



**ANPEQ®** - Protezione dalle radiazioni ionizzanti  
Associazione Nazionale Professionale Esperti Qualificati  
*National Professional Association of Italian Qualified Experts in Radiological Protection*



*Consulta Interassociativa  
Italiana per la Prevenzione*

[www.anpeq.it](http://www.anpeq.it)



**Mercoledì 14 ottobre 2015 ore 14:30 – 18:15**

**MILANO – V.le G. D'Annunzio, 15**

**Centro per la Cultura della Prevenzione  
nei luoghi di lavoro e di vita**



Incontro pubblico

# **Campi elettromagnetici (CEM) in casa, nell'ambiente, nella sanità, nell'industria: noi in un mondo di onde**

## ***CEM: rischio o risorsa? Impieghi ed effetti biologici***

**Luisa Biazzi**

**Università degli Studi di Pavia**

***luisa.biazzi@unipv.it***

**Segretario Generale ANPEQ**



Consulta Interassociativa  
Italiana per la Prevenzione



Ente promotore

ANPEQ®

ASSOCIAZIONE NAZIONALE  
PROFESSIONALE ESPERTI  
QUALIFICATI IN RADIOPROTEZIONE

National Professional Association of  
Qualified Experts in Radiological Protection

[www.anpeq.it](http://www.anpeq.it)

**Mercoledì 14 ottobre 2015 ore 14:30 – 18:15**

**MILANO – V.le G. D'Annunzio, 15**

**(MM2-verde, stop "S.Agostino"-di fronte Darsena-Porta Ticinese)**

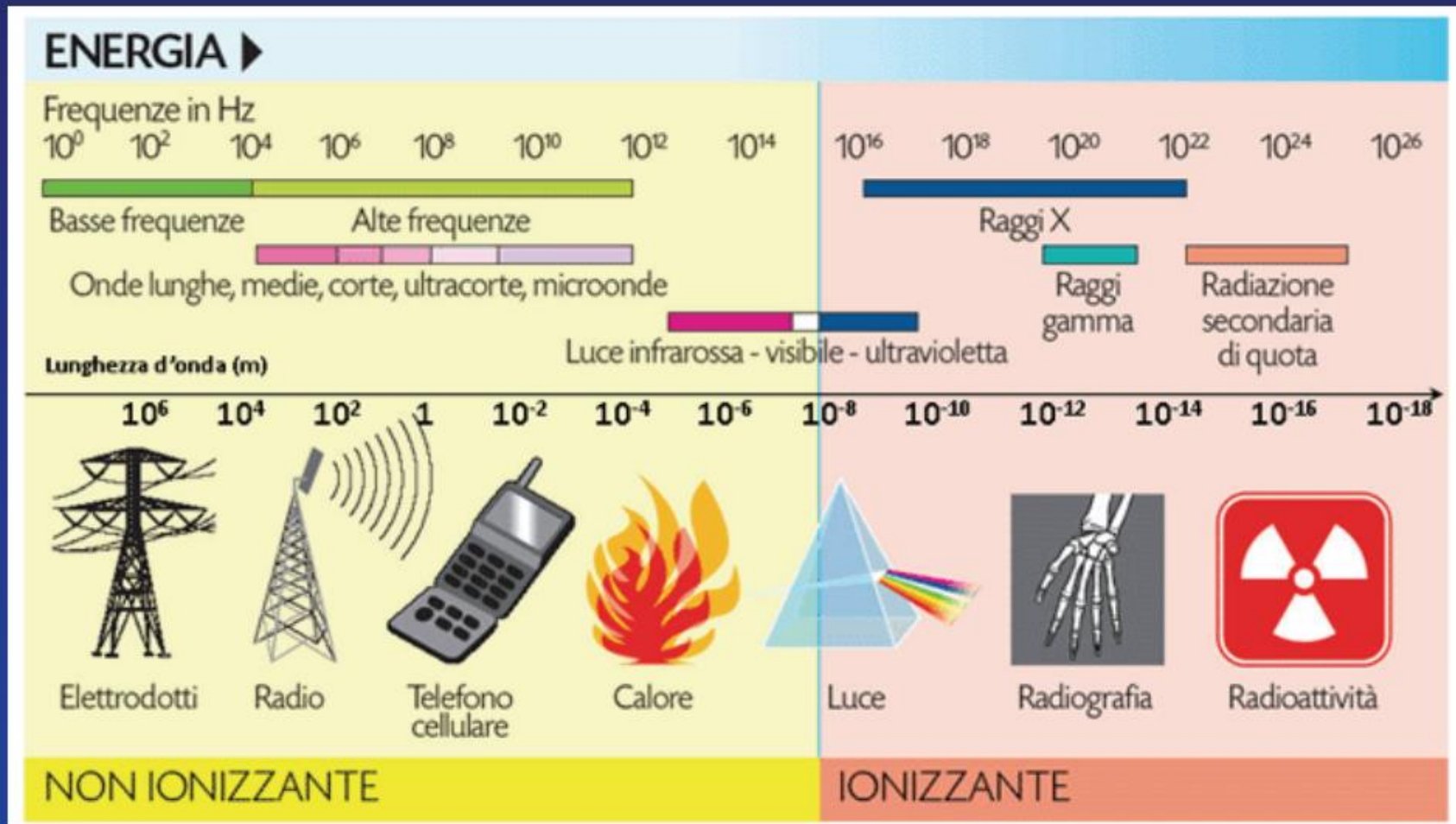
**Centro per la Cultura della Prevenzione  
nei luoghi di lavoro e di vita**

