

*Corso di Formazione Tecnica Superiore “Operatore Tecnico Scientifico*

*sui Sistemi Informativi Territoriali (S.I.T.-G.I.S.) per l’Ambiente”*

*Modulo 2-3 “I rischi antropici e le applicazioni GIS relative”*

## **IL RISCHIO ELETTROMAGNETICO**

*Liceo Scientifico “F. Severi”,*

*Castellammare di Stabia, 26 nov-2 dic 2002*

**Dott. Roberto Monaco**

**Istituto di Cibernetica del C.N.R. “E.R. Caianiello”, Pozzuoli (NA)**

**e Dip.to di Fisica, Università degli Studi di Salerno, Baronissi (SA)**

<http://fisica.cib.na.cnr.it/~monaco/monaco.html>

**II parte**

**“Il rischio elettromagnetico a radiofrequenze”**

## Classificazione delle bande di radiofrequenza

Denominazione	Sigla	Frequenza	Lunghezza d'onda
ghe	LF	30– 300 kHz	10 – 1 km
Frequenze medie, onde medie	MF	300kHz–3MHz	1 km – 100 m
Alte frequenze, onde corte	HF	3 – 30 MHz	100 – 10 m
Frequenze molto alte, onde metriche	VHF	30 – 300 MHz	10 –1 m
Onde decimetriche	UHF	300MHz–3GHz	1 m – 10 cm
Onde centimetriche	SHF	3 - 30 GHz	10 – 1 cm
Onde millimetriche	EHF	30 – 300 GHz	1 cm – 1 mm

## Attribuzioni delle principali bande di radiofrequenza

BANDA ( MHz)	ATTRIBUZIONI
52.5-68	Banda I (VHF)
81-88	Banda II (VHF)
88.0-108.0	Emittenti radio commerciali in FM
174-230	Banda III (VHF)
606-861	Banda IV (UHF)
850-950	Telefonia mobile
1800-1900	Telefonia mobile (dual band)
2100	UMTS

## Le antenne

Un'antenna è un dispositivo che ha la funzione di trasduttore per operare la trasformazione di un segnale elettrico in energia e.m. irradiata (trasmittente) oppure effettuare la conversione inversa (ricevente).

Se  $P_i$  è la potenza irradiata e se essa si distribuisce uniformemente in ogni direzione (**antenna isotropa**) per la densità di potenza  $S_i$  alla distanza  $r$  si può scrivere:

$$S_i = P_i / (4\pi r^2)$$

L'antenna isotropa, pur essendo molto utile concettualmente, è un'astrazione che nella realtà non esiste, infatti, qualsiasi antenna reale distribuisce la potenza in maniera differente nelle varie direzioni.

Molte antenne sono realizzate in modo che l'irraggiamento avvenga per la sua quasi totalità in un angolo solido molto ristretto (**fascio dell'antenna**), esse sono cioè **direttive**.

Un parametro utile per caratterizzare la direttività di un'antenna è il suo **guadagno G**, definito come:

$$G = S_m / S_i$$

ove:

- $S_m$  = densità di potenza irradiata dall'antenna ad una certa distanza  $r$  nella direzione di massimo irraggiamento.
- $S_i$  = densità di potenza prodotta dall'antenna isotropa alla stessa distanza.

L'unità di misura del guadagno così definito è il  $\text{dB}_i$ .<sup>1</sup>

Maggiore è il guadagno dell'antenna, maggiore è la sua direttività.

Il guadagno  $G$  è generalmente fornito dal costruttore dell'antenna utilizzata come elemento ricevente opportunamente collegato ad uno strumento di rilevazione.

---

<sup>1</sup> Sottolineiamo che :  $10 \log_{10}(P/P_i) = \text{Guadagno} [\text{dB}_i]$  ove  $P$  = potenza emessa nella direzione di massimo irraggiamento;  $P_i$  = potenza emessa dalla corrispondente antenna isotropa.

## I pattern di radiazione

Ogni singola antenna è caratterizzata da una serie di parametri. L'efficienza o il rendimento non è sempre costante in ogni direzione, ecco perché ogni antenna viene caratterizzata da un *diagramma di radiazione*, detto anche *caratteristica* o *diagramma di direttività* in cui è riportata, nelle diverse direzioni, la radiazione relativa che l'antenna emette. Il *diagramma di ricezione* rappresenta invece la risposta relativa dell'antenna alla radiazione e.m. incidente dalle diverse direzioni. Per il teorema di *reciprocità* di *Rayleigh- Carson*, il diagramma di radiazione e quello di ricezione di un'antenna coincidono, purchè la radiazione trasmessa e quella ricevuta siano polarizzate ugualmente. Un'altra caratteristica descrittiva che consente un agevole confronto tra la direttività di antenne diverse è la *larghezza del fascio*, indicata anche come *apertura del lobo principale*, tale parametro indica l'angolo entro il quale la potenza irradiata supera la metà di quella che si misura nella direzione di massimo irraggiamento. Si può definire la larghezza del fascio come l'angolo entro il quale la tensione misurata ai morsetti di un'antenna ricevente si mantiene al di sopra del 70.7% della tensione rilevata con la medesima antenna posizionata nella direzione di massima irradiazione.

## Il fattore d’antenna

Il *fattore d'antenna*, indicato spesso come K o AF, è un dato fornito dal costruttore dell'antenna stessa che indica come sia legato il valore di campo elettrico incidente sull'antenna alla tensione rilevabile ai morsetti dell'antenna. Esso varia al variare della frequenza e ne viene di solito fornita una tabulazione in funzione della frequenza. Possiamo scrivere che, in scala lineare:

$$\mathbf{K=E/V}$$

ove :        K=fattore d'antenna [1/m]

              E=intensità del campo elettrico incidente sull'antenna [V/m]

              V= tensione rilevabile ai morsetti dell'antenna [V]

Abbiamo poi *l'efficienza di radiazione* che esprime il fatto che non tutta la potenza fornita in ingresso all'antenna viene irradiata, è data dal rapporto tra la potenza totale irradiata e la potenza fornita in ingresso ai morsetti dell'antenna stessa.

