

5. Gli effetti biologici delle onde elettromagnetiche

Le onde elettromagnetiche sono parte integrante dell'ambiente in cui viviamo e lavoriamo, e la loro origine è in parte artificiale (per esempio le onde radio, radar e nelle telecomunicazioni), e in parte naturale (la luce visibile, i raggi X o i raggi gamma).

Ciascuno di noi, quindi, è avvolto costantemente in campi elettromagnetici, un fenomeno per molti aspetti inevitabile e dal punto di vista fisico assolutamente unitario, nel senso che tutti i campi e i loro effetti si basano sui medesimi principi. Il parametro determinante è la frequenza. La frequenza indica il numero di oscillazioni dell'onda elettromagnetica al secondo. L'unità di misura è l'Hz. 1Hz indica 1 oscillazione al secondo, 1 kilohertz (kHz) 1000 oscillazioni al secondo, 1 megahertz (MHz) 1.000.000 oscillazioni al secondo, 1 gigahertz (GHz) 1.000.000.000 oscillazioni al secondo.

Le radiazioni elettromagnetiche possono essere raffigurate e classificate a seconda della loro energia (frequenza) nello spettro delle radiazioni elettromagnetiche. Vedi la figura 4.

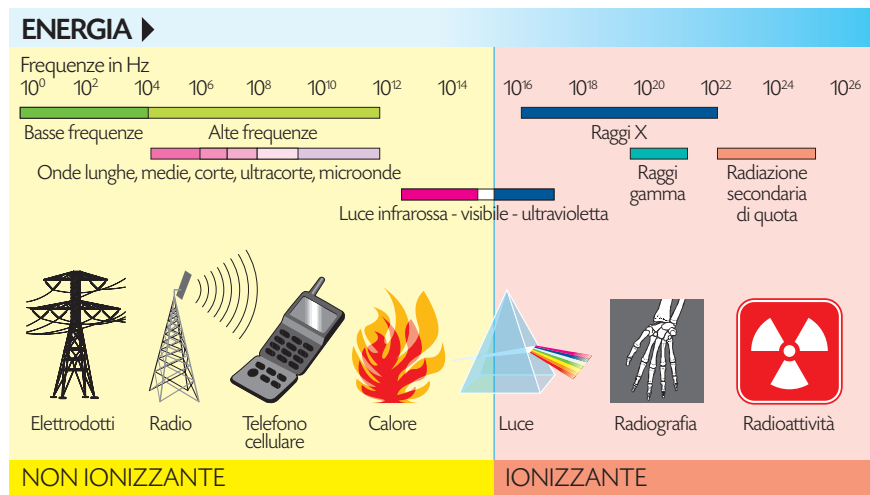


Fig. 4) Lo spettro delle radiazioni elettromagnetiche. La figura mostra le diverse classi di onde elettromagnetiche ordinate per la loro energia (frequenza). Di particolare rilevanza per la nostra salute è la suddivisione in radiazioni non ionizzanti e ionizzanti.



5.1 Le radiazioni ionizzanti e non ionizzanti

L'effetto biologico delle onde elettromagnetiche dipende essenzialmente dalla loro intensità e dalla loro frequenza. Di conseguenza lo spettro elettromagnetico può essere suddiviso in due tipologie principali: le radiazioni ionizzanti (per esempio i raggi X e gamma) e quelle non ionizzanti, come le onde radio e le microonde (vedi la figura 3). La linea di demarcazione tra i due tipi di radiazione si colloca all'interno delle frequenze dell'ultravioletto, sicché le radiazioni infrarosse e parte dell'ultravioletto rientrano nelle radiazioni non ionizzanti, mentre la componente superiore della radiazione ultravioletta fa già parte di quelle ionizzanti. Fra i due tipi di radiazione c'è una differenza fondamentale.

Le radiazioni si differenziano fra loro per la diversa capacità che hanno di interagire con gli atomi e le molecole che compongono la materia. La forza delle radiazioni potrebbe essere paragonata all'impatto di un meteorite su un pianeta. In un caso (radiazioni ionizzanti) a causa dell'impatto con il meteorite dal pianeta si staccerebbero rocce e terra, mentre nell'altro (radiazioni non ionizzanti) esso provocherebbe soltanto un terremoto.

