

## RADIAZIONI NON-IONIZZANTI (NIR)

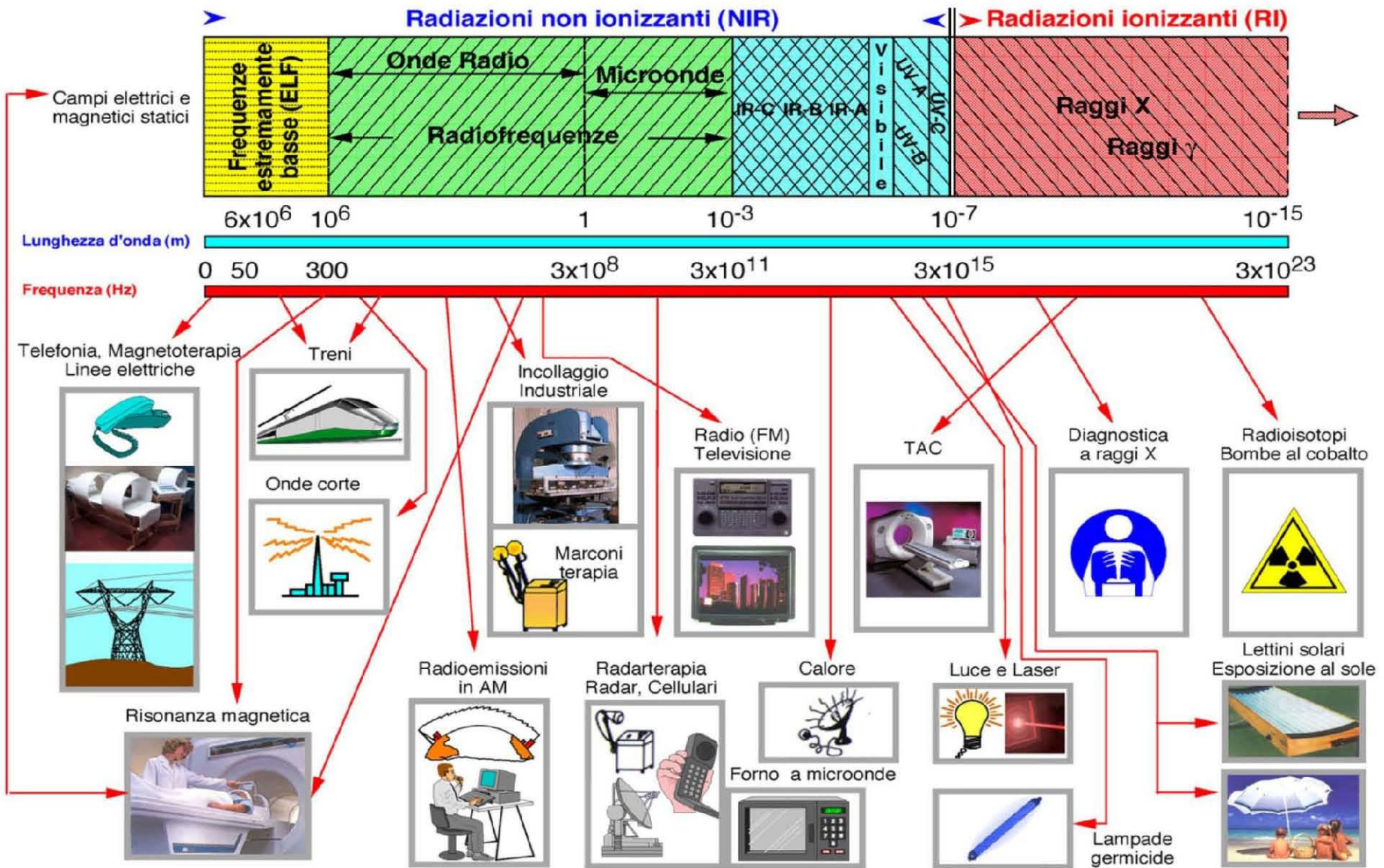
- Con il termine generale di radiazioni non-ionizzanti viene indicata quella porzione dello spettro elettromagnetico che non possiede energia sufficiente per determinare fenomeni di ionizzazione nel mezzo attraversato dalla radiazione
- Con l'eccezione della radiazione visibile, le NIR ai livelli usualmente presenti nell'ambiente esterno non sono percepibili dagli organi sensoriali, a meno che l'intensità del campo non superi i valori soglia per la percezione termica e la stimolazione di strutture e tessuti elettricamente eccitabili

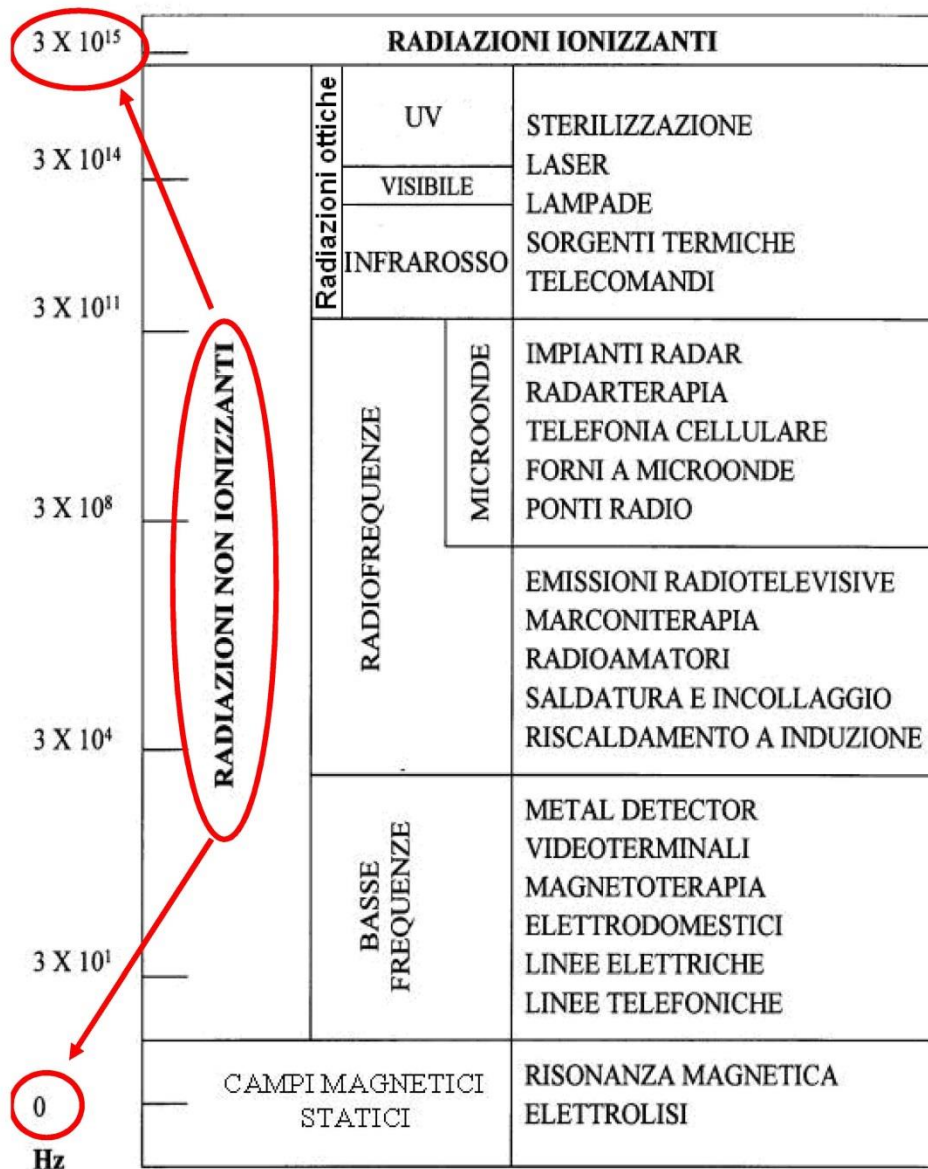
### CAMPI ELETTROMAGNETICI NON IONIZZANTI (CEM-NIR)

Denominazione	Intervallo di frequenza	Lunghezza d'onda
Campi statici	0 - 1 Hz	~ 300000 km
Campi ELF	1 - 300 Hz	> 1000 km
Campi LF	300 Hz - 300 kHz	1000 - 1 km
Campi RF	300 kHz - 300 MHz	1 km - 1 m
Campi MW	300 MHz - 300 GHz	1 m - 1 mm
Radiazione IR	300 GHz - 390 THz	1 mm - 760 nm
Radiazione VS	390 GHz - 750 THz	760 nm - 400 nm
Radiazione UV	750 THz - 3000 THz	400 nm - 100 nm

La zona di transizione tra regione delle RI e NIR si colloca approssimativamente in corrispondenza della lunghezza d'onda di 100 nm che coincide con la frequenza di 3000 THz e con un'energia fotonica di 12 eV

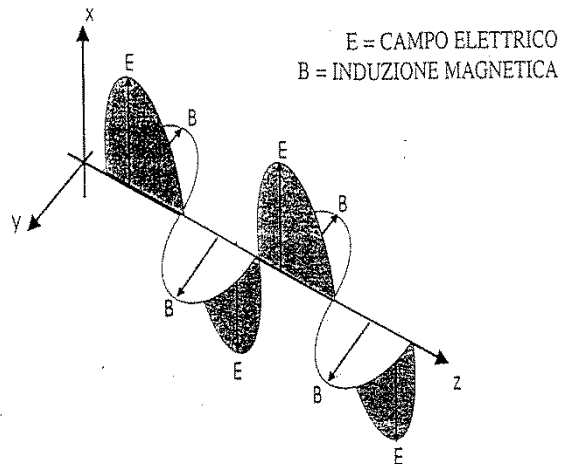
# RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA E SUOI IMPIEGHI





- Con il termine **radiazioni non ionizzanti (NIR: Non Ionizing Radiation)** si indicano in genere tutte le **radiazioni elettromagnetiche** il cui **meccanismo primario di interazione con la materia e con gli organismi viventi si diversifica da quello della ionizzazione**
- Secondo questa definizione le **NIR** sono **comprese** nella regione dello spettro elettromagnetico che ha come estremo inferiore la **frequenza zero (campi statici)** e come estremo superiore quella di  **$3 \times 10^{15}$  Hz (3000 THz)** a cui corrisponde la **lunghezza d'onda di 100 nm e una energia fotonica pari a 12 eV**
- Nell'intervallo di frequenza  $\leq 300$  GHz ( $3 \times 10^{11}$  Hz), in pratica fino alla radiazione ottica, l'interazione dei campi EM con i sistemi materiali non può produrre variazioni permanenti di struttura atomica o molecolare, perché il valore del salto energetico necessario (energia di attivazione) è di gran lunga superiore all'energia del fotone ( $hf$ ) che per la frequenza 300 GHz è pari a  $1.2 \times 10^{-3}$  eV**

## PROPAGAZIONE DI UN'ONDA ELETTROMAGNETICA



Un **campo elettromagnetico** è caratterizzato dalla simultanea propagazione nello spazio di **campi elettrici** e **magnetici** variabili nel tempo, generati da cariche e correnti oscillanti, mutuamente dipendenti tra loro.

## GRANDEZZE RADIOMETRICHE

- Valore efficace del campo elettrico  $E$  (V/m)
- Valore efficace del campo magnetico  $H$  (A/m)
- Valore efficace dell'induzione magnetica  $B$  (T)
- Densità di potenza del campo elettromagnetico  $S$  (W/m<sup>2</sup>)

Nella regione di campo lontano (distanza dalla sorgente  $r > \lambda$ ), esiste una precisa relazione tra  $E$ ,  $H$  (che sono tra loro ortogonali con rapporto costante  $E/H=377$  ohm) e la densità di potenza  $S$  trasportata dall'onda:

$$S = E^2/377 \quad S = 377 \times H^2$$

Nella regione di campo vicino (distanza dalla sorgente  $r < \lambda$ ), campo elettrico e campo magnetico oscillano in modo indipendente ( $E/H \neq 377$  ohm) e la densità di potenza non è una grandezza appropriata per la misura dell'esposizione, per cui  $E$  e  $H$  vanno misurati separatamente

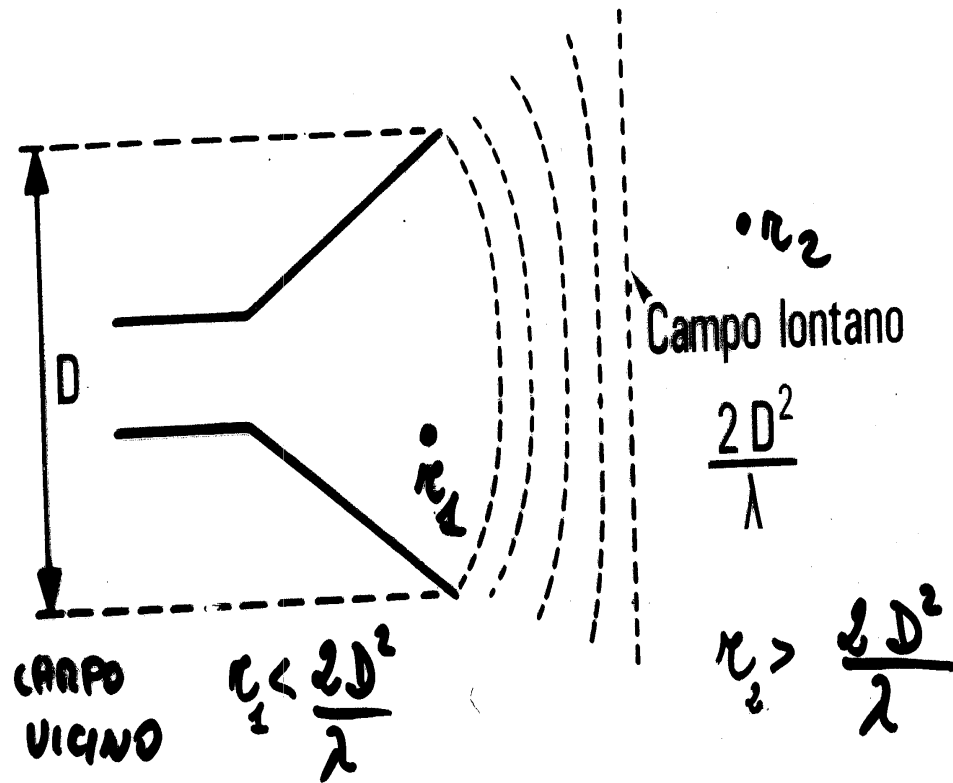


Fig. 5

pico portatile costituito da due sonde e da un eligento misuratore che fornisce una lettura in densità di potenza ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ )  
 In fig 5 è rappresentato lo strumento ed il suo schema a blocchi

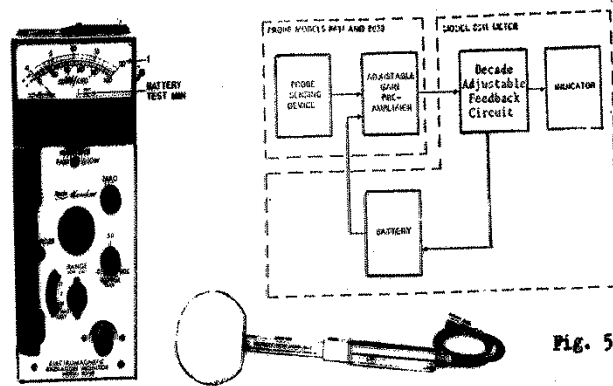


Fig. 5

Le due sonde di campo magnetico ( 10 MHz - 100 MHz ) e di campo elettrico ( 100 MHz - 26 GHz ) illustrate in fig.6 sono costituite dal sensore e da un preamplificatore posto nel manico affinché la successiva trasmissione del segnale attraverso il cavo di collegamento con l'elemento misuratore influenzi il meno possibile la lettura.