**Incontro pubblico**

**Campi elettromagnetici (CEM)  
in casa, nell'ambiente, nella  
sanità, nell'industria:**



# Spettro radiazioni elettromagnetiche



## CONSUMI ENERGETICI E CEM

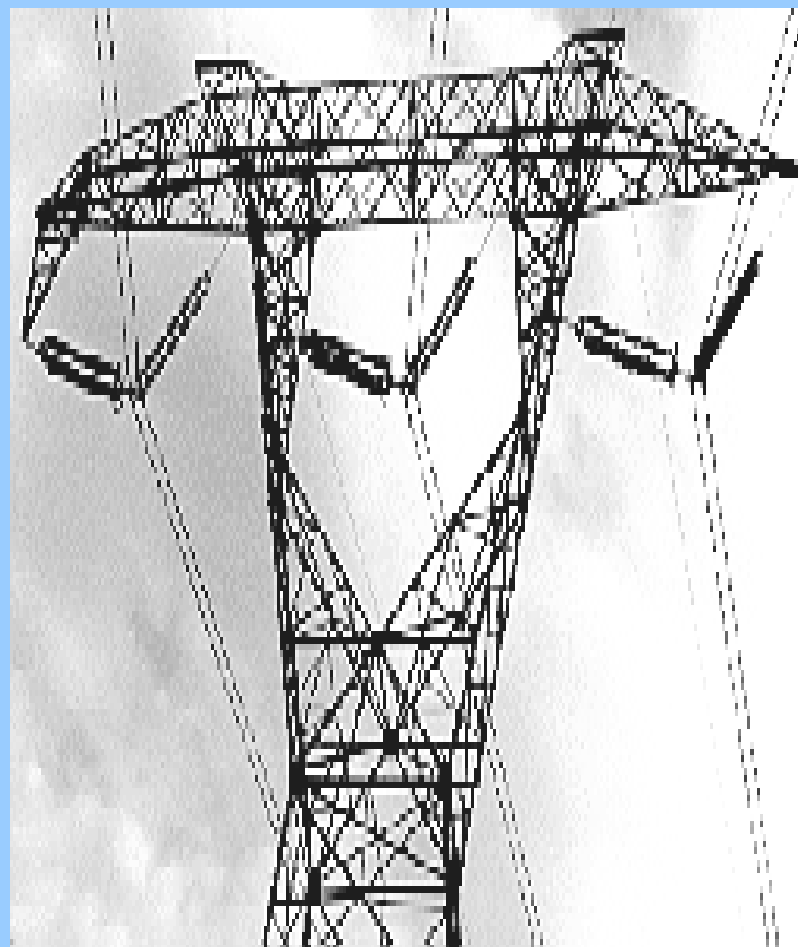
L'enorme diffusione delle apparecchiature elettriche ed elettroniche e delle nuove tecnologie per le telecomunicazioni ha comportato negli ultimi decenni, oltre agli indubbi benefici sul piano della facilità delle comunicazioni e delle potenzialità di calcolo nel settore informatico e dell'automazione, anche alcuni effetti indesiderati.

Sono infatti proporzionalmente aumentati il consumo energetico e le emissioni di agenti inquinanti in senso generale.

# INQUINAMENTO ELETTROMAGNETICO?

- Tra gli agenti fisici che devono essere tenuti sotto controllo, soprattutto in considerazione degli sviluppi nei settori dell'informatica, dell'energia e delle telecomunicazioni, ha assunto un'importanza rilevante il fenomeno del c.d.

- inquinamento elettromagnetico* inteso come *emissione in ambiente da parte di apparati elettrici, elettronici e per telecomunicazioni di onde elettromagnetiche di svariate intensità e frequenze.*



# CAMPI ELETTROMAGNETICI DIRETTI E INDIRETTI

•Se da un lato i sistemi per telecomunicazione basano il loro funzionamento proprio sulla trasmissione “via etere” di tali segnali (**Sorgenti dirette di CEM**)

•le restanti apparecchiature ed impianti che fanno uso di energia elettrica o di tecnologie elettroniche presentano emissioni elettromagnetiche non strettamente funzionali allo scopo per cui sono destinate (**Sorgenti indirette di CEM**)



## EFFETTI DELLE RADIAZIONI NON IONIZZANTI-NIR

**Mentre sono ancora in corso** importanti studi della comunità scientifica internazionale volti a stabilire i possibili effetti a **lungo termine** dell'esposizione a campi elettromagnetici, anche di bassa intensità, sulla salute umana,

**ormai da tempo** il processo normativo internazionale ha stabilito precisi limiti di esposizione per la protezione dagli **effetti acuti** sul corpo umano, che sono peraltro dimostrati, derivanti da esposizioni a campi elettromagnetici di elevata intensità in tutto il campo di frequenze delle radiazioni non-ionizzanti

