

RADIOPROTEZIONE

Corso di Bioelettromagnetismo

A.A. 2022/2023

V 1.1

Radiazioni ionizzanti (IR) e non ionizzanti (NIR)

- La IR è radiazione EM composta da particelle (i fotoni) che portano individualmente energia cinetica sufficiente per liberare un elettrone da un atomo (o da una molecola) ionizzandola
- La ionizzazione è generata da reazioni nucleari, naturali o artificiali (raggi cosmici, raggi gamma, raggi-X)
- L'esposizione alle IR provoca il danneggiamento del tessuto vivente portando a:
 - mutazione genetica
 - cancro
 - morte
- Per contro le NIR sono composte da fotoni che non hanno sufficiente energia per ionizzare

Radiazioni ionizzanti (IR) e non ionizzanti (NIR)

- Il passaggio tra NIR e IR non è repentino, il confine non è definibile esattamente e comunque è in relazione al tipo di tessuto preso in esame
- Poiché il primo livello di energia di ionizzazione dell'idrogeno e dell'ossigeno è per entrambi di 14eV, è comunemente accettato che lo spettro delle IR parta dalla **soglia dei 10eV**
- L'eV è una misura di energia: è l'energia cinetica acquisita da 1 elettrone accelerato da una d.d.p. di 1 Volt: $1\text{eV} = 1.602 \cdot 10^{-19}$ Joule
- La radiazione EM è composta da fotoni che alla frequenza f possiedono una energia: $E = h \cdot f$ dove h è la costante di Plank
- Si può pertanto passare dalla frequenza f dell'onda EM (o dalla sua lunghezza d'onda λ in aria) alla corrispondente misura di energia espressa in eV:

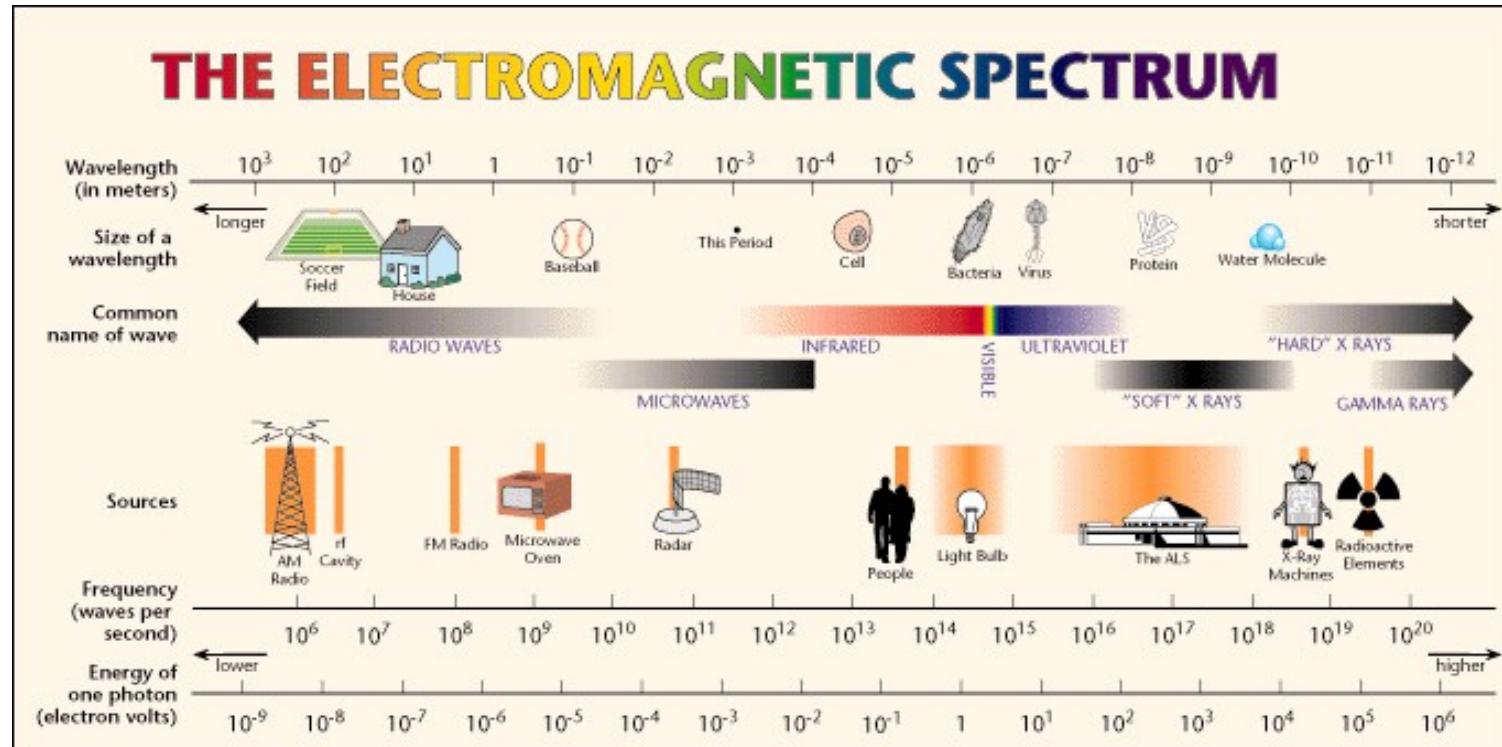
$$E = 4.13 \cdot 10^{-3} \text{ eV} \cdot \text{s} \cdot f [\text{THz}]$$

$$E = 1240 \text{ eV} \cdot \text{nm} / \lambda [\text{nm}]$$

Radiazioni ionizzanti (IR) e non ionizzanti (NIR)

- 10eV corrispondono ad una radiazione EM alla frequenza f di $2.4 \cdot 10^{15}$ Hz (2400 THz; 2.4PHz ; $\lambda = 124\text{nm}$) che corrisponde al lontano ultravioletto
- La soglia dei 10eV è conservativa perché secondo alcune interpretazioni, la soglia andrebbe innalzata a 33eV pari all'energia necessaria a ionizzare la molecola d'acqua
- Ai fini protezionistici vengono prese in considerazione NIR prodotte dall'uomo (fino ai 300 GHZ)
- Esempi di energia posseduta da radiazioni EM a varie frequenze:
 - 300GHz → $1.24 \cdot 10^{-3}\text{eV}$
 - LTE 2.6GHz → $1.07 \cdot 10^{-5}\text{eV}$
 - 5G 30GHz → $1.24 \cdot 10^{-4}\text{eV}$
 - Raggi-X 30PHz → 124eV

Radiazioni ionizzanti (IR) e non ionizzanti (NIR)



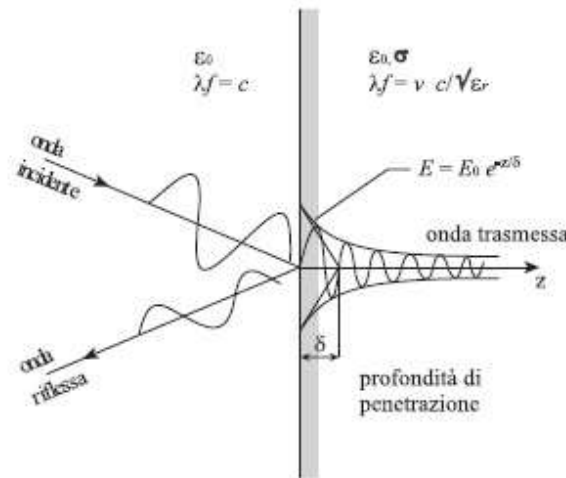
Non Ionizzanti



Ionizzanti

Propagazione e assorbimento di NIR nei tessuti biologici

- La prima assunzione che viene fatta per valutarne l'impatto è quella di essere in presenza di un'onda piana uniforme in aria che incide sul tessuto biologico
- E' una approssimazione, a rigore valida solo nei casi in cui la geometria del tessuto biologico con cui l'onda EM interagisce è tale da avere raggi di curvatura grandi rispetto alla lunghezza d'onda λ (praticamente da qualche GHz in su)
- In pratica il modello basato su questa approssimazione, spesso continua a venire usato anche a frequenze più basse per ricavare comunque dei valori indicativi



Propagazione e assorbimento di NIR nei tessuti biologici

- La profondità, o spessore di penetrazione, in incidenza normale, si può calcolare analiticamente dalla teoria della riflessione/rifrazione di o.p.

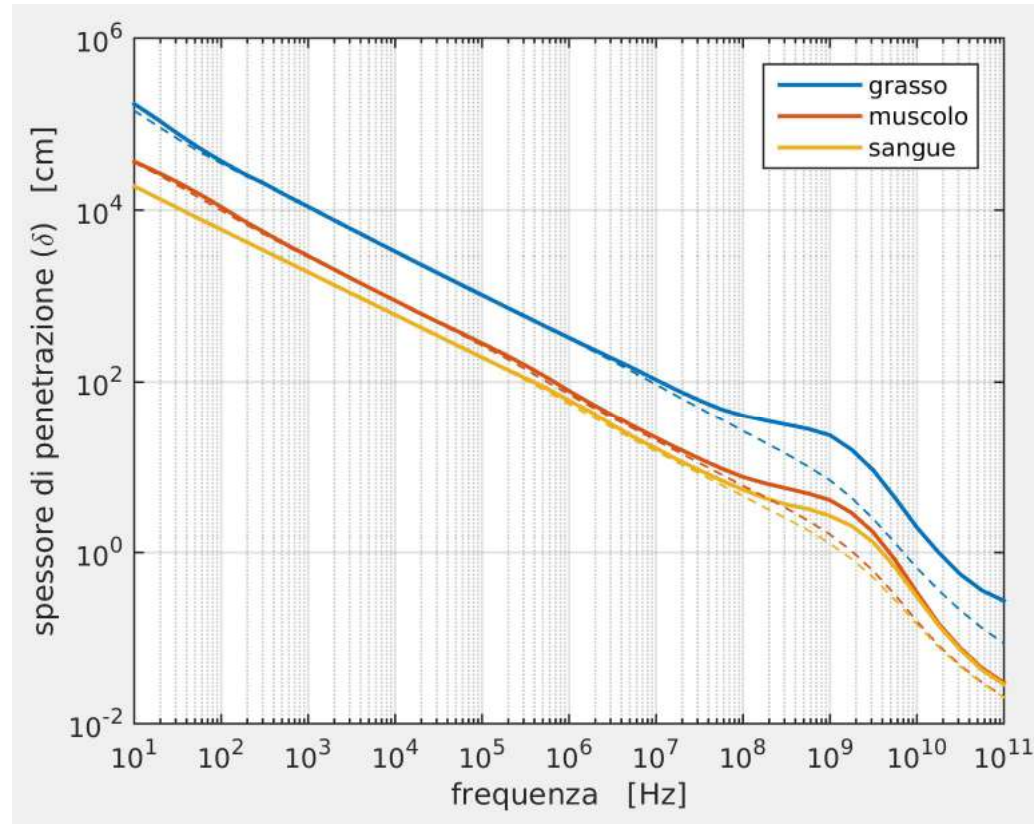
$$\delta = \frac{c}{\omega \sqrt{\frac{\epsilon_r}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \epsilon_0 \epsilon_r} \right)^2} - 1 \right)}}$$

- I tessuti biologici sotto i 10KHz sono classificabili come buoni conduttori dove l'espressione di cui sopra si semplifica:

$$\delta = 1 / \sqrt{\pi \mu_0 \sigma f} .$$

- Ma a queste frequenze la lunghezza d'onda λ è così grande che il modello di incidenza di o.p. su superficie piana infinita non vale più

Propagazione e assorbimento di NIR nei tessuti biologici

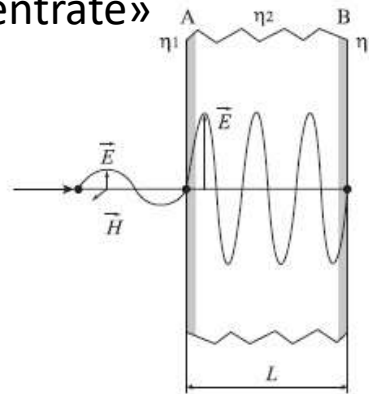


Calcolato per incidenza normale

Le curve tratteggiate si riferiscono alla formula approssimata per i buoni conduttori

Propagazione e assorbimento di NIR nei tessuti biologici

- Se le frequenze delle NIR non superano i 10GHz per cui lo spessore di penetrazione non scende sotto 1cm, l'onda EM che prosegue nei tessuti biologici di varia natura (pelle, grasso, muscolo, tessuto osseo) incontra di fatto superfici di discontinuità fra materiali diversi che danno origine a riflessioni interne multiple e conseguenti concentrazioni di campo EM apprezzabili, creando di fatto zone «di assorbimento di energia concentrate»



- Se le frequenze dell'onda EM irradiata dalla sorgente (ad esempio una antenna) sono basse, oltre a non valere più il modello di rifrazione di o.p. nei tessuti biologici, è possibile non trovarsi più nella regione di campo lontano dell'antenna, dovendo quindi abbandonare anche l'ipotesi di propagazione del campo EM in onde piane uniformi
- Lo studio si complica quindi notevolmente ed occorre introdurre nuove grandezze dosimetriche

Dosimetria dei campi EM non ionizzanti

L'esposizione ai campi elettromagnetici (*non ionizzanti*) può dare origine a due categorie di effetti:

Fisici

L'esposizione al campo elettromagnetico (causa) induce altri effetti fisici misurabili (effetto) mediante una relazione causa/effetto nota.

Gli unici effetti fisici che ad oggi sono dati per assodati sono:

1. Induzione di correnti spurie che interferiscono con il sistema nervoso (sia centrale che periferico)
2. Innalzamento della temperatura corporea per assorbimento di energia elettromagnetica (effetto Joule nel tessuto biologico).

Biologici

L'esposizione al campo elettromagnetico è messa in relazione con effetti biologici, ad esempio distorsione sensoriale (visiva, uditiva), alterazione dei meccanismi cellulari, danneggiamento dei tessuti (cataratta), stimolazione di meccanismi di termoregolazione (ipotalamo), ecc..

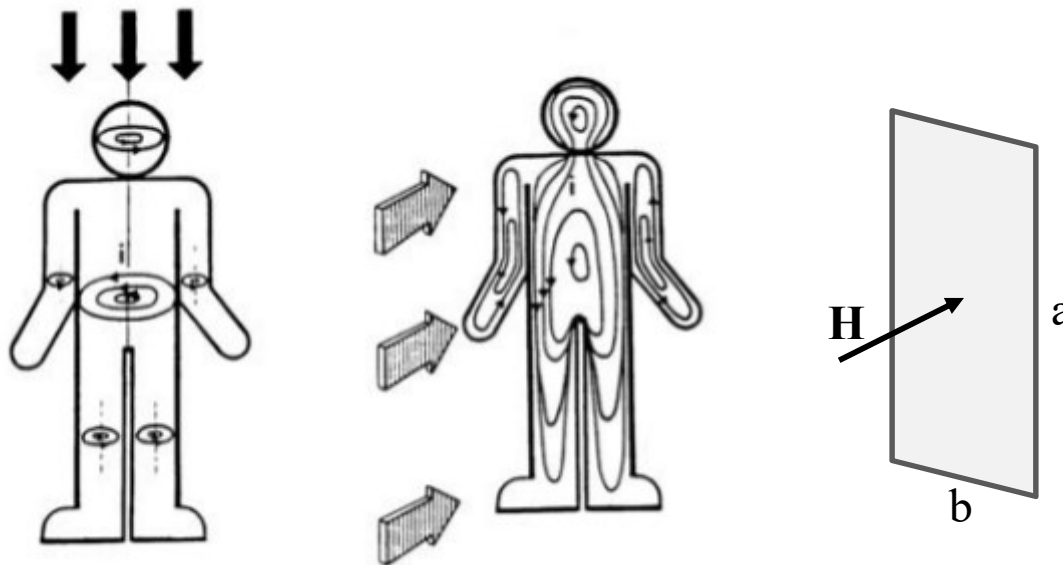
Non sempre il meccanismo fisico alla base dell'effetto biologico è noto.