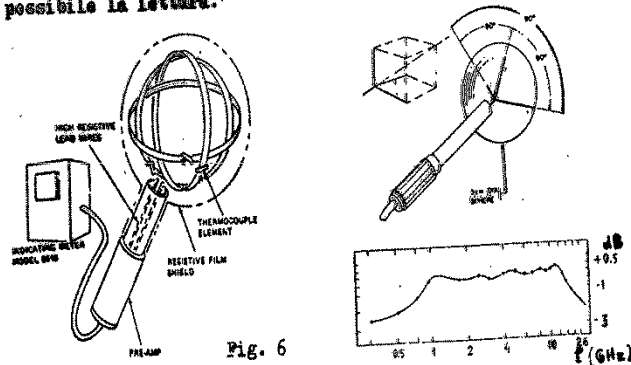
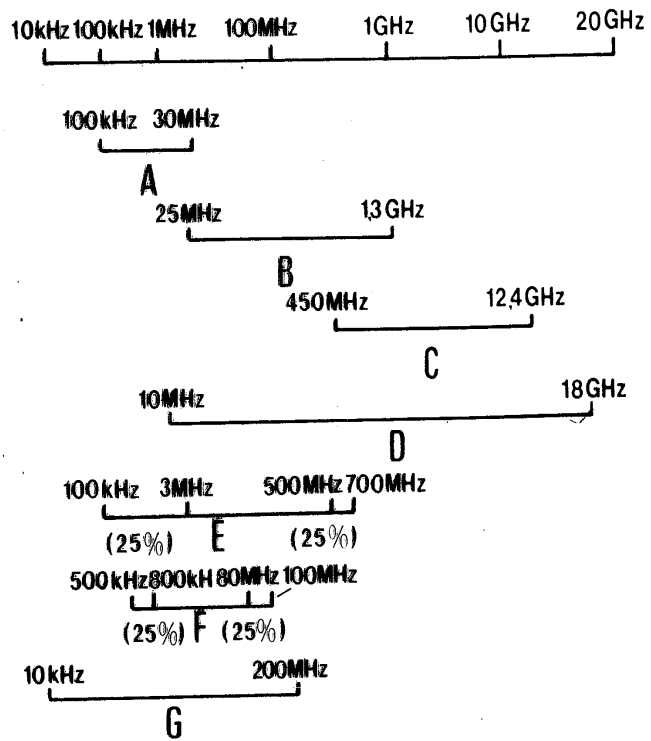


Fig. 6

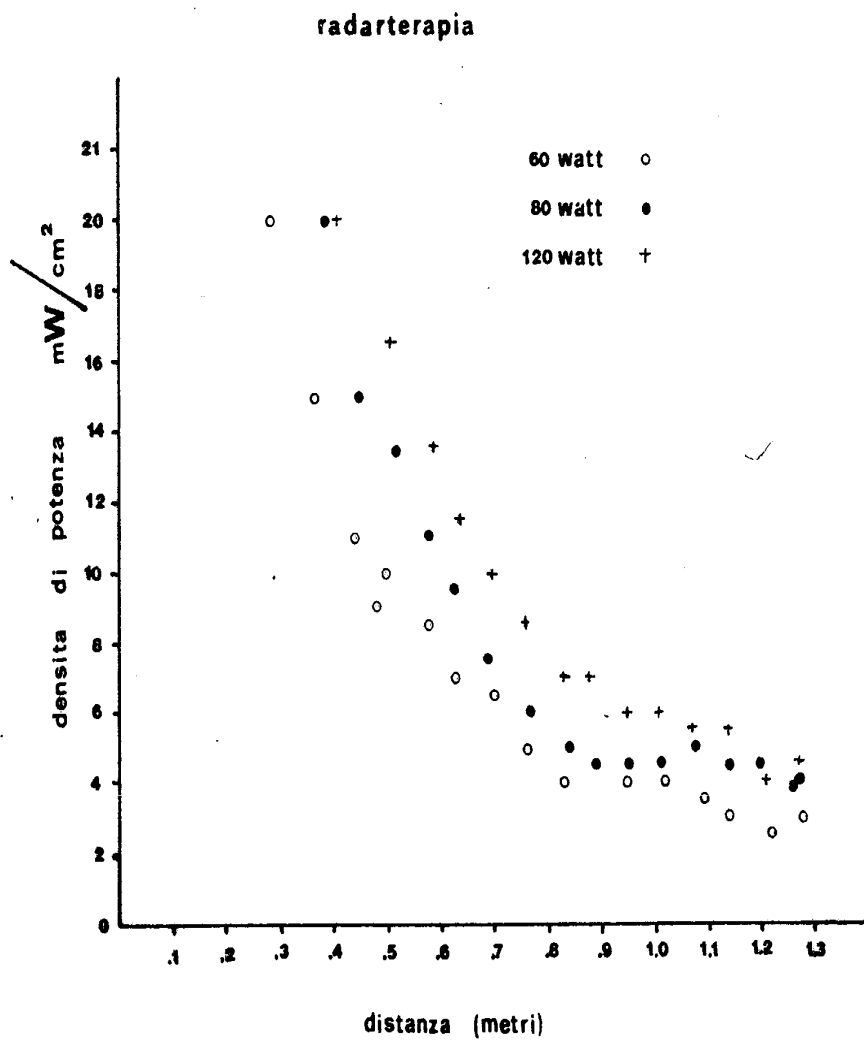
In fig 6 è pure rappresentata la risposta di frequenza della sonda di campo elettrico ottenuta adottando un sensore del tipo a termocoppia distribuita. Lo strumento consente anche la lettura di campi di tipo impulsivo come ad esempio nel caso del RADAR



A	= ROHDE-SCHWARZ	Tipo HFH (E)
B	= " "	Tipo ESU (E)
C	= NARDA	Tipo <del>B86B3</del> (I)
D	= RAHAM	Tipo 12 (I)
E	= AERITALIA	Tipo TE307(E)
F	= " "	" " (H)
G	= IFI	Tipo FFS-1E



Figura n. 11.1



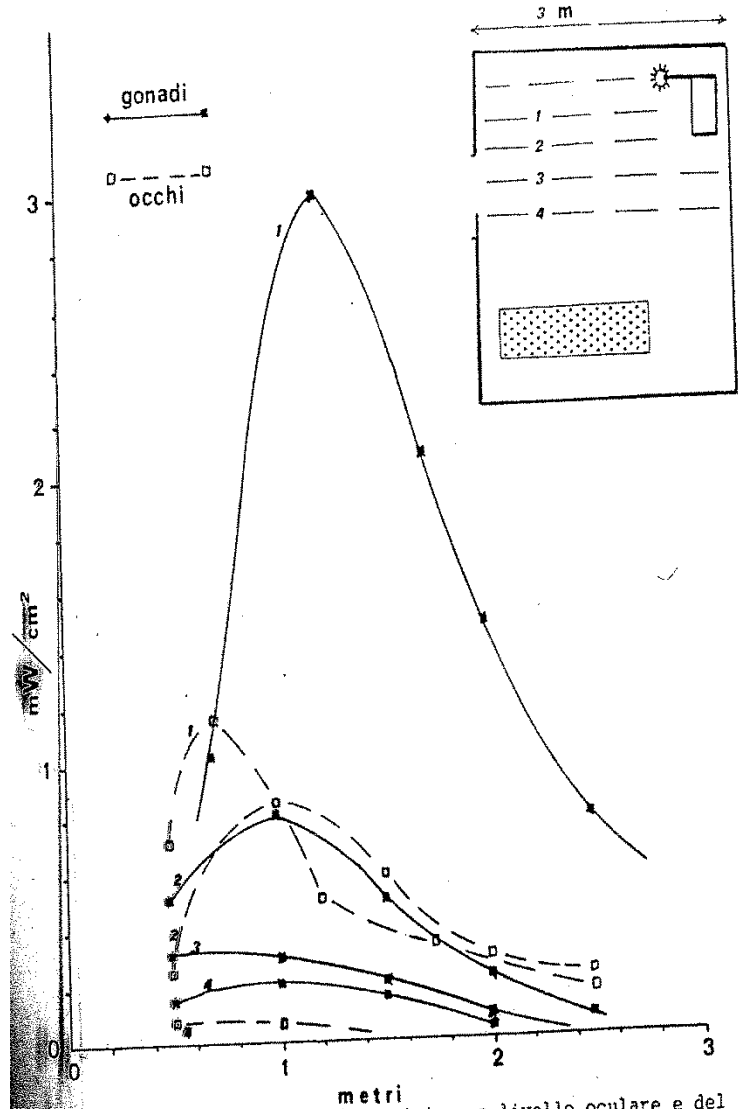


Figura n. 11.2: Illustra l'esposizione a livello oculare e del gonadi del fisioterapista, in relazione alla posizione in cui si trova in un ambulatorio di radarterapia. Le misure sono state effettuate simulando una seduta di radarterapia alla spalla sinistra in soggetto seduto con le spalle rivolte al muro: l'applicatore è a 110 cm dal suolo, inclinato di 45° e la potenza nominale è di 100 W. Le misure sono state effettuate lungo le linee indicate nella piantina e contrassegnate con i numeri 1-4. Le linee a tratto continuo indicano nel grafico la densità di potenza registrata a livello delle gonadi, quelle discontinue a livello oculare.

## **SORGENTI DI CAMPI ELETTROMAGNETICI**

- Elettrodotti, telecomunicazioni e radiolocalizzazioni
- Processi produttivi industriali e artigianali
- Applicazioni mediche
- Attività domestiche

SORGENTI PER TRATTAMENTI ED ANALISI MEDICALI	FREQUENZA (MHz)	POTENZA (w)
Elettrobisturi ed elettrocauterizzatori	0,5-2,4	100-5.000
Strumenti elettromedicali per Marconiterapia	27,12	10-500
Strumenti elettromedicali per Radarterapia	433,92 915 2.450	10-200
Apparecchi elettromedicali per la termografia a microonde	500-2.500	1-30
Apparecchi elettromedicali per la misura della trasmissione nei tessuti biologici	915	1-30

R MN

10-70 100

C.M. STATIG

C.M. VARIABILE

Tabella 14 - Livelli di esposizione del campo magnetico per sorgenti a bassa frequenza in ambiente non lavorativo

Sorgente a 50 Hz	Campo magnetico H ( $\mu$ T) a distanza dalla sorgente		
	3 cm	30 cm	100 cm
Frigorifero	0,5-1,7	0,01-0,3	0,01
Rasoio elettrico	100-1000	0,1-6-	<0,01-0,3==
Coperta elettrica	2-3	0,1-0,2	<0,05
Televisore a colori 21 pollici	4 - 50	0,5-12	<0,01-0,15
Lampada a fluorescenza	40-400	0,5-2	0,02-0,25
Lampada alogena 11 V, 20 W	500	0,5	<0,01
Tostapane	7-18	0,06-0,7	<0,01
Aspirapolvere	200-800	2-20	0,5-2
Asciugacapelli	6-1500	0,08-16	<0,01-0,3
Tritatutto	60-600	0,6-10	0,02-0,25
Frullatore	1000	2	<0,01
Fornello elettrico	2-50	0,15-0,5	<0,01-0,04
Stufa elettrica	10 - 250	0,2 - 14	<0,01 - 0,2
Forno elettrico	100	0,4	<0,01
Ferro da stiro	60	0,4	<0,01
Lavabiancheria	0,8-50	3	<0,01
Lavastoviglie	3-20	0,5	0,02
Termosifone portatile	10-180	0,15-5	<0,01-0,25
Ventilatore a soffitto	200-500	20-40	0,15-0,5

# Campi magnetici statici

## Effetti acuti

RADIACIONI IONIZZANTI		
$3 \times 10^{15}$	Radiazioni ottiche	UV STERILIZZAZIONE
$3 \times 10^{14}$		VISIBILE LASER
$3 \times 10^{11}$		INFRAROSSO LAMPADE SORGENTI TERMICHE TELECOMANDI
RADIACIONI NON IONIZZANTI	RADIOFREQUENZE	MICROONDE IMPIANTI RADAR RADAR TERAPIA TELEFONIA CELLULARE FORNI A MICROONDE PONTI RADIO
		EMISSIONI RADIOTELEVISIVE MARCONITERAPIA RADIOAMATORI SALDATURA E INCOLLAGGIO RISCALDAMENTO A INDUZIONE
	BASSE FREQUENZE	METAL DETECTOR VIDEOTERMINALI MAGNETOTERAPIA ELETTRODOMESTICI LINEE ELETTRICHE LINEE TELEFONICHE
0 Hz	CAMPI MAGNETICI STATICI	RISONANZA MAGNETICA ELETTROLISI



# **CAMPI MAGNETICI STATICI ( $f < 1 \text{ Hz}$ )**

## **Effetto Magnetoidrodinamico**

Forza esercitata su ioni in movimento attraverso la membrana cellulare e nel flusso ematico

## **Effetto di *spin***

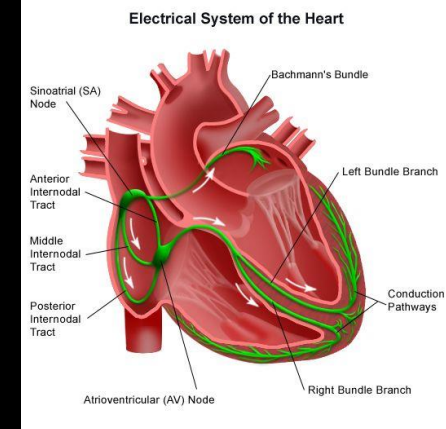
Azione sullo spin di elettroni spaiati: influenza su reazioni chimiche e biochimiche con presenza di radicali liberi

<b>&gt; 2 T</b>	Vertigini, nausea, sapore metallico e fosfeni indotti in volontari a seguito del movimento della testa; rischio di depolarizzazione del nodo seno-atriale per campi > 10 T
<b>&lt; 2 T</b>	Nessuna coerente evidenza di effetto a livello cardiovascolare, nervoso e riproduttivo nell'animale; nessuna evidenza di effetto nell'uomo

**Campo magnetico terrestre (0 Hz): 40 – 70  $\mu\text{T}$**

Andrea Stanga

# Campo magnetico statico: effetti biologici diretti



## ■ Effetti acuti:

- depolarizzazione del nodo seno atriale ( $>5$  T) sebbene manchino dati osservazionali su tale effetto ipotizzato
- la pressione arteriosa subisce un aumento percentuale del 2% per ogni tesla applicato oltre i 2 T
- a valori molto elevati può essere disturbata anche l'emodinamica contenendo il sangue elettroliti in movimento



# Campo magnetico statico: effetti biologici diretti



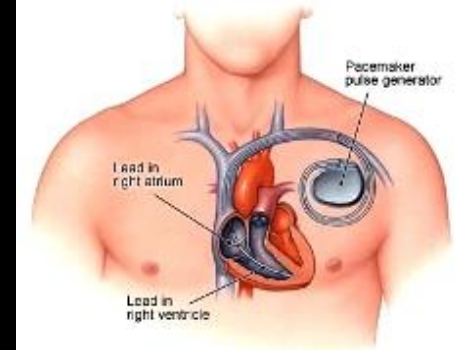
- Effetti acuti:
  - fenomeno del riallineamento, lungo le linee di forza di campo magnetico per intensita' di 350 mT, di eritrociti falcemici *in vitro* nello stato deossigenato non ha mai ottenuto conferme *in vivo*

# Campo magnetico statico: effetti biologici diretti



- **Effetti acuti:**
  - Effetti soggettivi reversibili:
    - vertigini, nausea, sapore metallico e fosfeni, indotti sperimentalmente in volontari, in presenza di campo statico di intensità superiore a 2 T
    - sindrome vertiginose, alterazioni del coordinamento della motilità oculare e dei riflessi oculo-vestibolari (3-8 T)

# Campo magnetico statico: effetti biologici indiretti



- Interferenza del campo magnetico statico esterno con il funzionamento di **dispositivi impiantati di tipo attivo** (es. Pacemaker, defibrillatori impiantati, pompe da infusione ecc.)
- Dislocazione da parte del campo magnetico statico esterno di **dispositivi impiantati ferromagnetici di tipo non attivo** o di corpi inclusi nei tessuti aventi proprietà ferromagnetiche (es. protesi metalliche, clip vascolari, stent, schegge metalliche ecc.) o di corpi esterni ferromagnetici (es. bombole, sedie ecc.)