**NIR – Non Ionizing Radiation 0 Hz ÷ 300 GHz**



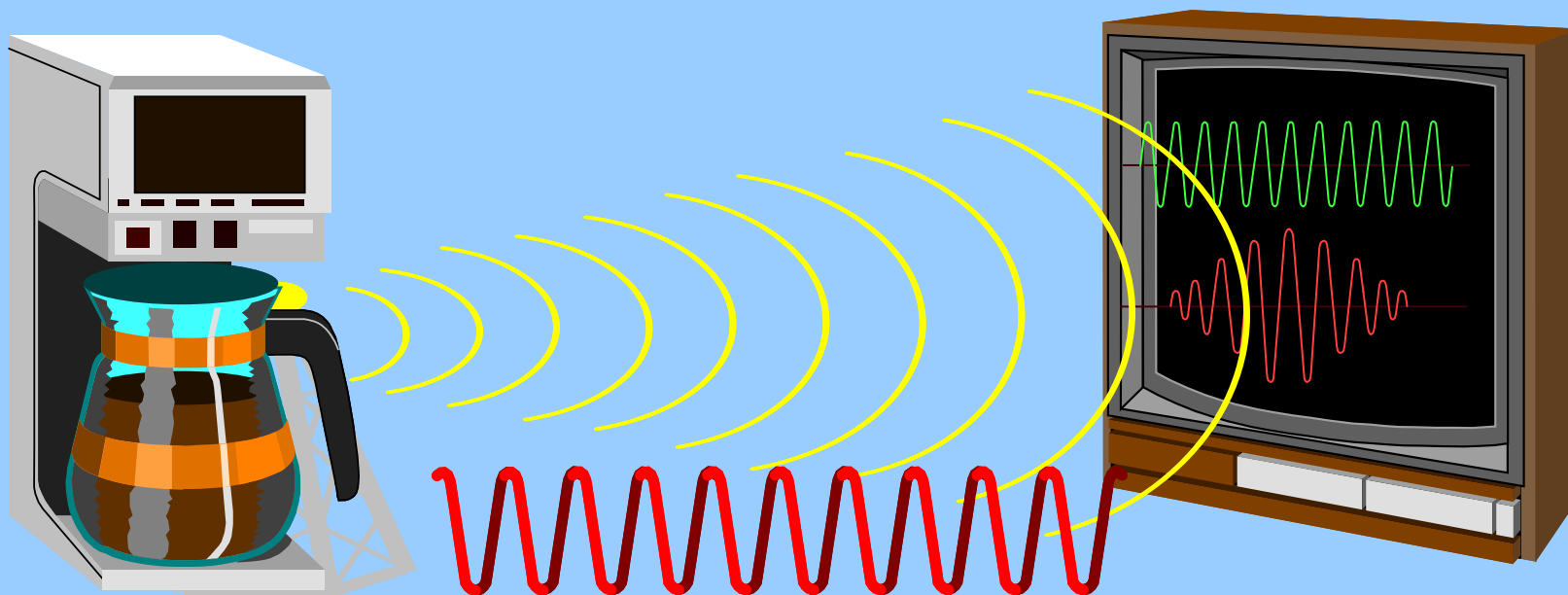
## **COMPATIBILITA' ELETTRICITA' ELETTRICITA'**

**È bene altresì sottolineare come i fenomeni di interferenza elettromagnetica tra apparecchiature siano ormai da decenni ampiamente trattati e regolamentati dalla disciplina chiamata “Compatibilità Elettromagnetica”.**

**Una Direttiva Europea (che trova ampia corrispondenza in altre discipline internazionali) stabilisce da più di vent'anni precisi limiti di emissione elettromagnetica per tutte le apparecchiature e i sistemi elettrici ed elettronici al fine di limitarne le interferenze reciproche.**