Ad oggi non vi sono effetti biologici conclamati per i quali non si conosca (verosimilmente) il meccanismo fisico.

Induzione di corrente

- E' il fenomeno predominante da 1 Hz fino a circa 100 kHz
- Fino a 10 MHz può essere comparabile con gli effetti termici
- Oltre i 10 MHz sono trascurabili

$$\nabla \times \mathbf{E} = -j\omega\mu\mathbf{H} \quad \Rightarrow \quad \oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -j\omega\mu \int_S \mathbf{H} \cdot \mathbf{n} dS, \quad \mathbf{J} = \sigma\mathbf{E}$$



Rispetto ai moduli:

$$2(a + b)\langle J \rangle = \omega\mu\sigma(ab)H$$

$$a \gg b \Rightarrow \langle J \rangle \approx \frac{b}{2} \omega\mu\sigma H$$

$$a \approx b \Rightarrow \langle J \rangle \approx \frac{b}{4} \omega\mu\sigma H$$

Effetti termici: il SAR

Se un campo elettromagnetico penetra in un materiale con perdite ($\sigma \neq 0$), in questo vi sarà una dissipazione di potenza mediante effetto Joule, ovvero riscaldamento.

Dal teorema di Poynting:

$$P_{\text{diss}} = \frac{1}{2} \sigma |\mathbf{E}|^2 \quad \text{densità di potenza dissipata in calore per unità di volume}$$

La quantità dosimetrica di riferimento è il **SAR**, "*specific (energy) absorption rate*"

Definizione: dato un volume (piccolo) Δv di tessuto biologico ove si possa ritenere uniforme tanto il campo elettrico quanto il valore di conducibilità elettrica σ e la densità di massa ρ [Kg/m³], il SAR nel volume Δv in esame è la quantità:

$$\text{SAR}_{\Delta v} = \frac{\frac{1}{2} \sigma(\Delta v) |\mathbf{E}(\Delta v)|^2 \Delta v}{\rho(\Delta v) \Delta v} = \frac{\text{densità di potenza EM assorbita} \cdot \Delta v}{\text{densità di massa} \cdot \Delta v} \quad [\text{W/kg}]$$

Effetti termici: il SAR

Il SAR è una grandezza locale; per motivi pratici vengono definiti e valutati anche SAR "medi" su volumi arbitrari:

$$SAR_V = \frac{\int_V \frac{1}{2} \sigma(\mathbf{r}) |\mathbf{E}(\mathbf{r})|^2 dV}{\int_V \rho(\mathbf{r}) dV} = \frac{\text{potenza EM assorbita nel volume } V}{\text{massa del volume } V} \quad [\text{W/kg}]$$

Tipici volumi di riferimento per la valutazione del SAR sono:

- Volumetti di 1g di massa (SAR_{1g})
- Volumetti di 10g di massa (SAR_{10g})
- La testa ($SAR\text{-head}$, SAR_H)
- Il corpo intero ($SAR\text{-Whole-Body}$, SAR_{WB})

Effetti termici: il SAR

Spesso si fornisce il valore di SAR in relazione ad una densità di potenza attiva incidente S_0 di riferimento; per la linearità, il SAR per una generica densità S incidente sarà:

$$SAR_V = (SAR_{rif}/S_0) \cdot S$$

Interpretazione bio-fisica del SAR:

- Il SAR_V è la quantità di calore immessa in media nel volume V nell'unità di tempo
- Il SAR_V dà una informazione sulla sollecitazione termica a cui è sottoposto il volume V (tutto il corpo umano nel caso di SAR Whole-Body)
- Come poi vari la temperatura nel volume V dipende da vari fattori (condizioni ambientali, meccanismi fisiologici di termoregolazione etc.)

L'equazione del bio-calore

Il calore complessivo accumulato **per unità di volume di tessuto** nell'unità di tempo, pari alla variazione di temperatura nell'unità di tempo moltiplicata per la capacità termica di un metro cubo di tessuto, è dato dal contributo di 4 termini:

$$C(\mathbf{r})\rho(\mathbf{r}) \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (K(\mathbf{r})\nabla T) + A_0(\mathbf{r}) - B_0(\mathbf{r})(T - T_B) + Q_V(\mathbf{r})$$

dove:

T = temperatura del tessuto [K]

$C(\mathbf{r})$ = calore specifico [J/(K·kg)]

$K(\mathbf{r})$ = conducibilità termica [W/(K·m)]

$\nabla \cdot (K(\mathbf{r})\nabla T)$ = calore/(s·m³) che giunge per conduzione dai tessuti circostanti

$A_0(\mathbf{r})$ = calore/(s·m³) sviluppato dai processi metabolici

$B_0(\mathbf{r})(T - T_B)$ = calore/(s·m³) scambiato con il sangue (T_B = temperatura del sangue)

$Q_V(\mathbf{r}) = \frac{1}{2}\sigma|\mathbf{E}|^2$ = calore/(s·m³) esogeno dovuto da **assorbimento di potenza EM**

L'equazione del bio-calore

Si semplifica l'equazione trascurando:

- Effetti di conducibilità
il corpo è a temperatura omogenea e/o si fanno valutazioni su periodi brevi
- Scambio termico con il sangue
si trascura la capacità del corpo di termoregolarsi (ipotesi cautelativa), inoltre nei fantocci il termine non compare
- Calore sviluppato dai processi metabolici
ipotesi valida nel caso si usino fantocci per la misura del calore indotto

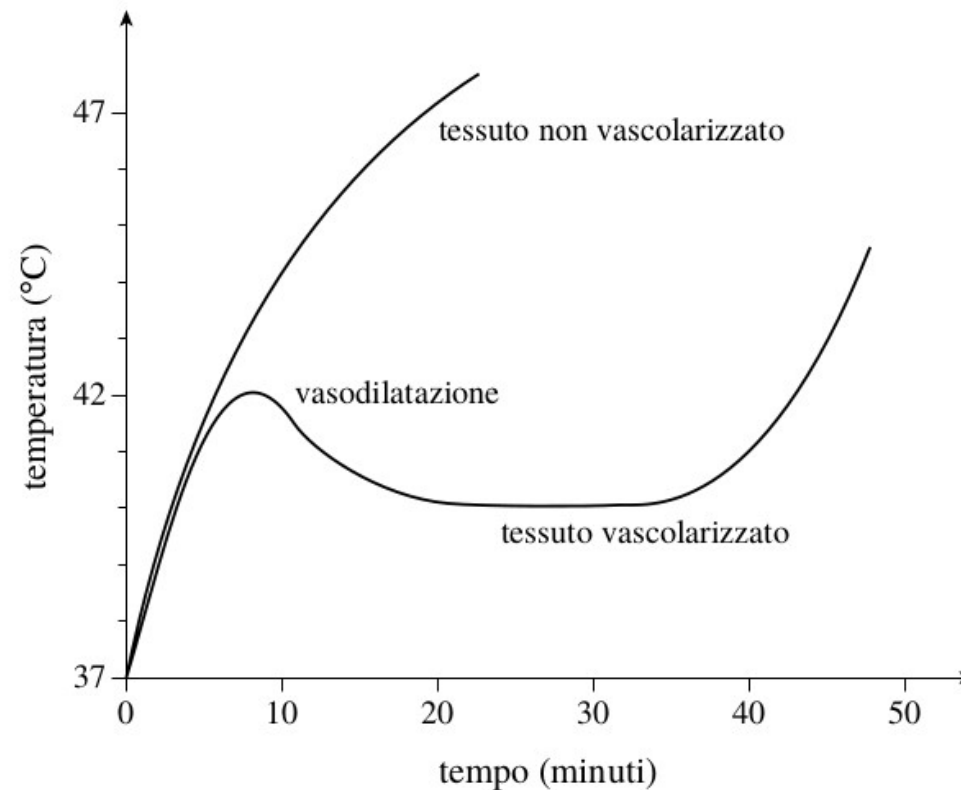
$$C(\mathbf{r})\rho(\mathbf{r})\frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (K(\mathbf{r})\nabla T) + A_0(\mathbf{r}) - B_0(\mathbf{r})(T - T_B) + Q_V(\mathbf{r})$$

da cui:

$$\frac{\partial T}{\partial t} \approx \frac{SAR(\mathbf{r})}{C(\mathbf{r})}$$

Riscaldamento dei tessuti

- L'esposizione per 30 minuti di un essere umano a riposo ad un campo EM che produca un **SAR Whole-Body** di circa 1 – 4 W/kg, induce un aumento di temperatura corporea di meno di 1 °C.
- Il calore metabolico basale a riposo è di circa 1.3 W/kg ed aumenta fino ad un fattore 10 nel caso di intensa attività fisica.



Stima del SAR indotto

La stima del SAR indotto dall'esposizione a campi EM è un problema molto complesso, perché dipende da molti fattori come:

- Vicinanza alla sorgente
- Rapporto lunghezza d'onda/dimensione del corpo
- Polarizzazione del campo rispetto alla posizione del corpo
- Forma del corpo
- Posizione rispetto ad un piano di massa
- Proprietà elettromagnetiche dei tessuti
- Proprietà biologiche dei vari tessuti (la densità di massa)

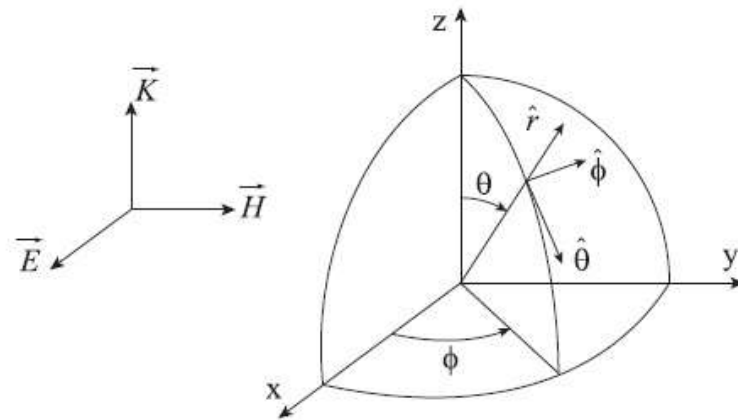
Modelli analitici

Si approssima il corpo con volumi omogenei di varia forma (sfere, sferoidi prolatti, ellissoidi, cilindri) e si calcola la potenza assorbita in ipotesi di irraggiamento da onda piana uniforme. Forniscono stime qualitative sulla dipendenza del fenomeno dai vari parametri.

Modelli numerici

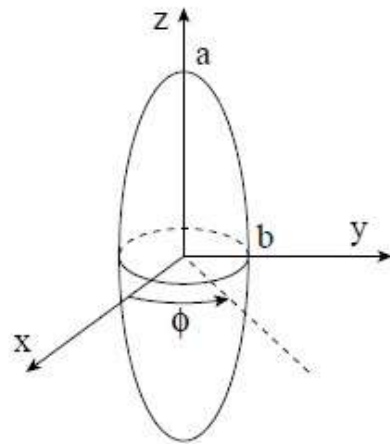
Risolvono le eq. di Maxwell per il problema specifico e forniscono soluzioni "esatte". Sono computazionalmente molto onerosi da risolvere e comunque non evidenziano facilmente la dipendenza dai vari parametri.

Stima del SAR indotto - modelli analitici



$$W_t = \frac{\sigma}{2} E_0^2 \frac{4\pi a^3}{3} \left[\frac{9}{|\hat{e}|^2} + \frac{2}{5} \left(\frac{ka}{2} \right)^2 \right]$$

Geometria sferica



- campo \vec{E}^i parallelo al semiasse più lungo (a) dell'ellisse generatrice (*polarizzazione E*);
- campo \vec{H}^i parallelo ad (a) (*polarizzazione H*);
- vettore di propagazione \underline{k}^i parallelo ad (a) (*polarizzazione K*).

Geometria sferoidale (prolata).

Stima del SAR indotto – tipo di polarizzazione



Polarizzazione E



Polarizzazione H



Polarizzazione K

Stima del SAR indotto - modelli numerici

I modelli analitici, benché utili per ottenere rapidamente stime indicative del SAR, soffrono di diverse limitazioni, quali:

- sono affidabili in limitate regioni dello spettro elettromagnetico
- non consentono di fornire una distribuzione del SAR a livello locale
- non sono in grado di cogliere «condizioni di risonanza» ovvero picchi di SAR a particolari frequenze che invece si rilevano sperimentalmente

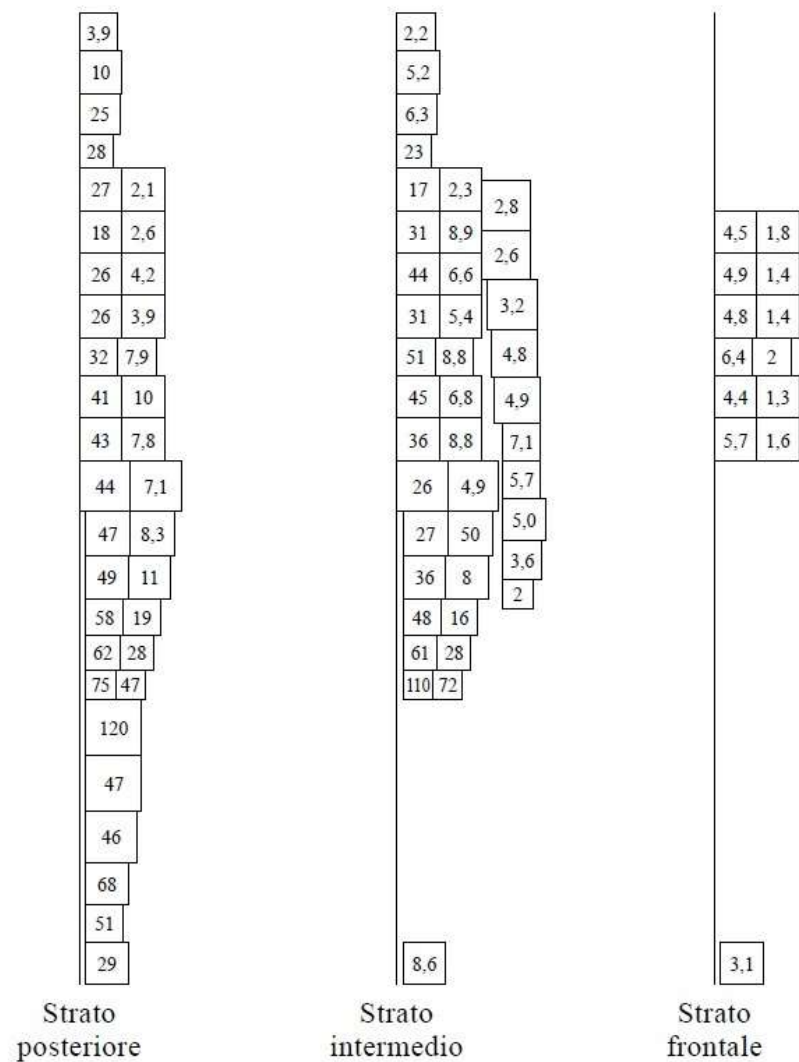
I modelli numerici permettono invece di superare le limitazioni sopra elencate, a spese però di un elevato sforzo computazionale.

