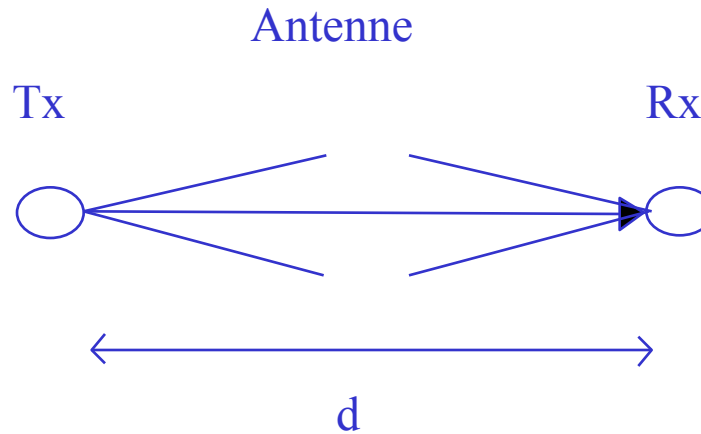


# Propagazione Non Guidata



Propagazione nello spazio libero:

- onde piane
- riflessione e rifrazione

# Introduzione

Campo: entità fisica che si estende in una regione dello spazio e che è descrivibile in funzione di posizione e tempo

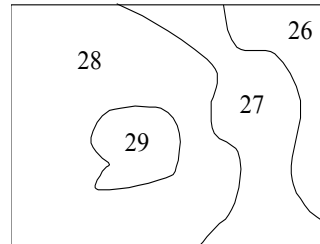
Campo

Elettromagnetico

Temperatura in una stanza: in ogni punto

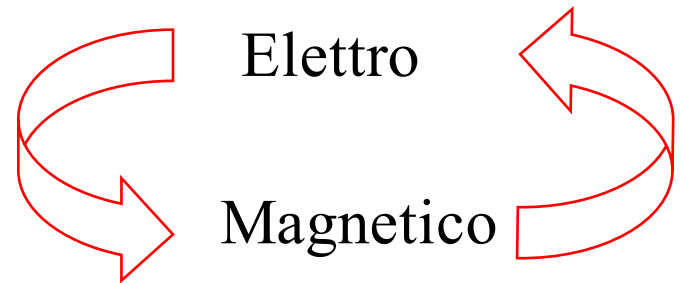
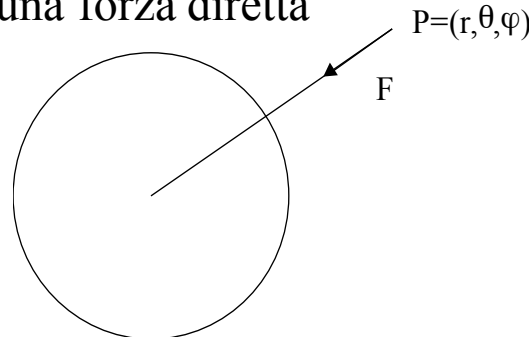
della stanza misuro la temperatura.

E' un campo scalare



Campo gravitazionale generato da un pianeta: in ogni punto intorno al pianeta un qualsiasi oggetto dotato di massa  $m$  è sottoposto all'azione di una forza diretta verso il centro del pianeta

$$F(r, \theta, \varphi) = -\frac{Km}{r^2} \hat{r}$$



# Introduzione

Campo

Elettromagnetico

## Campi statici e dinamici

Campi stazionari: il campo non dipende dal tempo

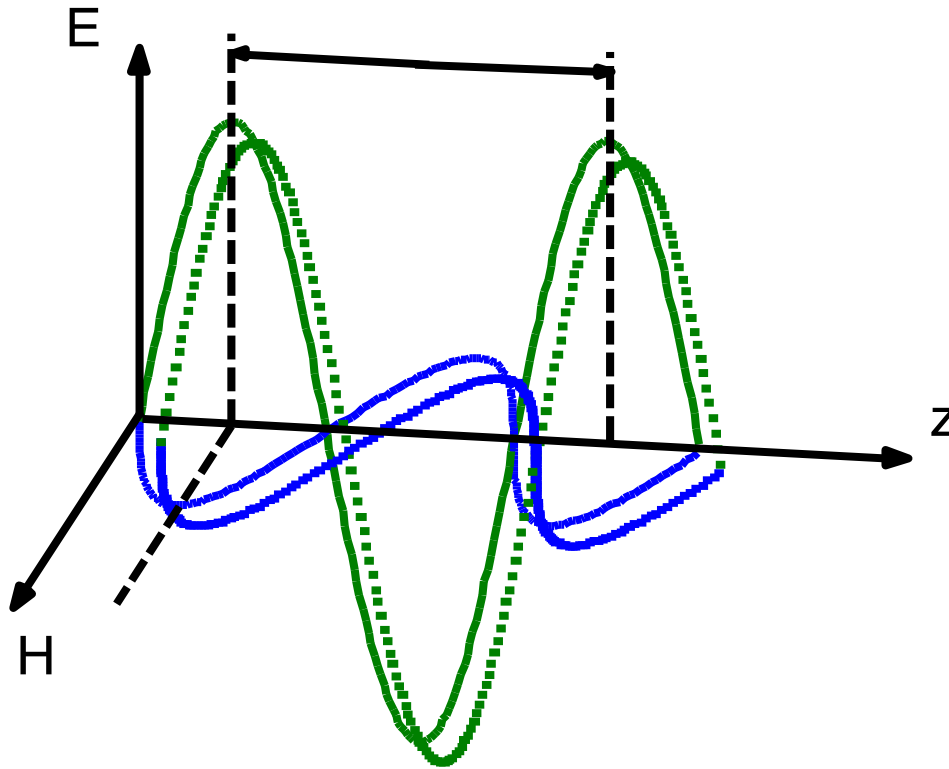
Campi dinamici: il campo dipende anche dalla coordinata temporale  $\vec{v} = \vec{v}(x, y, z, t)$