# COMPATIBILITA' E INTERFERENZE ELETTROMAGNETICHE



## SORGENTI ELETTROMAGNETICHE NATURALI E AUMENTO DEL FONDO NATURALE

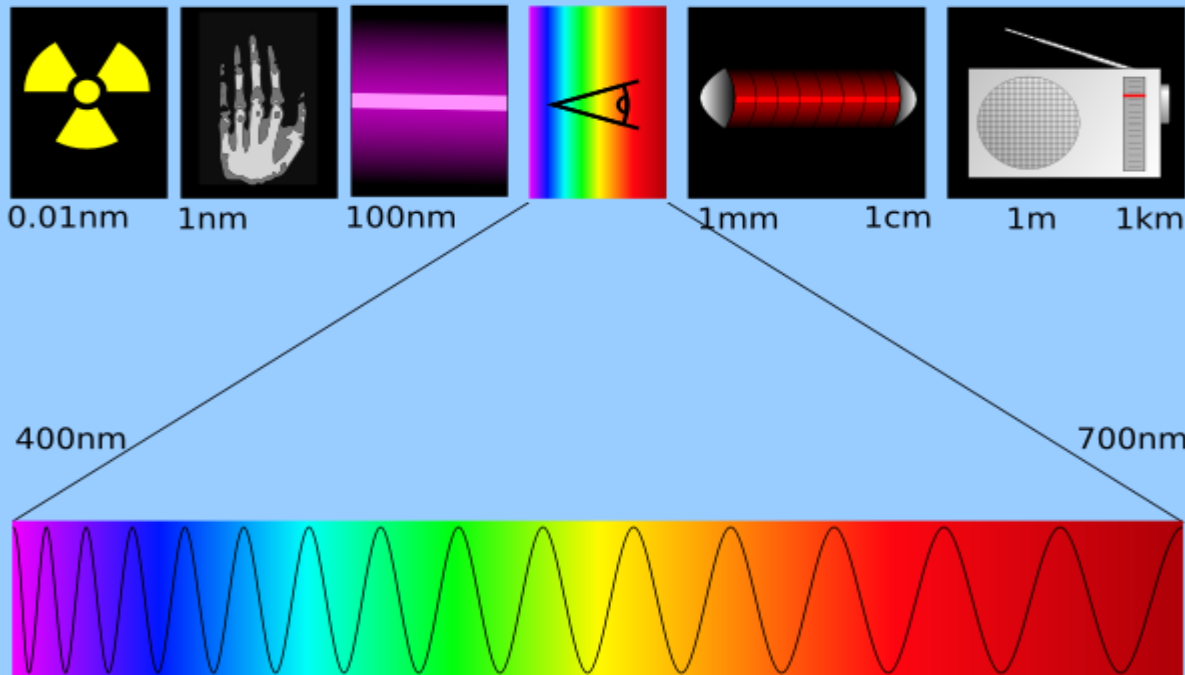
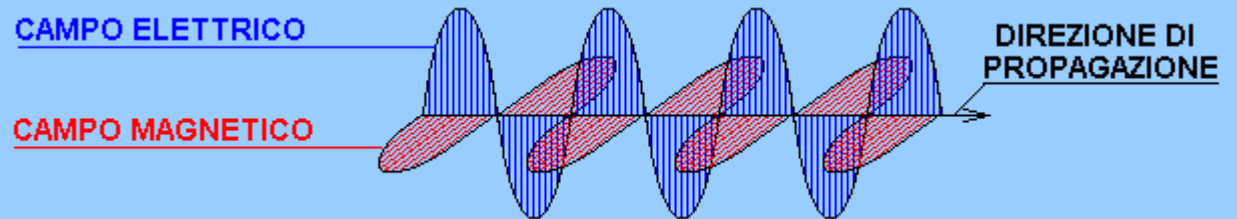
- A prescindere dalla ancora discussa “gravità” per la salute umana e per l’ambiente del problema “inquinamento elettromagnetico”,
- è comunque innegabile un sensibile aumento dei livelli di campi elettromagnetici negli ambienti in cui ogni giorno viviamo e lavoriamo rispetto al «fondo elettromagnetico naturale»,
- è bene ricordare che i campi elettromagnetici esistono in natura, indipendentemente dalle sorgenti artificiali.

## IL PRINCIPIO DI CAUTELA

• **Nell'attesa** che la comunità scientifica internazionale possa fornire **risposte certe** in merito alla effettiva **pericolosità dei campi elettromagnetici di bassa intensità per i possibili effetti sulla salute a lungo termine**, sembra comunque ragionevole,

**adottare le migliori tecnologie mirate alla riduzione delle emissioni elettromagnetiche indesiderate da parte di tutti gli impianti, sistemi e apparecchiature elettriche ed elettroniche e per diffusione dei segnali per telecomunicazioni.**

# Lo Spettro Elettromagnetico



**Norme CEI 211-6 (0 Hz - 10 kHz)**

Denominazione		Sigla	Frequenza	Lunghezza	
Radiazioni Non Ionizzanti	Freq. estremamente basse		ELF	0 - 3 kHz	> 100 km
	Frequenze bassissime		VLF	3 - 30 kHz	100 - 10 km
	Radiofrequenze (RF)	Onde lunghe	LF	30 - 300 kHz	10 - 1 km
		Onde medie	MF	300 kHz-3 MHz	1 km - 100 m
		Alte freq.	HF	3 -30 MHz	100 - 10 m
		Freq.altissime	VHF	30 - 300 MHz	10 - 1 m
	Microonde (MO)	decimetriche	UHF	300 MHz-3 GHz	1 m - 10 cm
		centimetriche	SHF	3 - 30 GHz	10 -1 cm
		millimetriche	EHF	30 - 300 GHz	1 cm - 1 mm
	Infrarosso		IR	0.3 - 385 THz	1000 - 780 nm
	Luce visibile			385 - 750 THz	780 - 400 nm
Ultravioletto		UV	750 - 3000 THz	400 - 100 nm	
Radiazioni Ionizzanti	Raggi X Raggi Gamma			> 3000 THz	< 100 nm

## Norme CEI 211-7 (10 kHz - 300 GHz)

Denominazione		Sigla	Frequenza	Lunghezza	
Radiazioni Non Ionizzanti	Freq. estremamente basse		ELF	0 - 3 kHz	> 100 km
	Frequenze bassissime		VLF	3 - 30 kHz	100 - 10 m
	Radiofrequenze (RF)	Onde lunghe	LF	30 - 300 kHz	10 - 1 km
		Onde medie	MF	300 kHz-3 MHz	1 km - 100 m
		Alte freq.	HF	3 -30 MHz	100 - 10 m
		Freq.altissime	VHF	30 - 300 MHz	10 - 1 m
	Microonde (MO)	decimetriche	UHF	300 MHz-3 GHz	1 m - 10 cm
		centimetriche	SHF	3 - 30 GHz	10 -1 cm
		millimetriche	EHF	30 - 300 GHz	1 cm - 1 mm
	Infrarosso		IR	0.3 - 385 THz	1000 - 780 nm
	Luce visibile			385 - 750 THz	780 - 400 nm
	Ultravioletto		UV	750 - 3000 THz	400 - 100 nm
Radiazioni Ionizzanti	Raggi X Raggi Gamma		> 3000 THz	< 100 nm	

# Sorgenti di Campo Elettromagnetico

## Basse frequenze (CEI 211-6)

- linee e stazioni elettriche alta tensione
- distribuzione energia elettrica
- elettrodomestici
- impianti industriali