Fra le tecniche numeriche di risoluzione del problema elettromagnetico ai fini della valutazione del SAR, figurano:

- Il «metodo dei momenti» (MoM) detto anche «metodo a blocchetti»
- Il «metodo alle differenze finite nel dominio del tempo» (FDTD)

Nel metodo dei momenti il corpo umano viene scomposto in blocchetti in cui si assumono costanti σ , ϵ ed il valore di campo elettrico interno che è una quantità incognita. Il campo elettrico interno è legato a quello esterno (noto) da una relazione integrale piuttosto complessa che limita il numero massimo di blocchetti utilizzabili.

Stima del SAR indotto - il modello a blocchetti

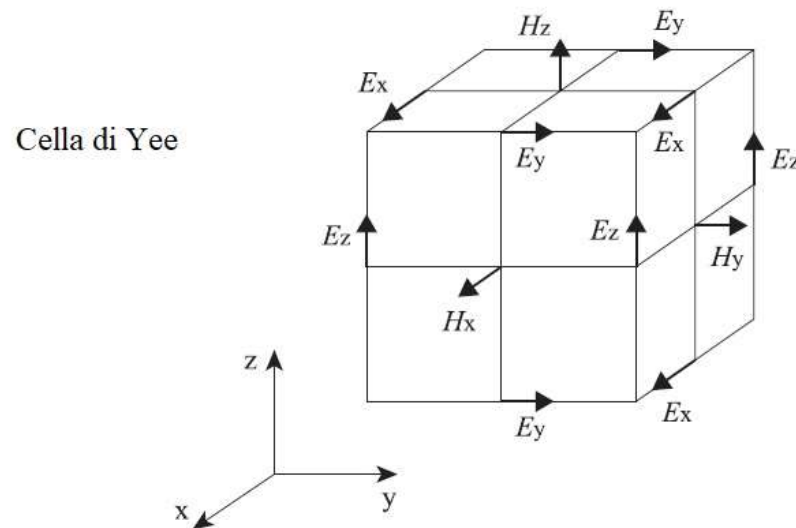


Modello non omogeneo (180 celle) di un uomo medio.
SAR locale in mW/Kg

Stima del SAR indotto – il metodo FDTD

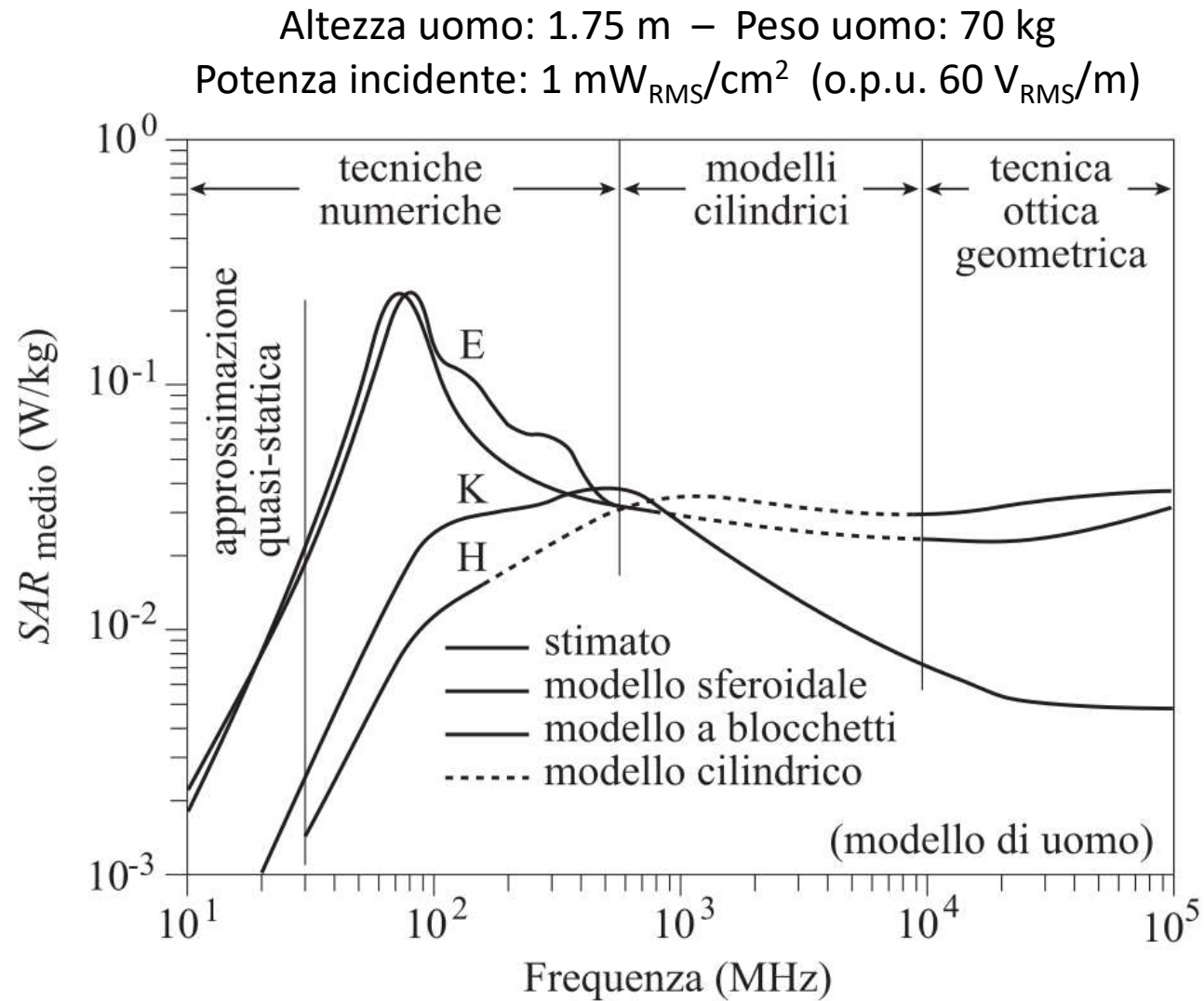
Nel metodo FDTD le equazioni di Maxwell vengono discretizzate direttamente nel tempo e nello spazio.

Anche in questo caso il corpo umano viene suddiviso in celle elementari (dette di Yee), ma poiché nella formulazione si procede per «via iterativa» senza la necessità di dovere risolvere complesse equazioni integrali, il numero di blocchetti può essere elevatissimo.



Geometria di una cella per il calcolo FDTD.

Stima del SAR indotto



Il picco del SAR intorno a 100 MHz è di notevole importanza pratica.

L'uomo come antenna

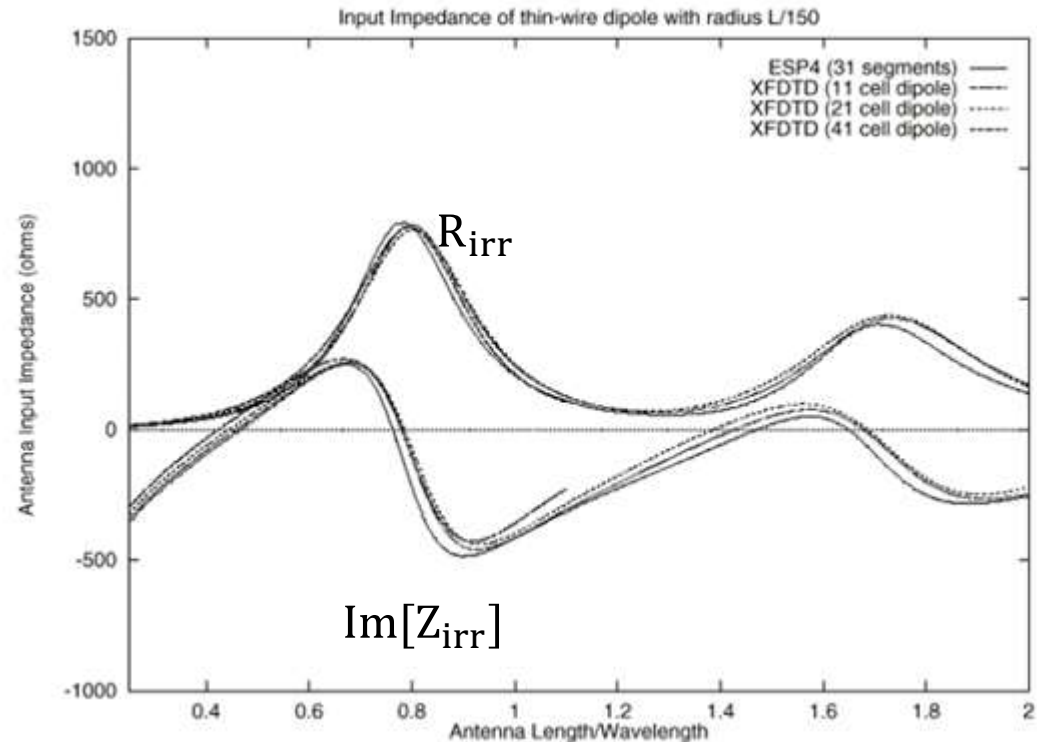
Potenza attiva irradiata

$$P_{\text{irr}} = \frac{1}{2} R_{\text{irr}} I_0^2$$

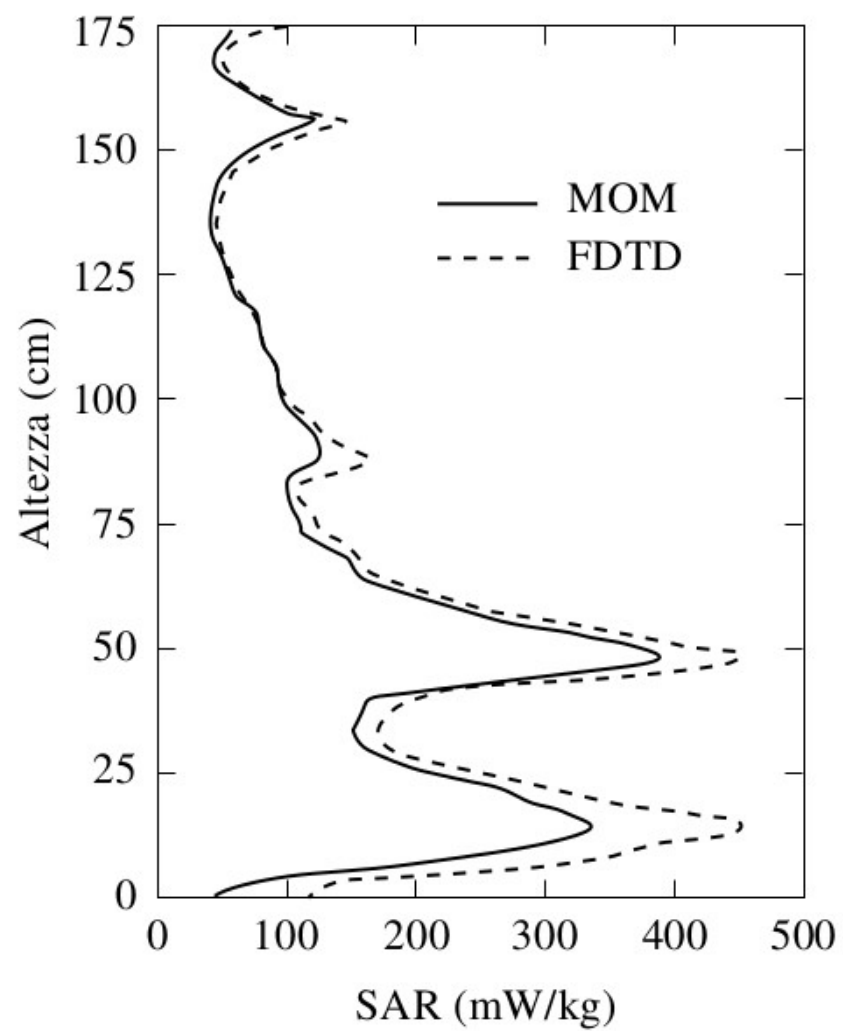
Il picco della resistenza di radiazione a circa 0.8 indica una "risonanza" dell'antenna; per la reciprocità a questa corrisponde una aumentata capacità di ricezione.

$$\frac{L}{\lambda} \approx 0.8 \Rightarrow f_{\text{ris}} \approx \frac{0.8 c}{L}$$

Un essere umano di altezza A in piedi sul terreno si "comporta" elettromagneticamente come un'antenna di lunghezza $L = 2A$. Assumendo altezze tra 1.6 e 1.8 m si trovano frequenze di risonanza tra circa 65 e 75 MHz.



SAR localizzato



Patologia da radiofrequenza e microonde

E' importante comprendere fin dall'inizio il significato dei termini seguenti:

- Interazione
- Effetto biologico
- Danno

Interazione: ogni tessuto biologico sottoposto ad un campo EM interagisce necessariamente con esso (questo però non significa che si abbia come conseguenza un effetto biologico apprezzabile)

Effetto biologico: si intende la presenza di variazioni morfologiche e/o funzionali a carico di tessuti, organi, sistema biologico completo (il verificarsi di un effetto biologico non significa necessariamente la produzione di un danno alla salute)

Danno: si intende il raggiungimento di una condizione per cui l'effetto supera i limiti di efficacia dei meccanismi di adattamento dell'organismo (il danno poi può essere reversibile o irreversibile)

Effetti biologici



Gli effetti biologici vengono studiati con due approcci fondamentalmente diversi:

Studi sperimentali

Sono effettuati *in vitro* (colture cellulari) o *in vivo* (cavie animali, volontari umani). Sono complessi, pongono problemi etici e non sempre i risultati danno indicazioni chiare e condivise sulle possibili conseguenze sulla salute umana (alcuni modelli animali non sono considerati validi).

In generale, per gli effetti conclamati sono noti i meccanismi fisici.

Epidemiologia

Studi epidemiologici

Si tratta di studi statistici sulla salute della popolazione (umana). In quanto tali, gli studi epidemiologici individuano una correlazione tra due fenomeni. In generale

la correlazione non è (necessariamente) causalità

a meno che non sia già noto (per altri studi) un meccanismo di causa/effetto.

Essendo studi statistici, sono poco significativi se il campione studiato è piccolo; d'altra parte, se il campione è grande può essere difficile controllare tutti i fattori/parametri del problema.