- **Le radiazioni ionizzanti (IR – Ionizing Radiation):** sulla base delle loro caratteristiche di ionizzare (staccare dalla loro struttura singoli elettroni), possono rompere dei legami chimici di molecole del nostro corpo o creare in esso sostanze particolarmente reattive, che a loro volta possono causare danni rilevanti al sistema biologico, ed è infatti risaputo che anche piccole dosi di raggi ultravioletti o radiazioni ionizzanti (radioattività) possono determinare patologie anche molto gravi come i tumori della pelle o la leucemia.
- **Le radiazioni non ionizzanti (NIR – Non Ionizing Radiation):** le radiazioni non ionizzanti, invece, anche in presenza d'intensità di campo assai elevate non sono in grado di ionizzare (staccare dalla loro struttura singoli elettroni) le molecole di cui è costituito il nostro corpo. Il principale effetto che riescono a produrre sulle molecole è quello di farle oscillare producendo attrito e di conseguenza calore (come accade ad esempio in un forno a microonde): il riscaldamento è proprio l'effetto principale delle radiazioni non ionizzanti.

Anche nell'ambito delle radiazioni non ionizzanti l'effetto biologico dipende molto dalla loro frequenza, sicché anche per questo tipo di onde si è soliti adottare un'ulteriore differenziazione in:

- **Frequenza estremamente bassa (ELF):** i campi (elettrici e magnetici) a frequenza estre-



mamente bassa, si formano prevalentemente in corrispondenza di apparecchiature o cavi elettrici in ambienti domestici o lavorativi, oppure a ridosso delle linee ad alta tensione o dei trasformatori. Per le ELF il campo elettrico ed il campo magnetico possono essere considerati separatamente. Il fattore determinante è però il campo magnetico, che a differenza del campo elettrico è assai più difficile da schermare. L'effetto biologico principale dei campi a bassa frequenza è di produrre all'interno del nostro organismo (per la cosiddetta induzione) delle correnti elettriche che si possono sovrapporre a quelle naturali, dando vita, soprattutto in presenza di elevate intensità di campo, a sovraccitazioni nervose e muscolari (azione irritativa sul sistema nervoso centrale). Si parla anche di una possibile correlazione tra i campi a bassa frequenza ed alcuni casi di leucemia infantile insorti in bambini residenti in prossimità di linee ad alta tensione.

- **Radiofrequenze e microonde:** i campi a radiofrequenza e microonde (RF), vengono utilizzati soprattutto nelle telecomunicazioni, per esempio nei trasmettitori, nella telefonia mobile o anche a livello domestico nei forni a microonde. Per l'alta frequenza il campo elettrico e magnetico sono un fenomeno unico, interdipendente, denominato campo elettromagnetico. Esso è relativamente facile da schermare (per esempio coi muri degli edifici, i tetti di lamiera o le tappezzerie a conduzione elettrica). Alle alte frequenze, soprattutto in presenza di elevate intensità di campo, predominano gli effetti cosiddetti termici, ossia il riscaldamento dei tessuti corporei dovuto all'assorbimento delle radiazioni.

Dato che l'effetto biologico delle radiazioni non ionizzanti dipende molto dalla loro frequenza anche i limiti di legge variano in funzione della frequenza della radiazione (vedi di seguito valori limite).

5.2 Quali effetti hanno le radiazioni non ionizzanti ad alta frequenza sulla salute umana?

Riguardo agli effetti sanitari dei campi elettromagnetici in generale si distingue tra effetti termici e atermici.

