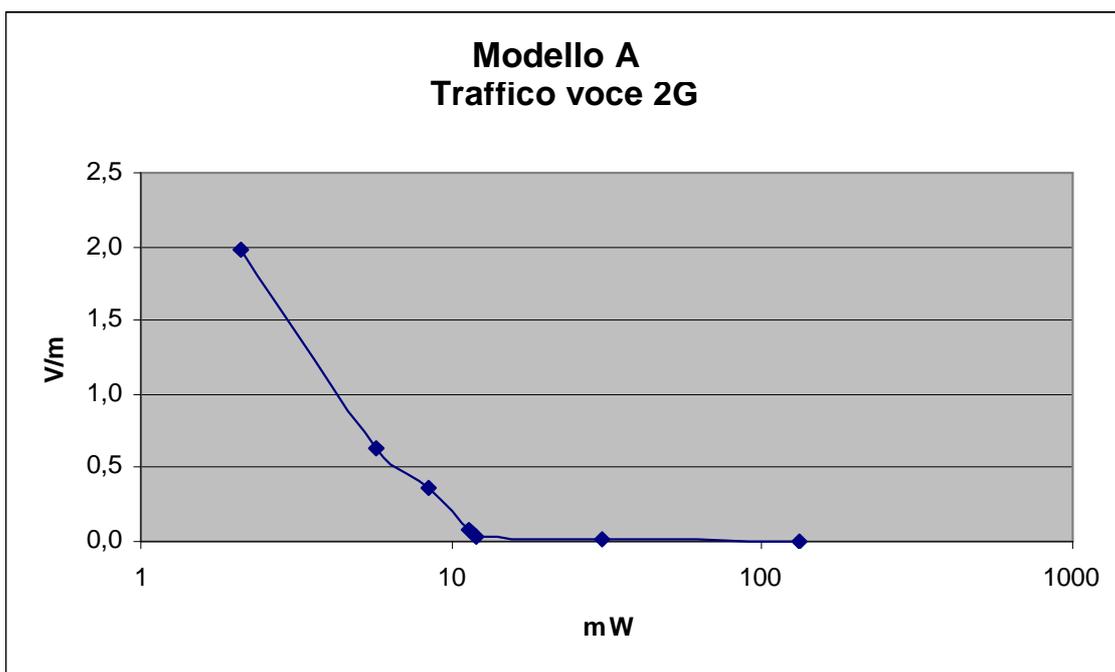


Figura 17 Potenza media emessa dal telefono cellulare Samsung GT-B5330 nel corso di una chiamata vocale 2G in corrispondenza di segnali con livelli variabili da 0.001 V/m a circa 2 V/m.

