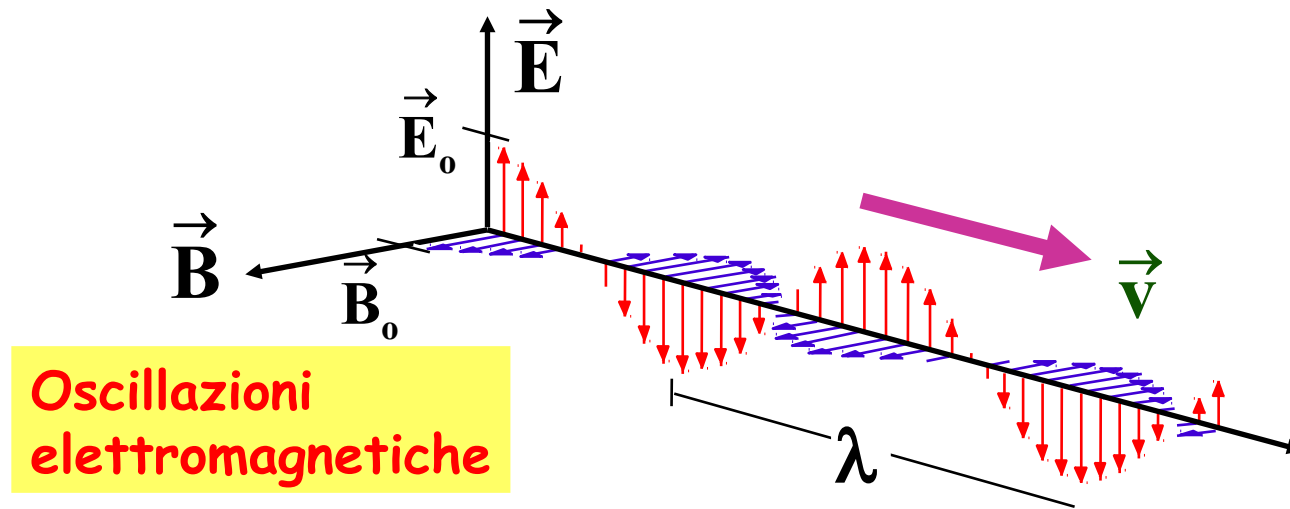


Onde elettromagnetiche

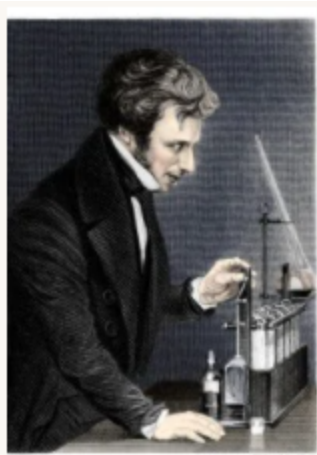
Onde Elettromagnetiche

Le onde elettromagnetiche sono oscillazioni dei campi elettrico e magnetico che si rigenerano a vicenda, propagandosi nello spazio alla velocità della luce.



Intorno alla metà del XIX secolo, il fisico scozzese J.C. Maxwell studiando i fenomeni elettrici e magnetici, scoprì che una carica elettrica oscillante produce un campo elettrico e un campo magnetico tra loro perpendicolari, che si propagano in forma di onde; alla propagazione delle onde è associato il trasporto di energia elettromagnetica e radiante. Egli da ulteriori studi concluse che:
la luce è costituita da onde elettromagnetiche (o radiazioni elettromagnetiche) formate dalla simultanea propagazione di un campo magnetico e di un campo elettrico tra loro perpendicolari

Nella propagazione dell'onda elettromagnetica il campo elettrico e il campo magnetico sono entrambi sinusoidali e tra loro perpendicolari.



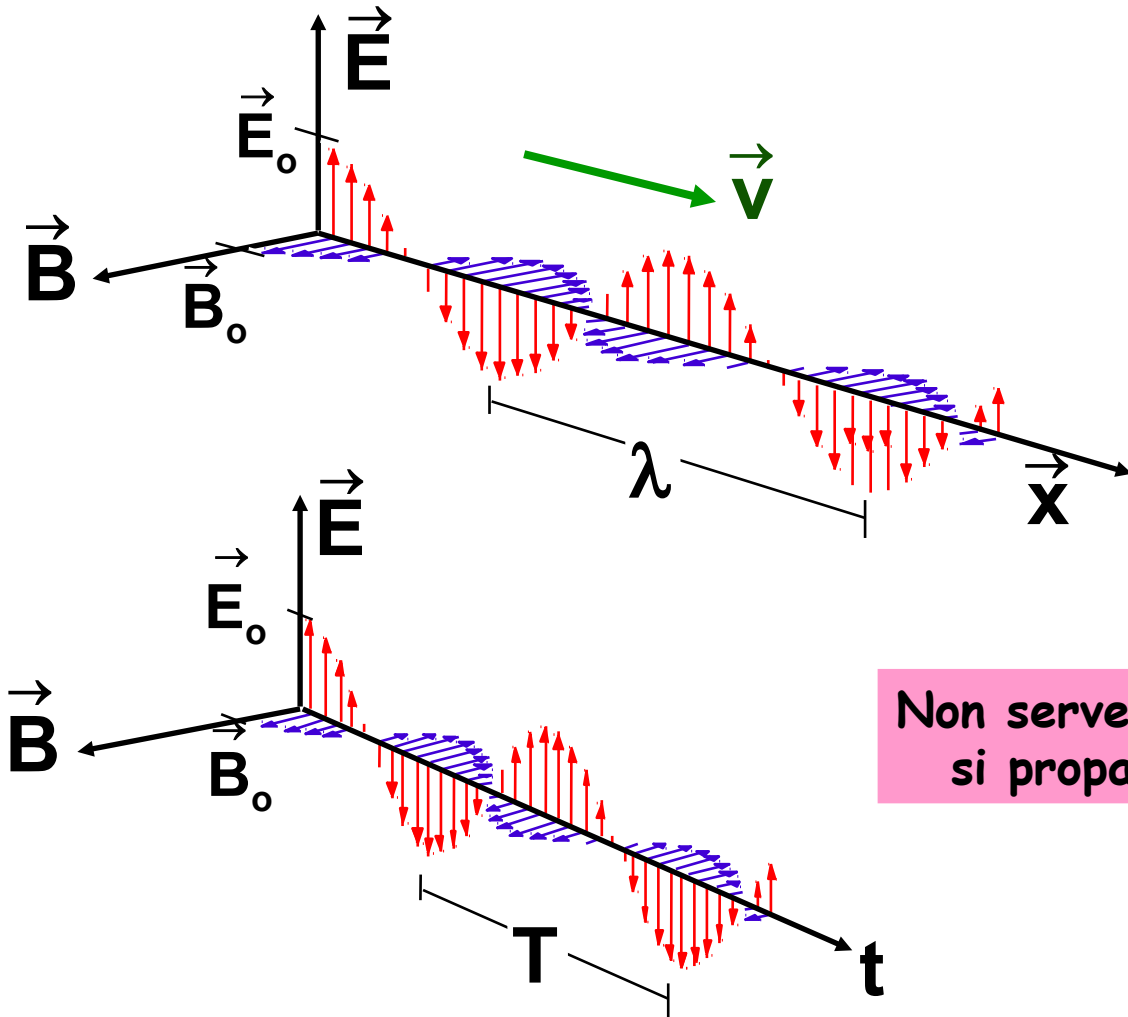
Michael Faraday,

Il fatto che la variazione di campo magnetico in un punto produca un campo elettrico variabile era stato descritto prima di Maxwell, dalla legge di Faraday-Neumann. Quest'ultima però assumeva che *alla diminuzione brusca di un campo magnetico corrispondesse lo stesso per il campo elettrico* e che il tutto si arrestasse entro un piccolo intervallo di tempo dall'annullamento del campo magnetico.

Legge di Maxwell Con Maxwell invece si parla di una propagazione nello spazio dei campi elettrico e magnetico, in conseguenza della corrente di spostamento indotta da esso stesso, ovvero del campo magnetico prodotto da una variazione del campo elettrico. *Da una variazione brusca di un campo elettrico o di un campo magnetico* ha perciò origine la propagazione di un impulso elettromagnetico: la configurazione dei campi non è quindi immobile ma si propaga nello spazio.



Onde elettromagnetiche



Def. onda elettromagnetica:
"oscillazione"
del campo elettrico
e del campo magnetico,
con direzione di propagazione
perpendicolare a entrambi

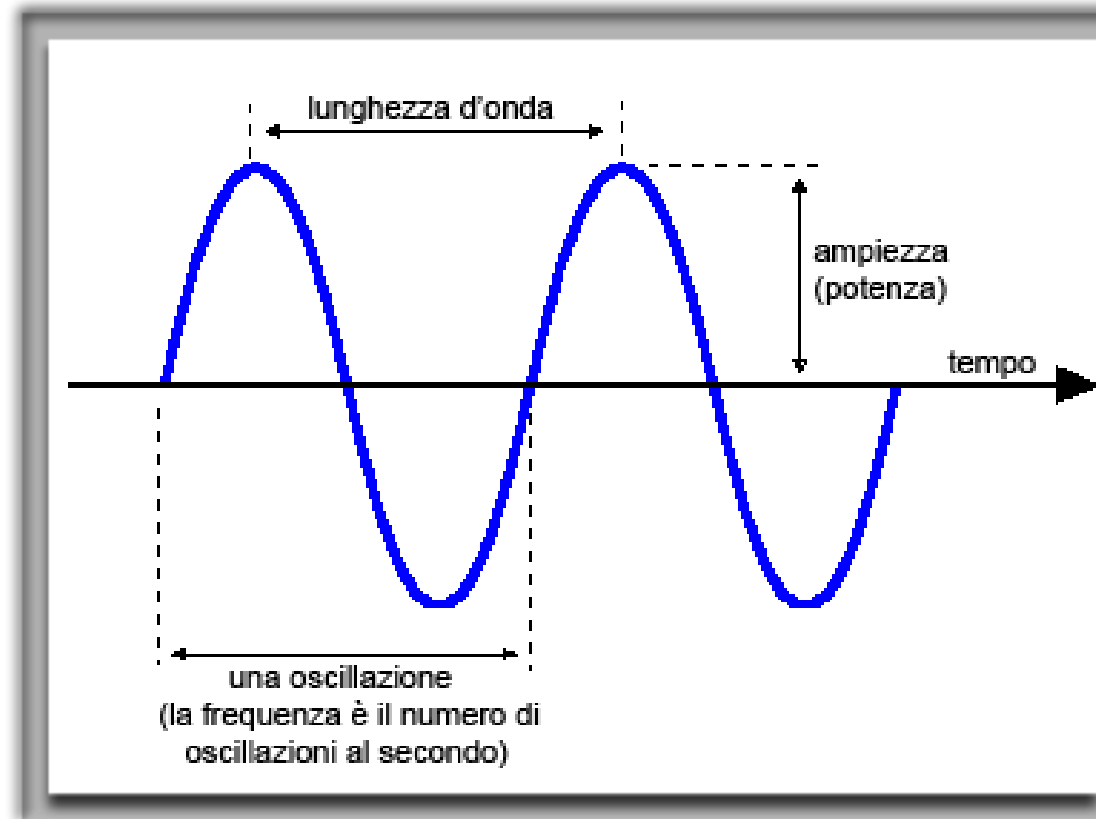
Non serve materia: le onde e.m.
si propagano **anche nel vuoto!**

Un fenomeno ondulatorio

- come per tutte le onde anche la radiazione elettromagnetica è soggetta ad attenuazione, riflessione, rifrazione, diffrazione, dispersione
- Un'onda elettromagnetica si forma grazie alla variazione nel tempo di una corrente elettrica ,e si comporta come una qualsiasi onda