5.2.1 Gli effetti termici (effetti acuti)

Gli effetti riconosciuti dei campi ad alta frequenza sono connessi all'assorbimento di ener-



gia ed al conseguente aumento della temperatura nel tessuto irradiato. Effetti termici sono normalmente causati da esposizioni brevi ma intense. Per misurare l'energia radiante assorbita dal corpo umano nell'unità di tempo si utilizza il cosiddetto SAR (acronimo di specific absorption rate) o anche "tasso d'assorbimento specifico" (TAS) espresso in watt per chilogrammo di massa corporea (W/kg). Il valore di base del SAR ha una corrispondenza diretta con gli effetti biologici dell'esposizione elettromagnetica:

- Alcune ricerche condotte su cavie animali hanno dimostrato che l'esposizione può causare effetti di vario genere (per esempio disturbi metabolici, nervosi e comportamentali) a partire da un aumento della temperatura in tutto il corpo di circa 1°C , che corrisponderebbe ad un valore di SAR mediato su tutto il corpo di circa 2 W/kg. Oltre i 4 W/kg si cominciano a registrare dei danni veri e propri, sicché questo valore è abitualmente considerato la soglia di rilevanza per la salute umana nell'assorbimento energetico. Quando poi l'assorbimento supera i 10 W/kg i danni all'organismo diventano irreversibili.
- Utilizzando un cellulare, l'assorbimento energetico nel capo è inferiore a 2 W/kg. Occorre però ricordare che l'attività fisica, la presenza di temperature esterne elevate, l'alta umidità dell'aria e lo scarso ricambio d'aria possono aumentare ulteriormente gli effetti termici dovuti alle alte frequenze. Inoltre, la soglia di tolleranza termica solitamente riscontrabile nelle persone sane può essere notevolmente ridotta negli anziani, nei malati (soprattutto se in stato febbrile) o in chi assume alcuni tipi di farmaci. Una particolare attenzione va rivolta ai bambini.
- In presenza di tassi d'assorbimento elevati sono particolarmente a rischio gli organi poco vascolarizzati, quelli cioè con una scarsa circolazione sanguigna e quindi un decongestionamento termico più lento, come gli occhi o testicoli. Essi si riscaldano più velocemente e sono quindi più esposti al rischio rispetto ad altre zone del corpo.
- In alcuni studi è stato ipotizzato un effetto negativo delle radiofrequenze del cellulare sul cervello (riscaldamento), in particolare per i bambini (International Expert Group on Mobile Phones – IEGMP – Stewart report). Tuttavia svariate ricerche su questo problema non hanno potuto avvalorare l'ipotesi di un possibile rischio per la salute (vedi bibliografia). Saranno necessarie maggiori ricerche in questo campo.



5.2.2. Gli effetti atermici (effetti a lungo termine)

Oltre agli effetti termici prima descritti, le radiazioni elettromagnetiche determinano nell'uomo degli effetti biologici associati a valori di SAR molto piú bassi ($< 0,01$ W/kg), e che non si spiegano con il solo riscaldamento dei tessuti. Ecco perché si suole definirli "effetti atermici". Si tratta normalmente di esposizioni di lunga durata però di bassa intensità.

La ricerca scientifica non ha ancora fatto piena luce sulle conseguenze reali che tali effetti atermici possono avere per la salute umana. In alcuni casi si dispone soltanto di dati sperimentali (ottenuti cioè con prove in vitro o su cavie animali). In altri, i risultati ottenuti appaiono contraddittori.

Dai vari studi eseguiti emergono i seguenti effetti:

- alterazioni dell'attività enzimatica della ornitindecarbossilasi (un enzima che, quando è attivo, è associato all'insorgenza di tumori)
- modifica del tenore di calcio nelle cellule (trasporto degli ioni dentro e fuori dalle cellule)
- alterazioni delle proteine della membrana cellulare e modifica del trasporto di ioni attraverso la membrana stessa (un fenomeno essenziale per le cellule cerebrali).

Tutti questi effetti possono tradursi in alterazioni piú o meno manifeste della funzione cellulare, con conseguenze sulla salute umana ancora tutte da approfondire e verificare.