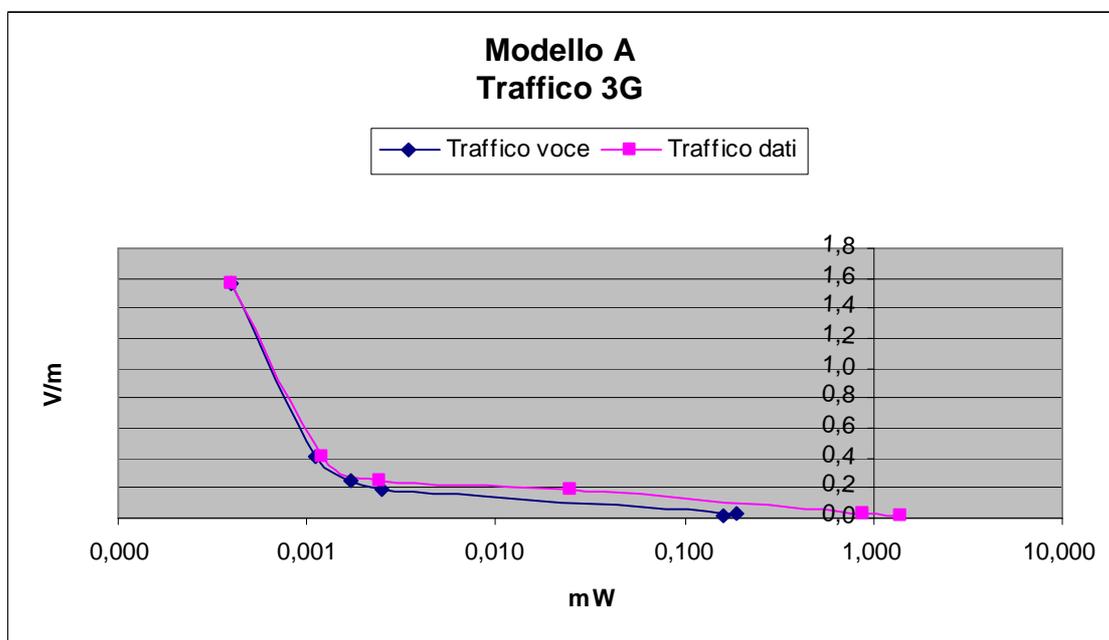


Figura 18 Potenza media emessa dal telefono cellulare Samsung GT-B5330, nel corso di una chiamata vocale 3G e di traffico dati 3G in corrispondenza di segnali con livelli variabili da 0.013 V/m a circa 1.5 V/m.

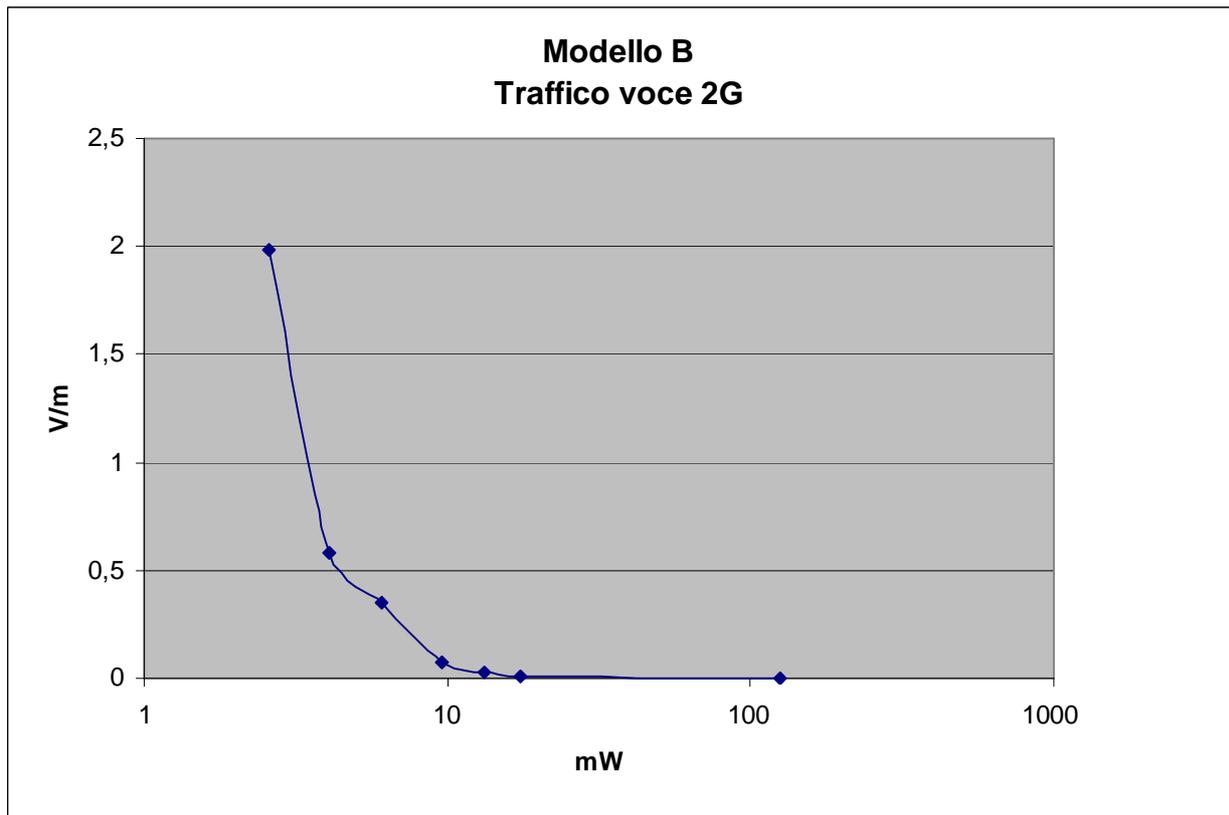


Figura 15 Potenza media emessa dal telefono cellulare Samsung GT-S6310N, nel corso di una chiamata vocale 2G in corrispondenza di segnali con livelli variabili da 0.001 V/m a circa 2 V/m.