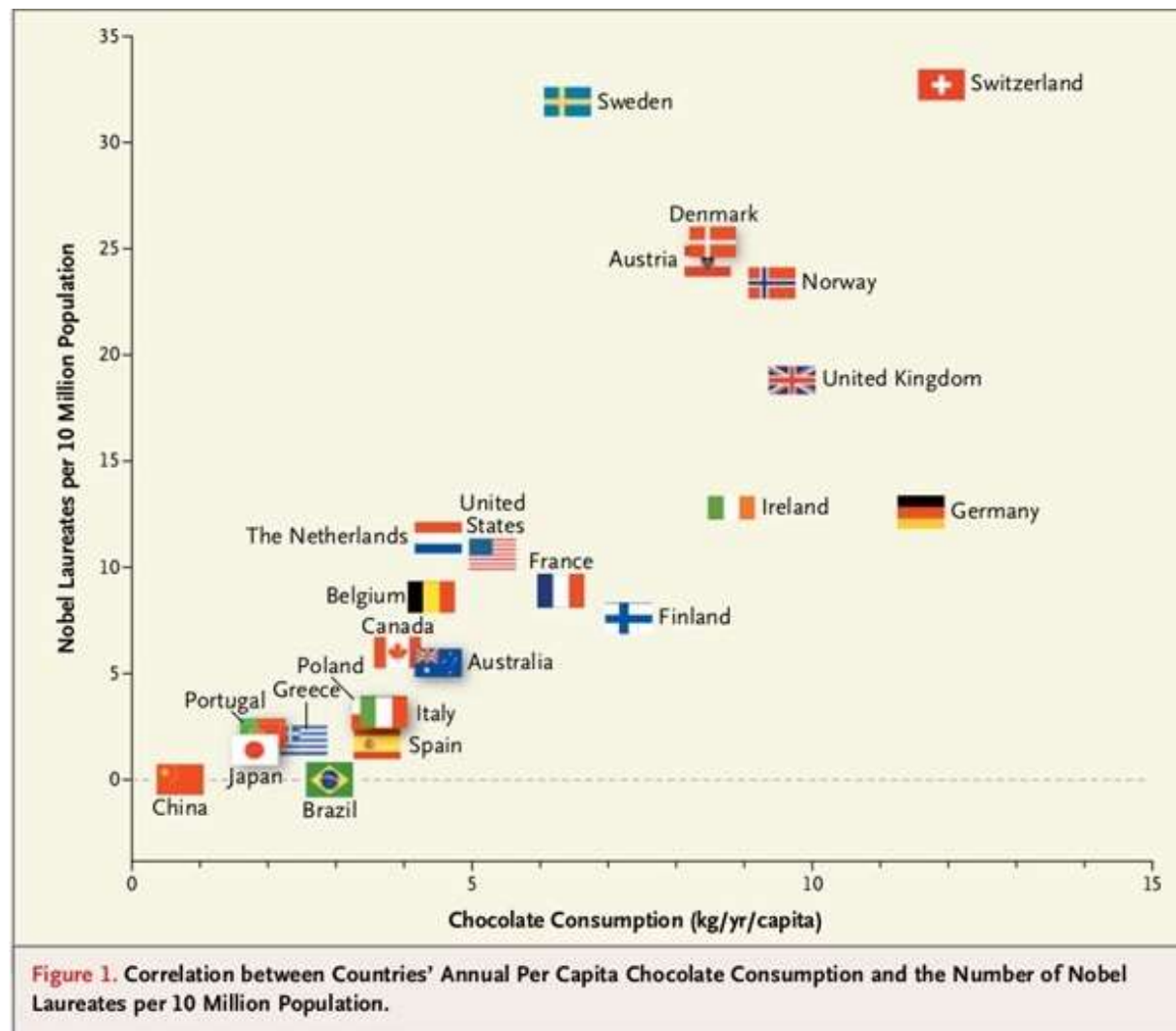
Gli studi epidemiologici possono essere compromessi da fattori confondenti, ovvero fattori non noti che possono avere influenzato i risultati.

Tuttavia, se ben eseguiti, forniscono informazioni utili sulla salute della popolazione.

«There are three kinds of lies; there are lies, damned lies and statistics.»

Mark Twain (?)

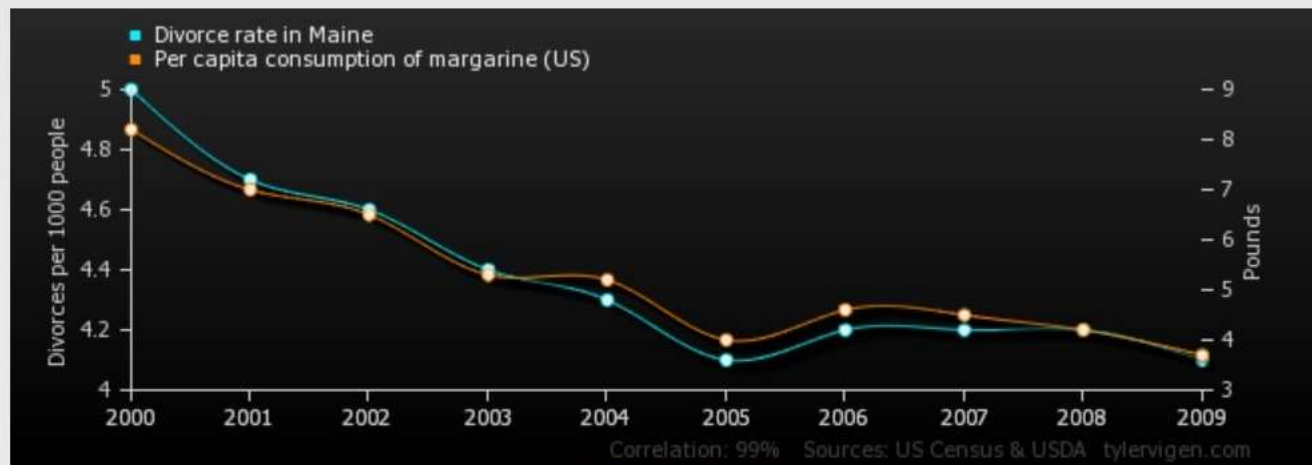
Correlazione non è causalità



F. H. Messerli, "Chocolate Consumption, Cognitive Function, and Nobel Laureates," pubblicato nella rubrica "Occasional Notes" del New England Journal of Medicine (vol. 367, pp. 1562–1564, 2012).

Correlazione non è causalità

Divorce rate in Maine correlates with Per capita consumption of margarine (US)



[Upload this chart to Imgur](#)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Divorce rate in Maine Divorces per 1000 people (US Census)	5	4.7	4.6	4.4	4.3	4.1	4.2	4.2	4.2	4.1
Per capita consumption of margarine (US) Pounds (USDA)	8.2	7	6.5	5.3	5.2	4	4.6	4.5	4.2	3.7
Correlation: 0.992558										

Grafico tratto da "Spurious Correlations"

Correlazione non è causalità

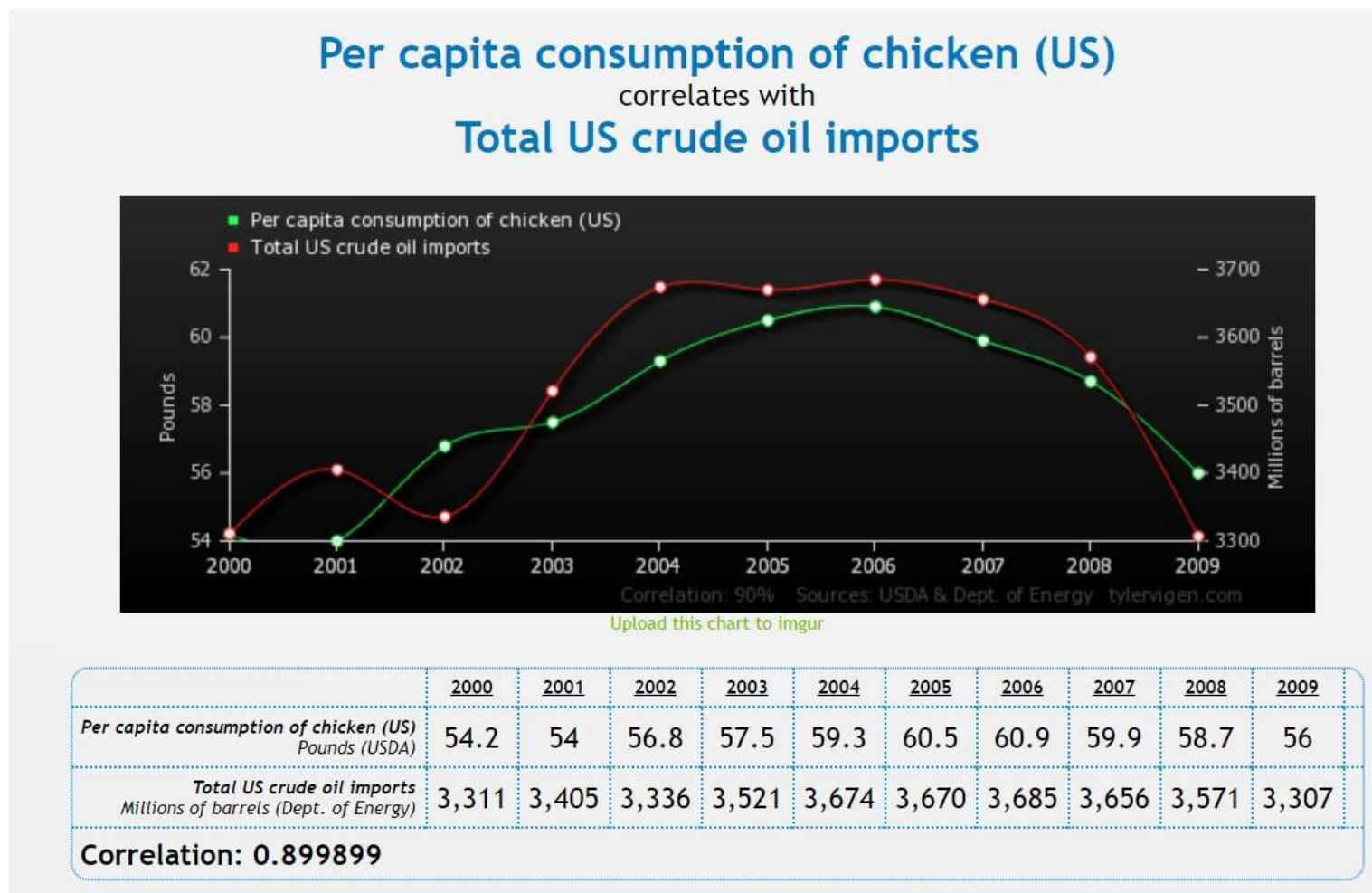


Grafico tratto da "Spurious Correlations"

Comunicare il rischio

- Se mangiate 50 g al giorno del cibo A per tutta la vita, il rischio di contrarre il cancro al colon-retto aumenta circa dello 0.8%.
- Se non mangiate mai il cibo B la probabilità di contrarre il cancro al colon-retto nell'arco della vita è *circa* del 4.5%, se invece ne mangiate 50 g per tutta la vita la probabilità diventa *circa* del 5.3%.
- Se ogni giorno mangiate 50 g del cibo C il rischio relativo di contrarre il cancro al colon-retto aumenta del 18%.

Qual è il cibo più pericoloso?

I cibi A, B e C sono la stessa cosa, ovvero carni lavorate (salumi, insaccati, ecc.), ed i dati forniti indicano lo stesso risultato epidemiologico!

I dati relativi al cibo C sono tratti da IARC (V. Bouvard, et al.) "Carcinogenicity of consumption of red and processed meat," The Lancet Oncology, vol. 16, pp. 1599–1600, 2015. Il rischio del 4.5% dato per il cibo B è stimato (per eccesso) come media (tra soggetti maschi e soggetti femmine) del rischio di contrarre il cancro entro i 75 anni per la popolazione italiana ed indipendentemente dalle abitudini alimentari (ASSR, Istituto Superiore della Sanità, "Linee guida sul cancro al colon-retto", 2002); il valore del 5.3% è ottenuto come incremento del 18%. L'aumento dello 0.8% dato per il cibo A è calcolato come differenza tra i rischi del cibo B.

Misurare il «rischio»

	Malati	Non Malati
Esposti	a	b
Non Esposti	c	d

$$\text{Rischio assoluto} = \frac{a}{a + b}$$

$$\text{Odds} = \frac{a}{b}$$

$$\text{Rischio relativo (RR)} = \frac{\frac{a}{a + b}}{\frac{c}{c + d}}$$

$$\text{Odds Ratio (OR)} = \frac{a/b}{c/d}$$

- $RR > 1$ indica che l'esposizione aumenta statisticamente la probabilità di contrarre la malattia; la correlazione è considerata statisticamente significativa se maggiore di 2 – 3 (per il fumo di sigaretta ed il cancro ai polmoni è $RR \approx 17$).
- RR tende a OR per valori piccoli dei rischi assoluti.
- **Intervallo di confidenza** (CI, confidence interval) è un intervallo all'interno del quale ricade con una certa probabilità (solitamente 95%) la stima del parametro.

Esempio

Nel dicembre 2015, a valle di un'analisi critica della letteratura scientifica disponibile, l'IARC ha comunicato che:

1. Il rischio relativo di contrarre il cancro al colon-retto aumenta del 17% (95% CI 1.07–1.31) a fronte di un consumo giornaliero per tutta la vita di 100 g di carne rossa.
2. Il rischio relativo di contrarre il cancro al colon-retto aumenta del 18% (95% CI 1.10–1.28) a fronte di un consumo giornaliero per tutta la vita di 50 g di carne lavorata.

In base a questi dati, all'analisi critica della loro qualità e al fatto che per la cancerogenicità delle carni rosse e lavorate sono noti meccanismi plausibili, l'IARC ha catalogato :

- la **carne lavorata come cancerogena per gli uomini** (gruppo 1 tabella IARC)
- la **carne rossa come probabilmente cancerogena per gli uomini** (gruppo 2 tabella IARC).

[IARC (V. Bouvard, et al.) "Carcinogenicity of consumption of red and processed meat," The Lancet Oncology, vol. 16, pp. 1599–1600, 2015]

IARC

International Agency for Research on Cancer



“The International Agency for Research on Cancer (IARC) is the specialized cancer agency of the World Health Organization. The objective of the IARC is to promote international collaboration in cancer research. The Agency is inter-disciplinary, bringing together skills in epidemiology, laboratory sciences and biostatistics to identify the causes of cancer so that preventive measures may be adopted and the burden of disease and associated suffering reduced. A significant feature of the IARC is its expertise in coordinating research across countries and organizations; its independent role as an international organization facilitates this activity.”

L'IARC studia la cancerogenicità di varie sostanze le cataloga in **5 gruppi**.

*“These categories **refer only to the strength of the evidence** that an exposure is carcinogenic and not to the extent of its carcinogenic activity (potency). A classification may change as new information becomes available.”*

[IARC “Preamble to the IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans,” 2015]

Classificazione IARC

Classificazione IARC	Descrizione (sommaria)	Esempi
Gruppo 1. L'agente è cancerogeno per gli umani.	Agenti per i quali vi sono sufficienti evidenze di cancerogenicità negli umani.	Amianto, fumo, benzene, bevande alcoliche, cloruro vinile, papilloma virus (vari tipi), radiazioni ionizzanti, materiali nucleari radioattivi, carne lavorata, radiazione solare (2012) , radiazione UV (2012)
Gruppo 2A. L'agente è probabilmente cancerogeno per gli umani.	Agenti per i quali vi sono limitate evidenze di cancerogenicità negli umani e sufficienti evidenze di cancerogenicità negli animali; oppure per i quali vi sono inadeguate evidenze di cancerogenicità negli umani e sufficienti evidenze di cancerogenicità negli animali.	DDT, tetrafluoroetilene (TFE), papilloma virus (tipo 68), carne rossa
Gruppo 2B. L'agente è possibilmente cancerogeno per gli umani.	Agenti per i quali vi sono limitate evidenze di cancerogenicità negli umani e meno che sufficienti evidenze di cancerogenicità negli animali; oppure per i quali vi sono inadeguate evidenze di cancerogenicità negli umani e sufficienti evidenze di cancerogenicità negli animali.	Caffè, isoprene, naftalina, campi elettromagnetici a radiofrequenza (2011) , campi magnetici a bassissima frequenza (2002)
Gruppo 3. L'agente non è classificabile in merito alla sua cancerogenicità per gli umani.	Agenti per i quali vi sono inadeguate evidenze di cancerogenicità negli umani e inadeguate o limitate evidenze di cancerogenicità negli animali; oppure per i quali le evidenze di cancerogenicità sono inadeguate negli umani ma sufficienti negli animali, però ci sono forti evidenze che il meccanismo di cancerogenicità non si applica agli umani). Agenti che non rientrano nelle altre categorie.	Lana di vetro, paracetamolo, saccarina, solfiti, campi elettrici a bassissima frequenza, campi magnetici ed elettrici statici (2002)
Gruppo 4. L'agente è probabilmente non cancerogeno per gli umani.	Agenti per i quali vi sono evidenze scientifiche di non-cancerogenicità negli umani e negli animali.	Caprolattame (l'unico in questa categoria) recentemente spostato nel Gruppo 3

Effetti fisici da esposizione ai campi statici

- I **campi elettrici** statici hanno l'unico effetto di indurre una distribuzione superficiale di carica (solitamente percepita attraverso i peli).
- I **campi magnetici** statici interagiscono attraverso i seguenti meccanismi:
 - **Induzione magnetica** (forza di Lorentz su elettroliti in movimento, campi elettrici e correnti indotte da movimento del corpo)
 - **Effetti magneto-meccanici** (orientamento e traslazione di molecole)
 - Interazioni con lo **spin elettronico** ("*radical pair mechanism*")

IARC: Cancerogenicità dei campi ELF (3–3000 Hz)

- Per quanto riguarda i **campi magnetici ed elettrici statici**, l'IARC ritiene che i dati disponibili non siano sufficienti (in numero e/o in qualità) a trarre conclusioni sulla cancerogenicità (gruppo 3).
- Stessa conclusione per gli stessi motivi è stata raggiunta per i **campi elettrici ELF** (gruppo 3).
- Diversamente, per quanto riguarda l'esposizione a **campi magnetici ELF**, l'IARC ha preso in considerazione dei lavori che hanno messo in relazione la leucemia infantile, con rischio relativo 2 (1.7), all'esposizioni a campi magnetici superiori a 0.4 (0.3) μT .
- L'IARC ritiene che la relazione osservata non sia dovuta al caso, tuttavia ritiene che possa essere spiegata da una combinazione di "bias" di selezione, fattori confondenti e casualità. Conclude perciò che l'evidenza sia "limitata" ed inserisce i campi magnetici ELF nel gruppo 2B.
- Relazioni tra i campi statici e ELF ed altri tipi di tumore sono considerate inadeguate.