## Tipi di antenne

Le antenne comunemente utilizzate per la trasmissione hanno le forme e le dimensioni più differenti, ma possono essere ricondotte a tre classi distinte:

- *antenne filiformi;*
- *antenne ad apertura o a superficie radiante ;*
- *antenne di sintesi.*

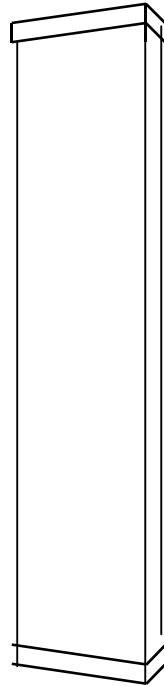
Le antenne filiformi sono, essenzialmente, costituite da spezzoni di conduttori lineari di diversa lunghezza. Sono: le spire, i dipoli, i dipoli a semionda, i dipoli ripiegati, le Yagi, i monopoli, le log-periodiche, le biconiche, le log-spirali-coniche. Sono quelle più diffuse avendo i più disparati campi di applicazione.

Le antenne ad apertura o a superficie radiante hanno una struttura a paraboloide, ma ad esse appartengono anche le horn per microonde. Le parabole sono spesso dotate di un guscio protettivo detto radome usato per offrire una protezione dell'antenna dalla neve, dal ghiaccio e dalla polvere.

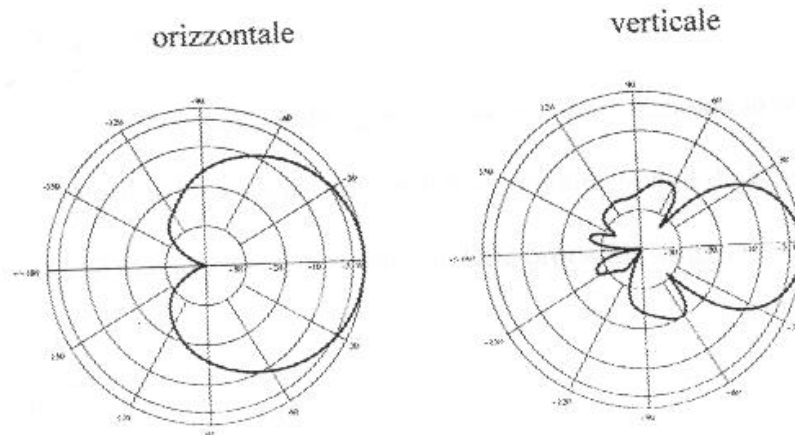
Le antenne di sintesi sono sistemi radianti costituiti da diverse antenne di varia tipologia utilizzate contemporaneamente per ottenere particolari caratteristiche della radiazione non realizzabili con un singolo radiatore elementare; si tratta di una schiera o array di antenne, questa tipologia è, sicuramente, la più diffusa per la molteplicità dei suoi usi ed è quella su cui si focalizza l'attenzione per effettuare un monitoraggio ambientale.

Un'altra tipologia di antenne importanti è quella utilizzata per la telefonia cellulare. Ne abbiamo prese in considerazione due che sono di seguito descritte:

1) la SPA 920/85/13/0/V (Huber- Suhner) la cui struttura è:



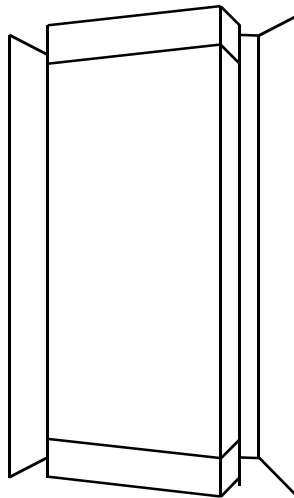
Con i seguenti diagrammi di radiazione :



le cui caratteristiche sono:

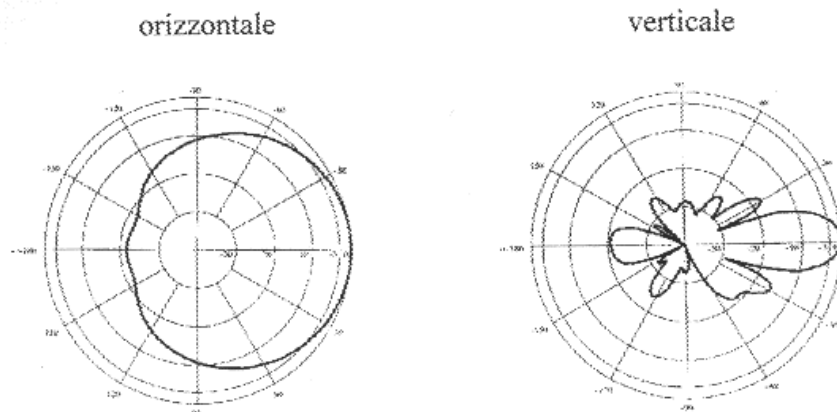
Range di frequenza	870-960 MHz
Impedenza	50 $\Omega$
Polarizzazione	lineare, verticale
Guadagno	12.5 dB <sub>i</sub>
Ampiezza di fascio a 3 dB orizzontale	85°
Ampiezza di fascio a 3 dB verticale	19°
Dimensioni	1020x160x53 mm
Temperatura di esercizio	da -40 °C a +80° C
Materiale di costruzione	alluminio anodizzato
Peso	2.9 kg

2) la SPA 1800/12/0/DS (Huber- Suhner) la cui struttura è:





I diagrammi di radiazione sono:



le cui proprietà sono:

Range di frequenza	1710-1880 MHz
Impedenza	50 $\Omega$
Guadagno	11.5 dB <sub>i</sub>
Ampiezza del fascio orizzontale a 3 dB	65°
Ampiezza del fascio verticale a 3 dB	36°
Polarizzazione	Lineare
Dimensioni	272x172x39 mm
Peso	1.4 kg
Materiale di costruzione	Alluminio
Range della temperatura di esercizio	da -40° C a + 80 °C

Non facciamo cenno ad altri apparati quali radar e radioaiuti che sono usati sia per scopi militari che per scopi civili, dato che, in genere, i luoghi dove vengono ubicati sono prevalentemente zone non aperte al pubblico (aree militari, piste aeroportuali).



## Le sorgenti artificiali di CEM a radiofrequenze

- Sorgenti nell'ambiente esterno  
(stazioni radio base, stazioni di radio e telediffusione, etc.);
- Sorgenti in ambiente domestico o assimilabile  
(telefoni cellulari e cordless, forno a microonde, etc.);
- Sorgenti in ambiente industriale  
(forni a induzione, saldatori a perdite dielettriche, etc.);
- Sorgenti in ambiente sanitario  
(diatermia, ipertermia, etc. );
- Sorgenti in ambiente militare  
(radar, etc.).