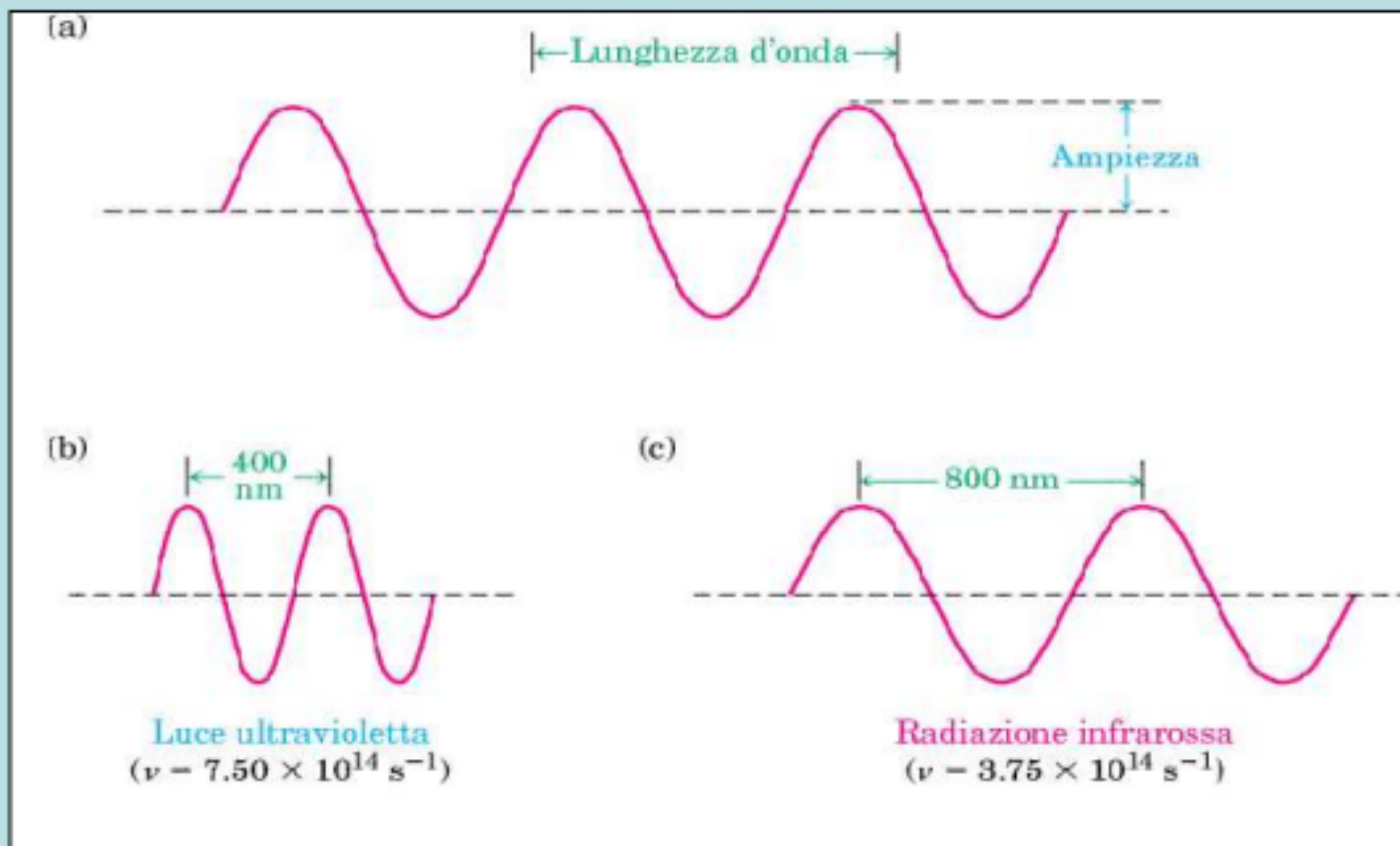
Caratteristiche onde elettromagnetiche

- **lunghezza d'onda λ** rappresenta la distanza fra 2 creste
- **l'ampiezza A** è la distanza del massimo dell'onda dall'asse di propagazione
- **la frequenza F** è il numero di oscillazioni in un secondo



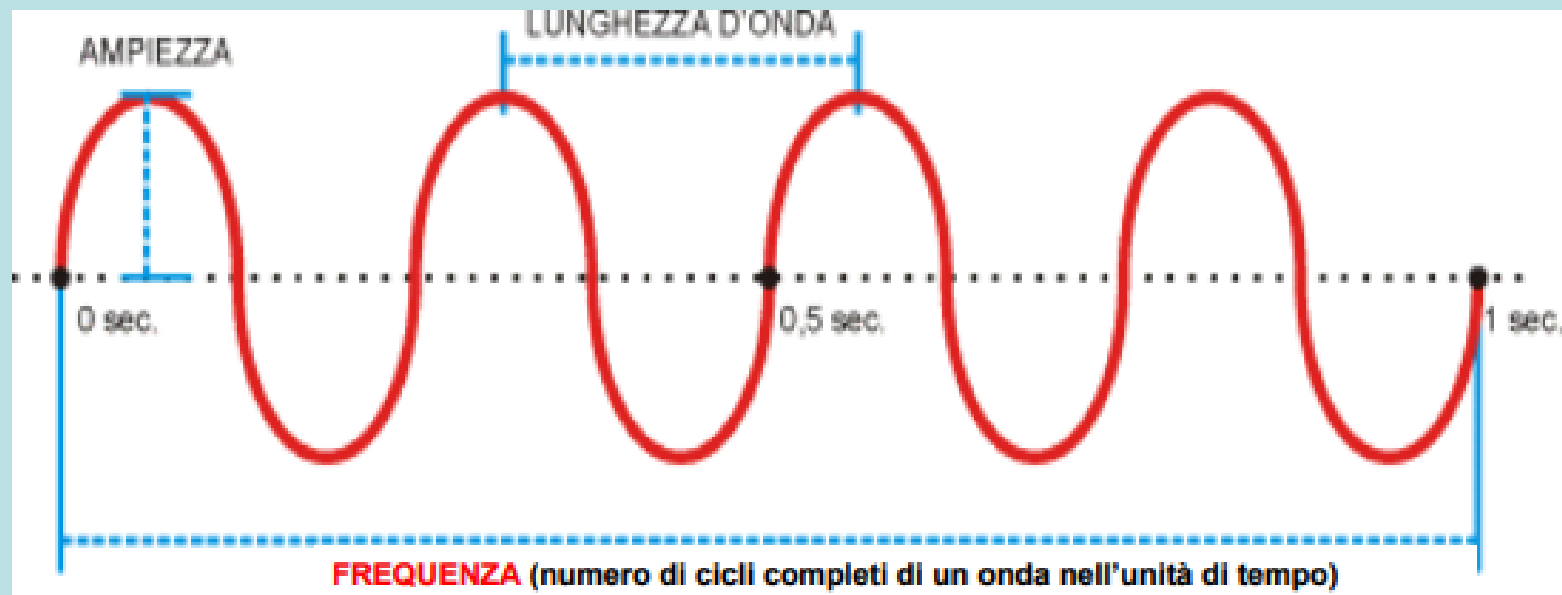
lunghezza d'onda (λ) è la distanza tra i massimi successivi di un onda.

Unità	Rapporto con il metro
metro	-
Millimetro (mm)	$1\text{mm}=10^{-3}$
Micrometro (μm)	$1\mu\text{m}=10^{-6}$
Nanometro (nm)	$1\text{nm}=10^{-9}$
Angstrom (\AA)	$1\text{\AA}=10^{-10}$



Frequenza (ν) è il numero di **cicli completi** di un'onda che passano per un punto in un secondo. Si misura in cicli al secondo, ovvero in Hertz (Hz):

$$1\text{Hz} = 1\text{ s}^{-1}$$



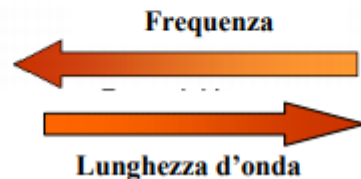
Velocità di propagazione (c) è la velocità dell'onda nel mezzo di propagazione. Nel vuoto vale $3 \cdot 10^{10}$ cm/sec.

Lunghezza d'onda e frequenza

Lunghezza d'onda e frequenza sono legate fra loro dalla relazione:

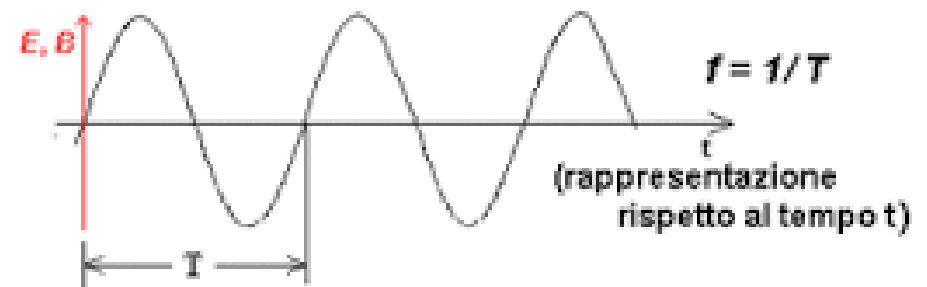
$$\lambda = c/v$$

La lunghezza d'onda λ è inversamente proporzionale alla frequenza ν

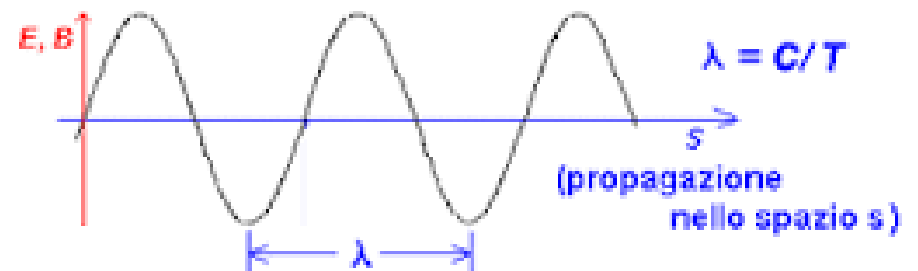


$$c = \lambda \times \nu$$

$$\nu = 1/T$$



lunghezza d'onda λ e
frequenza di oscillazione ν
velocità di propagazione c



Velocità della luce

Le onde elettromagnetiche si propagano
anche nel vuoto
secondo la consueta legge:

$$\lambda \nu = v$$

La loro velocità nel vuoto è sempre
 $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ (= 300000 km/s)

E' la velocità non solo della luce visibile,
ma anche di tutte le altre onde elettromagnetiche.

E' la massima velocità raggiungibile in natura.
Nei mezzi materiali, la velocità è sempre $< c$

Energia dell'onda elettromagnetica

Secondo la teoria corpuscolare, la radiazione è costituita da un fascio di particelle (fotoni) che si propagano in modo rettilineo con moto sinusoidale di frequenza ν .