IARC: Cancerogenicità dei campi RF (30 kHz – 3 GHz)

Considerazioni generali

Sono state individuate 3 categorie di esposizione umana ai campi RF:

1. Sorgenti "ambientali", come stazioni radio-base e ripetitori radio e TV.
2. Sorgenti "occupazionali", come radar, riscaldatori a induzione, ecc.
3. Uso di dispositivi personali portatili, come cellulari, telefoni cordless, dispositivi Bluetooth.

IARC: Cancerogenicità dei campi RF (30 kHz – 3 GHz)

Considerazioni generali

- La popolazione in generale riceve la maggiore esposizione dall'uso di dispositivi portatili (cellulari, ecc.); la maggior parte di energia RF è depositata nella testa.
- A causa della minore distanza tra la sorgente e il cervello ed alla maggiore conducibilità dei tessuti rispetto agli adulti, nei bambini l'energia RF depositata è fino al doppio nel cervello e fino a 10 volte nel midollo osseo della scatola cranica.
- Si stima che l'esposizione della testa all'emissione di antenne radio-base e ripetitori radio e TV sia diversi ordini di grandezza inferiore a quella dovuta ai GSM. Il DECT irradia circa 5 volte meno dei GSM. Gli UMTS (3G) irradiano circa 200 volte meno dei GSM, i dispositivi LTE (4G) usano livelli di potenza comparabili al 3G.
- Uno dei lavori sul quale si è maggiormente basata l'IARC (INTERPHONE) ha preso in considerazione l'uso dei GSM (perché i 3G non erano ancora diffusi).
- Il riscaldamento dei tessuti è il meccanismo più consolidato di effetto dei campi RF sui tessuti.
- E' possibile ("*it is likely*") che vi siano altri meccanismi non ancora scoperti.
- L'uso di sperimentazione animale è critica (forma, dimensioni, modalità di esposizione).

IARC: Cancerogenicità dei campi RF (30 kHz – 3 GHz)

Esposizione ai dispositivi portatili

- Gli studi epidemiologici spesso si sono basati su "auto-valutazioni" degli intervistati, quindi sono ritenuti soggetti a bias.
- Uno studio di coorte danese che ha considerato l'intera popolazione nazionale (con 257 casi di glioma tra gli "esposti"), mettendo in relazione il rischio relativo di glioma al fatto di aver sottoscritto un contratto di telefonia mobile. Lo studio non ha trovato rischio in eccesso, ma l'IARC ritiene che il fatto di avere un contratto non sia una misura attendibile dell'esposizione.
- Lo studio **INTERPHONE** (1990 e 2000) ha analizzato il rischio di glioma in relazione all'uso del telefono cellulare (GSM). Lo studio ha incluso 2708 casi di glioma e 2972 "controlli" (con percentuali di partecipazione del 64% e 53% rispettivamente).

Uso cumulativo (ore)	OR	CI 95%
< 1640	< 1	
> 1640	1.4	1.03 – 1.89

IARC: Cancerogenicità dei campi RF (30 kHz – 3 GHz)

Esposizione ai dispositivi portatili

- Uno studio svedese (2011) ha analizzato il rischio di glioma in relazione all'uso del telefono cellulare e cordless. Lo studio ha incluso 1148 casi di glioma e 2438 "controlli". Lo studio ha stimato

Uso cumulativo (ore)	OR	CI 95%
1 – 1000	1.2	0.98 – 1.4
1001 – 2000	1.5	1.1 – 2.1
>2000	2.5	1.8 – 3.5

- Inoltre:
 - Si hanno risultati analoghi per il rischio di neuroma acustico.
 - Si hanno indicazioni di *non-aumento* del rischio per il meningioma.
 - Si hanno evidenze insufficienti per la leucemia.

IARC: Cancerogenicità dei campi RF (30 kHz – 3 GHz)

Esposizione alle sorgenti ambientali

- Studi sull'esposizione ambientale hanno usato la distanza dalla sorgente come misura dell'esposizione, ma questa non è necessariamente correlata con l'esposizione.
- Nel loro insieme gli studi non suggeriscono una associazione positiva tra l'esposizione RF ambientale e i tumori al cervello e la leucemia.

Esposizione occupazionale

- Non ci sono chiare indicazioni di associazione tra l'esposizione occupazionale ed il rischio di tumori al cervello.
- Ci sono deboli indicazioni di un possibile aumento del rischio di leucemia, ma i dati sono di difficile interpretazione.

IARC: Cancerogenicità dei campi RF (30 kHz – 3 GHz)

Conclusioni

- Lo studio INTERPHONE e lo studio svedese hanno evidenziato una associazione tra glioma e neuroma acustico e l'uso di cellulari e cordless.
- Tuttavia gli studi non sono scevri da bias.
- Inoltre le conclusioni dei due studi sono in parte inconsistenti.
- Una minoranza dei membri del "working group" ha osservato la mancanza di un aumento di incidenza dei tumori al cervello in risposta all'aumento della diffusione ed uso dei cellulari.
- L'IARC ritiene che vi siano *limitate evidenze* di associazione tra esposizione ai campi RF e glioma e neuroma acustico (gruppo 2B).

Cancerogenicità dei campi RF (30 kHz – 3 GHz)

Altre osservazioni (non dell'IARC)

- Il rischio di contrarre un tumore al cervello nel corso della vita è circa dello 0.70%
[NIH, SEER Cancer Statistics Review, 1975-2012]
- Uno studio ha associato l'allattamento al seno per un periodo cumulativo maggiore di 18 mesi ad un OR di glioma di 1.8 (95% CI, 1.1-2.9)
[K. Huang et al., "Reproductive Factors and Risk of Glioma in Women," Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev., vol. 13, pp. 1583–1588, Oct. 2004]
- I produttori di cellulari hanno interessi "economici" a ridurre l'emissione dei cellulari, perché ciò garantisce una maggiore durata della batteria.
- I gestori di rete hanno interessi "economici" a diminuire le dimensioni delle celle per aumentare il numero di utenti gestibili; questo però richiede necessariamente di abbassare la potenza irradiata dalle stazioni radio base.

ISS - Rapporto ISTISAN 19/11 « Radiazioni a radiofrequenze e tumori: sintesi delle evidenze scientifiche»

- Rapporto molto recente (luglio 2019) dell'Istituto Superiore di Sanità
- Il documento è curato da un gruppo multidisciplinare di esperti di diverse agenzie italiane
- Vengono affrontati tutti gli aspetti rilevanti della tematica, a partire da informazioni di base sull'agente fisico d'interesse, sul Progetto Internazionale Campi Elettromagnetici dell'OMS, sul processo di elaborazione dei limiti di esposizione scientificamente fondati e sulla regolamentazione dell'esposizione in Italia e nel mondo
- Vengono illustrate le caratteristiche e i livelli di emissione delle sorgenti di RF più rilevanti per la popolazione (antenne radiotelevisive, stazioni radio base, Wi-Fi, telefoni cellulari)
- Gli impianti Wi-Fi hanno basse potenze e cicli di lavoro intermittenti cosicché, nelle case e nelle scuole in cui sono presenti, danno luogo a livelli di RF molto inferiori ai limiti ambientali vigenti
- La maggior parte della dose quotidiana di energia a RF deriva dall'uso del cellulare

ISS - Rapporto ISTISAN 19/11

- L'efficienza della rete condiziona l'esposizione degli utenti perché la potenza di emissione del telefonino durante l'uso è tanto minore quanto migliore è la copertura fornita dalla stazione radio base più vicina
- La potenza media per chiamata di un cellulare connesso ad una rete 3G o 4G (UMTS o LTE) è 100-500 volte inferiore a quella di un dispositivo collegato ad una rete 2G (GSM 900-1800 MHz)
- In modalità stand-by, il telefonino emette segnali di brevissima durata ad intervalli di decine di minuti, con un contributo trascurabile all'esposizione personale
- Per quanto riguarda le future reti 5G, al momento non è possibile prevedere i livelli ambientali di RF associati allo sviluppo dell'Internet delle Cose (IOT)
- Le emittenti aumenteranno, ma avranno potenze medie inferiori a quelle degli impianti attuali e la rapida variazione temporale dei segnali dovuta all'irradiazione indirizzabile verso l'utente (*beam-forming*) comporterà un'ulteriore riduzione dei livelli medi di campo nelle aree circostanti

ISS - Rapporto ISTISAN 19/11

- La letteratura scientifica sugli effetti acuti o cronici dell'esposizione a radiofrequenze conta migliaia di studi sperimentali e centinaia di studi epidemiologici
- La relazione tra uso del cellulare e incidenza di tumori nell'area della testa è stata analizzata in numerosi studi epidemiologici pubblicati nel periodo 1999-2017
- La meta-analisi di questi studi non rileva alcun incremento del rischio di neoplasie maligne (glioma) o benigne (meningiomi, neuromi acustici, tumori dell'ipofisi o delle ghiandole salivari) in relazione all'uso prolungato (≥ 10 anni) del cellulare
- L'ipotesi di un'associazione tra RF emesse da antenne radiotelevisive e incidenza di leucemia infantile, suggerita da alcune analisi di correlazione geografica, non appare confermata dagli studi epidemiologici con dati individuali e stime di esposizione basate su modelli geospaziali di propagazione
- Per quanto riguarda gli studi sperimentali su sistemi biologici isolati, la maggioranza degli studi disponibili non evidenzia danni al DNA a seguito dell'esposizione a RF

ISS - Rapporto ISTISAN 19/11

- Nel 2011 le RF sono state classificate dalla IARC tra gli agenti possibilmente cancerogeni in base a limitata evidenza nell'uomo, limitata evidenza negli animali e debole supporto fornito dagli studi sui meccanismi
- Pertanto, la IARC ha ritenuto utile ribadire che le RF sono classificate nel gruppo 2B perché c'è un'evidenza tutt'altro che conclusiva che l'esposizione possa causare il cancro negli esseri umani o negli animali
- Al termine del report è presente la frase «L'OMS sta attualmente preparando un aggiornamento della valutazione di tutti i rischi per la salute da esposizione a radiofrequenze»
- Nell'ultimo Rapporto Mondiale sul Cancro (pubblicato il 4 febbraio 2020) dall'Organizzazione Mondiale della Sanità figura: *«Most of the epidemiological research does not support an association between mobile phone use and tumours occurring in the head, which is the body part with the highest exposure to radiofrequency electromagnetic fields. In studies reporting positive associations, it is difficult to exclude various forms of bias such as recall bias in retrospective exposure assessment.»*

<http://publications.iarc.fr/Non-Series-Publications/World-Cancer-Reports/World-Cancer-Report-Cancer-Research-For-Cancer-Prevention-2020>

Covid-19 – 5G – Fake News

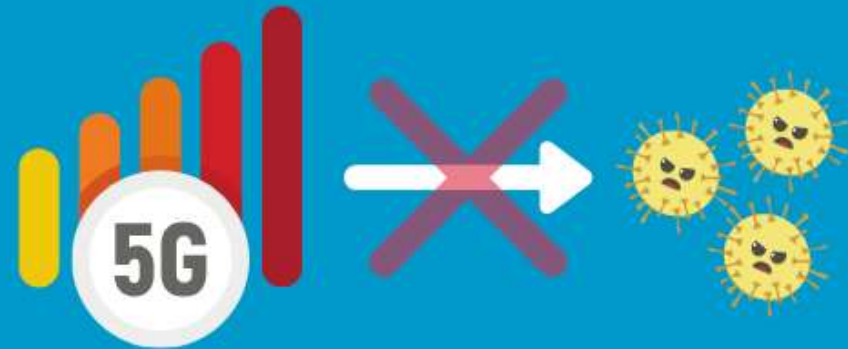
Viruses cannot travel on radio waves/mobile networks.

COVID-19 is spreading in many countries that do not have 5G mobile networks.

COVID-19 is spread through respiratory droplets when an infected person coughs, sneezes or speaks.

People can also be infected by touching a contaminated surface and then their eyes, mouth or nose.

FACT:
5G mobile networks
DO NOT spread COVID-19



Effetti fisici da esposizione ai campi RF

Sono solo due i meccanismi fisici di interazione tra i campi RF ed i tessuti biologici, sui quali vi è ampio consenso:

1. **Induzione di corrente**
2. **Effetti termici**

Il problema fondamentale è come mettere in relazione gli **effetti interni** (difficilmente misurabili) con il **campo EM esterno** (facilmente misurabile).

In generale, dato un certo campo esterno, quello interno può dipendere da molti fattori, quali:

- Distanza dalla sorgente
- Rapporto tra la dimensione del corpo e la lunghezza d'onda
- Forma e posizione del corpo
- Proprietà EM dei tessuti (organi, età, specie animale, ecc.)
- ecc.

ICNIRP

Diversi enti hanno definito linee guida in merito all'esposizione ai campi EM, tra questi vi è l'ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*). Fondata nel 1992, l'ICNIRP è finanziata da enti pubblici nazionali ed internazionali.

"STATUS. *ICNIRP is an association registered in Munich, Germany, as a non-profit organization with a scientific mission. It is formally recognized as an official collaborating non-governmental organization (NGO) by the World Health Organization (WHO) and the International Labour Organization (ILO). ICNIRP is consulted by the European Commission."*

L'ICNIRP ha pubblicato diverse linee guida



Anno	Campo	Frequenza	Commento
1998	EM	0 – 300 GHz	Prime linee guida pubblicate sull'argomento. Per la banda 100 kHz – 300 GHz sono ancora in vigore
2009	M	0 Hz	Sostituiscono le conclusioni del 1998 per i campi magnetici statici
2010	EM	1 Hz – 100 kHz	Sostituiscono le conclusioni del 1998 per i campi ELF
2013	EM incoerente	380 nm – 1 mm	Limiti di sicurezza per esposizione di occhi e pelle
2013	EM coerente	180 nm – 1 µm	Limiti di sicurezza per esposizione di occhi e pelle
2014	M	0 Hz	Integrano le linee guida del 2009 in merito al movimento dei corpi nei campi magnetici statici.