# Impianti biomedicali e devices

## **PACEMAKERS e DEFIBRILLATORI CARDIACI**

### **Initial experience with magnetic resonance imaging-safe pacemakers**

A review

Werner Jung · Vlada Zvereva · Bajram Hajredini ·  
Sebastian Jäckle

J Interv Card Electrophysiol (2011) 32:213–219  
DOI 10.1007/s10840-011-9610-0



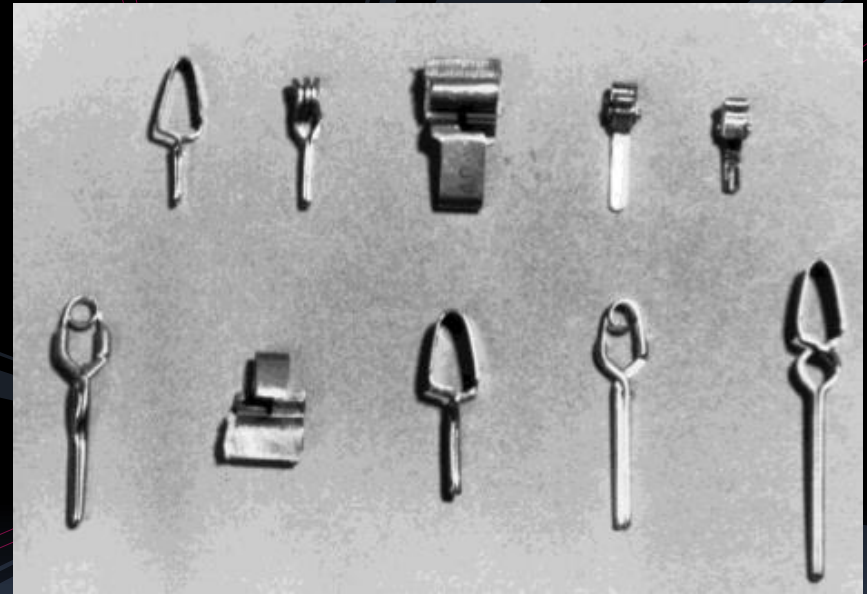
### Potential effects of MRI on pacemakers

- (1) Static magnetic field
  - Mechanical forces on ferromagnetic components
  - Unpredictable magnetic sensor activation, reed-switch closure
  - Changes in electrocardiograms
- (2) Modulated radio frequency field
  - Heating of cardiac tissue adjacent to lead electrodes
  - Possible induction of life-threatening arrhythmias (very rare)
  - Pacemaker reprogramming or reset
  - RF interactions with the device (over- and undersensing)
- (3) Gradient magnetic field
  - Possible induction of life-threatening arrhythmias (unlikely in bipolar mode)
  - Induced voltages on leads cause over- and undersensing
- (4) Combined field effects
  - Alteration of device function because of electromagnetic interference
  - Mechanical forces (vibration)
  - Electronic reset of device
  - Damage to pacemaker/implantable cardiac defibrillator and/or leads

# Impianti biomedicali e *devices*

## **CLIPS ANEURISMATICHE**

Massima attenzione! Valutazione se costituite da materiali ferromagnetici perché possono spostarsi. Rischi anche molto gravi



# Impianti biomedicali e devices

## *POMPE DI INFUSIONE DI FARMACI IMPIANTABILI*

Di solito impiantati sotto la cute dell'addome, l'infusione può avvenire anche direttamente nello speco vertebrale



La pompa ha un rivestimento in titanio. Il dosaggio esatto e la tempistica sono prescritti dal medico con un programmatore esterno. La pompa possiede elementi ferromagnetici



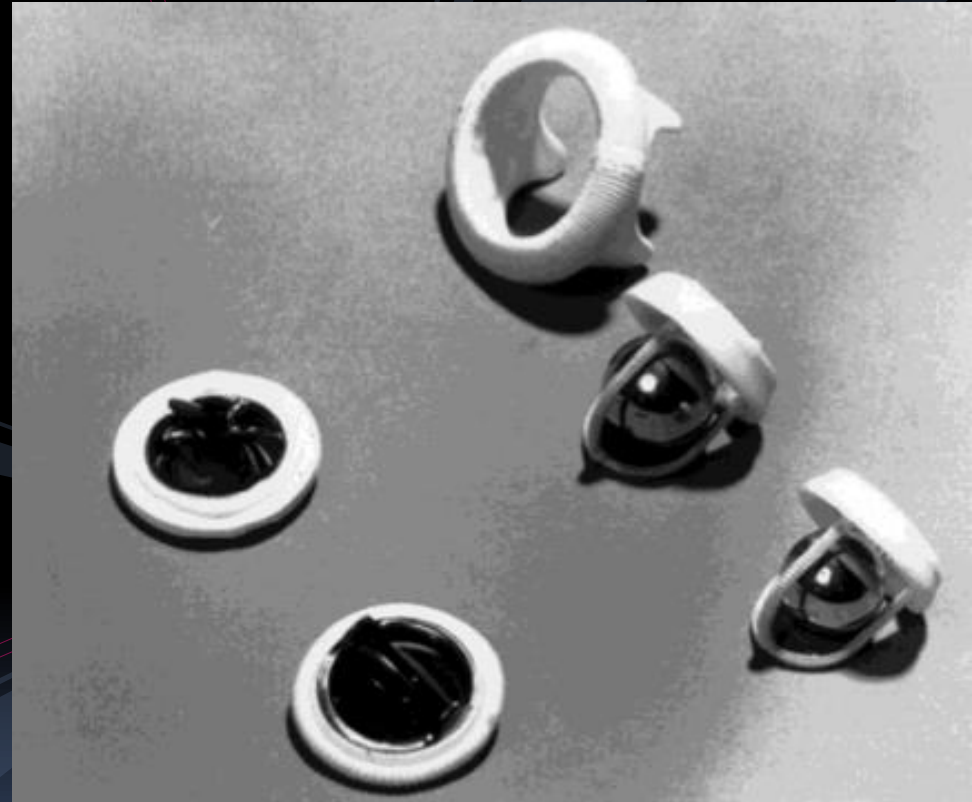
Alcuni modelli sono stati indicati come sicuri negli esami RM se rispettate alcune linee guida.

# Impianti biomedicali e devices

## **PROTESI VALVOLARI CARDIACHE**

La maggior parte contengono  
elementi “moderatamente”  
ferromagnetici.

**Non sono riportati incidenti  
significativi in RM**



# Impianti biomedicali e devices

## **CRISTALLINI ARTIFICIALI**

**Quelli comunemente usati  
nella chirurgia della cataratta  
NON sono magnetici o  
magnetizzabili!**



**SOI**  
Società Oftalmologica Italiana

Associazione Medici Oculisti Italiani  
ENTE MORALE  
dal 1879 a difesa della vista

Tutte le lenti intraoculari dal dopoguerra sono di materiale plastico.

Solo nei primi anni '80 per un breve periodo e su un numero limitato di pazienti fu utilizzato un filo di Tantalio per la fissazione iridea delle protesi intraoculari. Tecnica diventata subito obsoleta e sostituita dall'impianto del cristallino nel sacco capsulare senza necessità di fissazioni.

Da almeno 25 anni non sono disponibili in commercio e non sono stati più impiantati sistemi che utilizzino componenti metalliche.

**Tutti i soggetti operati di cataratta negli ultimi 25 anni non risultano incompatibili per l'esame di RM.**



# Impianti biomedicali e devices

## ***IMPIANTI ACUSTICI***

Sono stati testati per la RM circa 70 tipi diversi.

**Quelli “cocleari”** contengono elementi ferromagnetici e un meccanismo di attivazione elettronico e/o magnetico.

Rischio di lesione e alterato funzionamento del device.

# Tattoos

Rischio di ustioni! Riportati casi di I-II grado

↑ pigmenti scuri (ossido di ferro) e con loop patterns

Altri pigmenti non sembrano avere proprietà ferromagnetiche:

Carbone (nero)

Diossido di titanio (bianco)

Ftalocianina di rame (blu, verde)

Indigoidi (rosso)



# Piercing

Metalli ferromagnetici e non-ferromagnetici

Rischi:

- Spostamento
- Surriscaldamento
- Correnti



# Campo magnetico statico: Effetti biologici indiretti

I lavoratori portatori di dispositivi medici o  
protesi impiantate debbono essere  
considerati

**lavoratori particolarmente sensibili al rischio**

(art. 182 *Legg.* 81/08)



CENELEC (aprile 2010) ha prodotto la

Norma Europea EN 50527 – 1

sulle procedure per la valutazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici dei lavoratori  
portatori di dispositivi medici impiantabili attivi

*(AIMD: active implantable medical devices)*

# Limiti di esposizione



World Health Organization

L'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità)

sulla base di un'estesa rassegna della letteratura scientifica sugli effetti  
biologici dell'esposizione a campi magnetici

ha concluso che le conoscenze disponibili  
suggeriscono **l'assenza di effetti lesivi**  
**sull'uomo per esposizione a campi magnetici**  
**statici fino a 2 T**

# STUDI IN VIVO E IN VITRO


(Linee Guida ICNIRP, 2009)

- Studi di laboratorio sull'uomo

*In conclusione, le informazioni attuali **NON indicano alcun rischio grave per la salute** a seguito di un'esposizione acuta in individui fermi a campi magnetici statici fino a **8 T**.*

*Tali esposizioni possono condurre a effetti sensoriali potenzialmente spiacevoli, come vertigini e diminuzioni temporanee della prestazione di alcune funzioni comportamentali, durante il movimento della testa e del corpo*

# Limiti di esposizione ai campi magnetici statici per i lavoratori (Linee Guida ICNIRP 1994 e 2009)

TIPO DI ESPOSIZIONE	INDUZIONE MAGNETICA	
	ICNIRP 1994	ICNIRP 2009
Lavoro giornaliero con esposizione al corpo intero (media ponderata nel tempo)	200 mT	
Esposizione del corpo intero; valore massimo non superabile	2 T	2 T* 
Esposizione degli arti; valore massimo non superabile	5 T	8 T

\* Si ammette che in situazioni particolari, ove la pratica lo giustifichi, possano essere accettate esposizioni della testa e del tronco fino a 8 T, se l'ambiente è controllato e sono adottate opportune procedure per controllare gli effetti indotti dal movimento

# Effetti sanitari indiretti:

- Per le zone con **campi > 0.5 – 1 mT**:
  - Esclusione dell'accesso a portatori di pacemaker
  - Esclusione dall'esposizione a portatori di presidi metallici (clips vascolari), di grandi protesi metalliche (anche, cranio) e di presidi elettronici

CAMPO MAGNETICO STATICO	
Segnali di pericolo	Segnali di divieto di accesso
  Presenza di campo magnetico	 a <b>OGGETTI METALLICI: ATTREZZI, STRUMENTI, ESTINTORI, ecc.</b>
	 ai portatori di <b>PACE-MAKER</b> o di protesi dotate di <b>CIRCUITI ELETTRONICI</b>
	 ai portatori di <b>CLIPS VASCOLARI, SCHEGGE METALLICHE; PROTESI, IMPIANTI METALLICI FISSI O MOBILI</b>



# Effetti cronici

## Campo magnetico statico



- Eventuali effetti teratogeni e sul genoma NON hanno avuto conferme sperimentali e cliniche
- Dati sperimentali *in vitro* e in vivo degli ultimi 10 anni, NON hanno evidenziato danni significativi e effetti di tipo genotossico alle molecole biologiche (rotture semplici e doppie, micronuclei, aberrazioni cromosomiche), *ne'* modificazioni del comportamento cellulare nella proliferazione e differenziazione (ICNIRP, 2009)
- Studi epidemiologici: pochi e con limiti metodologici

**PROTOCOLLO DI SORVEGLIANZA SANITARIA  
PER I LAVORATORI ESPOSTI A NIR (RM)**

**Periodicità: annuale**

**VISITA MEDICA PREVENTIVA:**

- anamnesi mirata al rischio specifico tramite un questionario specifico da far compilare e firmare al lavoratore.
- E.O. con particolare attenzione agli organi bersaglio (app. cardiovascolare; SNC e SNP).
- Accertamenti complementari:
  - o Emocromo, profilo biochimico
  - o Es. urine
  - o ECG
  - o Elettroforesi per ricerca di HbS
  - o visita oculistica (cristallino e fundus)

**VISITA MEDICA PERIODICA:**

- anamnesi mirata al rischio specifico (segnalare eventuali variazioni del questionario specifico somministrato in sede di visita preventiva).
- E.O. con particolare attenzione agli organi bersaglio (app. cardiovascolare; SNC e SNP).
- Accertamenti complementari:
  - o Emocromo, profilo biochimico
  - o Es. urine
  - o ECG
  - o Visita oculistica con periodicità annuale

**SORVEGLIANZA MEDICA DEGLI OPERATORI RMN**

Visita medica  preventiva  periodica  straordinaria\*  eccezionale\*

motivazioni\* .....

Si certifica che il lavoratore .....

Azienda: ..... in data .....

addetto ad apparecchiature a risonanza magnetica, è stato sottoposto a visita medica generale con particolare riferimento agli apparati cardiovascolare e neurologico, ad accertamenti complementari di laboratorio e a ECG, ai sensi dei D.M. 2 agosto 1991 e D.M. 3 agosto 1993, con la formulazione del seguente giudizio:

idoneo

idoneo a determinate condizioni: .....

.....

.....

non idoneo: dovrà/non dovrà/ presentarsi a nuova visita medica in data .....  
previa esecuzione dei seguenti accertamenti: .....

.....

.....

Scadenza giudizio medico: .....

---

Data (del giudizio) .....

Prof. Massimo Bovenzi  
(Medico Autorizzato No 543)

# Campi elettrici e magnetici a frequenze estremamente basse (Extremely Low Frequency) (0Hz – 300 Hz) e intermedie (IF) (300Hz – 10 MHz)

RADIAZIONI IONIZZANTI			
3 X 10 <sup>15</sup>	Radiazioni ottiche	UV	STERILIZZAZIONE
		VISIBILE	LASER
3 X 10 <sup>14</sup>	Radiazioni ottiche	INFRAROSSO	LAMPADE SORGENTI TERMICHE TELECOMANDI
3 X 10 <sup>11</sup>	RADIOFREQUENZE	MICROONDE	IMPIANTI RADAR RADARTEAPIA TELEFONIA CELLULARE FORNI A MICROONDE PONTI RADIO
3 X 10 <sup>8</sup>	RADIOFREQUENZE		EMISSIONI RADIOTELEVISIVE MARCONITERAPIA RADIOAMATORI SALDATURA E INCOLLAGGIO RISCALDAMENTO A INDUZIONE
3 X 10 <sup>4</sup>	BASSE FREQUENZE		METAL DETECTOR VIDEOTERMINALI MAGNETOTERAPIA ELETTRODOMESTICI LINEE ELETTRICHE LINEE TELEFONICHE
0	CAMPI MAGNETICI		RISONANZA MAGNETICA
	STATICI		ELETTROLISI
Hz			



# Effetti biologici acuti dei campi ELF e IF

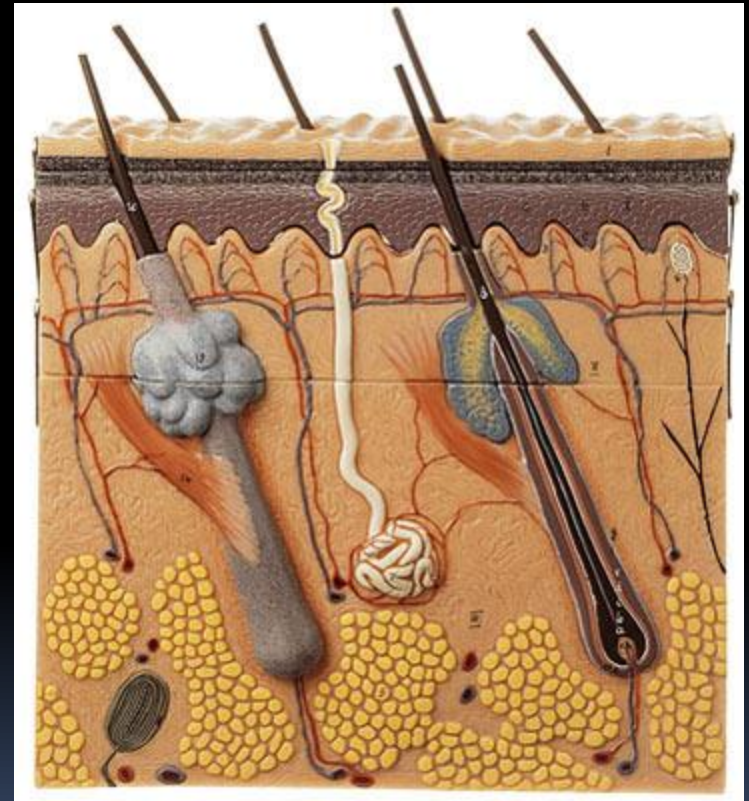
## Effetti diretti

- I meccanismi degli effetti diretti sono riconducibili **all'induzione di correnti elettriche** nei tessuti che possono essere generate dall'intera gamma di frequenze fino a 10 MHz
- Osservabili per esposizioni a **livelli elevati** di ELF e IF
- **Possono interferire** (in funzione con l'Intensità del campo) **con la generazione e la trasmissione dell'impulso nervoso e neuromuscolare**

# Effetti biologici acuti dei campi ELF e IF

## Effetti diretti

L'esposizione a campi elettrici a bassa frequenza può dar luogo ad una percezione del campo come effetto della carica elettrica alternativamente indotta sulla superficie cutanea che provoca la vibrazione dei peli cutanei con risposte biologiche che vanno dalla percezione al fastidio