Ciascun fotone è dotato di un' ENERGIA E , che è in relazione con la frequenza ν della radiazione attraverso l'equazione:

$$E = h\nu$$

L'energia di un fotone è proporzionale alla frequenza dell'onda:

Le onde elettromagnetiche trasportano energia
mediante i "fotoni",

Costante di Planck (h) $9.537 \cdot 10^{-14}$ kcal · s · mole⁻¹.

$$E = h\nu = hc/\lambda$$

$$(\lambda = c/\nu \quad \nu = c/\lambda)$$



PROPRIETÀ DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE

Grandezza che oscilla	La perturbazione che si propaga nello spazio è costituita dal campo elettrico e dal campo magnetico
Tipo di onda	Sono onde trasversali: i campi \vec{E} e \vec{B} sono perpendicolari alla direzione di propagazione dell'onda (e anche perpendicolari tra loro)
Materiale in cui si propagano	A differenza di quelle elastiche o di quelle acustiche, le onde elettromagnetiche possono propagarsi anche nel vuoto (oltre che nell'aria, nell'acqua e in altri materiali trasparenti a esse)
Origine	Sono generate dalle cariche che subiscono delle accelerazioni, in particolare dalle cariche che oscillano
Grandezze e relazioni	T : periodo dell'oscillazione; f : frequenza; v : velocità di propagazione $f\lambda = v, \quad \lambda = \frac{v}{f}, \quad f = \frac{v}{\lambda}$
Velocità di propagazione	È massima nel vuoto, dove vale $v = c = 3,00 \times 10^8$ m/s

Radio

microonde

infrarosso

visibile

ultravioletti

raggi X

raggi gamma



edifici



persone



insetti



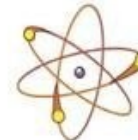
spilli



cellule



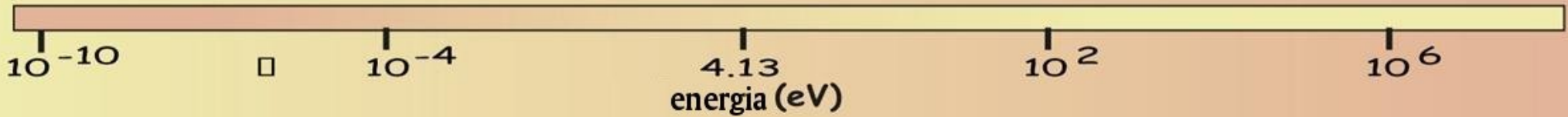
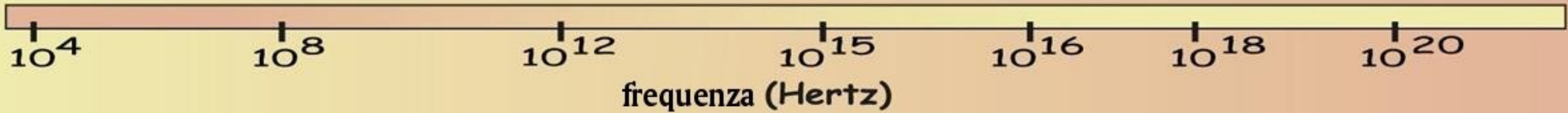
molecole



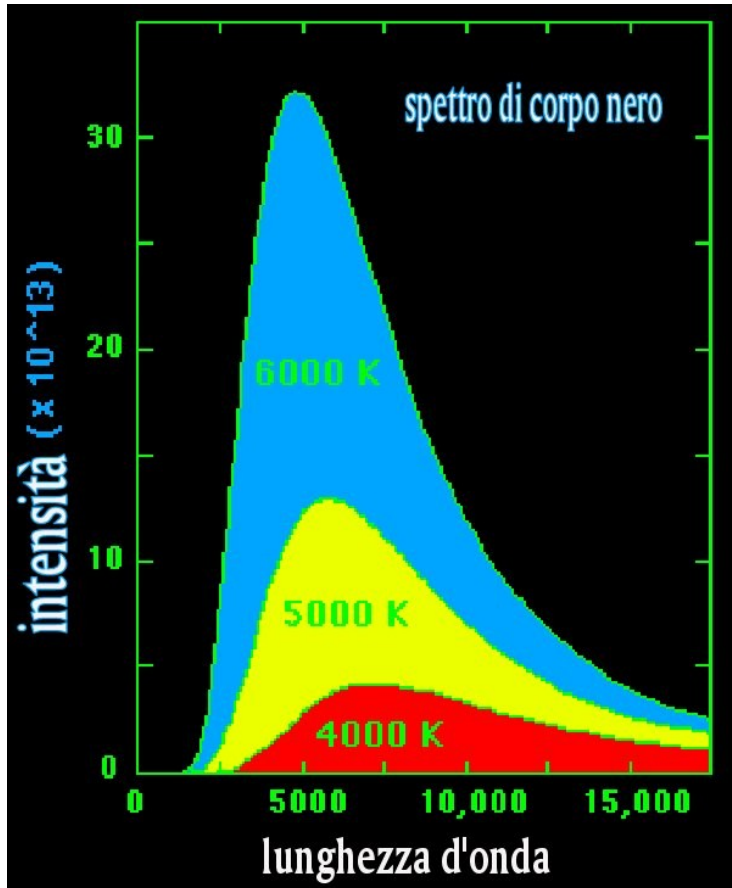
atomi



nuclei atomici



Ma cosa può emettere le radiazioni elettromagnetiche?



Qualsiasi corpo avente una temperatura superiore allo zero assoluto (-273,37 °C) emette radiazione elettromagnetica, questa radiazione prende il nome di radiazione di corpo nero ed è caratterizzata dalle seguenti leggi:

- Più il corpo è caldo e più il massimo di emissione cadrà alle lunghezze d'onda più brevi o alle maggiori frequenze
- Più il corpo è caldo e tanto maggiore sarà l'energia emessa dal corpo

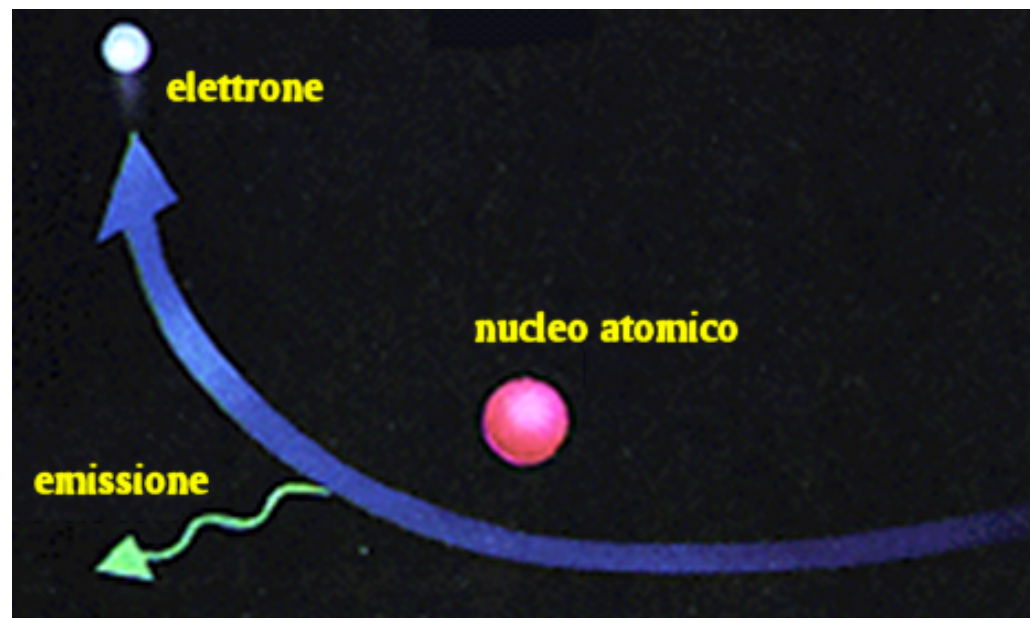
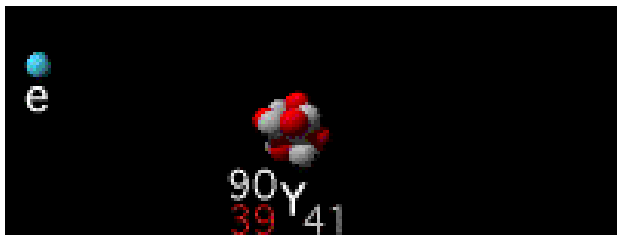
Avremo allora:

energia = costante di Stefan x temperatura⁴
lunghezza d'onda x temperatura = costante di Wien

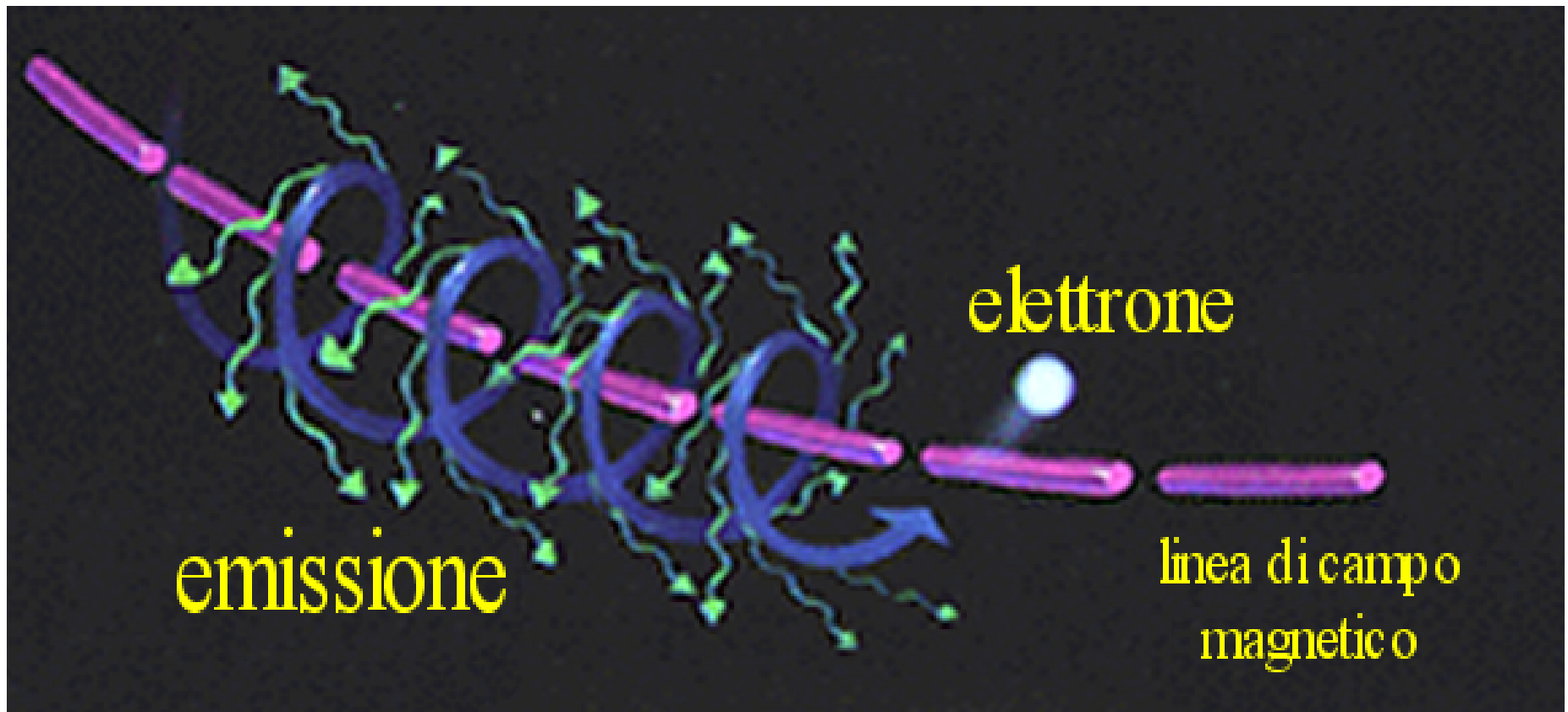
Altri fenomeni d'emissione...

L'elettromagnetismo ci insegna che una particella carica in moto rettilineo uniforme produce un campo elettrico e un campo magnetico, se quella particella viene poi accelerata lo stesso elettromagnetismo ci conferma che la carica in moto emette onde elettromagnetiche.

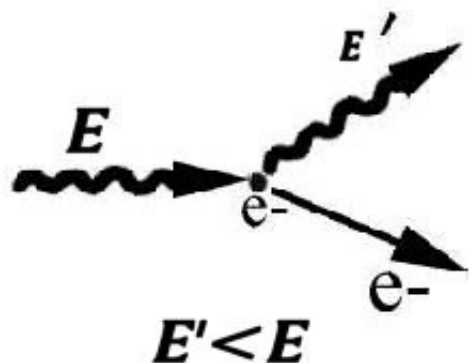
- **Bremsstrahlung:** letteralmente “radiazione di frenamento” fu ampiamente studiata nel secolo scorso da Einstein e riguarda l'emissione di onde elettromagnetiche da parte di particelle cariche frenate a causa di un passaggio ravvicinato ad un nucleo.



- ⊙ **Radiazione di sincrotrone:** causata da elettroni relativistici che spiraleggiano attorno le linee di campo magnetica, la loro emissione è dovuta all'accelerazione centripeta della forza di Lorentz, e cade nei raggi X
- ⊙ **Radiazione di ciclotrone:** prodotta come la radiazione di sincrotrone ma da elettroni non relativistici, l'emissione cade nella banda radio ed è tipica delle magnetosfere planetarie.