ICNIRP

Inoltre ha pubblicato diversi pareri e revisioni

Anno	Campo	Frequenza	Commento
2009	EM	Telefoni cellulari	Review degli studi sulla cancerogenicità dei campi RF. Si conclude che gli studi non suggeriscono un nesso causale tra l'uso del cellulare ed il rischio di insorgenza di tumori al cervello.
2009	EM	100 kHz – 300 GHz	Vengono esplicitamente confermate le linee guida del 1998 per la banda di frequenze considerata.
2010	EM	1 Hz – 100 kHz	Commento sul rischio di leucemia infantile da esposizione a campi ELF: <i>"ICNIRP is well aware that these epidemiological results have triggered concern within the population in many countries. It is ICNIRP's view, that this concern is best addressed within national risk management framework. Risk management in general is based on many different aspects, including social, economic, and political issues. ICNIRP in this context provides scientifically based advice only."</i>
2011	EM	Telefoni cellulari	Commento allo studio INTERPHONE sulla cancerogenicità dell'esposizione ai campi RF. Si conclude che, benché vi siano delle incertezze, le evidenze siano sempre più contrarie all'ipotesi che l'uso cellulari possa causare tumori al cervello negli adulti. Per i bambini si ritiene che manchino dati.

ICNIRP

- ICNIRP pubblica linee guida e parere basati su evidenze scientifiche.
- I governi sono liberi di seguirle o ignorarle.
- Le linee guida di ICNIRP **non considerano**:
 - i danni che potrebbero essere generati da fattori non biologici, ad esempio dall'interazione con dispositivi medici (clip chirurgiche, pace maker, ecc.).
 - l'esposizione a scopi diagnostici e terapeutici.
- Viene fatta distinzione tra
 - **Esposizione occupazionale**: riguarda adulti generalmente esposti in condizioni note e per le quali sono preparati e consapevoli del rischio e delle necessarie precauzioni.
 - **Esposizione della popolazione generale**: riguarda individui di ogni età e diverso stato di salute che in generale non sono consapevoli dell'esposizione ai campi EM e non possono ragionevolmente prendere precauzioni.

ICNIRP

Restrizioni di base

Sono restrizioni basate direttamente su *effetti sanitari confermati*, vale a dire riscaldamento dei tessuti ed interferenza con il sistema nervoso centrale e periferico.

Frequenza	Grandezza fisica	Motivo
0 Hz	Campo magnetico (A/m)	Prevenire vari effetti biologici conclamati.
1 Hz – 100 kHz	Campo elettrico interno al tessuto (V/m)	Per prevenire interferenze con il sistema nervoso centrale (CNS) e periferico (PNS).
100 kHz – 10 MHz	Densità di corrente indotta nel tessuto (A/m ²)	Per prevenire interferenza con il sistema nervoso centrale (CNS) e periferico (PNS).
100 kHz – 10 GHz	SAR (W/kg)	Per prevenire riscaldamento eccessivo del corpo e sue parti.
10 -300 GHz	Densità di potenza incidente (W/m ²)	Per prevenire riscaldamento eccessivo del tessuto superficiale.

ICNIRP

Livelli di riferimento

- Sono livelli forniti per valutare l'esposizione in maniera più pratica.
- Sono derivati dalle restrizioni di base mediante misure e/o simulazioni computazionali.
- I livelli di riferimento sono per definizione grandezze **mediate sull'intero corpo**, ma comunque le restrizioni di base locali non devono essere superate
- I valori sono calcolati nell'ipotesi che il campo esterno sia un'**onda piana uniforme**.
- Le grandezze di riferimento sono:
 - Campo elettrico, E
 - Campo magnetico, H
 - Campo induzione magnetica, B
 - Densità di potenza, S

ICNIRP: restrizioni di base 0 Hz – 100 kHz (2009-2010)

Table 2. Limits of exposure^a to static magnetic fields.

Exposure characteristics	Magnetic flux density
Occupational ^b	
Exposure of head and of trunk	2 T
Exposure of limbs ^c	8 T
General public ^d	
Exposure of any part of the body	400 mT

^a ICNIRP recommends that these limits should be viewed operationally as spatial peak exposure limits.

^b For specific work applications, exposure up to 8 T can be justified, if the environment is controlled and appropriate work practices are implemented to control movement-induced effects.

^c Not enough information is available on which to base exposure limits beyond 8 T.

^d Because of potential indirect adverse effects, ICNIRP recognizes that practical policies need to be implemented to prevent inadvertent harmful exposure of persons with implanted electronic medical devices and implants containing ferromagnetic material, and dangers from flying objects, which can lead to much lower restriction levels such as 0.5 mT.

Campi magnetici statici (2009)

Table 2. Basic restrictions for human exposure to time-varying electric and magnetic fields.

Exposure characteristic	Frequency range	Internal electric field (V m ⁻¹)
Occupational exposure		
CNS tissue of the head	1–10 Hz	0.5/f
	10 Hz–25 Hz	0.05
	25 Hz–400 Hz	$2 \times 10^{-3}f$
	400 Hz–3 kHz	0.8
	3 kHz–10 MHz	$2.7 \times 10^{-4}f$
All tissues of head and body	1 Hz–3 kHz	0.8
	3 kHz–10 MHz	$2.7 \times 10^{-4}f$
General public exposure		
CNS tissue of the head	1–10 Hz	0.1/f
	10 Hz–25 Hz	0.01
	25 Hz–1000 Hz	$4 \times 10^{-4}f$
	1000 Hz–3 kHz	0.4
	3 kHz–10 MHz	$1.35 \times 10^{-4}f$
All tissues of head and body	1 Hz–3 kHz	0.4
	3 kHz–10 MHz	$1.35 \times 10^{-4}f$

Notes:

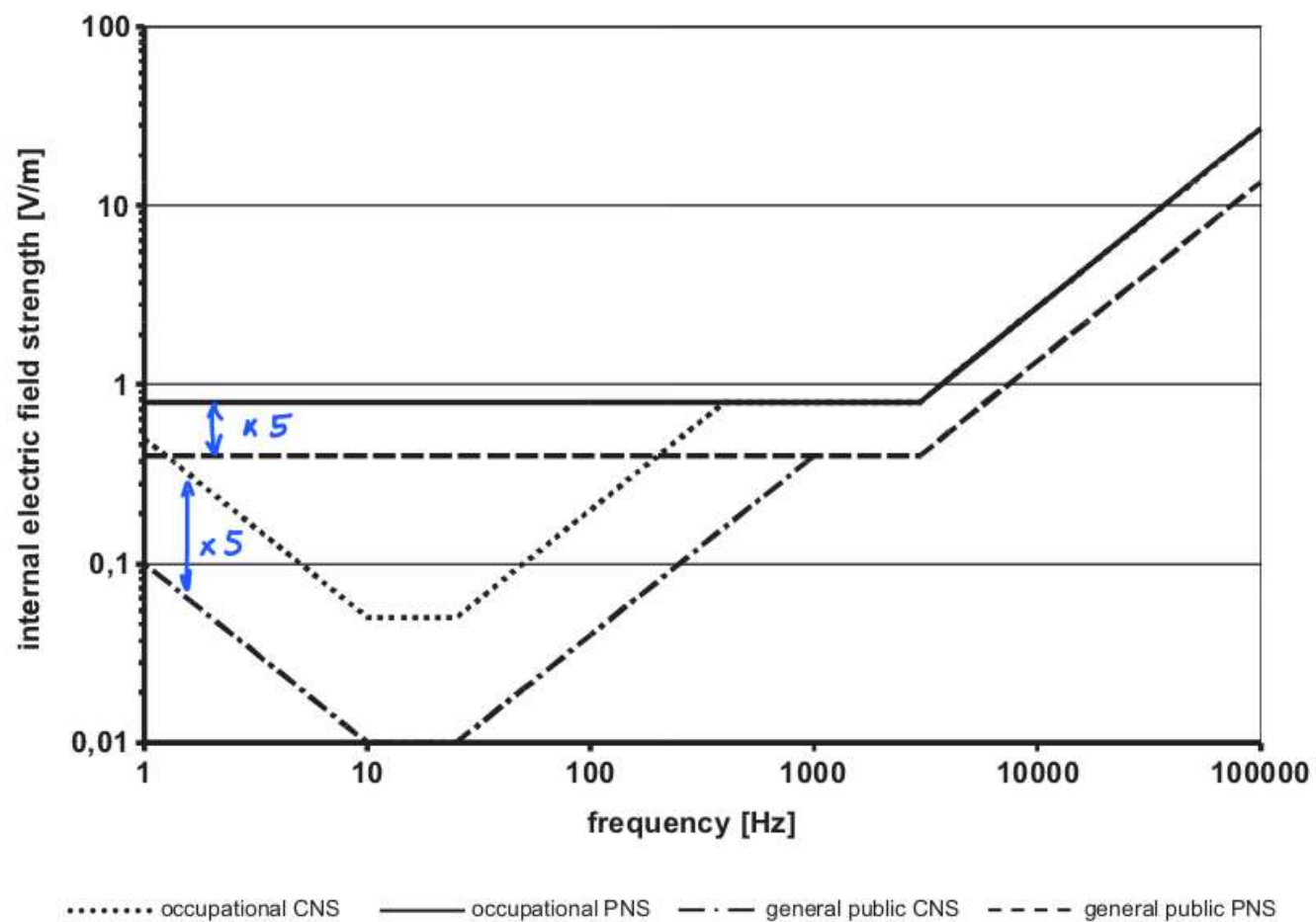
- f is the frequency in Hz.

- All values are rms.

- In the frequency range above 100 kHz, RF specific basic restrictions need to be considered additionally.

Campi ELF (2010)

ICNIRP: restrizioni di base 1 Hz – 100 kHz (2010)



Campi ELF (2010)

ICNIRP: livelli di riferimento 1 Hz – 100 kHz (2010)

Table 3. Reference levels for occupational exposure to time-varying electric and magnetic fields (unperturbed rms values).

Frequency range	E-field strength E (kV m ⁻¹)	Magnetic field strength H (A m ⁻¹)	Magnetic flux density B (T)
1 Hz–8 Hz	20	$1.63 \times 10^5/f^2$	$0.2/f^2$
8 Hz–25 Hz	20	$2 \times 10^4/f$	$2.5 \times 10^{-2}/f$
25 Hz–300 Hz	$5 \times 10^2/f$	8×10^2	1×10^{-3}
300 Hz–3 kHz	$5 \times 10^2/f$	$2.4 \times 10^5/f$	$0.3/f$
3 kHz–10 MHz	1.7×10^{-1}	80	1×10^{-4}

Notes:

- f in Hz.
- See separate sections below for advice on non sinusoidal and multiple frequency exposure.
- To prevent indirect effects especially in high electric fields see chapter on “Protective measures.”
- In the frequency range above 100 kHz, RF specific reference levels need to be considered additionally.

Table 4. Reference levels for general public exposure to time-varying electric and magnetic fields (unperturbed rms values).

Frequency range	E-field strength E (kV m ⁻¹)	Magnetic field strength H (A m ⁻¹)	Magnetic flux density B (T)
1 Hz–8 Hz	5	$3.2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^{-2}/f^2$
8 Hz–25 Hz	5	$4 \times 10^3/f$	$5 \times 10^{-3}/f$
25 Hz–50 Hz	5	1.6×10^2	2×10^{-4}
50 Hz–400 Hz	$2.5 \times 10^2/f$	1.6×10^2	2×10^{-4}
400 Hz–3 kHz	$2.5 \times 10^2/f$	$6.4 \times 10^4/f$	$8 \times 10^{-2}/f$
3 kHz–10 MHz	8.3×10^{-2}	21	2.7×10^{-5}

Notes:

- f in Hz.
- See separate sections below for advice on non sinusoidal and multiple frequency exposure.
- In the frequency range above 100 kHz, RF specific reference levels need to be considered additionally.

ICNIRP: restrizioni di base 100 kHz – 10 GHz (1998)

Table 4. Basic restrictions for time varying electric and magnetic fields for frequencies up to 10 GHz.^a

Exposure characteristics	Frequency range	Current density for head and trunk (mA m ⁻²) (rms)	Whole-body average SAR (W kg ⁻¹)	Localized SAR (head and trunk) (W kg ⁻¹)	Localized SAR (limbs) (W kg ⁻¹)
Occupational exposure	up to 1 Hz	40	—	—	—
	1–4 Hz	40/ <i>f</i>	—	—	—
	4 Hz–1 kHz	10	—	—	—
	1–100 kHz	<i>f</i> /100	—	—	—
	100 kHz–10 MHz	<i>f</i> /100	0.4	10	20
	10 MHz–10 GHz	—	0.4	10	20
General public exposure	up to 1 Hz	8	—	—	—
	1–4 Hz	8/ <i>f</i>	—	—	—
	4 Hz–1 kHz	2	—	—	—
	1–100 kHz	<i>f</i> /500	—	—	—
	100 kHz–10 MHz	<i>f</i> /500	0.08	2	4
	10 MHz–10 GHz	—	0.08	2	4

^a Note:

1. *f* is the frequency in hertz.
2. Because of electrical inhomogeneity of the body, current densities should be averaged over a cross-section of 1 cm² perpendicular to the current direction.
3. For frequencies up to 100 kHz, peak current density values can be obtained by multiplying the rms value by $\sqrt{2}$ (~1.414). For pulses of duration t_p the equivalent frequency to apply in the basic restrictions should be calculated as $f = 1/(2t_p)$.
4. For frequencies up to 100 kHz and for pulsed magnetic fields, the maximum current density associated with the pulses can be calculated from the rise/fall times and the maximum rate of change of magnetic flux density. The induced current density can then be compared with the appropriate basic restriction.
5. All SAR values are to be averaged over any 6-min period.
6. Localized SAR averaging mass is any 10 g of contiguous tissue; the maximum SAR so obtained should be the value used for the estimation of exposure.
7. For pulses of duration t_p the equivalent frequency to apply in the basic restrictions should be calculated as $f = 1/(2t_p)$. Additionally, for pulsed exposures in the frequency range 0.3 to 10 GHz and for localized exposure of the head, in order to limit or avoid auditory effects caused by thermoelastic expansion, an additional basic restriction is recommended. This is that the SA should not exceed 10 mJ kg⁻¹ for workers and 2mJ kg⁻¹ for the general public, averaged over 10 g tissue.

ICNIRP: restrizioni di base 10 – 300 GHz (1998)

Table 5. Basic restrictions for power density for frequencies between 10 and 300 GHz.^a

Exposure characteristics	Power density (W m^{-2})
Occupational exposure	50
General public	10

^a Note:

1. Power densities are to be averaged over any 20 cm^2 of exposed area and any $68/f^{1.05}$ -min period (where f is in GHz) to compensate for progressively shorter penetration depth as the frequency increases.
2. Spatial maximum power densities, averaged over 1 cm^2 , should not exceed 20 times the values above.