esempio: propagazione di onde e.m.: il campo varia nel tempo dando luogo a trasporto di energia.

# Introduzione

Onda

Elettromagnetica



Hertz



$$\lambda = c T$$

$$f = 1/T$$

$$\lambda f = c$$

(T: periodo dell'onda; c: velocità dell'onda;

f: frequenza dell'onda;  $\lambda$ : lunghezza d'onda)

# Introduzione

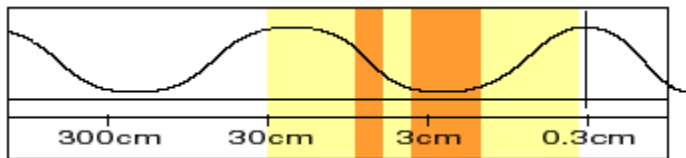
## Spettro Elettromagnetico

Tipo di radiazione	Intervallo (Hz)	Intervallo ( $\lambda$ )
Raggi gamma	$>3 \cdot 10^{20}$	$<1\text{pm}$
Raggi x	$3 \cdot 10^{17} - 3 \cdot 10^{20}$	$1\text{nm} - 1\text{pm}$
Ultravioletto	$7.5 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{17}$	$400\text{nm} - 1\text{nm}$
Visibile	$4 \cdot 10^{14} - 7.5 \cdot 10^{14}$	$750\text{nm} - 400\text{nm}$
Vicino infrarosso	$1.2 \cdot 10^{14} - 4 \cdot 10^{14}$	$2.5\ \mu\text{m} - 750\text{nm}$
Infrarosso	$1.2 \cdot 10^{13} - 1.2 \cdot 10^{14}$	$25\ \mu\text{m} - 2.5\ \mu\text{m}$
Microonde	$1 \cdot 10^9 - 1.2 \cdot 10^{13}$	$0.3\text{m} - 25\ \mu\text{m}$
Onde radio	$<1 \cdot 10^9$	$>0.3\text{m}$

Radiazioni ionizzanti

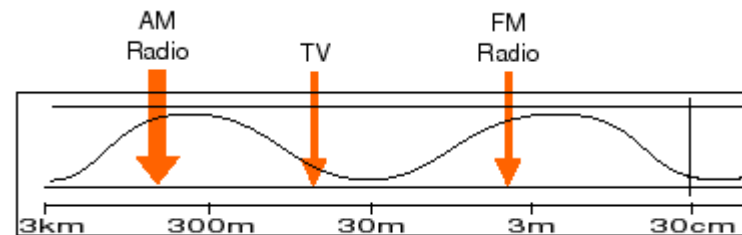
Ottica

Microwave region of the Electromagnetic Spectrum



Radar Bands:

L S C X K

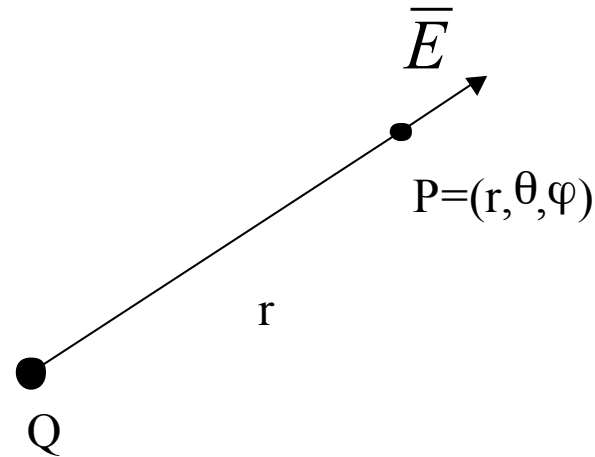


Radio Wave Region of the Electromagnetic Spectrum

Osservazione sperimentale: oggetti identici strofinati manifestano forza repulsiva perché acquistano/perdono elettroni (elettrone deriva dal greco *élektron*, ambra)