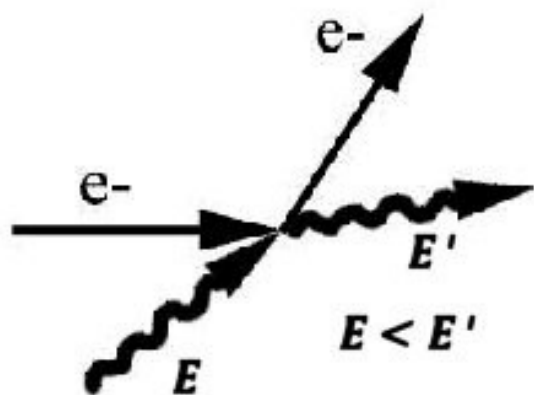


effetto Compton



un fotone di elevata energia, quindi gamma o X urta un elettrone e gli trasferisce quantità di moto

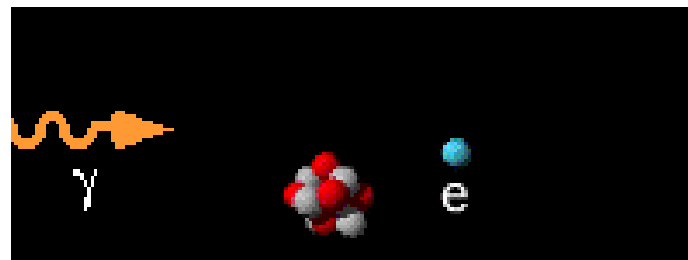
Effetto Compton inverso



L'elettrone perde energia a scapito del fotone che l'acquista

Secondo la fisica quantistica un'onda è anche una particella, per questo motivo un'onda elettromagnetica può essere vista come una particella chiamata fotone ed avente energia E , in quest'ottica possiamo introdurre un nuovo meccanismo di emissione: l'effetto Compton

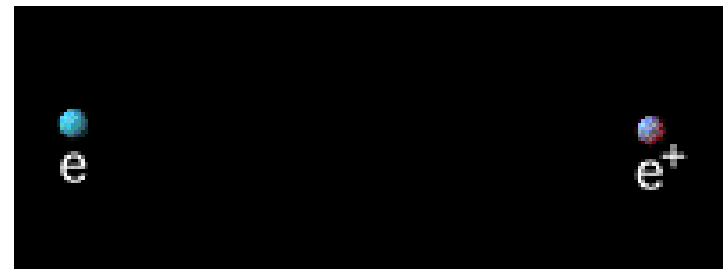
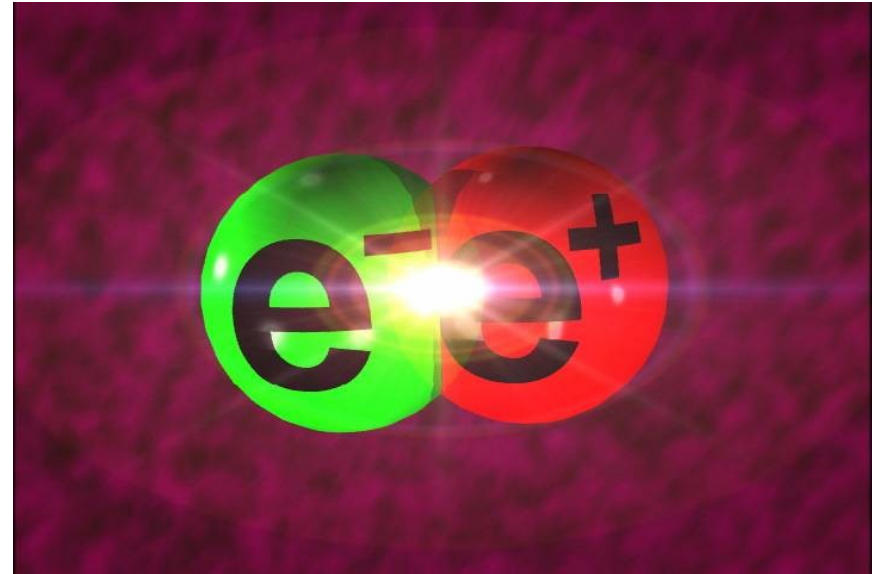
- **Effetto Compton**: un fotone X o Gamma urta un elettrone cedendogli energia, il fotone diffuso risulterà meno energetico
- **Effetto Compton Inverso**: Un elettrone energetico può urtare un fotone UV o X cedendogli energia, il fotone in tal caso diventa un fotone X o Gamma



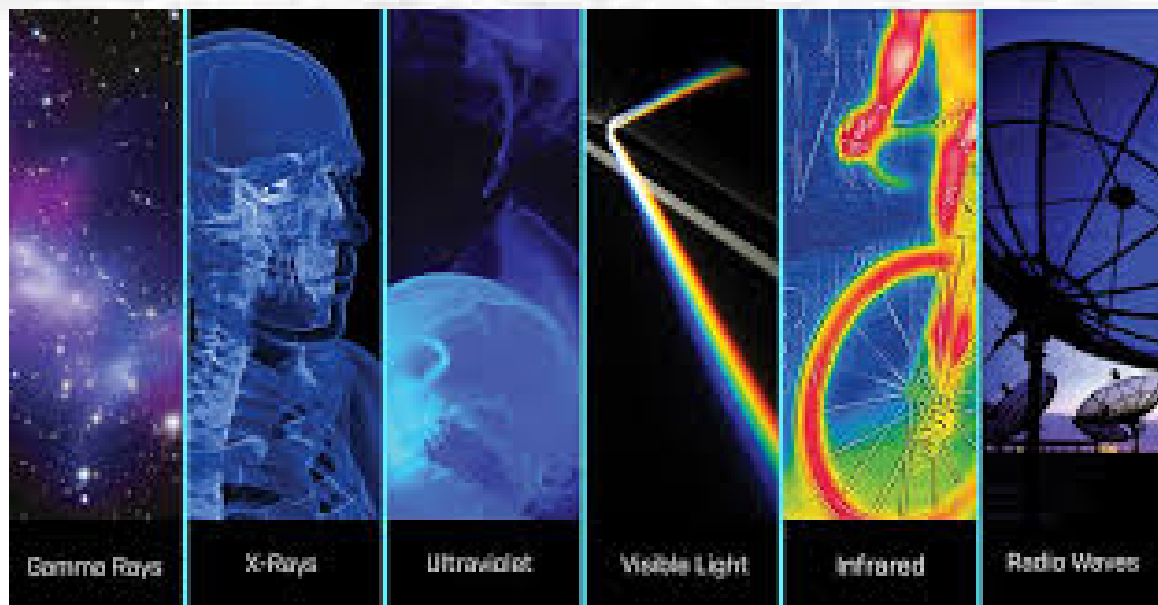
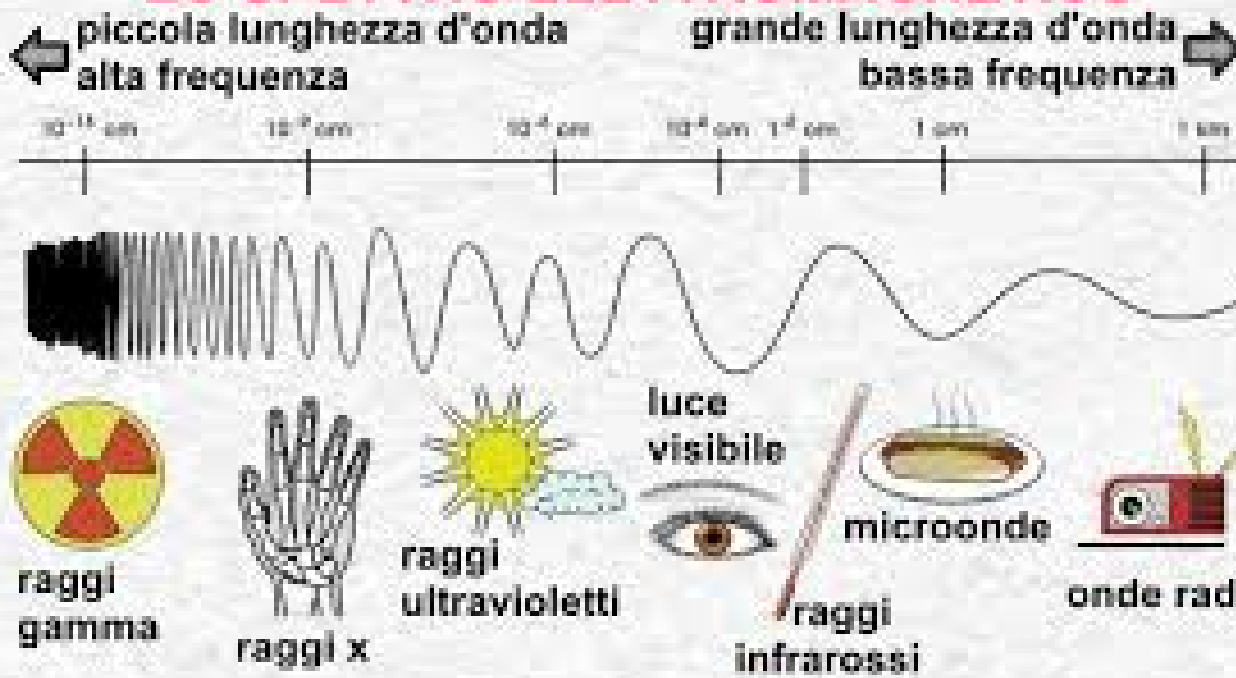
Annichilazione materia - antimateria

Il nostro mondo è costituito da materia. Durante la formazione dell'universo furono prodotte, in piccole quantità, particelle identiche a quelle che noi conosciamo ma con carica elettrica opposta. Si tratta dell' antimateria.

L'antimateria, a contatto con la materia, si annicchila producendo fotoni. Oggi l'antimateria è quasi scomparsa, viene prodotta solo da alcune reazioni nucleari come ad esempio il decadimento β^+ . Questi elettroni positivi, chiamati positroni, quando incontrano gli elettroni si distruggono e producono due fotoni da 511 keV.



LO SPETTRO ELETTRIMAGNETICO



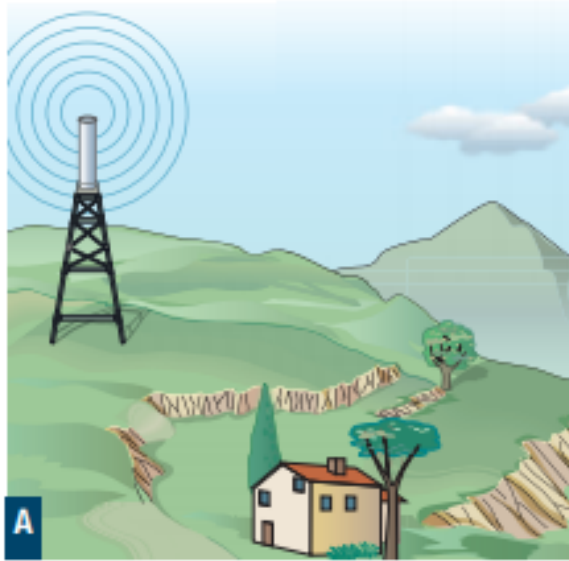
sorgenti di radiazione	finestre atmosferiche	tipo di radiazione	oggetti rilevabili
acceleratori di particelle sorgenti radioattive	frequenza (hertz) 3×10^{28} 3×10^{23}	raggi gamma	quark proton nucleo
tubi per raggi X	3×10^{19}	raggi X	atomo
sorgenti di radiazione di sincrotrone	3×10^{16}	ultravioletti	proteine
laser e lampade	3×10^{15}	visibile	virus
	$7,5 \times 10^{14}$		
	$4,1 \times 10^{14}$		
	10^{14}	infrarossi	cellula
	10^{13}		
	10^{12}		
	10^{11}		
	10^{10}	microonde	ape
antenna parabolica	10^9		palla
	10^8		
	10^7	onde radio	casa
antenna radio	10^6		
	10^5		

Le onde radio

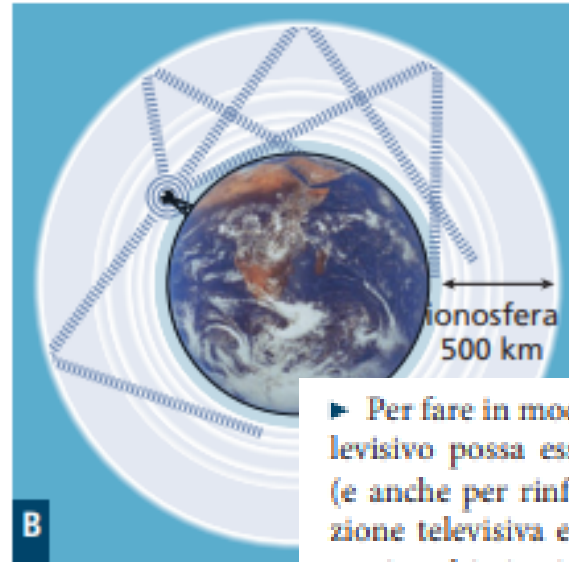
Le onde radio (o radioonde) occupano la fascia dello spettro delle lunghezze d'onda maggiori, comprese tra 10 cm e 1 km, e sono prevalentemente usate per le trasmissioni radiofoniche e televisive.