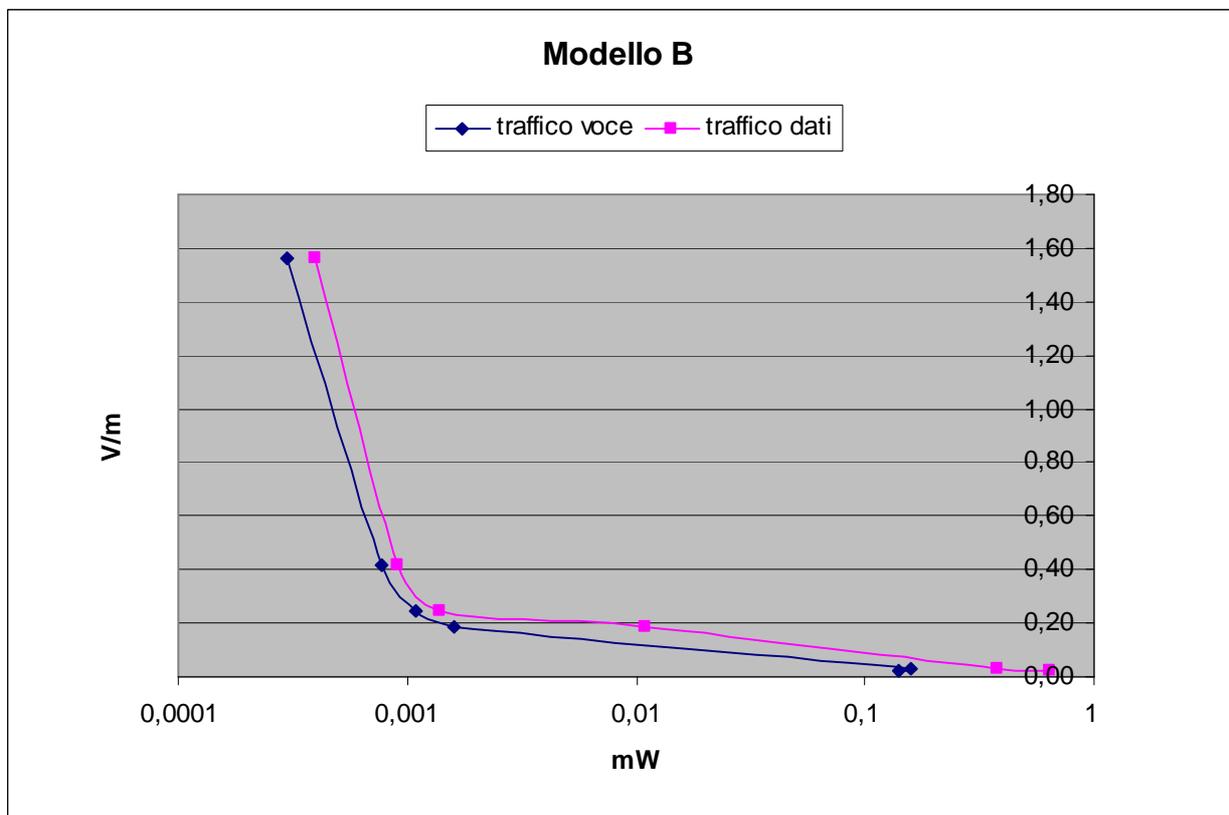


Figura 16 Potenza media emessa dal telefono cellulare Samsung GT-S6310N, nel corso di una chiamata vocale 3G e di traffico dati 3G in corrispondenza di segnali con livelli variabili da 0.013 V/m a circa 1.5 V/m.