## Le sorgenti esterne

### Apparati per telecomunicazioni, radio, televisione

Tali apparati sono progettati per irradiare nello spazio onde e.m. che trasferiscono, tramite opportune codificazioni (modulazione d'ampiezza AM, di frequenza FM, ecc.), l'informazione ai vari sistemi riceventi.

Si possono suddividere in elementi che collegano due punti nello spazio (collegamenti direttivi: ponti radio, comunicazioni spaziali) e in sistemi che diffondono l'energia su vaste aree (collegamento da uno a molti: ripetitori radio, TV).

La zona coperta da impianti di questo tipo ai fini della ricezione è quella in cui un'onda e.m. arriva con un'intensità di campo elettrico di qualche mV/m, in genere, i livelli significativi per la salute umana sono limitati alle zone circostanti gli impianti (50-100 m).

Le potenze emesse possono essere anche di alcune decine di kW.

Nel caso di trasmettitori AM (onde medie) i campi significativi sono presenti nella zona d'induzione.

## Elevata concentrazione di sorgenti

Ragioni tecniche, logistiche ed economiche oltre al progressivo aumento dell'emittenza pubblica e privata hanno determinato la concentrazione di un gran numero di apparati trasmettenti in aree di dimensioni limitate. Ciò si realizza soprattutto sulla cima dei rilievi in prossimità di grandi centri urbani.

## La direttività delle sorgenti

La radiodiffusione ha, per sua natura, un servizio di *uno a molti* e viene quindi effettuata con sistemi radianti che presentano una direttività nulla o, comunque, scarsa sul piano orizzontale fornendo però una pronunciata direttività sul piano verticale in modo da concentrare sull'orizzonte radio (al quale corrisponde un angolo di elevazione di  $90^\circ$ ) la maggior parte dell'energia emessa.

Ciò consente di trasmettere più energia in direzione dell'utente più lontano diminuendo quella inviata verso l'utente più vicino: si può così fornire, la medesima potenza di segnale e.m.) sia al ricevitore più remoto al quale la maggior energia trasmessa perviene fortemente attenuata per effetto della lunga tratta radio, sia al ricevitore più prossimo al quale perviene una porzione marginale dell'energia emessa data la ridotta attenuazione del breve percorso radio.

Nelle **immediate vicinanze** della stazione (sorgente) l'entità della irradiazione viene mantenuta entro valori ridotti. L'irradiazione alla base del traliccio su cui i sistemi radianti sono installati si riduce ulteriormente se i sistemi vengono a trovarsi a quote via via più elevate. La riflessione da parte del terreno di queste onde impone la introduzione nelle immediate vicinanze di tali apparati di una zona non accessibile alla popolazione detta **fascia di rispetto** il cui diametro decresce al diminuire della potenza utilizzata.

## Ponti radio

I ponti radio vengono utilizzati per collegare due punti distanti in vista, senza ostacoli interposti. In genere funzionano a frequenze comprese tra 500 MHz e 10 GHz in bande assegnate molto strette, le potenze emesse sono dell'ordine dei W o al massimo delle decine di W, gli angoli di irraggiamento sono molto stretti.

L'apparato irradiante è costituito, generalmente, da uno specchio di forma parabolica illuminato da un lanciatore posto nel suo fuoco. I ponti radio non danno problemi di sicurezza per il pubblico, mentre ci può essere un rischio per i manutentori.

## La telefonia mobile

I sistemi di radiotelefonia portatile prevedono la comunicazione fra apparecchi mobili (telefoni portatili) e trasmettitori base fissi (stazioni radiobase) che forniscono la copertura di aree specifiche dette **celle**.

A metà degli anni '80 fu introdotta una prima generazione di sistemi radiotelefonici analogici (TACS) che usavano frequenze inferiori a 1 GHz.

Oggi i sistemi analogici (TACS) convivono con quelli digitali che sono basati sullo standard europeo noto come GSM (*Groupe Speciale Mobile*).

Ogni canale da 25 kHz del sistema analogico gestisce una chiamata, mentre i sistemi digitali usano lo schema di Accesso Multiplo a Divisione di Tempo (TDMA) per controllare fino ad otto chiamate per ogni canale da 200 kHz. I pacchetti d'informazione sono trasmessi verso e da ogni stazione mobile in opportune finestre temporali.

Le antenne delle stazioni radiobase sono costituite da matrici o array di dipoli e sono installate su edifici o su torri alti almeno 15m.

Le potenze emesse sono dell'ordine delle decine di watt.

## **I telefoni mobili**

**I telefoni mobili**, detti comunemente cellulari, sono piccole ricetrasmittenti portatili e compatte che vengono normalmente tenute in prossimità della testa.

La loro struttura radiante e ricevente è normalmente un’antenna montata su un involucro metallico. Le potenze emesse sono dell’ordine del watt.

La testa dell'utente è nel campo vicino della sorgente, in quanto la distanza dell'antenna dalla testa è di pochi cm, cioè dello stesso ordine di grandezza della lunghezza d'onda della radiazione emessa.

Inoltre, va’ sottolineato che i telefoni cellulari operano alla frequenza di circa 900 MHz, ossia nelle microonde, le radiazioni di tale lunghezza d'onda vengono efficacemente assorbite dai tessuti biologici, soprattutto da quelli ad alto contenuto di acqua.

Gli effetti diminuiscono estendendo l'antenna del telefonino durante l'uso e si minimizzano usando gli auricolari che permettono di allontanare il telefonino dalla testa.

## Minimizzare l’esposizione

Molte sono le metodologie implementate per **minimizzare la potenza** irradiata dai sistemi per telefonia cellulare GSM.

- si fa sì che la stazione radiobase emetta la potenza minima necessaria in funzione delle conversazioni in corso assicurando la minimizzazione dell'esposizione dei soggetti che si trovassero in prossimità delle stazioni. L'aumento delle stazioni non deve, allora, assumere una valenza negativa, in questo modo, infatti, si riducono le dimensioni delle celle, si accorcia il percorso radio e si diminuisce la potenza di emissione.
- la potenza emessa non è costante, ma varia nel tempo in funzione del numero di canali occupati, essa può allora essere regolata in funzione della distanza tra la stazione radiobase e quella mobile connessa. Può essere implementata una procedura di trasmissione discontinua nota come DTX, che consente di annullare la trasmissione durante le pause della conversazione in corso, ciò si riflette in un'inevitabile diminuzione del livello di potenza emessa.