SERVIZIO SANITARIO REGIONALE  
AZIENDA OSPEDALERO-UNIVERSITARIA  
Ospedale di rilievo nazionale di alta specializzazione  
(D.P.C.M. 8 aprile 1993)



OSPEDALI RIUNITI DI TRIESTE

HEALTH PROMOTING HOSPITAL  
Ospedali per la Promozione della Salute  
 HPH *Una rete dell'OMS*  
*Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia*

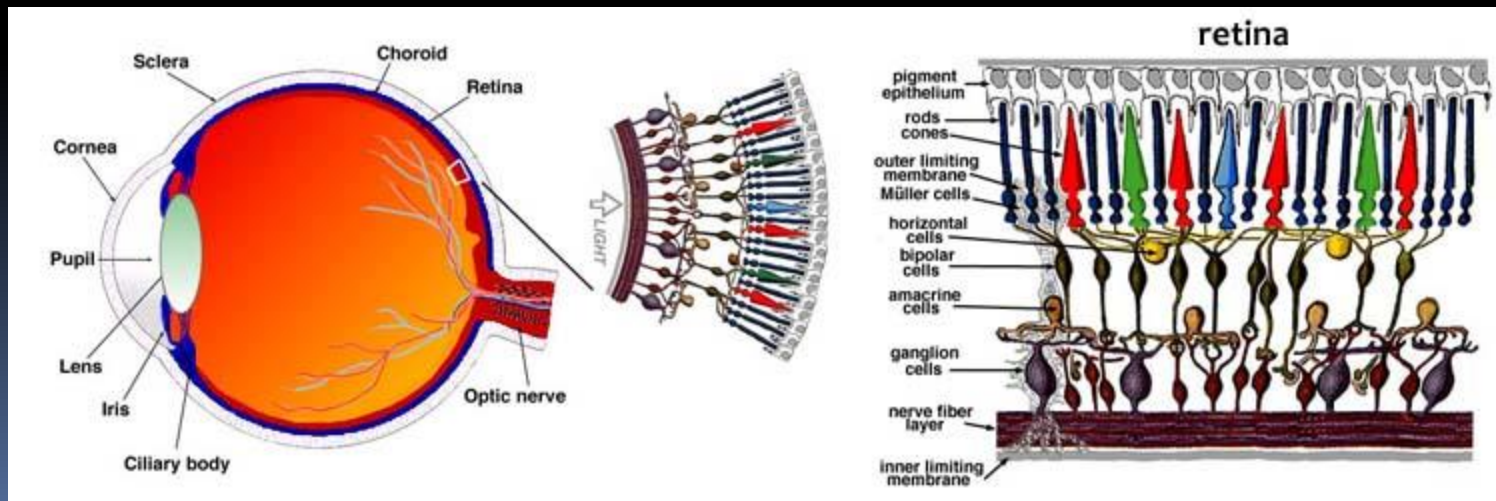
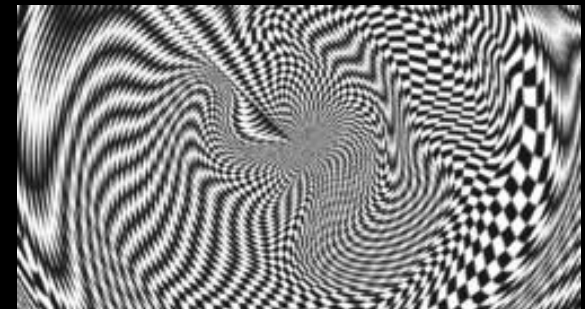
FACOLTA' DI MEDICINA E CHIRURGIA



# Effetti biologici acuti dei campi ELF e IF

## Effetti diretti

- Induzione di lampi luminosi alla periferia del campo visivo: **magnetofosfeni**

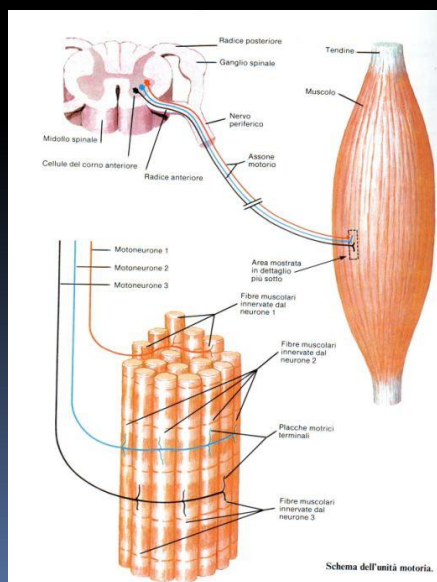




# Effetti biologici acuti dei campi ELF e IF

## Effetti diretti

- L'effetto più pericoloso è l'interferenza con la generazione e la trasmissione dell'impulso nervoso che può determinare la stimolazione diretta di **nervi periferici e tessuti muscolari**
- **Soglia variabile** in funzione di vari fattori (frequenza, durata, orientamento del campo)



# Effetti biologici acuti dei campi ELF e IF

- **Effetti diretti:**

Le correnti indotte possono determinare effetti sulla **funzione cardiaca** in particolare sul ritmo

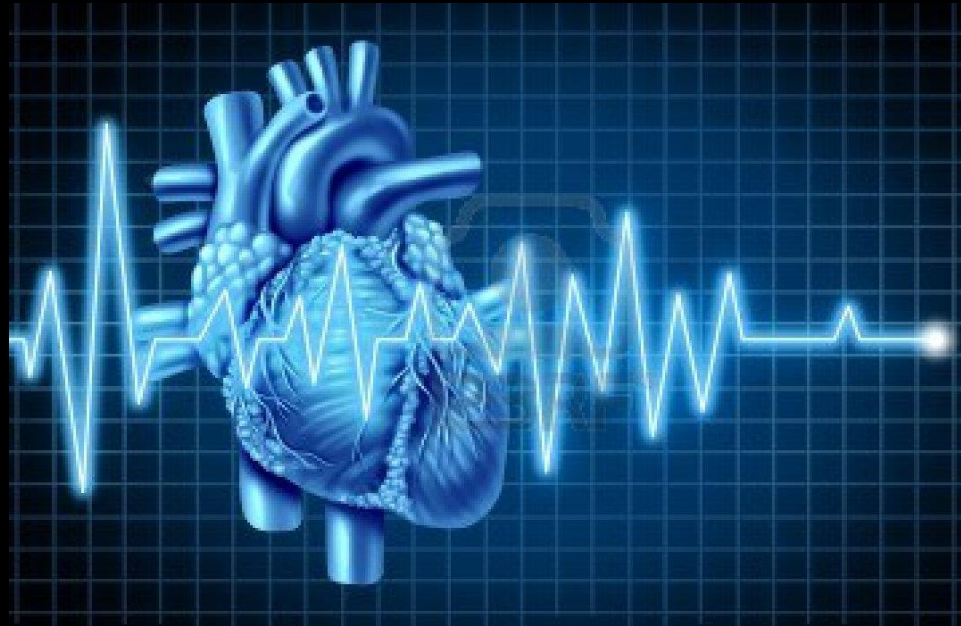
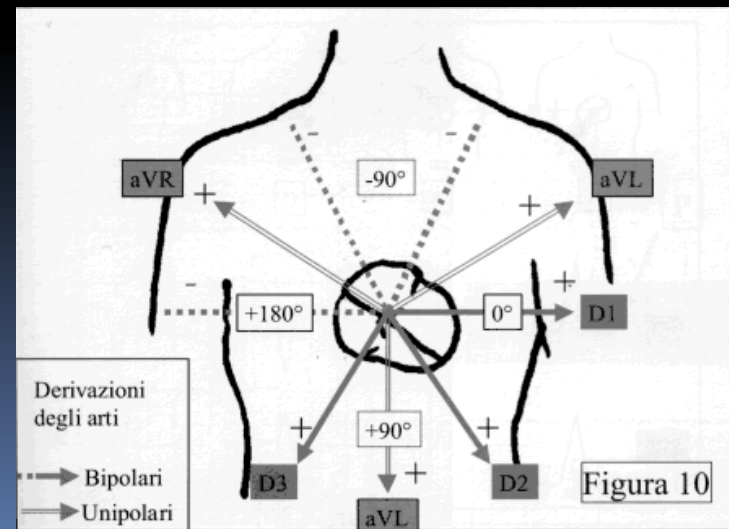
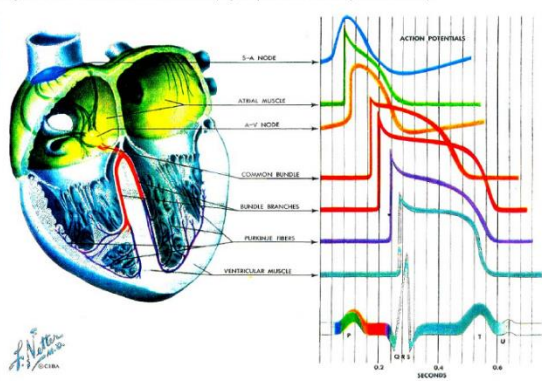


Figure 1. The Cardiac Action Potential (Figure provided courtesy of Netter Art).



# Effetti acuti indotti da livelli crescenti di Campo ELF

Densità di corrente ( $mA/m^2$ )	EFFETTI ACUTI	Induzione magnetica ( $mT$ )
< 1	Assenza di effetti apprezzabili	< 0.5
1 -10	Effetti biologici minori	0.5 – 5
10 - 100	Magnetofosfeni e possibili effetti sul sistema nervoso	5 – 50
100 – 1000	Alterazioni dell'eccitabilità del sistema nervoso centrale; rischi sanitari possibili	50 – 500
> 1000	Extrasistole e fibrillazione ventricolare; rischi sanitari certi	> 500

**Intervalli di correnti di soglia per effetti indiretti da ELF e LF  
in bambini e adulti (50esimo percentile)**

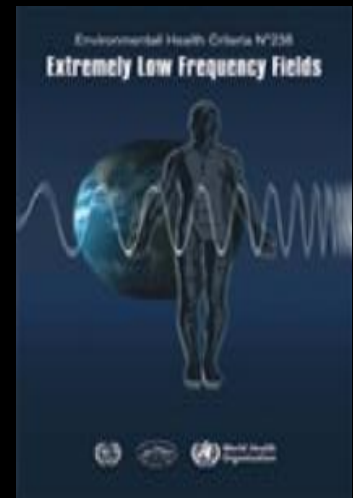
Effetti indiretti	Correnti di soglia (mA) alle frequenze di:		
	50-60 Hz	1 kHz	100 kHz
Sensazione al tatto	0.2 - 0.4	0.4 - 0.8	25 - 40
Dolore al contatto	0.9 - 1.8	1.6 - 3.3	33 - 55
Soglia di rilascio (let-go)	8 - 16	12 - 24	112 - 224
Shock/tetano respiratorio	12 - 23	21 - 41	160 - 320
Arresto respiratorio	400 - 2000	-	-
FV da macroshock	70 - 400	-	-
FV da microshock	0.080 - 0.180	-	-
Ustioni	> 1000	-	-

**Variabili che influenzano gli effetti della corrente elettrica**

- Frequenza della corrente
- Intensità della corrente
- Modalità di contatto (sede, superficie e pressione di contatto)
- Durata del contatto
- Percorso della corrente nel corpo umano
- Resistenza elettrica della cute
- Sesso e parametri antropometrici
- Stato di salute del soggetto

# Effetti cronici Campi ELF

- Letteratura molto vasta soprattutto su
  - patologie degenerative (SLA; Alzheimer)
  - alcuni tumori



## Environmental Health Criteria n.238 (revisione sistematica)

Effetti considerati:

Neurocomportamentali

Sistema neuroendocrino

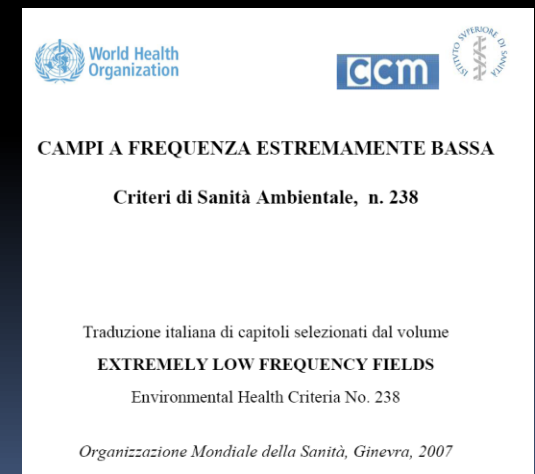
Malattie neurodegenerative

Malattie cardiovascolari

Immunologia e ematologia

Riproduzione e sviluppo

Cancro



# Effetti biologici di tipo cronico dei campi ELF e IF

- **1979: leucemia infantile ed elettrodotti** (Wertheimer N and Leeper E-  
Am J Epidemiol 1979; 109: 273-284)
- Studi epidemiologici “residenziali” e professionali
- Valutazione dell’esposizione:
  - Ubiquitaria, sorgenti multiple, grande variabilità
  - Periodo di esposizione solitamente anteriore al momento della valutazione
  - Appropriato sistema di misura (meccanismo biologico, modello animale?)

## **A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia**

A Ahlbom<sup>1</sup>, N Day<sup>2</sup>, M Feychting<sup>1</sup>, E Roman<sup>3</sup>, J Skinner<sup>2</sup>, J Dockerty<sup>4</sup>, M Linet<sup>5</sup>, M McBride<sup>6</sup>, J Michaelis<sup>7</sup>, JH Olsen<sup>8</sup>, T Tynes<sup>9</sup> and PK Verkasalo<sup>10,11,12</sup>

- Evidenziato un raddoppio del rischio di **leucemia infantile** statisticamente significativo negli esposti (esposizione post-natale) a più di 0.4  $\mu\text{T}$  rispetto agli esposti a meno di 0.1  $\mu\text{T}$
- Rischio relativo stimato: 2.0 (IC 1.27-3.13)
- Solo 0.8% dei bambini aveva un'esposizione > 0.4  $\mu\text{T}$
- Possibili fattori di confondimento
- Dati di difficile interpretazione in assenza di un meccanismo biologico identificato

Outcome	Strength of evidence
<b>Cancer outcomes</b>	
Leukaemia in children	Limited
Brain tumours in children	Inadequate
Brain tumours in adults	Inadequate
Breast cancer in adults	Lack of effect
Other cancer (children or adults)	Inadequate
<b>Neurodegenerative diseases</b>	
Alzheimer's disease	Inadequate
Amyotrophic lateral sclerosis (ALS)	Inadequate
Other neurodegenerative diseases	Inadequate
<b>Reproductive outcomes</b>	
All outcomes	Inadequate
<b>Cardiovascular diseases</b>	
All diseases	Lack of effect
<b>Well-being</b>	
Electrical hypersensitivity (EHS)	Lack of effect
Symptoms	Inadequate



## CAMPI ELETTRROMAGNETICI (ELF) RESIDENZIALI e LEUCEMIA INFANTILE: STUDI DI META-ANALISI

### 1. Meta-analisi di Ahlbom et al., Br J Cancer 2000; 83:692-698

- 6 studi Europei, 1 studio Canada, 1 studio Nuova Zelanda, 1 studio USA
- 3247 casi di leucemia (83% LLA), 10400 controlli (età < 14 anni)
- Esposizione: (i) misure dirette di CEM 50-60 Hz (24-48 h); (ii) distanza abitazione-elettrodotto; (iii) wire code
- Stima del rischio:

Esposizione:	< 0.1 $\mu$ T	0.1 - 0.2 $\mu$ T	0.2 - 0.4 $\mu$ T	> 0.4 $\mu$ T
RR (IC 95%):	1.0 (-)	1.08 (0.89-1.31)	1.11 (0.84-1.47)	1.87 (1.10-3.18)

Nota: 0.8% dei bambini è collocato nella categoria > 0.4 $\mu$ T

### 2. Meta-analisi di Greenland et al., Epidemiology 2000; 11:624-634

- 5 studi Europei, 8 studi USA, 1 studio Canada, 1 studio Nuova Zelanda
- 2656 casi di leucemia (80% LLA), 7084 controlli
- Esposizione: (i) misure dirette di CEM 50-60 Hz; (ii) wire code
- Stima del rischio:

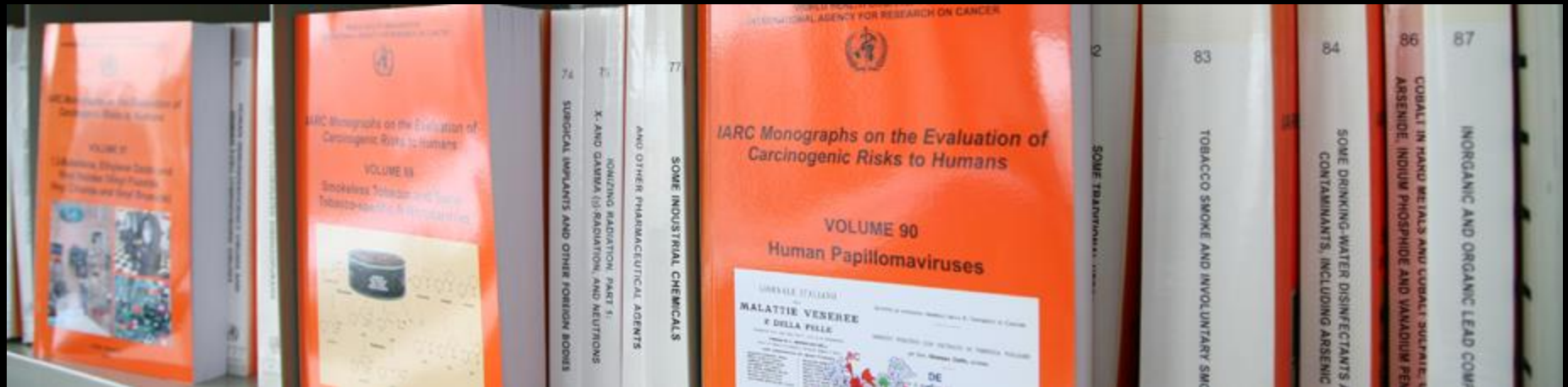
Esposizione:	< 0.1 $\mu$ T	0.1 - 0.2 $\mu$ T	0.2 - 0.3 $\mu$ T	> 0.3 $\mu$ T
RR (IC 95%)	1.0 (-)	0.95 (0.80-1.12)	1.06 (0.72-1.42)	1.69 (1.25-2.29)

Nota: la frazione di leucemia infantile attribuibile a CEM 50-60 Hz è stimata del 3% (IC 95%: -2% - 8%)

# International Agency for Research on Cancer



World Health  
Organization



IARC Monographs on the Evaluation of  
Carcinogenic Risks to Humans

# Classificazione IARC

- 1** L'agente è cancerogeno per l'uomo (111)
- 2A** L'agente è probabilmente cancerogeno per l'uomo (66)
- 2B** L'agente è possibilmente cancerogeno per l'uomo (285)
- 3** L'agente non è classificabile in relazione alla sua cancerogenicità nell'uomo (505)
- 4** L'agente è probabilmente non cancerogeno per l'uomo (1)

WORLD HEALTH ORGANIZATION  
INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER



**IARC MONOGRAPHS  
ON THE EVALUATION  
OF CARCINOGENIC  
RISKS TO HUMANS**

**VOLUME 80  
NON-IONIZING RADIATION, PART 1:  
STATIC AND EXTREMELY LOW-FREQUENCY  
(ELF) ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS**

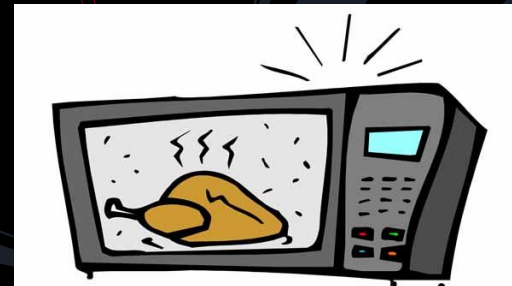
2002  
IARC*Press*  
L Y O N  
F R A N C E

# Effetti biologici di tipo cronico dei campi ELF e IF

- Nel 2001 la IARC (International Agency for Research on Cancer) classifica i campi magnetici ELF come **“possibilmente cancerogeni per l’uomo”** (gruppo 2B)
  - Limitata evidenza di leucemia infantile in bambini esposti a livelli elevati in ambienti residenziali (campi superiori a 0.3-0.4 microtesla)
  - Discrepanza tra i risultati di vari studi
  - Carezza di conferme sperimentali in condizioni controllate
  - Assenza di meccanismi patogenetici accertati

# Campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici a radiofrequenze (RF) (100kHz – 300 MHz) e microonde (MW) (300 MHz – 300 GHz)

RADIAZIONI IONIZZANTI			
$3 \times 10^{15}$	Radiazioni ottiche	UV	STERILIZZAZIONE LASER
$3 \times 10^{14}$		VISIBILE	LAMPADE SORGENTI TERMICHE
$3 \times 10^{11}$		INFRAROSSO	TELECOMANDI
$3 \times 10^9$	RADIOFREQUENZE	MICROONDE	IMPIANTI RADAR RADAR TERAPIA TELEFONIA CELLULARE FORNI A MICROONDE PONTI RADIO
			EMISSIONI RADIOTELEVISIVE MARCONITERAPIA RADIOAMATORI SALDATURA E INCOLLAGGIO RISCALDAMENTO A INDUZIONE
$3 \times 10^4$	BASSE FREQUENZE		METAL DETECTOR VIDEOTERMINALI MAGNETOTERAPIA ELETTRODOMESTICI LINEE ELETTRICHE LINEE TELEFONICHE
0	CAMPI MAGNETICI STATICI		RISONANZA MAGNETICA ELETTROLISI



# RF e MW Sorgenti e cicli tecnologici

## Applicazioni mediche e di ricerca:

- Radarterapia
- Marconiterapia
- Applicazioni correnti elettriche per stimolazioni e riabilitazione
- Diagnostica e monitoraggio elettronico in sala op. e terapia intensiva
- NRM
- Terapia chirurgica (radiobisturi)
- Terapia ipertermica di alcune forme tumorali

Andrea Stanga

# RF e MW Sorgenti e cicli tecnologici

## Applicazioni domestiche:

- Forni a microonde
- Antifurti e sistemi di allarme
- Elettrodomestici



## RF e MW Sorgenti e cicli tecnologici

### Sistemi per comunicazione radiotelevisive:

- Radionavigazione e telecomunicazioni
- Emissioni radio MF e TV, radar per traffico aereo, radar meteorologici, telemetria, telefoni cellulari
- Radar per navigazione marittima e aerea, comunicazioni via satellite, ponti radio a microonde, altimetria

# RF e MW Sorgenti e cicli tecnologici

## Applicazioni industriali:

- Saldatura, tempera, sterilizzazione, fusione
- Essiccamento, polimerizzazione, riscaldamento, incollaggio
- Sterilizzazione di dielettrici
- Processi in industrie alimentari e industrie elettroniche

# RF e MW Sorgenti e cicli tecnologici

## Applicazioni nella ricerca:

- **Degassaggio**
- **Fusione di prodotti diversi**
- **Creazione di plasma**
- **Accelerazione di ciclotroni**
- **Accelerazione lineare di protoni**
- **Spettroscopia a microonde**
- **Radiometeorologia**
- **Radioastronomia**

# SAR

**SAR (Specific Absorption Rate) è la potenza elettromagnetica assorbita per unità di massa e si esprime *in Watt per chilogrammo*.**

## SPECIFIC ABSORPTION RATE (SAR)

- Parametro dosimetrico che stima la quantità di energia elettromagnetica trasferita dal campo elettromagnetico al corpo per unità di tempo, divisa per la massa corporea:

$$\text{SAR} = (1/\rho)\sigma E_{\text{int}}^2 \quad (\text{W/kg})$$

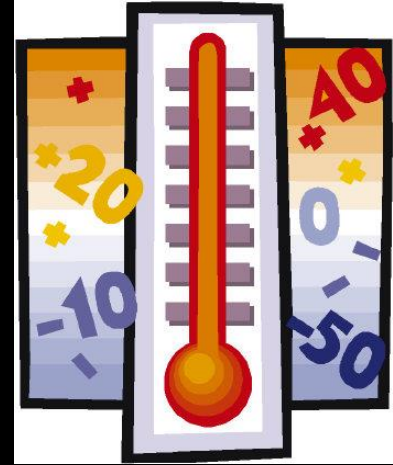
$\rho$ =densità del tessuto biologico

$\sigma$ =conducibilità del tessuto biologico (proporzionale al contenuto di H<sub>2</sub>O)

$E_{\text{int}}^2$ =valore efficace del campo elettrico interno

- La misura o il calcolo di SAR permette di definire la quantità di energia assorbita che si trasforma in calore ed allo stesso tempo consente di valutare l'intensità del campo elettrico all'interno dei tessuti esposti

# Campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici a RF e MW : effetti biologici di tipo acuto



## EFFETTI DIRETTI:

a frequenze da 10 MHz a 300 GHz, **il riscaldamento è l'effetto principale** dell'assorbimento di energia elettromagnetica:

- Livelli di campo
- Modalità di esposizione
- Caratteristiche del tessuto irradiato
- **Capacità di dissipazione del calore da parte dei meccanismi di termoregolazione**

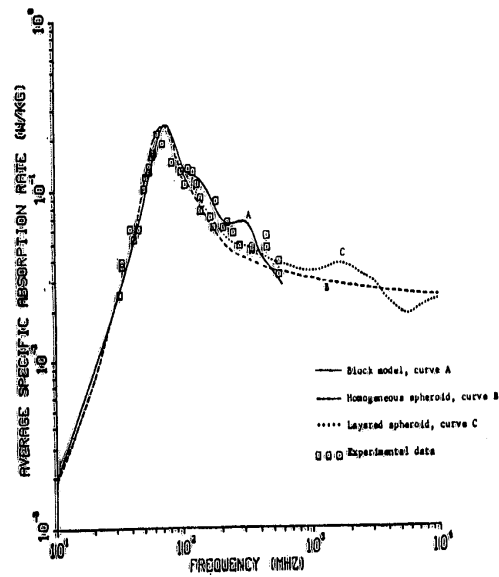


Fig. 1 : SAR (valore medio per tutto il corpo) ,stimata per frequenze comprese tra 10 MHz e 10 GHz su modelli a blocchi (curva A) , sferoide omogeneo (curva B) , sferoide stratificato (curva C) e in condizioni sperimentali. La SAR è riferita ad una densità di potenza di 1 mW/cm<sup>2</sup>

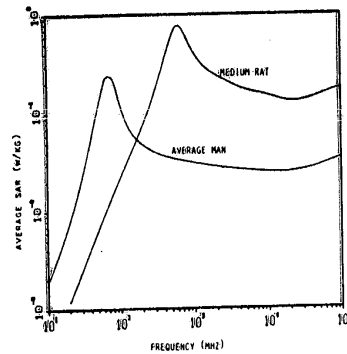


Fig. 2 : valore medio della SAR, valutato su modelli di uomo e di ratto. Notare la diversa frequenza cui corrisponde il picco di assorbimento in relazione alle diverse dimensioni (lunghezza) corporea. I valori di SAR si riferiscono ad una esposizione a 1 mW/cm<sup>2</sup>. (Durney, 1980)

Tabella n. 8

VALORI DI SAR (Specific absorption rate) PER ALCUNI  
 MAMMIFERI E PER L'UOMO (W/kg per  $1 \text{ mW/cm}^2$ ) SECONDO DURNEY ET AL.,  
 E I CORRISPONDENTI VALORI DI SIGMA CHE NE POSSONO ESSERE CALCOLATI

Specie	MHz 20 - 30	70	300	1000	2450	3000	10.000
topo	$8 \times 10^{-4}$	0.008	0.06	0.4	<u>1.00</u>	0.965	0.322
ratto	$1.8 \times 10^{-3}$	0.0125	0.3	<u>0.6</u>	0.23	0.26	0.25
coniglio	0.015	0.050	<u>0.80</u>	0.25	0.15	0.08	0.07
M. Rhesus	$1.7 \times 10^{-2}$	0.0125	<u>0.195</u>	0.10	0.07	0.065	0.060
cane	$1.5 \times 10^{-2}$	0.010	<u>0.10</u>	0.05	0.04	0.037	0.030
uomo (1 Y)	0.004	0.04	<u>0.15</u>	0.065	0.055	0.05	0.042
(Av)	0.015	<u>0.225</u>	0.04	0.03	0.028	0.027	0.026

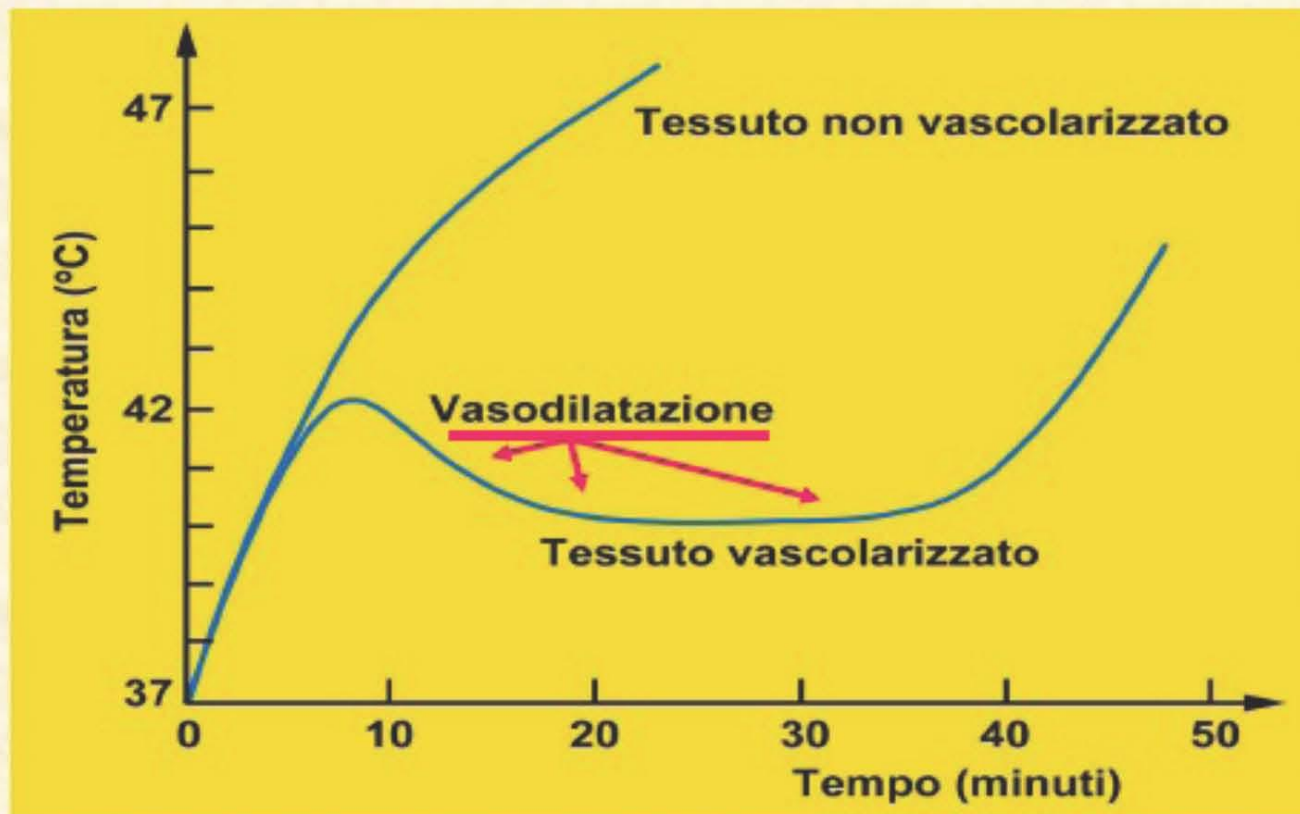


## Effetti delle radiofrequenze

Particolare importanza riveste inoltre la possibilità di disperdere il calore; per l'organismo umano il migliore scambiatore di calore è rappresentato dal sangue, per tale motivo gli organi od apparati meno vascolarizzati sono maggiormente suscettibili ai danni da radiazioni elettromagnetiche in quanto non sono in grado di ridistribuire il calore ricevuto da una fonte esterna.