Le onde radio viaggiano da un radiotrasmettitore a un radioricevitore. Le informazioni che si vogliono far viaggiare (conversazioni nella radiotelefonica, parole o musica nella radiodiffusione, immagini e suoni nelle trasmissioni televisive ecc.) vengono prima convertite da un trasduttore in segnali elettrici di ampiezza variabile. In seguito tali segnali agiscono su un'onda, detta portante, di ampiezza e frequenza costante, generata nel trasmettitore attraverso un processo detto di modulazione.

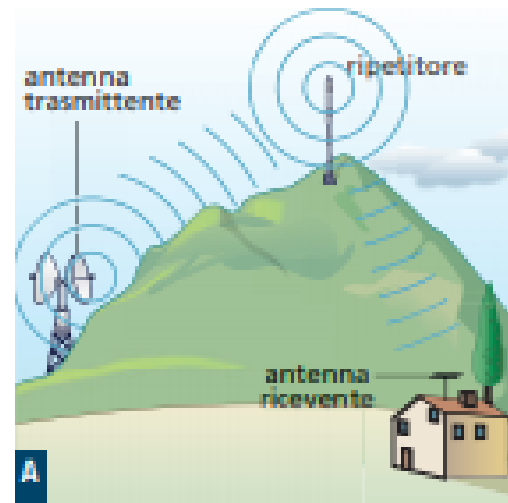
► Le onde medie hanno lunghezze d'onda attorno a 300 m. Grazie alla diffrazione, queste onde aggirano facilmente ostacoli piccoli come alberi e case. Sono invece fermate dalle montagne.



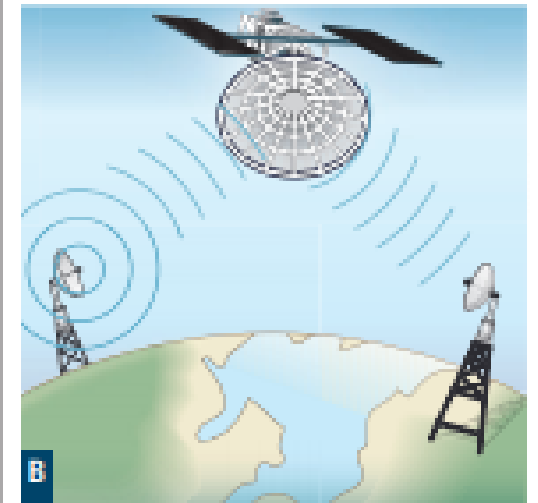
► Per trasmissioni a lunga distanza sono usate onde radio con λ compresa tra 10 km e 30 m. Queste onde sono riflesse dagli strati ionizzati dell'atmosfera e possono così superare la curvatura terrestre.



► Per fare in modo che il segnale televisivo possa essere visto ovunque (e anche per rinforzarlo), tra la stazione televisiva e gli utenti sono situati molti ripetitori, che ricevono il segnale e lo inviano di nuovo dopo averlo amplificato.



► In alternativa, il segnale televisivo è inviato a un satellite in orbita, che lo amplifica e lo rimanda verso Terra. Poiché tutte le antenne riceventi «vedono» il satellite, non c'è bisogno di installare dei ripetitori.



Microonde

Le microonde sono radiazioni elettromagnetiche che hanno frequenza compresa tra 1 GHz, corrispondente alla lunghezza d'onda di 30 cm, e i 300 GHz, ovvero 1 mm di lunghezza d'onda. . Le microonde stanno quindi fra le radiazioni del lontano infrarosso e le onde radio. Possono essere prodotte facilmente in modo artificiale con dispositivi allo stato solido, come alcuni particolari tipi di diodi o transistor a effetto di campo (FET).



Microonde

I **telefoni cellulari GSM** operano alla frequenza di 1,8 GHz per comunicare con la stazione radio base.

Le microonde sono utilizzate per le **comunicazioni con i satelliti** poiché attraversano l'atmosfera terrestre senza subire interferenze, come accade invece per le onde radio. Si ha inoltre più larghezza di banda (e quindi possibilità di trasportare più informazione) nelle microonde che non nelle onde radio.

I protocolli di comunicazione senza fili, come il **bluetooth** e IEEE 802.11 nelle varianti g e b utilizzano microonde nella banda a 2,4 GHz; la variante a lavora invece a 5 GHz. In alcune nazioni sono in uso servizi di accesso a Internet a lunga distanza (25 km) operanti nelle frequenze tra 3,5 e 4 GHz.

Alcuni servizi di diffusione televisiva, accesso a Internet e telefonia su cavo coassiale utilizzano microonde di bassa frequenza.

Antenna di un radar

I radar utilizzano le microonde per rilevare a distanza la presenza e il movimento di oggetti



Come funziona il Forno a microonde

Il forno scalda in realtà soprattutto l'acqua contenuta nei cibi.

Il riscaldamento in sé non avviene per risonanza, ma per "**riscaldamento dielettrico**". Ecco come avviene.

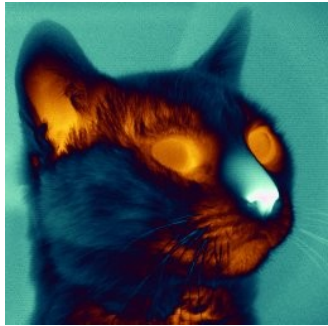


Le molecole d'acqua possiedono un "dipolo elettrico", cioè un polo di carica positiva ed uno di carica negativa. Un dipolo immerso in un campo tende ad allinearsi con il campo. Ma il campo delle microonde oscilla invertendo la propria direzione 2.45 miliardi di volte al secondo. Questo costringe le molecole d'acqua ad un movimento molto rapido. Nel loro moto le molecole d'acqua urtano le altre molecole, e comunicano parte della loro energia.

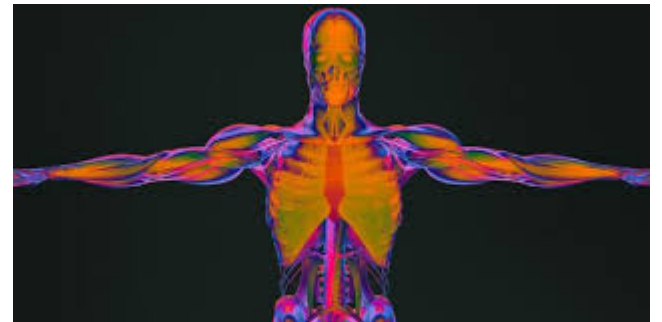
Ricordiamo che la temperatura di un corpo è proporzionale all'energia cinetica media delle sue molecole. Quindi, dopo un po' di tempo parte dell'energia delle microonde è trasferita alle molecole del cibo, che risulta più caldo.

infrarosso

Le radiazioni infrarosse sono emesse da ogni corpo 'caldo' e, inversamente, ove siano assorbite da un corpo, danno luogo in questo a uno sviluppo di calore; queste proprietà termiche sono comuni a tutte le radiazioni elettromagnetiche, ma si manifestano in modo più sensibile con le radiazioni infrarosse, che pertanto sono anche dette radiazioni termiche.



L'emissione infrarossa è legata a transizioni tra livelli energetici vibrazionali delle molecole.



Termometri a infrarossi



Ogni corpo riceve energia dallo spazio circostante, una parte di essa viene assorbita, la restante viene riflessa. In teoria ci sono corpi che assorbono tutta l'energia (corpo nero) o che la riflettono tutta (corpo bianco), nella realtà invece esistono solo corpi che la assorbono parzialmente (corpo grigio). L'energia assorbita dal corpo viene poi riemessa e se il corpo si trova all'equilibrio termico l'energia emessa è la stessa di quella assorbita

La radiazione emessa è proporzionale alla temperatura del corpo (Legge di Stefan-Boltzmann).

La lunghezza d'onda alla quale l'intensità della radiazione emessa è massima varia con la temperatura (Legge di Wien).

C'è quindi un collegamento diretto tra l'energia che emette un corpo e la sua temperatura superficiale ed è proprio questo collegamento che sfruttano i termometri IR.

Ogni corpo emette radiazioni elettromagnetiche: la quantità di radiazioni emesse è direttamente proporzionale alla temperatura del corpo elevata alla quarta, secondo la legge di Stefan-Boltzmann. Di conseguenza, più un corpo è caldo, più radiazioni emette.

Anche la frequenza delle radiazioni emesse varia con la temperatura: tutti sappiamo per esempio che un pezzo di ferro riscaldato dal fabbro in una fornace diventa prima rosso e poi bianco. La figura 2 mostra il grafico, in scala logaritmica, dell'emittanza spettrale (cioè la potenza irradiata per unità di superficie e di lunghezza d'onda) di un corpo nero a varie temperature in funzione della lunghezza d'onda della radiazione emessa.

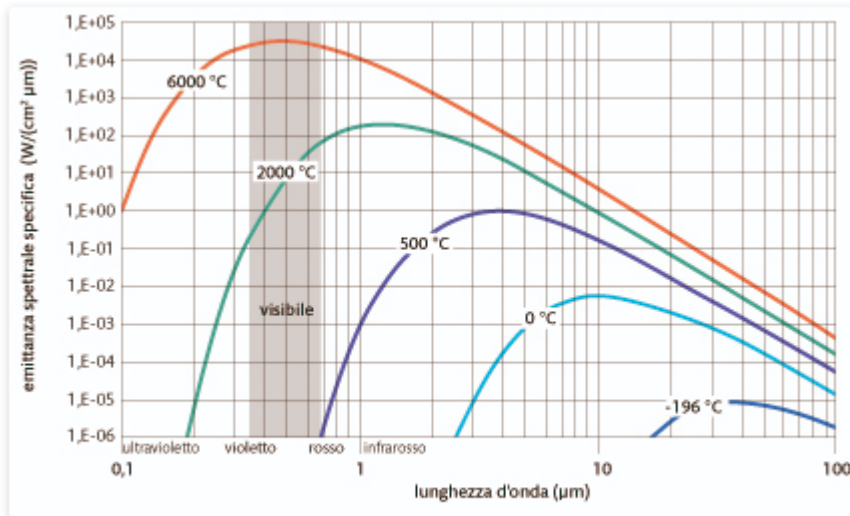


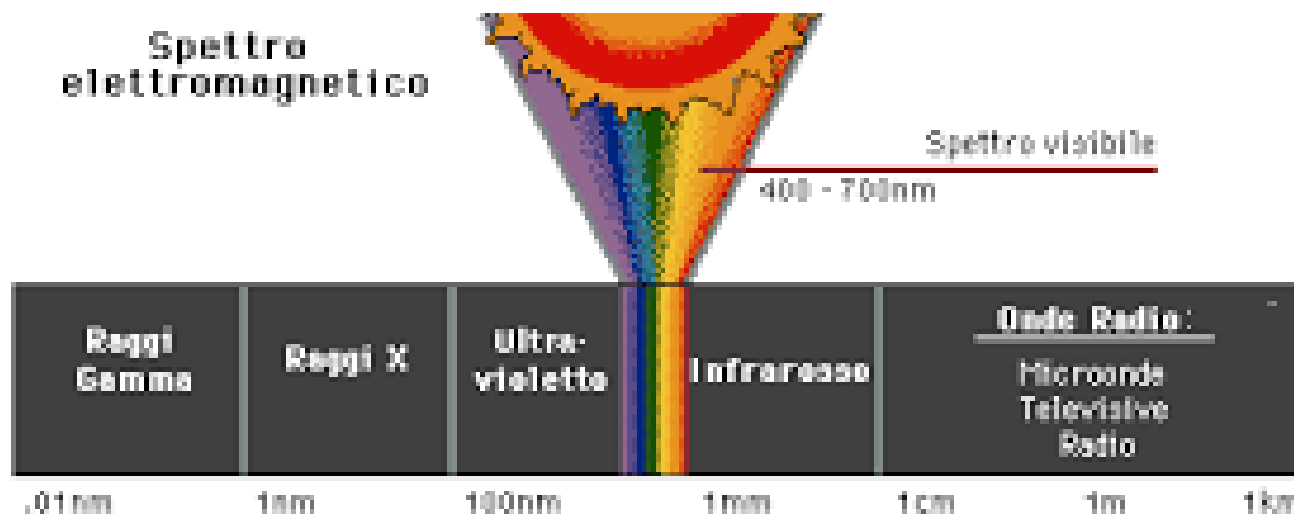
Figura 2: Spettro di emissioni del corpo nero a varie temperature