Non facciamo cenno ad altri apparati quali radar e radioaiuti che sono usati sia per scopi militari che per scopi civili, dato che, in genere, i luoghi dove vengono ubicati sono prevalentemente zone non aperte al pubblico (aree militari, piste di aeroporti).

## **Le sorgenti in ambiente domestico**

### **Telefoni cordless**

Sono apparati ricetrasmittenti simili ai cellulari, ma operano in una banda di frequenza più bassa e con potenze emesse ridotte (dell'ordine delle decine di mW).

### **Forni a microonde**

Essi hanno frequenze di esercizio comprese tra 0.3 e 3GHz con potenze che vanno da 0.3 a 1.2kW.

I campi eventualmente emessi da questi apparati sono dovuti a cattivo funzionamento o a deterioramento conseguente all'uso dei sistemi di schermaggio sugli sportelli; in genere, i campi sono più intensi sulle fessure mal schermate e decadono rapidamente allontanandosi da queste.

### **Le unità video**

E' opportuno ricordare che altre fonti domestiche di radiazioni sono le unità video di personal computer e televisori che contengono tubi a raggi catodici (CRT) intorno ai quali si possono misurare seppure ad intensità molto basse, radiazioni ELF, RF, IR (ionizzanti), UV (ultraviolette) ed a volte anche raggi X.



## **Interazione tra CEM a radiofrequenze e la materia vivente**

### **Effetto biologico ed effetto sanitario**

Nel settore della protezione dai campi e.m. non ionizzanti è importante distinguere tra **effetto biologico ed effetto sanitario (patologia)**.

Si parla di **effetto biologico** in presenza di **variazioni morfologiche o funzionali** a carico di strutture a **livello superiore**, dal punto di vista organizzativo, a quello molecolare.

Per poter parlare di **effetto sanitario** occorre che l'effetto biologico superi i limiti di efficacia dei **meccanismi di adattamento** dell'organismo, meccanismi le cui caratteristiche variano con l'età, il sesso, lo stato di salute, il tipo e grado di attività del soggetto, nonché le condizioni ambientali esterne, quali temperatura e umidità o la contemporanea presenza di altri agenti nocivi.

L'interazione di un organismo con un campo e.m. non si traduce automaticamente in un effetto biologico; e l'insorgenza di un effetto biologico non implica necessariamente la comparsa di un quadro patologico.

## **Effetti sanitari dei CEM a radiofrequenze**

I primi studi in materia risalgono agli anni'50 in URSS, a causa della celeberrima **malattia da radioonde**, manifestata dagli operatori radar sotto forma di astenia, sonnolenza, mancanza di concentrazione, inappetenza, ecc.

Ancora oggi, dopo 50 anni, l'aspetto più peculiare di tale argomento è sicuramente quello dell'incertezza. E ancora mancano protocolli specifici e criteri statistici adeguati e internazionalmente riconosciuti.

I possibili effetti sanitari sono generalmente costituiti da **cataratte oculari ed ustioni della pelle.**

Il rischio va sempre valutato in funzione della **frequenza, dell'intensità e della durata dell'esposizione.**

## **Gli effetti biologici**

Numerosi sono **i fattori che condizionano** gli effetti biologici delle radiazioni in gioco: frequenza, durata, intensità, contenuto d'acqua dei tessuti, dimensioni degli organi, meccanismi di termoregolazione, grado di vascolarizzazione, sensibilità particolare dei tessuti, hot spot (equivalenti a punti di alta densità di potenza da riflessioni dell'onda nell'interfaccia tra tessuti).

**Gli effetti biologici** provocati dai campi e.m. vengono comunemente suddivisi in effetti termici o deterministici e in effetti non termici o stocastici.

## **Effetti termici o deterministici**

Gli effetti termici sono imputabili alla trasformazione di energia e.m. **in calore.**

La **profondità di penetrazione** della radiazione e.m. dipende dall'attenuazione manifestata dalla materia attraversata.

Maggiore è l'assorbimento per unità di spessore, minore è la profondità di penetrazione, quindi maggiore è **il riscaldamento.**

L'assorbimento cresce all'aumentare della frequenza (sopra 10 GHz l'assorbimento riguarda prevalentemente gli strati superficiali della pelle) e del contenuto d'acqua del tessuto. Un tessuto può comportarsi come conduttore o come isolante in funzione della frequenza del campo incidente:

**sotto 1 MHz:** presenta buone proprietà conduttive; il meccanismo fondamentale di interazione è l'induzione di cariche e correnti elettriche che possono creare stimoli nei nervi e nei muscoli,

**sopra 10 GHz:** presenta buone proprietà isolanti; l'assorbimento di energia sotto forma di riscaldamento è prevalente. Esposizioni intense e prolungate nel tempo possono essere molto gravi, soprattutto per organi poco vascolarizzati (ustioni della pelle, cataratta oculare),

**a frequenze intermedie** le proprietà isolanti crescono al crescere della frequenza.

## **Gli effetti delle dimensioni del corpo irradiato**

Un fattore che influenza notevolmente il meccanismo di assorbimento dell'energia è costituito dal **rapporto tra dimensione del corpo irradiato e lunghezza d'onda della radiazione stessa**.

Il massimo assorbimento di energia si verifica per il cosiddetto "uomo medio", cioè per la persona del peso di 70 kg ed altezza di circa 1.75 m alla frequenza di 70 MHz. Questo avviene perché il corpo umano, se non è posto elettricamente a terra (condizione più frequente) si comporta nei confronti di un'onda e.m. a 70 MHz come un'antenna a  $\lambda/2$  e assorbe il massimo dell'energia e.m. In questa condizione si verifica il fenomeno della **risonanza** del corpo stesso, l'energia non si deposita uniformemente su tutto il corpo, ma si localizza su determinati distretti corporei indicati come hot spots. e l'assorbimento di energia risulta relativamente basso.