**Per questo motivo, gli *organi critici* per eccellenza sono il *cristallino* e le *gonadi maschili*.**

## Variazioni di temperatura durante l'esposizione dei tessuti dell'organismo a un campo a radiofrequenze



Andrea Stanga

# Campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici a RF e MW : effetti biologici di tipo acuto

## **EFFETTI DIRETTI:**

Aumenti di temperatura superiori a  $1-2^{\circ}\text{C}$  possono comportare effetti nocivi per la salute (ACGIH 1996)

Studi su volontari hanno dimostrato che un'esposizione fino a 30 minuti in condizioni in cui il SAR medio sul corpo intero era inferiore a  $4 \text{ W/Kg}$ , provocava un aumento di temperatura di meno di  $1^{\circ}\text{C}$  all'interno del corpo (ICNIRP, 1998)

# Campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici a RF e MW : effetti biologici di tipo acuto

## EFFETTI DIRETTI sul cristallino e sulle gonadi maschili

- per intensita' rilevanti agli organi  
bersaglio: densita' di potenza superiore a  
500-600 W/m<sup>2</sup>

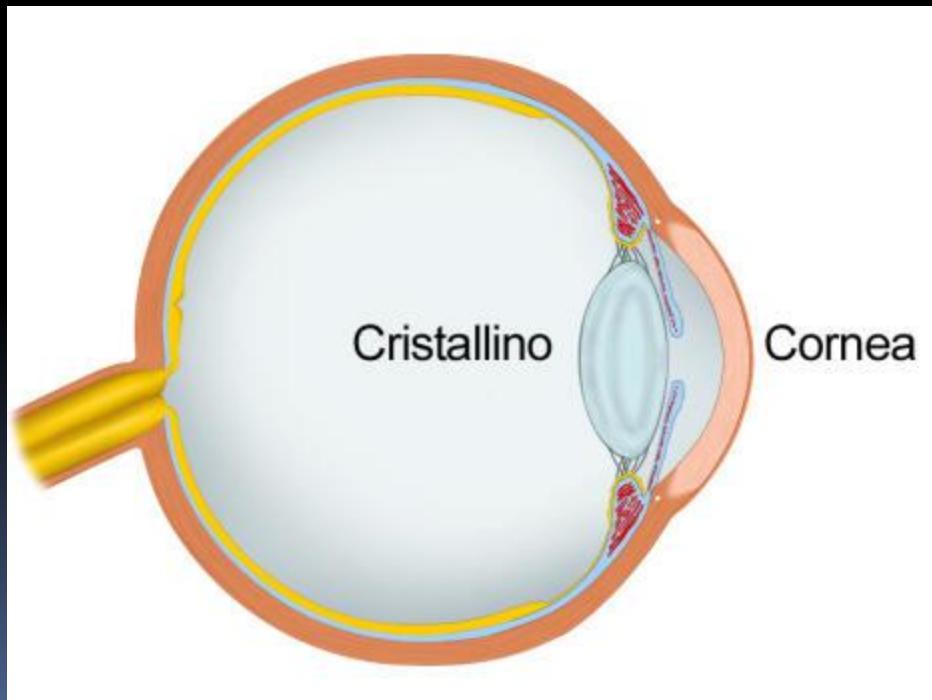
e

- tempi di esposizione prolungati

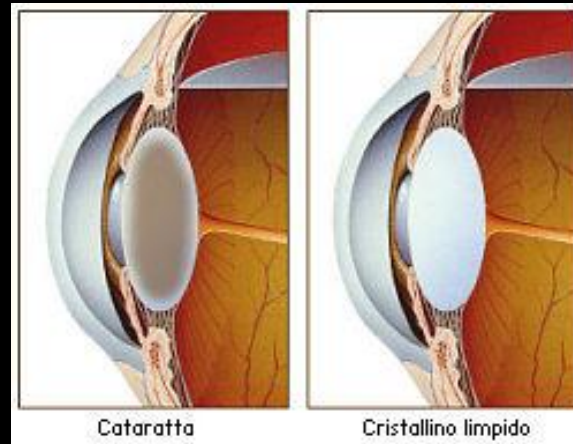
# Campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici a RF e MW : effetti biologici di tipo acuto

## EFFETTI DIRETTI sul cristallino

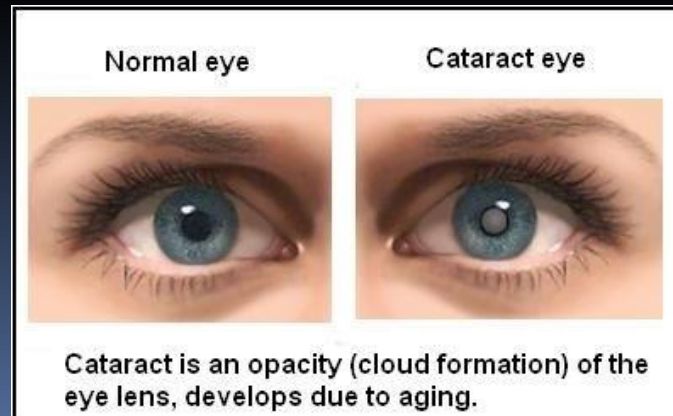
- struttura non vascolarizzata
- piu' vulnerabile al danno termico



# Campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici a RF e MW : effetti biologici di tipo acuto



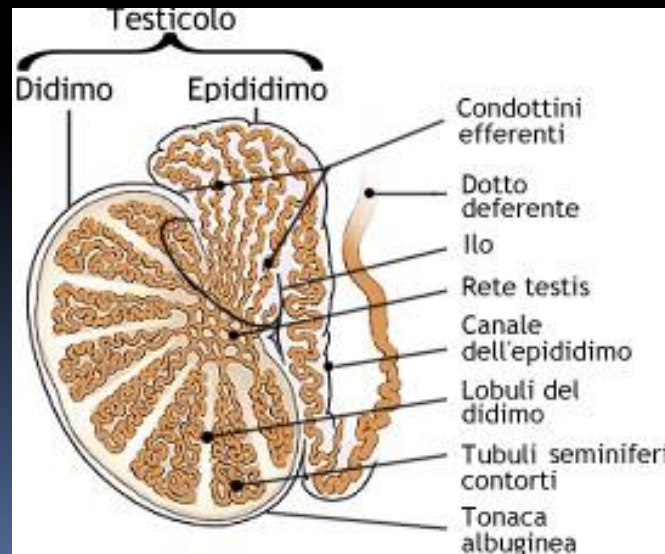
→ **opacita` clinicamente rilevabili (cataratta)**



# Campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici a RF e MW : effetti biologici di tipo acuto

## EFFETTI DIRETTI sulle gonadi maschili

- funzione endocrina e di produzione dei gameti a circa 35°C
- inibizione di spermatogenesi e' considerata reversibile e necessita di un rialzo di t di almeno 1-2°C



# Campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici a RF e MW : effetti biologici di tipo acuto

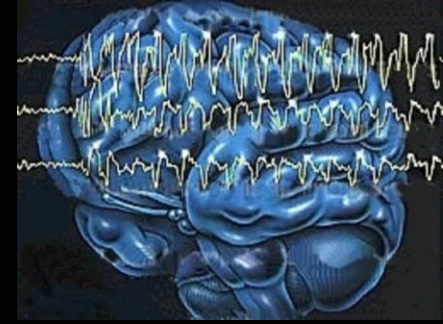
## EFFETTI DIRETTI (studi su animali da laboratorio)

L'esposizione a RF può causare un aumentato rischio di **aborto**, aumentata incidenza di **malformazioni e anomalie fetali**, ridotto peso alla nascita e riduzione della **fertilità maschile**.

Tali effetti erano presenti a livelli di esposizione sufficientemente elevati da determinare un significativo incremento della temperatura (ICNIRP 2009)



# Campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici a RF e MW : effetti biologici di tipo acuto



## EFFETTI DIRETTI NON TERMICI

- Non direttamente associati all'aumento della temperatura
- Alcune evidenze di piccole variazioni EEG (anche durante il sonno) e flusso cerebrale regionale con limitate conseguenze funzionali
- Non evidenze per effetti non-termici sulla funzione uditiva e vestibolare tranne per la percezione di RF pulsate (radar)

# Campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici a RF e MW : effetti biologici di tipo acuto

## EFFETTI DIRETTI NON TERMICI

- *"...the plausibility of various non-thermal mechanisms that have been proposed is very low" (ICNIRP 2009)*

# Campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici a RF e MW : effetti biologici di tipo cronico

## EFFETTI CANCEROGENI

- Numerose indagini epidemiologiche (popolazione esposta, professionali, **utilizzatori di telefoni cellulari**)
- Disomogeneità degli studi
- Differenze nella valutazione delle modalità espositive
- Indicazioni quantitative sull'intensità d'esposizione

# Campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici a RF e MW : effetti biologici di tipo cronico

## EFFETTI CANCEROGENI

### Progetto interphone

Published by Oxford University Press on behalf of the International Epidemiological Association  
© The Author 2010; all rights reserved. Advance Access publication 17 May 2010

*International Journal of Epidemiology* 2010;39:675–694  
doi:10.1093/ije/dyq079

---

THEME: CANCER

## Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case–control study

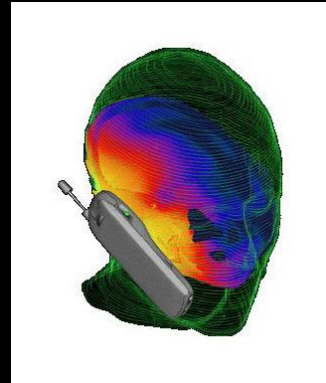
The INTERPHONE Study Group\*

# Campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici a RF e MW : effetti biologici di tipo cronico

## EFFETTI CANCEROGENI

### Progetto Interphone

- coordinato dallo IARC
- coinvolge 13 Paesi
- interviste a soggetti sani e malati di tumore sull'uso di cellulari
- arruolate complessivamente 12800 persone (2000-2004)
- 2708 casi e 2972 controlli
- studi nazionali caso-controllo basati su protocollo comune
- glioma e meningioma, neurinoma dell'acustico, tumore delle ghiandole salivari



# Campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici a RF e MW : effetti biologici di tipo cronico

## EFFETTI CANCEROGENI

**Progetto Interphone (2010):** glioma e meningioma

- aumento del rischio di glioma e meno di meningioma, nel decile piu' alto di tempo cumulativo di conversazione ( $\geq 1640$  h): OR 1.4 (IC 95% 1.03-1.89) (neoplasie omolaterali all'uso)
- *"Distorsioni ed errori limitano la forza delle conclusioni che si possono trarre da queste analisi e impediscono un'interpretazione causale"*

# Campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici a RF e MW : effetti biologici di tipo cronico

## EFFETTI CANCEROGENI

### Studi Svedesi : tumori cerebrali

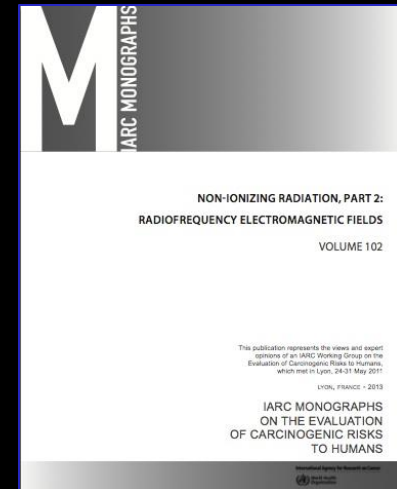
- 1148 casi e 2438 controlli
- Incremento del rischio di glioma tra gli utilizzatori vs i non-utilizzatori (OR 1.3; IC 95% 1.1-1.6)
- OR tra i piu' forti utilizzatori (> 2000 h) 3.2 (IC 95% 2.0-5.1)

# Campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici a RF e MW : effetti biologici di tipo cronico

## EFFETTI CANCEROGENI

Nel 2011 la IARC (International Agency for Research on Cancer) classifica i campi RF come “**possibilmente cancerogeni per l’uomo**” (gruppo 2B)

- Limitata evidenza sull’uomo
- Limitata evidenza in animali da laboratorio





# Campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici a RF e MW : effetti biologici di tipo cronico

## EFFETTI CANCEROGENI

Misure pragmatiche per ridurre l'esposizione  
(auricolari, sms ecc.)

Speciale riguardo per le popolazioni piu' giovani

# Campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici a RF e MW : effetti biologici di tipo cronico

## IDIOPATHIC ENVIRONMENTAL INTOLERANCE ATTRIBUTED TO ELECTROMAGNETIC FIELDS

Fenomeno, descritto in letteratura fin dagli anni '80, per il quale alcuni individui lamentano effetti avversi, essenzialmente di tipo aspecifico e soggettivo, anche molto intensi, che riferiscono ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici



# Campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici a RF e MW : effetti biologici di tipo cronico

## IDIOPATHIC ENVIRONMENTAL INTOLERANCE ATTRIBUTED TO ELECTROMAGNETIC FIELDS

- Sintomi a carico del sistema nervoso (ansia, disturbi dell'umore, alterazioni ritmo sonno-veglia, vertigini, bruciori, parestesie ecc.)
- Sintomi a carico della cute (prurito, eritema, papule ecc)
- Sintomi carico del sistema cardiovascolare (palpitazioni, tachicardia ecc.)
- Assenza di patologie pregresse in grado di spiegare la sintomatologia
- Spesso associata ad altre forme di scarsa tolleranza o intolleranza verso fattori ambientali
- Frequente peggioramento nel tempo

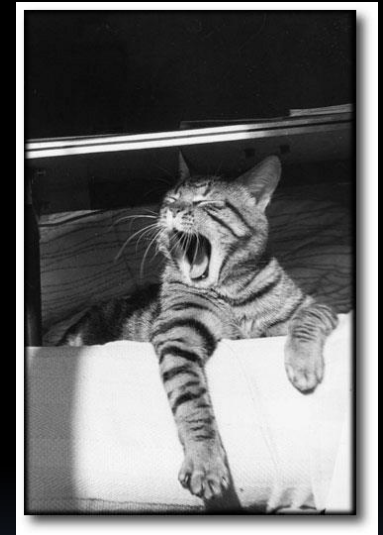
# Campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici a RF e MW : effetti biologici di tipo cronico

## Electromagnetic Hypersensitivity: A Systematic Review of Provocation Studies

G. JAMES RUBIN, PhD, JAYATI DAS MUNSHI, MBBS, AND SIMON WESSELY, MD

*Psychosomatic Medicine* 67:224–232 (2005)

*This systematic review could find no robust evidence to support the existence of a biophysical hypersensitivity to EMF*



### 3. LINEE GUIDA INTERNAZIONALI E DISPOSIZIONI LEGISLATIVE

# Direttiva 2004/40/CE

## DIRETTIVA 2004/40/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO *DELL'UNIONE EUROPEA*

avente per tema:

*“...le prescrizioni minime di sicurezza e di salute  
relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi  
derivanti dagli agenti fisici”*

Tra cui la diciottesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16,  
paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE per i

Campi elettromagnetici

# Direttiva 2013/35/UE

DIRETTIVA 2013/35/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO  
del 26 giugno 2013

sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (ventesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE) e che abroga la direttiva 2004/40/CE

## Articolo 16

### Recepimento

1. Gli Stati membri mettono in vigore le disposizioni legislative, regolamentari e amministrative necessarie per conformarsi alla presente direttiva entro il 1<sup>o</sup> luglio 2016.