Spiegazione: qualsiasi carica elettrica  $Q$  immobile genera attorno a sé un campo coulombiano:

$$\vec{E} \propto \frac{Q}{r^2} \hat{a}_r$$



Se un'altra carica  $q$  si trova in questo campo, subisce una forza:

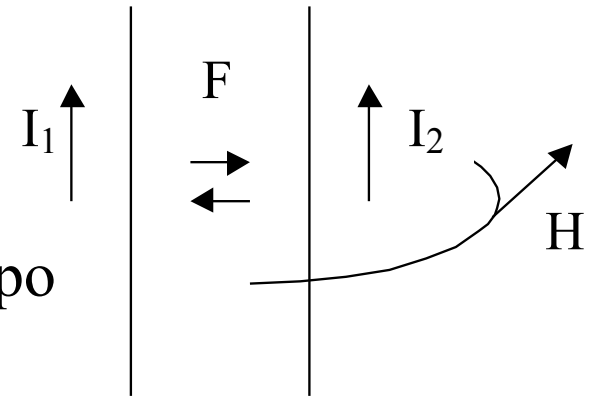
$$\vec{F} \propto \frac{Q}{r^2} \hat{a}_r \cdot q \begin{cases} q \cdot Q > 0, \text{ forza repulsiva} \\ q \cdot Q < 0, \text{ forza attrattiva} \end{cases}$$

Osservazione sperimentale:

- magnetite attrae piccoli oggetti di ferro
- ago della bussola

Esperienza di Oersted

- filo percorso da corrente elettrica genera campo magnetico: sposta l'ago della bussola
- fili percorsi da corrente manifestano forze attrattive o repulsive



Sia  $q$  una carica in una regione in cui è presente un campo elettromagnetico stazionario; la carica si sposti con velocità  $\bar{v}$ . La forza che agisce sulla carica è detta forza di Lorentz e vale:

$$\bar{F} = q(\bar{E} + \bar{v} \times \bar{B}) \quad \text{FORZADI LORENTZ}$$

carica elettrica  $[q] = C$

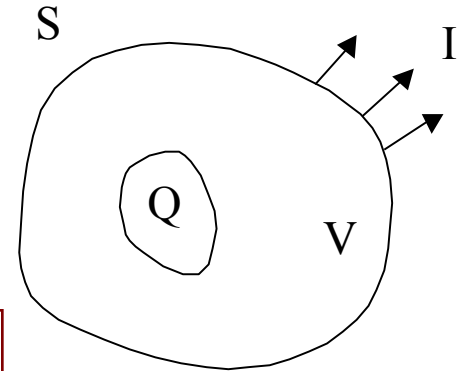
campo elettrico  $[E] = \frac{V}{m}$

induzione magnetica  $[B] = \textit{Tesla}$



Sia  $S$  una superficie chiusa e  $V$  il volume in essa contenuto

$$I_{\substack{\text{TOTALE} \\ \text{USCENTE}}} = - \frac{dQ_{\substack{\sim \\ \text{TOTALE}}}}{dt}$$

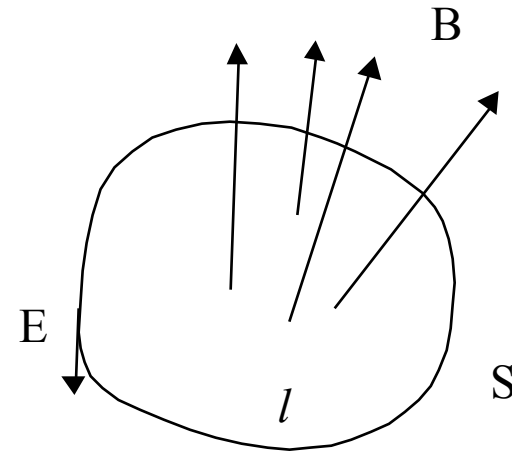


$$\int_S \vec{J} \cdot \hat{n} dS = - \frac{d}{dt} \int_V \rho dV$$

La variazione del flusso dell'induzione magnetica attraverso una superficie  $S$  genera f.e.m. sul contorno  $l$  della superficie