Ricapitoliamo: tutti i corpi nell'intervallo di temperature che ci interessano, cioè tra 0 °C e 500 °C, emettono radiazioni infrarosse; più il corpo è caldo, più radiazioni infrarosse emette.

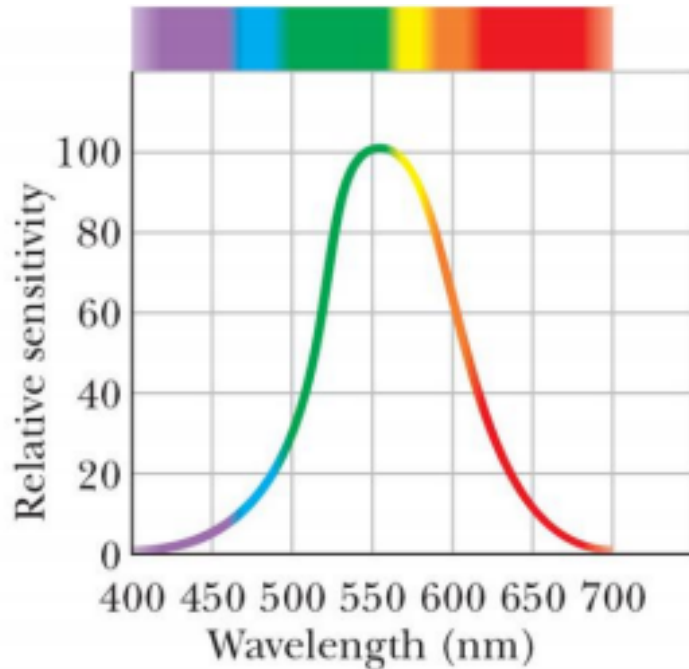
Tutto ciò che ci serve quindi è uno strumento che misuri la quantità di radiazioni infrarosse emesse dal corpo del passeggero: chi ha la febbre infatti emette più radiazioni.

Lo spettro visibile

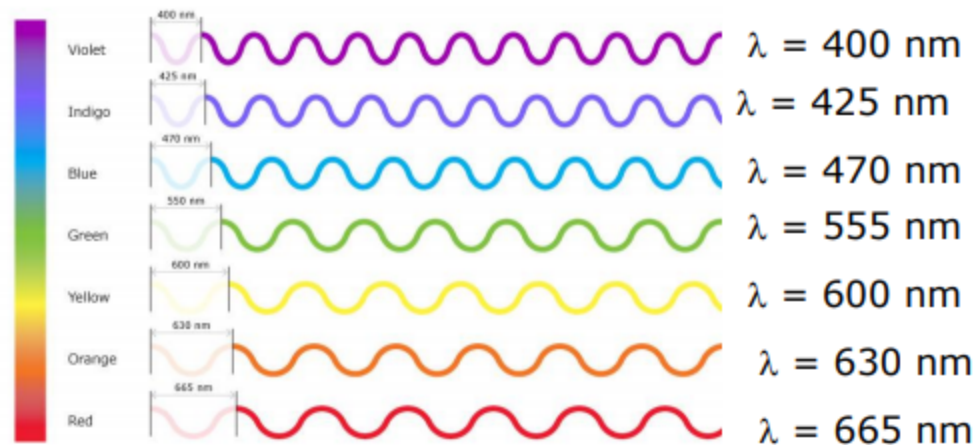
- L'occhio umano è sensibile soltanto ad una piccolissima porzione dello spettro elettromagnetico, detto intervallo del visibile, corrispondente a valori di λ compresi tra 400 nm (corrispondenti a frequenze $\nu = 750$ THz) e 700 nm ($\nu = 430$ THz)
- Frequenze al di sotto dei 430 THz (ovvero λ oltre 700 nm) corrispondono alla regione dell'infrarosso
- Frequenze al di sopra dei 750 THz (ovvero λ inferiore a 400 nm) corrispondono alla regione dell'ultravioletto
- Tutte le frequenze al di fuori del visibile non sono rivelate all'occhio umano, dunque appaiono nere



Lo spettro visibile



- Nella figura di lato è mostrata la sensibilità relativa dell'occhio umano in funzione della lunghezza d'onda; il massimo della sensibilità si ha per $\lambda = 555 \text{ nm}$; questa onda produce sui nostri occhi la sensazione del giallo-verde
- Nella figura di sotto vediamo onde di specifico colore, con i valori delle corrispondenti lunghezze d'onda



Luce visibile

. La luce visibile è in grado di eccitare gli stati energetici elettronici. Se un oggetto è colorato ciò è dovuto essenzialmente al fatto che gli atomi o le molecole della superficie dell'oggetto possono assorbire una parte (certe lunghezze d'onda) della luce che li investe portando gli elettroni a livelli energetici più alti. Il colore specifico che l'oggetto assume dipende dal materiale superficiale ed è determinato dalle regole di addizione e sottrazione dei colori: è infatti la luce non assorbita che, rimbalzando sull'oggetto, arriva all'occhio umano che in seguito decodifica e assegna il colore all'oggetto.



Ultravioletto

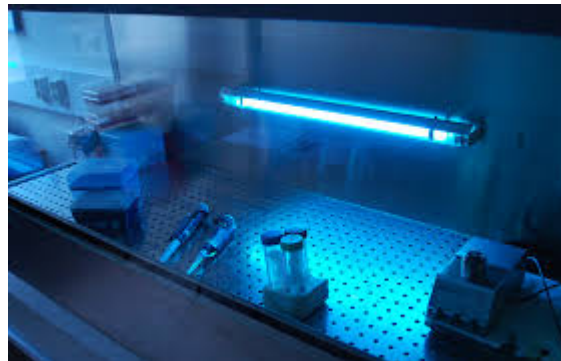
Nella parte successiva dello spettro vengono gli Ultravioletti indicati con l'acronimo UV. La radiazione UV ha energia sufficiente a spezzare legami molecolari e ionizzare parzialmente gli atomi. Gli effetti dannosi sul corpo umano di tali radiazioni sono ben note in quanto tali radiazioni non solo provocano bruciature, ma possono causare danni irreparabili ai tessuti del corpo umano. Il sole emette, principalmente luce visibile, ma anche una certa quantità di UV. Gli UV rappresentano una percentuale minima della radiazione totale emessa dal sole; purtuttavia se non avessimo lo schermo naturale dell'atmosfera e dei gas come l'ozono, la quantità di radiazione che arriverebbe non sarebbe compatibile con la vita umana.

UV

Una parte della radiazione ultravioletta è essenziale in alcuni processi biologici, quale la produzione di Vitamina D. Inoltre viene utilizzata con successo in alcune terapie antibatteriche quali la sterilizzazione.

Il coefficiente di assorbimento degli UV è molto grande per quasi tutti i materiali, ad esempio il vetro di buona qualità che è molto trasparente nel visibile negli UV è estremamente assorbente: lo spessore del parabrezza di una autovettura è sufficiente ad eliminare praticamente tutta la radiazione UV del sole. Solo il quarzo ha un coefficiente di assorbimento più piccolo per la parte dello spettro UV a più bassa frequenza. A lunghezze d'onda inferiori a 200 nm il quarzo, ma anche l'aria (a causa dell'ossigeno presente) assorbe fortemente gli UV.

Gli UV sono utilizzati molto nella microelettronica, proprio a causa della lunghezza d'onda estremamente piccola, ma trovano applicazioni anche in alcune tecniche diagnostiche.



UV

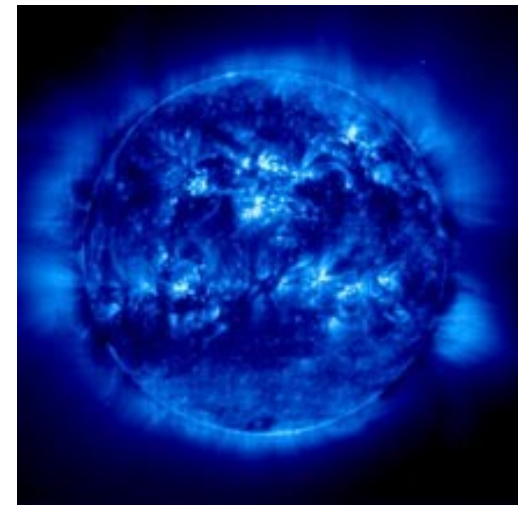
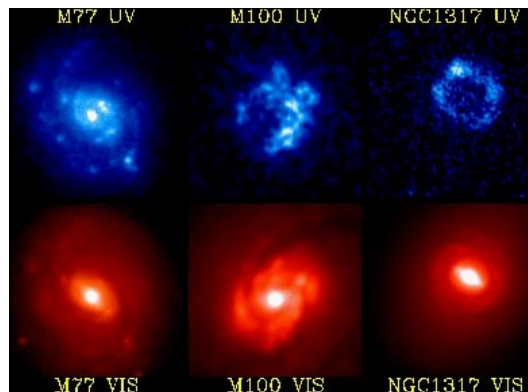
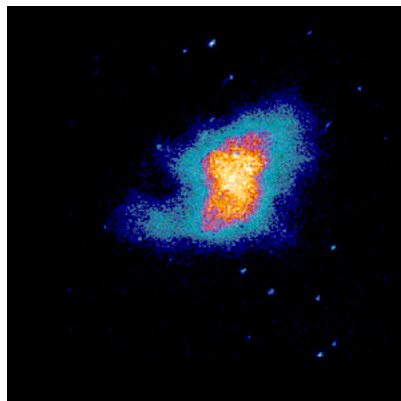
I raggi ultravioletti hanno la proprietà di favorire diverse reazioni chimiche, ad esempio la produzione di melanina, il pigmento che dà il colore alla pelle.

Per questo l'esposizione ai raggi ultravioletti, aumentando la melanina, fa abbronzare

Però i raggi ultravioletti possono essere pericolosi per la pelle e per gli occhi, procurando danni anche gravi, che favoriscono l'insorgenza di tumori

..