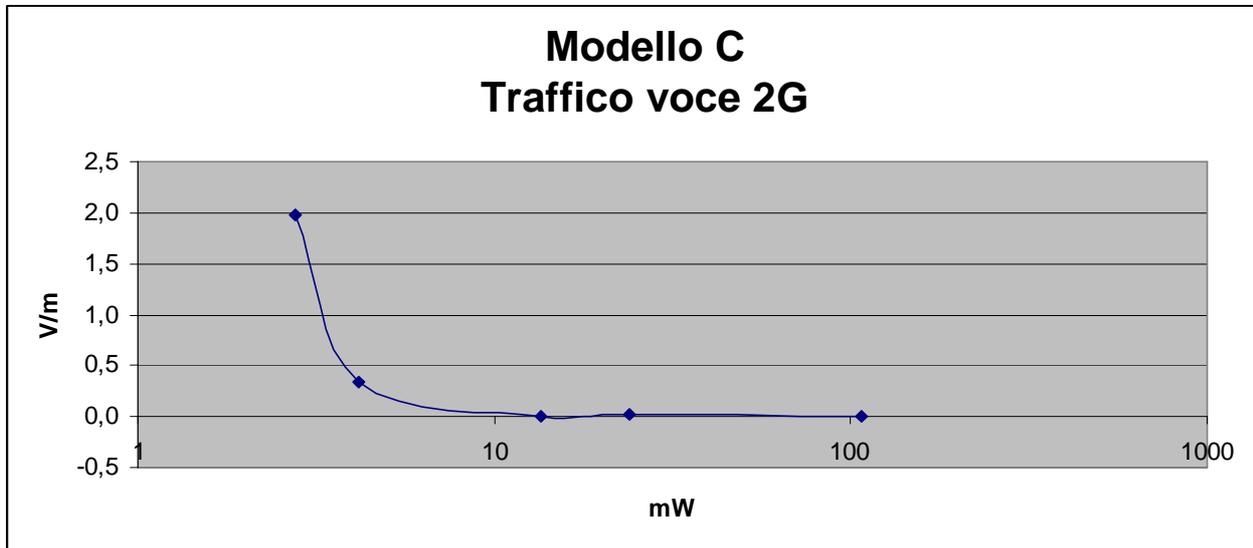


Figura 19 Potenza media emessa dal telefono cellulare Sony XPERIA nel corso di una chiamata vocale 2G in corrispondenza di segnali con livelli variabili da 0.001 V/m a circa 2 V/m.

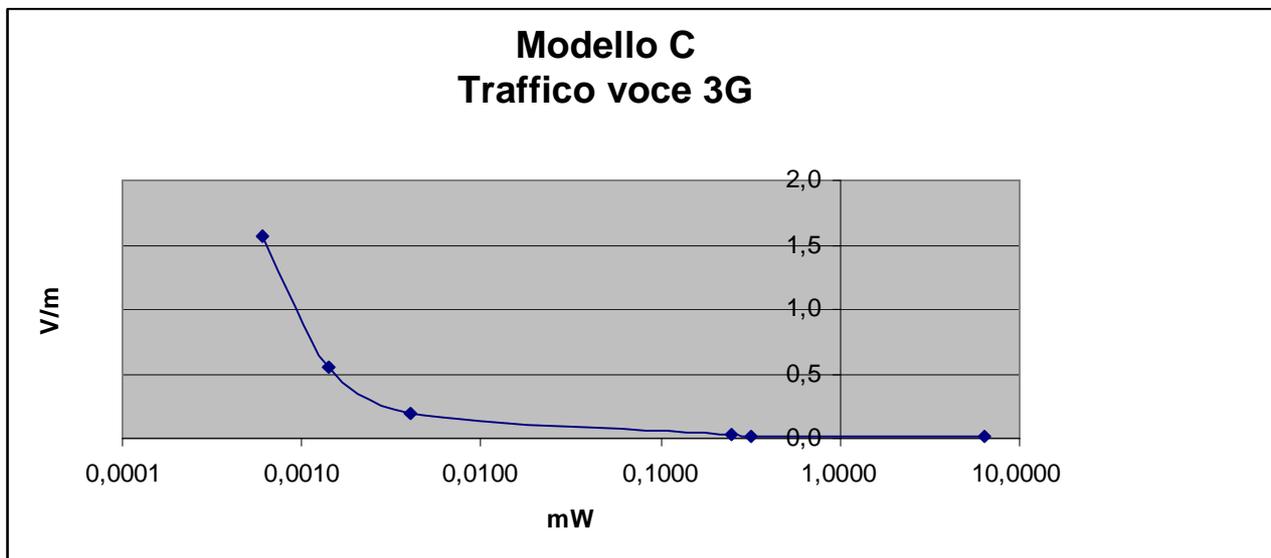


Figura 20 Potenza media emessa dal telefono cellulare Sony XPERIA, nel corso di una chiamata vocale 3G in corrispondenza di segnali con livelli variabili da 0.013 V/m a circa 1.5 V/m.

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 un'emissione dal telefonino maggiore di 60 volte a fronte di una 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 μ W (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 dovuta 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.