## Alte frequenze (CEI 211-7)

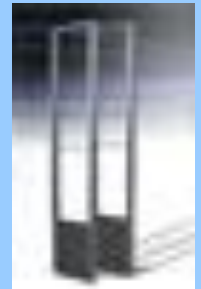
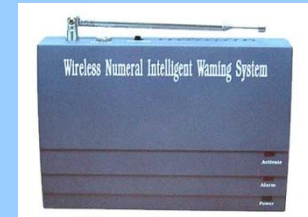
- industriale
- domestico
- medicale
- radiotelecomunicazione
- ricerca





## Settore domestico

- **Sistemi di rivelazione**  
sistemi di allarme e antirapina
- **Forni a microonde**  
frequenze: 915 MHz e 2450 MHz  
potenze: 900 W



# Settore medicale

## Applicazioni diagnostiche, terapeutiche e chirurgiche

- **Magnetoterapia a bassa/alta frequenza**
- **Diatermia: radarterapia e marconiterapia**
- **Ipertermia**
- **Risonanza magnetica**
- **Strumentazione chirurgica**

frequenze: da pochi MHz ai GHz

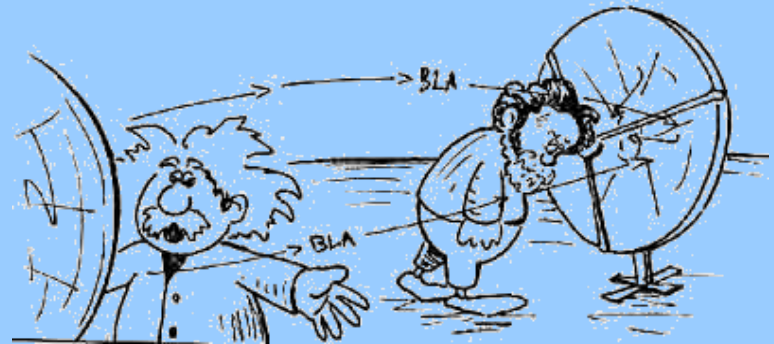
potenze: da decine a migliaia di watt



# Telecomunicazioni

- **Ponti radio**

- frequenze: 1- 40 GHz
- potenze: 100 mW - 3 W (anche fino a 20 W)



- **Cellulari, CB, telefoni senza fili**

- frequenze: da decine di MHz a circa 2 GHz
- WiFi, WiMax fino a 5 GHz
- potenze: CB max 5 W, cellulari 1-2 W, WiFi centinaia di mW



- **Sistemi radiotelevisivi**

frequenze: da centinaia di kHz a centinaia di MHz

potenze: da qualche watt a centinaia di kW

- **Sistemi cellulari**

frequenze: 900, 1800, 2100 kHz, ...

potenze: decine di W

- **Radar e satellite**

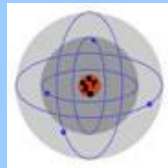
- **Telerivelamento**



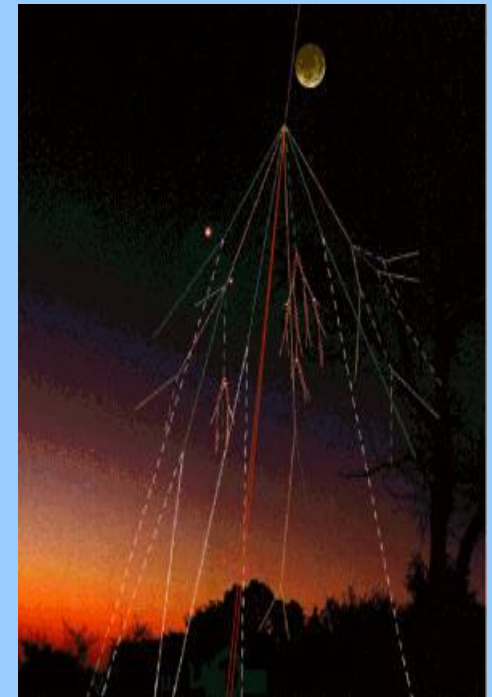
## Settore industriale

- **Forni a microonde**
  - alimentare: per sterilizzare e cuocere
  - industria: lavorazioni ad alte temperature
  - frequenze: tra 900 MHz e 2.45 GHz
  - potenze: centinaio di kW
- **Applicatori induttivi e capacitivi**
  - trattamenti termici in metallurgia e meccanica (fusione di leghe metalliche, plasmi, ...)
  - processi di incollaggio, vulcanizzazione
  - essiccazione (carta, tessuti, legno, plastiche, ...)
  - frequenze: tra 80 kHz e 50 MHz
  - potenze: centinaia di kW

# Ricerca



- Radioastronomia
- Fisica nucleare
- Radiospettrometria
- Ricerca spaziale
- ...