N.B.: A frequenze maggiori di 1MHz il **SAR** (*specific adsorption rate*) ovvero la potenza dissipata per unità di massa è la **grandezza dosimetria fondamentale** per quantificare l'esposizione ai C.E.M. a radio frequenze.

Invece la **grandezza dosimetrica fondamentale** da correlare agli effetti nocivi dei campi ELF è la **densità di corrente indotta**.

## **La proteina dello shock termico**

Uno studio del 1996 condotto dai ricercatori della Columbia University ha dimostrato che, qualora cellule o tessuti umani siano esposti a campi e.m., vengono prodotte alcune particolari proteine dette dello "shock termico", preposte alla difesa dell'organismo a seguito degli aumenti di temperatura.

La continua produzione di tali proteine, perturberebbe il complesso e delicato equilibrio cellulare inducendo alcuni tipi di cancro, tra cui le leucemie.

## **Gli effetti non termici**

Gli effetti non termici sono costituiti da alterazioni biologiche in assenza di effetti termici apprezzabili. A fronte di una ricchissima bibliografia di dati sugli effetti delle radiazioni e.m. non ionizzanti bisogna tuttavia riconoscere che la valutazione di essi risulta spesso difficile. La quantificazione degli effetti biologici è ostacolata da dosimetrie imprecise e dalle differenze di valutazione che derivano dai rilievi eseguiti su animali di diversa taglia e dalla difficile estrapolazione all'uomo dei risultati ottenuti in condizioni sperimentali eterogenee.

## Scaling

Buona parte delle nostre conoscenze fisiologiche e patologiche sono il frutto della sperimentazione animale ed in vitro e ci si deve chiedere a quali condizioni sia corretta l’extrapolazione all’uomo (scaling) di tali risultati, in termini di attendibilità delle risposte, date le notevoli differenze dimensionali, strutturali e funzionali tra le varie specie animali e le eterogenee condizioni degli studi in vitro. Il contributo dell’epidemiologia analitica all’identificazione di un nesso causale tra esposizioni a campi e.m. e i danni alla salute può essere di notevole valore a condizione di poter quantificare l’energia assorbita. D’altra parte i risultati ottenuti con esperimenti sui volontari sono indubbiamente tra i più attendibili, dal momento che in questo caso le condizioni di esposizione sono controllabili, neppure l’istituzione di gruppi di confronto offre particolari difficoltà. L’unico limite è dovuto al fatto che esperimenti di questo tipo sono, per ovvie ragioni, di breve durata e forniscono quindi scarse informazioni sugli effetti delle esposizioni croniche particolarmente interessanti.

## **Assenza di effetti genetici**

Quando sono irradiate le cellule riproduttive di un individuo si possono produrre cambiamenti nei geni e nei cromosomi che sono poi trasmessi ai discendenti. Questi cambiamenti sono i seguenti:

- a) Aumento della frequenza delle mutazioni genetiche, vale a dire alterazione nella funzione dei singoli geni;
- b) Aberrazioni cromosomiche che risultano dalla rottura e riorganizzazione dei cromosomi;
- c) Variazione del numero dei cromosomi.

I danni di natura genetica compaiono nei discendenti delle persone irradiate sulle gonadi. Il materiale genetico delle cellule riproduttive delle gonadi è formato da cromosomi. Essi sono presenti in tutte le cellule del corpo, ma solamente quelli delle cellule riproduttive sono trasmesse all'uovo fecondato e quindi passano da una generazione di individui a quella successiva.

## **Effetti cancerogeni**

Per quanto riguarda le *radiofrequenze*, diversamente dai campi magnetici ed elettrici generati a 50 Hz, *non esistono ancora evidenze scientifiche* che associano l'esposizione a campi elettromagnetici ad effetti sanitari e, come riportato nel documento congiunto ISS-ISPEL, anche ipotizzando un nesso causale tra effetti sanitari a lungo termine e l'esposizione ai campi elettromagnetici a radiofrequenze, non è disponibile alcun elemento di valutazione circa l'impatto in termini di sanità pubblica di tale esposizione.



## Normativa italiana

### Decreto del 10 settembre 1998 n°381

*Regolamento recante norme per la determinazione dei tetti di radiofrequenza compatibile con la salute umana*  
G.U. n 257 del 3/11/98 (entrato in vigore il 2 gennaio 1999)

#### **Campo di applicazione:**

**esposizione della popolazione ai campi e.m.** connessi al funzionamento ed all'esercizio dei sistemi fissi delle tele e radiocomunicazioni operanti nell'intervallo di frequenza tra 100kHz e 300GHz.

#### **Limiti di esposizione ai campi e.m. in ambiente libero**

f (MHz)	E <sub>eff</sub> (V/m)	H <sub>eff</sub> (A/m)	S (W/m <sup>2</sup> )
0.1 – 3	60	0.2	-
3 – 3,000	20	0.05	1
3,000 - 300,000	40	0.1	4

#### **Limiti di esposizione ai campi e.m. "in corrispondenza di edifici adibiti a permanenze non inferiori alle quattro ore"**

I. F (MHz)	E <sub>eff</sub> (V/m)	H <sub>eff</sub> (A/m)	S (W/m <sup>2</sup> )
0.1 - 3	6	0.016	-
3 - 300,000	6	0.016	0.1

## **LEGGE N. 36 - 17 febbraio 2001**

*Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni  
a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici*  
G.U. n 55 del 7/3/01 (in vigore dal: 22-3-2001)

La legge attribuisce competenze allo Stato, alle Regioni, alle Province e ai Comuni.

In particolare, lo Stato ha il compito:

- di fissare limiti, valori di attenzione e obiettivi di qualità;
- di promuovere attività di ricerca e di sperimentazione;
- di coordinare la raccolta e la diffusione dei dati;
- di istituire il catasto nazionale delle sorgenti fisse e delle aree interessate dall'emissione delle stesse;
- di stabilire i criteri per l'elaborazione dei piani di risanamento indicando tempi e priorità;
- di stabilire le metodologie di misurazione;
- di definire i tracciati degli elettrodotti con tensione superiore a 150 kV e determinare i parametri per la previsione delle fasce di rispetto per tali infrastrutture che rappresentano un vincolo per eventuali sviluppi urbanistici;
- di stabilire una nuova disciplina per le autorizzazioni e l'esercizio di elettrodotti con tensione superiore a 150 kV.