ICNIRP: livelli di riferimento 100 kHz – 300 GHz (1998)

Table 6. Reference levels for occupational exposure to time-varying electric and magnetic fields (unperturbed rms values).^a

Frequency range	E-field strength (V m ⁻¹)	H-field strength (A m ⁻¹)	B-field (μT)	Equivalent plane wave power density S_{eq} (W m ⁻²)
up to 1 Hz	—	1.63×10^5	2×10^5	—
1–8 Hz	20,000	$1.63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	—
8–25 Hz	20,000	$2 \times 10^4/f$	$2.5 \times 10^4/f$	—
0.025–0.82 kHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$	—
0.82–65 kHz	610	24.4	30.7	—
0.065–1 MHz	610	$1.6/f$	$2.0/f$	—
1–10 MHz	$610/f$	$1.6/f$	$2.0/f$	—
10–400 MHz	61	0.16	0.2	10
400–2,000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$0.01f^{1/2}$	$f/40$
2–300 GHz	137	0.36	0.45	50

^a Note:

1. f as indicated in the frequency range column.
2. Provided that basic restrictions are met and adverse indirect effects can be excluded, field strength values can be exceeded.
3. For frequencies between 100 kHz and 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , and B^2 are to be averaged over any 6-min period.
4. For peak values at frequencies up to 100 kHz see Table 4, note 3.
5. For peak values at frequencies exceeding 100 kHz see Figs. 1 and 2. Between 100 kHz and 10 MHz, peak values for the field strengths are obtained by interpolation from the 1.5-fold peak at 100 kHz to the 32-fold peak at 10 MHz. For frequencies exceeding 10 MHz it is suggested that the peak equivalent plane wave power density, as averaged over the pulse width, does not exceed 1,000 times the S_{eq} restrictions, or that the field strength does not exceed 32 times the field strength exposure levels given in the table.
6. For frequencies exceeding 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , and B^2 are to be averaged over any $68/f^{1.05}$ -min period (f in GHz).
7. No E-field value is provided for frequencies <1 Hz, which are effectively static electric fields. Electric shock from low impedance sources is prevented by established electrical safety procedures for such equipment.

ICNIRP: livelli di riferimento 100 kHz – 300 GHz (1998)

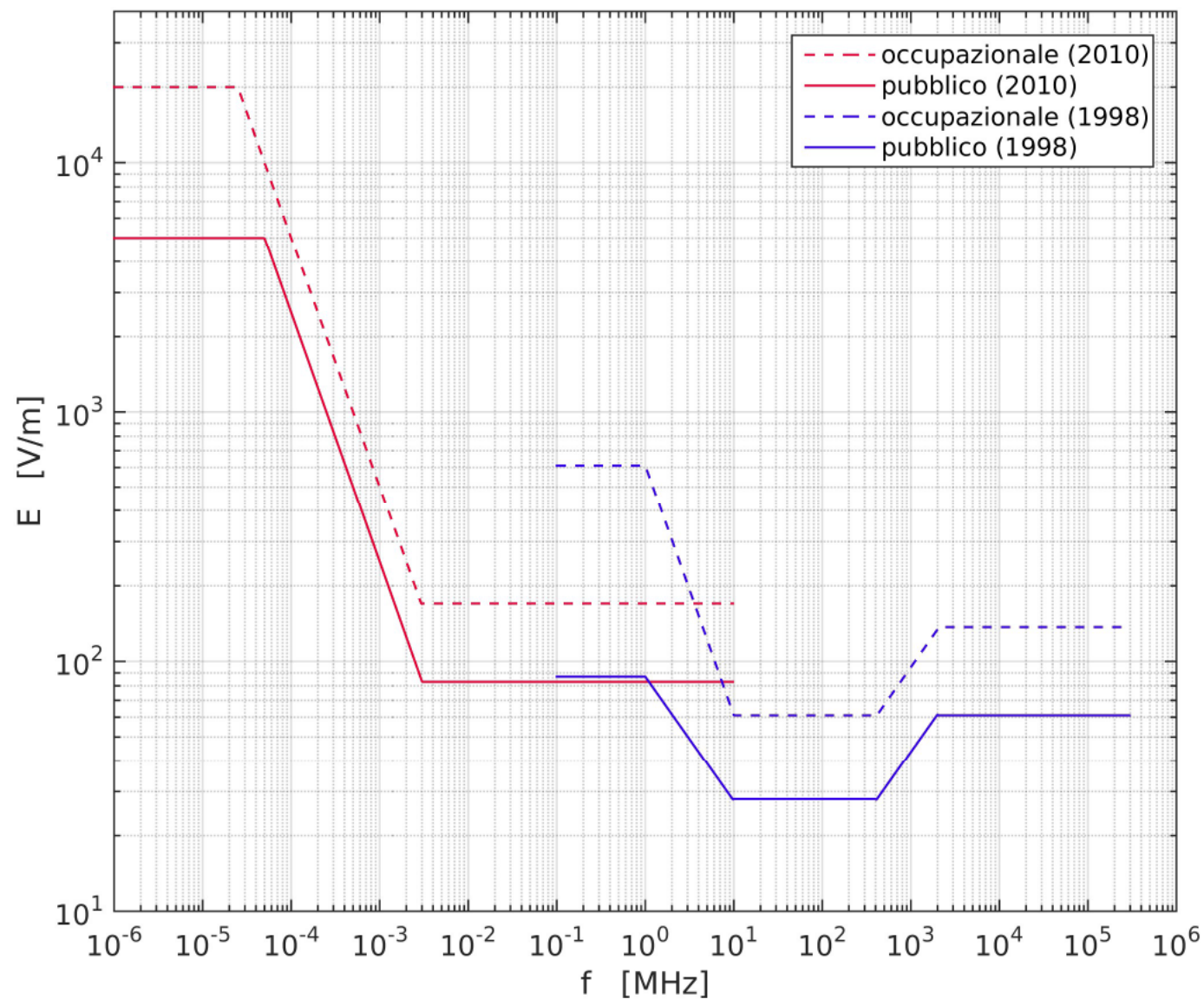
Table 7. Reference levels for general public exposure to time-varying electric and magnetic fields (unperturbed rms values).^a

Frequency range	E-field strength (V m ⁻¹)	H-field strength (A m ⁻¹)	B-field (μT)	Equivalent plane wave power density S_{eq} (W m ⁻²)
up to 1 Hz	—	3.2×10^4	4×10^{-7}	—
1–8 Hz	10,000	$3.2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	—
8–25 Hz	10,000	$4,000/f$	$5,000/f$	—
0.025–0.8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	—
0.8–3 kHz	$250/f$	5	6.25	—
3–150 kHz	87	5	6.25	—
0.15–1 MHz	87	$0.73/f$	$0.92/f$	—
1–10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0.73/f$	$0.92/f$	—
10–400 MHz	28	0.073	0.092	2
400–2,000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$0.0046f^{1/2}$	$f/200$
2–300 GHz	61	0.16	0.20	10

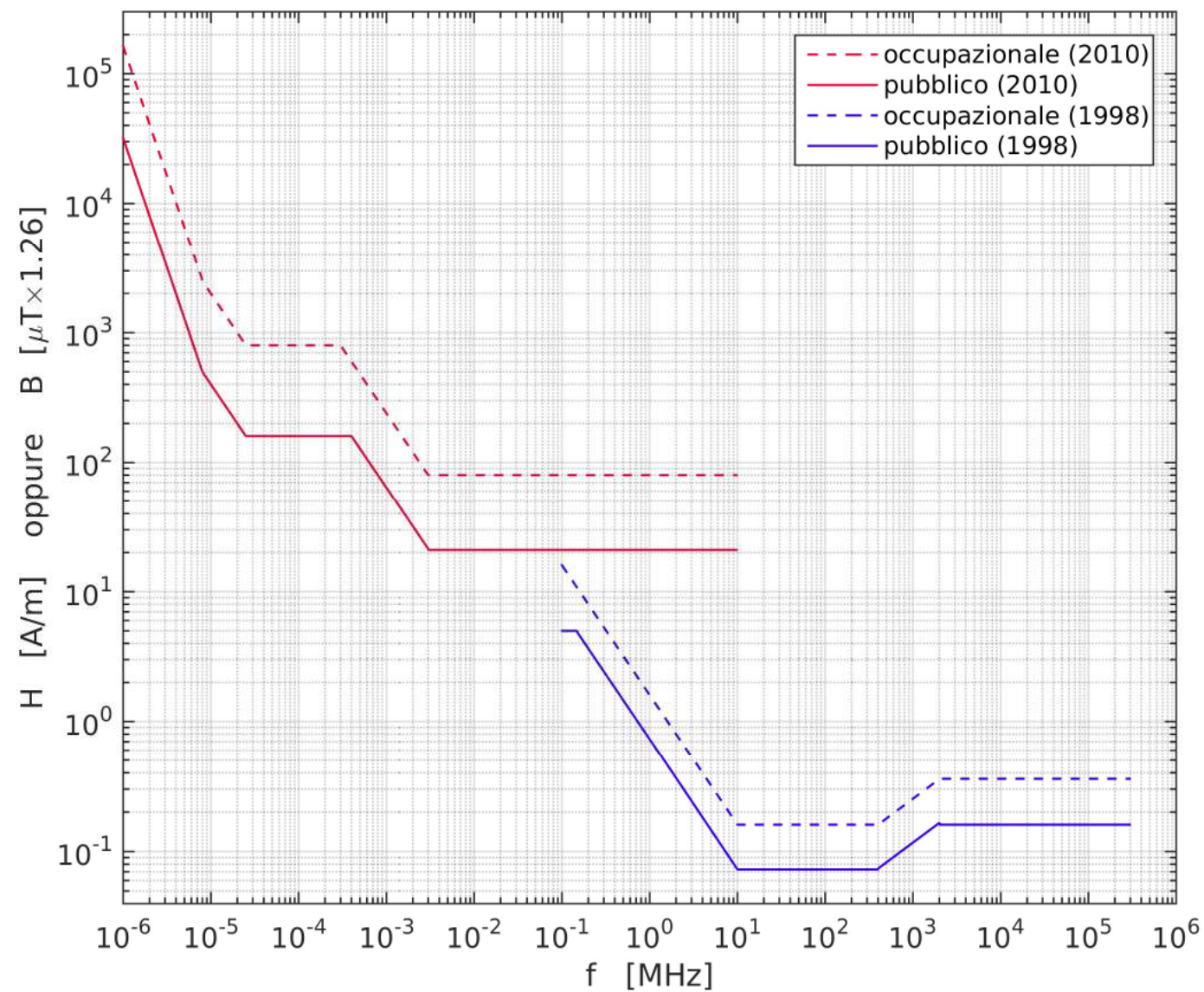
^a Note:

1. f as indicated in the frequency range column.
2. Provided that basic restrictions are met and adverse indirect effects can be excluded, field strength values can be exceeded.
3. For frequencies between 100 kHz and 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , and B^2 are to be averaged over any 6-min period.
4. For peak values at frequencies up to 100 kHz see Table 4, note 3.
5. For peak values at frequencies exceeding 100 kHz see Figs. 1 and 2. Between 100 kHz and 10 MHz, peak values for the field strengths are obtained by interpolation from the 1.5-fold peak at 100 kHz to the 32-fold peak at 10 MHz. For frequencies exceeding 10 MHz it is suggested that the peak equivalent plane wave power density, as averaged over the pulse width does not exceed 1,000 times the S_{eq} restrictions, or that the field strength does not exceed 32 times the field strength exposure levels given in the table.
6. For frequencies exceeding 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , and B^2 are to be averaged over any $68/f^{1.05}$ -min period (f in GHz).
7. No E-field value is provided for frequencies <1 Hz, which are effectively static electric fields. perception of surface electric charges will not occur at field strengths less than 25 kVm⁻¹. Spark discharges causing stress or annoyance should be avoided.

ICNIRP: livelli di riferimento, campo elettrico



ICNIRP: livelli di riferimento, campo magnetico



ICNIRP: campi a più frequenze

Nel caso si debba valutare l'esposizione a campi EM con più frequenze (situazione tipica nelle emissioni RF dove i segnali trasmessi sono costituiti da più canali radio a diverse frequenze portanti), ICNIRP propone che la seguente condizione sulle **restrizioni di base** sia verificata:

$$\sum_{f_i \in \text{RF}} \frac{\text{SAR}(f_i)}{\text{SAR}_L} + \sum_{f_i \in \text{HF}} \frac{S(f_i)}{S_L} \leq 1, \quad \begin{cases} \text{RF} = [100\text{kHz}, 10\text{GHz}] \\ \text{HF} = [10\text{GHz}, 300\text{GHz}] \end{cases}$$

dove S è la densità di potenza e le funzioni con pedice L indicano il valore della restrizione di base.

Condizioni analoghe sono fornite per i **livelli di riferimento**:

$$\sum_{f_i \in B_1} \left(\frac{E(f_i)}{a} \right)^2 + \sum_{f_i \in B_2} \left(\frac{E(f_i)}{E_L(f_i)} \right)^2 \leq 1, \quad \sum_{f_i \in B_1} \left(\frac{H(f_i)}{b} \right)^2 + \sum_{f_i \in B_2} \left(\frac{H(f_i)}{H_L(f_i)} \right)^2 \leq 1$$

dove $B_1 = [100\text{kHz}, 1\text{MHz}]$, $B_2 = [1\text{MHz}, 300\text{GHz}]$, $a = 610/f$ [V/m] e $b = 1.6/f$ [A/m], per l'esposizione occupazionale, $a = 87/f^{1/2}$ [V/m] e $b = 0.73/f$, per l'esposizione della popolazione generale (le frequenze sono in MHz)

La legislazione europea

- La commissione europea è sensibile alla questione dei campi elettromagnetici, alla quale ha dedicato una sezione del suo sito Internet.
https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/en/electromagnetic-fields07/about-electromagnetic-fields.htm.
- Sostanzialmente la politica della UE è indirizzata dalla Raccomandazione del Consiglio 1999/519/EC, che accoglie le indicazioni delle linee guida del 1998 dell'ICNIRP.
- A questa si ispirano una serie di **direttive** e **standard tecnici** che regolamentano l'esposizione ai campi EM e la commercializzazione e messa in opera di dispositivi che emettono campo EM.
- Il CENELEC (Comitato Europeo per la Standardizzazione Elettrotecnica, creato nel 1973 dalla Commissione Europea) produce gli standard tecnici conformi alle leggi europee ai quali devono sottostare produttori e/o distributori per ricevere il marchio CE e quindi commercializzare il prodotto sul suolo europeo.
- Su mandato della Commissione Europea, il SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks) revisiona periodicamente le linee guida dell'ICNIRP. Finora le ha sempre confermate.

La legislazione europea

RACCOMANDAZIONE DEL CONSIGLIO
del 12 luglio 1999
relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz

(1999/519/CE)

Limiti di base per i campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici
(0 Hz-300 GHz)

Gamma di frequenza	Densità di flusso magnetico (mT)	Densità di corrente (mA/m ²) (rms)	SAR mediato sul corpo intero (W/kg)	SAR localizzato (capo e tronco) (W/kg)	SAR localizzato (arti) (W/kg)	Densità di potenza S (W/m ²)
0 Hz	40	—	—	—	—	—
>0-1 Hz	—	8	—	—	—	—
1-4 Hz	—	8/f	—	—	—	—
4-1 000 Hz	—	2	—	—	—	—
1 000 Hz-100 kHz	—	f/500	—	—	—	—
100 kHz-10 MHz	—	f/500	0,08	2	4	—
10 MHz-10 GHz	—	—	0,08	2	4	—
10-300 GHz	—	—	—	—	—	10

La legislazione italiana

La normativa italiana ha sostanzialmente recepito quella europea, abbassandone ulteriormente i livelli per quanto riguarda l'esposizione della popolazione generale.

- Decreto Ministeriale del 10 settembre 1998, n. 381 (DM 381/98).
Attualmente superato .
- Legge quadro 22 febbraio 2001 +
Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2003 (DPCM 8.7.2003)
- Decreto Legislativo n. 257 del 19/11/2007 (DLgs 257/07).
Attualmente superato.
- Legge delega 123 del 3 agosto 2007 (L 123/07) +
Decreto Legislativo n. 81 del 9 aprile 2008 (DLgs 81/08)

DM 381/98

- Si applicava a sistemi fissi di telecomunicazione (radio, TV, ecc.; non i cellulari!).
- Frequenze da 100 kHz a 300 GHz.
- Riguardava la popolazione, non i lavoratori.
- Definiva **valori di cautela** da rispettare negli ambienti in cui si soggiorna più di 4 ore.
- Lascia libere le regioni di stabilire **obiettivi di qualità** più stringenti (Toscana 0.5 V/m, Trento 2V/m, ...)