# **EFFETTI BIOLOGICI E SANITARI**



## EFFETTI ACUTI A BASSE E ALTE FREQUENZE

*Cosa sono gli effetti acuti?*

*Alcuni effetti compaiono in presenza del campo esterno e scompaiono quando cessa l'esposizione:  
sono detti “effetti acuti o a breve termine”*

*Hanno una soglia di esposizione e quindi di densità di corrente (in bassa frequenza) ovvero di SAR (in alta frequenza) al di sotto della quale gli effetti non si manifestano.*

# BASSE FREQUENZE

## 1- Effetti biologici acuti diretti:

### *1.1- INDUZIONE DI CARICHE E CORRENTI ELETTRICHE NEL CORPO UMANO*

**stimolazione di tessuti elettricamente eccitabili  
a causa della loro naturale attività elettrofisiologica**

## 2- Effetti biologici acuti indiretti:

### *2.1- CORRENTI DI CONTATTO*

### *2.2- INTERFERENZE DA APPARECCHIATURE*

**sensibili certi tipi di pace-makers**

# ALTE FREQUENZE

Effetti biologici acuti:

***EFFETTI TERMICI***

- I meccanismi di interazione portano generalmente a una conversione dell'energia del campo elettromagnetico assorbita che si manifesta sotto forma di **calore per effetto Joule** come fenomeno primario o secondario e conseguente aumento della temperatura corporea.
- La conversione è in stretta dipendenza con le costanti dielettrica e di conducibilità del mezzo. Le modalità d'interazione dipendono poi dalla lunghezza d'onda relativa alle dimensioni del corpo in esame.
- Gli effetti biologici conseguenti sono connessi all'*innalzamento della temperatura corporea* globale o locale, contrastati, per quanto possibile, dal **sistema di termoregolazione che interviene per ripristinare** l'equilibrio termico naturale tanto a seguito di riscaldamento attivo (esercizio fisico) quanto a seguito di riscaldamento passivo (diatermia).
- Tali effetti sono chiamati quindi *effetti termici*.

# Meccanismi fisiologici di termoregolazione

- In conseguenza all'innalzamento della temperatura corporea i meccanismi fisiologici di termoregolazione intervengono a **ripristinare** le condizioni di equilibrio termico del corpo qualunque sia la causa. Ciò si realizza con una **costante di tempo che per l'uomo è circa 6 minuti**
- Ciò significa che **nei primi 6** minuti l'esposizione ad un campo elettromagnetico che comporti innalzamento termico non è contrastata immediatamente dal sistema naturale umano di dissipazione del calore che stabilizzerà il sistema a una **temperatura superiore a quella fisiologica**
- Se **l'esposizione continua**, il meccanismo **non riuscirà più** a riequilibrare l'aumento temperatura che potrà aumentare ulteriormente **con danni prima reversibili e poi irreversibili fino al collasso dell'individuo per surriscaldamento con effetti anche letali**

# ALTE FREQUENZE

Effetti biologici/sanitari tardivi:

*TUMORI? (vedi IARC)*

L'approccio alla loro identificazione per stabilire un nesso causale tra esposizione ed effetto patogeno avviene attraverso **studi e indagini epidemiologiche** che presentano non pochi problemi.

Il principale è l'**attendibilità** che è spesso limitata da diversi fattori:

- prima di tutto da **fattori metodologici** come la scarsa significatività statistica (cioè il piccolo numero di soggetti considerato),
- il disaccordo sull'**interpretazione dei risultati**
- l'**assenza di adeguate conferme sperimentali**

*Caratteristica degli effetti differiti è che*

***NON*** presentano generalmente **SOGLIA** ma si ritiene che  
**LA LORO GRAVITÀ AUMENTI PROGRESSIVAMENTE CON  
L'ESPOSIZIONE**