Alle Regioni, Province e Comuni competono i seguenti obblighi:

- esercizio delle funzioni relative alla individuazione siti di trasmissione e all’autorizzazione all’installazione degli impianti fissi per la telefonia mobile, impianti radioelettrici e impianti fissi per radiodiffusione;
- la definizione dei tracciati degli elettrodotti con tensione non superiore a 150 kV e la determinazione delle rispettive fasce di rispetto;
- la definizione delle modalità per il rilascio delle autorizzazioni alla installazione degli impianti di competenza regionale;
- la realizzazione del catasto regionale in stretto coordinamento con quello nazionale;
- il concorso alla individuazione e di strumenti e di azioni per il raggiungimento degli obiettivi di qualità;
- il concorso all’approfondimento delle conoscenze scientifiche relative agli effetti sulla salute derivanti dall’esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici.

Le Regioni stabiliscono anche le competenze delle Province e dei Comuni e pertanto devono provvedere alla emanazione di leggi regionali di recepimento della legge quadro.

La legge quadro impone che i piani di risanamento siano adottati entro un anno in maniera da adeguare gli impianti di radiotelecomunicazione entro due anni dall’entrata in vigore della legge; entro 12 mesi, invece, deve essere presentato il progetto per il risanamento degli elettrodotti da parte del gestore indicando il programma e le priorità. Il risanamento delle linee elettriche deve essere completato entro 10 anni dall’entrata in vigore della legge.

In ogni caso devono, comunque, essere rispettate le scadenze del 2004 e 2008 per situazioni non conformi alle norme vigenti prima dell’entrata in vigore della legge quadro (DPCM 23/4/1992).

Le attività di risanamento degli elettrodotti e i costi sono a carico degli esercenti; l’Autorità per l’energia elettrica può comunque valutare un eventuale recupero attraverso le tariffe.

Per inadempienze nelle attività di risanamento si può procedere alla disattivazione degli impianti ad opera dello Stato, Ministro dell’Ambiente o Ministro delle Comunicazioni, oppure ad opera delle Regioni in funzione della tipologia di impianti.

La legge prevede espressamente, inoltre, la promozione da parte dello Stato di campagne di informazione e di educazione ambientale, nonché la partecipazione dei cittadini al procedimento amministrativo, in base alla legge 241, limitatamente alla scelta dei tracciati degli elettrodotti e alla adozione e approvazione degli eventuali piani di risanamento degli stessi.

Altri due elementi fondamentali del testo normativo sono le attività di controllo in materia di inquinamento elettromagnetico e le sanzioni. Per il primo punto è ribadito che le competenze in materia di controllo e vigilanza sono delle amministrazioni provinciali e comunali che le esercitano tramite le Agenzie Regionali per l'Ambiente (ARPA); laddove queste non sono operative tali attività sono esercitate dai PMP, oppure dall'ANPA, dall'ISPESL e dagli Ispettorati territoriali del Ministero delle Comunicazioni a supporto delle autorità locali, nel rispetto delle specifiche competenze.

### Risanamento dei siti non a norma.

#### REGIONE CAMPANIA (aggiornato a gennaio 2001)

SITO	CONTROLLI			Superamento limiti DM 381/98		
	ARPA APPA	ISPESL	ALTRO	da 6 a 20 V/m	da 20 a 27 V/m	> 27 V/m
Collina Camaldoli	*	*			*	*
Montesano (SA) Abitazioni	*			*		
Montesano (SA) Piazza	*			*		
Palazzo delle Poste (AV)		*		*		

[http://www.governo.it/sez\\_dossier/elettrosmog/campania.html](http://www.governo.it/sez_dossier/elettrosmog/campania.html)

## **Regole fondamentali di prevenzione dai CEM a radiofrequenze**

Sono riportate le regole generali di prevenzione per la sicurezza da seguire nei vari ambienti, sempre perseguendo un approccio cautelativo.

### All'aria aperta:

- Evitare la permanenza prolungata in prossimità di antenne trasmettenti per la radio diffusione e la telefonia cellulare.

- 

### Per l'acquisto di una casa:

- Verificare l'assenza, nelle vicinanze, di antenne per sistemi di telecomunicazioni, antenne radiotelevisive, radiobase, per telefonia, radar.

### Ambiente domestico:

- Non sostare troppo vicino al forno a microonde in funzione, verificando periodicamente la adeguatezza dei sistemi di sicurezza di interruzione dell'emissione all'atto dell'apertura del portello.

### Con il cellulare:

- Non portare il cellulare acceso sul torace in prossimità del cuore.
- Durante l'uso estrarre l'antenna.
- Alternare l'orecchio nei colloqui ogni circa 30 sec.
- Non tenere il cellulare acceso in ambienti in cui siano presenti apparecchiature biomedicali, sugli aerei, in presenza di persone con pace-maker o apparecchi acustici, anche laddove non ci siano espliciti segnali di divieto.

## Esigenze di misura

La definizione dello strumento adatto ad una particolare misura NIR deve tener conto di un certo numero di fattori.

### Frequenza

Quando si conducono delle misure a banda larga risulterà essenziale procedere con la massima accuratezza e attenzione possibili alla misura delle grandezze e.m. in gioco e risulta necessaria la conoscenza delle frequenze a cui emettono le diverse antenne in osservazione. Ogni parte dello strumento interessata dal segnale oggetto di misura, deve essere in grado di operare alla frequenza di tale segnale. Ecco perché, tra i parametri che caratterizzano ogni strumento, figura sempre la **banda passante**: l'intervallo di frequenza a cui il dispositivo fornisce una risposta corretta, entro determinati margini di errore.

### Collocazione del sito di misura rispetto alla sorgente

Come sappiamo la struttura del campo e.m. generato da una sorgente varia notevolmente con la distanza da questa, per cui la scelta della collocazione dei punti di misura non è affatto banale. Sicuramente non esiste una metodologia di approccio generale, tutto dipende dagli scopi e dalla strumentazione in uso.

### Potenza emessa dalla sorgente

La potenza emessa dalla sorgente è un fattore molto importante ai fini di un corretto uso della strumentazione. I parametri pertinenti in questo caso sono la **sensibilità** e la **gamma dinamica**, la prima indica il livello del minimo segnale misurabile, la seconda il rapporto tra il minimo ed il massimo misurabili. La sensibilità viene limitata dal rumore e dalla stabilità del sistema di misura, la gamma dinamica è connessa al massimo sovraccarico tollerabile dallo strumento senza alterarne la risposta o danneggiarlo.