**D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81**  
**Testo coordinato con il D.Lgs. 3 agosto 2009, n. 106**

**TESTO UNICO SULLA SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO**

**Attuazione dell'articolo 1 della Legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.**

**(Gazzetta Ufficiale n. 101 del 30 aprile 2008 - Suppl. Ordinario n. 108)**

**(Decreto integrativo e correttivo: Gazzetta Ufficiale n. 180 del 05 agosto 2009 – Suppl. Ordinario n. 142/L)**

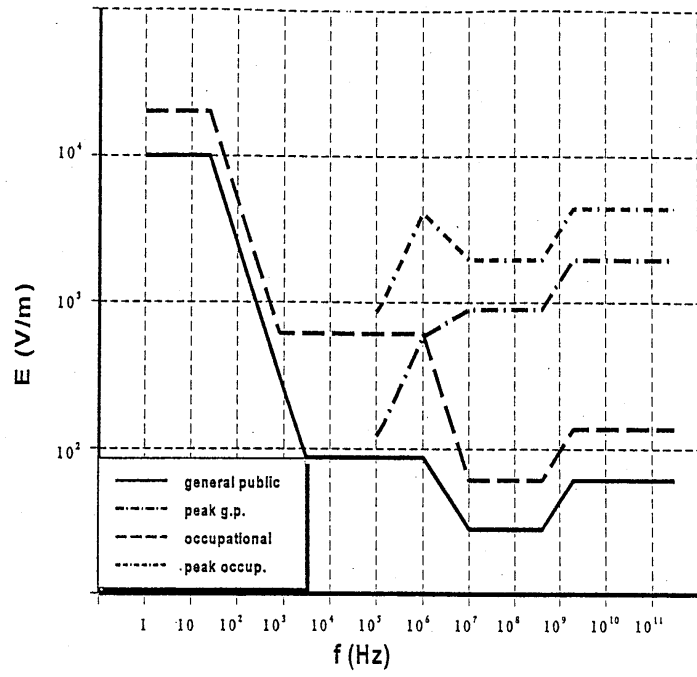


**Tabella B – Livelli di riferimento (valori efficaci-rms) per la prevenzione di effetti acuti per lavoratori esposti a campi elettromagnetici imperturbati per frequenze 0 Hz-300 GHz (ICNIRP 1998)**

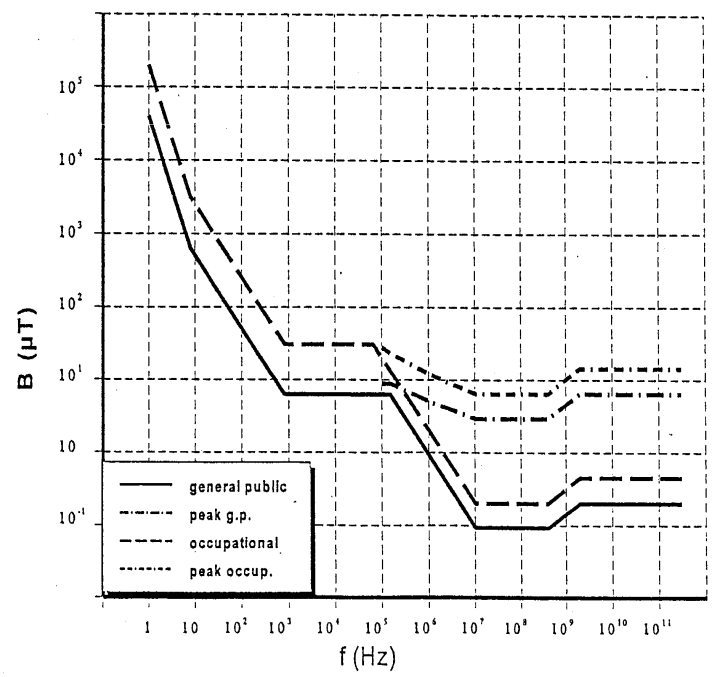
Individui esposti	Intervalli di frequenza	Intensità campo elettrico E (V/m)	Intensità campo magnetico H (A/m)	Induzione magnetica B (μT)	Densità di potenza onda piana equivalente $S_{eq}$ (W m <sup>-2</sup> )
Lavoratori	fino a 1 Hz	==	$1.63 \times 10^5$	$2 \times 10^5$	==
	1-8 Hz	20.000	$1.63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	==
	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
	400-2000 MHz	$3 f^{1/2}$	$0.008 f^{1/2}$	$0.01 f^{1/2}$	$f/40$
	2-300 GHz	137	0.36	0,45	50

**Tabella B' – Livelli di riferimento (valori efficaci-rms) per la prevenzione di effetti acuti per la popolazione esposta a campi elettromagnetici imperturbati per frequenze 0 Hz-300 GHz (ICNIRP 1998 e GUCE 1999)**

Individui esposti	Intervalli di frequenza	Intensità campo elettrico E (V/m)	Intensità campo magnetico H (A/m)	Induzione magnetica B (μT)	Densità di potenza $S_{eq}$ (W m <sup>-2</sup> )
Popolazione	0-1 Hz	==	$3.2 \times 10^4$	$4 \times 10^4$	==
	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
	400-2000 MHz	$1.375 f^{1/2}$	$0.0037 f^{1/2}$	$0.0046 f^{1/2}$	$f/200$
2-300 GHz	61	0.16	0.20	10	



Reference levels for exposure to time varying electric fields (compare Tables 6 and 7).



# RADIAZIONE OTTICA ARTIFICIALE

ROA

Andrea Stanga



# Radiazione ottica

Radiazione infrarossa	$\lambda$
IR-C	1 mm - 3000 nm
IR-B	3000 - 1400 nm
IR-A	1400 - 780 nm
Radiazione visibile	
VIS	780 - 380 nm
Radiazione ultravioletta	
UV-A	380 - 315 nm
UV-B	315 - 280 nm
UV-C	280 - 100 nm

- Secondo i criteri adottati dalla **CIE** (Commission Internationale d'Éclairage), lo spettro della radiazione ottica viene suddiviso, **in ordine decrescente di lunghezza d'onda e crescente di energia fotonica, in 7 intervalli spettrali:**  
**IR-C, IR-B, IR-A**  
**VIS**  
**UV-A, UV-B, UV-C**

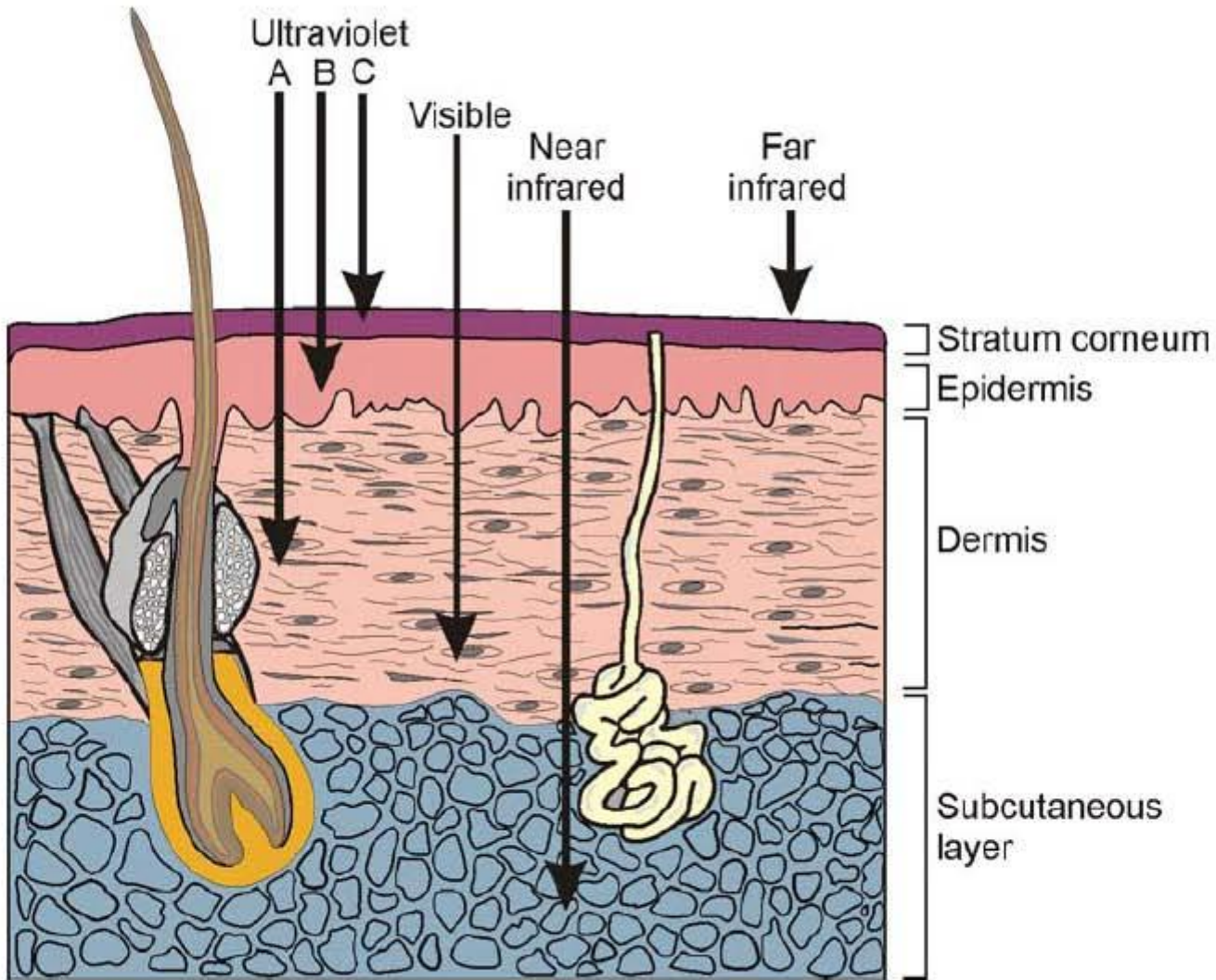
<b>TIPO DI RADIAZIONE</b>	<b>FONTI DI ESPOSIZIONE</b>
<b>Infrarosse</b>	impianti di riscaldamento corpi incandescenti tecniche termoterapeutiche
<b>Ultraviolette</b>	saldatura arco elettrico trattamenti ad alta temperatura fusione metalli Sterilizzazione Polimerizzazione Fototerapia
<b>Laser</b>	microchirurgia stampanti sintesi chimiche industria metallurgica fibre ottiche

# ROA

**Producono effetti deterministici, acuti o cronici.**

**Effetti che provocano danni riconducibili a due distinte categorie:**

- **danni di origine fotochimica**
- **danni di origine termica**



# RADIAZIONE INFRAROSSA (IR-C, IR-B, IR-A)

## Effetti diretti di tipo termico

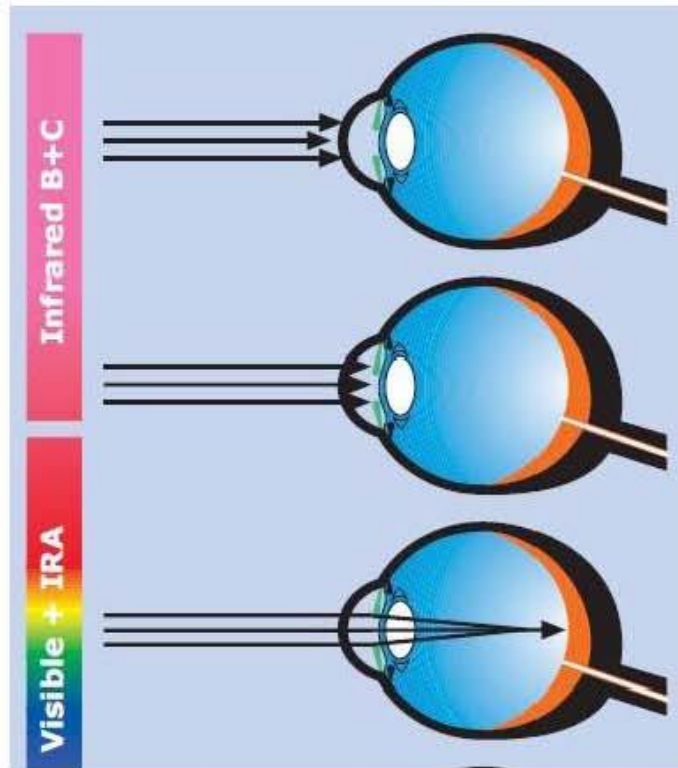
(aumento della temperatura causata dall'assorbimento della radiazione)

### Organi bersaglio:

- **cute:** eritema fino all'ustione
- **occhio:** cornea, cristallino (cataratta) ed in ultimo la retina



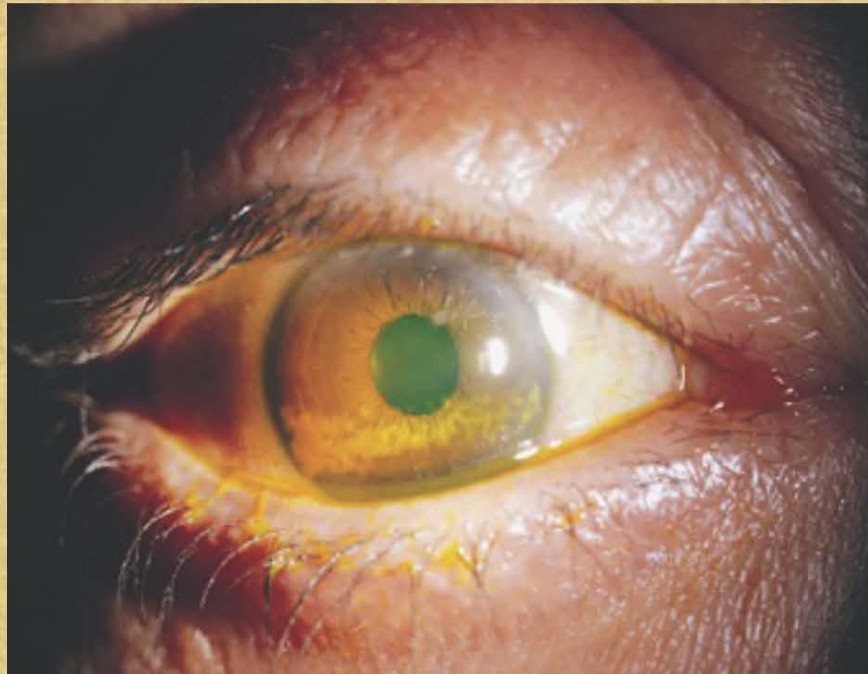
## Danni alla cornea e al cristallino da IR



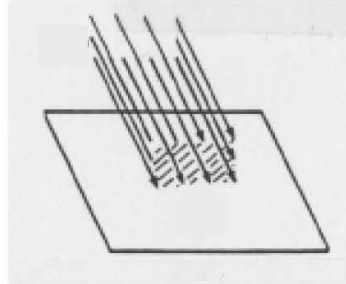
Ustioni della cornea: IR-B, IR-C

Possibili danni a lungo termine per il cristallino  
(**cataratta dei soffiatori di vetro**): IR-A, IR-B

Grandezza rilevante: **irradianza**. Effetti termici.



# IRRADIANZA



La prima grandezza fisica rilevante ai fini della descrizione del rischio che si introduce, dalla quale si derivano le altre, è l'irradianza, pari alla potenza incidente sull'unità di superficie:

$$E = \frac{dP}{dA}$$

L'unità di misura dell'irradianza è il  $W/m^2$

# RADIAZIONE VISIBILE

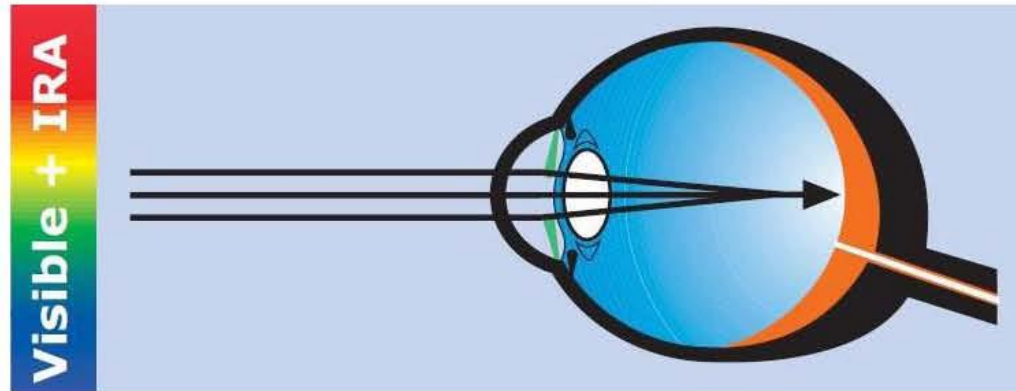
## Organi bersaglio:

➤ **occhio: effetti diretti**

**Effetto fotochimico: lesione dell'epitelio retinico pigmentato  
(periferico da luce bleu)**

**Effetto termico: lesione dell'epitelio retinico pigmentato  
(centrale)**

## Danni alla retina da luce e IR-A

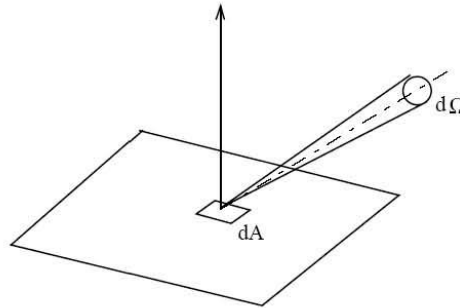


Fotoretinite, danno su base fotochimica dovuto alla luce che raggiunge la retina: massima efficacia attribuibile alla luce blu e viola (**danno da luce blu**).

Danno retinico di natura termica (**visibile e IR-A**).

Grandezza fisica rilevante: **radianza efficace**.