*ossia che l'assenza di effetto si abbia solo in assenza di esposizione*

**FREQUENZE BASSE : “H” AGENTE INQUINANTE**

***POICHÉ ALLE BASSE FREQUENZE IL CORPO UMANO  
NON SCHERMA IL CAMPO MAGNETICO H***

***MENTRE***

***SCHERMA IL CAMPO ELETTRICO ESTERNO E***

***IL CAMPO MAGNETICO «H» È  
L'AGENTE INQUINANTE PREVALENTE***

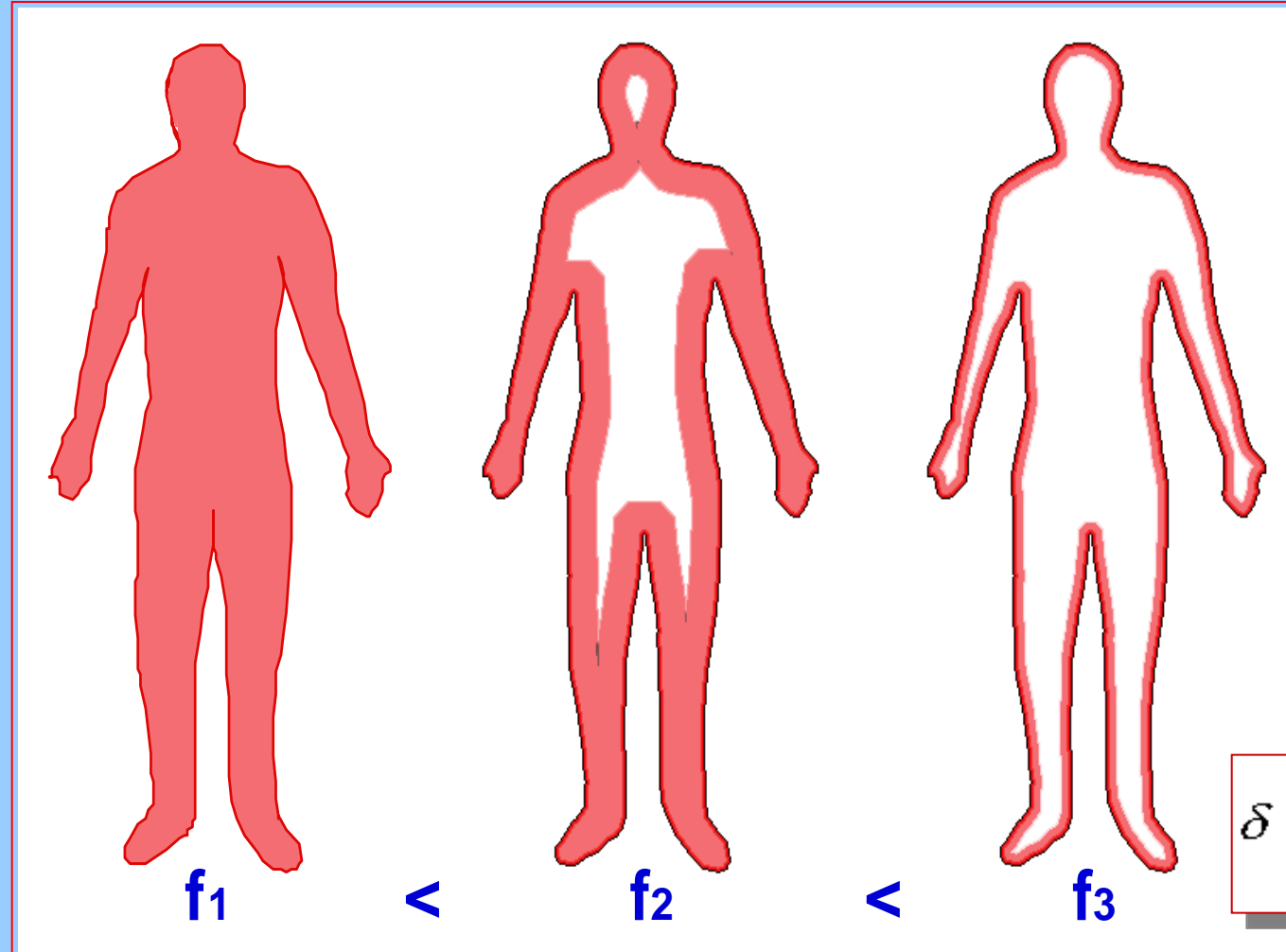


## FREQUENZE ALTE : “E” AGENTE INQUINANTE

- *Per campi a **frequenza superiore a 10 MHz** l'interazione dei CEM-NIR col corpo umano si esplica soprattutto mediante meccanismi di polarizzazione il cui*
- ***AGENTE PRINCIPALE È IL CAMPO ELETTRICO «E»***
- I meccanismi di interazione portano generalmente ad una conversione dell'energia del campo elettromagnetico assorbita che si manifesta sotto forma di **calore** per effetto Joule come fenomeno primario o secondario e conseguente aumento della temperatura corporea.

- Con l'aumento della frequenza **aumenta la potenza assorbita** ma per contro **diminuisce la profondità di penetrazione** in quanto **aumenta l'attenuazione** manifestata dalla materia attraversata nei confronti dei campi incidenti.
- Il meccanismo di interazione dell'onda elettromagnetica incidente su un corpo prevede la **riflessione** di parte dell'energia incidente (alle RF la potenza riflessa è circa il 50% di quella incidente) e la cessione ossia l'**assorbimento** di parte dell'energia incidente dell'onda al corpo che quindi assorbe energia.

# Profondità di penetrazione



$$\delta \approx \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu_0 \sigma}}$$

The antenna of a cellular telephone emits radio frequency electromagnetic fields that can penetrate 4 – 6 cm into the human brain.

*Dimbylow PJ Mann SM. SAR calculation in an anatomically realistic model of the head ... for 900 MHz and 1.8 GHz. Phys Med Biol 1994;39;1537-44*

**Profondità di penetrazione D indicativa del campo elettromagnetico in funzione della frequenza dell'onda e del contenuto d'acqua dei tessuti**

TIPO DI TESSUTO	FREQUENZA (MHz)			
	10	100	1500	5000
<b>con molta acqua (alta conducibilità)</b>  <b>90%: sangue, liquido cerebrospinale, altri liquidi organici</b> <b>80%: pelle, muscolo, cervello, organi interni</b>	20 cm	7 cm	2,5 cm	0,8 cm
<b>con poca acqua (scarsa conducibilità)</b>  <b>50%: grasso, tendini, midollo, ossa</b>	160 cm	60 cm	14 cm	7 cm

# ALTE FREQUENZE

Effetti biologici/sanitari tardivi:  
*TUMORI?*

*Cosa dice lo IARC*

# Classificazione degli agenti in base alla loro cancerogenicità secondo l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC)

CATEGORIA DI CANCEROGENICITÀ	CARATTERISTICHE DEGLI AGENTI
<b>Gruppo 1</b> L'agente è cancerogeno per l'uomo.	Questa categoria è usata quando esiste un'evidenza sufficiente di cancerogenicità nell'uomo.
<b>Gruppo 2A</b> L'agente è probabilmente cancerogeno per l'uomo.	Questa categoria è usata quando esiste un'evidenza limitata di cancerogenicità nell'uomo ed un'evidenza sufficiente di cancerogenicità nell'animale.
<b>Gruppo 2B</b> L'agente è possibilmente cancerogeno per l'uomo.	Questa categoria è usata quando esiste un'evidenza limitata di cancerogenicità nell'uomo ed un'evidenza meno che sufficiente di cancerogenicità nell'animale.
<b>Gruppo 3</b> L'agente non è classificabile quanto alla sua cancerogenicità nell'uomo.	Questa categoria è usata quando esiste un'evidenza inadeguata di cancerogenicità sia nell'uomo sia nell'animale.
<b>Gruppo 4</b> L'agente è probabilmente non cancerogeno per l'uomo.	Questa categoria è usata quando le evidenze suggeriscono l'assenza di cancerogenicità sia nell'uomo sia nell'animale.