$$f.e.m._l = \int_l \vec{E} \cdot \hat{t} dl = - \frac{d \Phi_S}{dt}$$

$$\Phi_S = \int_S \vec{B} \cdot \hat{n} dS$$

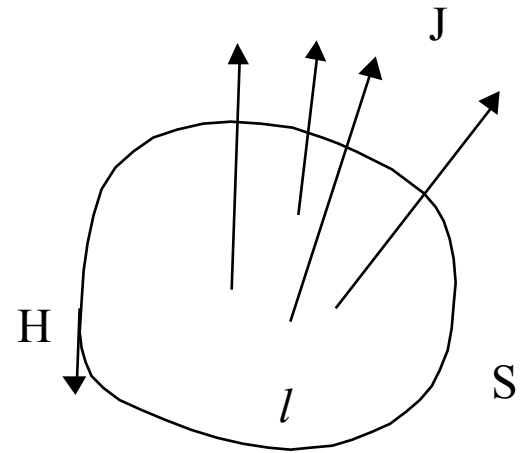


$$\int_l \vec{E} \cdot \hat{t} dl = - \frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot \hat{n} dS$$

Il flusso della densità di corrente attraverso una superficie  $S$  genera forza magneto motrice (f.m.m.) sul contorno  $l$  della superficie (un filo percorso da corrente dà origine a un campo magnetico)

$$f.m.m._l = \int_l \vec{H} \cdot \hat{t} dl = I_S = \int_S \vec{J} \cdot \hat{n} dS$$

$$\int_l \vec{H} \cdot \hat{t} dl = \int_S \vec{J} \cdot \hat{n} dS$$



$$\left[ \vec{H} \right] = \frac{A}{m} \text{ è il campo magnetico}$$

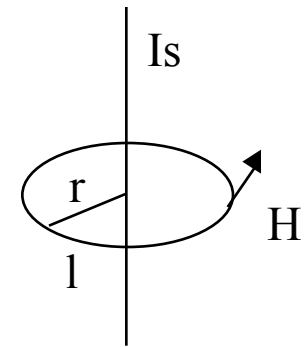
# Leggi sperimentali

## Legge di Ampere, osservazione di Oersted

Filo percorso da corrente: per ragioni di simmetria si può scrivere:

$$\int_l \vec{H} \cdot \hat{t} dl = 2\pi r |\vec{H}| = \int_S \vec{J} \cdot \hat{n} dS = I_S$$

$$\Rightarrow |\vec{H}| = \frac{I_S}{2\pi r}$$

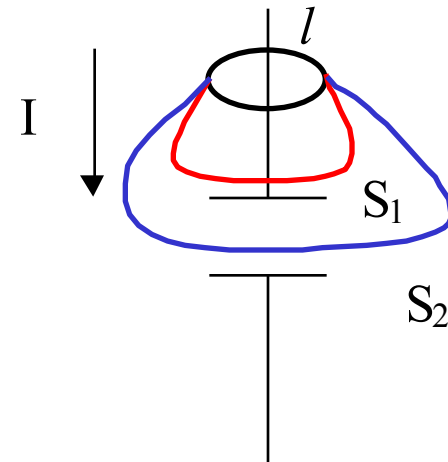


# Leggi sperimentali

## Legge di Ampere: incongruenza

Problema: carica di un condensatore

$$\left. \begin{array}{l} \int_{S_1} \vec{J} \cdot \hat{n} dS = I \\ \quad \quad \quad \sim \text{CARICA} \\ \int_{S_2} \vec{J} \cdot \hat{n} dS = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{ASSURDO!}$$

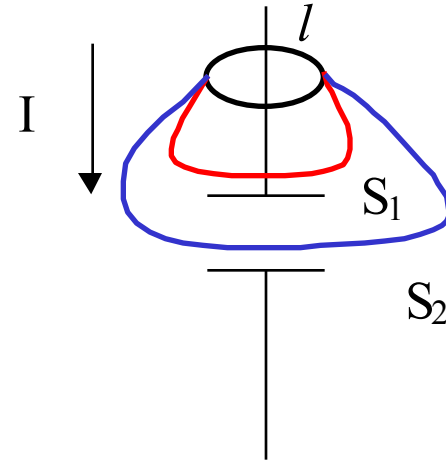


Se cambio superficie ottengo campi magnetici differenti!

E' necessario un nuovo termine nell'equazione!

$$\int_l \vec{H} \cdot \hat{t} dl = \int_S \left( \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot \hat{n} dS$$

$\left[ \vec{D} \right] = \frac{As}{m^2}$  è lo spostamento dielettrico



$$\left. \begin{aligned} \int_{S_1} \vec{J} \cdot \hat{n} dS &= I_{\sim CARICA} \\ \int_{S_2} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \cdot \hat{n} dS &= \varepsilon \frac{d \vec{E}}{dt} S_c = \frac{d Q}{dt} = I_{\sim CARICA} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{O.K.}$$

$$\left( \vec{D} = \varepsilon \vec{E}, \vec{Q} = \varepsilon \vec{E} S_c \right)$$