Attualmente, analogamente ad altri agenti i cui effetti biologici sono in parte ancora ignoti, le ricerche stanno cercando di chiarire alcuni aspetti considerati particolarmente critici:

- l'eventuale rapporto tra i campi ad alta frequenza o quelli a bassissima frequenza e alcuni tipi di tumori, i disturbi della funzione riproduttiva, alcune malformazioni congenite, l'epilessia, le cefalee ed altri disturbi neurofisiologici (come amnesie o depressioni), disturbi del sistema immunitario, degenerazione del tessuto oculare, l'aumento del rischio dell'insorgenza di effetti negativi in alcuni soggetti come i bambini, le gestanti o gli anziani.

Fino ad oggi non si possono ancora valutare gli effetti sulla salute prodotti dagli effetti atermici delle radiazioni ad alta frequenza o a bassissima frequenza, né si possono stabilire dei



limiti di legge "assolutamente sicuri". Per il momento, comunque, sono da ritenere validi i parametri di sicurezza stabiliti dalla Commissione internazionale per la protezione dalle radiazioni non ionizzanti (ICNIRP), che però sono principalmente riferiti agli effetti termici documentati.

A livello internazionale si raccomanda un monitoraggio scientifico costante e qualificato dei possibili rischi per la salute prodotti dalla telefonia mobile, accompagnato da una valutazione continua e sistematica dei risultati (vedi IEGMP 2000). Anche per questo, è sempre consigliabile adottare tutte le misure cautelative possibili. Attualmente l'attenzione della ricerca è principalmente rivolta al cellulare stesso, in quanto l'esposizione alla testa di chi utilizza il cellulare è nettamente maggiore di quella dovuta alle stazioni radio base.



6. Valori limite per l'esposizione ai campi elettromagnetici

L'ICNIRP - la Commissione internazionale per la protezione dalle radiazioni non ionizzanti - avendo per compito quello di documentare e valutare in maniera scientifica i rischi sanitari connessi all'utilizzo delle radiazioni non ionizzanti, ha affrontato anche il problema delle linee guida per la limitazione dell'esposizione alle radiofrequenze e alle microonde. In base ai risultati certi che la ricerca a livello mondiale riesce a produrre, la Commissione da alcune raccomandazioni riguardo ai limiti d'esposizione. Questi limiti sono suddivisi in limiti di base e livelli di riferimento.

6.1 Limiti di base per la prevenzione per la popolazione

I limiti di base per l'esposizione ai campi elettromagnetici sono individuati in base a dei valori soglia certi, perciò essi sono principalmente riferiti agli effetti termici (effetti acuti). Per soglia si intende una grandezza minima, sotto la quale l'effetto biologico in oggetto non è ancora rilevabile.

Il limite di base per l'esposizione "total body" (su tutto il corpo) è pari a 0,08 W/kg. Perciò partendo, come riportato in precedenza, da 4 W/kg come soglia minima per i danni alla salute umana, si è stabilito un valore di sicurezza di 0,08 W/kg, cioè un valore 50 volte inferiore alla soglia! Per l'esposizione professionale (2000 ore lavorative all'anno) la soglia stabilita è invece di 0,4 W/kg. Fonte: ICNIRP 1998

6.2. Livelli di riferimento ICNIRP e situazione in Italia

Rilevare direttamente i tassi d'assorbimento specifici nel corpo umano è ovviamente impraticabile (si dovrebbe misurare l'assorbimento all'interno del corpo) ma, dovendo comunque disporre di valori di riferimento facilmente accessibili e che permettano di caratterizzare una determinata area, si è deciso, partendo dai limiti di base sopra descritti, di dedurre da questi - tenendo conto delle condizioni di esposizione più sfavorevoli - i cosiddetti "livelli di riferimento indiretti" per i campi elettrici e magnetici, facilmente misurabili all'esterno del



corpo. Più di venti paesi del mondo si adeguano, nelle rispettive norme in materia, a questi livelli di riferimento raccomandati dall'ICNIRP nel 1998. Facciamo notare che i livelli di riferimento variano in funzione della frequenza. Per esempio, assumendo un valore massimo di assorbimento di 0,08 W/kg per l'esposizione umana, si raccomanda per l'area in prossimità di un'antenna trasmittente (con una frequenza attorno a 900 MHz, tipica della telefonia mobile) un livello di riferimento di 41 V/m.