## Misure in campo vicino e lontano

Nel caso di **campo vicino** il campo elettrico e il campo magnetico sono tra loro indipendenti ed è necessario procedere alla misura di entrambi. In tale zona la misura della densità di potenza non è applicabile ai fini protezionistici e tanto meno da questa si può risalire alle grandezze del campo elettrico e magnetico.

In condizioni di **campo lontano** le tre grandezze campo elettrico, campo magnetico e densità di potenza sono tra loro legate da relazioni ben note, attraverso le quali, dalla misura di una qualsiasi si può risalire alle altre due.

## Compatibilità elettromagnetica

Risulta facilmente comprensibile che l'apparato di misura deve essere compatibile con l'ambiente e.m. in cui opera, sia sotto l'aspetto dell'emissione che sotto quello della suscettibilità.

Per quanto riguarda la suscettibilità, si deve notare che di solito tutto l'apparato di misura, e non solo il sensore, si trova immerso nel campo e.m. da caratterizzare, bisogna assolutamente evitare che questo si accoppi direttamente a parti dell'apparato diverse dal sensore.



## STRUMENTAZIONE IN DOTAZIONE AL DIPARTIMENTO

- **un misuratore di campo**

della Wandel & Goltermann (mod. EMR-300) dotato di una sonda elettrica isotropa e di una sonda magnetica isotropa per la rilevazione dei campi e.m. nell'intervallo delle radiofrequenze (100kHz-3GHz);



Temperatura di lavoro	da +23 °C a -3 °C
Umidità relativa dell'aria	25-75%
Tipo di sensore	per campo elettrico
Range di frequenza	da 100 kHz a 3 GHz
Range di misura specificato	800 V/m 0.0027-1700 W/m <sup>2</sup>
Range dinamico	tipicamente $\pm 60$ dB
Errore assoluto a 27.5 V/m e 27.12 MHz	$\pm 1.0$ dB

- **un analizzatore di spettro portatile**

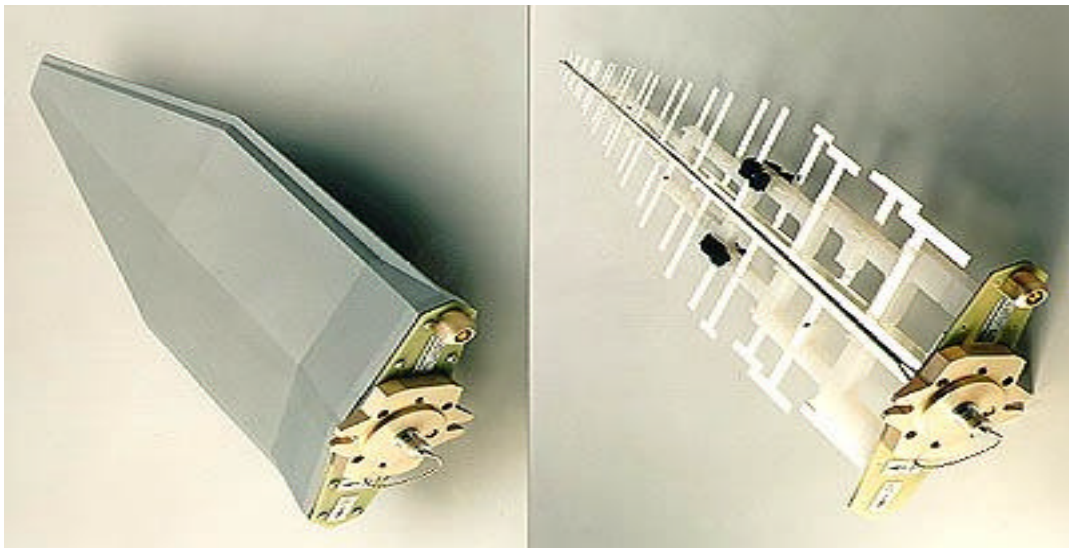
ed ad alimentazione autonoma della Agilent Technology (mod. E4402B) funzionante nel range di frequenza 9kHz-3GHz. Lo strumento è dotato di un tracking generator interno per misure di coefficienti di trasmissione e riflessione;



Range di frequenza	9kHz-3GHz
Accuratezza	$\pm 1\%$
Massima ampiezza del segnale	+65 dBm
Range resolution bandwidth a -3 dB	1 kHz-3MHz
Range della temperatura di lavoro	0°-55°C
Peso netto (senza batteria)	14.9 Kg
Peso netto (con batteria)	17.5 Kg

- **un'antenna log-periodica**

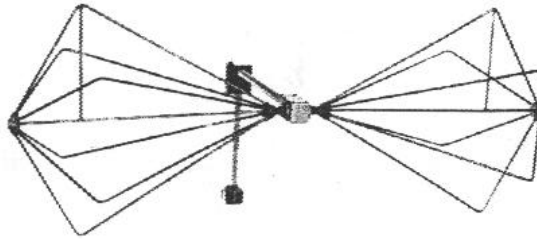
della Rohde & Schwarz (mod. HL-040) calibrata in un intervallo di frequenze compreso tra 400 MHz e 3 GHz;



Range di frequenza	400-3000 MHz
Polarizzazione	lineare
Impedenza	50 $\Omega$
Guadagno	5-7 dBi
Massima potenza in input	50 W CW
Temperatura d'esercizio	da -20 a +70°C
Altezza massima	130 mm
Spessore massimo	302 mm
Lunghezza massima	680 mm
Peso	2.8 kg
Attacco	Tipo N

- **un'antenna biconica**

della Hewlett & Packard (mod. 11966C) calibrata in un intervallo di frequenze compreso tra 30 e 300 MHz;



Range di frequenza	50-300 MHz
Polarizzazione	lineare
Impedenza	50 $\Omega$
Guadagno	-10-+1 dBi
Massima potenza in input	50 W CW
Temperatura d'esercizio	da -20 a +70°C
Diametro massimo	50.8 cm
Lunghezza	132.1 cm
Peso	2.7 kg
attacco	Tipo N

- **cavi, attenuatori, connettori, adattatori, filtri ed altri accessori rf;**
- **software ed interfaccia** per l'acquisizione automatica dei dati.