## Esempi di classificazione di agenti o circostanze di esposizione in base alla loro cancerogenicità (IARC agg. 2009)

CATEGORIA DI CANCEROGENICITÀ	ESEMPI DI AGENTI O CIRCOSTANZE
<b>Gruppo 1</b> <b>Cancerogeni</b>	Asbesto Benzene Radon Radiazione solare Bevande alcoliche Fumo di tabacco Lampade solari
<b>Gruppo 2A</b> <b>Probabilmente cancerogeni</b>	Benzopirene Formaldeide Gas di scarico di motori diesel Lavoro come parrucchiere
<b>Gruppo 2B</b> <b>Possibilmente cancerogeni</b>	Atrazina DDT Gas di scarico di motori a benzina Saccarina Caffè Falegnameria <b>Campi magnetici ELF e RF</b>
<b>Gruppo 3</b> <b>Non è classificabili</b>	Lampade fluorescenti Fibre acriliche Cloruro di vinile Bitume Tè
<b>Gruppo 4</b> <b>Probabilmente non cancerogeni</b>	Caprolattame (unico agente in questa categoria)



## Lo IARC e i campi a bassa frequenza (ELF)

*I campi magnetici ELF sono collocati dallo IARC in Categoria 2B “possibilmente cancerogeni” (meno che “probabilmente cancerogeni”-Categoria 2A) insieme al caffè, alla saccarina, ai gas di scarico di motori a benzina*

*Sono considerati meno cancerogeni dei gas di scarico dei motori diesel e della formaldeide classificati agenti di Categoria 2A “probabilmente cancerogeni”*

*e meno ancora del fumo del tabacco, dei raggi solari e delle lampade solari, dell'alcool, del radon classificati in Categoria 1 come “cancerogeni certi”.*

...e in merito agli effetti sanitari tardivi ad alta frequenza

- Nel caso di *campi RF e MW* il numero degli studi epidemiologici è inferiore e talvolta meno rigoroso anche per le enormi difficoltà nella valutazione delle esposizioni che derivano da indagini di tipo statistico.
- Es. un telefono cellulare trasmette onde elettromagnetiche nella banda di frequenza di 900 ovvero 1800 MHz. Quando viene usato avvicinandolo alla tempia si valuta che il 30-50% dell'energia irradiata venga assorbita dalla testa dell'utente e dissipata sotto forma di calore con un possibile innalzamento della temperatura per lo più nei primi centimetri di tessuto, che tuttavia non è significativo in quanto essendo il cervello un tessuto molto vascolarizzato avviene di fatto la rimozione del calore da parte del sangue.

## ...in merito agli effetti sanitari tardivi ad alta frequenza

- Il problema è capire se l'esposizione cronica, ossia prolungata nel tempo, possa essere patologica o peggio cancerogena.
- Qui gli studi non sono numerosi ma finora non sono stati dimostrati effetti negativi per la salute legati all'uso dei cellulari, tranne per l'influenza sul funzionamento di alcuni tipi di pacemakers.
- In ogni caso gli studi epidemiologici e quelli numerosi di laboratorio o su animali riguardo ai campi ad alta frequenza **non danno indicazioni a sostegno dell'ipotesi certa di effetti a lungo termine.**

# OMS e RF

[www.who.int/emf](http://www.who.int/emf)

- Fin dal **1998** l'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO=OMS) riguardo alle RF traeva questa conclusione:

*“una revisione dei dati scientifici (...) ha concluso che non c'è nessuna evidenza convincente che l'esposizione a campi elettromagnetici a radiofrequenza (RF) abbrevi la durata della vita né che induca o favorisca il cancro”.*

- Nel **2006** veniva confermata la valutazione:

*“negli ultimi 15 anni sono stati pubblicati vari studi che esaminavano una possibile relazione fra trasmettitori a RF e cancro. Questi non hanno fornito nessuna evidenza che l'esposizione ai campi generati dai trasmettitori aumenti il rischio di cancro. Così pure gli studi a lungo termine su animali non hanno accertato aumenti nel rischio di cancro dovuti all'esposizione a campi a RF”.*

- Dal giugno **2009** le esposizione a RF sono nel Gruppo 2B

## Significato dei limiti di esposizione

I valori limite di esposizione fissati a livello internazionale sono basati sulla dipendenza della frequenza dall'assorbimento nell'uomo nell'intero intervallo di frequenze e per tutte le taglie e nella regione di risonanza per tutta la popolazione adulta e infantile che va all'incirca da **30 a 300 MHz**

**Il valore limite non è unico ma è una funzione matematica della frequenza che in questa regione presenta un minimo**

Le norme più diffuse a livello internazionale stabiliscono *livelli di riferimento* (detti “*valori d’azione*”) per le grandezze derivate il cui rispetto garantisce l’osservanza dei *limiti di base* (detti “*valori limite di esposizione*”).

- Grazie per l'attenzione