Il fatto che riguardo agli effetti atermici nel mondo scientifico non vi è certezza, in Italia ha destato particolare attenzione ed ha avuto anche un riscontro legislativo diretto. Rispetto a molti altri paesi, infatti, lo Stato italiano ha stabilito per gli ambienti abitativi dei valori di cautela molto restrittivi. Se infatti un limite sanitario può essere stabilito soltanto in base a conoscenze accertate sugli effetti delle radiazioni per la salute umana, un valore di attenzione o obiettivo di qualità tiene conto anche degli effetti a lungo termine, possibili ma non ancora dimostrati, e si propone di garantire, nel dubbio, un livello di sicurezza ancora più elevato. Ecco perché, nel territorio italiano, in corrispondenza di edifici abitati a permanenza non inferiore a 4 ore, per le frequenze comprese fra 0,1 MHz e 300 GHz si è stabilito un unico limite di cautela per il campo elettrico pari a soli 6 V/m (decreto legislativo 381/1998), adottando così un criterio decisamente più restrittivo rispetto a quello raccomandato dall'ICNIRP (per esempio 41 V/m per la frequenza di 900 MHz).

La tabella 2) riporta un confronto a livello internazionale dei livelli di riferimento per la telefonia mobile per le frequenze di 900 MHz e 1800 MHz, per i quali alcuni stati, fra cui p. es. l'Italia, hanno introdotto dei valori di cautela più restrittivi di quelli raccomandati dall'ICNIRP. Ricordiamo infine che in Italia in base alla nuova legge quadro (Legge 22/02/2001 n. 36, art. 4) la definizione dei valori limite rientra nella competenza esclusiva dello stato e che a livello nazionale i relativi limiti devono essere gli stessi.

Tabella 2) La tabella riporta un confronto a livello internazionale dei livelli di riferimento per la telefonia



Livelli di riferimento indiretti per il campo elettrico in V/m per la telefonia mobile per le frequenze da 900 MHz e 1800 MHz

Paese	900 MHz	1800 MHz	Osservazioni
ICNIRP	41	58	
Australia	41	58	
Austria	48	61	
Bulgaria	6	6	
Canada	47	61	
Cina	12*	12*	* per breve tempo
Raccomandazione UE (su base ICNIRP)	41	58	
Francia	41	58	
Germania	41	58	
Ungheria	6	6	
Italia	20 (6*)	20 (6*)	* ambienti abitati
Giappone	47	61	
N. Zelanda	41	58	
Polonia	6	6	
Russia	20*	dato non riportato	* telefonia mobile
Sud Africa	41	58	
Svezia	41	58	
Svizzera	41 (4*)	59 (6*)	* per impianto
Turchia	41	58	

mobile per le frequenze di 900 MHz e 1800 MHz, per i quali alcuni stati, fra cui p. es. l'Italia, hanno introdotto dei valori di cautela più restrittivi di quelli raccomandati dall'ICNIRP.



7. Come è la situazione in Alto Adige?

A decorrere dal 2 gennaio 1999, in base al decreto legislativo 381/1998 tutti i progetti di installazione di nuove stazioni fisse di telecomunicazioni e radiotelevisive o di modifica di quelle esistenti necessitano obbligatoriamente del nullaosta (valutazione tecnico ambientale) dell'autorità competente, che nella fattispecie è il laboratorio di chimica fisica presso l'agenzia provinciale per la protezione dell'ambiente. Uno degli aspetti più critici è la scelta del sito (l'ubicazione delle antenne). L'ubicazione più idonea infatti va individuata d'intesa con l'ufficio di coordinamento territoriale, l'ufficio tutela del paesaggio ed i comuni, pur tenendo conto, come prescrive la legge, delle esigenze dei gestori riguardo alla copertura.