# RADIANZA



La grandezza fisica rilevante ai fini della descrizione dei rischi dovuti alla radiazione che raggiunge la retina è la radianza, pari alla potenza incidente sull'unità di superficie per unità di angolo solido:

$$E = \frac{dP}{dA d\Omega}$$

L'unità di misura della radianza è il  $W/m^2/sr$

# RADIAZIONE VISIBILE

## Organi bersaglio:

➤ **cute:** effetti indiretti

**Fotosensibilizzazione (da sostanze fotoattive di natura chimica presenti sulla pelle o assunte per via generale) con:**

- ✓ **Meccanismi fototossici: lesioni simili all'ustione solare**
- ✓ **Meccanismi fotoallergici: lesioni simil-eczematose**



05/11/13

sabato 11 maggio 2013



# RADIAZIONE ULTRAVIOLETTA (UV-C, UV-B, UV -A)

## Effetti deterministici diretti ed indiretti

### Organi bersaglio:

- cute
- occhio

# RADIAZIONE ULTRAVIOLETTA (UV-C, UV-B, UV -A)

## Effetti deterministici diretti

- **Occhio:** fotocheratocongiuntivite  
opacizzazione cristallino fino alla cataratta
- **Cute:** eritema fino all'ustione  
fotoinvecchiamento cutaneo



sabato 11 maggio 2013



05/11/13

sabato 11 maggio 2013



05/11/13

sabato 11 maggio 2013



05/11/13

sabato 11 maggio 2013

# RADIAZIONE ULTRAVIOLETTA (UV-C, UV-B, UV -A)

## Effetti deterministici indiretti

### ➤ Cute:

Fotosensibilizzazione (da sostanze fotoattive di natura chimica presenti sulla pelle o assunte per via generale) con:

- ✓ Meccanismi fototossici: lesioni simili all'ustione solare
- ✓ Meccanismi fotoallergici: lesioni simil-eczematose



Peter Hirt, Basel, Switzerland



## Dipendenza degli effetti a lungo termine dall'esposizione alla radiazione UV

Nel caso di un effetto a lungo termine **deterministico** quale il **fotoinvecchiamento cutaneo** la gravità dell'effetto aumenta con l'esposizione.

Nel caso degli effetti a lungo termine **stocastici**, quali i **tumori cutanei**, la **probabilità** dell'effetto aumenta con l'esposizione:

- nel caso del **carcinoma spinocellulare** il rischio è correlato con l'esposizione complessiva;
- nel caso del **melanoma maligno** il rischio sembra associato al numero di episodi di intensa esposizione (con eritemi e ustioni), soprattutto se occorsi in età giovanile.

# Radiazione ultravioletta



- Per quanto riguarda l'effetto cancerogeno (stocastico), va sottolineato che **la radiazione UV è attualmente considerata un cancerogeno completo**, in grado cioè di indurre e promuovere il processo tumorale.
- I **basaliomi** (carcinoma basocellulare) e gli **spinaliomi** (carcinoma spinocellulare o squamoso) si manifestano più frequentemente nella cute maggiormente fotoesposta e sono stati sperimentalmente indotti su animali, anche mediante esposizioni a radiazioni monocromatiche. Ciò ha consentito di determinare lo spettro d'azione cancerogeno, ossia determinare l'efficacia relativa delle diverse lunghezze d'onda nell'indurre detto effetto.
- E' soprattutto **il melanoma cutaneo, per la sua invasività e l'elevata tendenza a metastatizzare, la patologia più rilevante associata all'esposizione alla radiazione UV**

# Regioni spettrali, strutture critiche e danni possibili

<b>Regioni spettrali (nm)</b>	<b>Strutture critiche</b>	<b>Danni possibili</b>
180 – 400 (UV-C, UV-B, UV-A)	Occhio: cornea, congiuntiva e cristallino Pelle	Fotocheratite, fotocongiuntivite, cataratta Eritema, elastosi, tumori cutanei
315 – 400 (UV-A)	Occhio: cristallino	Cataratta
300 – 700 (VIS)	Occhio: retina	Fotoretinite
380 – 1.400 (VIS e IRA)	Occhio: retina	Ustione retinica
780 – 1.400 (IRA)	Occhio: retina	
780 – 3.000 (IRA e IRB)	Occhio: cornea e cristallino	Ustione corneale, cataratta
380 – 3.000 (VIS, IRA e IRB)	Pelle	Ustione cutanea

**DIRETTIVA 2006/25/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO**

**del 5 aprile 2006**

sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (radiazioni ottiche artificiali) (diciannovesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE)

## SORVEGLIANZA SANITARIA PER RISCHIO DA RADIAZIONI OTTICHE

- Il DPR 303/56 ("*Norme generali per l'igiene del lavoro*") dispone per i lavoratori addetti alle applicazioni industriali dei raggi ultravioletti e infrarossi, visite preventive, visite periodiche semestrali e una visita immediata quando l'operaio deninci o presenti segni patologici sospetti.
- Il DPR 336/94 ("*Regolamento recante le nuove tabelle delle malattie professionali nell'industria e nell'agricoltura*") prevede alla voce 51 "***le malattie causate da radiazioni ionizzanti, da laser e da onde elettromagnetiche***" e alla voce 54 la "***cataratta da energie raggianti***". Da cui, viene posto in essere l'obbligo della sorveglianza sanitaria nelle condizioni di esposizione al rischio stabilite dall'art. 34 del DPR 303/56.
- Raccomandazioni in tema di sorveglianza sanitaria per rischio da radiazione elettromagnetica non ionizzante: II° Dispositivi laser (*Med Lavoro* 1981; 1:71-73)

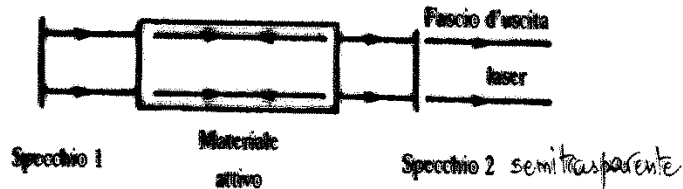
La **sorveglianza sanitaria** comprende:

- Valutazione dello stato di salute generale del soggetto
- Visita oculistica:
  - esame dell'acutezza visiva
  - esame del campo visivo
  - esame della sensibilità cromatica
  - esame del fundus oculi
  - biomicroscopia con lampada a fessura
  - retinografia se necessaria
- Visita dermatologica:
  - esame clinico
  - indagine fotografica (b/n, colori, o luce di Wood)

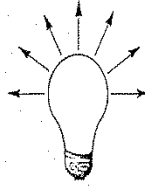
## DEFINIZIONE DI LASER

**LASER: " LIGHT AMPLIFICATION BY STIMULATED EMISSION OF RADIATION" (ingl.)**  
**= AMPLIFICAZIONE DELLA LUCE TRAMITE EMISSIONE PROVOCATA DA RADIAZIONE**

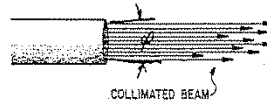
e' un dispositivo per la generazione di radiazione elettromagnetica, cioe' di una emissione luminosa caratterizzata da particolari proprieta' tra cui **MONOCROMATICITA'** e **COERENZA** sono le principali.



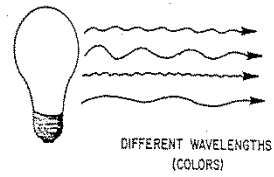
1. CONVENTIONAL LIGHT SOURCE



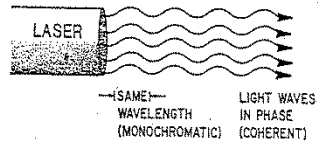
2. LASER



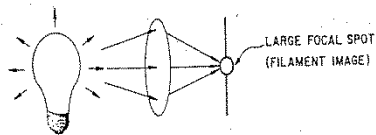
1. INCOHERENT



2. COHERENT & MONOCHROMATIC



1. CONVENTIONAL



2. LASER

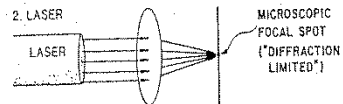


Tabella 3.3 - Principali campi d'impiego di sorgenti Laser

applicazione	tipo di Laser	$\lambda$ (nm)
lavorazione dei materiali: taglio, foratura, saldatura, trattamenti termici, marcatura	CO2	10600
	Nd-YAG	1060
misure di parametri fisici (distanze, velocità, ecc) controlli dimensionali, allineamenti, prodotti di consumo (lettori CD, penne laser, lettori codici a barre, ecc)	He-Ne	633
	GaAs	904
Telecomunicazioni: trasmissioni di segnali in cavo a fibre ottiche	GaAs	904
medicina	eccimeri	193
	Ar - Kr	488, 515, 647
	He-Ne	633
	GaAs	904
	Nd-YAG	1060
	CO2	10600
giochi di luce, spettacoli e intrattenimento	Ar - Kr	488, 515, 647



**LASER**  
**quantita' e unita' di misura**

**IRRADIANZA (E):** potenza radiante per unità di superficie ( $W/m^2$ )

**ESPOSIZIONE RADIANTE (H):** energia radiante per unità di superficie ( $J/m^2$ )

E e H quantificano la **dose di esposizione** emessa da un LASER

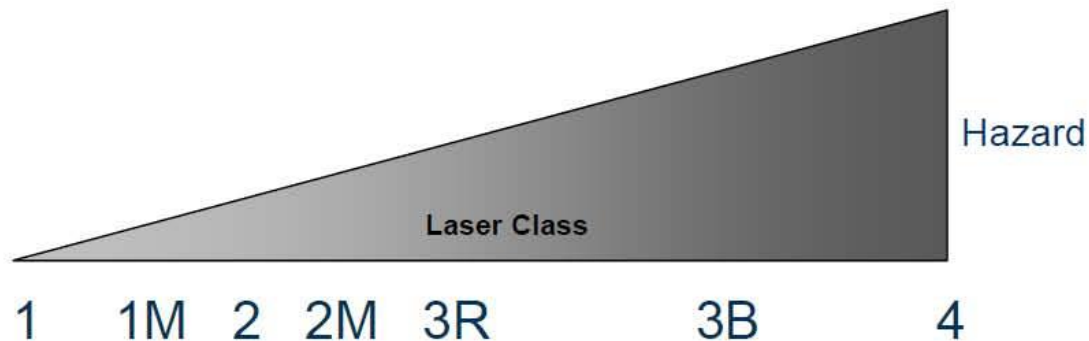
**RADIANZA (L):** potenza radiante per unità di superficie e per unità di angolo solido di emissione in steradiani ( $W/m^2sr$ )

**RADIANZA INTEGRATA NEL TEMPO (Lp):** energia radiante per unità di superficie e per unità di angolo solido di emissione in steradiani ( $J/m^2sr$ )

L e Lp esprimono la **brillantezza** della sorgente che dà origine all'immagine sulla retina

## CEI EN 60825-1:2009.

Sicurezza degli apparecchi laser. Classificazione delle apparecchiature e requisiti.



TIPO DI LASER	PERICOLO	Principali caratteristiche e requisiti di sicurezza
Classe 1	Nessuno	Nessuna prescrizione; il laser è innocuo in condizioni normali di esercizio
Classe 1M	Basso	Sicuri nelle condizioni di funzionamento ragionevolmente prevedibili. Possono essere pericolosi se vengono utilizzate ottiche di osservazione
Classe 2	Basso	Emettono radiazione visibile. Normalmente le reazioni di difesa naturali compreso il riflesso palpebrale (0,25 s) sono sufficienti per la protezione dell'occhio. Non fissare il raggio laser. Non dirigere il raggio verso le persone.
Classe 2M	Basso	Emettono radiazione visibile. Normalmente le reazioni di difesa naturali compreso il riflesso palpebrale (0,25 s) sono sufficienti per la protezione dell'occhio. Possono essere pericolosi se vengono utilizzate ottiche di osservazione. Non fissare il raggio laser. Non dirigere il raggio verso le persone.
Classe 3R	Medio	La visione diretta del fascio è sconsigliata in ogni caso. Il rischio è comunque inferiore a quello del laser di classe 3B. Non osservare direttamente il raggio laser. Non dirigere il raggio verso le persone. Consentire l'uso alle sole persone autorizzate. Formare in modo specifico il personale addetto.
Classe 3B	Medio	Sono normalmente pericolosi in caso di visione diretta del fascio. Le riflessioni diffuse sono normalmente sicure. Non dirigere il raggio verso le persone. Consentire l'uso alle sole persone autorizzate Formare in modo specifico il personale addetto. Utilizzare solo in zona confinata e sorvegliata Evitare le esposizioni indebite e adottare i necessari provvedimenti per l'accesso alla zona laser. Previsto il supporto del TSL
Classe 4	Alto	Sono normalmente pericolosi in caso di visione diretta del fascio e sono anche in grado di produrre riflessioni diffuse pericolose. Possono causare lesioni alla pelle e potrebbero costituire un pericolo d'incendio. Il loro uso richiede estrema cautela. Non dirigere il raggio verso le persone. Consentire l'uso alle sole persone autorizzate Formare in modo specifico il personale addetto. Utilizzare solo in zona confinata e sorvegliata Evitare le esposizioni indebite e adottare i necessari provvedimenti per l'accesso alla zona laser. Previsto il supporto del TSL

# RADIAZIONE LASER

## Effetti deterministici diretti ed indiretti

### Organi bersaglio:

- cute
- occhio

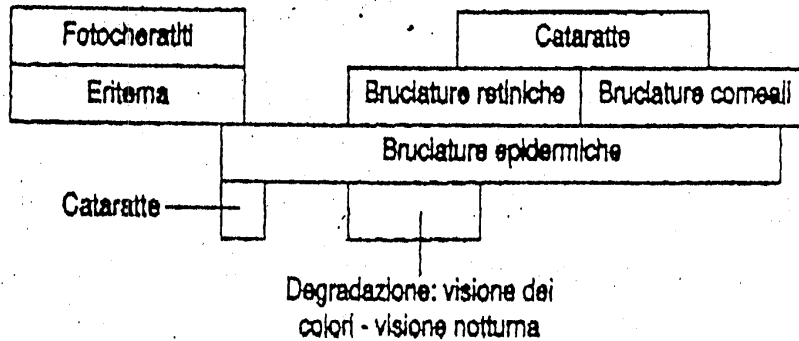
# RADIAZIONE LASER

## Effetti deterministici diretti:

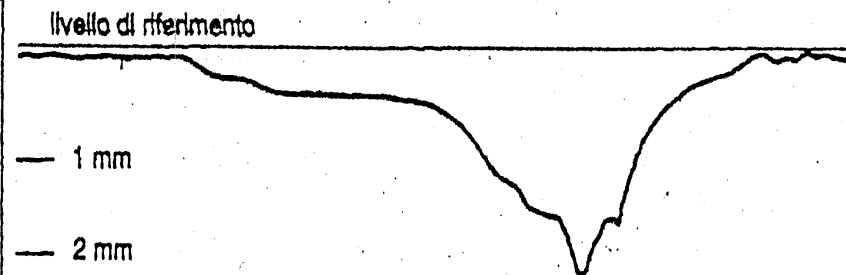
- **occhio:** retina-coroide  
cornea-iride-cristallino (con fotocheratiti ed opacità)
- **cute:** dall'iperemia all'ustione

Bande - CIE	UV-C	UV-B	UV-A	Visible	IR-A	IR-B	IR-C
nm	100	280	315	400	760	1400	3000 10°

Effetti dannosi



Profondità di penetrazione della radiazione sulla pelle



---

*ICNIRP Guidelines*

---

**GUIDELINES ON LIMITS OF EXPOSURE TO LASER  
RADIATION OF WAVELENGTHS BETWEEN 180 nm  
AND 1,000  $\mu\text{m}$**

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection\*

**Health Physics, 71(5):804-19 (1996)**

---

*ICNIRP Guidelines*

---

**REVISION OF GUIDELINES ON LIMITS OF EXPOSURE TO  
LASER RADIATION OF WAVELENGTHS BETWEEN 400 nm  
AND 1.4  $\mu\text{m}$**

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection\*

**Health Physics, 79(4):431-40 (2000)**

## PUNTATORI LASER

- La maggior parte dei puntatori laser emette luce rossa nell'intervallo spettrale tra 632.8 e 670 nm con potenze tra 0.5 e 5 mW.
- I puntatori laser appartengono alle classi 2 ( $\leq 1$  mW) e 3A (1-5 mW)
- Un laser con potenza di 5 mW non è in grado di produrre un danno termico alla retina (fotocoagulazione) per esposizioni momentanee (0.25 sec)
- Nel soggetto adulto, l'osservazione momentanea di un fascio di puntatore laser di potenza tra 3 e 5 mW non determina un rischio di danno retinico immediato o tardivo per via delle reazioni di difesa che si producono in meno di 0.25 s, quali i riflessi palpebrale e pupillare e la reazione di aversione dell'occhio
- E' tuttavia teoricamente possibile produrre una fotocoagulazione retinica in un occhio con mezzi diottrici perfettamente trasparenti per una esposizione di  $\geq 10$  s ad un fascio laser collimato con potenza di 5 mW

### Raccomandazioni ICNIRP (1999):

- La vendita di puntatori laser di classe  $> 2$  (potenza  $> 1$  mW) dovrebbe essere vietata
- Ai bambini non dovrebbero essere consentito di manipolare puntatori laser