## **Situazione locale**

Servizio Igiene e Sanità Pubblica- Dipartimento di Prevenzione-  
A.S.L. SA 2

- Località Iaconti, frazione di Dragonea, Vietri S. M.;
- Parco Vignadonica, Località Pizzolano, Fisciano;
- Via Torrione 33, Salerno;
- Uffici comunali - Località masso della Signora, Salerno;
- Località Giovi Casa Manzo, Salerno.

Il Responsabile del Servizio ha chiesto alla Procura della Repubblica del Tribunale di Salerno l’autorizzazione ad avvalersi delle risorse tecniche del Dipartimento di Fisica dell’Università di Salerno.

## L'attività svolta

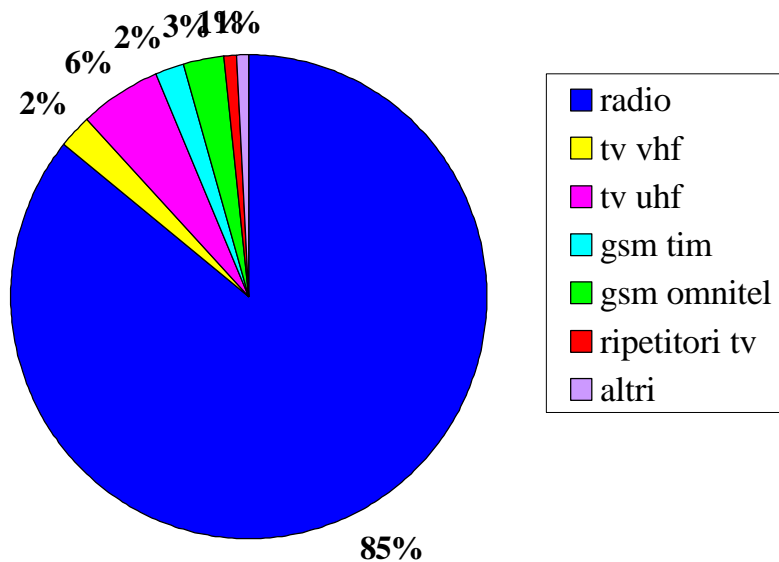
### Mappatura in frequenza della Pineta del Masso della Signora

Stage di diploma – Ilaria Gullà – marzo 2000



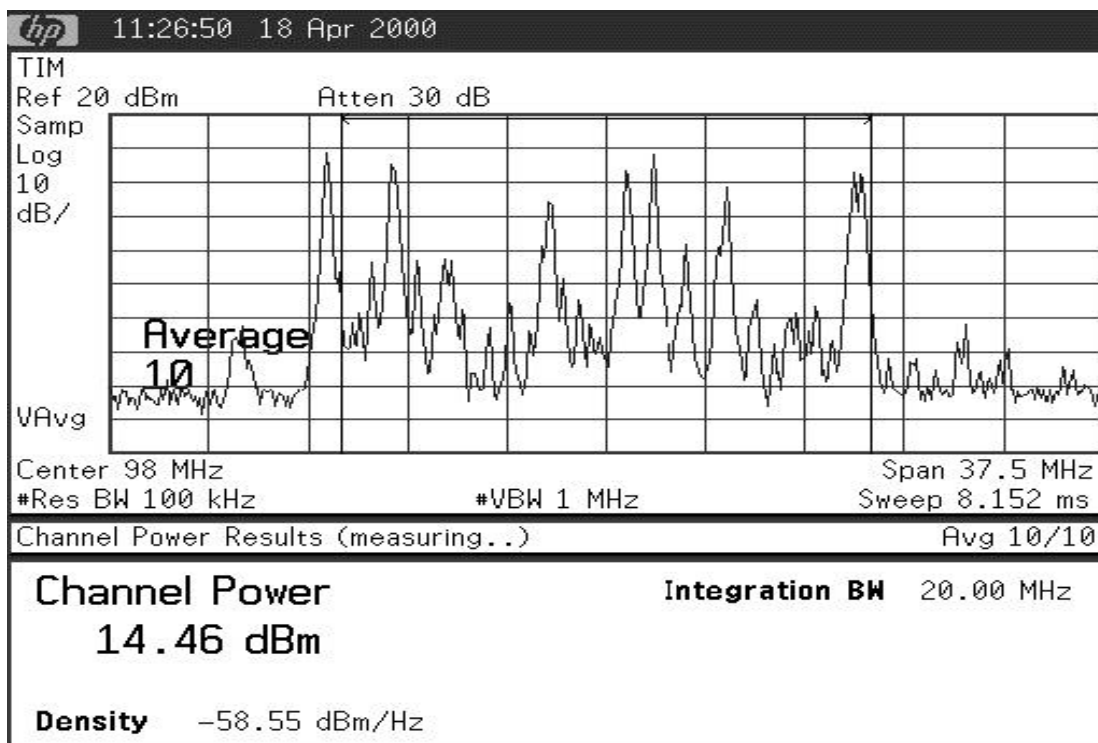
$$E_{\text{eff}} < 3 \text{ V/m}$$

#### Distribuzione del campo elettrico



**Mappatura in frequenza in località Iaconti, frazione di Dragonera, comune di Vietri S. M. (SA).(18.04.2000)**

<b>Frequenza (MHz)</b>	<b>E<sub>eff</sub> (mV/m)</b>	<b>H<sub>eff</sub> (mA/m)</b>	<b>S (mW/m<sup>2</sup>)</b>
88-108	3900	10.3	39.9
915-960	310	0.80	0.25
1845-1887	160	0.42	0.07
2370	120	0.30	0.03
2470	68	0.18	0.01
<b>Totale</b>	<b>4600</b>	<b>12</b>	<b>40.3</b>



### Mappatura in frequenza del Parco Vignadonica, Località Pizzolano, comune di Fisciano (30.05.2000)

Frequenza (MHz)	$E_{\text{eff}}$ (mV/m)	$H_{\text{eff}}$ (mA/m)	S (mW/m <sup>2</sup> )
88-108 (radio FM)	5100	13	67
450-550 (TV UHF)	130	0.3	0.05
925-965	220	0.6	0.12
<b>Totale</b>	<b>5500</b>	<b>14</b>	<b>67</b>