Ove sia possibile (ad es. nelle zone rurali) ed in accordo con il gestore, il laboratorio si adopera affinché gli impianti di trasmissione vengano installati ad una certa distanza dalle case abitate o dalle zone individuate per l'edilizia. Nei centri urbani, ovviamente, la densità edilizia non consentirebbe il rispetto di distanze elevate, senza contare che un vincolo di questo tipo sarebbe in contrasto col decreto 381/1998 vigente, in base al quale le autorità competenti non possono impedire o limitare le possibilità di copertura del territorio.

Il numero delle stazioni radio è proporzionale al numero degli utenti della telefonia mobile che, come è noto, è particolarmente elevato proprio nelle aree urbanizzate. In questi impianti, quindi, ciò che conta maggiormente è evitare che il fascio di radiazione del segnale sia rivolto direttamente sugli edifici abitati adiacenti, e dove non sono possibili interventi diversi, il gestore deve quantomeno limitare la potenza di trasmissione, oppure aumentare l'altezza dell'antenna in modo che il fascio di radiazione passi sopra gli edifici più vicini.

Tutto considerato, si può ritenere che con l'installazione delle nuove stazioni (successive all'entrata in vigore della legge) per la popolazione altoatesina si determinino livelli d'esposizione nettamente inferiori al valore massimo stabilito dal legislatore (6 V/m): nelle aree rurali infatti l'intensità media dei campi elettrici rilevati è inferiore a 1 V/m, con punte di circa 2 V/m, mentre anche nelle zone ad alta densità abitativa i valori di regola non superano i 3 V/m per le case più esposte e nelle condizioni di massimo carico.

Anche gli impianti meno recenti, comunque, sono sottoposti a controlli, con risultati che finora sono stati soddisfacenti. Ovviamente, ci sono ancora dei casi in cui la scelta dell'ubi-



cazione non è ottimale, ma fin quando il valore massimo di legge di 6 V/m non viene superato, il gestore non può essere obbligato a spostare l'antenna. Il più delle volte, comunque, si riesce a trovare la possibilità, magari contestualmente a lavori di ottimizzazione o di adeguamento tecnico dell'impianto, di ottenere in comune accordo ed interesse il trasferimento dell'antenna in un luogo più idoneo.

Alla luce di queste considerazioni, è quindi importante che i comuni individuino nei propri piani urbanistici delle aree in cui installare questi impianti, ovvero delimitino in quelle aree in cui evitare l'installazione (per esempio in corrispondenza di edifici di particolare valore storico, aree ad alta densità abitativa o cosiddette zone sensibili come scuole, asili, ecc.), informandone tempestivamente i residenti e le categorie interessate. Per il prossimo futuro si chiederà al gestore di presentare una pianificazione annuale degli impianti previsti. Inoltre si sta lavorando ad un nuovo piano per la definizione dei siti per gli impianti di trasmissione e ad una relativa legge provinciale.



8. Il catasto delle sorgenti fisse dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici

Come previsto a livello nazionale dalla nuova legge quadro (Legge 22/02/2001 Nr. 36, Art. 4 c ed Art. 8,1d) il Consiglio della Provincia Autonoma di Bolzano, con mozione n. 93/99 ha deliberato l'istituzione di un catasto delle sorgenti d'inquinamento elettromagnetico in Alto Adige. Dell'esecuzione è stata incaricata l'Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente - Laboratorio di chimica fisica in collaborazione con l'Ufficio di informatica geografica della provincia. Lo scopo è di realizzare una banca dati georeferenziata di tutte le sorgenti fisse di emissione dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, come impianti di antenne radio, TV, SRB, ecc. e le linee di distribuzione dell'energia elettrica. Le informazioni contenute nel catasto saranno di fondamentale importanza per future pianificazioni a livello territoriale, autorizzazioni, calcoli modellistici, previsionali ed altro.

La tabella 3) riassume il numero di siti di antenne in Alto Adige (situazione al 31/12/2001) mentre la fig. 5) mostra la distribuzione geografica delle stazioni radio base per la telefonia mobile in Alto Adige.