In astronomia, la rilevazione dei raggi ultravioletti permette di studiare alcune caratteristiche del Sole, l'evoluzione di galassie giovani e molto calde e, ancora, le temperature e la composizione del mezzo interstellare



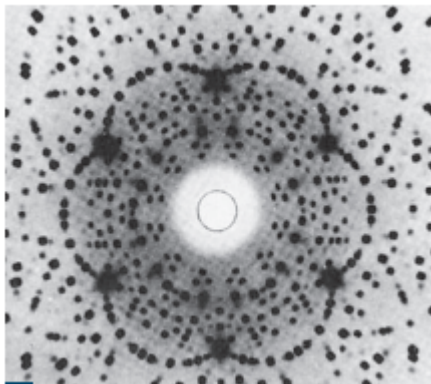
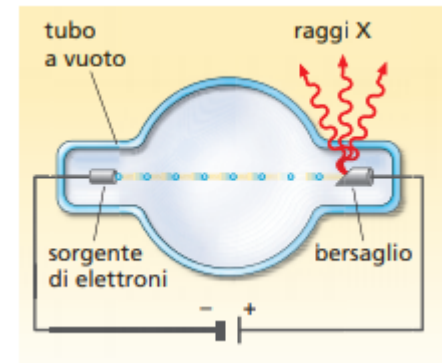
I raggi X

I raggi X hanno lunghezze d'onda comprese tra 10^{-8} m e 10^{-11} m.

Come è mostrato nella figura a destra, essi sono prodotti mediante appositi tubi a vuoto, nei quali gli elettroni subiscono una rapida decelerazione urtando contro un bersaglio metallico.

I raggi X sono molto penetranti, per cui sono utilizzati per mettere in evidenza strutture nascoste.

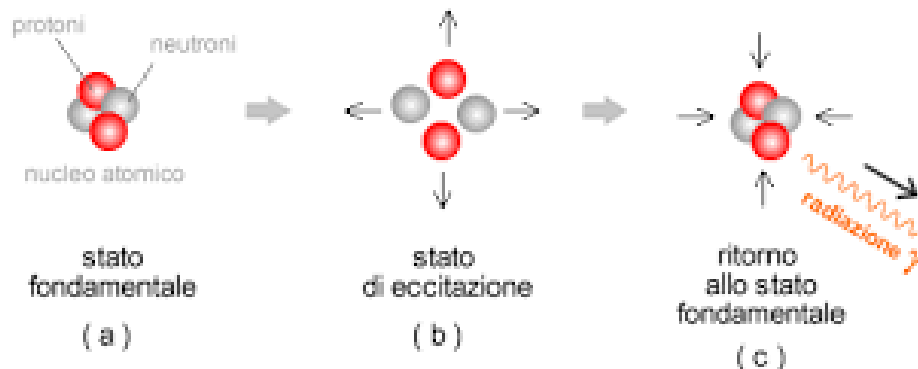
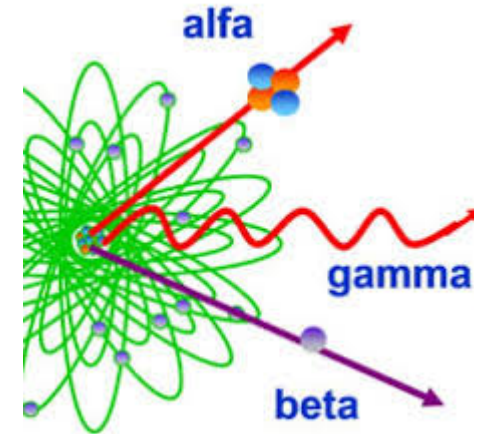
In una radiografia, i raggi X passano attraverso i tessuti molli, ma sono arrestati dalle ossa. Così, il diverso annerimento di una lastra fotografica permette di vedere l'interno del nostro corpo



I raggi X permettono anche di ottenere informazioni sulla struttura del reticolo cristallino di un metallo. Le macchie nere sono dovute all'interferenza costruttiva dei raggi X.

I raggi gamma

I raggi gamma rappresentano le lunghezze d'onda più brevi dello spettro delle onde elettromagnetiche. I raggi gamma sono prodotti da reazioni che avvengono all'interno del nucleo atomico. Vi è una parziale sovrapposizione tra raggi gamma e raggi X: in quanto i livelli energetici degli elettroni di atomi di grande numero atomico possono eccedere l'energie atomiche



I raggi gamma

. Il potere penetrante dei raggi gamma è in genere molto maggiore di quello dei raggi X. Per questo per la protezione di tali radiazioni si usano materiali ad alto peso atomico (tipo il piombo), tanto per dare una idea se 1 cm di Piombo dimezza i raggi gamma è necessario uno spessore di 6 cm di cemento per produrre lo stesso effetto. I raggi gamma vengono prodotti nel decadimento di isotopi radiattivi, non esistono altri metodi sulla terra per produrre tali radiazioni. Gli effetti sulla materia vivente dei raggi gamma sono molto peggiori dei raggi X a parità di intensità a causa della maggiore energia dei fotoni. Infatti la perdita di energia dei raggi gamma può avvenire in maniera più distruttiva per i tessuti che la semplice ionizzazione. Possono prodursi isotopi radiattivi, coppie di particelle ed elettroni secondari energetici mediante effetto Compton.

Campi elettromagnetici e salute

L'inquinamento elettromagnetico (il c.d. elettrosmog) è prodotto da radiazioni non ionizzanti a bassa e ad alta frequenza: a seconda della frequenza si ha una diversa interazione tra le onde e gli organismi viventi con rischi diversi sulla salute umana.

Effetti acuti (esposizione di breve periodo a campi molto intensi)

Effetti cronici (esposizione prolungata a campi di modesta intensità)

• Effetti sulla salute

Gli effetti dell'interazione dei campi elettrici e magnetici con i tessuti biologici dipendono soprattutto dalla frequenza dei campi e dalla loro intensità.



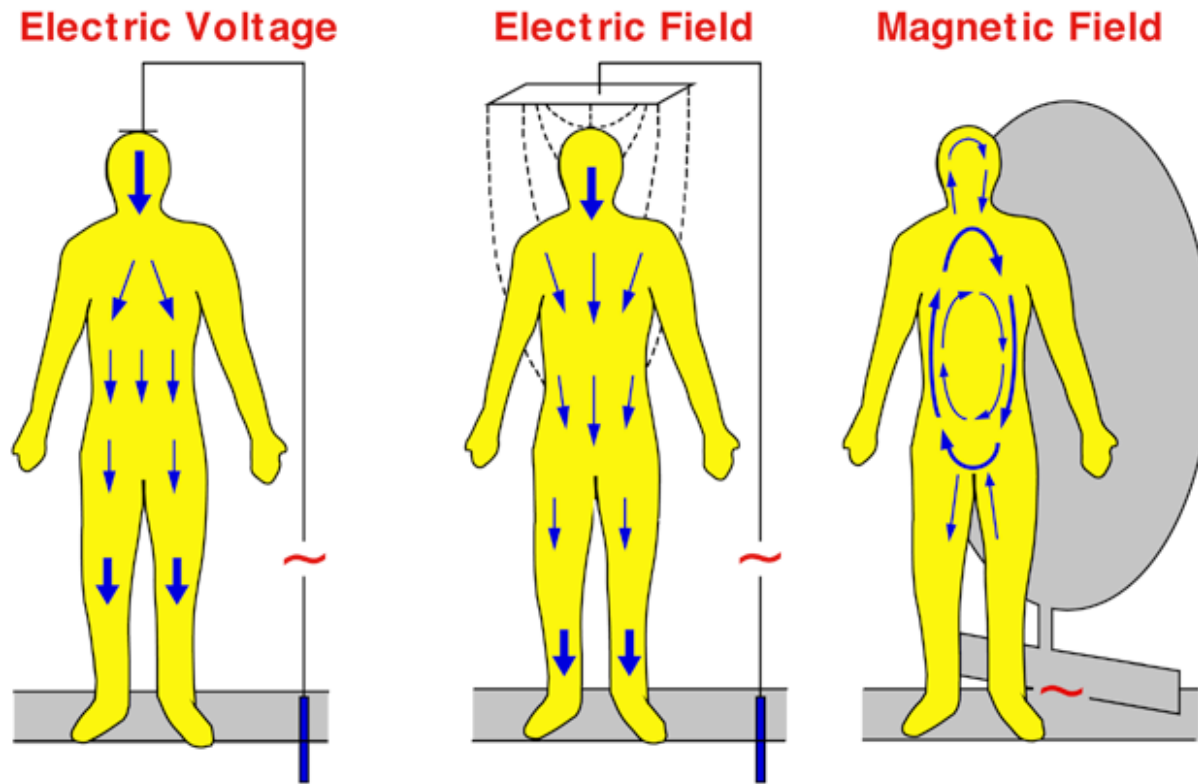
La **frequenza** è il parametro che maggiormente determina i meccanismi di interazione tra campo elettromagnetico e organismo

- Le *radiazioni non ionizzanti* non hanno l'energia sufficiente per rompere i legami atomici: pertanto anche ad elevata intensità non sono in grado di produrre la ionizzazione in un sistema biologico. Sono però in grado di produrre altri effetti biologici, che possono talvolta arrecare un danno alla salute.

Gli effetti acuti dell'esposizione a campi elettrici e magnetici ELF (la banda di frequenze radio compresa fra 3 e 30 Hz) ed a campi elettromagnetici a radiofrequenze e microonde sono dovuti a meccanismi d'interazione ben conosciuti, sono immediati ed oggettivi, avvengono solo per valori superiori ad un ben preciso valore di soglia della grandezza dosimetrica specifica, sono accertabili sperimentalmente sugli animali e su volontari al di là di ogni possibile dubbio.

Meccanismi di interazione

fino alla frequenza di circa **1 MHz (10^6 Hz)** prevale l'induzione di correnti elettriche nei tessuti elettricamente stimolabili (nervi e muscoli)



Stimolazione dei tessuti muscolari e nervosi elettricamente eccitabili

Il **campo elettrico statico**, escludendo le possibili correnti elettriche indotte da campi particolarmente intensi, non desta preoccupazioni per la salute.

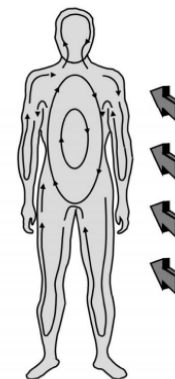
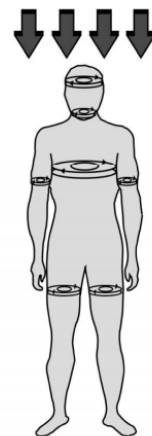
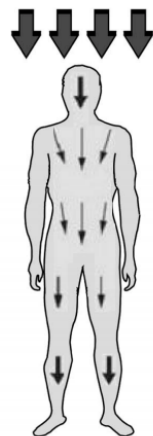
A basse frequenze, i campi magnetici inducono la circolazione di correnti all'interno dell'organismo

Se sufficientemente alte, queste correnti, interferendo con i meccanismi fisiologici, possono causare la stimolazione dapprima dei nervi e ad intensità più elevate, dei muscoli:

esempio : **fibrillazione ventricolare o stimolazione dei tessuti nervosi**

campo elettrico

campo magnetico



Gli effetti sull'organismo accertati, conseguenti all'esposizione a campi magnetici statici (non variabili) o a bassa frequenza, sono quindi legati essenzialmente alla **generazione di correnti indotte all'interno del corpo** del soggetto esposto e sono effetti acuti.

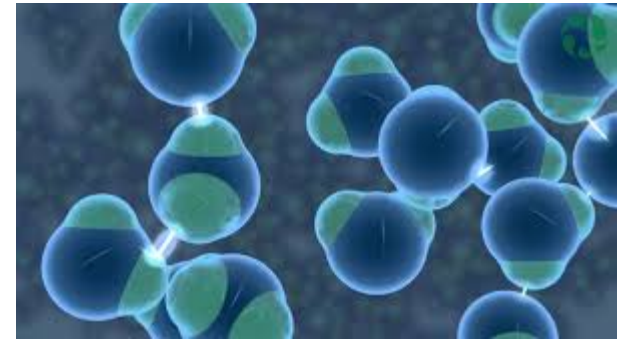
Tali effetti sono graduati, vale a dire dipendenti dall'intensità del campo, si manifestano oltre un valore soglia, dopo un'esposizione in un tempo limitato e generalmente scompaiono al cessare della stimolazione. Le normative di sicurezza che regolamentano l'esposizione al campo magnetico esistenti ad oggi si basano unicamente sugli effetti acuti, per brevi periodi di esposizione.