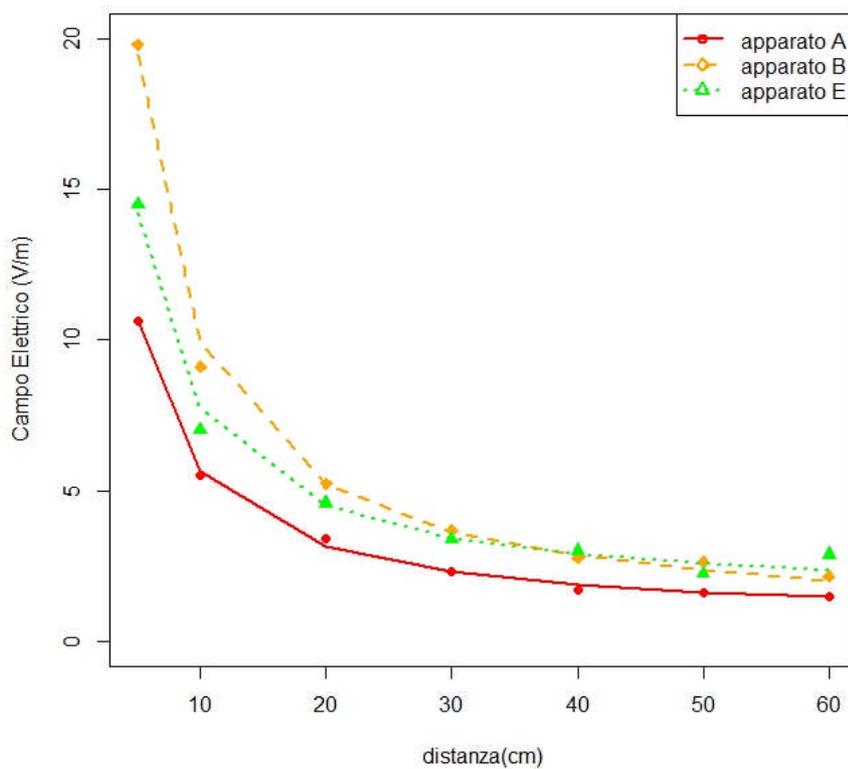
Le considerazioni sopra riportate dipendono in modo significativo dall'ipotesi di tempo medio giornaliero di utilizzo del telefonino. Passare da un tempo medio ipotizzato di 10 minuti al giorno ad un tempo maggiore, porterà ad incrementare il contributo dei telefonini all'esposizione globale in modo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

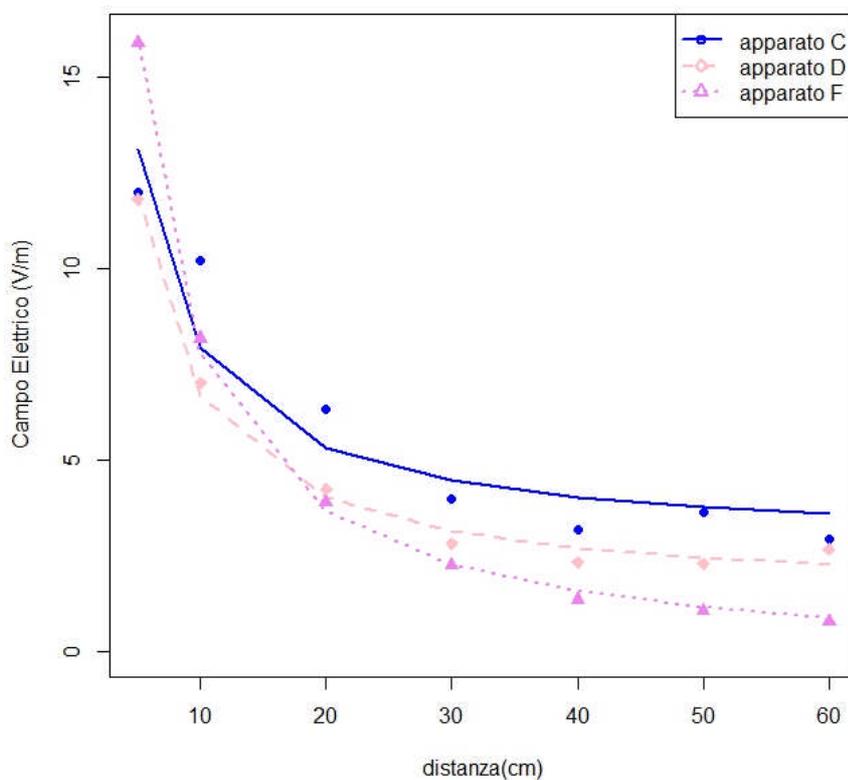


Figura 21 Livelli di campo elettrico emesso da sei modelli di telefono cellulare a diverse distanze dall'apparecchio in modalità di funzionamento: traffico voce su rete GSM (2G)