	Limiti di Esposizione			Valori di cautela		
Frequenza [MHz]	E_{rms} [V/m]	H_{rms} [A/m]	S_{eq} [W/m ²]	E_{rms} [V/m]	H_{rms} [A/m]	S_{eq} [W/m ²]
0.1 – 3	60	0.2	-	6	0.016	-
>3 – 3000	20	0.05	1	6	0.016	0.1
>3000 – 300000	40	0.1	4	6	0.016	0.1

I valori devono essere misurati mediando per almeno 6 min su un'area equivalente al corpo umano.

Legge quadro 22/2/2001

- Definisce i principi fondamentali per
 - assicurare la tutela di lavoratori e popolazione dalla esposizione ai campi EM,
 - promuovere la ricerca scientifica in merito,
 - salvaguardare l'ambiente ed il paesaggio.
- Si applica ad impianti civili e militari che possano causare esposizione ai campi EM (telefonia mobile, radar, ecc.). Non si applica ai dispositivi medici.
- Frequenze da 0 Hz a 300 GHz.
- Introduce il catasto nazionale degli impianti.
- Non fissa livelli di esposizione specifici che vengono rimandati ad opportuni decreti.
- Toglie alle regioni la facoltà di modificare i limiti di esposizione o gli obiettivi di qualità.

DPCM 381/03

DECRETO DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 8 luglio 2003

Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz. (GU n. 199 del 28-8-2003)

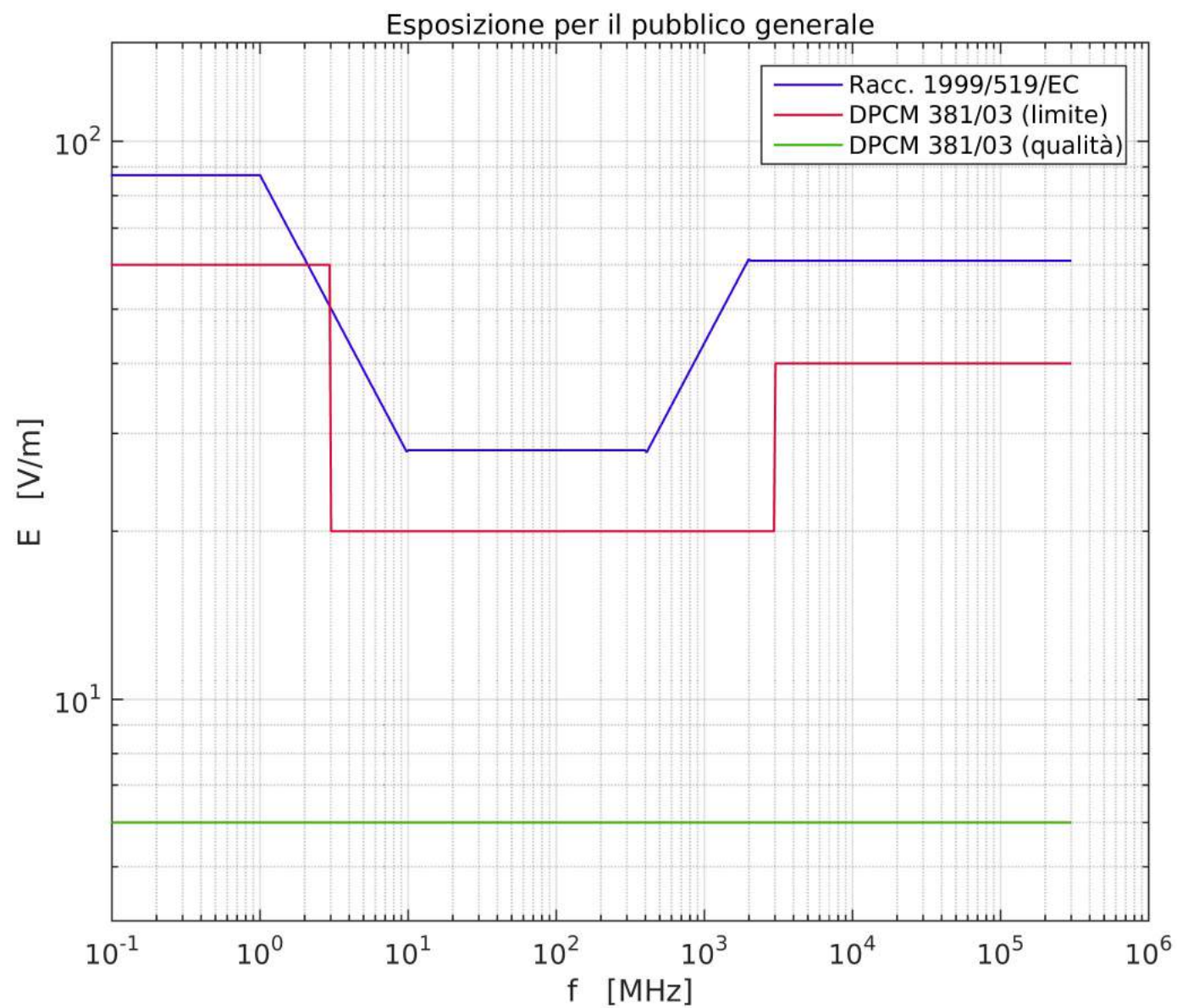
- Decreto attuativo per le frequenze 100 kHz – 300 GHz.
- Limitato alla popolazione generale.
- Rimanda alla raccomandazione europea per tutto ciò che non rientra nell'applicabilità della legge (es.: cellulari).
- Prevede che i livelli di esposizione possano essere stimati mediante calcoli fintantoché i risultati siano la metà dei limiti di attenzione. Diversamente si deve ricorrere a misure.
- Ribadisce la struttura in livelli di esposizione, valori di cautela del DM 381/98 e fissa gli obiettivi di qualità a livello nazionale.

DPCM 381/03

	Limiti di Esposizione			Valori di cautela Obiettivi di qualità		
Frequenza [MHz]	E_{rms} [V/m]	H_{rms} [A/m]	S_{eq} [W/m ²]	E_{rms} [V/m]	H_{rms} [A/m]	S_{eq} [W/m ²]
0.1 – 3	60	0.2	-	6	0.016	-
>3 – 3000	20	0.05	1	6	0.016	0.1
>3000 – 300000	40	0.1	4	6	0.016	0.1

Art. 3, comma 2: "A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine eventualmente connessi con le esposizioni ai campi generati alle suddette frequenze all'interno di edifici adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, e loro pertinenze esterne, che siano fruibili come ambienti abitativi quali balconi, terrazzi e cortili esclusi i lastrici solari, si assumono i valori di attenzione indicati nella tabella 2 all'allegato B."

DPCM 381/03



L 123/07

- Legge 3 agosto 2007, n. 123. "Misure in tema di tutela della salute e della sicurezza sul lavoro e delega al Governo per il riassetto e la riforma della normativa in materia" (GU n. 185 del 10 agosto 2007)
- Delega il Governo ad adottare, entro nove mesi dal 3/8/2007, *"uno o più decreti legislativi per il riassetto e la riforma delle disposizioni vigenti in materia di salute e sicurezza dei lavoratori nei luoghi di lavoro"*.
- Tra i principi che devono guidare i decreti vi è la *"applicazione della normativa in materia di salute e sicurezza sul lavoro a tutti i settori di attività e a tutte le tipologie di rischio"*.

DLgs 81/2008

Testo unico sulla salute e sulla sicurezza sul lavoro

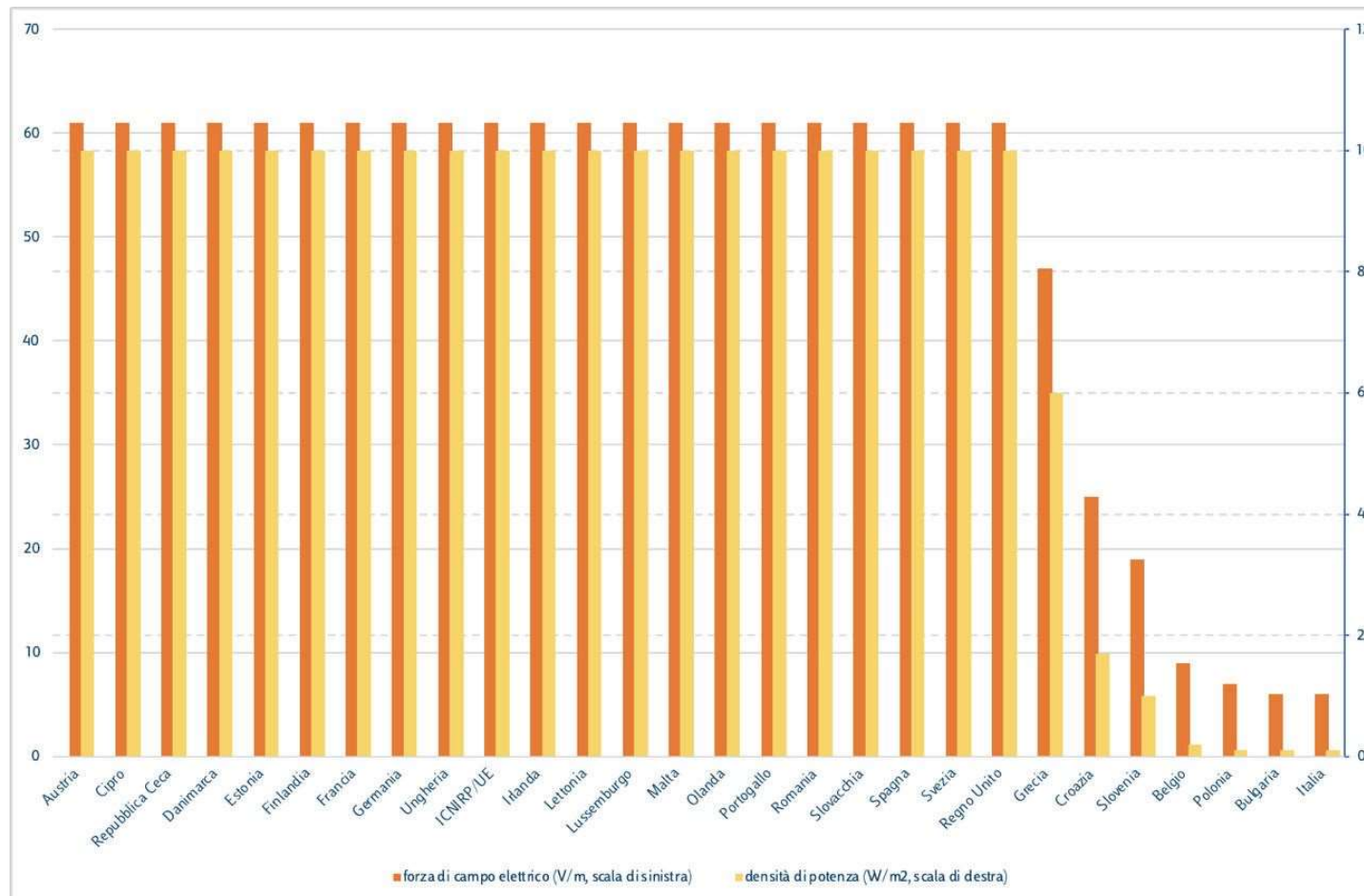
(oltre 400 pagine...)

- Il Capo IV tratta l'esposizione a campi elettromagnetici fino a 300 GHz.
- Il Capo IV "non riguarda la protezione da eventuali effetti a lungo termine".
- Vengono definiti i " **valori di azione** " (ovvero i livelli di riferimento di ICNIRP) e i " **valori limite di esposizione** " (ovvero le restrizioni di base di ICNIRP).
- I valori sono in linea con le indicazioni di ICNIRP.

La situazione in Europa

Esposizione della popolazione ai campi RF

- A livello europeo l'adozione della Raccomandazione del Consiglio del 1999 non è stata uniforme. La normativa italiana è tra le più restrittive.
- La Svizzera fissa valori simili a quelli europei; però per i campi generati dalle stazioni radio-base dei sistemi di telefonia mobile, li limita ulteriormente.



La situazione nel mondo

Esposizione della popolazione ai campi RF

- Anche Cina e Brasile hanno adottato le linee guida di ICNIRP.
- L'Australia ha valori uguali a quelli europei.
- In Russia i limiti di esposizione in termini di densità di potenza sono più bassi di quelli europei (vengono considerati effetti biologici che i paesi occidentali in genere non ritengono abbiano effetti sanitari).
- Negli USA i limiti sono analoghi a quelli europei con qualche differenza.
L'esposizione da uso di cellulare è regolamentata dalla FCC (Federal Communications Commission) che ha adottato lo standard ANSI/IEEE C95.1-1992.
In particolare il limite del **SAR-Head** è posto a **1.6W/kg**.

L'omologazione dei telefoni cellulari

- La Federal Communications Commission (FCC) mette a disposizione degli utenti un sito internet (<https://www.fcc.gov/oet/ea/fccid>) dal quale si ha accesso a tutta la documentazione che le ditte devono presentare per dimostrare che i loro dispositivi (cellulari, router wi-fi, ecc.) rispettano i limiti di SAR.
- Un analogo sistema per la gestione della documentazione è diventato operativo anche in Europa nel 2018.

L'omologazione dei cellulari



1.2 Maximum Results

The maximum measured SAR values for Head configuration and Body Worn configuration are given in section 1.2.1 and 1.2.2 and 1.2.3 respectively. The device conforms to the requirements of the standard(s) when the maximum measured SAR value is less than or equal to the limit.

1.2.1 Head Configuration

Mode	Ch / f(MHz)	Conducted power	Position	Measured SAR value (1g avg)	Reported* SAR value (1g avg)	SAR limit (1g avg)	Result	Plot #
2-slot GPRS850	251 / 848.8	29.5 dBm	Left, Cheek	0.377 W/kg	0.46 W/kg	1.6 W/kg	PASSED	1
WCDMA850	4233 / 846.6	23.8 dBm	Left, Cheek	0.395 W/kg	0.45 W/kg	1.6 W/kg	PASSED	2
3-slot GPRS1900	512 / 1850.2	26.1 dBm	Right, Cheek	0.448 W/kg	0.45 W/kg	1.6 W/kg	PASSED	3
WCDMA1900	9262 / 1852.4	21.0 dBm	Right, Cheek	0.566 W/kg	0.62 W/kg	1.6 W/kg	PASSED	4
WLAN2450	6 / 2437.0	16.6 dBm	Left, Cheek	0.703 W/kg	0.97 W/kg	1.6 W/kg	PASSED	5
2-slot GPRS850 + WLAN2450	-	-	1.5 cm	0.770 W/kg	1.05 W/kg	1.6 W/kg	PASSED	-
WCDMA850 + WLAN2450	-	-	1.5 cm	0.760 W/kg	1.04 W/kg	1.6 W/kg	PASSED	-
3-slot GPRS1900 + WLAN2450	-	-	1.5 cm	0.799 W/kg	1.07 W/kg	1.6 W/kg	PASSED	-
WCDMA1900 + WLAN2450	-	-	1.5 cm	0.769 W/kg	1.04 W/kg	1.6 W/kg	PASSED	-

SAR Report
FCC_RM-1040_01
Applicant: Microsoft

Type: RM-1040

Copyright © 2014 TCC Microsoft