Questi effetti si manifestano quando le correnti indotte dal campo magnetico a bassa frequenza (o dal movimento del corpo in un campo magnetico statico) raggiungono un'intensità confrontabile con le correnti elettriche che costituiscono, per esempio, gli impulsi nervosi.

Il sistema nervoso è infatti uno dei "bersagli" dell'interazione, e gli effetti per campi di intensità bassa sono legati alla percezione di "falsi" stimoli, per esempio bagliori (fosfeni) per poi passare, a intensità più elevate, ad effetti anche sul cuore come ad esempio fibrillazione etc.

Meccanismi di interazione

Alle radiofrequenze (300 MHz a 300 GHz), i campi penetrano soltanto per piccole profondità dentro il corpo e l'energia trasportata viene convertita in un aumento del movimento delle molecole con conseguente incremento della temperatura del tessuto biologico (l'effetto su cui si basa il riscaldamento dei cibi nel forno a microonde). Il valore limite di riscaldamento oltre il quale si manifestano gli effetti termici nell'organismo è noto e viene adottato come limite di sicurezza. Proprio perché l'effetto è legato all'accumulo di calore nel tempo, i livelli di riferimento sono generalmente definiti come media su 6 minuti. I livelli dei campi a radiofrequenze ai quali siamo quotidianamente esposti sono comunque molto più bassi di quelli necessari a produrre un riscaldamento significativo dei tessuti del corpo.



Effetti sulla salute

Campi elettromagnetici a radiofrequenze e microonde (10 kHz – 300 GHz).

In questo intervallo di frequenza l'effetto biologico è quello dell'assorbimento di energia all'interno del corpo umano, con conseguente **innalzamento della temperatura** del tessuto. Per tale effetto sono note una serie di relazioni dose-risposta, su cui si basano gli attuali standard protezionistici.

Ovviamente, a seconda di quanta energia viene assorbita si ottengono effetti differenziati, che possono andare dall'innalzamento della temperatura corporea di pochi gradi con la conseguente attivazione del sistema di termoregolazione dell'individuo esposto, ad effetti da stress termico, fino a vere e proprie ustioni e necrosi da radiofrequenze.

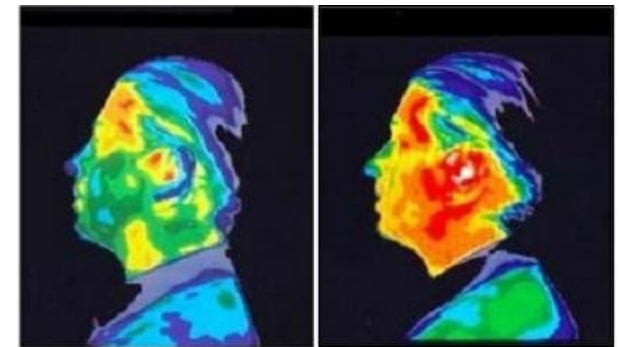


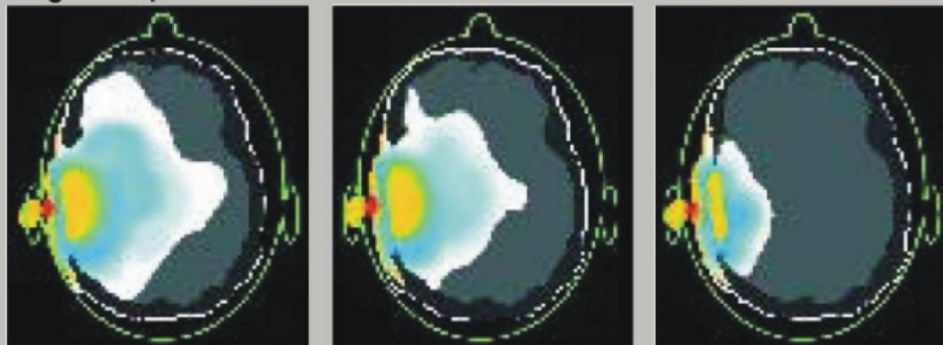
Immagine A

Immagine B

E' visibile, tramite immagine termografica, l'effetto del riscaldamento dei tessuti prima (immagine A) e dopo (immagine B) una conversazione di 15 minuti con telefono cellulare.

Gandhi O.P., Lazzi G., Furse C.M. (1996 vol.44, p1884-1897) :
Absorption des rayonnements électromagnétiques dans la tête et
le cou humain pour les téléphones mobiles de 835MHz /1900MHz

Degré de pénétration des Radiations du Portable dans le Cerveau



Enfant de 5 ans
Taux d'absorption: 4,49W/kg

Enfant de 10 ans
Taux d'absorption: 3,21W/kg

Adulte
Taux d'absorption: 2,93W/kg

**Il più evidente degli effetti biologici
dei campi elettromagnetici è il
surriscaldamento dei tessuti
corporei**

SAR mediato sul corpo intero (medio) o circoscritto a specifici distretti corporei (locale) in relazione all'induzione di effetti biologici nocivi nell'animale

100 W/kg (medio) Ipertermia generalizzata, insufficienza dei meccanismi termoregolatori

100 W/kg (locale) Rapida induzione di cataratta nell'animale

10 - 100 W/kg (medio) Ipertermia generalizzata o localizzata, risposta termoregolatoria di grado variabile;
Inibizione temporanea o permanente della spermatogenesi;
Induzione di aborto e malformazioni fetali;
Risposte neuroendocrine ed immunologiche collegate allo stress termico

1 - 4 W/kg (medio) Soglia di induzione di effetti comportamentali e di risposte fisiologiche collegate a stress nell'animale

• Effetti certi e ipotizzati

Va ricordato che nel contesto della protezione della salute umana dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici si possono distinguere due classi di effetti sanitari: –

effetti certi, acuti o subacuti, la cui insorgenza scaturisce da esposizioni a campi di elevata intensità.

Di tali effetti sono noti i meccanismi di interazione che ne sono alla base e le rispettive soglie di insorgenza: stimolazione dei tessuti muscolari e nervosi alle frequenze più basse e riscaldamento dei tessuti per assorbimento dell'energia elettromagnetica alle frequenze più alte;

– **effetti ipotizzati, a lungo termine**, connessi ad esposizioni croniche a campi di intensità inferiore alle soglie di insorgenza degli effetti acuti, per i quali esistono solo alcune evidenze non conclusive (non accertati dalla ricerca scientifica) limitatamente alle frequenze estremamente basse (ELF la banda di frequenze radio compresa fra 3 e 30 Hz.)

gli attuali standard protezionistici prendono in considerazione solo gli effetti acuti nell'emanazione dei valori limite e dei livelli di azione, e che conseguentemente sono presi in considerazione dal DLgs.81/2008 capo IV.

• Effetti ipotizzati

Alcuni studi epidemiologici hanno evidenziato un **incremento del rischio** di insorgenza di alcuni tipi di **neoplasie** -ed in particolare di leucemie infantili- correlabile ad esposizioni croniche ai campi magnetici a 50 Hz. In tali studi l'incremento del rischio di leucemia infantile è stato osservato per esposizioni a campi magnetici superiori a 0,3 – 0,4 μ T.

Le evidenze epidemiologiche **non sono** supportate dai numerosi studi sperimentali finora condotti per indagare in condizioni controllate di laboratorio un eventuale ruolo dei campi magnetici ELF nel rischio di neoplasie



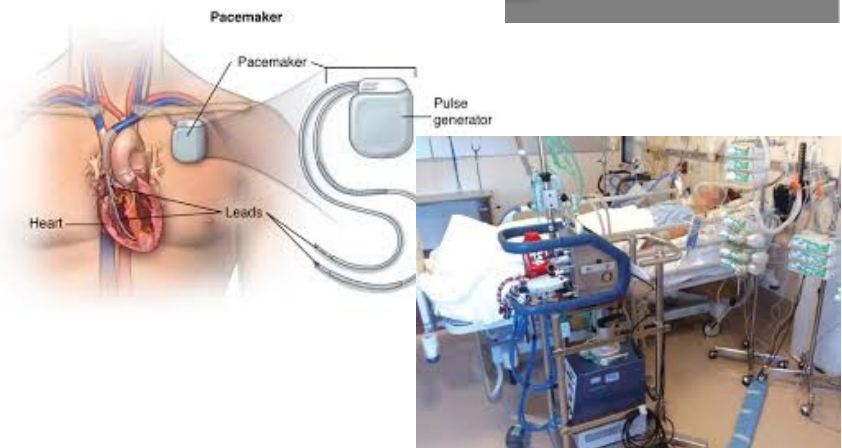
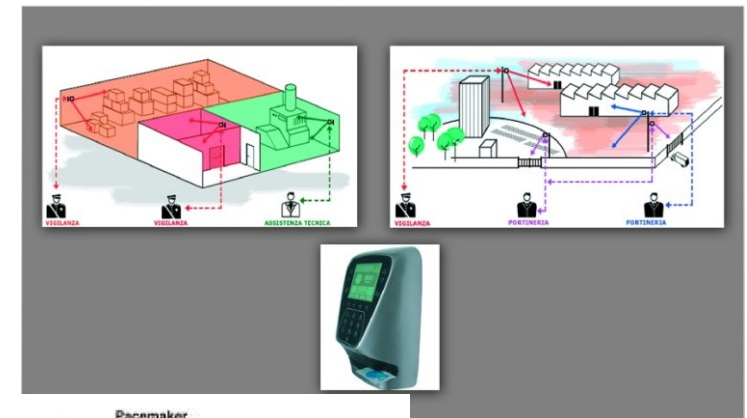
Un'ulteriore tipologia di effetti a lungo termine degli ELF in corso di studio è rappresentato dalle **malattie neurodegenerative**, ed in particolare dalla Sclerosi laterale amiotrofica (SLA) e dal morbo di Alzheimer (MA)), ma secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità le evidenze di simili effetti sono molto deboli.

Effetti indiretti: Interferenza con pace-maker e compatibilità elettromagnetica

- Tali effetti sono associati alla capacità di un apparato elettrico o elettronico, di generare in un altro apparato disturbi elettromagnetici che possano creare problemi alla salute di particolari categorie di persone o problemi di sicurezza.

- Nell'ottica della sicurezza negli ambienti di lavoro e di vita, la questione assume rilievo particolarmente in tre ambiti:

1. Gli **effetti su apparati elettronici preposti alla segnalazione di allarme** per eventi ad alto rischio, e in generale alla gestione di processi industriali a potenziale rischio di incidente;
2. Gli **effetti su protesi biomedicali** (es. pace-maker, protesi metalliche etc.) direttamente indossate dal soggetto interessato, sia lavoratore sia paziente.
3. **L'immunità di apparati diagnostici** o terapeutici, dal cui corretto funzionamento dipende la qualità della prestazione, qualità che in taluni casi può rivestire un ruolo critico (es. apparati di supporto vitale);



- Tali effetti possono insorgere anche a valori di esposizione inferiori ai livelli d'azione fissati per i lavoratori.

LO SCHEMA DI PROTEZIONE

- La prevenzione degli effetti acuti si realizza attraverso limiti di esposizione, la cui definizione prevede due fasi distinte:

- **I limiti di base**, che sono gli unici veri limiti, espressi mediante grandezze fisiche (*grandezze dosimetriche*) strettamente correlate agli effetti sanitari accertati. Il loro valore numerico viene determinato in base ai valori di soglia relativi alle risposte acute (stress indotto dall'aumento della temperatura corporea, effetti comportamentali, stimolazione di strutture e tessuti eccitabili) e dai fattori di sicurezza che, rispetto ai valori di soglia, le varie norme adottano

I livelli di riferimento, definiti mediante grandezze radiometriche che caratterizzano l'ambiente in cui avviene l'esposizione in assenza del soggetto esposto. Si tratta di grandezze facilmente misurabili con una strumentazione relativamente poco costosa e largamente diffusa sul mercato

Radiometria e Dosimetria