Traffico voce 3G

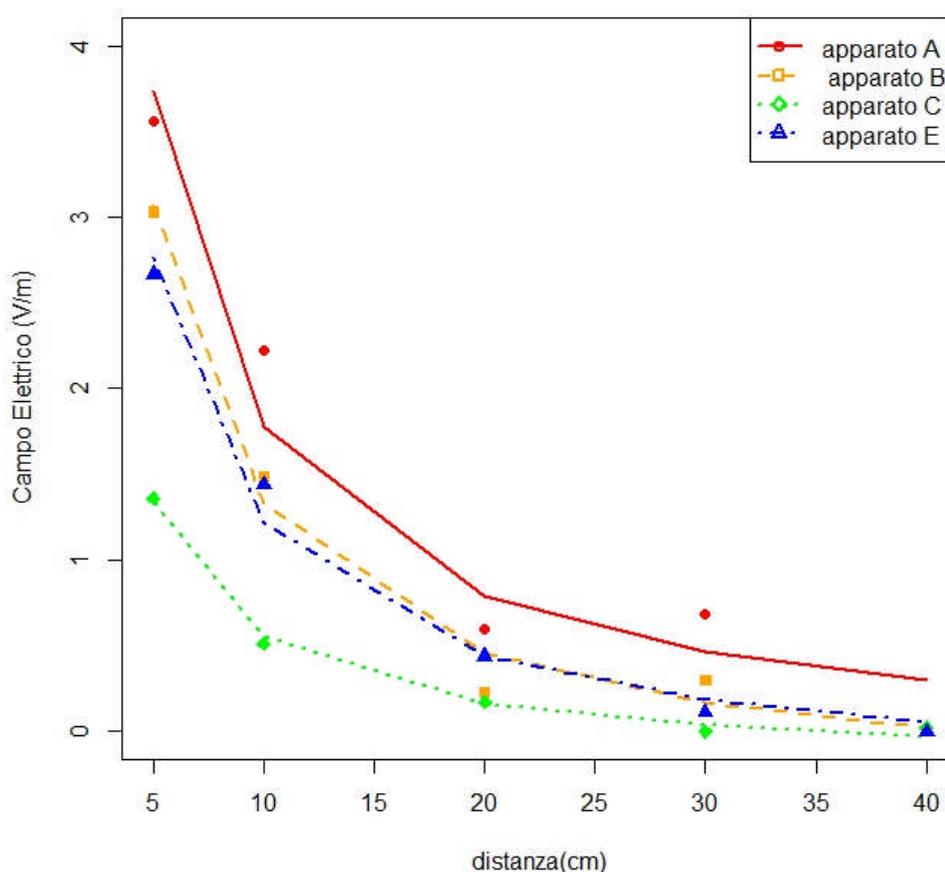


Figura 22 Livelli di campo elettrico emesso da quattro modelli di telefono cellulare a diverse distanze dall'apparecchio in modalità di funzionamento: traffico voce su rete UMTS (3G)

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.

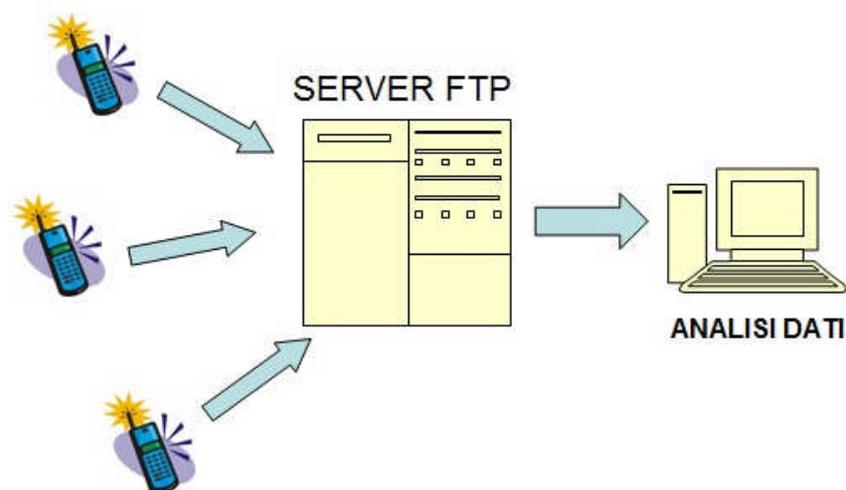


Figura 23 Rappresentazione schematica del flusso di dati per analisi cumulative sull'esposizione di un campione di utilizzatori di telefonini

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 una 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

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 una 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 μ W (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.

10. 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 nonché 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.

11. 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 tumorigenesis 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.

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, 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