Tabella 3) Impianti di antenne in Alto Adige (situazione al 31.12.2001)

Tipologia	numero (*)
Stazioni radio base per la telefonia mobile	411
Ripetitori TV	395
Ripetitori radio	250
Radioamatori	738
Protezione Civile	29
Totale	1823

(*) Corrisponde al numero di impianti di antenne. Un determinato sito (luogo dell'impianto può ospitare diversi impianti).



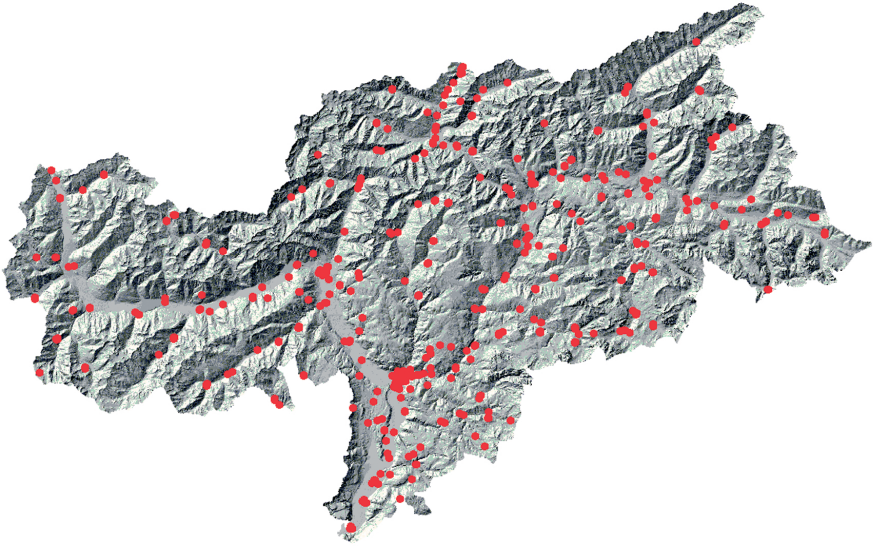


Fig. 5) mostra la distribuzione geografica delle stazioni radio base per la telefonia mobile in Alto Adige

9. Come richiedere una misurazione ed a chi rivolgersi per ulteriori informazioni?

In provincia di Bolzano, i rilevamenti ufficiali sono eseguiti dal laboratorio di chimica fisica presso l'Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente. Per richiedere una misurazione è sufficiente presentare una semplice domanda scritta, indicando in ogni caso il numero di telefono per eventuali chiarimenti e per concordare data ed ora del sopralluogo. Consigliamo comunque di telefonare prima al laboratorio per accertarsi della reale necessità di eseguire il rilevamento. Il costo di una normale verifica dei campi elettromagnetici è di circa 77 Euro+IVA.

L'indirizzo è: Agenzia provinciale per la protezione dell'ambiente - laboratorio di chimica fisica (29.8), Via Amba Alagi 5, 39100 Bolzano, tel. 0471/291324, fax. 0471/283264.

Per informazioni mediche o sulla salute, consigliamo invece di rivolgersi al proprio medico di fiducia. Altre informazioni sull'argomento presso il sito Web dell'Organizzazione Mondiale della Sanità: www.who.int/peh-emf/

Bibliografia:

Kuster Niels – Differences in Energy Absorption between the Heads of Adults and Children – COST281 – Mobile Communication an Children - Foundation for Research on Information Technologies in Society, Zurich –CH

RSC.EPR 99-1. A Review of the Potential Health Risks of Radiofrequency Fields from Wireless Telecommunication Devices - 225 Metcalfe Ä 308 Ottawa, Ontario K2P 1P9

IEGMP (Independent Expert Group on mobile phones) 2000 . Mobile Phones and Health NRPB - Chilton Did-cot Oxon OX11 0RQ

Van Rogen Eric – Mobile phones and children – Health Council of the Netherlands – www.gr.nl

WHO (World Health Organisation) - Radiofrequency Field Exposure and Cancer: What Do the Laboratory Studies Suggest?

